МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
Кіровоградський національний технічний університет

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ
КІРОВОГРАДСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

ТЕХНІКА В СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОМУ ВИРОБНИЦТВІ, ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ, АВТОМАТИЗАЦІЯ

За загальною редакцією М.І. Черновола

Заснований у 2001 році

В и п у с к 25
ЧАСТИНА І

Кіровоград • 2012

ББК 34.751+32.965=31
УДК 62:631.3

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ КІРОВОГРАДСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ /ТЕХНІКА В СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОМУ ВИРОБНИЦТВІ, ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ, АВТОМАТИЗАЦІЯ/– ВИП. 25,Ч.І – КІРОВОГРАД: КНТУ, 2012. – 430 с.

У збірнику представлені статті, присвячені проблемам проектування та експлуатації сільськогосподарської техніки, технології виробництва, енергозбереження, автоматизації в промисловості та сільському господарстві. Наведені практичні рекомендації по використанню результатів досліджень у галузях народного господарства.
Збірник є фаховим виданням, в якому публікуються основні результати наукових досліджень вчених, аспірантів університету, а також інших навчальних закладів та промислових підприємств України.
Збірник розрахований на наукових, науково-технічних працівників різних галузей науки та техніки, ВНЗ, здобувачів вчених ступенів і звань.

Рекомендовано до друку Вченою радою Кіровоградського національного технічного університету, протокол №10 від 23 квітня 2012 року.

Відповідальний редактор: д-р техн. наук, проф. Черновол М.І.

Редакційна колегія: Віхрова Л.Г., канд. техн. наук, проф. (науковий редактор за напрямком "Автоматизація"); Гамалій В.Ф., д-р ф.-м. наук, проф.; Кропівний В.М., канд. техн. наук, проф. (заступник відповідального редактора); Осадчий С.І., канд. техн. наук, доц.; Павленко І.І., д-р техн. наук, проф. (науковий редактор за напрямком "Галузеве машинобудування"); Пестунов В.М., канд. техн. наук, проф.; Петренюк А.Я., д-р ф.-м. наук, проф.; Сабірзянов Т.Г., д-р техн. наук, проф.; Сидоренко В.В., д-р техн. наук, проф.; Осіпов І.М., канд. техн. наук, доц. (науковий редактор за напрямком "Техніка в сільськогосподарському виробництві"); Філімоніхін Г.Б., д-р техн. наук, проф.; Шепеленко І.В., канд. техн. наук, доц. (відповідальний секретар).

Адреса реакційної колегії: 25006, м. Кіровоград, проспект Університетський, 8, Кіровоградський національний технічний університет, тел.: 390-472, 390-437, 55-10-49.

Автори опублікованих матеріалів несуть відповідальність за підбір і точність наведених фактів, цитат, економіко-статистичних даних, власних імен та інших відомостей, а також за те, що матеріали не містять даних, які не підлягають відкритій публікації. Редакція може публікувати статті в порядку обговорення, не поділяючи точки зору автора.

Збірник включений ВАК України в перелік наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватись результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук. Затверджений постановою президії ВАК України від 14 жовтня 2009 року №1-05/4 (бюлетень ВАК України №11, 2009).

Реєстраційне свідоцтво: серія КВ № 15253-3825 ПР від 30.04.2009 р.

© Кіровоградський національний технічний університет, 2012

УДК 621.891.539.375.6

М.И.Черновол, проф., д-р техн. наук, И.В.Шепеленко, доц., канд. техн. наук
Кировоградский национальный технический университет

Способы формирования антифрикционных покрытий на металлические поверхности трения

В статье представлена классификация способов нанесения антифрикционных покрытий на металлические поверхности деталей трения. Проведен краткий анализ перспектив использования финишной антифрикционной безабразивной обработки. Рассмотрен комбинированный метод обработки, совмещающий поверхностное пластическое деформирование и нанесение покрытий финишной антифрикционной безабразивной обработкой.
антифрикционные покрытия, восстановление, приработка, твердая смазка, финишная антифрикционная безабразивная обработка, комбинированная обработка

Одним из направлений инженерии поверхности является нанесение покрытий различными способами [1]. С точки зрения повышения надежности и ресурса необходимо, чтобы каждая деталь вне зависимости от материала изготовления имела защитное покрытие в соответствии со своим прямым назначением и условиями эксплуатации [2].

Покрытия представляют собой направленно сформированные поверхностные слои, существенно отличающиеся по своим свойствам от свойств материала основы и в значительной степени изменяющие свойства последнего [3]. При этом габаритные размеры детали увеличиваются на толщину слоя покрытия, что позволяет использовать методы нанесения покрытий не только при изготовлении новых, но и при восстановлении изношенных деталей и конструкций [4, 5].

Существующие многочисленные способы нанесения покрытий принято классифицировать с различных позиций. По своему назначению покрытия, применяемые в машиностроении, авторы работ [2, 6, 7 и др.] разделяют на следующие категории: износостойкие, коррозионно-стойкие, антифрикционные, жаростойкие, теплозащитные, уплотнительные и др.

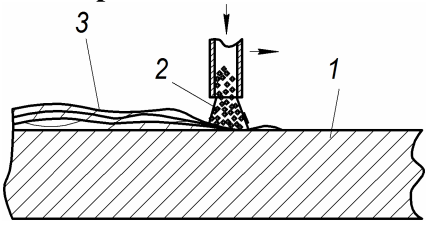
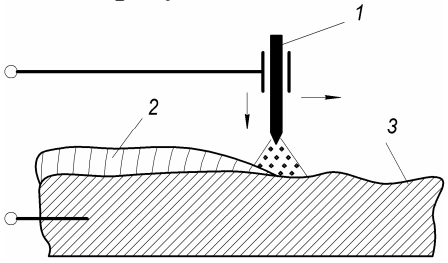
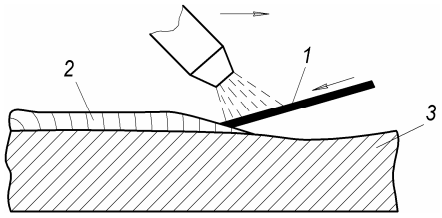
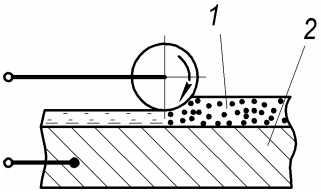
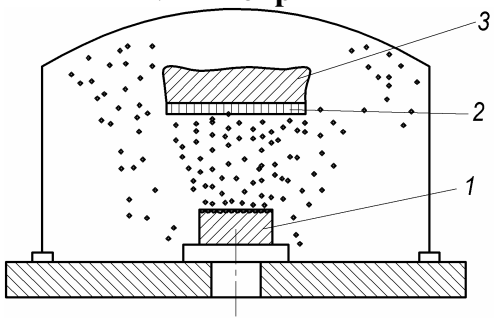
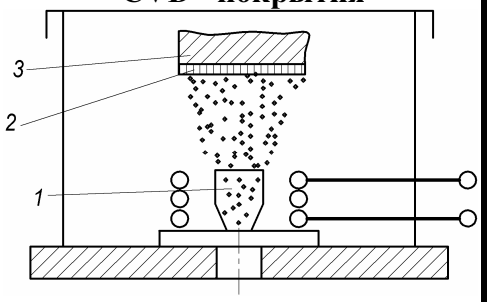
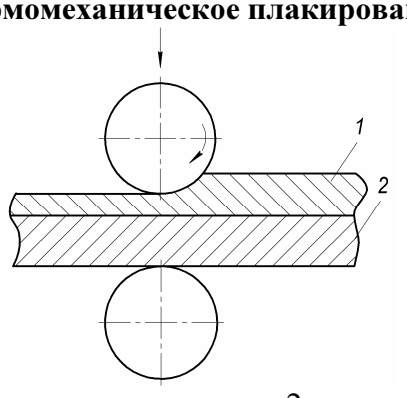
Особое место среди покрытий занимают антифрикционные (покрытия с низким коэффициентом трения), нанесенные на поверхность трения с целью обеспечения благоприятных антифрикционных свойств. Крагельским И.В. предложена классификация видов антифрикционных покрытий (АП) по положительному градиенту свойств по глубине [8], что долгое время служило руководством при разработке новых, более совершенных видов покрытий. Однако научные основы различных методов нанесения покрытий исследованы не одинаково глубоко.

Целью данной работы является систематизация имеющихся сведений о способах нанесения АП на металлические поверхности деталей путем составления их классификаций с различных позиций, что позволит аргументировано подойти к выбору способа получения АП.

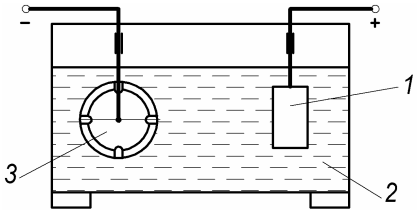
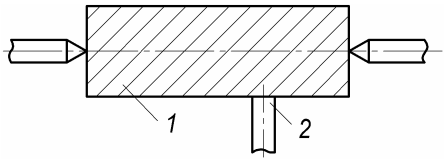
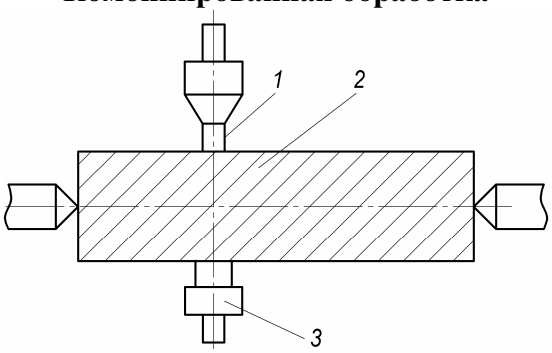
В этой связи, весьма уместна классификация АП по следующим признакам: назначение, вид материала покрытия, а также способ его формирования.

© М.И.Черновол, И.В.Шепеленко, 2012

Таблица 1 – Схема реализации и область применения основных способов получения АП

Схема способа	Область применения
1	2
Газотермическое напыление  1 – матрица изделия; 2 – энергетический поток, включающий напыляемые частицы; 3 - покрытие **Электродуговая наплавка**  1 – присадочный материал – электрод; 2 – наплавленный слой; 3 – матрица изделия **Газопламенная наплавка**  1 – присадочный материал; 2 – наплавленный слой; 3 – матрица изделия **Электроконтактное припекание**  1 – наносимый материал и слой; 2 – матрица изделия	ВОССТАНОВЛЕНИЕ
PVD - покрытия  1 – присадочный материал; покрытие; матрица изделия **CVD - покрытия**  1 – присадочный материал; покрытие; матрица изделия **Термомеханическое плакирование**  1 – слой наносимого материала; 2 – матрица изделия	ВОССТАНОВЛЕНИЕ, ПРИРАБОТКА

Продолжение табл.1

1	2
Электролитическое осаждение  1- присадочный материал; 2 – электролит; 3 - изделие **ФАБО**  1 – инструмент, 2 – обрабатываемая деталь **Комбинированная обработка**  1 – легирующий электрод; 2 - обрабатываемая деталь; 3- колодка для нанесения покрытия	ВОССТАНОВЛЕНИЕ, ПРИРАБОТКА, ТВЕРДАЯ СМАЗКА

Помимо своих основных функций по повышению антифрикционных свойств поверхности, АП могут использоваться как восстановительные, приработочные, твердосмазочные и многофункциональные покрытия (табл.1).

Наиболее многочисленная категория – восстановительные покрытия, основное назначение которых восстановление размеров деталей.

Приработочные покрытия наносят с целью улучшения условий приработки и предотвращения возможности возникновения задиров и схватывания.

Основное назначение твердосмазочных покрытий, наносимых на рабочие поверхности деталей, - обеспечение смазочного действия в широком диапазоне температур. В работе [9] приведена следующая классификация твердосмазочных материалов по Кэмбеллу В.Е.: слоистые, органические соединения, химически активные покрытия, мягкие металлы, полимерные пленки, различные пластичные материалы.

Большой выбор материалов, используемых для создания АП, позволяют обеспечивать заданные свойства поверхности или комплекс свойств для любых деталей современного машиностроения [7]. По материалу покрытия рассмотрены следующие виды АП: металлические, неметаллические и композиционные.

К металлическим АП отнесены покрытия, полученные из металлов (медь, олово, цинк, свинец и др.) и их сплавов (латуни, бронзы и др.). Особое место среди АП принадлежит неметаллическим покрытиям, получаемых путем: полимеризации органических химических веществ, спекания керамических и металлических материалов, а также из порошков кислородосодержащих и бескислородных химических соединений.

Материалы покрытия, составленные из различных компонентов, образуют отдельный вид – композиционные покрытия (КП). Причем свойства композитов как количественно, так и качественно отличаются от свойств составляющих [10].

По способу или технологии формирования АП делятся на следующие виды (рис.1):

- PVD - покрытия;
- CVD – покрытия;
- покрытия, полученные электрохимическим осаждением;
- газотермические покрытия;
- покрытия, полученные наплавкой, плакированием, наваркой и припеканием;
- фрикционно – механическая обработка;
- комбинированная обработка.

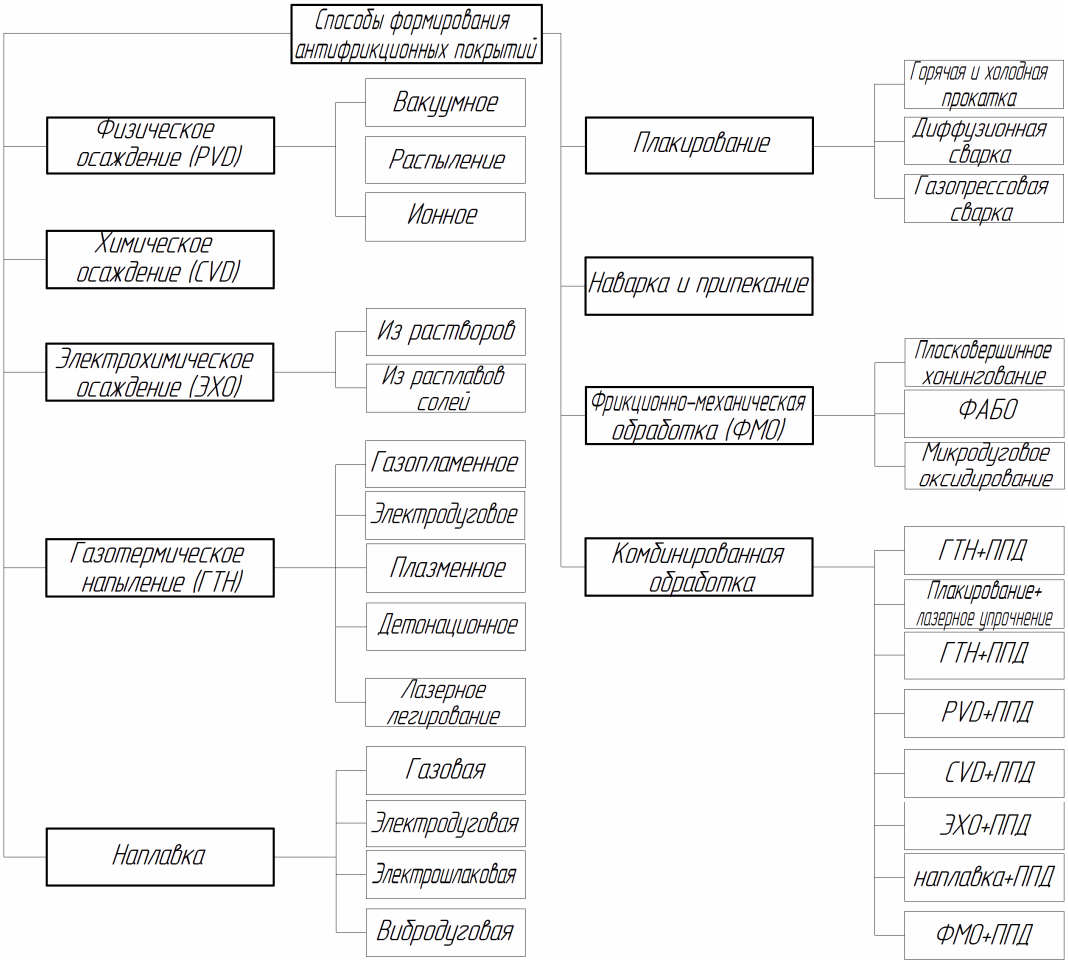


Рисунок 1 – Классификация способов формирования антифрикционных покрытий

Большинство этих способов широко известны и подробно освещены в литературе [6, 11-14 и др.].

Анализ схем нанесения АП (табл.1) показал, что наиболее простым в реализации, не требующего сложного оборудования, является метод финишной антифрикционной безабразивной обработки (ФАБО), к особенностям которого следует отнести: низкий расход материала покрытия и механической энергии при натирании, малую продолжительность процесса при использовании автоматизированного оборудования, высокую стабильность и качество покрытия, экологическую чистоту и др. По данных авторов [15, 16 и др.] ФАБО позволяет: снизить время приработки деталей в 1,5 – 2 раза, исключить задиры поверхностей трения деталей, повысить

несущую способность деталей и соединений, защитить поверхность трения от водородного изнашивания, снизить температуру трения и продлить период работы узла трения при выключении подачи смазки, уменьшить коэффициент трения и тем самым снизить потребление топлива ДВС до 3% и др.

Однако, эффективность процесса ФАБО недостаточно высока, особенно при эксплуатации в условиях высоких удельных нагрузок, когда пленочное покрытие быстро выходит из строя. Кроме того, устойчивое формирование покрытия ограничивается определенной исходной шероховатостью поверхности основы $0,08 < Ra < 1,5$ мкм [17].

Повысить качество покрытия возможно путем сочетания ФАБО со способами ППД. При этом целесообразнее использовать совмещение и локализацию воздействия на обрабатываемую поверхность деформирующего и натирающего элементов [18].

Следует отметить, что к АП, независимо от способов их формирования, предъявляют ряд требований, к основным из которых следует отнести [19]:

- плотность и сплошность;
- высокая адгезия с поверхностью металла;
- равномерность покрытия по толщине и достаточно высокая чистота его поверхности;
- способность совместно с основным металлом выдерживать эксплуатационные нагрузки;
- долговечность.

Для достижения более высоких эксплуатационных свойств деталей наиболее эффективными представляются комбинированные методы обработки, сочетающие в себе преимущества различных методов. Вместе с тем, известные методы комбинированной обработки, как правило, включают в себя операции по нанесению покрытий и их последующего ППД. Однако, с точки зрения технологичности процесса схема обработки ППД + нанесение покрытия представляется возможной, поскольку ряд методов нанесения покрытий, например ФАБО, требует предварительной подготовки поверхности, получения масляных карманов для дальнейшего его заполнения антифрикционным покрытием. Для расширения возможностей практического применения предложенной схемы комбинированной обработки необходимы дальнейшие исследования.

Представленная в данной работе классификация АП, разумеется, не является исчерпывающей, поскольку существуют и другие классификационные признаки (вид агрегатного и физического состояния материала, толщина покрытия, число компонентов наносимого материала и полученных слоев и т.д.). С позиций рассматриваемых критериев классификации АП предпочтение следует отдать способам получения многофункциональных покрытий и прежде всего комбинированной обработкой, позволяющая сочетать в себе преимущества различных методов, в том числе модификации поверхностей и нанесения покрытий, тем самым достигая более высокие эксплуатационные свойства деталей.

Список литературы

1. Ющенко К.А., Борисов Ю.С., Кузнецов В.Д., Корж В.М. Інженерія поверхні: Підручник. – К.: Наукова думка, 2007. – 559 с.
2. Карп И.Н. Износостойкость и защитные покрытия (Обзор)/ И.Н. Карп, В.Г. Назаренко и др.// Экотехнологии и ресурсосбережения. – 2007. - №6. – С.24-39.
3. Триботехнология: словарь-справочник / С.Н.Соловьев, Л.П.Клименко, С.Ж.Буду, Е.В.Трофимова; под общ.ред. С.Н.Соловьева. – Николаев: НГГУ им. П.Могилы, 2003 – 384 с.
4. Тихоненко В.В., Шкилько А.М. Упрочняющие технологии формирования износостойких поверхностных слоев// Фізична інженерія поверхні. – 2011. – т.9, №3. – С.237-243.

5. Кузнєцов В.Д., Пащенко В.М., Ющенко К.А., Борисов Ю.С. Фізико – хімічні основи інженерії поверхні: Навч. посібник. – К.: ВІПОЛ, 2005. – 372 с.
6. Замятин В.Ю. Классификация защитных неорганических покрытий и способов их формирования на металлических деталях трения/ В.Ю. Замятин// Упрочняющие технологии и покрытия. – 2005. - №1. – С.39-44.
7. Чернец М.В., Клименко Л.П., Пашечко М.И., Невчас А. Трибомеханика, триботехника, триботехнологии: В 3 т./ Под общ. ред. М.В.Чернеца, Л.П.Клименко. – Т.1. Механика трибоконтактного взаимодействия при скольжении. – Николаев: Изд-во НГТУ им. Петра Могилы, 2006. – 476 с.
8. Кутьков А.А. Износостойкие и антифрикционные покрытия. М.: Машиностроение, 1976. – 152 с.
9. Некрасов С.С., Паршин И.П., Приходько И.Л. Антифрикционные покрытия деталей и эффективность их применения. Обзорная информ./ Госагропром СССР. АгроНИИТЭИТО. М., 1988. – 32 с.
10. Комбинированные металлополимерные покрытия и материалы/ А.Г.Терхунов, М.И.Черновол, В.М.Тиунов, Е.К.Соловых, В.М.Веретенников. – К.: Техніка, 1983. – 168 с.
11. Локарев Д. Методы и оборудование для нанесения износостойких покрытий/ Д.Локарев, Е.Ямашкин// Наноиндустрия. – 2007. - №4. – С.18-24.
12. Соловых Е.К. Выбор альтернативных технологий нанесения износостойких покрытий дискретной структуры/ Е.К.Соловых// Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кіровоград: КНТУ, 2010. – Вип.23. – С.236-239.
13. Упрочняющие и восстанавливающие покрытия/ А.М.Цун, Г.С.Гун, В.В.Кривощанов и др. – Челябинск: Металлургия, 1991. – 160 с.
14. Черновол М.И. Комбинированный метод обработки поверхностей трения/ М.И.Черновол, И.В.Шепеленко, Варума Арифа// Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кіровоград: КНТУ, 2011. – Вип.24, Ч.ІІ. – С.13-16.
15. Гаркунов Д. Н. Триботехника (износ и безызносность): учебник/ Д.Н.Гаркунов. – М.: МСХА, 2001. – 616 с.
16. Балабанов В.И. Триботехнологии в техническом сервисе машин / В.И. Балабанов, С. А. Ищенко, В. И. Беклемышев. – М. : Изумруд, 2005. – 192 с.
17. Черкун В.В. Підвищення зносостійкості цапф шестерень гідронасосів фінішною антифрикційною безабразивною обробкою: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.02.04 «Тертя та зношування в машинах»/ В.В. Черкун. – К., 2011. – 19 с.
18. Сорокин В.М. Упрочнение поверхностей валов совмещенным натиранием антифрикционных покрытий и ППД/ В.М.Сорокин, С.С.Танчук, А.В.Михеев и др.// Упрочняющие технологии и покрытия. – 2011. - №2. – С.38-43.
19. Сухарев Э.А. Технология и свойства защитных покрытий в машинах. – Ровно: УГУВХП, 2004. – 182 с.

М.Черновол, І.Шепеленко

Способи формування антифрикційних покриттів на металеві поверхні тертя

В статті представлена класифікація способів нанесення антифрикційних покриттів на металеві поверхні деталей тертя. Проведений короткий аналіз перспектив використання фінішної антифрикційної безабразивної обробки. Розглянутий комбінований метод обробки, що об’єднує поверхневе пластичне деформування та нанесення покриттів фінішною антифрикційною безабразивною обробкою.

M.Chernovol, I.Shepelenko

Ways of forming antifriction top layers on metal friction surfaces

This article represents the classification of ways of antifriction coatings application on metal friction surfaces. A short analysis of prospects of usage of the finish antifriction non-abrasive processing has been performed. A combined processing method has been reviewed, which combines surface plastic deformation and application of coatings by means of finish antifriction non-abrasive processing.

Получено 19.03.12

УДК 621.9.077:621.865.85

І.І. Павленко, проф., д–р. техн. наук, В.А. Мажара, доц., канд. техн. наук,
В.І.Носуленко, проф., д–р. техн. наук, М.О. Годунко, викл.
Кіровоградський національний технічний університет

Дослідження продуктивності РТК з використанням промислових роботів встановлених на обладнанні

Запропоновано для аналізу продуктивності роботизованих технологічних комплексів використання розрахунково-компонувальних схем, що враховують розміщення промислового робота та допоміжних пристроїв по відношенню до технологічного обладнання. Проведено порівняльну оцінку продуктивності РТК, які обслуговується різними виконаннями промислових роботів, що розміщені на обладнанні.
роботизований технологічний комплекс, продуктивність, промисловий робот, що встановлений на обладнанні, металорізальне обладнання, циклограма, компонувальна схема

Постановка проблеми. Аналіз стану вітчизняного машинобудування показує, що актуальною задачею є подальше підвищення рівня автоматизації металообробного обладнання. Використання промислових роботів, в даному плані, є перспективним напрямком, оскільки забезпечує необхідну гнучкість роботи технологічного обладнання і дозволяє вивільнити робітників від виконання монотонних, фізично важких та некваліфікованих робіт. Але впровадженню у складі роботизованих технологічних комплексів (РТК) промислових роботів повинен передувати комплексний техніко-технологічний аналіз.

Основним фактором, який вказує на необхідність роботизації технологічних операцій є можливість підвищення продуктивності праці РТК за рахунок зменшення часу простоювання верстата під розвантаження і завантаження. Промислові роботи, що встановлюються на обладнанні широко використовуються на виробництві при обслуговуванні металорізальних верстатів. Підвищення продуктивності таких РТК можливе за рахунок впровадження двозахватних та дворуких виконань. Тож проведення порівняльного аналізу продуктивності РТК, що обслуговується одноруким однозахватним роботом, одноруким двозахватним промисловим роботом та дворуким роботом що розміщений на технологічному обладнанні, ще на початковому етапі дозволить обґрунтовано визначати доцільні варіанти виконання комплексу для відповідних умов його функціонування.

Аналіз останніх досліджень. Проблема підвищення продуктивності РТК розглядалася у багатьох літературних джерелах. Зокрема в роботах [1 – 4] висвітлювалося питання дослідження можливості підвищення продуктивності токарних РТК, що обслуговуються портальними роботами та тими, що розміщені на підлозі перед верстатом. У даній роботі проведено аналіз РТК з промисловими роботами, які розміщені на технологічному обладнанні.

Дослідження продуктивності РТК. До складу досліджуваних роботизованих комплексів входить токарний верстат з ЧПК, розміщений на ньому промисловий робот та приймально-подавальний допоміжний пристрій, який виконано у вигляді касети, що розташована перед верстатом.

На основі прийнятих умов складаємо розрахунково-компонувальну схему (рис. 1), на якій позначені координати позицій транспортованих деталей [1]. Схема рухів

© І.І. Павленко, В.А. Мажара, В.І.Носуленко, М.О. Годунко, 2012

промислового робота з однією рукою і одним захватом показана на рис. 2. Усі рухи, позначені безперервними лініями із стрілками, вказують на виконання їх при зупиненому верстаті. Таким чином, знаючи послідовність рухів, визначаємо їх величину, а, відповідно, час роботи промислового робота по завантаженню і розвантаженню верстата.

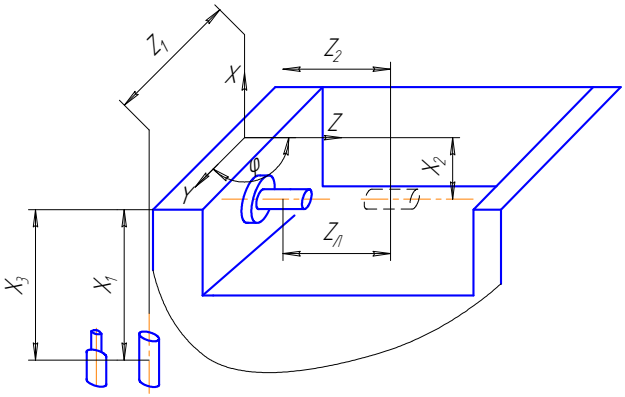


Рисунок 1 – Розрахунково-компонувальна схема роботизованого комплексу

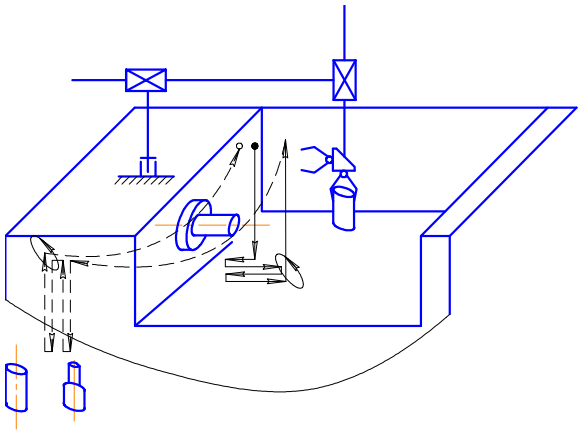


Рисунок 2 – Схема рухів однорукого двозахватного робота по завантаженню і розвантаженню верстата

Із розрахунково-компонувальної схеми згідно з характеристиками промислового робота "Електроника НЦТМ-01" визначаємо необхідні величини переміщень: горизонтальні переміщення Z_2 = 0,1м; вертикальні переміщення $X_1 = X_2 = X_3$ = 0,16м; переміщення каретки по виведенню (введенню) деталі із патрона $Z_Л$ = 0,1м.

Середні значення швидкості рухів робота "Електроника НЦТМ-01" з урахуванням затримок на включення рухів: горизонтальні переміщення – 0,4 м/с; вертикальні переміщення – 0,32 м/с. З встановлених даних визначаємо час руху: горизонтальний рух $t_{г2} = 0{,}1 / 0{,}4 = 0.25c$; вертикальний рух $t_в = 0{,}16 / 0{,}32 = 0.5c$; поворот руки на 90° – 1с.

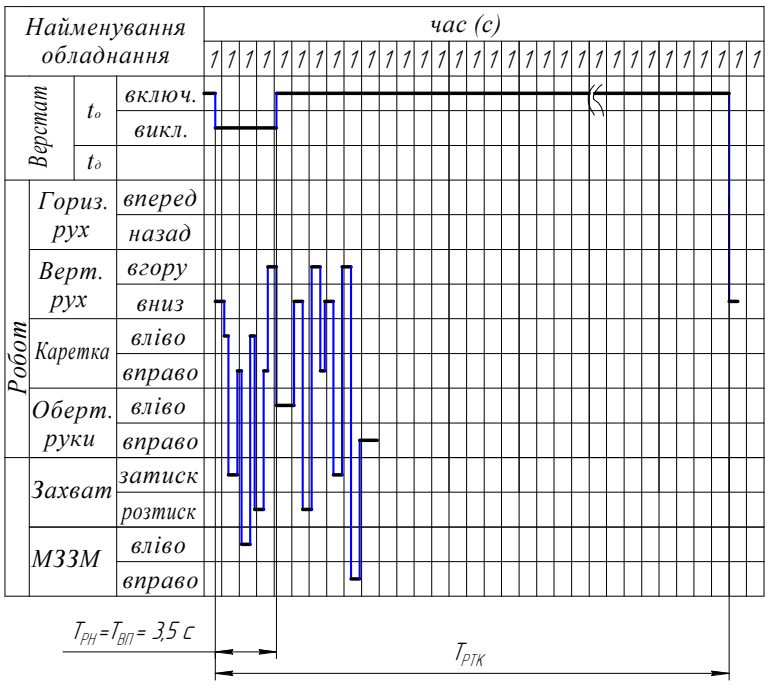


Рисунок 3 – Циклограма роботи токарного РТК з одноруким двозахватним роботом

По наведеним даним створена циклограма роботи РТК, що представлена на рис.3. Подібним чином розглянуті особливості роботи роботизованих комплексів з однорукими роботами і однозахватними пристроями (рис. 4, рис. 5) та дворукими роботами, що розміщені на технологічному обладнанні (рис. 7).

Оскільки при використанні однорукого однозахватного та дворукого промислових роботів деталі у допоміжних пристроях мають розміщуватися горизонтально, тож було розроблено відповідну розрахунково-компонувальну схему (рис. 4).

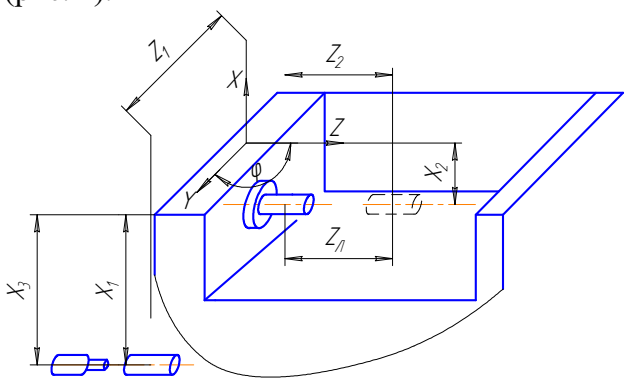


Рисунок 4 – Розрахунково-компонувальна схема РТК

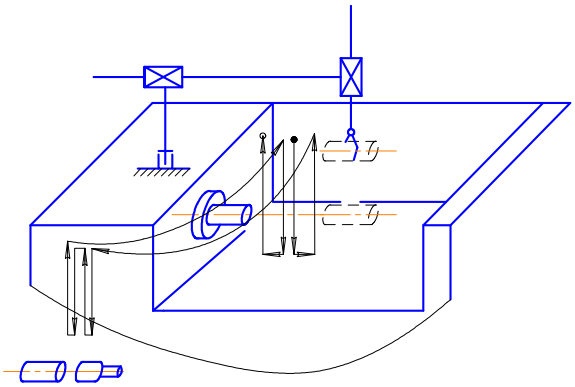


Рисунок 5 – Схема рухів однорукого однозахватного робота по завантаженню і розвантаженню верстата

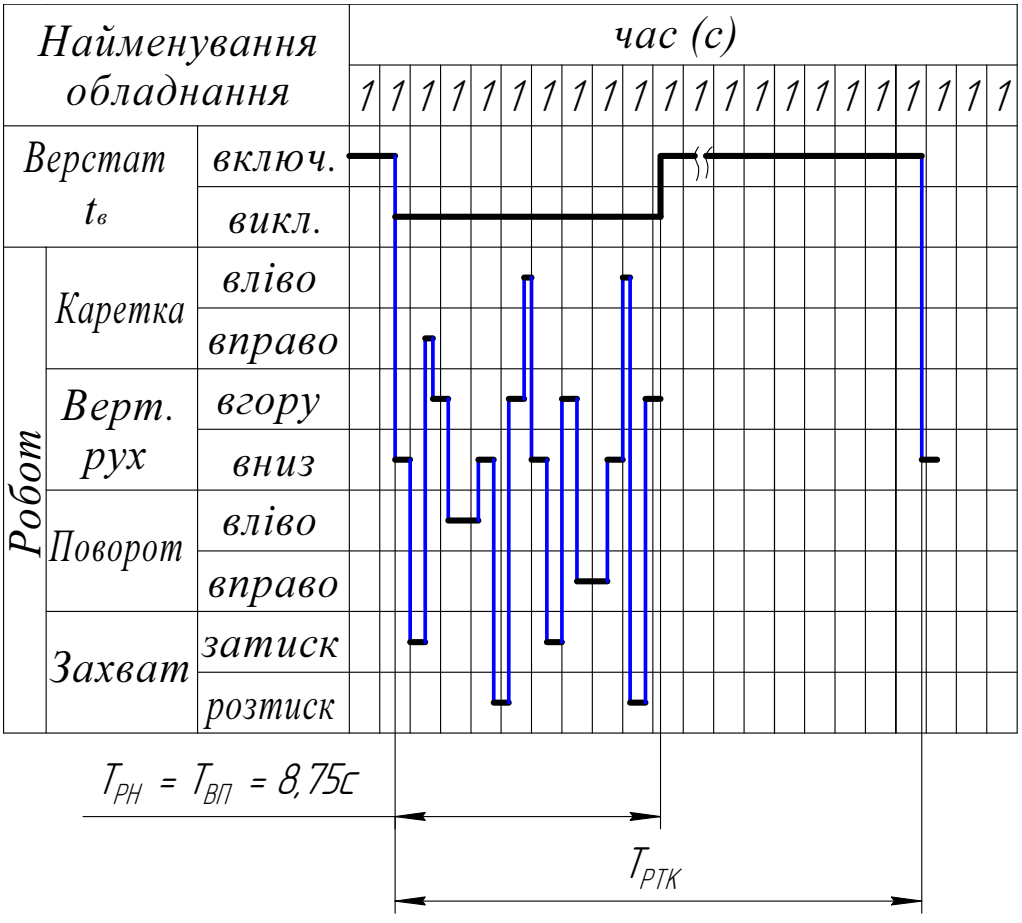


Рисунок 6 – Циклограма роботи токарного РТК з одноруким, однозахватним роботом

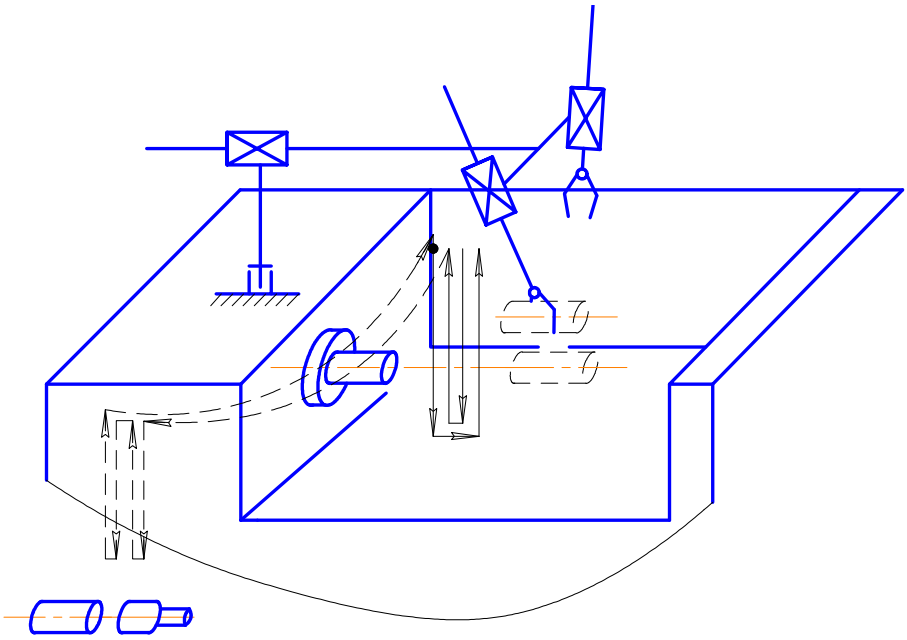


Рисунок 7 – Схема рухів дворукого робота по завантаженню і розвантаженню верстата

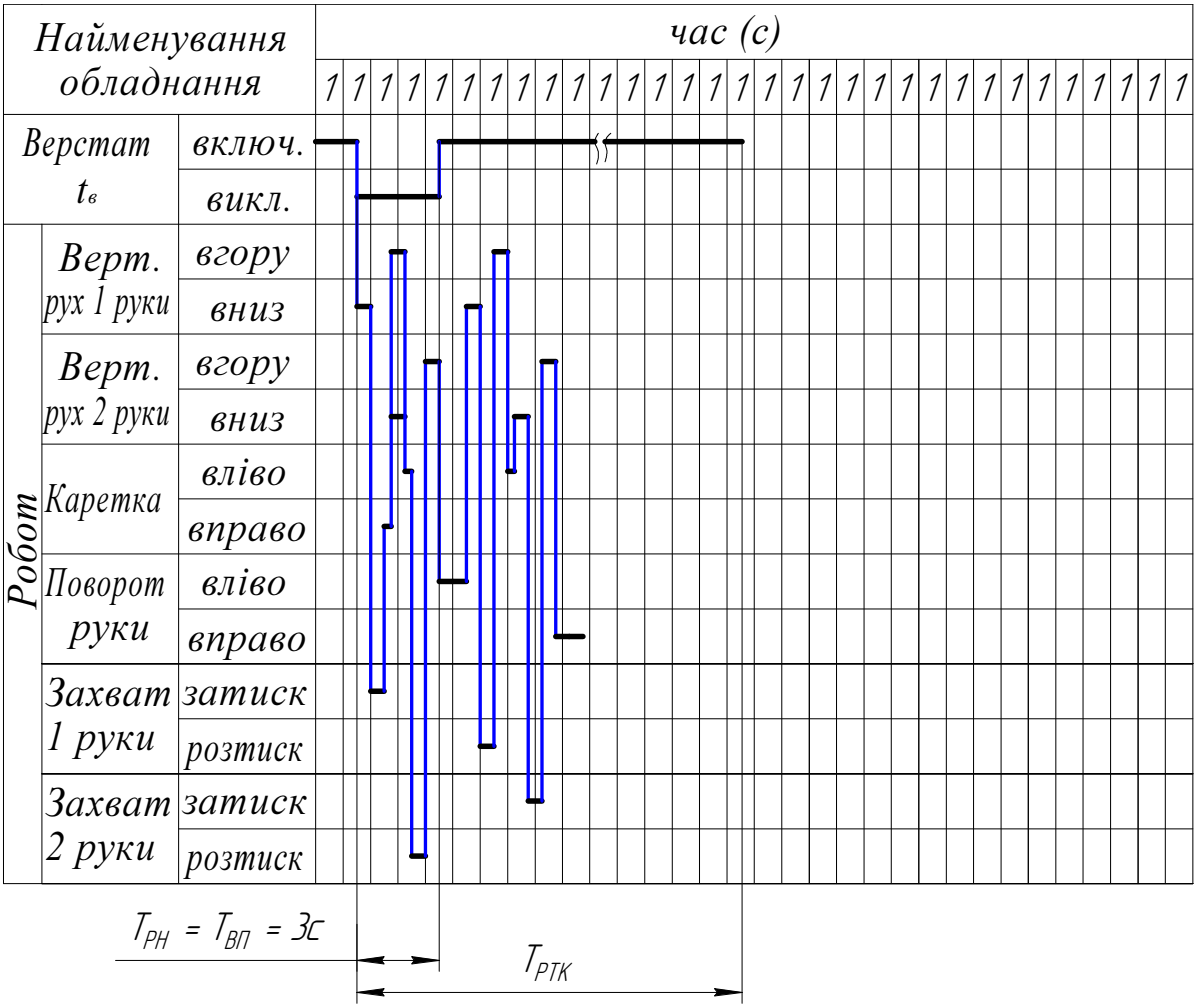


Рисунок 8 – Циклограма роботи токарного РТК з дворуким роботом

Порівнюючи циклограми (рис. 3, 6, 8), підсумовуємо, що використання двозахватного пристрою, порівняно з одноруким однозахватним роботом, дозволяє скоротити час простою верстата під завантаженням і розвантаженням у 2,5 рази ($8.75/3.5 = 2.5$); дворукого робота порівняно з одноруким однозахватним майже в 3 рази ($8.75/3 = 2.92$); дворукого робота, порівняно з двозахватним в 1,17 рази ($3.5/3 = 1.17$).

Вищевикладені матеріали, та дослідження наведені в роботах [1] та [3] дозволяють побудувати діаграму залежності часу простоювання технологічного обладнання, в залежності від виконання промислового роботи та його розміщення, яка наведена на рис. 9.

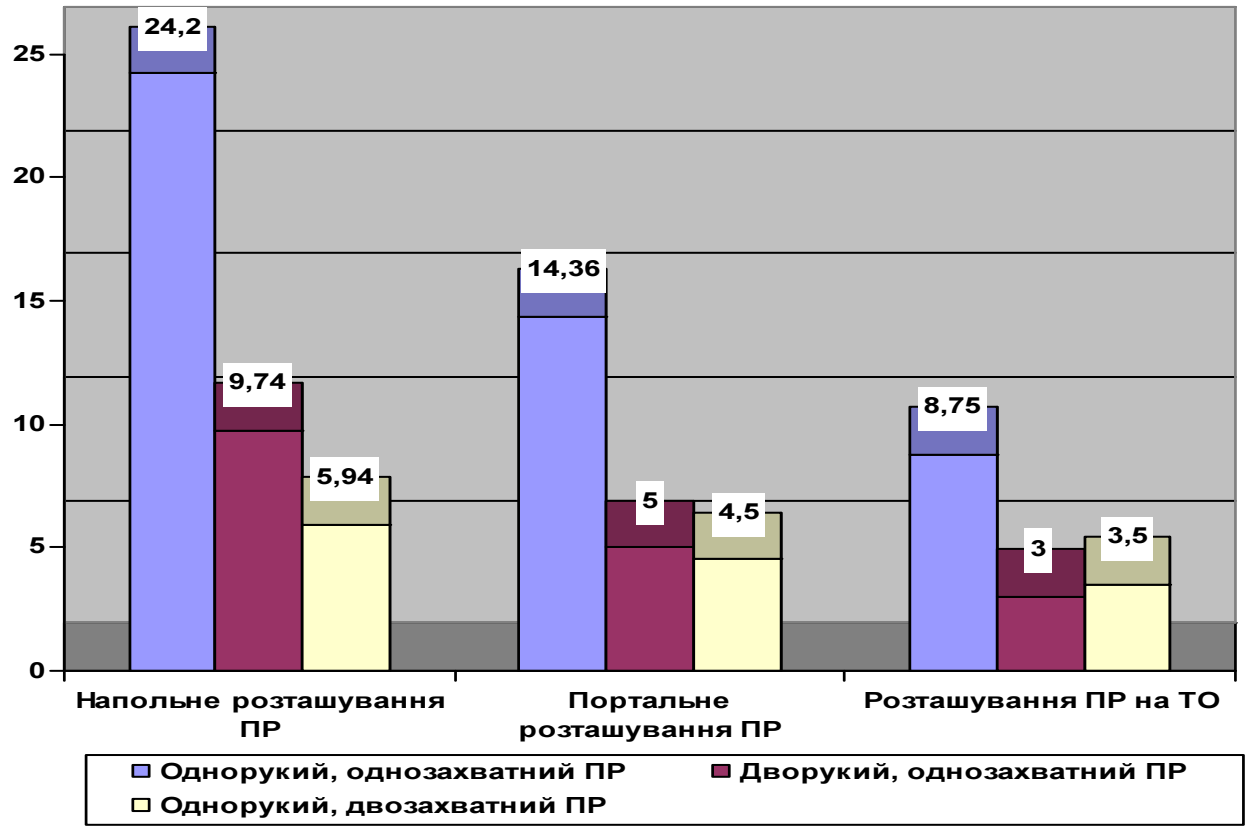


Рисунок 9 – Діаграма залежності часу простоювання технологічного обладнання, в залежності від виконання промислового роботи та його розміщення

Висновки. 1. Для ґрунтовного аналізу продуктивності роботи різних виконань роботизованих комплексів, запропоновано використання розрахунково-компонувальних схем РТК, на основі яких можливо визначити дійсну величину часу обслуговування технологічного обладнання промисловим роботом.

2. Виконано порівняльний аналіз продуктивності токарних роботизованих комплексів, що обслуговуються однорукими однозахватними, двозахватними та дворуким роботами, що мають різні конструктивні виконання (напольні, портальні, розміщені на обладнанні).

3. Використання двозахватних та дворуких промислових роботів при обслуговуванні технологічного обладнання дозволяє скоротити час простоювання верстата під завантаженням і розвантаженням в 2,5 – 4 рази. В більш загальному випадку, ця величина може змінюватися від 2 до 8 разів.

Список літератури

1. Павленко І.І. Промислові роботи: основи розрахунку та проектування. Кіровоград, КНТУ, 2007. – 420 с.
2. Павленко І.І., Мажара В.А. Дослідження впливу використання двозахватних пристроїв на продуктивність роботи РТК // Машиностроение и техносфера XXI века. Сборник трудов XIII международной научно-технической конференции в г. Севастополе. В 5-ти томах. – Донецьк: ДонНТУ, 2006. Т.5 – С. 282 – 287.
3. Павленко І.І., Мажара В.А. Роботизовані технологічні комплекси: Навчальний посібник. – Кіровоград: КНТУ, 2010. – 392 с.
4. Павленко І.І., Мажара В.А. Вплив конструктивних особливостей виконання портальних роботів на продуктивність РТК // Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. / Вип. 41. Ч.2 – Кіровоград: КНТУ, 2011.

И.Павленко, В.Мажара, В.Носуленко, М. Годунко

Исследование продуктивности РТК с использованием промышленных роботов установленных на оборудовании

Предложено для анализа производительности роботизированных технологических комплексов использование расчетно-компоновочных схем, на которых учтено размещение промышленного робота и вспомогательных устройств по отношению к технологическому оборудованию. Проведена сравнительная оценка производительности РТК, обслуживаемого разными типами промышленных роботов, которые установлены на оборудовании.

I.Pavlenko, V.Mazhara, V.Nosulenko, M. Godunko

Research of the productivity of RTK is with the use of industrial robots of set on an equipment

It is offered for the analysis of the productivity of robotizovanikh technological complexes of the use calculation-layout charts which take into account placing of industrial robot and associated units in relation to a technological equipment. The comparative estimation of the productivity of RTK, which is served different implementations of industrial robots which are placed on an equipment, is conducted.

Одержано 18.01.12

УДК 631.33.024: 631.331.5

О.Р.Лузан, асп., В.М.Сало, проф. д-р техн. наук, П.Г.Лузан, доц., канд. техн. наук, С.Я. Гончарова, доц., канд. фіз.-мат. наук
Кіровоградський національний технічний університет

Визначення умови руху неперервного потоку рослинних решток по стеблевідводу сошника

В статті проведений теоретичний аналіз умов руху неперервного потоку рослинних решток по стеблевідводу сошника для прямої сівби зернових культур. Отримані залежності для визначення сприятливих умов руху рослинних решток по горизонтальній поверхні стеблевідводу та умов утримання рослинних решток на ньому.
сошник, стеблевідвід, посівна секція, сівалка, no-till, пряма сівба, зернові культури, стебло, коренева система, рослинні рештки

Постановка проблеми. Забезпечення державної політики пріоритетного розвитку вітчизняного машинобудування для агропромислового комплексу [1] і створення сприятливих економічних умов для збільшення обсягів виробництва сільськогосподарської техніки та обладнання для харчової і переробної промисловості не можливе без наукового обґрунтування технологій їх виробництва та створення високотехнологічних робочих органів.

Впровадження в господарствах України передових технологій вирощування сільськогосподарських культур на основі технологій no-till вимагає створення відповідних робочих органів для їх реалізації. Сучасні сівалки як вітчизняного так і імпортного виробництва, які використовуються у господарствах, мають дуже велику металоємність за рахунок складності основних і додаткових робочих органів [2]. Їх вага, в більшості випадків, сягає понад одну тону на метр ширини захвату [3], що призводить до надмірного переущільнення ґрунтів і як наслідок зниження їх родючості.

У відповідності до виконання держбюджетної теми №24Б111 “Науково-технологічні основи обґрунтування параметрів робочих органів сучасних посівних систем” розроблена колективом кафедри сільськогосподарського машинобудування Кіровоградського національного технічного університету посівна секція для сівалок прямого посіву [4], дозволяє значно зменшити вагу сівалок, виготовлених на її основі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В попередніх роботах [5, 6] було обґрунтовано умови руху рослинних решток по стеблевідводу сошника запропонованої конструкції у випадку, коли рештки залишаться на стеблевідводі. При цьому розглядали рух стебла без врахування взаємодії потоку рослинних решток, тобто припускали, що руху не перешкоджає зіткнення деяких рослинних решток з сошником, і рештки не зупиняються та не попадають на стояк, а відводяться в бік за допомогою стеблевідводу.

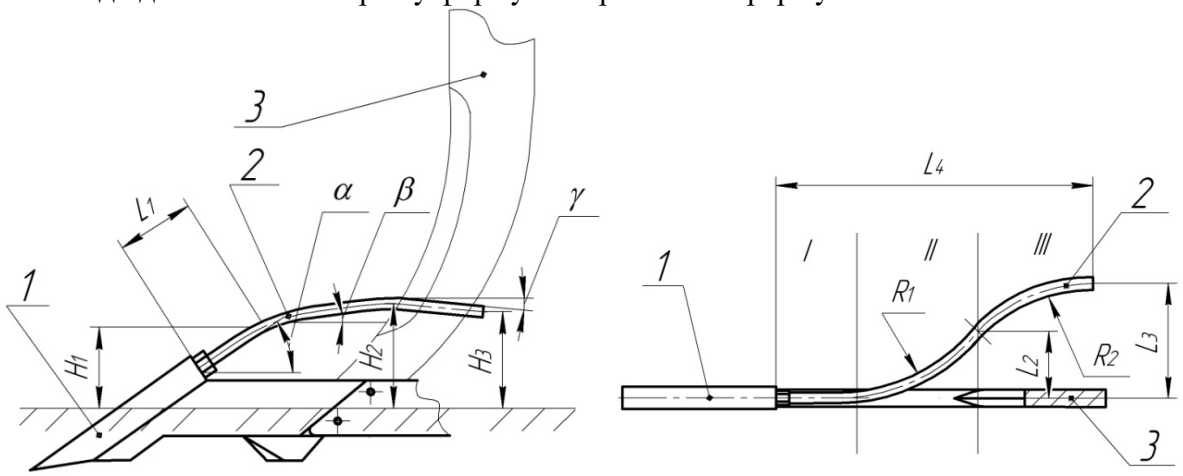
Прийняті допущення справедливі при розгляді руху стебла без врахування неперервності потоку рослинних решток. Неперервність потоку рослинних решток суттєво впливає на характер руху по стеблевідводу, що потребує додаткових досліджень.

Метою даного дослідження є теоретичне обґрунтування руху рослинних решток по стеблевідводу сошника після їх відриву від ґрунту.

© О.Р.Лузан, В.М.Сало, П.Г.Лузан, С.Я. Гончарова, 2012

Виклад основного матеріалу. Розглянемо рух рослинних решток по стеблевідводу сошника (рис. 1) після їх відриву від ґрунту, чи підняття його з поверхні.

Розіб'ємо весь шлях руху на три частини: крутий підйом без відведення, пологий підйом з відведенням, пологий спуск із скиданням. На кожній з цих частин стеблевідвід повинен мати різну форму поперечного перерізу.



1 – долото; 2 – стеблевідвід; 3 – стояк

Рисунок 1 – Схема до визначення основних параметрів сошника

В першій частині відбувається піднімання рослинних решток на висоту трохи більшу за половину їх довжини. Це потрібно для того, щоб рослинні рештки на пологій частині стеблевідводу провисали (були у вертикальному положенні) і при можливому зіткненні з сошником на відвідній частині стеблевідводу могли відхилятися від свого вертикального положення в сторону руху сошника і обминати його. При цьому на підйомній частині бажано скинути як можна більшу кількість рослинних решток в результаті їхнього поперечного руху по відношенню до стеблевідводу. Останнє можливе при малих силах, які протидіють поперечному руху. Основною з них є сила, яка протидіє зміні форми рослинних решток (їхньому випрямленню). Тому потрібно, щоб в процесі відриву від землі рослинні рештки як можна менше прогиналися. А це можливе при малій кривизні тієї частини поперечного перерізу стеблевідводу, яка контактує з рослинними рештками. Одним з варіантів такої форми може бути половина еліпса з більшою горизонтальною піввіссю.

Визначимо максимальний кут α нахилу підйомної частини стеблевідводу, при якому може відбуватися рух рослинних решток. Схема статичних сил, які діють на i-ту рослинну рештку в момент її зупинки показана на рис. 2.

Умовами статичної рівноваги окремих рослинних решток є рівність нулю головного вектора $\overline{\mathbf{R}}_i^{(e)}$ та головного моменту $\overline{\mathbf{M}}_{B_i}^{(e)}$ зовнішніх сил, що діють на стебло:

$$\overline{\mathbf{R}}_i^{(e)} = \overline{\mathbf{F}}_{тр1i} + \overline{\mathbf{F}}_{тр2} + \overline{\mathbf{N}}_{1i} + \overline{\mathbf{N}}_{2i} + \overline{\mathbf{P}} = 0\,; \quad (1)$$

$$\overline{\mathbf{M}}_{B_i}^{(e)} = \overline{\mathbf{B}_i\mathbf{A}_i} \times \overline{\mathbf{F}}_{тр2i} + \overline{\mathbf{B}_i\mathbf{A}_i} \times \overline{\mathbf{N}}_{2i} + \overline{\mathbf{B}_i\mathbf{C}_i} \times \overline{\mathbf{P}} = 0\,, \quad (2)$$

де $\overline{\mathbf{P}} = m\overline{\mathbf{g}}$ – сила ваги рослинної решткі;

m – маса i-тої рослинної решткі;

$\overline{\mathbf{g}}$ – прискорення земного тяжіння;

$\overline{\mathbf{N}}_{1i}, \overline{\mathbf{N}}_{2i}$ – сила реакції, відповідно, землі і стеблевідводу на i-ту рослинну рештку;

$\overline{\mathbf{F}}_{\text{тр1}i}$, $\overline{\mathbf{F}}_{\text{тр2}i}$ – сили тертя при рухові i-тої рослинної решітки, відповідно, по землі та стеблевідводу ($F_{\text{тр1}i} = N_{1i} f_1$, $F_{\text{тр2}i} = N_{2i} f_2$);

f_1, f_2 – коефіцієнти тертя рослинних решток, відповідно, по землі і стеблевідводу.

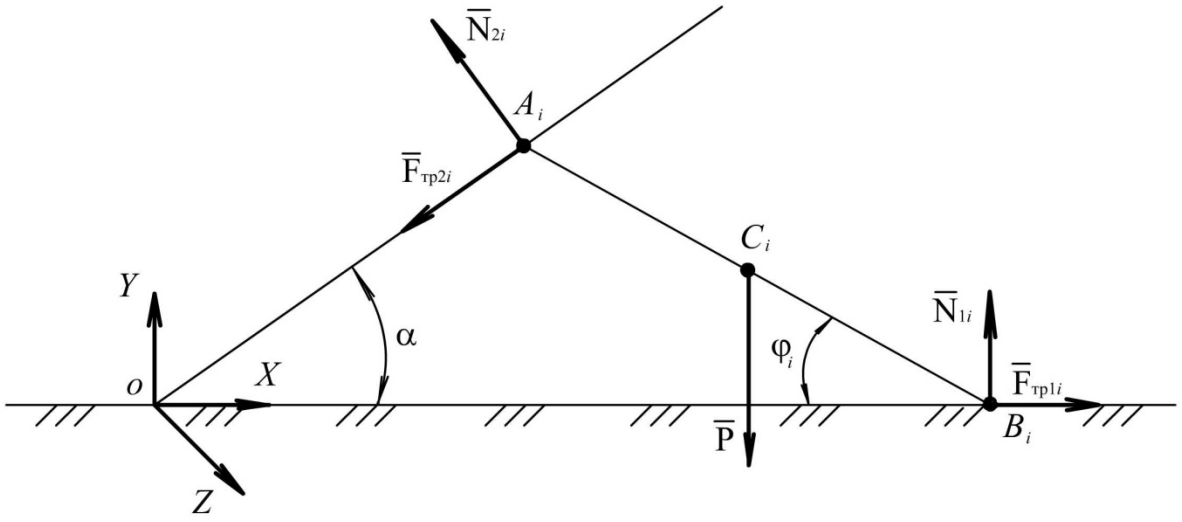
В проекціях на осі декартової системи координат $OXYZ$ рівняння (1) приймає вигляд:

$$N_{1i} f_1 - N_{2i} f_2 \cos\alpha - N_{2i} \sin\alpha = 0, \tag{3}$$

$$- N_{2i} f_2 \sin\alpha + N_{1i} + N_{2i} \cos\alpha - mg = 0. \tag{4}$$

Рівняння (2) можна записати у вигляді:

$$\overline{\mathbf{B}_i \mathbf{A}_i} \times (2\overline{\mathbf{F}}_{\text{тр2}i} + 2\overline{\mathbf{N}}_{2i} + \overline{\mathbf{P}}) = 0. \tag{5}$$



$A_i B_i$ – рослинна решітка; C_i – середина рослинної решітки $A_i B_i$; OA_i – стеблевідвід;

α – кут нахилу стеблевідводу; φ_i – кут нахилу рослинних решток до поверхні ґрунту

Рисунок 2 – Схема дії статичних сил на i-ту рослинну решітку

Нехай стеблевідвід повністю завантажений рослинними решітками і на підйомній частині їх знаходиться n_1, а на пологій – n_2, (рис. 3). Запишемо умову руху неперервного потоку рослинних решток по стеблевідводу. Для цього сила $\overline{\mathbf{F}}$, яка виникає при зіткненні стеблевідводу з черговою рослинною решткою, повинна давати таку складову $(\overline{\mathbf{F}})_{OA}$ направлену вздовж підйомної частини стеблевідводу, яка забезпечує недодатність усіх головних моментів зовнішніх сил $(\overline{\mathbf{M}}_{B_i}^{(e)})_z \le 0$, $/ i = \overline{1, n_1} /$ для рослинних решток, що знаходяться на підйомній частині стеблевідводу, та компенсувала б сили тертя тих з них, що знаходяться на горизонтальній частині стеблевідводу, тобто має виконуватися умова:

$$(\overline{\mathbf{F}})_{OA} \ge \sum_{i=1}^{n_1} F_i + \sum_{i=1}^{n_2} F_{\text{тр2}i}, \tag{6}$$

де F_i, $/ i = \overline{1, n_1} /$ – сила прикладена в точці A_i і направлена вздовж підйомної частини стеблевідводу, при якій головний момент зовнішніх сил i-ої рослинної решітки на підйомній частині рівний нулю;

$F_{\text{тр2}i}$ – сила тертя i-тої рослинної решітки, яка знаходиться на горизонтальній частині стеблевідводу.

Знайдемо сили F_i, $/ i = \overline{1, n_1} /$. Аналогічно рівності (5) запишемо головний момент i-тої рослинної решітки з урахуванням додаткової сили $\overline{\mathbf{F}}$:

$$\overline{\mathbf{M}}_{B_i}^{(e)} = \overline{\mathbf{B}_i\mathbf{A}_i} \times (2\overline{\mathbf{F}}_i + 2\overline{\mathbf{F}}_{\text{тр2}i} + 2\overline{\mathbf{N}}_{2i} + \overline{\mathbf{P}}) < 0, \tag{7}$$

В координатній формі умова (7) має вигляд:

$$-L\cos\varphi_i(2F_i\sin\alpha - 2F_{\text{тр2}i}\sin\alpha + 2N_{2i}\cos\alpha) -$$
$$-L\sin\varphi_i(2F_i\cos\alpha - 2F_{\text{тр2}i}\cos\alpha - 2N_{2i}\sin\alpha - mg) < 0.$$

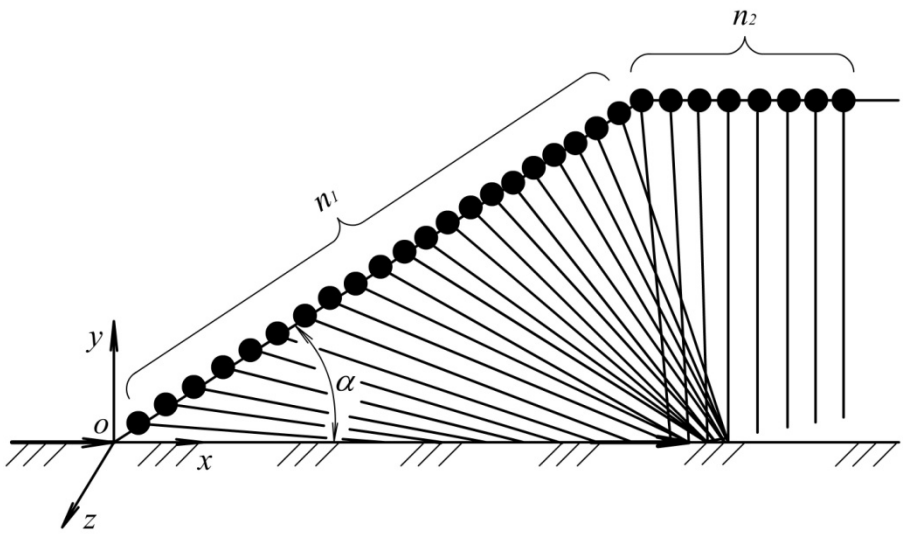


Рисунок 3 – Схема навантаження стеблевідводу рослинними решітками

З останньої рівності отримуємо:

$$F_i > N_{2i}[f_2 - \text{ctg}(\varphi_i + \alpha)] + \frac{mg}{2}\frac{\sin\varphi_i}{\sin(\varphi_i + \alpha)},$$

або враховуючи (4)

$$F_i > \frac{mg}{2}\left(\frac{2f_1[f_2 - \text{ctg}(\varphi_i + \alpha)]}{(f_1 + f_2)\cos\alpha + (1 - f_1 f_2)\sin\alpha} + \frac{\sin\varphi_i}{\sin(\varphi_i + \alpha)}\right). \tag{8}$$

Функція $F_i(\alpha_i)$ є зростаючою функцію свого аргументу, так як

$$\frac{dF_i(\varphi_i)}{d\varphi_i} = \frac{1}{\sin^2(\varphi_i + \alpha)}\left(\frac{2f_1}{(f_1 + f_2)\cos\alpha + (1 - f_1 f_2)\sin\alpha} + \sin\alpha\right) > 0. \tag{9}$$

Знайдемо кількість рослинних решток на похилій та горизонтальній частинах стеблевідводу і залежність кута φ_i від індексу i – порядкового номера рослинної решітки. Нехай усереднена товщина рослинних решток рівна d, а довжина горизонтальної частини стеблевідводу S, тоді кількість рослинних решток на похилій та горизонтальній частинах стеблевідводу відповідно рівна:

$$n_1 = \frac{L}{d\sin\alpha}, \quad n_2 = \frac{S}{d}. \tag{10}$$

За теоремою синусів для трикутника OA_iB_i маємо:

$$\frac{id}{\sin\varphi_i} = \frac{L}{\sin\alpha}$$

і

$$\alpha_i = \arcsin\left(\frac{id}{L}\sin\beta\right). \quad (11)$$

Проекція $(\overline{\mathbf{F}})_{OA}$ рівна:

$$(\overline{\mathbf{F}})_{OA} = \left|\overline{\mathbf{F}}\right|(\cos\beta - f_2\sin\beta). \quad (12)$$

Таким чином враховуючи (6), (8), (10), (12) і те, що на горизонтальній пологій частині стеблевідводу $F_{\text{тр}2i} \approx f_2 mg$, отримуємо умову руху неперервного потоку рослинних решток по стеблевідводу:

$$\frac{2\left|\overline{\mathbf{F}}\right|}{mg}(\cos\alpha - f_2\sin\alpha) - \sum_{i=1}^{n_1}\left(\frac{2f_1[f_2 - \operatorname{ctg}(\varphi_i + \alpha)]}{(f_1 + f_2)\cos\alpha + (1 - f_1 f_2)\sin\alpha} + \frac{\sin\varphi_i}{\sin(\varphi_i + \alpha)}\right) - \frac{2S}{d}f_2 \geq 0. \quad (13)$$

На другій частині стеблевідводу вирішується задача відведення рослинних решток від стояка сошника. При цьому потрібно, щоб рослинні рештки не зійшли з нього на поворотній частині при появі відцентрової сили. Останню можна компенсувати збільшенням поперечної сили тертя, тобто надати стеблевідводу або еліптичної форми з вертикальною великою піввіссю або трикутноподібної форми з гострим верхнім кінцем і вертикальною гранню на зовнішній частині зігнутого стеблевідводу.

В третій частині вирішується задача протилежна до другого етапу, тому тут форма поперечного перерізу стеблевідводу, повинна бути симетричною до попереднього перерізу відносно вертикальною осі. Якщо рослинна рештка не зійшла з стеблевідводу при підйомі, то після виходу на горизонтальну гостроподібну частину, тобто при збільшенні поперечної сили опору стеблевідводу вона тим більше не зійде. Будемо вважати, що до виходу рослинної решткі на гостроподібну частину стеблевідводу запас сили протидії поперечному її руху рівний нулю. Тоді, для відсутності в подальшому поперечного руху рослинних решток, відцентрова сила повинна бути не більшою нової сили протидійної поперечному руху. Так як вважається, що обвисання рослинних решток однакові по обидві сторони від стеблевідводу, то відцентрові сили від цих частин будуть компенсувати одна одну. Поперечний рух рослинної решткі може відбутися тільки в результаті звалювання її основної верхньої частини. Отже, умовою утримання рослинної решткі на стеблевідводі є:

$$m_{\text{в}}\frac{v^2}{R} < \Delta\overline{F}_{\text{тр}},$$

де $\Delta\overline{F}_{\text{тр}} = (f_{2\text{н}} - f_{2\text{ст}})\overline{N}, \overline{N} = mg$, $f_{2\text{н}}$ – новий (посилений) коефіцієнт тертя при поперечному рослинних решток по стеблевідводу;

$m_{\text{в}}$ – маса верхньої частин рослинної решткі (кореневої системи).

Отже,

$$R > \frac{\rho^2 V_c^{\,2}}{(f_{2\text{н}} - f_2)g}\frac{m_{\text{в}}}{m}. \quad (14)$$

При цьому рослинні рештки повинні проходити на безпечній відстані від сошника, яка рівна половині усередненого розміру рослинних решток при їх знаходженні на стеблевідводі (в кореневої системи це розмір її серцевини, в надземних – поперечний розмір при усередненo згині. Якщо вищезгаданого не виконати, то рослинні рештки заклинить між сошником і стеблевідводом.

Так як рослинні рештки на стеблевідводі вертикально провисають, то під час руху посівної секції вони будуть розвертатися дугою в сторону проти руху стеблевідводу, тобто кут обхвату буде зменшуватися.

Висновки. На створення сприятливих умов неперервного потоку руху рослинних решток по стеблевідводу впливає як його геометрична форма, так і форма його поперечного перерізу в різних частинах.

В подальших дослідженнях необхідно визначити взаємне розташування стояка сошника посівної секції та стеблевідводу, щоб виключити умови заклинення рослинних решток між ними.

Список літератури

1. Про стимулювання розвитку вітчизняного машинобудування для агропромислового комплексу [Електронний ресурс]: закон України від 7 лютого 2002 року N 3023-III.- Режим доступу: http://zakon.nau.ua/doc/?code=3023-14.
2. Гриссо Р. Сошники и диски – пехотинцы посевной [Електронний ресурс] / Р. Бобби, Д. Хольсхаузер, Р. Питмен // Зерно.- 2011.- №9.- С. 142–148.- Режим доступу до журн.: http://zerno-ua.com.
3. Сало В.М. Вибір напрямів вдосконалення сошників сівалок прямого посіву зернових культур / В.М. Сало, О.Р. Лузан // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин.– Кіровоград: КНТУ, 2010, Вип. 40, Част. II.– С. 271-277.
4. Пат. 63438 Україна, МПК A01C 7/20 (2006.01) Посівна секція сівалки прямого посіву / Сало В.М., Лузан П.Г., Шмат С.І., Лузан О.Р., Гончаров В.В.; заявник і патентовласник Кіровоград. нац. техн. ун-т.- № u2011 02758; заявл. 09.03.2011; опубл. 10.10.2011, Бюл. №19.
5. Сало В.М. Обґрунтування форми стеблепідіймача сошника для прямої сівби зернових культур / В.М. Сало, О.Р. Лузан, С.Я. Гончарова, П.Г. Лузан // Сільськогосподарські машини: Зб. наук. ст.- Луцьк: Ред.-вид. відділ ЛНТУ, 2011.- Вип. 21.- Том II.- С. 64-74.
6. Лузан О.Р. Дослідження руху рослинних решток по горизонтальній частині стеблевідводу сошника / О.Р. Лузан, В.М. Сало, В.В. Гончаров, П.Г. Лузан // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Зб. наук. праць.- Кіровоград: КНТУ, 2011.- Вип. 41, (Частина II). С. 49–55.

Е. Лузан, В. Сало, П. Лузан, С. Гончарова

Определение условия движения непрерывного потока растительных остатков по стеблеотводу сошника

В статье проведен теоретический анализ условий движения непрерывного потока растительных остатков по стеблеотводу сошника для прямого посева зерновых культур. Получены зависимости для определения благоприятных условий движения растительных остатков по горизонтальной поверхности стеблеотвода и условий удержания растительных остатков на нем.

E. Luzan, V. Salo, P. Luzan, S. Goncharova

Determining the conditions of motion of a continuous flow of crop residues on the opener device for removing the stems

In this paper a theoretical analysis of the traffic conditions of continuous flow of crop residue on the device for removing stalks opener for direct sowing of grain crops. The dependencies for the determination of favorable traffic conditions of plant residues on the horizontal surface of the device for removing the stems and conditions of retention of crop residues on it.

Одержано 17.04.12

УДК 631.361.022

С.А. Родимцев, проф., д-р техн. наук, Н.А. Потапов, асп.
Орловский государственный аграрный университет

Технические решения проблемы травмирования семян при обмолоте

Произведен обзор существующих молотильно-сепарирующих устройств, выявлены их недостатки и предложены технологические приемы, обеспечивающие снижение травмирования семян.
травмирование семян, обмолот, снижение травмирования, повреждения семян, молотильно-сепарирующее устройство

Повреждения семян рабочими органами молотильно-сепарирующих устройств (МСУ), достигают 70…80% от общего количества травмированных семян [1]. При этом вследствие больших сил инерции, значительным повреждениям подвержены, в первую очередь, наиболее крупные, биологически ценные семена, что существенно снижает их посевные и технологические свойства.

Уменьшения количества механических повреждений, особенно для биологически ценных семян, можно добиться, обеспечив силовое воздействие $P_{мех}$ на хлебную массу в пределах, достаточных для преодоления усилий связи $P_{вым}$ семян с плодоэлементом, но исключающих травмирование семян при превышении критической нагрузки $P_{др}$:

$$P_{вым} < P_{мех} < P_{др} . \quad (1)$$

Однако существующие технологии обмолота с использованием наиболее широко распространенных однобарабанных молотильных аппаратов рассчитаны на вымолот семян, имеющих наибольшие усилия связи с плодоэлементом. Это приводит к повышению травмирования, особенно хорошо выполненных, зрелых и крупных семян, расположенных в определенных зонах растения и плодоэлемента. Так, например, на вымолот более спелых зерен из нижних зон растения зернобобовых культур тратятся усилия в два раза больше, чем это необходимо [2].

Механическое повреждение зерна в молотильном аппарате происходит главным образом вследствие удара била по хлебной массе. Сила этого удара зависит от окружной скорости барабана, уменьшение которой резко снижает травмирование семян.

Одним из технологических приемов, обеспечивающих снижение травмирования семян является дифференцированный обмолот, предусматривающий постепенно нарастающее во времени силовое воздействие на хлебную массу, со стороны рабочих элементов МСУ. При таком режиме обмолота, вначале, при слабом воздействии, выделяются более выполненные, биологически ценные семена, имеющие меньшие усилия связи с цветоложем. При максимальном силовом воздействии со стороны рабочих органов, вымолачиваются наиболее крепко связанные с цветоложем несозревшие семена. Прием обмолота, с постепенно нарастающим энергетическим воздействием наиболее полно отвечает неоднородности связей зерна с плодоэлементом и механической прочности зерновок.

© С.А. Родимцев, Н.А. Потапов, 2012

Еще более актуальна проблема травмирования семян при обмолоте в селекционно семеноводческом процессе. Известно, что ценным и неповторимым здесь, часто, является каждое отдельное зерно. Однако обмолот хлебной массы с селекционных питомников III-IV этапов и в первичном семеноводстве зерновых, зернобобовых и крупяных культур, происходит практически без учета ее свойств. Как правило, селекционные молотилки настраиваются на более “мягкие” технологические режимы. При этом могут использоваться обмолачивающие элементы в виде арочных зубьев или эластичных бичей (рис. 1). Однако это не решает проблему в принципе, так как силовое воздействие на хлебную массу остается постоянным на всем протяжении молотильного зазора. Селекционный КС-1,2 и селекционно-семеноводческий КСС-1,8 комбайны, а также перспективный селекционный зерноуборочный комбайн КЗС-1,5, разработанный ВИМ, оборудованы классическим бильным МСУ и системой сепарации, не предусматривающими дифференцированное воздействие на хлебную массу. Параллельное, относительно образующей барабана, размещение бичей в таком молотильном устройстве, предопределяет нанесение ударов по непрерывно поступающему материалу, одновременно всей длинной обмолачивающего элемента. При этом, воздействие барабана на хлебную массу носит периодический характер, что является причиной работы его с большей неравномерностью вращения, особенно при повышенных подачах и “мягких” режимах работы. Кроме того, применение рабочих элементов стандартного профиля (наличие рифов) отрицательно сказывается на качестве получаемых семян. Это в первую очередь относится к таким легкоповреждаемым культурам, как зернобобовые и крупяные.

Рисунок 1- Молотилка МСУ-1, оборудованная барабаном с эластичными бичами

Техническое решение, реализующее принцип дифференцированного обмолота, наиболее осуществимо в применении к МСУ, с технологической схемой аксиального (тангенциально-аксиального) типа. Такие устройства обеспечивают последовательное увеличение интенсивности взаимодействия обмолачивающих элементов с хлебной массой в однобарабанных МСУ (секционные молотильные барабаны или барабаны в форме однополосного гиперболоида вращения, применение комбинированных рабочих органов и т.д.) [3]. При этом, как и в роторных молотильных устройствах, время пребывания хлебной массы в молотильном зазоре и количество воздействий на нее в 4…10 раз больше, чем в классических МСУ. Это позволяет обмолачивать хлебную массу при меньшей окружной скорости барабана, преимущественно за счет вытирания. Дробление семян при этом, снижается в 1,2…4,0 раза, травмирование – на 14,0…36,8%. Немаловажным фактором здесь, является увеличение активной зоны сепарации, что достигается интенсификацией “растаскивания” хлебной массы по всей ширине молотильного устройства. Последнее способствует быстрому выводу свободных (вымолоченных) семян за пределы молотильного устройства и снижает вероятность повторного

воздействия на них со стороны рабочих органов. Снижение количества повторных ударных воздействий уменьшает пропорциональное этому количеству число травмированных семян.

В работах Вишнякова А.С. [4], Плохова Ф.Г. [5], Рыбалко А.Г. [6], Серого Г.Ф. [7], Тарасенко А.П. [1], Jech J. [8], и др. отмечается зависимость между вызывающей травмирование семян величиной критической угловой скорости обмолачивающего элемента и углом его установки.

Так, в работе [9] показано, что критическая окружная скорость молотильного барабана, вызывающая травмирование семян, снижается с увеличением угла α установки обмолачивающих элементов:

$$U = P\tau\left(m(1+k)\cos\alpha\sqrt{1-f}\right)^{-1}, \text{ м.с}^{-1} \quad (2)$$

где P – величина приложенной нагрузки, Н;

τ - продолжительность силового воздействия, сек.;

m – масса зерна, г;

k – коэффициент пропорциональности;

f – коэффициент трения.

Установка обмолачивающих элементов под углом к образующей барабана обеспечивает также увеличение времени обмолота и интенсификацию сепарирующего действия МСУ. Если скорость движения потока обмолачиваемого материала $u_{ст}$ направлена под углом $\beta_{ст}$ к оси подачи, то продолжительность их движения в молотильном пространстве определяется выражением [4]:

$$t = l_{д}(u_{ст}\cos\beta_{ст})^{-1}, \text{ сек.} \quad (3)$$

где $l_{д}$ - длина развертки деки, м.

Изменение показателя растаскивающей способности кособичевого барабана, влияющая на интенсивность сепарации определяется формулой [9]:

$$\nu = M\cos^2\alpha + N\sin\alpha\cos\alpha + P\cos\alpha, \quad (4)$$

где M, N, P – характеристики, определяющие конструктивное исполнение и технологические режимы работы МСУ.

Теоретически установлено [1], что упругая сила, возникающая при соударении зерна с рабочими органами, зависит от скорости соударения и угла между вектором скорости и нормалью к поверхности в точке соударения. Следовательно, установка обмолачивающих элементов под некоторым углом к образующей барабана обеспечивает “косой” или “скользящий” удар по зерну и снижает влияние скорости рабочих органов на величину травмирования семян. Определена зависимость процента травмирования семян от скорости и положения ударной поверхности:

$$П = e^{-c(Vmax-V\cos\beta)} \times 100, \quad (5)$$

где V_{max} – максимальная скорость соударения, при которой разрушается 100% семян;

V – скорость соударения;

β – угол между векторами скорости и нормалью к поверхности в точке соударения;

c – коэффициент, зависящий от прочностных свойств семян.

Исходя из данных теоретических предпосылок, одним из путей решения задач, связанных с повышением качества получаемых семян может служить выполнение обмолачивающих элементов в форме пластин, расположенных на цилиндре барабана по винтовым линиям [2]. В этом случае, благодаря «косому удару», резко снижается травмирование зерна, благодаря снижению нормальной составляющей усилия, действующего на зерно со стороны рабочих органов и отсутствию рифов на поверхности обмолачивающих элементов. Кроме того, появляются предпосылки для интенсификации

перемещения элементов хлебной массы на решетчатой деке, что обеспечивает улучшению сепарирующей способности молотильно-сепарирующего устройства. Подобные молотильные устройства [10,11] известны в мировой практике и успешно используются при обмолоте зеленого горошка, а также риса и некоторых зернобобовых культур в селекции и первичном семеноводстве (рис. 2).

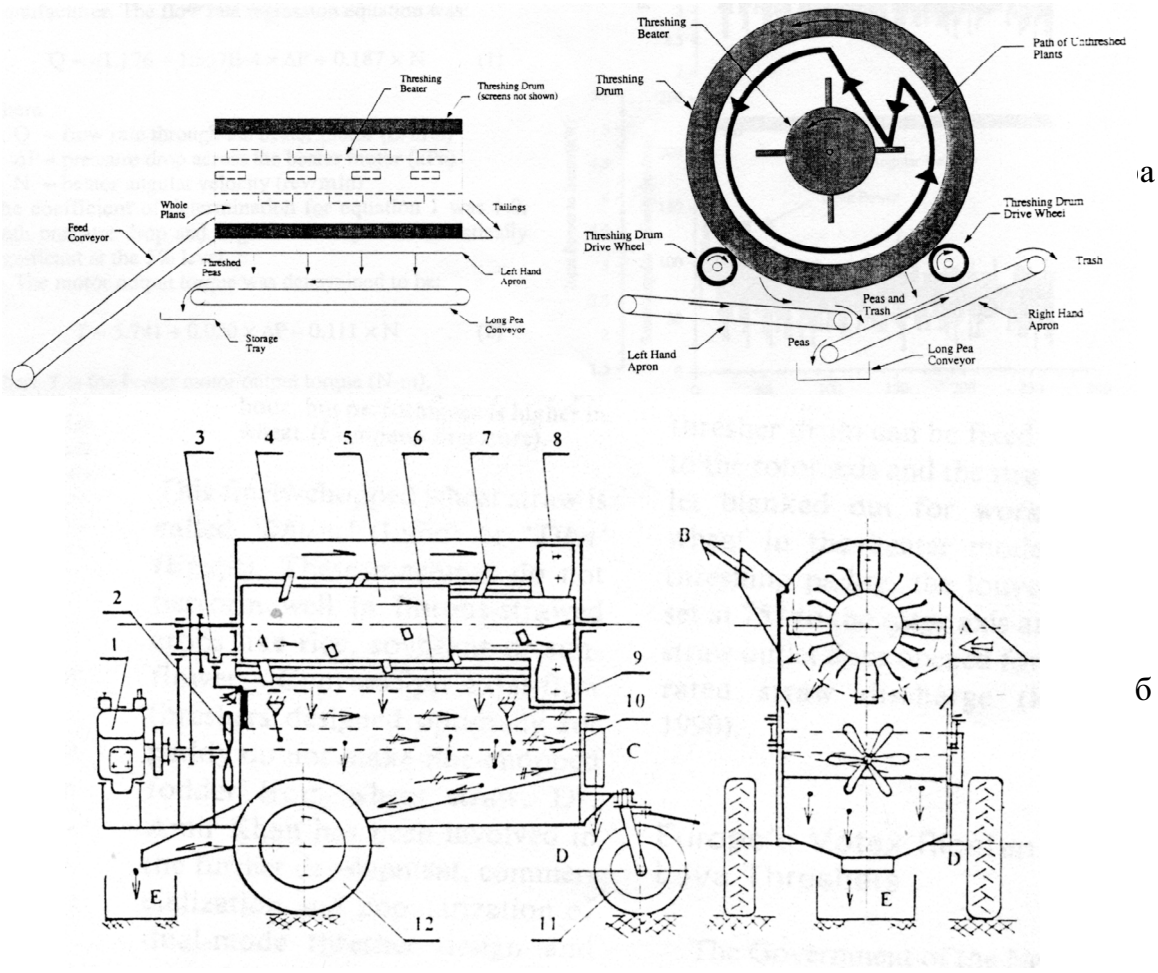


Рисунок 2- Технологическая схема комбайна FMC 011-LV для уборки зеленого горошка и фасоли (а) и аксиально-поточная роторная малогабаритная молотилка (Вьетнам) (б)

Немалый резерв повышения эффективности процесса обмолота заложен в использовании МСУ конического типа. Подобные молотильные устройства известны достаточно давно. Так, в период 1896-1917 гг, французским заводом “Soc. Françoise” производилась конусная клеверная молотилка-терка (рис 3).

Позже, попытки создания конического МСУ с аксиальной подачей хлебной массы были воплощены в коническом молотильном устройстве для обмолота риса [11] (рис. 4). Также предлагались различные варианты конструктивного исполнения молотильного барабана в форме усеченного конуса для малогабаритных молотилок. [12] Следует отметить, что использование конического МСУ обеспечивает также и улучшение условий сепарации зерна в начальных зонах деки, а следовательно, повышает вероятность фракционного разделения зернового вороха уже на стадии обмолота.

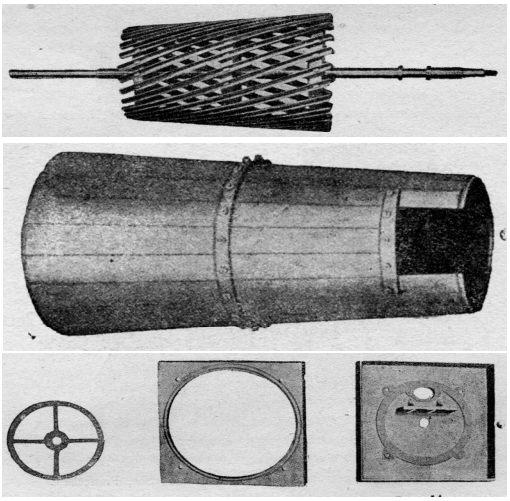


Рисунок 3 - Конусная терочная клеверная молотилка завода “Soc. Françoise”, \Франция, 1913 г

Рисунок 4 - Коническое молотильное устройство для обмолота риса

Такая технология может быть особенно актуальна в применение к работам по отбору селекционного материала и выведению новых сортов, обладающих определенными свойствами.

Таким образом, резко снизить механические повреждения семян, особенно биологически ценных, возможно используя дифференцированный обмолот и зональную сепарацию, при “щадящем” режиме воздействия обмолачивающих элементов МСУ на хлебную массу, и обеспечением большей подвижности пространственной соломистой решетки. Данным условиям работы более всего отвечает МСУ конического типа с аксиальной (тангенциально-аксиальной) схемой подачи хлебной массы и рабочими органами шнеко-лопастного типа.

Список литературы

1. Тарасенко А.П**.** Снижение травмирования семян при уборке и послеуборочной обработке. – Воронеж, 2003, 331с.;
2. Дринча В.М. Снижение травмирования зерна при обмолоте [Текст] / В.М. Дринча, С.А. Родимцев // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2004. - №10. – С. 38-40. - ISSN 0235-8573;
3. Зайцев А.А. Влияние угла наклона ударной поверхности бичей на качественные показатели обмолота [Текст] / А.А. Зайцев, А.А. Зайцев // Комплексная механизация и автоматизация сельскохозяйственного производства : сб. науч. тр. / Ростов-на-Дону, 1992. – С.62-65;
4. Вишняков, А.С. Исследование влияния размещения бичей и положения их рифов на качественные и энергтические показатели работы молотильных аппаратов при двухфазном обмолоте [Текст] / А.С. Вишняков // Автореф. к.т.н. – Челябинск, 1974. – 22с;
5. Плохов Ф.Г. Скоростной режим молотковых дробилок / Ф.Г. Плохов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1966. - №9. – С.38-40;
6. Рыбалко А.Г. Обоснование молотильных и сепарирующих устройств зерноуборочных комбайнов для уборки семян [Текст] /А.Г. Рыбалко // Автореферат диссертации на соискание ученой степени д.т.н. 05.20.01. – Саратов, 1997. – 80с.
7. Серый Г.Ф. Научные основы повышения пропускной способности зерноуборочных комбайнов / Г.Ф. Серый // Диссертация на соискание ученой степени д.т.н. / Москва, 1977. – 362с;
8. Jech J. Savremena poljoprivredna tehnika. The effect of design concept of combine harvester threshing mechanism on the maize crop threshing quality. / Jech J, Ponican J, Angelovich M, Zitnak, M, Galambosova, J, Findura, P. / 2009. – vol 35(4) p. C.268-274;
9. Егоров В.Г. Исследование процесса обмолота хлебной массы молотильным устройством с барабаном, имеющим V-образное расположение бичей [Текст] / В.Г. Егоров // Автореферат на соискание ученой степени к.т.н. – Москва, 1971. – 22с;
10. Glancey, J.L., Kee W.E., Icenogle B.A., Posles B.C. A stationary threshing machine for green peas and lima beans / Applied Eng. In Agriculture, Vol. 12(4): pp.435-440;

11. Allen, C.A.W., Watts K.C. Desine of a belt thresher for cowpea beans / Agricultural Mechanization in Asia, Africa And Latin America. – 1998. – Vol.29. - №3. – pp.42-54
12. Пат. 2302099 Российская Федерация, МПК[7] A01F 12/18, 12/20, 7/06. Молотильно-сепарирующее устройство [Текст] / Родимцев С.А.: заявитель и патентообладатель Орловский Гос. Аграрный ун-т. - №2006101278/12; заявл. 16.01.2006; опубл. 10.07.2007, Бюл. №19. – 5с.: ил.

С. Родимцев, Н. Потапов
Технічні рішення проблеми травмування насіння при обмолоті

Зроблено огляд існуючих молотильно-сепаруючих пристроїв, виявлені недоліки та запропоновано технологічні прийоми, що забезпечують зниження травмування насіння.

S. Rodimtsev, N. Potapov
Technical solution to the problem of injuries in threshing seed

Reviewed the existing threshing-separating devices, identified gaps and proposed processing methods to ensure the reduction of injury to the seed.

Получено 29.10.11

УДК 631.172:633.521

А.С. Лімонт, доц., канд. техн. наук
Житомирський національний агроекологічний університет

Технічне забезпечення збирання льонотрести

Наведена методика розрахунків з визначення потреби в навантажувачах рулонів льонотрести та транспортних засобах їх перевезення до льонопереробних підприємств.
льон-довгунець, треста, збирання, навантажування, транспортування, механізація

Постановка проблеми. У виробництві льону-довгунця, що повинно вийти з кризового стану, одне з важливих місць, які визначають валові збори волокна та його якісні показники, належить приготуванню та транспортуванню трести. Тепер найменш енергозатратним є приготування трести росяним мочінням, технологічний ланцюг операцій якого, що здійснюється на лляному полі, завершується транспортуванням сировини до переробних пунктів чи місць зберігання. У пропонованому повідомленні передбачено висвітлити деякі з питань проблеми механізованого виробництва льонотрести, впровадження яких у практику вирощування і збирання льону-довгунця сприятиме відродженню льонарської галузі.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. За комбайнової технології збирання льону-довгунця агрегатом у складі трактора класу 1,4 і комбайна ЛК-4Т (ЛК-4А) на полі розстеляють стрічку льоносоломи для перетворення її в тресту. Власне процес перетворення соломи в тресту називають її приготуванням (вилежуванням). Приготування трести сопроводжується здійсненням таких операцій як [5, 8]: відривання стрічки від поверхні ґрунту та її ворушіння, обертання стрічок та їх подвоювання чи потроювання. В Україні опрацьована технічна документація на виготовлення машин, що механізують зазначені операції, виготовлені зразки машин і

© А.С. Лімонт, 2012

11. Allen, C.A.W., Watts K.C. Desine of a belt thresher for cowpea beans / Agricultural Mechanization in Asia, Africa And Latin America. – 1998. – Vol.29. - №3. – pp.42-54
12. Пат. 2302099 Российская Федерация, МПК[7] A01F 12/18, 12/20, 7/06. Молотильно-сепарирующее устройство [Текст] / Родимцев С.А.: заявитель и патентообладатель Орловский Гос. Аграрный ун-т. - №2006101278/12; заявл. 16.01.2006; опубл. 10.07.2007, Бюл. №19. – 5с.: ил.

С. Родимцев, Н. Потапов
Технічні рішення проблеми травмування насіння при обмолоті

Зроблено огляд існуючих молотильно-сепаруючих пристроїв, виявлені недоліки та запропоновано технологічні прийоми, що забезпечують зниження травмування насіння.

S. Rodimtsev, N. Potapov
Technical solution to the problem of injuries in threshing seed

Reviewed the existing threshing-separating devices, identified gaps and proposed processing methods to ensure the reduction of injury to the seed.

Получено 29.10.11

УДК 631.172:633.521

А.С. Лімонт, доц., канд. техн. наук
Житомирський національний агроекологічний університет

Технічне забезпечення збирання льонотрести

Наведена методика розрахунків з визначення потреби в навантажувачах рулонів льонотрести та транспортних засобах їх перевезення до льонопереробних підприємств.
льон-довгунець, треста, збирання, навантажування, транспортування, механізація

Постановка проблеми. У виробництві льону-довгунця, що повинно вийти з кризового стану, одне з важливих місць, які визначають валові збори волокна та його якісні показники, належить приготуванню та транспортуванню трести. Тепер найменш енергозатратним є приготування трести росяним мочінням, технологічний ланцюг операцій якого, що здійснюється на лляному полі, завершується транспортуванням сировини до переробних пунктів чи місць зберігання. У пропонованому повідомленні передбачено висвітлити деякі з питань проблеми механізованого виробництва льонотрести, впровадження яких у практику вирощування і збирання льону-довгунця сприятиме відродженню льонарської галузі.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. За комбайнової технології збирання льону-довгунця агрегатом у складі трактора класу 1,4 і комбайна ЛК-4Т (ЛК-4А) на полі розстеляють стрічку льоносоломи для перетворення її в тресту. Власне процес перетворення соломи в тресту називають її приготуванням (вилежуванням). Приготування трести сопроводжується здійсненням таких операцій як [5, 8]: відривання стрічки від поверхні ґрунту та її ворушіння, обертання стрічок та їх подвоювання чи потроювання. В Україні опрацьована технічна документація на виготовлення машин, що механізують зазначені операції, виготовлені зразки машин і

© А.С. Лімонт, 2012

здійснене їх випробування. Вилежану тресту піднімають, формуючи відповідні її упаковки, що уможливлюють застосування засобів механізації на навантажуванні, транспортуванні і розвантажуванні трести.

Найбільш перспективними упаковками трести є рулони і технологію збирання льоносировини називають рулонною. Для реалізації машинного збирання трести за умови забезпечення льоновиробників відповідними засобами механізації слід визначити їх потребу, що уможливила б потоковість і ритмічність збирального процесу. Отже, в технологічному процесі збирання трести крім трудових ресурсів мають бути задіяні рулонні прес-підбирачі, засоби навантажування рулонів в транспортні засоби та власне транспортні засоби для транспортування рулонів до льонопереробних пунктів чи місць зберігання трести. У працях [1, 10, 16] визначено, що процес піднімання і транспортування трести є досить трудомістким і таким, який вимагає значної потреби в транспортних засобах.

На підніманні трести і формуванні її рулонів використовують прес-підбирачі з пресувальними камерами змінного (ПР-1,2Л; ПР-1,2Л; ПРП-1,6; ПРП-1,6М) та сталого (ППР-110) об'ємів [5, 21]. Навантажування рулонів здійснюють фронтальним навантажувачем ПФ-0,5 з пристроєм ППЛ-0,5. Дослідженнями [11, 12] прогнозована продуктивність навантажувача трести, що повинна бути не менша 10 т/год. За такої продуктивності навантажувача значно знижуються затрати праці на навантажування трести в розрахунку на одиницю зібраної площі, мінімізуються енергомісткість навантажування трести, а підвищення продуктивності тракторно-транспортних засобів на перевезенні трести сягає відповідного «насичення».

Прогнозована продуктивність навантажувача трести до деякої міри збігається з розробками кол. НДІ с. г. Нечорноземної зони УРСР (тепер Інститут сільського господарства Полісся НААНУ) [19]. З використанням створеного в колективі начіпного навантажувача упаковок трести впродовж 6…7 хв з урахуванням переїздів по полю здійснювали навантажування однієї упаковки в транспортний засіб. Зважівши, що маса упаковки змінювалася в межах 1…1,3 т, продуктивність навантажувача становила 10…11 т/год.

На перевезенні рулонів трести використовують вантажні автомобілі і тракторно-транспортні засоби [21]. З'ясовано [14], що використання тракторних самоскидних причепів вантажопідйомністю понад 10 т має бути обмеженим при організації перевезень льонотрести. Опосередкованим підтвердженням обмеження використання на перевезенні трести причепів вказаної вантажопідйомності є створення свого часу для транспортування упаковок льоносировини тракторного причепа вантажопідйомністю 8 т [19].

Розрахунок потреби в засобах механізації, що уможливлюють виконання операцій із збирання трести, здійснюють за відомих обсягів робіт та тривалостей їх виконання. Проте вихідні дані, що пов'язані із визначенням обсягів підбирально-вантажно-транспортних робіт та агротехнічних термінів їх виконання вимагають подальших досліджень. Вимагають конкретизації і розрахункові залежності із визначення потреби в прес-підбирачах трести, навантажувачах і транспортних засобах транспортування трести з поля до переробних пунктів.

Мета дослідження полягала в уточненні визначення вихідних даних щодо розрахунків потреби в засобах механізації збирання і транспортування трести та опрацюванні методики цих розрахунків. *Завдання досліджень*: 1) узагальнити розрахункові залежності для визначення потреби у вантажно-транспортних засобах, що забезпечують потоковість збирання трести; 2) вивчити урожайність соломи у виробничих умовах вирощування льону-довгунця і за даними наукових досліджень та значення коефіцієнта виходу трести із соломи; 3) дослідити розподіли числа днів та

швидкості піднімання трести у виробничих умовах льоносіючих підприємств; 4) зпрогнозувати розмір посівних площ льону-довгунця в умовах відродження його виробництва та оцінити вплив розмірів посівних площ і швидкості піднімання трести на тривалість її збирання; 5) проаналізувати змінні норми наробітку і продуктивності машинних агрегатів на підніманні трести та вказати на передбачувану тривалість її збирання; 6) дати рекомендації виробникам льону-довгунця щодо складу підбирально-вантажно-транспортного комплексу для уможливлення механізованого збирання льонотрести.

Об'єкт та методика дослідження. Об'єктом дослідження був технологічний процес збирання трести, що поєднував операції піднімання і формування рулонів трести, навантажування рулонів в транспортні засоби та транспортування рулонів до льонопереробних пунктів. Методика досліджень з проектування технологічного процесу збирання трести полягала в застосуванні розрахункових залежностей, що визначають взаємозв'язки споживчих параметрів прес-підбирачів, навантажувачів і транспортних засобів з показниками підбирально-вантажно-транспортного процесу збирання трести, які забезпечують потоковість та ритмічність виробництва. Тут використані напрацювання І.І. Батіщева, В.І. Воркута та С.М. Хробостова.

Урожайність соломи у виробничих умовах вирощування льону-довгунця визначали в період дослідження роботи льонозбиральних комбайнових агрегатів. Урожайність соломи за даними наукових досліджень визначали шляхом опрацювання літературних джерел з оцінювання агротехнічних прийомів і заходів вирощування льону-довгунця. Коефіцієнт виходу трести із соломи $k_{тс}$ визначали за літературними даними з використанням формули:

$$k_{тс} = U_{лт}/U_{лс} \ , \qquad (1)$$

де $U_{лт}$ і $U_{лс}$ – урожайність відповідно трести і соломи льону-довгунця, ц/га.

Число днів і швидкість піднімання трести у виробничих умовах визначали шляхом опрацювання форм статистичної звітності підприємств № 7-сг «Звіт про хід збирання врожаю та виконання інших літньо-осінніх робіт» і матеріалів первинного обліку виконання механізованих робіт. Прогнозування розміру посівних площ льону-довгунця в умовах відродження льонарства здійснено на підставі проведених раніше досліджень та вивчення характеру зміни числа днів піднімання трести залежно від посівної площі льону-довгунця.

Продуктивність машинних агрегатів у складі з прес-підбирачами трести вивчали за Типовими нормами продуктивності і результатами науково-дослідних робіт, а тривалість піднімання трести прогнозували за характером зміни процентономера тіпаного довгого волокна залежно від числа днів тривалості вилежування трести. При цьому враховували нормативні тривалості сівби [7] та брання льону-довгунця і розстилання соломи [4] при комбайновому способі збирання.

Обробка експериментальних даних та кореляційно-регресійний аналіз досліджуваних парних зв'язків здійснені з використанням літературних джерел [3, 6, 18] та стандартних комп'ютерних програм.

Склад підбирально-вантажно-транспортного комплексу збирання трести визначено стосовно середніх значень посівної площі льону-довгунця та урожайності льоносировини.

Результати дослідження. При проектуванні організації збирання трести потребу в навантажувачах рулонів $n_{нав}$ розраховують за такими залежностями:

– за добовим обсягом вантажних робіт і перевезень

$$n_{нав} = Q_{доб}/\left(T_{доб} \cdot W_{нав}\right); \qquad (2)$$

– за кількістю рейсів транспортного засобу (ТЗ) впродовж зміни

$$n_{\text{нав}} = \left(n_{\text{тз}} \cdot q_{\text{н}} \cdot \gamma_{\text{с}} \cdot h_{\text{р}}\right) / \left(T_{\text{доб}} \cdot W_{\text{нав}}\right); \quad (3)$$

– за відстанню перевезень трести і технічною швидкістю ТЗ

$$n_{\text{нав}} = \left(n_{\text{тз}} \cdot \beta \cdot v_{\text{тех}} \cdot q_{\text{н}} \cdot \gamma_{\text{с}} \cdot t_{\text{т}}\right) / \left(l_{\text{в}} + \beta \cdot v_{\text{тех}} \cdot t_{\text{нр}}\right); \quad (4)$$

– за тривалістю рейсу ТЗ

$$n_{\text{нав}} = \left(n_{\text{тз}} \cdot q_{\text{н}} \cdot \gamma_{\text{с}} \cdot t_{\text{т}}\right)/t_{\text{р}} \ , \quad (5)$$

де $Q_{\text{доб}}$ – добовий обсяг вантажних робіт і перевезень, т;

$T_{\text{доб}}$ – тривалість роботи ТЗ на маршруті чи вантажно-розвантажувального засобу впродовж доби, год;

$W_{\text{нав}}$ – технічна продуктивність навантажувача, т/год;

$n_{\text{тз}}$ – кількість ТЗ, що їх необхідно завантажити за $T_{\text{доб}}$, шт.;

$q_{\text{н}}$ – номінальна вантажопідйомність ТЗ, т;

$\gamma_{\text{с}}$ – статичний коефіцієнт використання вантажопідйомності ТЗ;

$n_{\text{р}}$ – кількість рейсів ТЗ за час роботи на маршруті;

$v_{\text{тех}}$ – технічна швидкість руху ТЗ, км/год;

β – коефіцієнт використання пробігу ТЗ;

$t_{\text{т}}$ – тривалість навантажування 1 т трести, год/т;

$l_{\text{в}}$ – відстань перевезення трести, км;

$t_{\text{нр}}$ – тривалість навантажування і розвантажування причепа за одну поїздку, год;

$t_{\text{р}}$ – тривалість рейсу ТЗ, год.

З аналізу наведених формул випливає, що найбільш прийнятною для розрахунків вантажно-транспортного забезпечення збирання льонотрести є залежність (2). В чисельнику цієї залежності є добовий обсяг вантажних робіт і перевезень. Цей обсяг робіт може бути визначений, якщо відома площа збирання трести, її урожайність та кількість днів збирального періоду:

$$Q_{\text{доб}} = \left(F_{\text{лд}} U_{\text{лт}}\right)/t_{\text{пт}} = \left(F_{\text{лд}} k_{\text{тс}} U_{\text{лс}}\right)/t_{\text{пт}} \ , \quad (6)$$

де $F_{\text{лд}}$ – посівна площа льону-довгунця в підприємстві, га;

$t_{\text{пт}}$ – кількість днів піднімання трести, число.

Щодо передбачуваної і прогнозованої площі посіву льону-довгунця в льоносіючих підприємствах незалежно від їх організаційно-правових форм господарювання, то це питання висвітлено у праці [13], де з'ясовано, що з урахуванням прийнятих оцінних критеріїв площа посіву має становити близько 300 га. Посилаючись на напрацювання науковців УНДІМЕСГ (тепер ННЦ «ІМЕСГ» НААНУ) і кафедри інженерного менеджменту та технічного сервісу НУБіПУ приймемо для розрахунків в цьому повідомленні мінімально необхідну площу виробництва льону-довгунця 150 га.

На підставі узагальнення експериментальних даних, що наведені у працях [2, 9, 17], прийнятий коефіцієнт виходу трести із соломи 0,80. Таке значення коефіцієнта використатимемо при визначенні урожайності трести.

Вивчення урожайності соломи з виробничих посівів льону-довгунця показало, що ця урожайність коливається в межах 14,8…81,2 ц/га за середнього арифметичного значення і середнього квадратичного відхилення відповідно 49,9 і 16,5 ц/га та коефіцієнта варіації 33,1% [15]. За даними різних дослідників, що вивчали відповідні агротехнічні прийоми і заходи з вирощування льону-довгунця різних сортів і в різні роки, розподіл урожайності соломи змінювався від 15,26 до 77,20 ц/га за середнього арифметичного значення і середнього квадратичного відхилення відповідно 42,06 і 13,31 ц/га та коефіцієнта варіації 31,6%. За інформацією [23] одна із льонарів

Житомирщини одержала урожай соломи 90 ц/га.

Кількість ТЗ, що необхідна для виконання добового обсягу вантажних робіт і перевезень та забезпечення потоковості збирання трести, можна визначити за формулою:

$$n_{\text{тз}} = Q_{\text{доб}} / \left(T_{\text{доб}} \cdot W_{\text{т}} \right) , \tag{7}$$

де $W_{\text{т}}$ – продуктивність ТЗ за годину, т/год.

Продуктивність ТЗ за годину визначають за формулою:

$$W_{\text{т}} = \left(q_{\text{н}} \cdot \gamma_{\text{с}} \cdot \beta \cdot v_{\text{тех}} \right) / \left(l_{\text{в}} + \beta \cdot v_{\text{тех}} \cdot t_{\text{нр}} \right). \tag{8}$$

На рис. 1 наведені полігони і криві нормального розподілу числа днів та швидкості піднімання трести. Число днів піднімання трести за статистичної вибірки 413 підприємство-років коливалася в межах 6…83 календарних днів. Середнє арифметичне значення і середнє квадратичне відхилення розподілу числа днів піднімання трести становили відповідно 40 і 17 днів, а коефіцієнт варіації дорівнював 42,5%. Емпіричний розподіл мав незначну додатну асиметричність з показником асиметрії плюс 0,16 і незначну від'ємну ексцесивність з показником ексцесу мінус 0,70. Між числом днів (тривалістю) піднімання трести $n_{\text{пт}}$ і розміром площі посіву льону-довгунця $F_{\text{лд}}$ існує додатний кореляційний зв'язок з коефіцієнтом кореляції плюс 0,121, а кореляційне відношення $n_{\text{пт}}$ по $F_{\text{лд}}$ становило 0,141. Розподіл площі посіву льону-довгунця за розмаху варіювання 27…560 га характеризувався середнім арифметичним значенням і середнім квадратичним відхиленням відповідно 155 і 89 га та коефіцієнтом варіації 57,4%. Визначено, що зміну $n_{\text{пт}}$ залежно від $F_{\text{лд}}$ можна описати рівнянням нерівнобічної гіперболи вигляду

$$n_{\text{пт}} = 45{,}31 - 566{,}21 / F_{\text{лд}} \quad \text{при} \quad R^2 = 0{,}854. \tag{9}$$

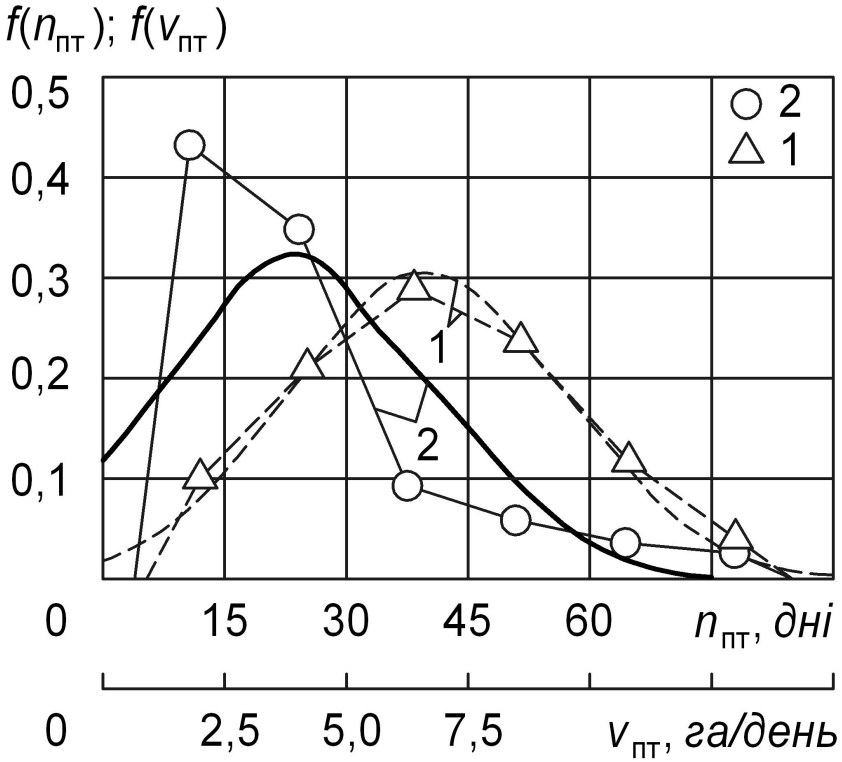


Рисунок 1 – Полігони і криві нормального розподілу числа днів $n_{\text{пт}}$ (1) і швидкості $v_{\text{пт}}$ (2) піднімання трясти

У разі подання зміни $n_{пт}$ залежно від $F_{лд}$ рівнянням прямої вигляду $n_{пт} = 38{,}02 + 0{,}0147F_{лд}$ R^2-коефіцієнт дорівнював 0,756. Гіперболічна зміна $n_{пт}$ залежно від $F_{лд}$ наведена на рис. 2.

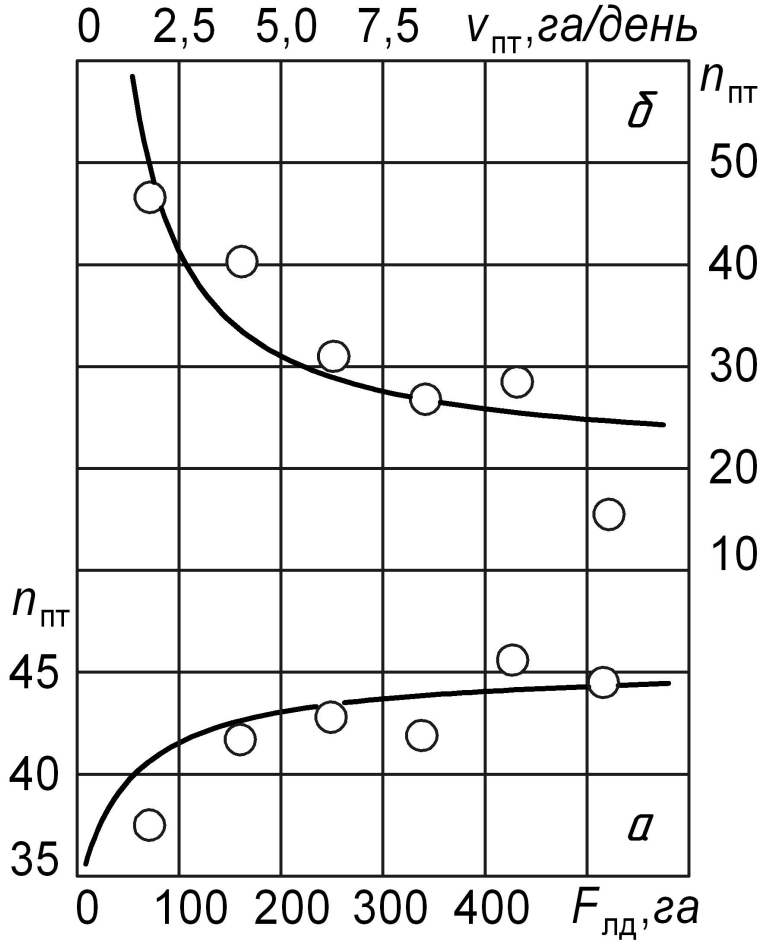


Рисунок 2 – Зміна тривалості піднімання трести $n_{пт}$ залежно від: *а*) посівної площі льону-довгунця $F_{лд}$ та *б*) швидкості піднімання трести $v_{пт}$

За рис. 2, *а* можна виділити три зони зміни $n_{пт}$ залежно від $F_{лд}$, які відрізняються різною інтенсивністю зміни тривалості піднімання трести. Найбільш інтенсивно зростає тривалість піднімання трести при збільшенні посівної площі під льон-довгунець до 100 га. У міру збільшення площі посіву від 100 до 200 га та від 200 до 500 га інтенсивність підвищення тривалості піднімання трести уповільнюється, сягаючи за графіком та вільним членом рівняння (9) асимптотичного значення 45 днів.

Швидкість піднімання трести $v_{пт}$ (га/день) як випадкова величина коливалася в межах 0,67…14,16 за середнього арифметичного значення і середнього квадратичного відхилення відповідно 4,04 і 2,78 га/день та коефіцієнта варіації 68,8%. Емпіричний розподіл швидкості піднімання трести (рис. 1) мав додатні асиметрію і ексцес з показниками відповідно 2,55 і 6,76, а отже, був сильноасиметричним і сильноексцесивним [6].

За Типовими нормами продуктивності [22] при підбиранні трести урожайністю 20…40 ц/га із однієї стрічки з пресуванням і вивантажуванням рулонів у полі нормативна продуктивність агрегату у складі трактора МТЗ-80 і прес-підбирача ПРП-1,6 за зміну при використанні агрегату на полях I…VI груп за нормоутворюючими факторами коливається в межах 2,8…2,3 га. Отже, швидкість збирання трести 4,04 га/день може бути забезпечена орієнтовно при використанні двох агрегатів на підніманні трести. Очікувана продуктивність за зміну експериментального прес-

підбирача конструкції В.І. Сизова [20] становила 5 га, що наближається до середнього арифметичного значення швидкості піднімання трести 4,04 га/день, яке входило при групуванні інтенсивності виконання робіт до статистичної групи швидкості піднімання трести 2,92…5,16 га/день.

Між числом днів (тривалістю) піднімання трести $n_{пт}$ і швидкістю її піднімання $v_{пт}$ виявлений від'ємний кореляційний зв'язок з коефіцієнтом кореляції мінус 0,424 за кореляційного відношення $n_{пт}$ по $v_{пт}$, що дорівнює 0,596. Кількісну закономірність зміни тривалості піднімання $n_{пт}$ залежно від швидкості піднімання $v_{пт}$ за дослідженнями доцільніше описати спадаючою нерівнобічною гіперболою вигляду

$$n_{пт} = 20{,}70 - 51{,}54/v_{пт} \quad \text{при} \quad R^2 = 0{,}743. \tag{10}$$

Результати кореляційно-регресійного аналізу щодо з'ясування характеру і кількісної закономірності зміни тривалості піднімання трести залежно від швидкості її піднімання в графічному поданні наведені на рис. 2, *б*. З рівняння (10) і графіка (рис. 2, *б*) видно, що із підвищенням швидкості піднімання понад 5,0 га/день темп зменшення тривалості піднімання значно уповільнюється, сягаючи за першим членом рівняння (10) асимптотичного значення 21 день. Отже, прогнозована тривалість піднімання трести, що входить в розрахункові залежності для визначення потреби в засобах механізації її збирання, має бути в межах 21…45 днів.

Прогнозована тривалість піднімання трести зумовлена тривалістю її вилежування. Досліджено, що тривалість вилежування трести становить 28 ± 10 днів. Зваживши на наведений експлуатаційний допуск тривалості вилежування трести 10 днів та норматив тривалості сівби льону-довгунця 5 днів [7] і граничну тривалість комбайнового збирання 15 днів [4], доходимо висновку, що прогнозована тривалість піднімання трести становитиме 30 днів.

Визначимо технічне забезпечення збирання трести за посівної площі 150 га і урожайності соломи 50 ц/га. За формулою (6) визначаємо добовий обсяг вантажних робіт і перевезень:

$$Q_{доб} = (150 \cdot 0{,}8 \cdot 50)/30 = 200 \text{ ц} = 20 \text{ т}.$$

Приймаємо $T_{доб}$ = 7 год та технічну продуктивність навантажувача $W_{нав}$ = 12,5 т/год [12] і за формулою (2) визначаємо потребу в навантажувачах. Матимемо:

$$n_{нав} = 20/(7 \cdot 12{,}5) = 0{,}23.$$

Приймаємо $n_{нав}$ = 1, оскільки основний час (тривалість) роботи засобів механізації на збиранні льону-довгунця впродовж доби не перевищує 7 год у зв'язку з погодними умовами збирального періоду, що визначаються часом спадання роси та зволоженням трести із-за добового коливання відносної вологості повітря.

На підставі аналізу графічних залежностей, що наведені на рис. 1 і рис. 2, та Типових норм продуктивності [22] і результатів наукових досліджень [20] з'ясовано, що для піднімання трести на площі 150 га потрібно 2 машинні агрегати у складі з прес-підбирачами трести.

Приймемо, що транспортування рулонів трести здійснюють тракторно-транспортні засоби (ТТЗ) у складі трактора МТЗ-80 і причепа 2ПТС-4М. Відстань транспортування рулонів 15 км, технічна швидкість ТТЗ 13,2 км/год, номінальна вантажопідйомність причепа 4 т, статичний коефіцієнт використання вантажопідйомності 0,75 та коефіцієнт використання пробігу 0,5 і тривалість навантажування і розвантажування ТТЗ – 0,105 год. За вказаних характеристик ТТЗ за формулою (8) отримаємо, що продуктивність такого засобу дорівнюватиме 1,26 т/год, а потреба в них за формулою (7) становитиме 2,3 агрегатів.

Висновки. Проаналізований хід підбирання трести в реальних умовах виробництва льону-довгунця. Вивчені статистичні розподіли тривалості і швидкості піднімання трести. Одержані графічні залежності і рівняння регресії, що інтерпетують зміну тривалості піднімання трести залежно від площі посіву льону-довгунця і швидкості піднімання трести. Разом з продуктивністю машинних агрегатів на підніманні трести вказані залежності є підставою для визначення потреби в засобах механізації збирання трести з урахуванням прогнозованої тривалості збирання. Опрацьована методика визначення потреби в навантажувачах рулонів трести та транспортних засобах їх перевезення з поля до пунктів переробки трести. Наведений приклад інженерного розрахунку технічного забезпечення збирання льонотрести.

Напрям подальших розвідок на нашу думку слід зосередити на опрацюванні номограми для визначення потреби в засобах механізації збирання трести з урахуванням розмірів площі посіву льону-довгунця, урожайності трести, відстані її транспортування та номінальної вантажопідйомності і швидкості руху транспортних засобів.

Список літератури

1. Виробництво льоноволокна та його використання: монографія / [І.П. Карпець, А.Ф. Скорченко, Л.А. Чурсіна та ін.]. – К.: Нора-прінт, 2002. – 128 с.
2. Галимский Т.П. Исследование различных технологий уборки льна в Белоруссии / Т.П. Галимский, М.М. Курилович, Т.Н. Зайченко // Белорусский ин-т механизации с. х.: науч. тр. – Минск, 1968. – Вып. 2. – С. 167 – 175.
3. Герасимович А.И. Математическая статистика: [учеб. пособ. для инж.-техн. и экон. спец. втузов] / Герасимович А.И. – Минск: Вышэйш. шк., 1983. – 279 с.
4. Гілязетдінов Р.Н. Сучасний стан механізації збирання льону-довгунця в Україні та перспективи розвитку / Р.Н. Гілязетдінов // Актуальні питання розвитку галузей льонарства та коноплярства: матеріали наук.-техн. конф. молодих вчених (м. Глухів, 7 грудня 2006 р.). – Суми: «Ноте бене», 2007. – С. 49 – 53.
5. Горбовий А.Ю. Перспективи покращення механізації льонарства в Україні / А.Ю. Горбовий, Л.П. Середа, В.М. Пришляк // Вісн. Харків. нац. техніч. ун-ту с. г. ім. Петра Василенка: механізація с.-г. виробництва. – Х., 2008. – Вип. 75, Т. 2. – С. 159 – 169.
6. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении: учеб. пособ. / Дмитриев Е.А. – М.: Изд-во Москов. ун-та, 1972. – 292 с.
7. Заворотченко И.С. Нормативы оптимальных сроков сева льна / И.С. Заворотченко, И.П. Сергеев // Лен и конопля. – 1976. – № 4. – С. 18 – 19.
8. Залужний В. Перспективні напрями технологій та розробки машин для приготування і піднімання лляної трести / В. Залужний, О. Сидорчук, Ю. Проценко // Техніка АПК. – 2004. – № 10 – 11. – С. 16 – 18.
9. Исследование эффективности вариантов комбайновой уборки льна-долгунца в условиях Полесья УССР / [И.А. Гиренко, Л.М. Соснина, Г.П. Водяницкий, Н.И. Куркова] // Механизация и электрификация с. х. – К.: Урожай, 1980. – Вып. 49. – С. 29 – 35.
10. Карпець І.П. Інтенсивна технологія вирощування льону-довгунця / Карпець І.П. – К.: Крожай, 1990. – 112 с.
11. Лімонт А.С. Дослідження і прогнозування продуктивності навантажувача льонотрести / А.С. Лімонт // Конструювання, виробництво та експлуатація с.-г. машин: загальнодерж. міжвідомчий наук.-техніч. зб. / Кіровоград. нац. техніч. ун-т. – Кіровоград, 2010. – Вип. 40, Ч. 2. – С. 48 – 52.
12. Лімонт А.С. Енергомісткість навантажування льонотрести / А.С. Лімонт // Наук. вісн. Нац. ун-ту біоресурсів і природокористування України / Редкол.: Д.О. Мельничук (відп. ред.) та ін. – К., 2010. – Вип. 145. – С. 329 – 337.
13. Лімонт А. Площа посіву льону-довгунця як фактор машиновикористання в рослинництві / А. Лімонт // Техніка АПК. – 2008. – № 11 – 12. – С. 35 – 37.
14. Лімонт А.С. Тракторні причепи як засоби транспортування упаковок льонотрести / А.С. Лімонт, В.О. Ломакін // Конструювання, виробництво та експлуатація с.-г. машин: загальнодерж. міжвідомчий наук.-техніч. зб. / Кіровоград. нац. техніч. ун-т. – Кіровоград, 2009. – Вип. 39. – С. 151 – 155.
15. Лімонт А.С. Щільність фітоценозу та прогнозування продуктивності льону-довгунця / А.С. Лімонт

// Вісн ДВНЗ «Держ. агроеколог. ун-ту». – Житомир, 2007. – № 1 (18). – С. 164 – 170.
16. Льонарство: підруч. [для студ. вищ. навч. закл.] / [Дідора В.Г., Малиновський А.С., Дереча О.А. та ін.]; за ред. В.Г. Дідори. – Житомир: Вид-во «Житомир. нац. агроеколог. ун-т», 2008. – 488 с.
17. Макаєв В.І. Економічна ефективність технологій одержання насіння та трести льону із застосуванням льонопідбирача-молотарки ПМЛ-1 / В.І. Макаєв // Актуальні питання розвитку галузей льонарства та коноплярства: матеріали наук.-техніч. конф. молодих вчених (м. Глухів, 7 грудня 2006 р.). – Суми: «Ноте бене», 2007. – С. 54 – 58.
18. Методика статистической обработки эмпирических данных: РТМ 44 – 62. – М.: Изд-во стандартов, 1966. – 100 с.
19. Сизов В.И. Крупные паковки: метод и особенности / В.И. Сизов //Лен и конопля. - № 5. – С. 33–35.
20. Сизов В.І. Механізація збирання і первинної обробки льоносоломи та трести із застосуванням великих паковок / В.І. Сизов, М.М. Острик // Вісн. с.-г. науки. – 1986. – № 3. – С. 46 – 50.
21. Справочник льновода / [Труш М.М., Сергеев И.П., Марченков А.Н. и др.]; сост. М.М. Труш и Ф.М. Карпунин. – Л.: Агропромиздат, Ленингр. отд-ие, 1985. – 240 с.
22. Типові норми продуктивності і витрат палива на збиранні сільськогосподарських культур /[В.В. Вітвіцький, І.М. Демчак, В.С. Пивовар та ін.]. – К.: НДІ «Украгропромпродуктивність», 2005. – 544 с.
23. Шаронов А.Г. Знатний майстер льонарства Житомирщини Ольга Харитонівна Заїка / Шаронов А.Г. – [Житомир]: Житомир. обл. газетне вид-во, 1951. – 32 с.

А. Лимонт

Техническое обеспечение уборки льнотресты

Приведена методика расчетов по определению потребности в погрузчиках рулонов льнотресты и транспортных средствах их доставки к льноперерабатывающим предприятиям.

A. Limont

Technical support for flax harvesting

It also provides a calculation procedure to determine the demand for loading mechanistns and vehicles delivering flax stalk rols to flax process ing factories.

Одержано 31.08.11

УДК 631.331

В.А. Дейкун, викл., О.М. Васильковський, доц., канд. тех. наук, Г.Б. Філімоніхін, проф., д-р техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет

До визначення зони розсіву туків при відбитті від стержневого розсіювача

У статті приводяться результати експериментальних досліджень по визначенню факторів які впливають на рівномірність розподілу гранульованих мінеральних добрив по ширині захвату робочого органу при використанні циліндричного та конічного розподільників ,приведено висновки по роботі
розсів туків, локально, зона покриття, стержневий розподільник, конусний розподільник, рівномірність розподілу

Попередньо розглянемо роботу стержневого циліндричного розсіювача (рис. 1).

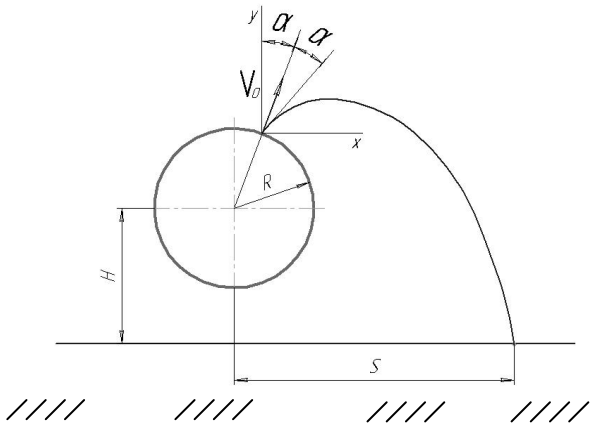


Рисунок 1 – Схема до визначення параметрів розсіювача

Після вильоту з тукопроводу частки мають певну швидкість. При взаємодії з розсіювачем відбувається пружний удар, в результаті якого частки змінюють траєкторію польоту, розсіюючись у підлаповому просторі.

У випадку абсолютно пружного удару, швидкість частинки до і після взаємодії з розсіювачем має бути рівною. Однак фактично, в процесі удару відбувається гасіння швидкості, величина якої залежить здебільш від фізико-механічних властивостей посівного матеріалу.

Коефіцієнт гасіння швидкості ϑ теоретично знайти неможливо, тому його величину знайдемо після експериментального визначення швидкості відбиття:

$$\vartheta = \frac{V}{V_0}, \tag{1}$$

V – швидкість частинки до взаємодії з розсіювачем;

V_0 – швидкість частинки після відбиття від розсіювача.

© В.А. Дейкун, О.М. Васильковський, Г.Б. Філімоніхін, 2012

Визначимо швидкість, яку необхідно надати частинці після взаємодії з розсіювачем для забезпечення заданої зони розсіву.

Прийнявши, що кут попадання частинки на поверхню розсіювача дорівнює куту відбиття, складемо систему рівнянь:

$$\left.\begin{aligned} x &: V_0 \cdot t \cdot \sin 2\alpha + R \cdot \sin\alpha = S \\ y &: V_0 \cdot t \cdot \cos 2\alpha - R \cdot \cos\alpha - \frac{gt^2}{2} = H \end{aligned}\right\}, \tag{2}$$

де t – час польоту частки, с;

α – кут попадання частки на розсіювач, град.;

R – радіус розсіювача, м;

S – шлях, що повинна пролетіти частка (половина ширини культиваторної лапи), м;

H – висота розташування вісі розсіювача відносно дна борозни, м.

Виразимо з першого рівняння час

$$t = \frac{S - R\sin\alpha}{V_0 \cdot \sin 2\alpha}. \tag{3}$$

З урахуванням виразу (3) друге рівняння системи запишеться у вигляді

$$V_0 \cdot \frac{(S - R\sin\alpha)\cdot\cos 2\alpha}{V_0 \cdot \sin 2\alpha} - R\cos\alpha - \frac{g\cdot(S - R\sin\alpha)^2}{2\cdot V_0^2 \cdot \sin^2 2\alpha} = H, \tag{4}$$

або

$$\begin{aligned} &(S - R\cdot\sin\alpha)\cdot ctg2\alpha - R\cos\alpha - \\ &- \frac{g\left(S^2 - 2\cdot S\cdot R\cdot\sin\alpha + R^2\cdot\sin^2\alpha\right)}{2\cdot V_0^2\cdot\sin^2 2\alpha} = H \end{aligned}. \tag{5}$$

Виразимо з рівняння (5) початкову швидкість:

$$\begin{aligned} &(S - R\cdot\sin\alpha)\cdot ctg2\alpha - R\cos\alpha - H = \\ &= \frac{g\left(S^2 - 2\cdot S\cdot R\cdot\sin\alpha + R^2\cdot\sin^2\alpha\right)}{2\cdot V_0^2\cdot\sin^2 2\alpha} \end{aligned}. \tag{6}$$

В кінцевому рахунку, швидкість, яку необхідно надати частинці після взаємодії з розсіювачем для забезпечення заданої зони розсіву визначиться як

$$V_0 = \sqrt{\frac{g\cdot\left(S^2 - 2\cdot S\cdot R\sin\alpha + R^2\sin^2\alpha\right)}{2\sin^2 2\alpha\cdot\left((S - R\cdot\sin\alpha)\cdot ctg2\alpha - R\cos\alpha - H\right)}}. \tag{7}$$

Вирішивши рівняння (7) відносно S отримаємо вираз для визначення зони розсіву туків в залежності від початкової швидкості їх відбивання від поверхні розсіювача.

Після перетворень одержимо

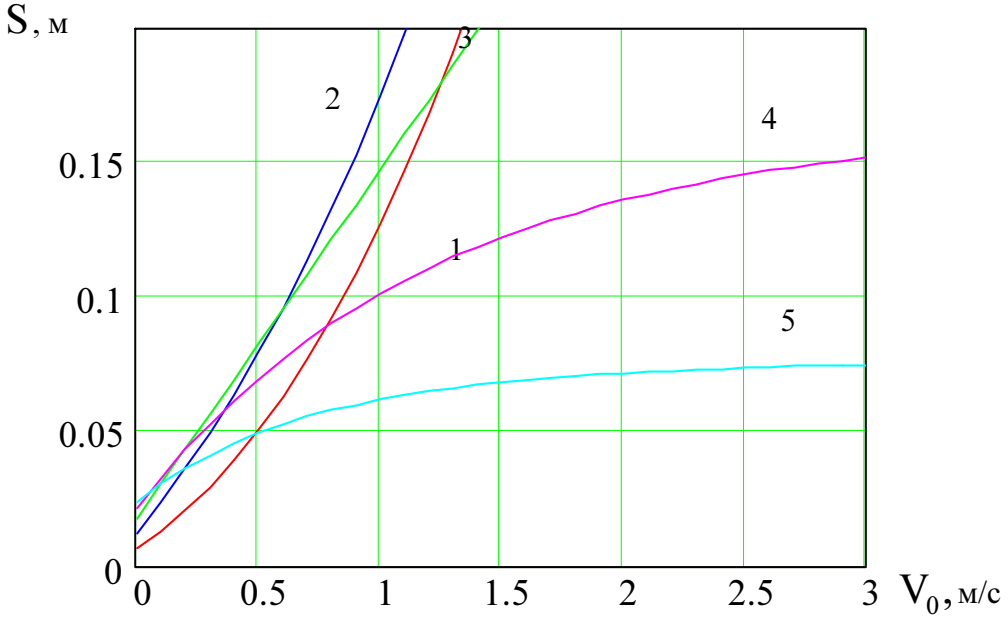
$$S = \frac{\sin(\alpha)}{2\cdot g}\cdot\left(\begin{aligned} &2\cdot g\cdot R - 8\cdot V^2\cdot\sin^2(\alpha)\cdot\cos(\alpha) + 4\cdot V^2\cdot\cos(\alpha) + \\ &+ 4\cdot\sqrt{\begin{aligned} &4\cdot V^4\cdot\sin^4(\alpha)\cdot\cos^2(\alpha) + \\ &+ 2\cdot V^2\cdot\sin^2(\alpha)\cdot\cos(\alpha)\cdot g\cdot R - \\ &- 4\cdot V^4\cdot\sin^2(\alpha)\cdot\cos^2(\alpha) - \\ &- 2\cdot g\cdot R\cdot V^2\cdot\cos(\alpha) + \\ &+ V\cdot\cos^2(\alpha) + 2\cdot g\cdot H\cdot V^2 - \\ &- 2\cdot g\cdot V^2\cdot\sin^2(\alpha)\cdot H \end{aligned}} \end{aligned}\right). \tag{8}$$

Графік залежності зони розсіву гранульованих мінеральних добрив від початкової швидкості їх відбиття від поверхні розсіювача представлено на рис. 2.

Данні графіку свідчать про те, що задана зона розсіву туків при відбитті від поверхні циліндричного розсіювача (S=0,165 м) забезпечується при наданні часткам початкової швидкості близько 1 м/с. Вказану швидкість, з урахуванням залежності (1) можливо забезпечити без застосування пневмотранспортування добрив при встановленні певної ділянки розгону (рис.1), в залежності від кута її нахилу.

Аналіз показує, що при збільшенні початкової швидкості часток теоретично зростає дальність їх польоту, однак фактично, дальність польоту обмежена шириною захвату ($S_Л$=2·S=0,33 м) культиваторної лапи. Тому відбудеться перенасичення туками граничної зони, що негативно вплине на рівномірність висіву.

Зменшення початкової швидкості призведе до того, що у граничні зони гранульовані мінеральні добрива не потраплять.



1 – для кута попадання 15°; 2 – для кута попадання 30°; 3 – для кута попадання 45°;
4 – для кута попадання 60°; 5 – для кута попадання 75°

Рисунок 2 – Графіки залежності зони покриття при розподіленні циліндричним розсіювачем від початкової швидкості частки

Окрім відзначеного вище необхідно зауважити, що при застосуванні циліндричного розсіювача, забезпечити повне покриття підлапового простору неможливо, оскільки безпосередньо під розсіювачем утворюється “мертва” зона, розміри якої визначаються діаметром розсіювача (рис. 3).

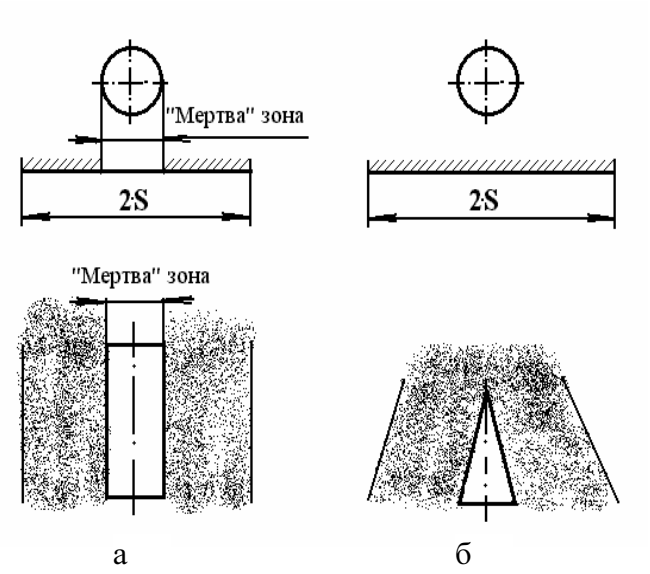


Рисунок 3 – Схеми роботи розсіювачів: а – циліндричного; б – конічного

Виходячи з вказаного вище, використання циліндричного розсіювача не дозволить забезпечити рівномірного розподілу гранульованих мінеральних добрив у підлаповому просторі культиваторної лапи.

Застосування конусного розсіювача вирішить питання розподілу туків по всій ширині захвату лапи без утворення “мертвих” зон. Однак робота конічного розсіювача характеризується відбиттям часток перпендикулярно до твірних (рис. 4), що приводить до зменшення ширини покриття при рівних початкових швидкостях. Значить отриманий вираз (8) не буде справедливим для визначення зони покриття при розподіленні туків конічним розсіювачем.

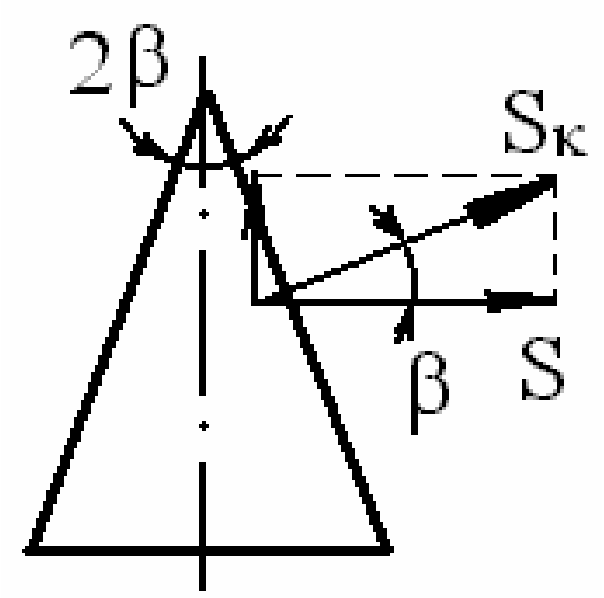


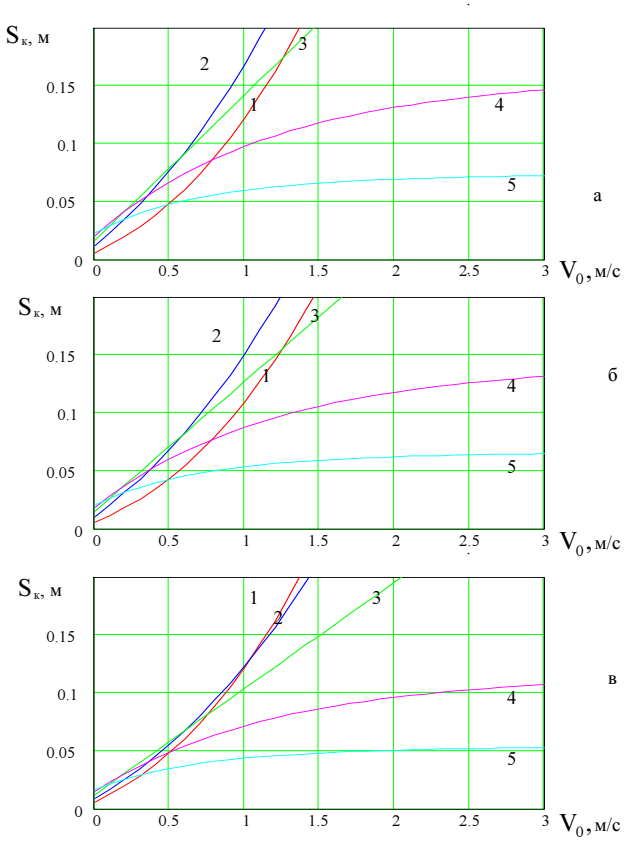
Рисунок 4 – Схема до визначення зони покриття підлапового простору при розподіленні туків конічним розсіювачем

Для конічного розсіювача вираз (8) перепишеться з урахуванням кута твірної

$$S_к = \frac{\sin(\alpha)\cdot\cos(\beta)}{2\cdot g}\cdot\left(\begin{array}{l} 2\cdot g\cdot R - 8\cdot V^2\cdot\sin^2(\alpha)\cdot\cos(\alpha) + 4\cdot V^2\cdot\cos(\alpha) + \\ +4\cdot\sqrt{\begin{array}{l} 4\cdot V^4\cdot\sin^4(\alpha)\cdot\cos^2(\alpha) + \\ +2\cdot V^2\cdot\sin^2(\alpha)\cdot\cos(\alpha)\cdot g\cdot R - \\ -4\cdot V^4\cdot\sin^2(\alpha)\cdot\cos^2(\alpha) - \\ -2\cdot g\cdot R\cdot V^2\cdot\cos(\alpha) + \\ +V\cdot\cos^2(\alpha) + 2\cdot g\cdot H\cdot V^2 - \\ -2\cdot g\cdot V^2\cdot\sin^2(\alpha)\cdot H \end{array}} \end{array}\right). \qquad (9)$$

Графіки залежності зони покриття при розподіленні конічним розсіювачем від початкової швидкості частки представлено на рис. 5.

З графіків видно, що зі збільшенням кута твірної конуса, зростає початкова швидкість для забезпечення заданої зони покриття підлапового простору важкої культиваторної лапи.



а - для кута твірної 15°, б - для кута твірної 30°, в - для кута твірної 45°;

1 – для кута попадання 15°; 2 – для кута попадання 30°; 3 – для кута попадання 45°;
4 – для кута попадання 60°; 5 – для кута попадання 75°.

Рисунок 5 – Графіки залежності зони покриття при розподіленні конічним розсіювачем від початкової швидкості частки

Висновки. В ході теоретичного аналізу процесу локального внесення гранульованих мінеральних добрив під час основного безполицевого обробітку ґрунту нам вдалося обґрунтувати вибір геометричної форми розсіювача, визначити параметри тукопроводу, а також встановити аналітичні залежності впливу конструктивних параметрів конічного розсіювача на зону розподілу туків у підлаповому просторі.

По виконаним дослідженням зробимо наступні висновки:

- конічна форма розсіювача, на відміну від циліндричної забезпечує розподілення часток без утворення "мертвих" зон, що дозволяє підвищити рівномірність висіву по ширині захвату лапи важкого культиватора;
- для забезпечення зони розсіву гранульованих мінеральних добрив у підлаповому просторі шириною $S_Л$=0,33 м частинкам необхідно надати початкову швидкість при відбитті від поверхні конусного розсіювача 1…1,3 м/с, причому зі збільшенням кута твірної конуса потрібна початкова швидкість зростає;
- потрібну початкову швидкість при відбитті від поверхні конусного розсіювача можливо забезпечити шляхом розгону часток продукту під час руху по тукопроводу до взаємодії з розсіювачем можливо як з застосуванням пневматичного транспортування, так і без нього. Розгін часток до швидкості 1…1,3 м/с забезпечити без пневмоприскорення на відрізку тукопроводу довжиною 0,2…0,4 м в залежності від кута нахилу останнього;
- збільшення початкової швидкості часток при відбитті від розсіювача проти розрахункової, призведе перенасичення туками граничної зони, обмеженої розмірами культиваторної лапи, що негативно вплине на рівномірність їх локального внесення;
- встановлення залежності між швидкістю часток до взаємодії з розсіювачем та початковою швидкістю часток при відбитті від розсіювача вимагає проведення експериментальних досліджень.

Список літератури

1. Хоменко М.С. и др. Механизация посева зерновых культур и трав. Справочник / М.С. Хоменко, В.А. Зырянов, В.А. Насонов – К.: Урожай, 1989 – 168 с.
2. Практикум по сельскохозяйственным машинам / А.Й. Любимов, З.И. Вогкий, В.В. Бледных и другие – М: Колос.–1999 – 191 с.
3. Хайліс Г. А.., Коновалюк Д. М. Основи проектування і дослідження сільськогосподарських машин: Навч. посібник. – К.: НМК ВО, 1992. – 320 с.
4. Комаров М.С. Основы научных исследований. – Львов: Выща шк., 1982. – 128 с.
5. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента. – М.: Мир, 1972. – 259 с.
6. Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных. М.: Колос, 1973. – 134 с.

В.Дейкун, О.Васильковский, Г.Филимонихин

К определению зоны рассева туков при отскоке от стержневого отражателя

В статье приводятся результаты экспериментальных исследований по определению факторов, влияющих на равномерность распределения гранулированных минеральных удобрений по ширине захвата рабочего органа при использовании цилиндрического и конического распределителей, приведены выводы по работе

V.Deikun,, O. Vasil'kovskiy, G. Filimonihin

To determination of area of rasseva of tukov at a rebound from the cored reflector

The article presents the results of experimental studies to determine factors that affect the uniformity of distribution of granular fertilizer in width of the working body when using cylindrical and conical valve, given the conclusions of the work.

Одержано 12.04.12

УДК 631.33.024.2

Д.Ю. Артеменко, доц., канд. техн. наук.
Кіровоградський національний технічний університет

Математична модель роботи удосконалених щік сошника просапної сівалки

Наведені результати теоретичного дослідження процесу роботи удосконалених щік сошника просапної сівалки, обґрунтована їх раціональна конструкція та визначені основні параметри які впливають на якість загортання насіння. Відзначено, що удосконалена конструкція щік сошника здатна забезпечити якісне загортання борозни з висіяним насінням.
якісне загортання насіння, технологічний процес роботи сошника, конструкція щік сошника

Постановка проблеми. На сьогоднішній день існує чітко сформований алгоритм процесу роботи сошника просапної сівалки, який містить такі складові: утворення борозни наральником сошника; під час висіву насіння щоки сошника тримають шари ґрунту від осипання в борозну; після проходження щік сошника ґрунт заповнює борозну під кутом природного укосу. Такий технологічний процес роботи сошника має істотний недолік – ґрунт, який осипається після проходження щік сошника закриває борозну на якусь незначну величину, меншу, чим глибина ходу сошника, що в свою чергу залишає борозну напіввідкритою, а під час самого осипання ґрунт потрапляючи в борозну може порушувати рівномірність розміщення насіння по глибині. В свою чергу нерівномірність розміщення насіння по глибині може привести до значних втрат врожаю. Тому робота над підвищенням врожайності просапних культур за рахунок покращання процесу загортання насіння є досить актуальною і потрібною для впровадження більш продуктивних технологічних процесів вирощування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження проведені в [1,2,3] підтверджують недосконаліть роботи серійних щік сошників. Зроблено висновок, що для якісного загортання насіння в борозні необхідно використовувати додаткові елементи в їх конструкції. Так, авторами [1,2] були запропоновані конкретні рішення для покращання процесу загортання насіння. Вони полягали в тому, щоб оснащувати щоки сошника відвальниками які відхилені в середину борозни і направляли б шари ґрунту прямо на насіння. Але і в таких конструкціях є ряд недоліків: відбувається примусове руйнування нижньої частини борозни, відвальники направлені в середину борозни можуть спричинити забивання міжщікового простору ґрунтом, відвальники є окремими елементами і підлягають підвищеному спрацюванню.

Метою роботи є теоретичне обґрунтування і розробка удосконалених щік сошника, які б забезпечували рівномірне розміщення насіння в борозні на необхідній глибині посіву та повністю закривали її ґрунтом.

Результати досліджень. В процесі відкриття борозни ґрунт сходить за щоками сошника і осипається. На загортання насіння здійснює вплив швидкість переміщення ґрунту в напрямку ходу сошника і по насипу, час відкривання борозни. Від цих параметрів залежить момент фіксації насіння ґрунтом. Верхній шар ґрунту перед посівом розпушують передпосівною обробкою, тому стан ґрунту в період посіву дрібногрудкуватий, що дає можливість розглядати ґрунт як сипуче середовище.

© Д.Ю. Артеменко, 2012

Виходячи із цих передумов і аналізуючи існуючий процес загортання насіння (рис. 1а) можна сказати, що самозрушення стінок борозни буде проходити під кутом ковзання (укладки) α, який проходить через точки перетину бічних стінок з дном борозни. Причому зрушенню підлягає лише верхній більш сипучий шар ґрунту, оскільки насіннєве ложе утворене в нижньому шарі який має більшу вологість і практично не зрушується. Заповнення борозни буде проходити під кутом внутрішнього тертя грунту φ. Для повного заповнення борозни ґрунтом необхідно точку початку зрушення змістити ближче до краю борозни (рис. 1б). Це можливо здійснити якщо щоки сошника будуть мати додаткові елементи для можливості направлення рухомих шарів грунту в бік борозни.

Рисунок 1 – Схема зрушення стінок борозни при роботі сошника

Для виконання вищенаведених вимог зручно буде виконати задню частину щік сошника криволінійною (утвореною частиною кола певного радіуса). За рахунок такої конструкції укладання ґрунту в борозні буде більш плавним і щільним, а також буде відбуватись зміщення точки початку зрушення грунту в борозну за рахунок інерційного руху шарів по криволінійній поверхні (рис. 2).

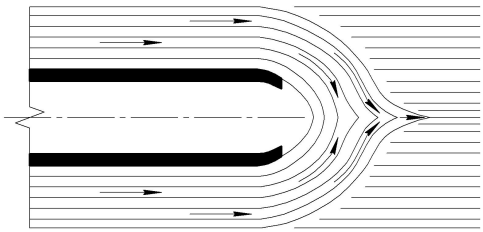


Рисунок 2 – Схема процесу роботи удосконаленого сошника

Величина радіусу криволінійної частини щік сошника вибирається із конструктивних міркувань і в залежності від величини міжщікового простору для уникнення його забивання. Для детального аналізу поведінки частки ґрунту під час роботи удосконалених щік сошника приймаємо розрахункову схему (рис. 3).

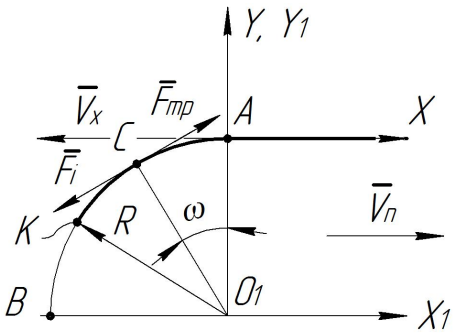


Рисунок 3 – Розрахункова схема руху частки ґрунту по криволінійній частині щоки сошника

Частка ґрунту масою m (далі матеріальна точка M) при досягненні точки А, закінчення прямолінійної частини щоки сошника (рис. 3), має швидкість $\left|\overline{V}_x\right|$ [4, с.256,

ф.(172)], яка направлена горизонтально проти руху щоки сошника, потрапляє на криволінійну її частину. Після цього матеріальна точка M переходить на ділянку AB. В деякій точці K цієї ділянки матеріальна точка M покидає ділянку AB (сходить із траєкторії) з кінцевою швидкістю $\overline{V}(K)$, яка направлена по дотичній до лінії AB і в сторону протилежну напрямку руху щоки сошника. З цією швидкістю вона починає вільне падіння в полі сили тяжіння під дією власної ваги.

Приймаємо, що ділянка AKB траєкторії матеріальної точки M обмежена дугою кола. В системі координат $X_1O_1Y_1$, початок O_1 якої розміщений в центрі кола, параметричне рівняння ділянки AB (рис. 3) має вигляд:

$$\begin{cases} x = R\cos\omega \\ y = R\sin\omega \end{cases}, \qquad \omega \in [0;\pi/2]. \tag{1}$$

де R - радіус кола.

Приймаємо, що в довільній точці C дуги AB на матеріальну точку M діють сили (рис. 3): інерції $\overline{F}_i$ - направлена по дотичній до дуги AB протилежно напрямку руху сошника так як точка продовжує рух від A до B по дузі AB маючи початкову швидкість $\overline{V}_0 = \overline{V}_x$. Її притискає до дуги AB тиск шарів ґрунту розташованих вище, який не враховується; сила тертя $\overline{F}_{mp}$, яка направлена по дотичній до дуги AB та в бік переміщення сошника.

Так як немає активних сил, які сприяють продовженню руху матеріальної точки M по ділянці AB, то за рахунок сили тертя $\overline{F}_{mp}$ швидкість точки M зменшується від $\overline{V}_0 = \overline{V}_x$ (в точці A) до $\overline{V} = 0$ в деякій кінцевій точці K дуги AB (відбувається гальмування).

Якщо s - шлях гальмування то $s = \left|\cup AK\right|$. З іншого боку $\left|\cup AK\right| = R\omega$ (довжина дуги кола радіуса R, яка відповідає центральному куту ω).

По закону збереження енергії $0{,}5mV^2 = \left|\overline{F}_{mp}\right| \cdot s$ (кінетична енергія руху витрачається на роботу сили тертя $\overline{F}_{mp}$ на шляху гальмування s).

Так як згідно [4, с.254, ф.(168)] $\left|\overline{F}_{mp}\right| = f\dfrac{mg}{2tg\alpha}$ то

$$0{,}5V^2 m = f\frac{mg}{2tg\alpha}s \Rightarrow s = \frac{V^2}{fg},$$

де m - маса частки ґрунту;

f - коефіцієнт тертя частки ґрунту по сталі;

g - прискорення сили ваги;

α - кут укладки часток ґрунту.

Із цього слідує, що

$$R\omega = \frac{V^2}{fg} \Rightarrow \omega_K = \frac{V^2}{fgR}, \tag{2}$$

де ω_K - параметр, який визначає положення точки K на дузі AB (кінцевій точці траєкторії по ділянці AB).

Декартові координати точки K знаходимо по формулі (1):

$$x_K = R\cos\omega_K = R\cos\frac{V^2}{fgR}, \quad y_K = R\sin\omega_K = R\sin\frac{V^2}{fgR}. \tag{3}$$

В точці K починається вільний рух частки ґрунту масою m в полі сили тяжіння під дією власної ваги і без початкової швидкості. Направляючи ось Ky вниз, а ось Kx в право (рис. 4) розглянемо вільне падіння частки ґрунту.

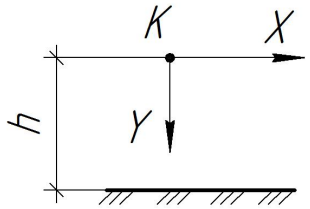


Рисунок 4 – Схема вільного падіння частки ґрунту

Диференціальні рівняння руху частки ґрунту в проекціях на осі координат мають вигляд: $\ddot{x}_{tt} = A_x$, $\ddot{y}_{tt} = A_y$ і зміну праву частину. При переміщенні по дузі кола діючі сили залежать від кута ω відхилення радіуса R кола від горизонталі.

Отримуємо звичайні диференціальні рівняння другого порядку із змінною правою частиною A_x і A_y: $A_x = A_x(\omega)$, $A_y = A_y(\omega)$.

$$A_x(\omega) = f\cos^2\omega; \quad A_y(\omega) = 0{,}5f\sin\omega - 1, \qquad \omega \in [0;\omega_K].$$

Кут ω_K відповідає точці K траєкторії в якій частка ґрунту покидає криволінійну ділянку AB з деякою початковою швидкістю і починає вільне падіння в полі сили тяжіння [5]:

$$\ddot{x}_{tt}(t) = 0, \quad \ddot{y}_{tt}(t) = mg. \tag{4}$$

Приймаємо початкові умови: $t = 0$, $x(0) = 0$, $y(0) = 0$, $\dot{x}(0) = 0$, $\dot{y}(0) = 0$. Інтегруючи кожне рівняння (4) два рази отримаємо:

$$\dot{x}_t = C_{1x}, \qquad x(t) = C_{1x}t + C_{2x};$$
$$\dot{y}_t = gt + C_{1y}, \quad y(t) = 0{,}5gt^2 + C_{1y}t + C_{2y},$$

де $x(t)$ і $y(t)$ вирази, які визначають закон руху часток ґрунту вздовж осей координат.

Використовуючи початкові умови отримуємо:

$$C_{1x} = C_{1y} = 0, \quad C_{2x} = C_{2y} = 0; \quad x(t) = 0, \quad y(t) = 0{,}5gt^2.$$

Для знаходження величини часу переміщення частки ґрунту після сходу з траєкторії AK рахуємо, що при переміщенні частка по вертикалі проходить шлях:

$$h = y_K = R\sin\frac{V^2}{fgR};$$

тоді

$$R\sin\frac{V^2}{fgR} = 0{,}5gt^2.$$

Звідки

$$t_0 = \sqrt{\frac{R\sin\dfrac{V^2}{fgR}}{g}}.$$

Точка приземлення частки ґрунту після сходу з поверхні щоки: $L = \left|\overline{V}_n\right|t_0$. (5)

Практично за рахунок інерції руху точка приземлення буде розміщена в невеликих межах вертикалі на відстані $\left|\overline{V}_n\right|t_0$ від точки K внаслідок переміщення сошника за час t_0.

Таким чином можна стверджувати, що удосконалена конструкція щік сошника може забезпечити якісне загортання висіяного насіння повністю закриваючи борозну ґрунтом. Але для визначення раціональних значень конструктивних параметрів удосконалених щік сошника потрібні додаткові експериментальні дослідження за методикою планування експериментів.

Висновки:

1. В результаті проведених досліджень встановлено закон руху часток після сходу з криволінійної поверхні щік сошника.

2. Отримано залежність (5) для розрахунку параметрів розподілу часток ґрунту після приземлення на дно борозни.

3. Розглянута удосконалена конструкція щік сошника може забезпечити якісне загортання висіяного насіння повністю закриваючи борозну ґрунтом.

Список літератури

1 Колесников Н.В. Исследование сошников для точного высева семян сахарной свеклы: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.20.01 “Механизация сельскохозяйственного производства” / Н.В. Колесников. – Москва, 1969. – 21 с.

2 Пронько Л.Ю. Исследование работы сошников свекловичных сеялок точного высева / Л.Ю. Пронько // Механизация и электрификация сельского хозяйства. Вып. 12., Мн., “Ураджай”. – 1973. – С. 102 – 110.

3 Шабранский В.А. Исследование и совершенствование технологического процесса точного посева сахарной свеклы дражированными семенами: дис. канд. техн. наук: 05.20.01 / Шабранский В.А. – К., 1980. – 199с.

4 Бузенков Г.М. Машины для посева сельскохозяйственных культур / Г.М. Бузенков, С.А. Ма. – М.: “Машиностроение”, 1976. – 279 с.

5 Лойцянский Л.Г. Курс теоретической механики: В 2-х томах. Т. 2. Динамика. – 6-е изд., перераб. и доп. / Л.Г. Лойцянский, А.И. Лурье. – М.: Наука, 1983. – 640 с.

Д. Артеменко.

Математическая модель работы усовершенствованных щек сошника пропашной сеялки

Приведены результаты теоретического исследования процесса работы усовершенствованных щек сошника пропашной сеялки, обоснована их рациональная конструкция и определены основные параметры которые влияют на качество заделки семян. Отмечено, что усовершенствованная конструкция щек сошника способна обеспечить качественную заделку борозды с высеянными семенами.

D. Artemenko

Mathematical model of work advanced cheeks coulter’s of a seeder for beet crops

Results of theoretical research of work’s process of advanced cheeks coulter’s of a seeder for beet crops are resulted, their rational design is proved and key parametres which are defined influence quality of seeds seal. It is noticed that the advanced design of cheeks coulter’s is capable to provide qualitative seal of a furrow with seeds.

Одержано 05.03.12

УДК 620.178.16.004

Д.П. Журавель, доц., канд. техн. наук
Таврический государственный агротехнологический университет

Прогнозирование ресурса плунжерных пар топливных насосов

Работа посвящена прогнозированию ресурса плунжерных пар топливных насосов по характеристикам материалов деталей сопряжения и режиму работы.
ресурс, сопряжение, плунжерная пара, энергоемкость, поверхностные слои, пластическая деформация, абразивное зерно

Постановка проблемы. Наиболее распространенным видом изнашивания деталей узлов и агрегатов машин является абразивное изнашивание. Для абразивного изнашивания характерно внедрение абразивного зерна в поверхностные слои металлов под действием внешних сил, что является основным фактором разрушения поверхностного слоя. Кроме того, абразив, попадая в зону контакта двух поверхностей, не только является микрорезцами, но и прямыми деформаторами поверхностного слоя, приводя к накоплению деформаций, что способствует разрушению и дальнейшему ускоренному износу поверхностных слоев металлов [1].

Анализ последних исследований. Важные методические аспекты прогнозирования ресурса деталей и узлов, работающих в среде ТСМ, предложили А.А. Гуреев, Г.Ф. Большаков, К.В. Рыбаков, Г.П. Лышко, Н.К. Итинская, В.П. Коваленко и др. Эксплуатационная надежность узлов сельскохозяйственной техники, работающих в среде ТСМ, рассматривалась в работах М.А. Григорьева, Е.Н. Жулдыбина, А.В. Кузнецова, А.И. Селиванова, Э.А. Сухарева и т.д. [2, 3]. Однако процесс абразивного изнашивания рассматривался с точки зрения влияния прочностных и геометрических параметров трибосопряжений, что не в полной мере характеризует поведение поверхностных слоёв при данном виде изнашивания [4].

Формулирование целей статьи. Целью статьи является установление аналитической зависимости прогнозирования ресурса плунжерных пар топливных насосов.

Основная часть. Одним из параметров, характеризующих поведение поверхностного слоев металлов, является их энергоемкость. Энергоемкость – это количество энергии необходимое для деформации объема основной структуры поверхностного слоя металла. Энергоемкость поверхностных слоев зависит от механических и физических свойств материала детали и упрочняющих технологий.

Иначе можно сказать, что энергоемкость поверхностных слоев металла – это отношение внешней единичной нагрузки Δq_i, действующей на і-тое абразивное зерно к объему деформированного материала поверхностного слоя V_{Mi}.

$$Э_M = \frac{\Delta q_i}{V_{Mi}}, \frac{H}{м^2}. \quad (1)$$

При рассмотрении единичной площади, энергоемкость материала определяется отношением удельной нагрузки *Ру* к единичному объему деформированного материала V_{1M},

© Д.П. Журавель, 2012

$$Э_M^1 = \frac{P_У}{V_M^1}, \frac{Н}{м^2}. \quad (2)$$

Таким образом, объем деформированного металла поверхности можно определить через энергоемкость поверхностных слоев металлов деталей сопряжения.

$$V_М = \frac{P_У}{Э_M}. \quad (3)$$

Давление на абразивное зерно создается за счет изменения зазоров в сопряжениях топливного насоса в процессе работы. Рабочий цикл топливного насоса можно разделить на три периода. В период впуска топлива зазор равен исходному. В период нагнетания топлива из-за возникающего высокого давления зазор увеличивается до 6 мкм и в него поступают соизмеримые с зазором абразивные частицы. Только за период впрыска топлива может происходить силовое взаимодействие абразивных частиц с поверхностью трения и, как результат, изнашивание.

Анализ изношенных прецизионных деталей показал, что износ плунжера и втулки происходит около впускного отверстия на дуге 0,52…1,05 рад. в зависимости от размера абразивных частиц и продолжительности работы топливного насоса [4].

Если принять форму абразивной частицы близкую к сферической, то объем всех абразивных частиц, поступающих в зазор за цикл, равен

$$V_a = \frac{G_a}{\gamma_a} = \frac{\varepsilon \cdot V_З \cdot \gamma_T}{\gamma_a}, \quad (4)$$

где G_a – общий вес абразива,

ε – концентрация абразивных частиц в топливе,

$\gamma_т$, $\gamma_а$ – плотность дизельного топлива и абразивных частиц.

$V_з$ – объем зазора между плунжером и втулкой.

$$V_З = \frac{\alpha\left(R_{вт}^2 - R_{пл}^2\right) \cdot l_{пл}}{2}, \quad (5)$$

где $R_{вт}$,$R_{пл}$ – радиусы втулки и плунжера,

$l_{пл}$ – длина плунжера.

Количество абразивных частиц в зазоре может быть определено по соотношению

$$n = \frac{V_a}{V_i} - \frac{6 \cdot \varepsilon \cdot V_З \cdot \gamma_t}{\pi \cdot d_{ср}^3 \cdot \gamma_a}, \quad (6)$$

где $d_{ср}$ – средний диаметр абразивных частиц.

Объем металла, подвергающийся пластическому деформированию, рассчитывается по геометрии усеченного конуса, образуемого в результате относительного скольжения и одновременного внедрения абразивной частицы в поверхность трения

$$V_{пл} = \frac{L \cdot \left(F - F_{упр}\right)}{3}, \quad (7)$$

где F – площадь основания усеченного конуса, при h=0,01R,

$$F = \frac{R^2 \cdot (\alpha - \sin\alpha)}{2}, \quad (8)$$

где sin α/2=α/R

Объем деформации с точки зрения геометрии шарового сегмента равен

$$V_{\text{деф}} = \frac{\pi \cdot h_{\text{деф}} \cdot \left[3(2a)^2 + h_{\text{деф}}\right]}{6}, \tag{9}$$

где $V_{деф}$ – объем внедренных абразивных частиц,

2_a – длина хорды, определяемая глубиной внедрения и радиусом абразивной частицы.

Однако, объем деформированного металла, зависит от свойств материалов плунжера и втулки, характеристикой которого, является энергоемкость поверхностных слоев материалов деталей сопряжения и их силовых характеристик (2).

$$Э_M = \frac{6 \cdot P_У}{\pi \cdot h_{\text{деф}}\left[3(2a)^2 + h_{\text{деф}}\right]}, \tag{10}$$

Объемный износ в результате пластических деформаций, равен:

$$U_{\text{пл}} = \frac{\left(V_{ПЛ} + V_{\text{ВТ}}\right)}{n_P}. \tag{11}$$

Число циклов, приводящих к разрушению материала при пластических деформациях равно:

$$n_p = \varepsilon_0^t, \tag{12}$$

где ε_0 – относительное удлинение материала при разрыве;

t – коэффициент усталости при пластических деформациях.

Объемный износ втулки и плунжера за один цикл равен:

$$U = \left(U_{\text{деф}} + U_{пл}\right) \cdot n \cdot k. \tag{13}$$

Коэффициент дробления k=7, показывает увеличение величины износа, производимого частицей абразива к моменту ее дробления.

Таким образом, величина линейного износа деталей за определенное время работы сопряжения плунжер– втулка, определяется зависимостью:

$$U = \frac{U_ц \cdot m \cdot T}{A_{a1(2)}} = \alpha \cdot k \cdot m \cdot n \cdot T \cdot \left(R_{пл} \cdot l_{пл} + R_{вт} \cdot l_{вт}\right) \cdot \left(U_{деф} + U_{\text{пл}}\right), \tag{14}$$

где m=573,25ω – число циклов за один час работы,

T – время работы топливного насоса в часах,

A_a – номинальная площадь трения, которая определяется:

для плунжера $A_{a1}=R_{\text{пл}} \cdot l_{\text{пл}} \cdot a$;

для втулки $A_{\text{па2}} = R_{\text{вт}} \cdot l_{\text{вт}} \cdot a$,

Здесь lпл, lвт – длина рабочей поверхности втулки и плунжера.

Прогнозируя сроки наработки топливных насосов по износу плунжера и втулки, заменив величину износа на максимально допустимый износ, который определяется величиной подачи топлива и давлением, получим:

$$T = \frac{\left[U\right]_{\max}}{a \cdot k \cdot m \cdot n \cdot \left(R_{пл} \cdot l_{пл} + R_{вт} \cdot l_{вт}\right) \cdot \left(U_{деф} + U_{\text{пл}}\right)}. \tag{15}$$

Но так как, износы за счет пластической деформации, определяются энергоемкостью поверхностных слоев плунжера и втулки, то можно, учитывая зависимость (3), ресурс сопряжения плунжер – втулка представить в таком виде:

$$T = \frac{\left[U\right]_{\max} \cdot \left(Э_{Мпл} + Э_{Мвт}\right)}{a \cdot k \cdot m \cdot n \cdot \left(R_{пл} \cdot l_{пл} + R_{вт} \cdot l_{вт}\right) \cdot P_{уд}}. \tag{16}$$

Выводы. Ресурс сопряжения плунжер – втулка зависит от характеристики поверхностных слоев металла плунжера и втулки, максимально допустимого износа по работоспособности сопряжения и режима работы топливного насоса.

Список літератури

1. Макхамов К.Х. Расчёт износостойкости машин/ К.Х. Макхамов//Ташкент. ТашГУ,2002. – 144 с.
2. Дідур В.А. Вплив забрудненості дизельного палива на ефективність використання машинно-тракторних агрегатів (МТА) / В.А. Дідур, В.В. Дідур, І.Б.Вороновський // Праці ТДАТА. – Мелітополь, 2005 – Вип. 33.- 194с.
3. СухаревЭ.А.Теория эксплуатационной надёжности машин /Э.А.Сухарев//– Ровно: Изд-во РГГУ. – 2000. – 164 с.
4. Икрамов У.А. Расчет абразивного износа сопряжения плунжер втулка топливоподающей аппаратуры дизелей/ У.А.Икрамов, М.М.Тамкулашов, К.Х. Макхамов / /Проблемы трения и изнашивания. Вып.17. – Киев: Техника,1980. – С. 75-78.

Д.П. Журавель

Прогнозування ресурсу плунжерних пар паливних насосів

Робота присвячена прогнозуванню ресурсу плунжерних пар паливних насосів за характеристиками матеріалів деталей трибоспряжень та режиму роботи.

D. Juravel

Prediction of resource plunger fuel pump

The work is devoted to the prediction of the resource plunger fuel pumps on the characteristics of the material details of interface and operation.

Одержано 20.03.12

УДК.631.632

О.В. Нестеренко, ас., О.М. Васильковський, канд. техн. наук., С.М. Лещенко, канд. техн. наук., Д.І. Петренко, канд. техн. наук., Д.В. Богатирьов, канд. техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет

Перспективний напрямок інтенсифікації повітряної сепарації зерна

Стаття присвячена огляду живильних пристроїв для повітряної сепарації зерна. Запропоновано перспективний напрямок інтенсифікації пневмосепарації зерна та нову конструкцію живильного пристрою пневмосепаруючого каналу (ПСК), яка дозволить підвищити продуктивність, зменшити енергоємність та покращити ефективність процесу сепарації.
зерноочисна машина, сепарація, повітряний потік, зерновий матеріал, багаторівневий живильний пристрій, пневмосепаруючий канал (ПСК), багаторівневе введення зерна

Тенденція збільшення вирощування зерна в Україні потребує використання високопродуктивних зерноочисних машин для швидкої та своєчасної обробки, що забезпечить збереження продовольчих та посівних кондицій зернового матеріалу при відповідних нормах вологості та чистоти.

© О.В. Нестеренко, О.М. Васильковський, С.М. Лещенко, Д.І. Петренко, Д.В. Богатирьов, 2012

Список літератури

1. Макхамов К.Х. Расчёт износостойкости машин/ К.Х. Макхамов//Ташкент. ТашГУ,2002. – 144 с.
2. Дідур В.А. Вплив забрудненості дизельного палива на ефективність використання машинно-тракторних агрегатів (МТА) / В.А. Дідур, В.В. Дідур, І.Б.Вороновський // Праці ТДАТА. – Мелітополь, 2005 – Вип. 33.- 194с.
3. СухаревЭ.А.Теория эксплуатационной надёжности машин /Э.А.Сухарев//– Ровно: Изд-во РГГУ. – 2000. – 164 с.
4. Икрамов У.А. Расчет абразивного износа сопряжения плунжер втулка топливоподающей аппаратуры дизелей/ У.А.Икрамов, М.М.Тамкулашов, К.Х. Макхамов / /Проблемы трения и изнашивания. Вып.17. – Киев: Техника,1980. – С. 75-78.

Д.П. Журавель

Прогнозування ресурсу плунжерних пар паливних насосів

Робота присвячена прогнозуванню ресурсу плунжерних пар паливних насосів за характеристиками матеріалів деталей трибоспряжень та режиму роботи.

D. Juravel

Prediction of resource plunger fuel pump

The work is devoted to the prediction of the resource plunger fuel pumps on the characteristics of the material details of interface and operation.

Одержано 20.03.12

УДК.631.632

О.В. Нестеренко, ас., О.М. Васильковський, канд. техн. наук., С.М. Лещенко, канд. техн. наук., Д.І. Петренко, канд. техн. наук., Д.В. Богатирьов, канд. техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет

Перспективний напрямок інтенсифікації повітряної сепарації зерна

Стаття присвячена огляду живильних пристроїв для повітряної сепарації зерна. Запропоновано перспективний напрямок інтенсифікації пневмосепарації зерна та нову конструкцію живильного пристрою пневмосепаруючого каналу (ПСК), яка дозволить підвищити продуктивність, зменшити енергоємність та покращити ефективність процесу сепарації.
зерноочисна машина, сепарація, повітряний потік, зерновий матеріал, багаторівневий живильний пристрій, пневмосепаруючий канал (ПСК), багаторівневе введення зерна

Тенденція збільшення вирощування зерна в Україні потребує використання високопродуктивних зерноочисних машин для швидкої та своєчасної обробки, що забезпечить збереження продовольчих та посівних кондицій зернового матеріалу при відповідних нормах вологості та чистоти.

© О.В. Нестеренко, О.М. Васильковський, С.М. Лещенко, Д.І. Петренко, Д.В. Богатирьов, 2012

Зерноочисні машини, які використовуються для очищення зерна мають як правило комбіновану схему, повітряну та решітну очистки. Але незадовільні показники якості їх роботи, які в виробничих умовах зменшуються до 35-15% [1], стримують продуктивність повітряного очищення та негативно впливають на якісні та кількісні показники решітної очистки.

Однією з головних причин погіршення ефективності повітряної сепарації при підвищенні питомого навантаження є негативний перерозподіл швидкостей повітряного потоку в робочій зоні пневмосепаруючого каналу (ПСК), що значно зменшує повноту розділення зернової суміші та збільшує виніс повноцінного зерна в відходи [2,3].

Вирішення цієї проблеми можна досягнути за рахунок рівномірної подачі та розподілення зернового матеріалу в робочій зоні ПСК, що значно зменшить взаємодію компонентів та відповідно, покращить структуру та ефективність дії повітряного потоку[4,5,6,7].

Для цього використовуються живильні пристрої, які встановлюються безпосередньо перед введенням зернової суміші в ПСК та дозволяє значно покращити рівномірність розподілу зернового матеріалу та зменшити енергоємність пневмосепарації. Класифікація живильників приведена на рис.1.

Основні вимоги, які пред'являються до живильних пристроїв [8]:

- конструктивне виконання і швидкісний режим його роботи повинні забезпечувати рівномірну подачу зернового матеріалу по ширині і глибині каналу;
- швидкісний режим живильника вибирається з урахуванням сил, які діють на насінину в зоні контакту з елементами живильника, які забезпечують мінімальне травмування зерна і раціональну траєкторію польоту з мінімальними витратами енергії;
- потужність приводу живильника повинна бути по можливості мінімальною;
- конструкція і режим роботи живильника повинні бути такими, щоб забезпечити необхідні якісні і кількісні показники роботи пневмосепаратора.

В пневмосепараторах використовуються вальцеві, лопатеві, стрічкові, аераційні, дискові і вібраційні живильники, а також гравітаційні, з подачею матеріалу самопливом по похилій поверхні.

Стрічкові живильники з прямолінійною стрічкою не можуть забезпечити розгін компонентів до високої швидкості через аеродинамічний опір повітряного середовища, внаслідок чого швидкість руху важких компонентів не перевищує швидкості їх витання і виникає порційна подача [9,10].

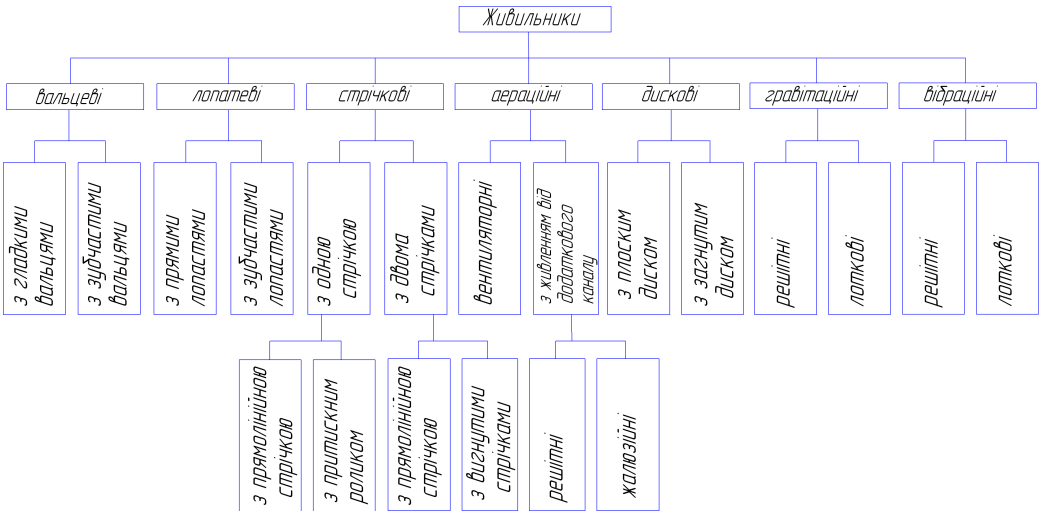


Рисунок 1 – Класифікація живильних пристроїв пневмосепараторів зерна.

Перевагою аераційних живильників є те, що зерновий матеріал вводиться фракціоновано, відповідно з аеродинамічними властивостями компонентів по висоті ПСК. Їх недоліком є підвищені витрати енергії за рахунок додаткових повітряних каналів.

Результати досліджень аераційних живильників [5,6,7] підтверджують що використання додаткових елементів, які змінюють структуру повітряного потоку перед введенням зернової суміші в ПСК, дозволяють підвищити ефективність пневмосепарації.

Вентиляторний живильник призначений для розгону зернових матеріалів під дією повітряного потоку, який створюється вентилятором перед їх вкиданням в нерухоме повітряне середовище. А одним з основних недоліків живильника-вентилятора є низький коефіцієнт корисної дії, оскільки для розгону важких компонентів зернового матеріалу необхідна значна висота ПСК. Інакше компоненти вилітатимуть з живильника із швидкістю значно меншою, ніж швидкість повітряного потоку в ПСК.

До переваг вальцевих живильників можна віднести компактність і простоту конструкції. А до недоліків - вірогідність травмування зерна у разі перевантаження і відхилення від необхідної швидкості вкидання.

Лопатеві живильники мають ряд істотних переваг (простота конструкції, технологічна і конструктивна надійність, невеликі габаритні розміри). Такий живильник може вкидати компоненти сировини, як в рухомий, так і в нерухомий повітряний потік.

Недоліком даного типу живильника є те, що він подає зерновий матеріал порціями, а не безперервним потоком. Зерновий матеріал, викинутий з лопатевого живильника, має досить великий кут розсіювання.

Крім того, лопатевий живильник не здатний викидати з одним і тим же кутом і з однаковою швидкістю компоненти зернового матеріалу, які значно відрізняються по об'ємній вазі і аеродинамічним властивостям, що обумовлює значну нерівномірність розподілу по поперечному перерізу ПСК.

Найбільш прості та малоенергоємні гравітаційні живильні пристрої, де зерновий матеріал вводиться в ПСК під дією власної сили тяжіння.

Основними перевагами гравітаційних живильних пристроїв пневмосепараторів є простота конструкції, налагоджуваність, надійність в роботі і порівняно невелика металоємність. Тому їх використання підвищує загальну технологічну ефективність пневмосепараторів.

Нами було запропоновано нову конструкцію живильного пристрою з багаторівневим введенням зернової суміші в ПСК [11] (рис.2).

Така конструкція забезпечує розділення зернового матеріалу на декілька обмежених за продуктивністю потоків, які поступають в різні робочі зони по висоті ПСК та дозволяє рівномірно розподіляти матеріал в зоні сепарації ПСК. Це сприяє зниженню опору повітряному потоку в зоні введення і виведення зернового матеріалу та вирівнюванню епюри швидкостей.

Живильний пристрій 3 складається з направляючих поверхонь 9, встановлених одна над одною, верхні кінці яких з’єднано з розподільчою пластиною 9, в якій виконано отвори прямокутної форми, а їх нижні кінці з'єднані з передньою стінкою пневмосепараційного каналу 4.

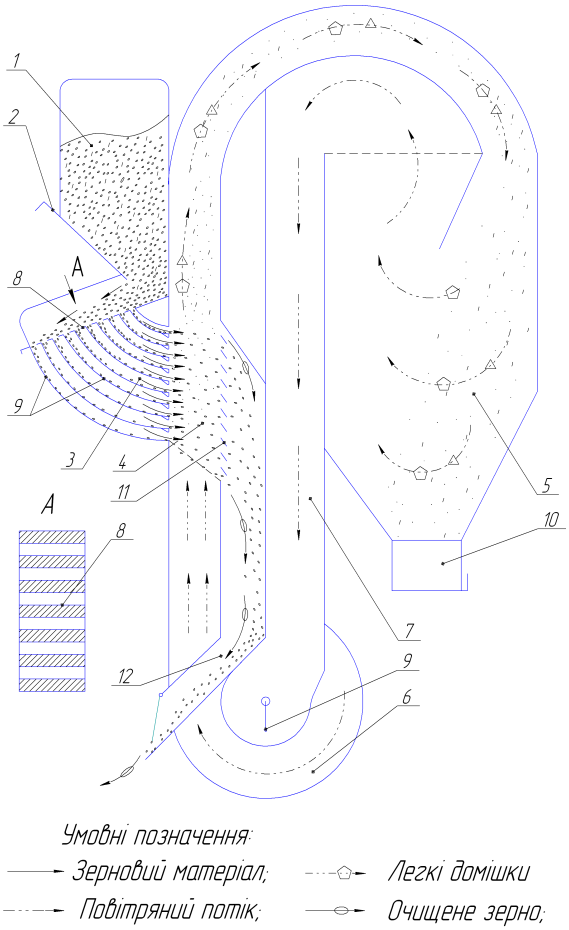


Рисунок 2 – Схема та загальний вигляд пневмосепаратора з живильним пристроєм для багаторівневого введення зернового матеріалу.

Живильний пристрій працює таким чином. Вихідний матеріал з бункера 1 поступає на розподільчу пластину 9 живильного пристрою 3, яка встановлена під кутом до горизонту, що дозволяє зерновій суміші рухатись з достатньою швидкістю. Далі зерновий матеріал просипається в отвори в пластині та потрапляє на направляючі поверхні живильного пристрою 8, які встановлені одна над одною, і тонкими шарами вводиться в робочу зону ПСК 4. Продуктивність пневмосепаратора регулюється заслінкою 2.

Під дією повітряного потоку зерновий матеріал розілюється на дві фракції, легкі домішки виносяться в осадову камеру 5, і видаляються через приймальник 11, а очищене зерно через жалюзійну стінку 10 поступає в герметичну камеру 12, і також виводиться з пневмосепаратора.

Результати експериментальних досліджень [12] підтверджують, що використання запропонованої конструкції живильного пристрою з багаторівневим введенням зернового матеріалу дозволяє зменшити опір повітряному потоку в 1,8-2 рази, збільшити його рівномірність в зоні сепарації, та відповідно покращити умови для видалення легких домішок, що підвищить ефективність повітряної сепарації порівняно з іншими існуючими ПСК.

Таким чином, в результаті проведеного аналізу визначено:

1. Застосування живильних пристроїв дозволяє покращити рівномірність розподілення робочої зони ПСК зерновим матеріалом, що сприяє вирівнюванню епюри швидкостей повітряного потоку та зменшенню втрат зерна в відходи.

2. Серед живильних пристроїв які використовуються, гравітаційні мають нескладну конструкцію, мало енергоємні та достатньо надійні і прості в обслуговуванні.

3. Запропоновано конструкцію гравітаційного живильного пристрою з багаторівневим введенням зернової суміші, використання якого дозволяє зменшити опір повітряному потоку в 1,8-2 рази, збільшити його рівномірність в зоні сепарації, та відповідно покращити умови для видалення легких домішок.

Список літератури

1. Подоляко В.И. Исследование процесса пневмоклассификации зерна как основы технологической настройки пневмосепарирующих устройств зерноочистительных машин. Дис. канд. техн.наук, Новосибирск, 1981. -20 с.
2. Гортинский В.В., Демский А.Б., Борискин М.А. Процессы сепарации на зернообрабатывающих предприятиях. – М., Колос. 1980 г.– С. 103-140.
3. А.Я.Малис,А.Р. Демидов. Машины для очистки зерна воздушным потоком, М., Машгиз, 1962, 176 с.
4. Веденьев В.Ф. Исследования процесса пневмосепарирования продуктов шелушения проса: Автореф. дис. Канд.. техн.. наук – МТПП, 1972.
5. Туров А.К. Пневмосепаратор зерна с предварительной подготовкой в плоско-паралельном воздушном поле //Сибирский весник с-х науки.-1984. - №2, стр.86-90.
6. Сабашкин В.А. Разделение зернового вороха в струйном воздушном потоке//Интенсификация процес сов послеуборочной обработки зерна: ВАСХНИЛ. Сиб. отд.- Новосибирск, 1985, С. 101-106.
7. Корнеев С.В. Интенсификация рабочего процесса зерноочистительной машины предварительной очистки путём фракционирования зернового материала: Дис….канд. техн. наук. Киров, 2002 – 185с.
8. Аристов С.А., Косилов Н.И. Исследование затрат мощности на привод ленточных питающих устройств пневмоинерционных сепараторов //Повышение производительности в качестве работы зерноуборочных и зерноочистительных машин: Науч.тр./ЧИМЭСХ. - Челябинск, 1984.– С.22-24.
9. Тельманов Н.И. Исследование работы зернопульта в лабораторных условиях //Труды /ЧИМЭСХ. - Челябинск, 1956. Вып.6.– С. 55-60.
10. Терсков Г.Д. Оптимальная скорость воздушного потока в сортировках и построение траектории движения зерна // Сельхозмашина, 1956. №2. – С. 18-21.
11. Васильковський М.І., Васильковський О.М., Мороз С.М., Лещенко С.М., Нестеренко О.В. Спосіб введення зернового матеріалу в пневмосепаруючий канал повітряного сепаратора.- Пат. (11) 9586 А Україна, МКИ В 02 В 1/00 (Україна).- № а200500209; Заявл. 10.01.05; Опубл. 17.10.2005.- Бюл. №10.
12. Дослідження роботи пневмосепаруючого каналу на фізичній моделі / М.І. Васильковський, О.М. Васильковський, С.М. Лещенко, О.В.Нестеренко// Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кіровоград, 2006. – Вип.17. – С. 44–48.

А. Нестеренко, А. Васильковский, С. Лещенко, Д.Петренко, Д. Богатырев

Перспективное направление интенсификации воздушной сепарации зерна

В статье приведен обзор питательных устройств для воздушной сепарации зерна. Предложено перспективное направление интенсификации пневмосепарации зерна и новую конструкцию питательного устройства пневмосепарирующего канала, позволяющего увеличить производительность, уменьшить енергоёмкость и повысить эффективность процесса пневмосепарации.

O. Nesterenko, O. Vasilkovsky, S. Leshchenko., D. Petrenko, D. Bohatyrov

Promising direction intensification for pneumatic seed separation

This article provides an overview of nutrient devices for pneumatic seed separation. Proposed promising area intensifying of for pneumatic seed separation and new construction of the device pneumatic nutrient canal, which allows to increase productivity, reduce energy capacity and increase the efficiency of the process for pneumatic seed separation.

Одержано 06.04.12

УДК 621.798.38

О.В. Оришака, доц., канд. техн. наук, В.В. Гончаров, доц., канд. фіз.-мат. наук, В.О. Оришака, доц., канд. техн. наук, А.О. Кравцов, магістр
Кіровоградський національний технічний університет

Теоретичне дослідження установки безперервної дії для завантаження сипких матеріалів

Проведений аналіз продуктивності установки безперервної дії порівняно з продуктивністю машин з циклічною подачею сипких матеріалів в клапанні мішки. Продуктивність установок безперервної дії для завантаження сипких матеріалів в 1,5 рази вище продуктивності машин з циклічною подачею. Визначено оптимальне число секцій в залежності від подачі матеріалу. Установлені залежності для визначення швидкості руху сипких матеріалів по гравітаційним поверхням, які розташовуються в першій і другій четвертях.

продуктивність, сипкий матеріал,секція, бункер, постачальний пристрій, завантажувальне пристосування

Установка безперервної дії для завантаження сипких матеріалів в клапанні мішки має ряд принципових відмінностей від машин з циклічною подачею сипкого матеріалу, які впливають на продуктивність та надійність технологічного процесу (1, 2)

Першою особливістю установки є те, що сипкий матеріал безперервно витікає зі спільного розвантажувального отвору бункера, а в подальшому після стабілізації по масі, потік сипкого матеріалу постачальним пристроєм установки розподіляється по секціям. Установка може використовуватись з одною, двома або трьома секціями при обслуговуванні її одним оператором, а також з чотирма і шіст'ю секціями – при обслуговуванні двома операторами.

Другою особливістю установки є те, що завантажувальне пристосування кожної секції містить два завантажувальних патрубка, через які сипкий матеріал почергово надходить спочатку в одні мішки, а потім після переключення напрямку руху потоку сипкого матеріалу в другі мішки. За період заповнення других клапанних мішків проводиться заміна заповнених мішків на порожні.

Мета роботи – провести аналіз продуктивності установки безприривної дії і порівняти її з продуктивністю машин з циклічною подачею сипкого матеріалу в клапанні мішки, а також визначити залежності руху матеріалу по каналам завантажувального пристосування з випуклими і вгнутими криволінійними поверхнями.

1. Аналіз продуктивності установки.

Продуктивність установки залежить від:

1. Витрат однієї секції – q кг/с (витік сипкого матеріала з бункера регулюється клапаном)
2. Кількості секцій – n (обмежується часом заміни клапанних мішків одночасно на всіх секціях $t_{з.м.}$)

Час заміни клапанних мішків, яким розпоряджається оператор:

$$t_{з.м.} = \frac{t_{зап.}}{n}, \qquad (1)$$

© О.В. Оришака, В.В. Гончаров, В.О. Оришака, А.О. Кравцов, 2012

де $t_{зап}$ – час заповнення клапанного мішка.

Час заповнення клапанного мішка:

$$t_{зап} = \frac{m}{g}, \tag{2}$$

де m – необхідна маса сипкого матеріалу в клапанному мішку.

Циклограма роботи установки безприривної дії з трьома секціями приведена на рис.1

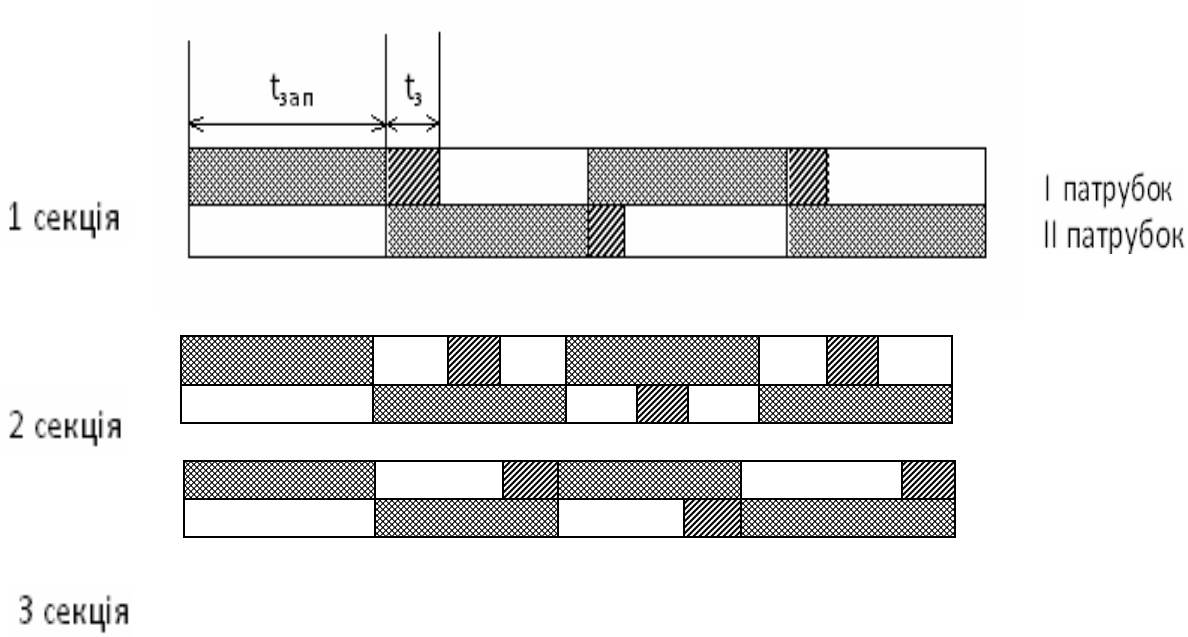


Рисунок 1- Циклограма роботи трьохсекційної установки безперервної дії

Як видно з циклограми можливий час на замінах клапанних мішків, який дорівнює часу заповнення клапанного мішка сипким матеріалом ділиться на число секцій.

Таким чином

$$t_{з.м} = \frac{m}{qn}, \tag{3}$$

Досвід експлуатації завантажувальних машин показує що час на заміну мішка повинен бути не менше 4 сек.

Залежність часу на заміну клапанних мішків від числа секцій при різних подачах приведено на рис. 2

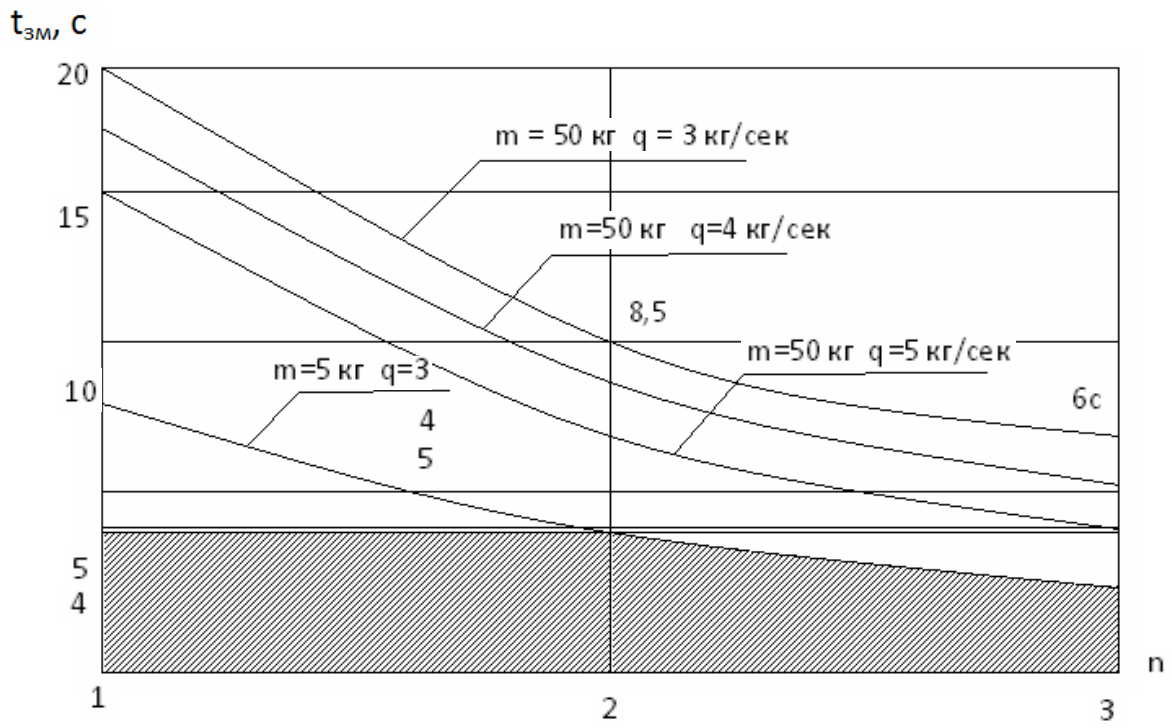


Рисунок 2 – Залежність часу на заміну клапанного мішка від числа секцій

На графіку рис. 2 проведена горизонтальна пряма лінія на відмітці 4 с.

Ті значення часу на заміну мішків, що є в розпорядженні оператора які лежать нижче цієї прямої не повинні застосовуватись.

Аналіз залежності, приведених на рис 3 показує, що при масі сипкого матеріалу в мішку m =50 кг практично можна застосовувати установки трьохсекційні при витратах q = 5кг/с.

При масі m =25 кг в основному необхідно використовувати одно та двосекційні установки.

Проведемо порівняльній аналіз продуктивності (Q) установки безперервної дії і машини з циклічною подачою сипкого матеріалу.

Продуктивність Q визначається залежностями:

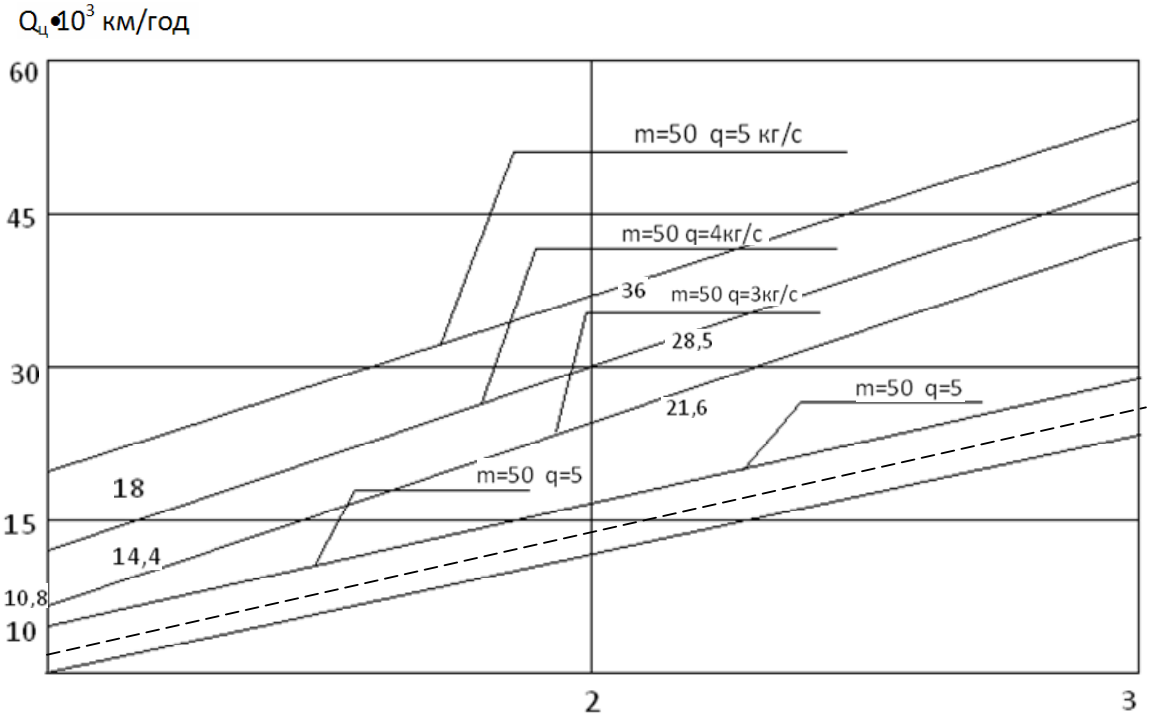
- при безперервній подачі сипкого матеріалу

$$Q_ц = 3600\, qn\,, \tag{4}$$

- при циклічній подачі сипкого матеріалу

$$Q_n = 3600 \frac{m}{t_{зап} + t_{з.м}} n\,, \tag{5}$$

Залежності продуктивності установок безперервної дії і машин з циклічною подачою від числа секцій приведені на рис. 3



_____ установка безперервної дії,
- - - - - - машина з циклічною подачею.

Рисунок 3 - Залежність продуктивності установок безперервної дії і машин з циклічною подачею від числа секцій.

Аналіз залежності приведених на рис 3 показує, що продуктивність установок безперервної дії для завантаження сипких матеріалів в клапанні мішки в 1,5 рази перевищує продуктивність машини з циклічно подачею.

Можливості збільшення продуктивності машин з циклічною подачею за рахунок збільшення подачі q обмежені, так як це приводить до зниження точності дозування маси в клапанному мішку.

2.Визначення швидкості руху сипкого матеріалу по криволінійним каналам

Для аналізу руху сипкого матеріалу по криволінійним гравітаційним поверхням каналів установки залишимо диференційне рівняння руху елементарного шару матеріалу (при русі по зовнішнім випуклим поверхням відповідає знак, приведений зверху; при русі по вгнутим поверхням – знизу): (див. рисунок)

$$m\frac{dv}{dt} = mg\cos\alpha + mf(\pm g\sin\alpha \pm \frac{v^2}{R}), \qquad (6)$$

де m- маса елементарного шару матеріалу;

mg – сила тяжіння;

α – кут нахилу кривої, тобто кут між горизонталлю і напрямком руху шару матеріалу;

f – коефіцієнт тертя матеріалу по поверхням;

$\frac{mv^2}{R}$ – нормальне прискорення;

R – радіус криволінійної поверхні.

Після спрощення маємо:

$$\frac{dv}{dt} = g\cos\alpha + f\left(\pm g\sin\alpha \pm \frac{v^2}{R}\right). \quad (7)$$

З рис.1 видно, що

$$\alpha = \frac{\pi}{2} - \gamma - \gamma_0, \quad (8)$$

де γ_0 – кут між прямою, проведеної з центру О до місця уведення матеріалу на криволінійну поверхню і вертикаллю $(\gamma_0 = const)$;

γ- кут між той же прямою і перпендикуляром, проведеним з центра О до напрямку руху матеріалу на криволінійній поверхні:

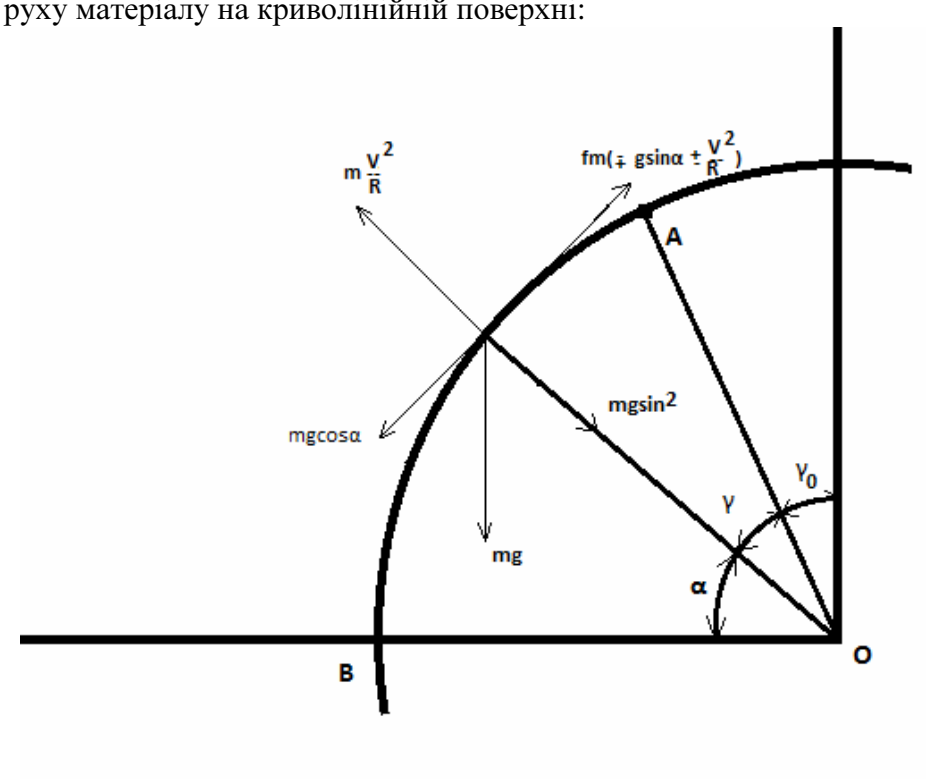


Рисунок 4 – Розрахункова схема

Позначимо $\overset{\frown}{AA} = S$; $S = R\gamma$

Звідси
$$\gamma = \frac{S}{R}. \quad (9)$$

Перетворимо:

$$\cos\alpha = \cos\left(\frac{\pi}{2} - \gamma - \gamma_0\right) = \sin(\gamma + \gamma_0);$$
$$\sin\alpha = \sin\left(\frac{\pi}{2} - \gamma - \gamma_0\right) = \cos(\gamma + \gamma_0). \quad (10)$$

Підставимо значення $\cos\alpha$ і $\sin\alpha$ із (16) в (7), одержимо:

$$\frac{dV}{dt} \mp \frac{V^2 f}{R} = g\sin(\gamma + \gamma_0) \mp fg\cos(\gamma + \gamma_0). \quad (11)$$

Виразимо $V = \frac{dS}{dt}$, одержимо диференційне рівняння виду:

$$V * \frac{dV}{dt} \mp \frac{V^2 f}{R} = g[\sin(\gamma + \gamma_0) \mp f\cos(\gamma + \gamma_0)]. \quad (12)$$

Його можна спростити, зробивши заміну $z = V^2$.

$$\frac{1}{R}\frac{dz}{d\gamma} \mp \frac{2f}{R}z = 2g[sin(\gamma+\gamma_0) \mp f cos(\gamma+\gamma_0)] \quad (13)$$

Враховуючи (5) $dS = Rd\gamma$ рівняння (9) приводиться до виду:

$$\frac{dz}{d\gamma} \mp 2fz = 2gR[sin(\gamma+\gamma_0) \mp f cos(\gamma+\gamma_0)] \quad (14)$$

Це рівняння є лінійним диференційним рівнянням першого порядку відносно $z(\gamma)$, яке потрібно розв'язати при граничній умові $\frac{z}{\gamma=0} = V_0^2$, де V_0 – дотична складова вхідної швидкості сипкого матеріалу. Його рішення є поєднання двох невідомих функцій:

$$U = U(\gamma) \quad \text{і} \quad w = w(\gamma)$$

У вигляді $z = U * w$

Тоді

$$\frac{dz}{d\gamma} = \frac{dU}{d\gamma}w + U\frac{dw}{d\gamma}$$

І рівняння (14) приймає вигляд

$$\frac{dU}{d\gamma}w + U\left(\frac{dw}{d\gamma} \mp 2fw\right) = 2gR[sin(\gamma+\gamma_0) \mp f cos(\gamma+\gamma_0)] \quad (15)$$

Функцію $w = w(\gamma)$ знаходимо с умови

$$\frac{dw}{d\gamma} \mp 2fw = 0 \quad (16)$$

Розв'язанням (16) є функція

$$w(\gamma) = e^{\mp 2f\gamma} \quad (17)$$

Підставимо (17) в (15). Тоді (13) приймає вигляд

$$dU = 2gRe^{\pm 2f\gamma}[sin(\gamma+\gamma_0) \mp f cos(\gamma+\gamma_0)]d\gamma \quad (18)$$

Після інтегрування получимо

$$U = \frac{2gR}{1+4f^2}e^{\pm 2f\gamma}[(1-2f^2)cos(\gamma+\gamma_0) \pm 3f sin(\gamma+\gamma_0)] + c, \quad (19)$$

де *C* – довільна стала. {постійна}

Із умови Z=U*w одержимо рішення диференційного рівняння

$$Z = \frac{2gR}{1+4f^2}[(1-2f^2)cos(\gamma+\gamma_0) + 3f\, sin(\gamma+\gamma_0)] + c * e^{\mp 2f\gamma}$$

З практичної умови $\frac{z}{\gamma=0} = V_0^2$

$$c - V_0^2 - \frac{2gR}{1+4f^2}[(1-2f^2)cos(\gamma+\gamma_0) + 3f\, sin(\gamma+\gamma_0)]$$

Або, розглядаючи швидкість $V = \sqrt{Z}$ знайдемо

$$V = \sqrt{\frac{2gR}{1+4f^2}\left[\left(1-2f^2\right)\cos(\gamma+\gamma_0)+3f\sin(\gamma+\gamma_0)\right]+c*e^{\mp 2f\gamma}}. \quad (20)$$

Підставимо значення постійною інтегрування в (16)

$$V = \sqrt{\frac{2gR}{1+4f^2}\left[(1-2f^2)\cos(\gamma+\gamma_0)+3f\sin(\gamma+\gamma_0)\right]+e^{\mp 2f\gamma}\left[V_0^2-\frac{2gR}{1+4f^2}\left[(1-2f^2)\cos\gamma_0+3f\sin\gamma_0\right]\right]} \quad (21)$$

Швидкість руху сипкого матеріалу по криволінійним гравітаційним поверхням каналів установки безперервної дії залежить від кута γ сталих значеннях γ_0, R, V_0 і f (коефіцієнт тертя буде залежить від властивостей сипкого матеріалу), тобто $V = V(\gamma)$. Одержана залежність дає можливість оптимізувати параметри установки

Список літератури

1. Патент на користування модель № 62756 Установка безперервної дії для завантаження сипких матеріалів. Заявка № 201102721 від 09.03. 2011 року Кадр 12.09.2011 бюл. № 17.2011 (О.В Оришака, В.О. Оришака, А.М.Артюхов)
2. Патент на корисну модель №59266 установка безперервної дії для завантаження сипких матеріалів / О.В. Оришака, В.О. Оришака, А.М. Артюхов. Заяв №201012298 від 18.10.2010 надр. 10.05.2011 БЮЛ №9-2011 р.
3. Оришака О.В., Оришака В.О. Установка безперервної дії для завантаження сипких матеріалів в клапанні мішки / Держаченство з питань науки, інновацій та інформації України. Укр.. інститут науково-технічної інформації укрЦНТЕІ. Експрес-новини №4-2011 УДК 621.9 ДРНТІ 81.901305-ст. 75-76

О. Орышака, В. Гончаров, В.Орышака, А.Кравцов

Теоретическое исследование установки непрерывного действия для загрузки сыпучих материалов

Проведенный анализ производительности установки непрерывного действия по сравнению с производительностью машин с циклической подачей сыпучих материалов в клапанные мешки. Производительность установок непрерывного действия для загрузки сыпучих материалов в 1,5 раза выше производительности машин с циклической подачей. Определено оптимальное число секций в зависимости от подачи материала. Установлены зависимости для определения скорости движения сыпучих материалов по гравитационным поверхностям, которые располагаются в первой и второй четвертях.

O. Oryshaka, V. Goncharov, V.Oryshaka, A.Kravcov

Theoretical research of setting of continuous action for the load of friable materials

The analysis performance settings continuously compared with the productivity of machines with cyclic feed bulk materials in valve bags. Production facilities for continuous loading of bulk materials is 1.5 times higher performance machines with cyclic feeding. The optimum number of sections depending on the feed material.

Одержано 14.03.12

УДК 631.3

А.А. Панков, доц., канд. техн. наук
Восточноукраинский национальный университет имени В.Даля
А.В. Щеглов, ст. преп., канд. техн. наук
Луганский национальный аграрный университет

Анализ динамики удельного тягового сопротивления рядковых сеялок

В статье рассмотрен баланс составляющих удельного тягового сопротивления при работе рядковой сеялки. Установлена тенденция постепенного возрастания данного показателя в течение длительного периода времени.
удельное сопротивление сеялки, тяговая мощность, высевающая система, агрегат, посев

При выборе и оценке рационального энергетического баланса машинно-тракторного агрегата (МТА) необходимо знать и учитывать энергетические показатели тракторов и агрегатируемых с ними сельскохозяйственных (с.-х.) машин.

При определении энергетических характеристик МТА определяют тяговые сопротивления орудий и машин, расчетные рабочие скорости и необходимую тяговую мощность энергетического средства [1].

Сопротивление с.-х. машин зависит от следующих факторов: типа и вида машины (плуг, сеялка, культиватор) и ее рабочих характеристик (количество корпусов, ширина захвата, пропускная способность), технологического режима работы (глубина обработки), количества машин в агрегате, скорости движения агрегата, физико-механических и геометрических характеристик грунта [2].

Рассмотрим отражение величины тягового сопротивления и тяговой мощности для его преодоления в различных публикациях и литературных источниках.

1. В лит.[1] указывается, что удельное сопротивление составляет P_c = 150-240кг/м (1,47 -2,35кН/м) при удельной массе машины $m_{уд}$ = 200…230кг/м и учете веса посевного материала (80кг/м). Здесь же колебания сопротивления предлагается оценивать коэффициентом возможной перегрузки $\nu_ц$ = 1,1…1,3 для посева зерновых культур.
2. Согласно [2], можно отметить, что для ширины захвата В = 3,6м (сеялка СЗ-3,6) P_c = 1,1…1,3кН/м.
3. На основании [3] принимается во внимание, что сопротивление двухдискового сошника составляет 1,5…14,2кг (14,7…140Н) при глубине хода h = 4…8см. При этом сеялка Т8-2А с В = 3,6м, массой m_c = 917кг, h = 4…7см имеет P_c = 400кг (3,9кН или 1,09кН/м), а сеялка СК-24 с В = 3,6м, массой m_c = 1018кг,h = 4…10,5см имеет P_c = 450кг (4,4кН или 1,23кН/м).
4. При рассмотрении [4] обнаруживается P_c = 1,3…1,8кН/м). Прирост значения P_c на скоростях 5…9км/ч – 1,5…2%, а при 9…15км/ч – 3…4%.
5. В [5] указывается величина P_c = 1,6…1,8кН/м, а неравномерность тягового сопротивления агрегатов составляет 10…40%.

© А.А. Панков, А.В. Щеглов, 2012

6. По лит.[6] можно отметить P_c = 1,25…1,5кН/м при В = 7,2м, действительной скорости $n_м \approx$ 60шт, количестве сошников n_c = 48шт, m_c = 3450кг, h = 1…8см, объеме семян в бункере $W_{сем.}$ = 906дм^3, объеме удобрений $W_{уд}$ = 424дм^3. При этом тяговая мощность для сеялки составляет 25…30кВт.

7. В лит.[7] рассматривается сеялка «Стокланд». Для В = 2м при скорости $V_д$ = 9,7км/ч (2,7м/с) тяговая мощность составит $N_{тяг.}$ = 7,2л.с.(5,3кВт), то есть P_c = 1,96кН (0,98кН/м), а при $V_д$ = 7,6км/ч (2,1м/с) $N_{тяг.}$ = 5,6л.с.(4,12кВт), т.е. также P_c = 1,96кН. В то же время для других тракторных сеялок при $V_д$ = 7,2км/ч (2,01м/с) тяговая мощность $N_{тяг.}$ = 15,3л.с.(11,25кВт), а P_c = 6кН.

8. По лит.[8] - P_c = 1,2…1,6кН/м.

9. В источнике [9] указывается прирост тягового сопротивления – 1,7% на 1км/ч скорости. При этом для сеялки СУ-24 с В = 3,6м, h = 4…8см, P_c = 110кгс/м (1,08кН/м) при $V_д$ = 4…5км/ч. Но при $V_д$ = 10,85км/ч (3м/с) P_c = 430кг (4,22кН) или 1,17кН/м.

10. В более новом издании данной книги [10] показано, что для агрегата МТЗ80/82+СЗ-3,6, В = 3,6м - P_c = 1,5…2кН/м. при скорости $V_д$ = 2,5…3,9м/с для этого агрегата тяговое сопротивление составляет 6,5…7,5кН с необходимой мощностью двигателя N_e = 44,2…47,8кВт.

11. Из лит.[11]: В = 10,8м (сеялки СЗ-3,6), $N_{тяг.}$ = 60кВт или $N_{тяг.}$ = 5,56кВт/м. Если принять $V_д$ = 2,5м/с, получим P_c = 2,22кН/м с учетом сопротивления сцепки СП-11 $P_{сц}$ = 1,25кН.

12. По лит.[12] соответственно сопротивление рядковой сеялки P_c = 1…1,95кН/м.

13. Согласно [13], при $V_д$ = 3,5м/с P_c = 2,4кН/м, а энергонасыщенность составляет 21,3кВт/тонну. Здесь же, для агрегата из трактора, сцепки СП-11, двух сеялок СЗ-3,6 при В = 7,2м, $V_д$ = 2…3м/с технологическое сопротивление составит 10…15кН, т.е. P_c = 1,4…2,08кН/м, а $N_{тяг.}$ = 20…45кВт.

14. В справочнике [14] указывается, что при В = 3,6м, m_c = 760кг, $W_{сем.}$ = 300дм^3 тяговое сопротивление составляет 350…400кг (P_c = 0,95…1,1кН/м). Для m_c = 370кг, $W_{сем.}$ = 120кг, В = 1,5м соответственно P_c = 0,82…0,98кН/м при h = 4…8см.

15. По лит.[15] прирост тягового сопротивления составляет 2,5% на 1км/ч.

16. В лит.[16] указывается, что сопротивление сошника при глубине хода h = 6см составляет 140…170Н.

После анализа литературных источников условно разделим их на 3 группы по периоду времени (году публикации) - Т:

1. 1960-е гг., лит.[3,7,14], средняя величина P_{c1} = 1,045кН/м;
2. 1970-е гг., лит.[1,2,9,15], средняя величина P_{c2} = 1,34кН/м;
3. 1980-е гг., лит.[4,5,8,10,11,13,16], средняя величина P_{c3} = 1,72кН/м.

Полученные результаты представим в виде зависимости P_c = f(T), рис.1.

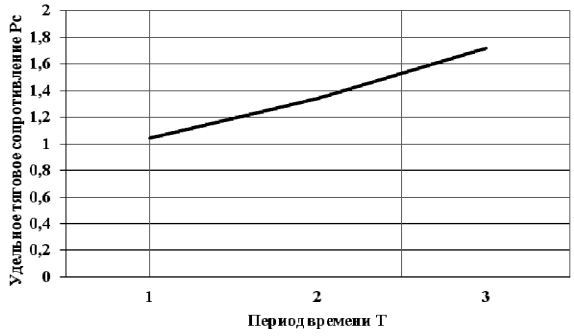


Рисунок 1. – Зависимость удельного тягового сопротивления рядковой сеялки в динамике развития и применения

Исходя из рис.1, очевидно постепенное возрастание удельного тягового сопротивления в течение относительно длительного периода времени, что требует дополнительных исследований. Имеет место вопрос: в результате чего имеет место прогрессирующее возрастание величины удельного сопротивления? Однако, как известно, наука никогда точно не отвечает на вопрос, не поставив сотню новых вопросов.

Поэтому возникает следующий вопрос: «Каким образом распределяются затраты мощности в посевной машине на преодоление тягового сопротивления?»

Тяговое сопротивление P_c посевной машины в работе состоит из следующих составляющих, согласно [3]:

$$P_c = R_п + R_c + R_a + R_{тр} + R_{уд}, \text{ Н}, \quad (1)$$

где $R_п$ – сопротивление перекатыванию колес сеялки по почве, Н;
R_c – сопротивление сошников, погруженных в почву, Н;
R_a – сопротивление высевающих аппаратов, Н;
$R_{тр}$ – сопротивление трению в механизмах передач и подшипниках, Н;
$R_{уд}$ – сопротивление от случайных толчков и ударов, Н.

Рассмотрим данный вопрос с помощью [17]. Здесь представлена характеристика процесса работы сеялки СЗС-6 (Клен-6). Несмотря на то, что в проспектах фирмы «Клен» [18] представлена скорость движения $V_д$ = 12км/ч, по результатам работы имеет место скорость $V_д$ = 8…9км/ч. Это связано с неустойчивостью хода трактора МТЗ-82 в результате перераспределения масс при навешивании сеялки. Масса сеялки m_c = 1500кг, масса семян в бункере (озимая пшеница с объемным весом 0,76т/м^3) – 900кг, суммарная масса $m_Σ$ = 2400кг. Число сошников - n_c = 48шт. Принимаем глубину заделки семян h = 6см. Очевидно, что трактор работает на IV – й передаче, при которой максимальная тяговая (крюковая) мощность составляет $N_{кр}$ = 31,62кВт [19].

Определим остальные составляющие в выражении (1). Среднее сопротивление перекатыванию по вспаханной почве при поднятых сошниках составляет 20…25% от веса сеялки, то есть:

$$R_п = (0{,}2...0{,}25)G_c = 0{,}2 \cdot 23544 = 4709 \text{ Н}, \quad (2)$$

где $G_c = m_Σ \cdot g = 2400 \cdot 9{,}81 = 23544$Н – вес сеялки.

Коэффициент «0,2» принимаем потому, что сеялка навесная.

Сопротивление сошников, погруженных в почву. На основании [3,16] принимаем сопротивление одного сошника $p_{сш}$ = 140Н, тогда:

$$R_c = p_{сш} \cdot n_c = 140 \cdot 48 = 6720 \text{ Н}, \quad (3)$$

Сопротивление высевающих аппаратов выразим посредством мощности на их привод: N_a = 280Вт [20].

Составляющая $R_{тр}$ здесь отсутствует, так как данная конструкция сеялки имеет электрический привод высевающих аппаратов.

Сопротивление от случайных толчков и ударов определяем коэффициентом возможной перегрузки, который принимаем $ν_ц$ = 1,1.

На основании вышеизложенных рассуждений определим тяговую мощность, необходимую для сеялки $N_{тяг.с}$:

$$N_{тяг.с} = 1,1\left[(R_п + R_с)\right] \cdot V_д + N_а = 1,1\left[(4709 + 6720)\right] \cdot 2,46 + 280 = 31235Вт. \quad (4)$$

Полученное значение $N_{тяг.с}$ = 31,24кВт ≈ $N_{кр}$ = 31,62кВт, значит сделанные предпосылки верны.

Исходя из значения $N_{тяг.с}$ = 31,24кВт можно определить значение $P_с$:

$$P_с = N_{тяг.с} / (V_д \cdot B) = 31240 / 2,46 \cdot 6 = 2,12кН/м, \quad (5)$$

Необходимо отметить, что подход к составляющей $R_а$ является несколько статичным. В [13] отмечается, что из всех составляющих уравнения (1) наиболее существенным является сопротивление перекатыванию $R_п$ и сопротивление сошников $R_с$, а сопротивление высевающих аппаратов и на трение не превышают 2…2,5% от среднего сопротивления машины. В другом источнике – [12] – показано аналогичное значение, то есть $R_а$ ≈ 100Н на валу катушечных высевающих аппаратов. Можно пользоваться и тем, что момент сопротивления вращению одной катушки зернового катушечного высевающего аппарата достигает $M_а$ = 1,4…1,8Нм, согласно также [12].

В случае с сеялкой «Клен-6» это положение, в общем, верно. Но в связи с тем, что интенсивность обработки материала значительно усилилась за прошедшее время в результате стремления к повышению производительности, необходимо рассмотреть этот вопрос более детально. Кроме того, высеваются семена различных культур, а это должно накладывать отпечаток на состояние вопроса. К тому же, на высеве используются машины с пневматической централизованной высевающей системой (ПЦВС), а энергетика рабочего процесса их высевающей системы в литературе освещена недостаточно [22]. Рассмотрим данный (следующий) вопрос.

Катушечные высевающие аппараты. Принимаем скорость движения машины такую же, как и для сеялки «Клен-6», то есть $V_д$ ≈ 2,5м/с (9км/ч). В любом литературном источнике по конструкции и эксплуатации посевных машин, например [4,23,24] имеется таблица передаточных отношений на вал высевающих аппаратов для семян сеялки СЗ-3,6, в зависимости от высеваемой культуры. Определим угловую скорость вращения «ω» опорно-приводного колеса сеялки диаметром $D_к$ = 1245мм = 1,245м, с учетом скольжения колес (ε = 0,05):

$$\omega = (1 - \varepsilon)V_д / 0,5D_к) = (1 - 0,05) \cdot 2,5 / (0,5 \cdot 1,245) = 3,81с^{-1}, \quad (6)$$

С учетом передаточного отношения от колес на вал семявысевающих аппаратов i = 0,616 (пшеница) определим угловую скорость катушек $\omega_к$:

$$\omega_к = \omega / i = 3,81 / 0,616 = 6,18с^{-1}, \quad (7)$$

Зная крутящий момент на катушке ($M_а$ = 1,8Нм), определим мощность на привод одной катушки $N_к$:

$$N_к = M_а \cdot \omega_к = 1,8 \cdot 6,18 = 11,1Вт, \quad (8)$$

С учетом КПД привода $\eta_п$ = 0,815 (три цепные и две зубчатые передачи) получим подведенную к одной катушке мощность $N_{пк}$:

$$N_{пк} = N_к / \eta_п = 11,1 / 0,815 = 13,6Вт, \quad (9)$$

При числе катушек $n_к$ = 24шт получим $\Sigma N_{пк}$ = 326Вт, а при $n_к$ = 48шт получим $\Sigma N_{пк}$ = 653Вт. Произведем подобные расчеты и для других культур. Результаты представим в табл.1.

Таблица 1 - Зависимость мощности $\Sigma N_{пк}$, Вт, от вида культуры при $n_к$ = 24шт

Просо i = 0,198, $\omega_к = 19{,}2с^{-1}$, $\gamma = 850кг/м^3$	Гречиха i = 0,428, $\omega_к = 8{,}9с^{-1}$, $\gamma = 720кг/м^3$	Пшеница i = 0,616, $\omega_к = 6{,}28с^{-1}$, $\gamma = 760кг/м^3$	Ячмень i = 1,33 $\omega_к = 2{,}9с^{-1}$, $\gamma = 450кг/м^3$
1020	472	326	152

При анализе табл.1 очевидно, что значение $\Sigma N_{пк}$ зависит от размерно-массовых характеристик посевного материала. То есть, чем меньше размеры семян и больше их объемный вес, тем больше и величина $\Sigma N_{пк}$.

Кроме того, значение $\Sigma N_{пк}$ зависит и от величины угловой скорости опорно-приводного колеса, а, следовательно, и от скорости поступательного движения посевной машины. Характеристика данной зависимости представлена в табл.2.

Таблица 2 - Зависимость мощности $\Sigma N_{пк}$, Вт, от значения поступательной скорости

Передаточное отношение «i»	$V_д$, м/с (км/ч)			
	1,5(5,4)	2,0(7,2)	2,5(9,0)	3(10,8)
0,198	613	817	1020	1226
0,428	284	378	472	567
0,616	197	262	326	394
1,330	91	122	152	183

Хорошо согласуются с вышеизложенными соображениями данные по [21]. Здесь, для сеялки RABE-Multidrill M300 с B = 3м, $m_с$ = 730кг, $n_с$ = 25шт, $W_{сем.}$ = 490дм^3 необходима тяговая мощность около 21кВт (то есть трактор с N_e = 40кВт при $\eta_{тяг}$ = 0,52). А согласно представленным зависимостям – 16кВт тяговой мощности при скорости $V_д$ = 9км/ч или 21кВт при $V_д$ = 12 км/ч.

Немаловажным обстоятельством относительно катушечных высевающих аппаратов является то, что отбор мощности здесь $\Sigma N_{пк}$ производится от опорно-приводных колес, то есть уже после всех потерь мощности на пути от двигателя к машине на почвенном фоне, обладающем слабой несущей способностью. При этом тяговый КПД посевного агрегата $\eta_{тяг}$ составляет примерно 0,48…0,52 [10,25], и, следовательно, величина $\Sigma N_{пк}$ увеличивается примерно в 2 раза. В противоположность этому, в других высевающих системах («Клен», ПЦВС и др.) отбор мощности производится от двигателя или трансмиссии трактора, избегая подобных значительных потерь.

ПЦВС. Как уже отмечалось, сравнительные показатели энергоемкости здесь еще не выявлены [22]. Но при рассмотрении литературных источников обнаруживается значительный разброс значений потребляемой мощности. Так, согласно [22], при ширине захвата B = 6м минимальная необходимая мощность составляет 4,5кВт, то есть приблизительно 94Вт «на сошник». А по данным [26] – в среднем 1,1кВт или 30Вт «на сошник» (на высеве пшеницы системой типа 1×4×9). Очевидно, что в любом случае потребляемая мощность у ПЦВС значительно выше, чем для системы «Клен» и катушечных высевающих аппаратов.

Исходя из вышеприведенных рассуждений, представим ориентировочные значения энергетических характеристик для типичных распространенных высевающих систем (табл.3).

Таблица 3 - Показатели энергетической характеристики высевающих систем

Вид высев. сист.	Показатели						Приме-чание
	Ширина захвата B, м	Скорость движен. $V_д$, м/с (км/ч)	Масса, кг		Объем бункера, $W_{сем.}$,дм^3	Тяговая мощн., кВт	
			Без семян	С сем. (озим. пшен.)			
«Клен»	6	2,5(9,0)	1500	2400	1200	31,24	Эл.магн. ВА
«Фиона супер»	6	2,5(9,0)	1000	2000	1320	30,0	Катуш. ВА
«Аккорд DT-6»	6	2,5(9,0)	1150… 1200	2300	1500	32,54	ПЦВС

Рассматривая табл.3, можно сказать, что показатели тяговой мощности для рассмотренных видов посевных машин идентичны при одинаковых значениях B и $V_д$. В случае агрегатирования с трактором МТЗ-82 технико-экономические показатели работы следующие: $V_д$ = 8,5…9км/ч, передача – 4…5, удельный расход топлива $g_{кр}$ = 464 …477г/кВтч, часовой расход топлива $G_т$ = 14,62кг/ч, теоретическая производительность $W_т \approx$ 5,4га/ч, действительная производительность $W_д \approx$ 4,5…5га/ч, (при коэффициенте использования времени смены $\tau \approx$ 0,85…0,9), гектарный расход топлива $G_{га} \approx$ 2,9…3,2кг/га (3,4…3,8л/га), буксование $\delta \approx$ 0,12, тяговый КПД $\eta_{тяг}$ = 0,557.

Кроме того, здесь выступает еще одно обстоятельство, связанное с переменной массой посевной машины, которая изменяется в среднем на 85% (табл.3). Следовательно, необходимая тяговая мощность (точнее ее составляющая $R_п$) будет также изменяться в определенной зависимости. Определим данную зависимость при разной степени заполнения бункера (табл.4).

Таблица 4 - Показатели тяговой мощности, кВт, при разной степени заполнения бункера посевной машины

Вид высев. сист.	Степень заполнения, %				
	0	25	50	75	100
«Клен-6»	26,45	27,65	28,84	30,04	31,24
«Фиона супер»	24,60	25,94	27,29	28,64	30,00
«Аккорд DT-6»	26,33	27,90	29,44	31,00	32,54

Из табл.4 видно, что экстремальные значения необходимой тяговой мощности отличаются на 15…20%. Но при уменьшении сопротивления логично предположить увеличение скорости также на 15…20%., так как формула определения тяговой мощности является линейной. Поэтому кратко рассмотрим следующий вопрос - о переменной производительности посевного МТА.

Выше установлено, что по мере расходования семян в бункере уменьшается и необходимая величина тяговой мощности и оператор постепенно переходит на повышенные передачи. В случае с трактором МТЗ-82 это передачи 5 и 6. То есть имеется три величины скоростей: $V_{д4}$ = 8,2км/ч(2,28м/с), $V_{д5}$ = 9,6км/ч(2,68м/с) и $V_{д6}$ =

11,3км/ч(3,14м/с) [10,19]. Усредняя, получим $V_{д.ср}$ = 9,7км/ч(2,7м/с). Соответственно тяговые и топливно-экономические показатели будут: $g_{кр}$ = 476г/кВтч, $\delta \approx 0{,}11$, $\eta_{тяг}$ = 0,52, $G_т$ = 14,6кг/ч, $W_т$ = 5,83га/ч, $W_д \approx 5…5{,}2$га/ч, $G_{га} \approx 2{,}8…2{,}9$кг/га (3,3…3,4л/га).

По предварительным расчетам видно, что при необходимости работы на передачах, смежных с оптимальной (на которой $\eta_{тяг} \rightarrow max$), с уменьшением тягового усилия тяговый КПД уменьшается в допустимых пределах (на 4%) и потери тяговой мощности невелики.

Но с другой стороны, при уменьшении загрузки по тяге и переходе на повышенную передачу увеличивается скорость движения и снижается буксование, что приводит к некоторому повышению производительности и улучшению удельных показателей.

Список литературы

1. Анилович В.Я., Водолажченко Ю.Т. Конструирование и расчет с.-х. тракторов. Справочное пособие. Изд. 2-е, перераб. и доп.–М., Машиностроен., 1975.– 451с.
2. Гуськов В.В. Тракторы. Ч.II. Теория. – Минск, «Вышейшая школа», 1976.–381с.
3. Петрусов А.И., Комаристов В.Е. Машины для посева, посадки и внесения удобрений. (Теория, конструкции и расчет). – Харьков, изд-во ХГУ им.А.М.Горького, 1960. – 220с.
4. Бондаренко Н.Г. Эксплуатация МТП. Изд. 2-е, доп. и перераб. – Киев, «Вища школа», 1983. – 234с.
5. Денисов А.А., Тырнов Ю.А., Нефедченко С.Ф. Рациональное использование мощных тракторов. // «Механизация и электрификация с.-х.», №5, 1987. – С.44.
6. Зырянов В.А., Цыбуля Н.Г. Перспективные широкозахватные посевные агрегаты. // «Техника в с.-х.», №2, 1992. – С.55…68.
7. Журавлев Б.И. Пневматические сеялки. Серия «С.-х. машиностроение». – М., 1966. – 86с.
8. Коженкова К.И. и др. Технология механизированных с.-х. работ: Учебн. пособие. – Мн.: Ураджай, 1987. – 370с.
9. Поляк А.Я., Щупак А.Д. Эксплуатация МТА на повышенных скоростях. М., «Колос», 1973. – 300с.
10. Справочник по скоростной с.-х. технике. Поляк А.Я., Щупак А.Д., Антышев Н.М. и др. – М.: Колос, 1982. – 284с.
11. Репетов А. Какой агрегат выгоднее? // «Сельский механизатор», №4, 1986. – С.10.
12. Сысолин П.В., Погорелый Л.В. Почвообрабатывающие и посевные машины: история, машиностроение, конструирование. – К.: Феникс, 2004. – 266с.
13. Скотников В.А., Мащенский А.А., Разумовский М.А., Чугалин Л.К. Проблемы современного тракторостроения. – Мн.: «Высш. школа», 1982. – 203с.
14. С.-х. машины, конструирование и расчет. Справочник.
15. Токарев В.А. Пути повышения производительности посевных агрегатов. // «Механизация и электрификация с.-х.», №3, 1976. – С.55…56.
16. Хоменко В.С., Зырянов В.А., Насонов В.А. Механизация посева зерновых культур и трав. Справочник. – К., «Урожай», 1988. – 163с.
17. Овсянников С.А., Цымбаленко С.В., Овсянников А.А. Эксплуатационно – технологические показатели посевного агрегата на базе сеялки СЗС-6. // «Механизация и электрификация с.-х.», №3, 1998. – С.41...42.
18. Проспекты фирмы МСНПП «Клен».
19. Тяговые характеристики с.-х. тракторов. Альбом-справочник. – М.: Россельхозиздат, 1978. – 248с.
20. Панков А.А. Сравнительный анализ эксплуатационных энергетических показателей работы высевающих аппаратов рядовых сеялок. В збірн. наук. праць ЛНАУ. Серія: технічні науки. Вид-во ЛНАУ, №49/72. Луганськ, 2005. – С.186…194.
21. Bestellkombinationen. Landtechnik Prüfberichte DLG-Haus Fachbereich Landtechnik - Prüfungsabteilung.
22. Внуков И.Е., Любушко Н.И. Направления совершенствования высевающих систем зерновых пневматических сеялок. // «Тракторы и с.-х. машины», №5, 1987. – С.33…35.
23. Гапоненко В.С., Войтюк Д.Г. С. – г. машини. Вид. 4-те, доп. та перероб. К., «Урожай», 1981. - 305с.
24. Комаристов В.Е., Дунай Н.Ф. Сельскохозяйственные машины. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.; «Колос», 1976. – 490с.
25. Поляк А.Я., Путинцева М.А., Щупак А.Д. Трактору – полную нагрузку. М.; «Колос», 1971. – 88с.
26. Скорляков В.И. Выбор рациональной аэродинамической схемы вентилятора для пневматических зерновых сеялок. // В сб. «Теоретические и технологические основы посева с.-х. культур». Том 125, М., ВИМ, 1991. – С.42…48.

А. Панков, А. Щеглов

Аналіз динаміки питомого тягового опору рядкових сівалок

У статті розглянутий баланс складових питомого тягового опору при роботі рядкової сівалки. Встановлена тенденція поступового зростання даного показника протягом тривалого періоду часу.

A. Pankov, A. Shheglov

The analysis of dynamics of specific hauling resistance of seed-drills

In the article is considered balance of constituents of specific hauling resistance during work of seed-drill. The tendency of gradual growth of this index is set during the protracted period of time.

Одержано 20.03.12

УДК 631.362.3

С.М. Лещенко, доц., канд. техн. наук, В.М. Сало, проф., д-р. техн. наук, О.М. Васильковський, доц., канд. техн. наук, Д.В. Богатирьов, доц., канд. техн. наук, В.В. Отт, магістрант
Кіровоградський національний технічний університет

Аналітична оцінка якості пневмосепарації на основі алгоритму функціонування зерноочисних машин

В статті проведено аналітичну оцінку якості пневмосепараційного процесу на основі алгоритму функціонування зерноочисних машин загального призначення. Запропоновано системний аналіз вхідних та вихідних чинників системи, що впливають на кількісні і якісні показники сепарації, які отримані з використанням методики В.Е. Саітова. Після побудови алгоритму функціонування зерноочисної машини проведено оцінку якості роботи та витрат енергії. Використовуючи теорію ймовірностей отримані залежності по оцінці ефекту очистки виходячи з рівня виділення компонентів кожної фракцій по етапах очищення. Наведені дослідження доводять, що використання замкненого повітряного потоку комбінованої дії (послідовне продування похилим та вертикальним потоком) від одного джерела дозволяє підвищити якість сепарації без суттєвого підвищення енерговитрат

зерноочисна машина (ЗОМ), пневмосепарація, пневмосепаруючий канал (ПСК), алгоритм функціонування, багатофункціональний робочий орган

Постановка проблеми. У аграрному виробництві держави питання збереження якісних показників зібраного врожаю зерна та насіння сільськогосподарських культур є особливо актуальним, оскільки несвоєчасна та неякісна післязбиральна обробка призводить як до різкої втрати посівних та продовольчих кондицій збіжжя, так і до різкого зниження його вартості на ринку аграрної продукції [1]. Зважаючи на те, що більшість існуючих у господарствах машин для здійснення операцій післязбиральної обробки є застарілими і малоефективними питання розробки конструкції, обґрунтування параметрів та режимів роботи нової зерноочисної техніки потребують нагального наукового та конструктивного вирішення.

Аналіз основних досліджень і публікацій. Значна кількість наукових досліджень в області інтенсифікації процесів очищення зернових матеріалів від домішок направлена на розробку нових конструктивно-технологічних схем сепарації з обґрунтуванням окремих параметрів [1]. При цьому визначення якісних показників, в

© С.М. Лещенко, В.М. Сало, О.М. Васильковський, Д.В. Богатирьов, В.В. Отт, 2012

А. Панков, А. Щеглов

Аналіз динаміки питомого тягового опору рядкових сівалок

У статті розглянутий баланс складових питомого тягового опору при роботі рядкової сівалки. Встановлена тенденція поступового зростання даного показника протягом тривалого періоду часу.

A. Pankov, A. Shheglov

The analysis of dynamics of specific hauling resistance of seed-drills

In the article is considered balance of constituents of specific hauling resistance during work of seed-drill. The tendency of gradual growth of this index is set during the protracted period of time.

Одержано 20.03.12

УДК 631.362.3

С.М. Лещенко, доц., канд. техн. наук, В.М. Сало, проф., д-р. техн. наук, О.М. Васильковський, доц., канд. техн. наук, Д.В. Богатирьов, доц., канд. техн. наук, В.В. Отт, магістрант
Кіровоградський національний технічний університет

Аналітична оцінка якості пневмосепарації на основі алгоритму функціонування зерноочисних машин

В статті проведено аналітичну оцінку якості пневмосепараційного процесу на основі алгоритму функціонування зерноочисних машин загального призначення. Запропоновано системний аналіз вхідних та вихідних чинників системи, що впливають на кількісні і якісні показники сепарації, які отримані з використанням методики В.Е. Саітова. Після побудови алгоритму функціонування зерноочисної машини проведено оцінку якості роботи та витрат енергії. Використовуючи теорію ймовірностей отримані залежності по оцінці ефекту очистки виходячи з рівня виділення компонентів кожної фракцій по етапах очищення. Наведені дослідження доводять, що використання замкненого повітряного потоку комбінованої дії (послідовне продування похилим та вертикальним потоком) від одного джерела дозволяє підвищити якість сепарації без суттєвого підвищення енерговитрат

зерноочисна машина (ЗОМ), пневмосепарація, пневмосепаруючий канал (ПСК), алгоритм функціонування, багатофункціональний робочий орган

Постановка проблеми. У аграрному виробництві держави питання збереження якісних показників зібраного врожаю зерна та насіння сільськогосподарських культур є особливо актуальним, оскільки несвоєчасна та неякісна післязбиральна обробка призводить як до різкої втрати посівних та продовольчих кондицій збіжжя, так і до різкого зниження його вартості на ринку аграрної продукції [1]. Зважаючи на те, що більшість існуючих у господарствах машин для здійснення операцій післязбиральної обробки є застарілими і малоефективними питання розробки конструкції, обґрунтування параметрів та режимів роботи нової зерноочисної техніки потребують нагального наукового та конструктивного вирішення.

Аналіз основних досліджень і публікацій. Значна кількість наукових досліджень в області інтенсифікації процесів очищення зернових матеріалів від домішок направлена на розробку нових конструктивно-технологічних схем сепарації з обґрунтуванням окремих параметрів [1]. При цьому визначення якісних показників, в

© С.М. Лещенко, В.М. Сало, О.М. Васильковський, Д.В. Богатирьов, В.В. Отт, 2012

більшості випадків, зводиться до експериментального дослідження по встановленню раціональних параметрів запропонованих схем. Досить складним завданням залишається теоретичне визначення якісних показників пневмосепарації, що є особливо актуальним при розробці нових конструкцій пневмосистем зерноочисних машин загального призначення.

Якісними показниками процесу пневмосепарації є ефект очистки ε і чіткість сепарації z. Ефект очистки і чіткість сепарації в більшості визначають за методикою запропонованою А.Я. Малісом та А.Р. Демидовим [2]:

$$\varepsilon = \frac{A - B}{Б} \cdot 100\%, \qquad z = \frac{B}{A} \cdot 100\%,$$

де A – кількість виділеної повітряним потоком легкої фракції, кг;

$Б$ – кількість легкого компоненту у вихідному матеріалі, кг;

B – вміст важкого компоненту у виділеній повітряним потоком легкій фракції, кг.

Наведена вище методика визначення якісних показників сепарації виключає можливість проведення аналітичного встановлення питомої продуктивності та узгодження енерговитрат з номінальною продуктивністю машини.

Постановка завдання. Виходячи із вищезазначеного метою даної роботи є визначення якісних показників сепараційного процесу в похилому пневмосепаруючому каналі на основі алгоритму функціонування зерноочисної машини.

Виклад основного матеріалу. Різноманітність функціональних схем ЗОМ обумовлюється різницею в їх будові, призначенні та порядку перебігу основних технологічних операцій. Інтенсифікація режимів роботи окремих робочих органів ЗОМ потребує більш детального і точного теоретичного обґрунтування функціональних схем машин в цілому та узгодження параметрів роботи їх окремих органів (елементів).

В більшості ЗОМ, робота яких базується на аеродинамічних властивостях матеріалу, перебіг процесу відбувається подібним чином і може бути представлений у вигляді моделі функціонування машини для попереднього очищення, яка працює по принципу «вхід-вихід», що запропоновано Саітовим В.Е. [1]. Вхідними елементами, як і у більшості існуючих моделей, є подача $G(t)$ зернового матеріалу і його початкові якісні показники $k(t)$ (засміченість, вологість, неоднорідність і т.д.).

До вихідних параметрів можна віднести: масу обробленого матеріалу $G_o(t)$, кількість відходів $P_o(t)$ і питомі витрати енергії $N_П(t)$. Якість пневмосепарації оцінюється ефектом очистки $\varepsilon(t)$ і чіткістю сепарації $z(t)$, тому вони теж відносяться до вихідних параметрів.

Оскільки якість сепарації в значній мірі визначається середньою швидкістю повітряного потоку $V_{ср}$, його рівномірністю φ та геометричними параметрами пневмосепаратора Δ, то ці чинники відносяться до керованих.

На основі запропонованої моделі проведемо побудову алгоритму функціонування ЗОМ з врахуванням раціональної послідовності технологічних операцій та основного рівняння кінетики сепарації [3, 4, 5] (рис. 1).

Під раціональним порядком перебігу пневмосепараційного процесу слід мати на увазі послідовність виділення домішок із зернового матеріалу – спочатку крупні домішки (видаляються решетом до подачі безпосередньо в ПСК), потім легкі (видаляються повітряним потоком) і нарешті дрібні (прутковим решетом з наданням кінетичної енергії зерновому матеріалу ротором для відвантаження з машини) [6].

Для покращення якості очищення зерна повітряним потоком пропонується проводити його двохкратну сепарацію послідовно спочатку в похилому, а потім у

вертикальному ПСК, що з врахуванням замкненої схеми ЗОМ не має значного впливу на показники витрат енергії.

На рис. 1 представлено алгоритм функціонування запропонованої ЗОМ [3], що складається з решітного сепаратора для виділення крупних домішок, та повітряно-решітного блоку для виділення легких та дрібних домішок. При цьому до повітряної частини входять два послідовно з'єднані ПСК (похилий та вертикальний), а повітряний потік створює лопатевий ротор, який не лише виконує функцію вентилятора, а й відвантажує очищене зерно із машини після його очищення від дрібних домішок на підсівному прутковому решеті.

До вхідних параметрів процесу сепарації зерна в даній машині відносяться її питому продуктивність $G(t)$ та характеристики зернового матеріалу $k(t)$, а саме його засміченість та вологість. Вихідними параметрами є маса зерна після решітної сепарації $G_{pc}(t)$ і його якість $k_{pc}(t)$, а також кількість видалених домішок $P'_д(t)$ та втрати повноцінного зерна у відходи $П'_з(t)$. Аналогічно для ПСК вхідні параметри – подача зернового матеріалу $G_{П_1}(t)$ та $G_{П_2}(t)$ і його якість $k_{П_1}(t)$ та $k_{П_2}(t)$; вихідні параметри – кількість домішок, що видаляються повітряним потоком $P_{дП}'(t)$ та $P_{дП}''(t)$, втрати повноцінного зерна у відходи $П_{зП}'(t)$ та $П_{зП}''(t)$ і питомі витрати енергії $N_{П_1}(t)$ та $N_{П_2}(t)$.

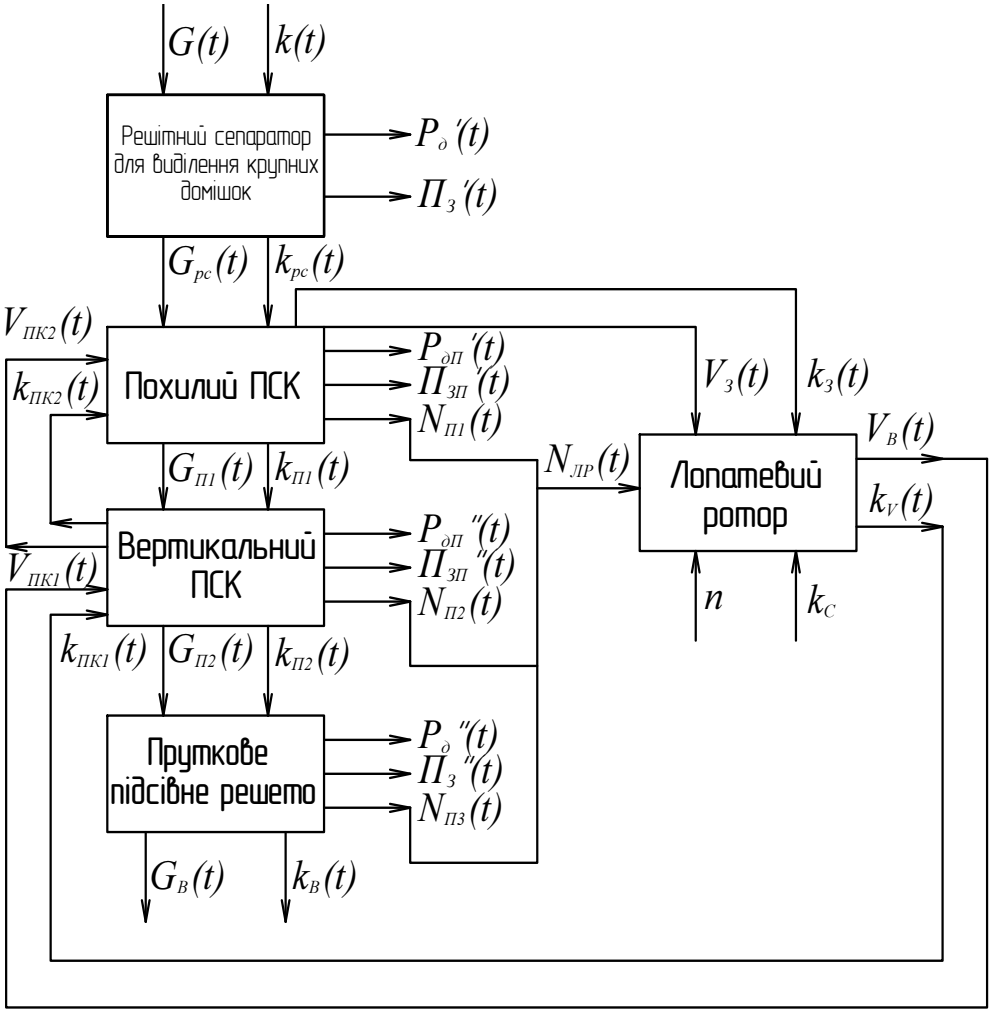


Рисунок 2 – Алгоритм функціонування ЗОМ

Пруткове підсівне решето має аналогічні вхідні та вихідні параметри. Визначальними для роботи ПСК є вихідні параметри повітряного потоку, який створює лопатевий ротор (вентилятор), а саме вихідна продуктивність (швидкість) повітряного потоку $V_B(t)$ і його якісні показники $k_V(t)$ (рівномірність швидкостей в поперечному перерізі ПСК). Враховуючи те, що повітряна система ЗОМ має замкнений характер, то швидкість повітряного потоку в обох каналах $V_{ПК1}$ та $V_{ПК2}$ є величинами взаємопов'язаними. Керованими чинниками системи є частота обертання лопатевого ротора n та опір повітряної системи k_c, який залежить як від площі перерізу каналів, так і від величини питомого навантаження та способу введення матеріалу в ПСК.

Слід відмітити, що загальна кількість домішок, що виділяється машиною:

$$P_д(t) = P_д^{'}(t) + P_{дП}^{'}(t) + P_{дП}^{''}(t) + P_д^{''}(t) \quad (1)$$

Втрати повноцінного зерна у відходах:

$$П_з(t) = П_з^{'}(t) + П_{зП}^{'}(t) + П_{зП}^{''}(t) + П_з^{''}(t) \quad (2)$$

Питомі витрати енергії, які в сумі становлять питомі витрати лопатевого ротора відповідно:

$$N_П(t) = N_{ПР}(t) = N_{П1}(t) + N_{П2}(t) + N_{П3}(t) \quad (3)$$

При проведенні аналізу моделі функціонування ЗОМ можна дійти до висновку, що при вхідних параметрах $G(t)$ і $k(t)$, контролюючими вихідними параметрами є $E(t)$, $P_д(t)$ та $N_П(t)$, що в своїй сукупності характеризують якісні показники технологічного процесу машини.

При розділенні зернової суміші в кілька етапів існує ускладнення в оцінці ефективності очищення як всього технологічного процесу в цілому, так і окремих його частин. Нехай зернова суміш, яка потрапляє на обробку складається з повноцінного зерна – A; крупних і дрібних домішок, виділення яких не можливо повітряним потоком – B та легких домішок C. Після багатократної обробки зернової суміші відбувається поетапне виділення домішок, загальна кількість яких визначається окремо по кожній із операцій технологічного процесу машини і може бути знайдена за формулою (1).

Загальний склад суміші у масовому відношенні можна представити у вигляді рівняння:

$$A + B + C = 1. \quad (4)$$

Масу кожної фракції, що проходить очистку на кожному з етапів можна представити у вигляді виразу:

$$Q_0 \cdot a_0 = a_1 \cdot A + a_2 \cdot B + a_3 \cdot C, \quad (5)$$

$$Q_0 \cdot b_0 = b_1 \cdot A + b_2 \cdot B + b_3 \cdot C, \quad (6)$$

$$Q_0 \cdot c_0 = c_1 \cdot A + c_2 \cdot B + c_3 \cdot C, \quad (7)$$

де Aa, Bb, Cc – долі вмісту кожного з компонентів за масовим показником.

З рівнянь (5…7) запишемо наступний вираз:

$$a_0 + b_0 + c_0 = a_1 + b_1 + c_1 = a_2 + b_2 + c_2 = a_3 + b_3 + c_3 = 1. \quad (8)$$

На основі теорії ймовірності можна записати:

$$\frac{A_1 \cdot a_0}{Q_0 \cdot a_0} = P_{пз}, \ \frac{B \cdot b_2}{Q_0 \cdot b_0} = P_{кд}, \ \frac{C \cdot c_3}{Q_0 \cdot c_0} = P_{лд}, \quad (9)$$

де $P_{пз}$, $P_{кд}$, $P_{лд}$ – відповідно ймовірності виділення повноцінного зерна, крупних і дрібних домішок та легких домішок.

Ефективність розділення компонентів E можна виразити через ймовірності виділення кожного з компонентів і в ідеальному випадку ймовірності повного розділення дорівнюють:

$$P_{пз} = 1,\ P_{кд} = 1,\ P_{лд} = 1,\ E = 1. \tag{10}$$

В дійсності при процесі очищення ймовірність виділення кожної з фракції менше одиниці, в цьому випадку коефіцієнт, що характеризує процес розділення, змінюється в межах $0 < E < 1$.

Неможливість виділення домішок із фракції повноцінного зерна A визначається із співвідношення:

$$P_д = \frac{A \cdot b_1 + A \cdot c_1}{Q_0 \cdot b_0 + Q_0 + c_0}, \tag{11}$$

а ймовірність втрати повноцінного зерна визначається як:

$$P_п = \frac{B \cdot a_2 + C \cdot a_3}{Q_0 \cdot a_0}. \tag{12}$$

Тоді ймовірність проміжного випадку знаходиться як різниця ймовірностей повної і неможливої події, тобто

$$E_1 = 1 - (P_д + P_п) = 1 - \left(\frac{A \cdot b_1 + A \cdot c_1}{Q_0 \cdot b_0 + Q_0 + c_0} + \frac{B \cdot a_2 + C \cdot a_3}{Q_0 \cdot a_0} \right). \tag{13}$$

З рівності (5) знаходимо

$$\frac{A \cdot a_1}{Q_0 \cdot a_0} = 1 - \frac{B \cdot a_2 + C \cdot a_3}{Q_0 \cdot a_0}. \tag{14}$$

Після підстановки (14) в (13) отримаємо загальну ефективність очищення повноцінного зерна:

$$E_1 = \frac{A \cdot a_1}{Q_0 \cdot a_0} - \frac{A \cdot b_1 + A \cdot c_1}{Q_0 \cdot b_0 + Q_0 + c_0} \tag{15}$$

Остання рівність дозволяє визначити якісні показники пневмосепараційного процесу виходячи з виділення компонентів кожної фракцій по етапах очищення.

Висновки. 1. Проведено аналіз функціональної схеми ЗОМ, в ході якого проаналізовано вхідні та вихідні параметри моделі функціонування машини побудованої на основі моделі запропонованої В.Е. Саітовим.

2. Встановлено, що використання замкненого повітряного потоку комбінованої дії (послідовне продування похилим та вертикальним потоком) від одного джерела дозволяє підвищити якість сепарації без суттєвого підвищення енерговитрат.

3. Ефективність очищення повноцінного зерна можна визначили аналітично базуючись на теорії ймовірності та з врахуванням початкового вмісту кожної з фракцій зернової суміші у вихідному матеріалі.

Список літератури

1. Бурков А.И. Зерноочистительные машины. Конструкция, исследование, расчет и испытание / А.И. Бурков, Н.П. Сычугов. – Киров: изд-во НИИСХ Северо-Восток, 2000. – 258 с.
2. Теоретичне дослідження якості пневмосепарації зернових сумішей в похилому повітряному потоці / Лещенко С.М., Васильковський О.М., Сало В.М., [та ін.] // Сільськогосподарські машини: Зб. наук. ст. – Вип. 21. – Том 1. – Луцьк: Ред.-вид. відділ ЛНТУ, 2011. – С. 249 – 254.
3. Аналіз сучасного стану повітряної сепарації зерна / М.І. Васильковський, С.Я. Гончарова, С.М. Лещенко, [та ін.] // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 36. – Кіровоград: КНТУ, 2006. – С. 111–114.
4. Васильковський М.І. Дослідження повітряно-інерційної зерноочисної машини з вдосконаленим способом введення зернового матеріалу в пневмосепаруючий канал / М.І. Васильковський, Г.О.

Глобенко, С.М. Лещенко // Щоквартальний науково-виробничий журнал Одеської академії харчових технологій. Зернові продукти і комбікорми, №3, 2008. – С. 48–52.
5. Підвищення ефективності попереднього очищення зернових сумішей. / Лещенко С.М., Васильковський О.М., Васильковський М.І., Гончаров В.В. // Сільськогосподарські машини: Зб. наук. ст. – Вип. 18. – Луцьк: Ред. вид. відділ ЛНТУ, 2009. – С. 230-234.
6. Обґрунтування алгоритму функціонування інерційно-прямоточних зерноочисних машин / Лещенко С.М., Васильковський О.М., Васильковський М.І., [та ін.] // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Вип.24. Ч.1 – Кіровоград: КНТУ, 2011 – С. 176-181.

С.Лещенко, В.Сало, А. Васильковский, Д. Богатырьов, В. Отт

Аналитическая оценка качества пневмосепарации на основе алгоритма функционирования зерноочистительных машин

В статье проведена аналитическая оценка качества пневмосепарационного процесса на основе алгоритма функционирования зерноочистительных машин общего назначения. Предложен системный анализ входных и исходных факторов системы, влияющие на количественные и качественные показатели сепарации, которые получены с использованием методики В.Е. Саитова. После построения алгоритма функционирования зерноочистительной машины проведена оценка качества работы и расходов энергии. Используя теорию вероятностей полученные зависимости по оценке эффекта очистки исходя из уровня выделения компонентов каждой фракций по этапам очистки. Приведенные исследования доказывают, что использование замкнутого воздушного потока комбинированного действия (последовательная продувка наклонным и вертикальным потоком) от одного источника позволяет повысить качество сепарации без существенного повышения энергозатрат

S. Leschenko, V. Salo, A. Vasil'kovskiy, D. Bogatirev, V. Ott

Analytical estimation quality air cleaner on the basis algorithm of functioning grain cleaners

In the article the analytical estimation quality of air cleaner process is conducted on the basis of algorithm functioning of grain cleaners of the general setting. The analysis systems of entrance and initial factors is offered systems. Influencing on quantitative and quality indexes separations that is got with the use of methodology V. Saitov. After the construction algorithm functioning of grain cleaner the estimation of quality work and charges of energy is conducted. Using the theory of chances the got dependences as evaluated by the effect of cleaning coming from the level of selection of components each factions on the stages cleaning. The brought researches over prove that the use of the reserved current air of the combined action(successive blowing out by a sloping and vertical stream) from one source allows to improve quality separation without the substantial increase of expenses energy.

Одержано 06.04.12

УДК 621.9.048.7:621.373.826:631.31

Ю.О. Ковальчук, канд. техн. наук, В.В. Дідур, канд. техн. наук,
В.В. Кравченко, канд. техн. наук
Уманський національний університет садівництва

Застосування лазерного зміцнення сталі 65Г для підвищення зносостійкості робочих органів ґрунтообробних знарядь

Проаналізовано, який тип сталі використовується в Україні виробниками робочих органів ґрунтообробних машин. Досліджено властивості цієї сталі після лазерного зміцнення та можливість застосування різних додаткових заходів для ще більшого підвищення зносостійкості відповідних знарядь з метою забезпечення успішного впровадження у виробництво методу поверхневої лазерної обробки.
метод поверхневої лазерної обробки, лазерне зміцнення, гартування, наплавлення, зносостійкі твердосплавні порошки, сталь 65Г, робочі органи ґрунтообробних знарядь

Постановка проблеми. Нині питання збільшення ресурсу виробітку робочих органів ґрунтообробної техніки не втрачає своєї актуальності. Однією із першочергових задач, що стоять перед виробниками ґрунтообробних машин, є забезпечення вищої міцності тих зон робочих органів, які найбільше піддаються зносу. Внаслідок абразивного зношування робочих поверхонь відбувається втрата первинної форми різальних елементів, що призводить до збільшення тягового опору ґрунтообробних машин та витрат паливно-мастильних матеріалів. Виникає потреба в заточуванні або заміні зіпсованих деталей.

Одним із методів зміцнення виробів із сталі є метод поверхневої лазерної обробки, що може успішно застосовуватися також і для зміцнення робочих органів ґрунтообробних машин. Необхідно проаналізувати, який тип сталі використовується в Україні відповідними виробниками для виготовлення таких робочих органів, як лемешів плугів, дисків борін, лап культиваторів тощо та чи застосовується при цьому лазерне зміцнення. Необхідно дослідити, чи може метод поверхневої лазерної обробки на практиці успішно застосовуватися для підвищення зносостійкості сталі, з якої зараз виготовляють робочі органи відповідної ґрунтообробної техніки.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дослідження впливу лазерного випромінювання на властивості сталей та сплавів було темою публікацій останніх років у працях таких вчених та науковців, як О.Г. Григор'янц, В.П. Вейко, І.М. Шиганов, В.С. Черненко, О.І. Дудка, М.В. Кіндрачук та інших, які займалися питаннями, пов'язаними із впливом лазерного випромінювання на поверхню різних матеріалів [7-10]. За останні роки публікацій на тему застосування методу поверхневої лазерної обробки для зміцнення деталей сільськогосподарської техніки не так багато [1-6]. Ще менше серед них сучасних публікацій стосовно лазерного зміцнення робочих органів ґрунтообробних знарядь, серед яких можна виділити наукові праці В.М. Бобрицького, В.П. Бірюкова, І.Ф. Буханової, В.В. Дивинського, В.М. Журавля та інших [1-4].

Мета досліджень – проаналізувати, який тип сталі використовується в Україні виробниками робочих органів ґрунтообробних машин, дослідити властивості цієї сталі після лазерного зміцнення та можливість успішного застосовування на виробництві

© Ю.О. Ковальчук, В.В. Дідур, В.В. Кравченко, 2012

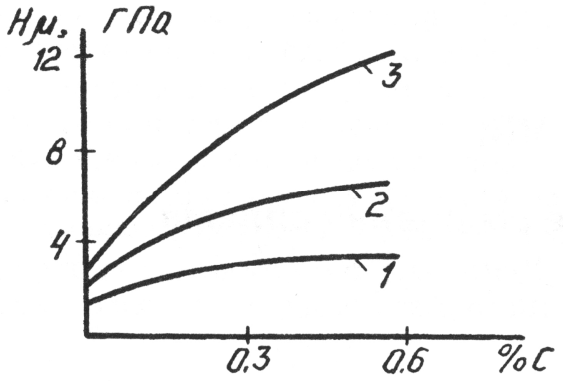
методу поверхневої лазерної обробки для підвищення зносостійкості робочих органів відповідних знарядь.

Основний матеріал досліджень. Необхідно відмітити, що в нашій країні, на жаль, метод лазерного зміцнення ще не знайшов свого застосування під час виробництва робочих органів ґрунтообробних машин.

Метод поверхневої лазерної обробки не використовується на виробництві основними вітчизняними виробниками робочих органів ґрунтообробних машин, такими як ВАТ «Червона зірка» (м. Кіровоград), ТОВ НВП «БілоцерківМАЗ» (м. Біла Церква), ВАТ «Сімферопольський ремонтно-механічний завод», ПАТ «Уманьферммаш» (м. Умань), ТОВ НВФ «Дозатор» (Луганська обл., смт. Слов'яносербськ), ПП ВКФ «Велес-Агро» (м. Одеса), що випускають лемеші плугів, диски борін, лапи культиваторів тощо. Деякі з цих підприємств на виробництві застосовують для зміцнення робочих органів ґрунтообробної техніки замість об'ємного гартування методи індукційного чи плазмового наплавлення спеціальних зносостійких твердосплавних порошків, що також забезпечує збільшення ресурсу виробітку відповідних робочих органів.

Опитування даних виробників показали, що для виготовлення робочих органів ґрунтообробних машин ними в абсолютній більшості випадків використовується сталь 65Г. Тому актуальним є дослідження властивостей цієї сталі після лазерного зміцнення з метою визначення можливості успішного застосовування на виробництві даного методу поверхневої лазерної обробки.

Як відомо, лазерне зміцнення сталі забезпечить тим вищу твердість матеріалу, чим більший вміст у сталі вуглецю (рис. 1) [9].



1 – без зміцнення; 2 – звичайне гартування; 3 – лазерне гартування

Рисунок 1 – Вплив вуглецю на твердість сталей

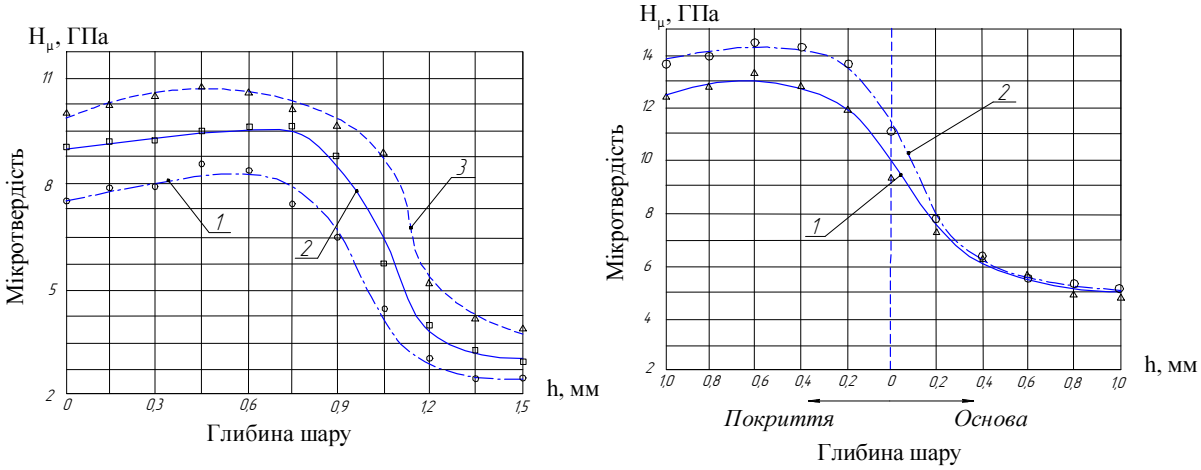
З цих позицій застосування лазерного зміцнення сталі 65Г є більш ефективним, ніж інших сталей з меншим вмістом вуглецю, таких як 45 чи Л53.

Застосування методу поверхневої лазерної обробки робочих органів ґрунтообробної техніки, виготовлених із сталі 65Г, зустрічається в наукових дослідженнях в рамках виконання дисертаційної роботи одним із вітчизняних авторів в Кіровоградському національному технічному університеті [1]. В даній роботі здійснювались дослідження, в яких обґрунтовано раціональні режими лазерної обробки для отримання потрібних властивостей і оптимальної товщини зміцненого шару з метою створення умов самозагострювання та проведено комплекс досліджень властивостей зміцнених поверхневих шарів зразків деталей робочих органів ґрунтообробних машин.

Доцільність застосування технологій лазерного зміцнення різальних елементів при виготовленні деталей робочих органів ґрунтообробних машин показали стендові та експлуатаційні дослідження, які виявили підвищення їх зносостійкості, реалізацію ефекту самозагострювання і подовження ресурсу.

Відомо, що у процесі зношування поверхонь робочих органів та для реалізації умов самозагострювання під час їх зміцнення важливим фактором є глибина зміцненого шару, на яку впливають параметри поверхневої лазерної обробки.

В результаті застосування лазерного зміцнення таких сталей, як 45, Л53 та 65Г видно, що найбільшу мікротвердість по глибині зміцненого шару серед них має сталь 65Г (рис. 2а) [1], так як в ній найбільше міститься вуглецю, що підтверджує наведену вище закономірність (див. рис. 1). У випадку лазерного наплавлення на сталь 65Г покриття зі сплаву ПС-14-60 досягається збільшення мікротвердості у наплавленому шарі, а додавання карбіду бора у даний сплав (ПС-14-60 + 6%B_4C) дозволяє отримати ще більше підвищення мікротвердості поверхні зміцненого матеріалу (рис. 2б) [1].



а) б)

а) – розподіл мікротвердості в сталях після лазерного зміцнення (q = $8 \cdot 10^7$ Вт/м^2; τ = 0,3 с):
1 – сталь 45, 2 – сталь Л53, 3 – сталь 65Г;
б) – розподіл мікротвердості в покриттях після лазерного наплавлення на сталь 65Г
сплаву ПС-14-60 (крива 1) та сплаву ПС-14-60 + 6%B_4C (крива 2)

Рисунок 2 – Розподіл мікротвердості по глибині зміцненого шару

Дослідження специфічного впливу лазерного випромінювання на властивості зразків і деталей робочих органів ґрунтообробних машин, проведені в даній роботі [1], показують утворення дрібнодисперсної мартенситної структури, рівномірний розподіл карбідів і боридів в матриці поверхневого шару, перерозподіл атомів легуючих елементів і домішок у зонах лазерного впливу, зменшення піку сполуки Fe_2O_3 після лазерної обробки у порівнянні з об'ємною термообробкою, зменшення (до 5%) пористості шарів при лазерному наплавленні у порівнянні з наплавленням СВЧ; плавний перехід мікротвердості зміцненого шару до мікротвердості основи (максимальна мікротвердість при лазерній термообробці складає 8–12 ГПа, а при лазерному наплавленні – 12–14 ГПа); підвищення міцності зчеплення шару наплавлених покриттів з основою.

Найменший лінійний знос та інтенсивність масового зносу за результатами стендових досліджень спостерігаються для дослідних зразків робочих органів зі сталі 65Г, зміцнених методом поверхневої лазерної обробки.

У порівнянні з об'ємним гартуванням лазерна термообробка дозволяє в 1,3–1,4 рази зменшити знос відповідних поверхонь робочих органів ґрунтообробних машин, а в порівнянні з базовою технологією індукційного наплавлення застосування лазерного

наплавлення сплаву ПС-14-60 + 6%B_4C дозволяє зменшити знос у 1,7–1,8 рази. Застосування технології лазерного наплавлення з додаванням карбіду бора дозволяє тривалий час зберігати вихідну геометричну форму деталі. Застосування технологій лазерного зміцнення стримує підвищення тягового опору в процесі обробітку ґрунту робочими органами ґрунтообробних машин, що позитивно впливає на економію паливно-мастильних матеріалів.

Для створення зносостійких шарів на різальних елементах робочих органів ґрунтообробних машин та забезпечення реалізації ефекту самозагострювання існують розроблені технологічні схеми зміцнення з використанням методу поверхневої лазерної обробки. За рахунок зменшення енергетичних витрат при зміцненні та підвищення ресурсу робочих органів очікуваний загальний економічний ефект від впровадження технології лазерного наплавлення у виробництво стрілчастих лап культиваторів при річній програмі 70 тис. шт. складе 69591,61 грн.

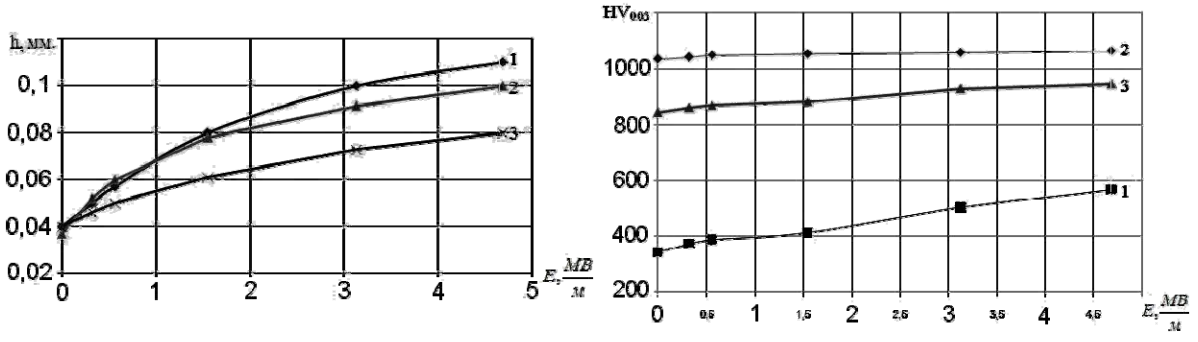
Також застосування методу поверхневої лазерної обробки щодо зміцнення сталі 65Г зустрічається в наукових дослідженнях в рамках виконання дисертаційної роботи одним із російських авторів в Камській державній інженерно-економічній академії [10]. В даній роботі пропонується додатково керувати процесом лазерного термозміцнення металів шляхом використання електростатичного поля. Автором розроблено методику розрахунку параметрів технологічних процесів термозміцнення, що застосовується на етапі технологічної підготовки виробництва, яка визначає умови досягнення заданої глибини термозміцнення металів під впливом лазерного випромінювання в електростатичному полі.

Наявність двох зон у поверхні металу показують результати мікроструктурного аналізу загартування сталі 65Г без оплавлення при впливі енергії накачування активного елемента лазера W = 3,8 КДж. Перша зона має структуру мартенситу, її мікротвердість становить 841 $HV_{0.05}$. Друга зона являє собою мартенсит і троостит, її мікротвердість складає величину 494 $HV_{0.05.}$ Глибина зони термічного впливу становить 0,04 мм.

Під впливом електростатичного поля під час лазерного загартування твердість першої зони зростає до 946 $HV_{0.05}$, а твердість другої зони майже не змінюється й становить 501 $HV_{0.05.}$ При цьому глибина зони термічного впливу зростає до 0,08 мм.

На цих дослідних зразках спостерігається різка границя переходу від зміцненої зони до матриці, зона термічного впливу виявляється чітко.

Певне збільшення мікротвердості й значне збільшення глибини зміцненої зони до 2-х разів у порівнянні зі звичайною обробкою спостерігається в результаті мікроструктурного аналізу сталей при обробці лазерним випромінюванням у режимах, близьких до температури плавлення й під впливом електростатичного поля напруженістю 5 МВ/м (рис. 3) [10].



а) б)

а) – залежність глибини h; б) – залежність твердості $HV_{0.05}$
1 – Сталь 10, W = 3 кДж; 2 – Сталь 65Г, W = 4,5 кДж; 3 – Сталь 65Г, W = 3,8 кДж

Рисунок 3 – Залежність глибини h та твердості $HV_{0.05}$ зміцненої зони від напруженості електростатичного поля E

Аналіз отриманих даних показує, що чим більше вміст вуглецю й легуючих елементів в металі, тим менший вплив на твердість металу при імпульсному лазерному випромінюванні надає електростатичне поле.

Процес лазерного загартування відбувається в поверхневому шарі металу на глибину *h*. Для забезпечення впливу лазерного випромінювання на задану глибину з потрібною точністю необхідно забезпечити наявність прецизійної системи позиціювання оптики довгофокусного лазерного технологічного комплексу. Використовуючи високоточний фотоелектричний датчик кутового позиціювання оптичної системи можна забезпечити точне положення фокусу лазерного променя на поверхні деталі. До точності датчика пред'являються високі вимоги, що вимірюються десятками кутових секунд, що відповідає відхиленню плями на поверхні металу на десяті долі міліметру.

В інших дослідженнях впливу методу поверхневої лазерної обробки на показники зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин, здійснених автором в Інституті машинознавства ім. Л.А. Благонравова РАН (м. Москва) [2, 4], проведено дослідницьку роботу з лазерного наплавлення матеріалів на ґрунтообробні знаряддя зі сталі 65Г, при цьому для просторового керування лазерним променем використовувався сканер. На поверхню дослідних зразків наносилася обмазка на водяній основі оксиетилцелюлози з порошком ФБХ6-2. Середня твердість матеріалу основи дослідних зразків становила 2200 МПа.

В результаті впливу на поверхню зразка № 1 лазерного променю потужністю 1400 Вт з частотою сканування 200–225 Гц був отриманий видозмінений шар, геометричні параметри якого визначаються зоною термічного впливу шириною 7 мм при глибині 1,1 мм, шириною легованого шару 4,5 мм. Глибина зони загартування із твердого стану становила 0,6 мм, а легованого шару – 0,3 мм. Також при цьому присутній невеликий шар наплавленого порошку товщиною 0,2–0,3 мм.

Для зразка № 2 геометричні параметри зони термічного впливу склали: ширина зони – 8,1 мм, ширина легованого шару – 5 мм, загальна глибина зон загартування, легування й наплавлення – 1,35 мм, у тому числі легованого шару – 0,5 мм і наплавленого шару 0,3–0,35 мм.

Результати дослідження їхньої мікротвердості наведені на рис. 4 [4]. У зразку № 2 мав місце більш глибокий переплав, тому швидкість охолодження матеріалу була нижча, що вплинуло на зменшення мікротвердості. У результаті обробки за першим режимом (зразок № 1) спостерігалась незначна зміна геометричних розмірів. Це важливо для практичної обробки деталей, оскільки при наплавленні ріжучої кромки ґрунтообробних знарядь геометрія робочої поверхні не повинна змінюватися.

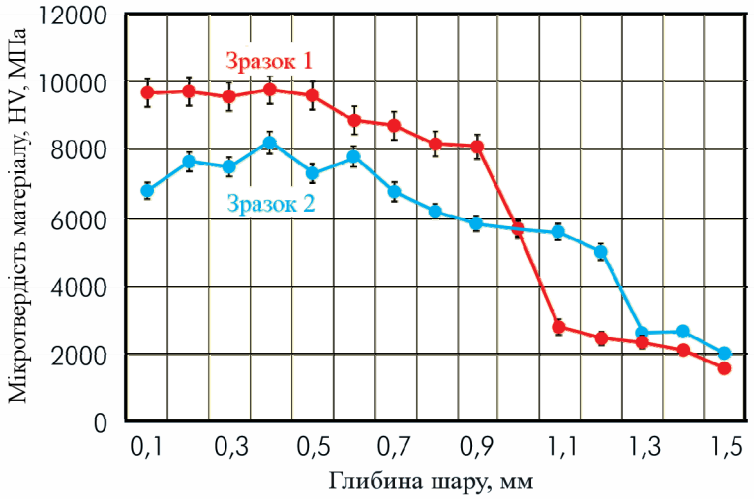


Рисунок 4 – Залежність мікротвердості сталі від глибини зони лазерного впливу

Товщини шарів (наплавленого, легованого і загартованого), отриманих методом поверхневої лазерної обробки, достатні для зниження корозійного й абразивного зношування поверхні інструментів. У порівнянні із загартуванням зразків струмами високої частоти ці результати вищі в 3–5 разів, а в порівнянні з індукційним наплавленням такого ж порошку – вищі в 3–4 рази.

Крім цього, автором розроблено технологію зміцнення дисків для борін зі сталі 65Г [2], що включає в себе лазерне зміцнення та наплавлення. Відбувалось зміцнення зони шириною 15–16 мм, а ширина наплавленої зони становила 16–18 мм.

Випробування дослідних дисків разом із серійними відбувались в польових умовах. Величина лінійного зносу за висотою для дослідних дисків борін, зміцнених лазерним випромінюванням, зменшилась на 82% порівняно із серійними дисками, а для дисків, зміцнених лазерним наплавленням, зменшилась на 70%. Дослідні диски у порівнянні із серійними мали менший знос за масою на 31%.

На твердість сталі, що різними авторами у своїх дослідженнях піддавалась лазерному зміцненню, також додатково впливають такі фактори, як тип лазерного технологічного комплексу, частота та час дії зміцнюючого лазерного випромінювання тощо.

Іншим автором із Кіровоградського національного технічного університету запропоновано за один прохід у декілька разів збільшити ширину лазерної доріжки зміцнення при незмінній потужності лазера шляхом відмови від традиційної круглої форми фокальної плями і переходу до плями у формі вузької смужки, переміщуваної перпендикулярно своїй довгій стороні [5]. Зміна форми фокальної плями призводить до зміни термічного циклу нагрівання і охолодження оброблюваного матеріалу. У випадку забезпечення рівності інтенсивностей і швидкостей переміщення джерел нагрівання по поверхні оброблюваної деталі час нагрівання і теплонасичення для джерела смужкової форми менші, а градієнт температури і швидкість охолодження вищі, ніж для джерела круглої форми і такої ж площі.

Використання динамічного фокусатора дозволяє у випадку обробки деталей, розміри яких більше довжини лазерної смужки, сформувати смужковий пучок із спеціальним неоднорідним розподілом інтенсивності за довжиною смужки, при якому інтенсивність до кінців смужки збільшується за певним законом. У цьому випадку обробка поверхні деталі повинна проводитись смугами впритул, без накладання.

У випадку застосування смужкового лазерного пучка у порівнянні з обробкою пучком круглої форми тієї ж потужності забезпечується при цілком достатній для практики глибині зміцненого шару 0,5–0,7 мм збільшення у 2–4 рази площі оброблюваної поверхні за одиницю часу (залежно від режиму обробки).

Застосовування динамічних фокусаторів смужкового випромінювання розширяє можливості використання методу лазерного зміцнення також і для робочих органів ґрунтообробних машин, підвищуючи його продуктивність та конкурентоспроможність.

На ефективність процесу лазерного зміцнення також суттєво впливає вибір типу лазера. У випадку використання волоконних лазерів ефективність процесу зміцнення з урахуванням потужності випромінювання лазера, глибини гартування та швидкості руху виробу порівняно із ефективністю CO_2-лазера може збільшуватися у 12 раз [11], що також підвищує конкурентоспроможність даного методу.

Висновки. Отже, сталь 65Г, що використовується вітчизняними виробниками робочих органів ґрунтообробних машин, може успішно піддаватись лазерному зміцненню та наплавленню, що забезпечить значне підвищення зносостійкості цих знарядь. Такі заходи, як додавання карбіду бора у сплави для наплавлення на сталь, додаткове застосування під час лазерного зміцнення електростатичного поля, використання волоконних лазерів та лазерного пучка смужкової форми дозволять ще

більше підвищити рівень зносостійкості робочих органів відповідних машин та забезпечити ефективне впровадження методу поверхневої лазерної обробки у виробництво.

Список літератури

1. Бобрицький В.М. Підвищення зносостійкості різальних елементів робочих органів ґрунтообробних машин : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.02.04 «Тертя та зношування в машинах» / В.М. Бобрицький. – К., 2007. – 20 с.
2. Бирюков В.П. Повышение износостойкости деталей сельскохозяйственной техники и почвообрабатывающих орудий лазерным упрочнением и наплавкой / В.П. Бирюков // Лазерные технологии в сельском хозяйстве : Тематический сборник. – М.: Техносфера, 2008. – С. 256–264.
3. Буханова И.Ф. Применение лазерного излучения для упрочнения и восстановления деталей сельскохозяйственного машиностроения / И.Ф. Буханова, В.В. Дивинский, В.М. Журавель // Лазерные технологии в сельском хозяйстве : Тематический сборник. – М.: Техносфера, 2008. – С. 264–270.
4. Бирюков В.П. Восстановление и упрочнение поверхностей лазерным излучением / Бирюков В.П. // Фотоника. – 2009. – № 3. – С. 14–16.
5. Мажейка О.Й. Модифікування технології лазерної обробки деталей сільськогосподарської техніки / Мажейка О.Й // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – вип. 21. – Кіровоград: КНТУ, 2008. – С. 164–167.
6. Разработка технологии восстановления с использованием лазерного луча / Т.С. Скобло, А.И. Сидашенко, А.В. Сайчук, В.Л. Манило // Научный вестник Луганского национального аграрного университета. Серия «Технические науки». – 2011. – № 30. – С. 257–265.
7. Вейко В.П. Опорный конспект лекций по курсу «Лазерные технологии». Введение в лазерные технологии. / В.П. Вейко, А.А. Петров. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 143 с.
8. Григорьянц А.Г. Технологические процессы лазерной обработки : Учеб. пособие для вузов / Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюров А.И. ; под ред. А.Г. Григорьянца. – 2-е изд., стереотип. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 664 с.
9. Черненко В.С. Променеві методи обробки : Навч. посібник / Черненко В.С., Кіндрачук М.В., Дудка О.І. – К.: Кондор, 2008. – 166 с.
10. Башмаков Д.А. Управление процессом лазерного термоупрочнения металлов в электростатическом поле : автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук : спец. 05.13.06 «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (машиностроение)», 05.13.05 «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления» / Д.А. Башмаков. – Набережные Челны, 2010. – 19 с.
11. Попов В.О. Лазерное упрочнение сталей: сравнение волоконных и CO2-лазеров / Попов В.О. // Фотоника. – 2009. – № 4. – С. 18-21.

Ю. Ковальчук, В. Дидур, В. Кравченко

Применение лазерного упрочнения стали 65Г для повышения износостойкости рабочих органов почвообрабатывающих орудий

Проанализировано, какой тип стали используется в Украине производителями рабочих органов почвообрабатывающих машин. Исследовано свойства этой стали после лазерного упрочнения и возможность применения разных дополнительных мер для ещё большего повышения износостойкости соответствующих орудий с целью обеспечения успешного внедрения в производство метода поверхностной лазерной обработки.

Y. Kovalchuk, V. Didur, V. Kravchenko

Application of the laser strengthening of steel of 65G is for the increase of wearproofness of workings organs of soil-cultivating instruments

It is analysed, what type of steel is used in Ukraine by the producers of working organs of soil-cultivating machines. Properties of this steel after the laser strengthening and possibility of application of different additional measures are investigational for the yet greater increase of wearproofness of corresponding instruments with the purpose of providing of the successful applying in industry of method of superficial laser treatment.

Одержано 28.03.12

УДК 621.791.9

І.Ф. Василенко, доц., канд. техн. наук, І.В. Шепеленко, доц., канд. техн. наук, М.В. Красота, доц., канд. техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет

Електричний опір порошкового дроту при формуванні покриття контактним наварюванням

При контактному наварюванні внаслідок деформування та нагрівання порошкового дроту змінюється співвідношення між площами поперечного перерізу порошкового матеріалу і оболонки, що впливає на ефективність і кінематику нагрівання присадного матеріалу та приконтактного об'єму деталі. З метою виявлення процесів, що визначають нагрівання присадного матеріалу при контактному наварюванні, теоретично досліджено зміну електричного опору оболонки та порошкового осердя дроту методом кластерних компонентів. Інформація про електричний опір порошкового дроту дає можливість теоретичного визначення режимів контактного наварювання композиційних покрить з використанням у якості присадного матеріалу порошкових дротів.

контактне наварювання, порошковий дріт, порошкова частинка, кластерний компонент

Контактне наварювання – один з різновидів зварювання металів тиском. Процес контактного наварювання здійснюється пластичним деформуванням присадного матеріалу, нагрітого спільно з матеріалом деталі у зоні деформації імпульсами електричного струму Найбільш технологічними матеріалами для контактного наварювання композиційних покрить є заздалегідь сформовані матеріали, серед яких особливий інтерес викликають порошкові дроти.

В процесі контактного наварювання електричний струм проходить спочатку у металевій оболонці, нагріваючи її до певної температури. Частина тепла від оболонки відводиться у порошковий матеріал, нагріваючи його та підвищуючи пластичність. При цьому спостерігається ущільнення порошку та зниження його електричного опору.

З метою виявлення процесів, що визначають нагрівання присадного матеріалу при контактному наварюванні, слід дослідити зміну електричного опору як оболонки, так і порошкового осердя дроту.

При контактному наварюванні внаслідок деформування та нагрівання порошкового дроту змінюється співвідношення між площами поперечного перерізу порошкового матеріалу $S_п$ і оболонки $S_{об}$, що впливає на ефективність і кінематику нагрівання присадного матеріалу і приконтактного об'єму деталі. При цьому змінюються як механічні, так і електричні параметри матеріалу.

Розглянемо електроопір недеформованої оболонки з елементом перерізу

$$dS = adx, \tag{1}$$

де a — товщина оболонки порошкового дроту;
а також електропровідність оболонки

$$d\lambda_{об} = \frac{dS}{\rho_{об} l_к}, \tag{2}$$

де $\rho_{об}$ — питомий опір матеріалу оболонки порошкового дроту,

$l_к$ — довжина контактної площинки.

© І.Ф. Василенко, І.В. Шепеленко, М.В. Красота, 2012

Після інтегрування одержимо, що опір недеформованої оболонки дорівнює

$$R_{об} = \frac{\rho_{об} l_к}{\pi a(d-a)}, \quad (3)$$

тут d — діаметр дроту.

Під час контактного наварювання вираз для опору оболонки з урахуванням деформації матиме вигляд

$$R_д^{об} = \frac{\rho_{об} \cdot l'_к}{2a_д(b-2a_д+h)}, \quad (4)$$

де $l'_к$ — довжина контактної площинки деформованого дроту;

b — ширина валика дроту після деформування;

$a_д$ — товщина оболонки дроту після деформування;

h — товщина валика дроту після деформації.

Порівняємо праві частини рівностей (3) і (4), врахувавши коефіцієнт деформації $K_д = \frac{l_к}{l'_к} = \frac{a}{a_д}$, маємо, що опір оболонки після деформування різко збільшується

$$R_д^{об} >> R_{об}. \quad (5)$$

Це означає, що струм у процесі деформації проходить переважно по осердю порошкового дроту, що є умовою необхідного ущільнення порошкового осердя дроту та його спікання.

Таким чином, контактне наварювання порошкових дротів забезпечує спікання порошку, розміщеного в осерді дроту, і одержання якісного покриття.

Використання контактного наварювання порошкових дротів для одержання композиційних покрить має ряд переваг у порівнянні з контактним наварюванням інших присадних матеріалів.

Оболонка дроту дозволяє попередньо ущільнювати порошковий матеріал, запобігає викиданню феромагнітного порошку із зони деформації під дією електромагнітних сил та окисленню порошкового матеріалу під час спікання, створює сприятливий напружений стан при деформуванні. Крім цього, оболонка захищає ролик-електрод від контактування з порошковою сумішшю, яка містить частинки високої твердості, що підвищує стійкість електродів, а також виконує функцію технологічного прошарку між поверхнею відновлюваної деталі та порошковим матеріалом. Підбиранням матеріалу оболонки, а також використанням фізико-хімічних властивостей порошку і металу деталі реалізується можливість зниження залишкових напружень у зварювальному з'єднанні та підвищення міцності з'єднання як між оболонкою й основним металом, так і між порошковим матеріалом і оболонкою.

Складніше визначити опір порошкового осердя дроту, оскільки ми не знаємо, як розташовуються частинки порошку. Оцінити опір осердя можна, використовуючи метод кластерних компонентів [1]. При цьому ми припускаємо, що порошкові частинки мають сферичну форму, а аналіз структурних утворень (кластерних компонентів), на які можна умовно розбити порошкове осердя, несе інформацію про властивості системи в цілому.

Якщо кластерний компонент має конфігурацію (рис. 1), для якої характерна максимальна щільність і мінімальна пористість, то електричний опір конфігурації визначиться за виразом

$$R_{конф} = \frac{3R_1R_2 + R_1^2}{2R_2 + R_1}, \quad (6)$$

а електричний опір осердя порошкового дроту відповідно дорівнюватиме

$$R_{пор} = \frac{l_к h}{(d_2 + 2d_1)^2} \frac{3R_1R_2 + R_1^2}{2R_2 + R_1}, \quad (7)$$

де R_1, R_2 — електричні опори відповідно залізного та неметалевого порошку;
а d_1, d_2 — діаметри частинок залізного та неметалевого порошку.
Якщо конфігурація аналогічна, але R_1 і R_2 міняються місцями, то

$$R_{конф} = \frac{3R_1R_2 + R_2^2}{R_2 + R_1} \quad (8)$$

$$R_{пор} = \frac{l_к h}{(d_1 + 2d_2)^2} \frac{3R_1R_2 + R_2^2}{R_2 + R_1} \quad (9)$$

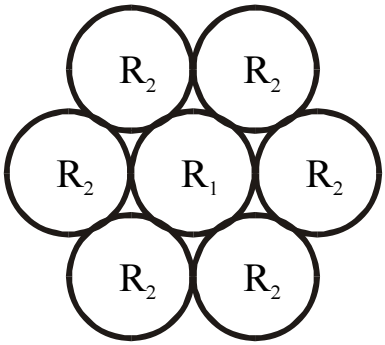


Рисунок 1 — Кластерний компонент, що відображає гексагональну щільну упаковку частинок

Якщо кластерний компонент має конфігурацію (рис. 2), то відповідно електричний опір конфігурації та порошкового осердя дорівнюють:

$$R_{конф} = \frac{3R_1R_2}{3R_1 + 4R_2}, \quad (10)$$

$$R_{пор} = \frac{hl_к}{(d_2 + d_1)^2} \frac{3R_1R_2}{2(3R_1 + 4R_2)}. \quad (11)$$

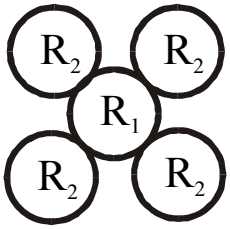


Рисунок 2 — Кластерний компонент, що відображає об’ємно-центровану кубічну упаковку частинок

Якщо конфігурація аналогічна, але компоненти міняються місцями, то опір порошкового осердя визначається за виразом:

$$R_{пор} = \frac{hl_к}{(d_2 + d_1)^2} \frac{3R_1R_2}{2(3R_2 + 4R_1)}. \quad (12)$$

У випадку, якщо кластерний компонент має вигляд, зображений на рис. 3, електричні опори відповідно дорівнюють:

$$R_{конф} = \frac{R_1R_2}{R_1 + R_2}; \quad (13)$$

$$R_{пор} = \frac{hl_к}{2d_1(2d_1 + d_2)} \cdot \frac{R_1R_2}{R_1 + R_2}. \quad (14)$$

При зміні місць частинок у осерді

$$R_{пор} = \frac{hl_к}{2d_1(2d_2 + d_1)} \cdot \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}. \quad (15)$$

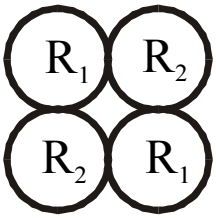


Рисунок 3 — Кластерний компонент, що відображає просту кубічну упаковку частинок

Розглядаючи електричні опори можливих кластерних компонентів, а також проводячи їх усереднення, можна оцінити електричний опір осердя порошкового дроту за виразом

$$R_{пор} = \frac{l_к h}{(\alpha_1 d_1 + \alpha_2 d_2)^2} \cdot (\alpha_1 R_1 + \alpha_2 R_2), \quad (16)$$

де α_1, α_2 – коефіцієнти залежні від питомого вмісту матеріалів осердя порошкового дроту.

Інформація про електричний опір порошкового дроту дає можливість теоретичного визначення режимів контактного наварювання композиційних покрить, зокрема сили зварювального струму, з використанням у якості присадного матеріалу порошкових дротів.

Список літератури

1. Бабушкин Г. А. Металлические композиты/ Бабушкин Г. А., Буланов В. Я., Синицкий И. А.— Свердловск: УНУ АН СССР, 1987.– 312 с.

И. Василенко, И. Шепеленко, М. Красота

Электрическое сопротивление порошковой проволоки при формировании покрытия контактной наваркой

При контактной наварке вследствие деформации и нагревания порошковой проволоки изменяется соотношение между площадями поперечного сечения порошкового материала и оболочки, что влияет на эффективность и кинематику нагревания присадочного материала, а также приконтактного объёма детали. С целью выявления процессов, определяющих нагревание присадочного материала при контактной наварке, теоретически исследовано изменение электрического сопротивления оболочки и порошкового сердечника проволоки методом кластерных компонентов. Информация об электрическом сопротивлении порошковой проволоки дает возможность теоретического определения режимов контактной наварки композиционных покрытий с использованием в качестве присадочного материала порошковых проволок.

I. Vasylenko, I. Shepelenko, M. Krasota

The electrical resistance of the flux-cored wire for forming the coating welded contact

At the pin welding on because of deformation and heating of powder-like wire a betweenness changes by the areas of cross-sectional of powder-like material of i shell, that influences on efficiency and kinematics of heating of doped material and приконтактного volume of detail. With the purpose of exposure of processes, qualificatory heating of doped material at the pin welding on, in theory the change of electric resistance of shell and powder-like mandrel of wire is investigational the method of cluster components. Information about electric resistance of powder-like wire gives an opportunity of theoretical determination of the modes of the pin welding on of composition coverages with using as doped material of powder-like wires.

Одержано 19.03.12

УДК 631.3:636

К.М. Деркач, асп.
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Розробка методу оцінки якості змішування розсипного комбікорму з рідкою жировою добавкою

У статті розроблено метод оцінки якості змішування розсипного комбікорму з рідкою жировою добавкою з використанням інтерактивної сегментації та усереднюючого фільтра для обробки зображень. Визначено оптимальні параметри обробки проб і концентрації жирової добавки в модельних пробах.
якість змішування, неоднорідність суміші, комбікорм, жирова добавка

Сьогодні досить поширеним є введення жирових добавок безпосередньо у корми тварин [1]. У зв'язку з цим розробка нового методу оцінки якості змішування розсипного комбікорму з рідкою жировою добавкою є актуальною.

Перспективними для оцінки ступеня однорідності сумішей є методи з застосуванням цифрової обробки зображень [2]. Раніше нами були проведені попередні дослідження [3], направлені на розробку методу оцінки якості змішування розсипного комбікорму з рідкою жировою добавкою з застосуванням цифрової обробки зображень. Проте дані дослідження мають попередній характер і потребують подальшого розвитку і визначення оптимальних товщини шару комбікорму з забарвленою рідкою жировою добавкою, розподіленого на підложках, і часу витримки проб, розподілених на підложках, для отримання якісних та інформативних зображень підложок.

Метою даної статті є розробка методу оцінки якості змішування розсипного комбікорму з рідкою жировою добавкою та визначення оптимальних параметрів обробки проб.

Метод оцінки якості змішування розсипного комбікорму з рідкою жировою добавкою з застосуванням цифрової обробки зображень складається з забарвлення рідкої жирової добавки у колір, що відрізняється від кольору вихідних компонентів комбікорму, приготування еталонних проб комбікорму з відомою концентрацією забарвленої рідкої жирової добавки, що за кольором відрізняються від вихідного комбікорму без жирової добавки, розподілу еталонних проб на підложках і витримки їх під привантаженням, отримання цифрових зображень підложок, на яких витримані еталонні проби, цифрової обробки цих зображень у колірній моделі RGB з використанням усереднюючого фільтра, побудови градуювальних залежностей концентрації забарвленої рідкої жирової добавки в еталонних пробах від відносної яскравості, відбору аналізованих проб, розподілу, витримки аналізованих проб і отримання цифрових зображень підложок, на яких витримані аналізовані проби, аналогічно розподілу, витримці та отриманню цифрових зображень підложок, на яких витримані еталонні проби, цифрової обробки цих зображень з використанням інтерактивної сегментації та усереднюючого фільтра, визначення концентрацій забарвленої рідкої жирової добавки в аналізованих пробах за допомогою сегментованих зображень підложок і градуювальних залежностей, і розрахунку коефіцієнту неоднорідності суміші за формулою:

© К.М. Деркач, 2012

$$V_c = \frac{100}{c_{сер}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (c_i - c_{сер})^2}{n-1}}, \quad (1)$$

де V_c – коефіцієнт неоднорідності суміші, %;

$c_{ñåð}$ – рецептурна концентрація контрольного компонента у суміші, %;

c_i – концентрація контрольного компонента в *i*-ій пробі, %;

n – кількість аналізованих проб.

Відносну яскравість розраховували за формулою:

$$\delta B = \frac{B_n}{B_ф}, \quad (2)$$

де δB – відносна яскравість;

$B_ï$ – яскравість зображення підложки, на якій була розподілена та витримана проба, ум. од.;

$B_ô$ – яскравість зображення еталонного фону, ум. од.

В якості еталонного фону та підложок використовували білий папір фільтрувальний лабораторний марки «Ф» за ГОСТ 12026-76. Підложки, на яких були розподілені та витримані проби, сканували як кольорові фотографії при розширенні 300 dpi за допомогою сканера багатофункціонального пристрою Canon PIXMA MP270. Усереднювали колір зображень підложок, на яких витримані еталонні проби, еталонного фону та областей сегментованих зображень підложок, на яких витримані аналізовані проби, шляхом застосування фільтра Average і визначали яскравість об'єднаного колірного каналу RGB у діапазоні 0…255 умовних одиниць яскравості у програмі Adobe Photoshop CS3 Extended. Для сегментації зображень підложок на області, що відповідали областям з різними концентраціями забарвленої рідкої жирової добавки аналізованих проб, використовували інструмент інтерактивної сегментації Magic Wand у програмі Adobe Photoshop CS3 Extended. В якості затравочних пікселів використовували послідовно пікселі зображень підложок, на яких витримані еталонні проби з концентраціями забарвленої рідкої жирової добавки у діапазоні 0…100%, після застосування фільтра Average. Для визначення параметра Tolerance інструмента Magic Wand виділяли послідовно зображення підложок, на яких витримані еталонні проби інструментом Magic Wand і підбирали максимальний параметр Tolerance для кожного зображення, при якому не виділялися інші зображення підложок, на яких витримані еталонні проби. Усереднювали колір кожної області сегментованих зображень підложок, на яких витримані аналізовані проби, шляхом застосування фільтра Average, уточнювали концентрації в областях сегментованих зображень підложок за градуювальними залежностями і визначали за кількістю пікселів у кожній області сегментованих зображень підложок концентрації забарвленої рідкої жирової добавки в аналізованих пробах. Для зручності аналізу сегментованих зображень змінювали колір кожної області сегментованих зображень так, щоб вони візуально легко відрізнялися. За допомогою програми Curve Expert 1.3 (при виборі поліноміальної регресії за умовчанням ступінь полінома дорівнював 4) будували залежності концентрації забарвленої рідкої жирової добавки в еталонних пробах від відносної яскравості. В якості градуювальних залежностей використовували залежності, що мали найкращі показники коефіцієнтів кореляції r і середнього квадратичного відхилення S, причому отримували градуювальні залежності у діапазонах концентрацій забарвленої рідкої жирової добавки в еталонних пробах 0…5% з кроком 0,25% та 0…100% з кроком 1%.

Дослідження здійснювалися з використанням стандартного розсипного повнораціонного комбікорму для відлучених поросят віком від 2 до 4 місяців, виготовленого за рецептом ПК 51-6-89. В якості модельних забарвлених рідких жирових добавок застосовували 5% олійні розчини карміну та мідного комплексу хлорофілу. Для приготування цих розчинів використовували рафіновану дезодоровану виморожену соняшникову олію «Олейна класична» марки «П» виробництва ЗАТ «Дніпропетровський олійноекстракційний завод» (Україна), натуральні харчові барвники кармін марки «ЕКОТОН Кармін 0040» виробництва компанії «ЕКО РЕСУРС» (Росія) та мідний комплекс хлорофілу марки «OF0709 Хлорофілу екстракт» виробництва компанії «NATUREX» (Франція). Для визначення оптимальної товщини суцільного рівномірного шару комбікорму з забарвленою рідкою жировою добавкою, витриманого на підложках, кожну з модельних проб з концентрацією забарвленої рідкої жирової добавки 1% розподіляли на підложках шаром товщиною, відповідно, 3, 5, 7 мм. Товщина шару менше 3 мм не забезпечувала би його суцільність, а при збільшенні товщини шару більш 7 мм суттєво зменшувалася би площа контакту проб з підложками та, відповідно, знижувалася би інформативність зображень підложок. Для визначення оптимального часу витримки кожну з модельних проб з концентрацією забарвленої рідкої жирової добавки 1%, розподілених на підложках, накривали кришкою з органічного скла з привантаженням масою 2 кг і витримували протягом, відповідно, 5, 10, 15 хвилин. Час витримки проб під привантаженням масою 2 кг змінювали в діапазоні 5…15 хвилин з кроком 5 хвилин виходячи з технологічної доцільності та попередніх досліджень. Модельні еталонні проби у кількості 3 паралельних проб для кожної з концентрацій для побудови градуювальних залежностей за середніми значеннями 3 паралельних визначень і модельні проби з відомою концентрацією модельної забарвленої рідкої жирової добавки, відповідно, 1%, 2% у кількості 10 паралельних проб для кожної з концентрацій масою 100 грамів кожна для оцінки якості визначення концентрації забарвленої рідкої жирової добавки в пробах готували шляхом змішування в міксері відповідних кількостей комбікорму з модельними забарвленими рідкими жировими добавками до отримання однорідного кольору сумішей протягом 5 хвилин при частоті обертання місильного органа міксера 450 об/хв. Для зважування компонентів сумішей використовували ваги лабораторні ВЛР-1000 3-го класу точності з межею зважування 1000 г, ціною ділення шкали 10 мг, точністю вимірювання 10 мг за ГОСТ 24104-88. Для змішування комбікорму з модельною забарвленою рідкою жировою добавкою використовували побутовий міксер Braun M830 MultiMix з двигуном потужністю 350 Вт і частотою обертання місильного органа міксера 450 об/хв., ємкість з нержавіючої сталі об’ємом 3 л.

Результати цифрової обробки зображень підложок, на яких були розподілені еталонні проби, наведено на рис. 1-3 і у табл. 1.

а) б)

а) – з олійним розчином карміну; б) – з олійним розчином мідного комплексу хлорофілу

Рисунок 1 – Області зображень підложок, на яких витримані еталонні проби, після цифрової обробки у вигляді кольорових шкал)

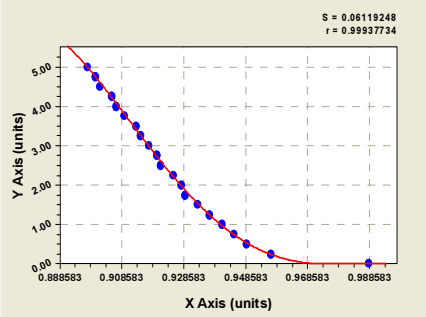
Таблиця 1 – Результати цифрової обробки зображень підложок, на яких витримані еталонні проби

Назва параметра	Значення параметра											
	Кармін						Мідний комплекс хлорофілу					
с, %	0	0,25	0,5	0,75	1	1,25	0	0,25	0,5	0,75	1	1,25
RGB, ум. од.	151	243	241	240	239	238	251	250	249	248	246	245
с, %	1,5	1,75	2	2,25	2,5	2,75	1,5	1,75	2	2,25	2,5	2,75
RGB, ум. од.	237	236	236	235	234	234	244	242	240	238	236	234
с, %	3	3,25	3,5	3,75	4	4,25	3	3,25	3,5	3,75	4	4,25
RGB, ум. од.	233	232	232	231	230	230	232	229	226	222	218	214
с, %	4,5	4,75	5	6	7	8	4,5	4,75	5	6	7	8
RGB, ум. од.	229	229	228	226	224	222	209	203	198	183	174	168
с, %	9	10	11	12	13	14	9	10	11	12	13	14
RGB, ум. од.	220	219	217	215	214	212	162	158	154	150	147	144
с, %	15	16	17	18	19	20	15	16	17	18	19	20
RGB, ум. од.	211	209	208	206	205	203	141	139	137	134	132	130
с, %	21	22	23	24	25	26	21	22	23	24	25	26
RGB, ум. од.	202	201	199	198	197	195	128	127	125	123	122	120
с, %	27	28	29	30	31	32	27	28	29	30	31	32
RGB, ум. од.	194	193	191	190	189	187	119	117	116	114	113	112
с, %	33	34	35	36	37	38	33	34	35	36	37	38
RGB, ум. од.	186	185	183	182	181	179	111	109	108	107	106	105
с, %	39	40	41	42	43	44	39	40	41	42	43	44
RGB, ум. од.	178	177	175	174	173	171	104	103	102	101	100	99
с, %	45	46	47	48	49	50	45	46	47	48	49	50
RGB, ум. од.	170	169	167	166	165	163	98	97	96	95	94	93
с, %	51	52	53	54	55	56	51	52	53	54	55	56
RGB, ум. од.	162	161	159	158	156	155	92	91,33	91	90	89	88
с, %	57	58	59	60	61	62	57	58	59	60	61	62
RGB, ум. од.	153	152	151	149	148	146	87	86	86	85	84	83
с, %	63	64	65	66	67	68	63	64	65	66	67	68
RGB, ум. од.	145	143	142	140	139	137	83	82	81	81	80	79
с, %	69	70	71	72	73	74	69	70	71	72	73	74
RGB, ум. од.	135	134	132	131	129	127	126	78	77	76,33	76	75
с, %	75	76	77	78	79	80	75	76	77	78	79	80
RGB, ум. од.	124	123	121	119	118	116	74	74	73	73	72	71
с, %	81	82	83	84	85	86	81	82	83	84	85	86
RGB, ум. од.	114	113	111	110	108	106	71	70,33	70	69	68,33	68
с, %	87	88	89	90	91	92	87	88	89	90	91	92
RGB, ум. од.	105	103	102	100	99	97	67	67	66	66	65	65
с, %	93	94	95	96	97	98	93	94	95	96	97	98
RGB, ум. од.	96	94	93	92	90	89	64	63	63	62	62	61
с, %	99	100					99	100				
RGB, ум. од.	89	88					61	60				

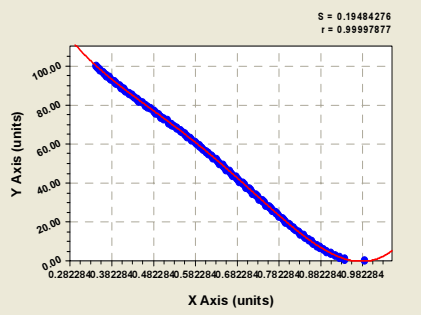
Яскравість об'єднаного колірного каналу RGB усіх зображень еталонного фону після застосування фільтра Average дорівнювала $B_ф$=254.

При товщині шару комбікорму з забарвленою рідкою жировою добавкою, витриманого на підложках, 5 мм був отриманий більш насичений колір підложок, ніж

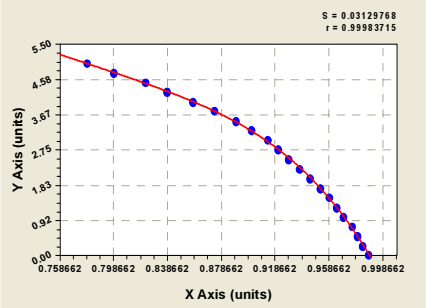
при товщині шару 3 мм. Збільшення товщини шару до 7 мм трохи підвищувало насиченість кольору, але, враховуючи зменшення площі контакту проб з підложками при товщині 7 мм, оптимальною є товщина 5 мм. При часі витримки проб під привантаженням 10 хвилин був отриманий більш насичений колір підложок, ніж при часі 5 хвилин. Збільшення часу до 15 хвилин суттєво не змінювало насиченість кольору, тому оптимальним є час 10 хвилин.



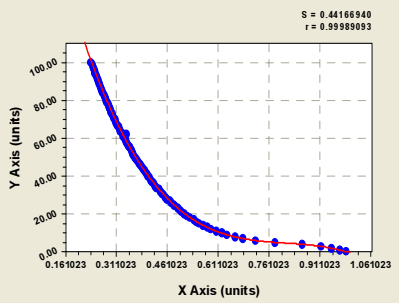
а)



б)



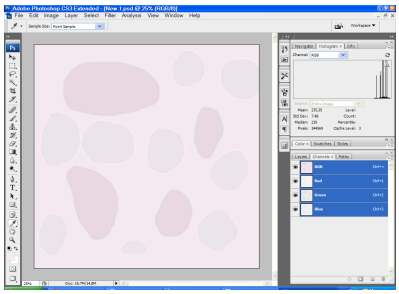
в)



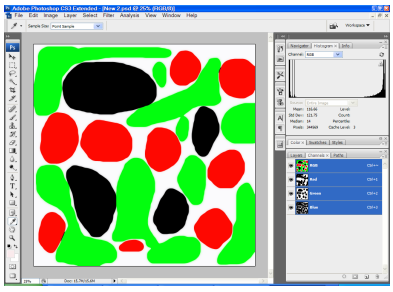
г)

а) – олійного розчину карміну в діапазонах концентрацій 0…5% з кроком 0,25%; б) – олійного розчину карміну в діапазонах концентрацій 0…100% з кроком 1%; в) – олійного розчину мідного комплексу хлорофілу в діапазонах концентрацій 0…5% з кроком 0,25%; г) – олійного розчину мідного комплексу хлорофілу в діапазонах концентрацій 0…100% з кроком 1%

Рисунок 2 – Градуювальні залежності концентрації олійних розчинів барвників в еталонних пробах від відносної яскравості)



а)



б)

а) – до зміни кольорів областей сегментованого зображення; б) – після зміни кольорів областей сегментованого зображення

Рисунок 3 – Сегментовані зображення підложки, на якій витримана аналізована проба

Середні значення концентрацій модельних забарвлених рідких жирових добавок у модельних пробах з відомими концентраціями олійних розчинів карміну та мідного комплексу хлорофілу та довірчий інтервал середніх значень склали, відповідно, 0,99±0,09%, 1,98±0,15%, 0,99±0,08%, 1,97±0,16%; відносні стандартні відхилення склали, відповідно, 6,3%, 10,4%, 5,9%, 13,8%; розраховані значення коефіцієнтів Стьюдента t(P=0,95; f=9) дорівнювали, відповідно, 0,25, 0,54, 0,26, 0,55, що менше табличного значення коефіцієнта Стьюдента t(P=0,95; f=9)=2,26, тобто відмінність результатів аналізу від дійсних значень незначуща, визначення концентрацій забарвленої рідкої жирової добавки в пробах не містить систематичної погрішності.

Розроблено метод оцінки якості змішування розсипного комбікорму з рідкою жировою добавкою з використанням інструмента інтерактивної сегментації та усереднюючого фільтра для обробки зображень, що може бути застосований при дослідженнях змішуючого обладнання. Визначено оптимальні параметри обробки проб: товщина шару комбікорму з забарвленою рідкою жировою добавкою, витриманого на підложках, 5 мм; час витримки проб, розподілених на підложках, 10 хвилин. Розроблений метод планується застосувати для оцінки якості змішування розсипного комбікорму з рідкою жировою добавкою при дослідженнях лабораторного змішувача.

Список літератури

1. Лисицын А. Н. Растительные масла в производстве комбикормов / А. Н. Лисицын // Материалы 10-й международной научно-практической конференции «Масложировая индустрия 2010». - СПб.: ВНИИЖ, 2010. - С. 8-14.
2. Пат. 2343457 Российская Федерация, МКИ G 01 N 21/85. Способ определения качества смеси сыпучих материалов / А. Г. Ткачев, А. А. Баранов, Н. Р. Меметов, А. А. Пасько, Т. В. Пасько, И. Н. Шубин, С. В. Блинов, А. В. Авдеева (Россия). - №2007115024/28 ; заявл. 20.04.2007 ; опубл. 10.01.2009. Бюл. № 1. – 5 с.
3. Деркач К. М. Визначення якості змішування комбікорму з рідкою жировою добавкою // Науковий вісник Луганського національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. - Луганськ: ЛНАУ, 2012. - № 35. - С. 90-98.

К. Деркач

Разработка метода оценки качества смешивания рассыпного комбикорма с жидкой жировой добавкой

В статье разработан метод оценки качества смешивания рассыпного комбикорма с жидкой жировой добавкой с использованием интерактивной сегментации и усредняющего фильтра для обработки изображений. Определены оптимальные параметры обработки проб и концентрации жировой добавки в модельных пробах.

K. Derkach

Development of method of estimation of quality of mixing of the loose mixed fodder with liquid fatty addition

In the article the method of estimation of quality of mixing of the loose mixed fodder with liquid fatty addition with the use of interactive segmentation and averaging filter is developed for processing of images. The optimum parameters of treatment of tests and concentration of fatty addition are certain in model tests.

Одержано 29.03.12

УДК 631.227:681.311

М.А. Зиновик, проф., д-р хим. наук, Е.В. Зиновик, доц., канд. хим. наук
Кировоградский национальный технический университет

О форме петли магнитного гистерезиса тороидальных ферритовых элементов

Исследовано влияние геометрии и микроструктурной неоднородности на форму петли магнитного гистерезиса ферритовых элементов тороидальной формы с размерами 3,1×1,5×1,4 мм состава (в мол. %): Fe_2O_3 – 37,6; MnO – 38,1; MgO – 9,3; ZnO – 11,7; CaO – 3,3. Показано, что увеличение отношения внутреннего диаметра тороидов к внешнему сопровождается ростом квадратности петли гистерезиса КПГ. Установлено влияние на форму петли гистерезиса и градиентов коэрцитивной силы H_C, вызванных структурными неоднородностями. Неравновесное окисление элементов в процессе охлаждения до температуры закалки приводит к росту H_C в большей степени на поверхности и меньшей – внутри тороидов. В результате верхняя половина ниспадающей ветви петли гистерезиса становится круче, а нижняя – положе. Изотермическая выдержка при температуре закалки уменьшает градиенты H_C и КПГ элементов.

феррит, тороидальный элемент, петля магнитного гистерезиса, квадратность петли гистерезиса, коэрцитивная сила, микроструктура, спекание, закалка, отжиг

Область применения ферритов зависит от формы петли магнитного гистерезиса [1]. Ферриты с высокими коэффициентами прямоугольности B_r / B_m и квадратности H_T/H_C петли гистерезиса (рис.1) находят применение в качестве элементов памяти в переключающих и логических устройствах, предназначенных для автоматизированных систем управления различными процессами в промышленности и сельском хозяйстве. Природа спонтанной прямоугольности (ППГ) и квадратности (КПГ) петли гистерезиса ферритов хорошо исследована. Подробный литературный обзор по этому вопросу представлен в [2]. Однако влияние геометрии и микроструктурной неоднородности элементов на форму петли гистерезиса, в частности на КПГ, изучено недостаточно. Вследствие этого не находит объяснения факт существования элементов с практически вертикальной нисходящей ветвью петли гистерезиса, когда отношение H_T/H_C по существу равно единице.

Восполнение указанного пробела – цель настоящей работы.

Объектом исследования являлись элементы тороидальной формы с размерами 3,1×1,5×1,4 мм, изготовленные из ферритового материала промышленной марки 0,16 Вт состава (в мол. %): Fe_2O_3 – 37,6; MnO – 38,1; MgO – 9,3; ZnO – 11,7; CaO – 3,3[1].

Подготовка образцов и методы исследования. Элементы (образцы) готовили методом порошковой металлургии [1]. Исходными компонентами служили: оксиды железа, магния, цинка и углекислые соли кальция и марганца (ч.д.а.). Компоненты смешивали и мололи в дистиллированной воде с помощью вибромельницы в течение 2 ч. Полученную смесь сушили, а затем 6 ч обжигали на воздухе при 1173 К. В шихту добавляли 12 % 10%-ного водного раствора поливинилового спирта и прессовали образцы при удельном давлении, равном 8 т/см^2. Спекали образцы на воздухе по подобранному в производстве режиму (1603±20) К, 3 ч [3]. По окончании выдержки печь выключали и охлаждали до заданных температур закалки. Закалку осуществляли путем быстрого перемещения образцов из печи на воздух и охлаждения до комнатной температуры вместе с никелевым противнем.

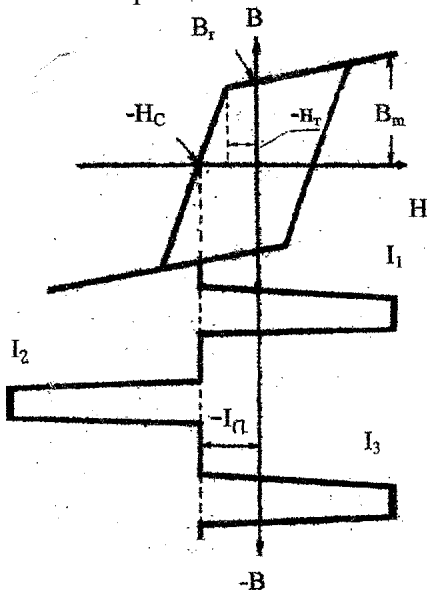
© М.А. Зиновик, Е.В. Зиновик, 2012

Фазовый состав образцов контролировали с помощью рентгеновского аппарата ДРОН-3 и микроскопа МИМ-7. Микроструктуру выявляли травлением шлифов 5-15%-ным водным раствором плавиковой кислоты.

Петлю гистерезиса снимали импульсным методом с отдельного сердечника в магнитном поле H_m= 143 А/м [4-6]. На рис. 1 представлена идеализированная петля гистерезиса, на которой нанесены параметры, характеризующие ее форму: коэрцитивная сила H_C, поле трогания H_T (начало резкого падения индукции), остаточная B_r и максимальная B_m индукции. Коэрцитивную силу измеряли в режиме токовой программы, приведенной на рис. 1 [4-6]. Постоянный ток подмагничивания изменяли до получения отношения сигнала частичного считывания U_1 от воздействия тока I_1 к сигналу полного считывания U_3 от тока I_3, равного 0,5. С учетом найденного тока подмагничивания, отвечающего коэрцитивной силе I_n^C, рассчитывали H_C при одновитковой намагничивающей обмотке по формуле [4-6]

$$H_C = 0{,}4\, I_n^C / d_C \ , \qquad (1)$$

где d_C – средний диаметр измеряемого образца.

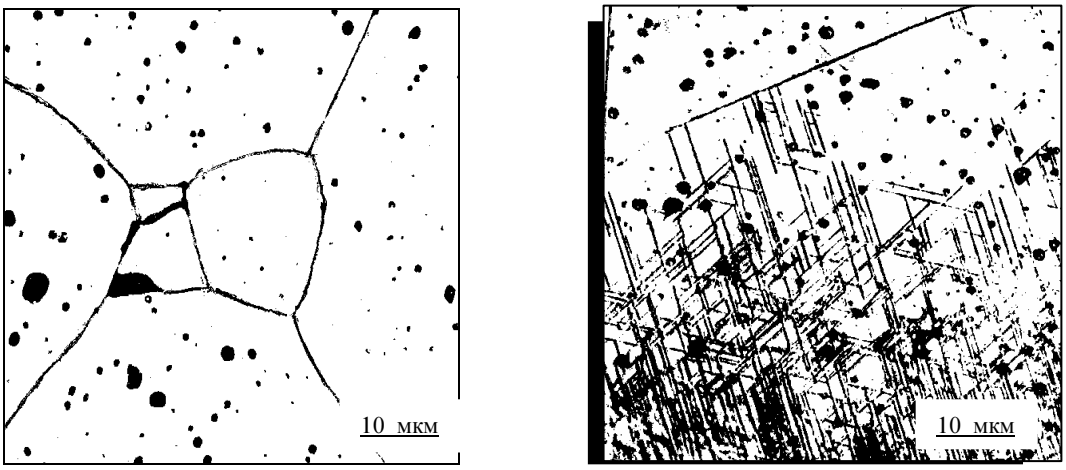


B – магнитная индукция; H – магнитное поле; H_T – поле трогания; B_m, B_r – максимальная и остаточная индукции; $I_п$ – постоянный ток подмагничивания; I_1, I_2, I_3 – импульсные токи.

Рисунок 1− Схема петли гистерезиса и токовой программы для измерения коэрцитивной силы H_C.

Результаты исследований. Все исследуемые здесь образцы были однофазными и имели кубическую кристаллическую решетку типа шпинели $MgAl_2O_4$. Тем не менее характер микроструктуры образцов в зависимости от режимов термообработки может изменяться. На рис. 2, 3 представлена микроструктура образцов после травления их шлифов 5 %-ным водным раствором плавиковой кислоты в течение 25 минут.

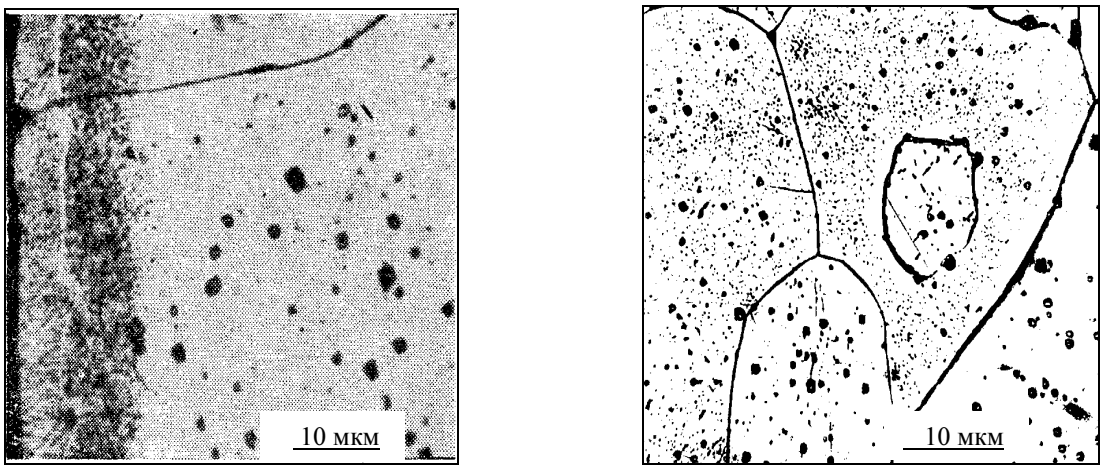
Для образцов, охлажденных от температуры спекания до температуры закалки 1273 К, сохраняется обычная микроструктура с четко выраженными границами зерен (рис.2.а). Однако форма и параметры петли гистерезиса в этом температурном интервале изменяются. Верхняя ветвь петли гистерезиса становится круче, «колено» острее, а нижняя ветвь положе (рис.4,*а*,*б*). При этом увеличиваются: H_C, B_r/B_m, H_T/H_C, B_m и B_r (табл. 1).



а *б*

а - закалка от 1273 – 1603 К; *б* − закалка от 1223 К

Рисунок 2 − Микроструктура однофазных образцов. Спекание на воздухе при 1603 К, 3 ч.



а *б*

а − закалка от 1473 К; *б* − закалка от 1273 К

Рисунок 3 − Микроструктура однофазных образцов, прошедших отжиг на воздухе при 823 К, 15 ч после закалки. Спекание на воздухе при 1603 К, 3 ч.

Таблица 1. Зависимость параметров петли гистерезиса от температуры закалки. Спекание на воздухе при 1603 К, 3 ч

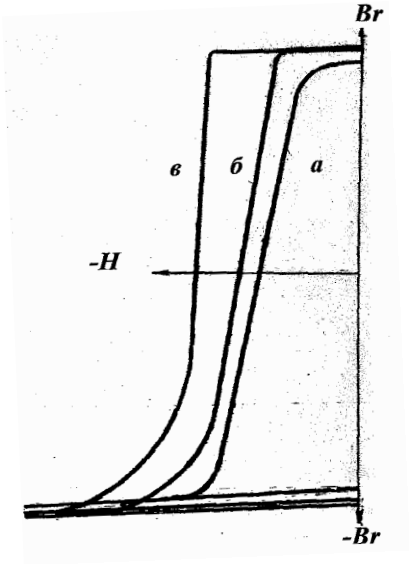
Температура закалки, К	H_m=143 А/м				
	H_C, А/м	B_m, Тл	B_r, Тл	B_r/B_m	H_T/H_C
1603	11,0	0,220	0,196	0,89	0,79
1473	11,1	0,232	0,213	0,92	0,80
1273	13,5	0,230	0,212	0,92	0,81
1223	15,1	0,199	0,165	0,83	0,74

Примечание. Представленные в табл. значения параметров являются среднеарифметическими величинами десяти измеренных образцов.

Снижение температуры закалки до 1223 К сопровождается образованием на поверхности образцов вторичной сетчатой микроструктуры (рис. 2.б) и резким ухудшением магнитных параметров (табл.1). Вторичная микроструктура формируется без нарушения фазовой однородности образцов и представляет собой участки

шпинельных твердых растворов с повышенным относительно матрицы феррита содержанием катионных вакансий [2]. Она имеет обратимый характер. После повторного спекания и закалки от 1273 – 1603 К вторичная микроструктура исчезает, и все свойства образцов возвращаются к величинам, характерным для данного режима термообработки.

Влияние низкотемпературного отжига закаленных образцов на их микроструктуру, форму и параметры петли гистерезиса показано на рис. 3, 4 и в табл.2. Видно, что такое влияние тем сильнее, чем ниже температура закалки. В образцах, отожженных при 823 К в течение 15 ч, обнаружена вторичная микроструктура в виде точек. В случае закалки от 1473 К она располагается на поверхности (рис. 3,*а*), а от 1273 – и внутри образцов (рис. 3,*б*). Максимальные крутизна верхней ветви петли гистерезиса и значения B_r/B_m, H_T/H_C соответствуют образцам, закаленным от 1273 К и отожженным при 823 К в течение 2 – 4 ч (рис.4,*в*; табл.2). Выдержка перед закалкой при 1273 К в течение 1 ч существенно снижает коэффициент квадратности H_T/H_C образцов (табл. 2).



а – закалка от 1603 К; *б* – закалка от 1273 К; *в* – закалка от 1273 К и отжиг на воздухе при 823 К, 4 ч.

Рисунок 4− Влияние термообработки на форму петли гистерезиса. Спекание на воздухе при 1603 К, 3 ч.

Таблица 2 - Изменение параметров петли гистерезиса в зависимости от температуры закалки и времени отжига на воздухе при 823 К. Спекание при 1603, 3 ч

Температура закалки, К	Время отжига, ч	H_m=143 А/м				
		H_C, А/м	B_m, Тл	B_r, Тл	B_r / B_m	H_T/ H_C
1473	0	11,1	0,232	0,213	0,92	0,80
	4	14,8	0,230	0,211	0,92	0,84
	15	20,3	0,180	0,162	0,90	0,82
1273	0	13,5	0,230	0,212	0,92	0,81
	2	15,2	0,220	0,207	0,94	0,94
	3	17,5	0,225	0,214	0,95	0,96
	4	18,3	0,220	0,209	0, 95	0,95
	15	40,5	0,175	0,165	0,94	0,92
1273, 1 ч[2)]	3	18,1	0,218	0,205	0,94	0,85

Примечания: 1) представленные в табл. значения параметров являются среднеарифметическими величинами десяти измеренных образцов; 2) перед закалкой образцов делали выдержку в течение 1 ч.

Обсуждение результатов. Согласно [2] изменение магнитных свойств, в частности, увеличение H_C образцов при охлаждении от 1603 до 1273 К (табл.1) происходит вследствие протекания окислительного процесса, приводящего к образованию в шпинельном твердом растворе катионных вакансий и их ассоциации до мелких точечных микронеоднородностей, а при меньших температурах закалки и низкотемпературном отжиге в течение 15 ч закаленных образцов (табл.2) – из-за локализации ассоциированных вакансий и формирования крупных магнитных микронеоднородностей. Отжиг до 4 ч приводит к образованию мелких точечных неоднородностей [2]. При перемагничивании образцов на линейных (рис. 2, *б*) и крупных точечных (рис. 3) неоднородностях возникают большие размагничивающие поля [1, 7], которые резко ухудшают магнитные параметры (табл. 1, закалка от 1223 К и табл. 2, отжиг 15 ч). Мелкие точечные неоднородности [2], напротив, положительно сказываются на H_T/ H_C, B_r/B_m и практически не влияют на B_r, B_m в интервале значительных изменений H_C образцов (табл. 2, отжиг 2 - 4 ч). Рассмотрим влияние геометрии образцов и градиентов H_C, обусловленных неравномерным распределением в образцах таких микронеоднородностей на форму и квадратность петли гистерезиса.

На рис. 1 приведена идеализированная петля гистерезиса для случая, когда наклон ниспадающей ветви петли гистерезиса определяется только отношением внутреннего диаметра тороидального образца d к внешнему $Ф$, то есть геометрией образца. Покажем это.

В связи с тем, что перемагничивание в любой части образца начинается только после того как магнитное поле достигнет коэрцитивной силы, то с учетом формулы (1) для однородного по H_C тороида можно записать равенство

$$H_C = \frac{0{,}4I_d}{d} = \frac{0{,}4I_Ф}{Ф} \text{ ; откуда } \frac{I_d}{I_Ф} = \frac{d}{Ф} \qquad (2)$$

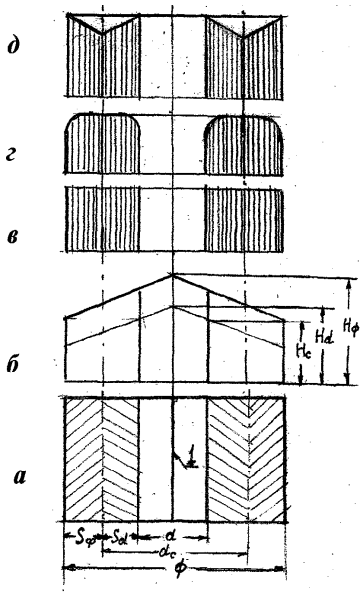
Здесь I_d − ток начала обратного перемагничивания поверхностного слоя, соответствующего внутреннему диаметру тороида, а $I_Ф$ – внешнему.

Поскольку $d < Ф$, то $I_d < I_Ф$ и создаваемые ими поля $H_d < H_Ф$. Справедливость неравенства $H_d < H_Ф$ вытекает также из рис. 5,*б ,в*. Так как напряженность магнитного поля, создаваемая током, проходящим по размещенному в центре тороида металлическому проводнику, при удалении уменьшается ([8] и рис.5,*б*), то для получения поля, равного H_C, на расстоянии $Ф/2$ необходимо большее поле проводника ($H_Ф$), чем на расстоянии $d/2$ (H_d) (рис.5,*б*,*в*). В связи с тем, что I_d, H_d отвечают началу ниспадающей ветви петли гистерезиса, а $I_Ф$, $H_Ф$ – концу, то их отношение равно отношению $d/Ф$ и характеризует её наклон, а следовательно, форму и КПГ тороида. Из формулы (2) видно, что чем ближе $d/Ф$ к 1, тем круче петля гистерезиса и выше КПГ.

В реальных условиях в образцах микронеоднородности распределены неравномерно, поэтому они обусловливают градиенты коэрцитивной силы, которые влияют на форму петли гистерезиса, делая её отличной от идеальной.

Образцы, закаленные от температуры спекания (окисление отсутствовало), в поверхностных слоях в силу особых условий формирования их структуры имеют меньшую H_C, а внутри – большую ([2] и рис.5, *г*). Поэтому перемагничивание их начинается при меньших полях, чем в случае однородных по H_C образцов (рис.1), создавая плавный переход от практически горизонтального участка петли гистерезиса к ниспадающему (рис. 4, *а*)*.

*Такое заключение подтверждается экспериментом – увеличение H_C поверхностного слоя за счет окисления при охлаждении до температуры закалки (1273 К) и последующего низкотемпературного отжига делает «колено» острее (рис. 4, *в*).



Ф, *d* − соответственно внешний и внутренний диаметры; $S_ф$, S_d – внешняя и внутренняя половина тороида; *б* − изменение напряженности магнитного поля; (*в* – *д*) − изменение коэрцитивной силы: *в* – однородный по H_C образец (идеальный), *г* – закаленный от 1603 К, *д* – закаленный от 1273 и отожженный при 823 К, 4 ч.

Рисунок 5 − Схема сечения тороидального образца и характера изменения в нем напряженности магнитного поля и коэрцитивной силы при удалении от проводника тока 1 в зависимости от термообработки образцов

Охлаждение образцов от температуры спекания (1603 К) сопровождается их окислением [2, 7]. Закалку образцов от 1473 К и ниже осуществляли в процессе охлаждения, поэтому окисление протекало в неравновесных условиях. В связи с этим степень окисления, а следовательно микронеоднородности и H_C , после закалки и отжига будут максимальными на поверхности* и минимальными внутри образцов. Будем считать в первом приближении, что они изменяются по линейному закону. Тогда характер изменения H_C в сечении тороидального образца будет соответствовать показанному на рис. 5, *д*. Видно, что при удалении от центра тороида по мере снижения напряженности магнитного поля коэрцитивная сила вначале также уменьшается, а затем увеличивается. Поэтому внутренняя половина тороида перемагнитится при меньшем перепаде напряженности поля ΔH , чем внешняя. В результате нисходящая ветвь верхней половины петли гистерезиса закаленных от 1273 К, а затем отожженных при 823 К образцов круче (больше H_T/H_C)**, а нижняя положе (рис.4, *в*) чем у образцов, закаленных от температуры спекания 1603 К (рис.4,*а*). При снижении температуры закалки эта закономерность усиливается (рис. 4, *а*, *б*), по-видимому, потому, что у образцов, закаленных от 1273 К, степень окисления, а следовательно H_C во внутренней половине тороида изменяется по мере удаления от центра по зависимости более близкой к зависимости для магнитного поля, чем у образцов, закаленных например от 1473 К. Об этом может свидетельствовать характер распределения вторичной микроструктуры − у первых она распространена по всему объему, а у последних – только на поверхности (рис. 3). Для образцов отдельных технологических партий указанные зависимости могут настолько сближаться, что их коэффициент квадратности H_T/H_C становится близким к единице.

*Для нивелирования влияния торцевых поверхностей их удаляли шлифовкой

** Это заключение также подтверждается экспериментом – изотермическая выдержка при температуре закалки уменьшает градиент H_C и отношение H_T/H_C (табл.2).

Несмотря на то, что такие элементы обладают самой высокой квадратностью (высоким качеством) [4, 6] при разбраковке в режиме действующей на практике токовой программы (рис.1) значительная их часть оказывается в браке. Это происходит потому, что их сигнал частичного считывания U_1 от воздействия тока I_1 (рис.1) может изменятся только из-за самопроизвольного колебания токов программы от значений, соответствующих бракованным образцам, до значений, отвечающих годным. Избежать такую парадоксальную ситуацию и повысить выход годных элементов удается преднамеренным снижением H_T/H_C путем изотермической выдержки образцов при температуре закалки (табл. 2).

Увеличение остроты «колена» петли гистерезиса при снижении температуры закалки хотя в меньшей степени наблюдается и для закаленных образцов, не подвергнутых последующему отжигу. Этим можно объяснить тот факт, что применяемые на практике температуры закалки ферритов всегда ниже температур их спекания.

Выводы. Увеличение отношения внутреннего диаметра тороидального образца к внешнему сопровождается ростом квадратности петли гистерезиса. В отсутствии окисления поверхностные слои элементов имеют меньшую H_C, чем внутренние. Поэтому перемагничивание их начинается при меньших полях, создавая плавный переход от горизонтального участка петли гистерезиса к ниспадающему. Неравновесное окисление элементов в процессе охлаждения до температуры закалки, напротив, приводит к росту H_C, в большей степени на поверхности и меньшей – внутри тороидов. В результате верхняя половина ниспадающей ветви петли гистерезиса становится круче, а нижняя – положе. Изотермическая выдержка при температуре закалки уменьшает градиенты H_C и квадратность петли гистерезиса элементов.

Список литературы

1. Рабкин Л.И. Ферриты / Рабкин Л.И., Соскин С.А., Эпштейн Б.Ш. – Л.: Энергия, 1968.−384 с.
2. Зиновик М.А. Ферриты с прямоугольной и квадратной петлей гистерезиса / Зиновик М.А., Зиновик Е.В. // Порошковая металлургия. – 2005. − №1/2. – С. 80-89.
3. Зиновик М.А. Влияние термообработки на магнитные свойства ферритов с прямоугольной петлей гистерезиса / Зиновик М.А., Щепеткин А.А., Чуфаров Г.И.// Электронная техника. Серия 14. Материалы. – 1968. – Вып.6. – С.144-156.
4. Нормаль радиоэлектроники и электронной техники НО.030.003. Ферриты с прямоугольной петлей гистерезиса. – Введ. 1963.
5. Ферриты и магнитодиэлектрики: справ./ под ред. Н.Д. Горбунова и Г.А. Матвеева.– М.: Советское радио, 1969.−152 с.
6. Нормаль электронной промышленности НПО.707.007. Ферриты с прямоугольной петлей гистерезиса. – Введ.1967.
7. Зиновик М.А. К вопросу о структурных неоднородностях в ферритах и их влиянии на форму петли гистерезиса// Электронная техника. Серия Материалы. – 1974. – Вып. 3. – С. 16-22.
8. Бардиж В.В. Магнитные элементы цифровых вычислительных машин //. – М.: Энергия, 1974. – 488 с.

М. Зіновік, О. Зіновік

Про форму петлі магнітного гістерезісу тороїдальних феритових елементів

Досліджено вплив геометрії і мікроструктурної неоднорідності на форму петлі магнітного гістерезісу феритових елементів тороїдальної форми з розмірами 3,1×1,5×1,4 мм складу (в мол. %): Fe_2O_3 – 37,6; MnO – 38,1; MgO – 9,3; ZnO – 11,7; CaO – 3,3. Показано, що збільшення відношення внутрішнього діаметру тороїдів до зовнішнього супроводжується ростом квадратності петлі гістерезису КПГ. Встановлено вплив на форму петлі гістерезісу і градієнтів коерцитивної сили H_C, що викликані структурними неоднорідностями. Нерівноважне окислення елементів у процесі охолодження до температури гарту призводить до росту H_C в більшій мірі на поверхні і меншій – всередині тороїдів. В

результаті верхня половина спадаючої гілки петлі гістерезисну стає крутіша, а нижня – більш полога. Ізотермічна витримка при температурі гарту зменшує градієнти H_C і КПГ елементів.

M. Zinovik, E. Zinovik

On the form of magnetic hysteresis loop of toroid ferrite elements

We have studied influence of geometry and microstructure in homogeneity upon the form of magnetic hysteresis loop ferrite elements of toroidal form having dimensions 3,1×1,5×1,4 mm of composition (in mol. %): Fe_2O_3 – 37,6; MnO – 38,1; MgO – 9,3; ZnO – 11,7; CaO – 3,3. It was shown that increase of attitude of inner diameter of toroids to outer is accompanied by growth of quadratic loop of hysteresis (KLN). Influence upon the form of hysteresis loop and gradients of coercive force H_C caused by structural heterogeneity was determined. Under absence of oxidation element blankets have smaller H_C than inner. So their magnetic reversal starts under smaller fields, creating smooth transition from horizontal part of the loop of hysteresis with respect to falling. Nonequilibrium conditions of elements oxidation during cooling process up to hardening T° contrarily leads to growth of H_C more on the surface and less inside toroids. As a result upper half of the falling branch of hysteresis loop grows more abrupt white lower – more inclined. Isometric exposure under the hardening temperature reduces gradients H_C and KLH elements.

Получено 01.03.12

УДК 621.891

В.В. Аулін, проф., канд. фіз.-мат. наук, В.В. Слонь, асп., О.В. Кузик, магістр
Кіровоградський національний технічний університет

Зміна фізико-хімічних показників моторної оливи дизелів автосамоскидів в процесі експлуатації

В статті виявлено вплив умов експлуатації на зміну фізико-хімічних показників базових моторних олив дизелів автосамоскидів, наведена схема причинно-наслідкових зв'язків цієї зміни. Дано результати досліджень зміни коксівності, густини оливи від терміну експлуатації, показано зміну концентрації хімічних елементів в ній. Встановлено, що ресурсом кар'єрних автосамоскидів можна управляти та збільшувати інтервал ТО, здійснюючи модифікуючий вплив на моторну оливу додаванням присадок та обробкою фізичним полем.

пуск-зупинка, моторна олива, коксівність, густина, присадка, фізичне поле

Проблема надійності дизелів продовжує залишатися проблемою номер один у сфері технічної діяльності людини і, актуальність її залишається надзвичайно високою через значне ускладнення технічних систем і вимог, що пред'являються до них в процесі ефективної експлуатації [1].

Система кар'єрного автотранспорту - це одна з найбільш складних і динамічних технічних систем гірничого виробництва, від надійного функціонування якої залежить не лише його робота, але і суміжних виробництв - збагачувальних фабрик, перевантажувальних пунктів і ін.

Враховуючи істотну спрямованість в економіці народного господарства країни гірничодобувної промисловості і те, що значна частка її зосереджена у центральних регіонах, при інтенсивному залученні до видобутку невеликих по розмірах родовищ корисних копалини, кар'єрний автотранспорт буде на найближчі 10-15 років залишатися одним з найперспективніших [2,3].

© В.В. Аулін, В.В. Слонь, О.В. Кузик, 2012

результаті верхня половина спадаючої гілки петлі гістерезисну стає крутіша, а нижня – більш полога. Ізотермічна витримка при температурі гарту зменшує градієнти H_C і КПГ елементів.

M. Zinovik, E. Zinovik

On the form of magnetic hysteresis loop of toroid ferrite elements

We have studied influence of geometry and microstructure in homogeneity upon the form of magnetic hysteresis loop ferrite elements of toroidal form having dimensions 3,1×1,5×1,4 mm of composition (in mol. %): Fe_2O_3 – 37,6; MnO – 38,1; MgO – 9,3; ZnO – 11,7; CaO – 3,3. It was shown that increase of attitude of inner diameter of toroids to outer is accompanied by growth of quadratic loop of hysteresis (KLN). Influence upon the form of hysteresis loop and gradients of coercive force H_C caused by structural heterogeneity was determined. Under absence of oxidation element blankets have smaller H_C than inner. So their magnetic reversal starts under smaller fields, creating smooth transition from horizontal part of the loop of hysteresis with respect to falling. Nonequilibrium conditions of elements oxidation during cooling process up to hardening T° contrarily leads to growth of H_C more on the surface and less inside toroids. As a result upper half of the falling branch of hysteresis loop grows more abrupt white lower – more inclined. Isometric exposure under the hardening temperature reduces gradients H_C and KLH elements.

Получено 01.03.12

УДК 621.891

В.В. Аулін, проф., канд. фіз.-мат. наук, В.В. Слонь, асп., О.В. Кузик, магістр
Кіровоградський національний технічний університет

Зміна фізико-хімічних показників моторної оливи дизелів автосамоскидів в процесі експлуатації

В статті виявлено вплив умов експлуатації на зміну фізико-хімічних показників базових моторних олив дизелів автосамоскидів, наведена схема причинно-наслідкових зв'язків цієї зміни. Дано результати досліджень зміни коксівності, густини оливи від терміну експлуатації, показано зміну концентрації хімічних елементів в ній. Встановлено, що ресурсом кар'єрних автосамоскидів можна управляти та збільшувати інтервал ТО, здійснюючи модифікуючий вплив на моторну оливу додаванням присадок та обробкою фізичним полем.

пуск-зупинка, моторна олива, коксівність, густина, присадка, фізичне поле

Проблема надійності дизелів продовжує залишатися проблемою номер один у сфері технічної діяльності людини і, актуальність її залишається надзвичайно високою через значне ускладнення технічних систем і вимог, що пред'являються до них в процесі ефективної експлуатації [1].

Система кар'єрного автотранспорту - це одна з найбільш складних і динамічних технічних систем гірничого виробництва, від надійного функціонування якої залежить не лише його робота, але і суміжних виробництв - збагачувальних фабрик, перевантажувальних пунктів і ін.

Враховуючи істотну спрямованість в економіці народного господарства країни гірничодобувної промисловості і те, що значна частка її зосереджена у центральних регіонах, при інтенсивному залученні до видобутку невеликих по розмірах родовищ корисних копалини, кар'єрний автотранспорт буде на найближчі 10-15 років залишатися одним з найперспективніших [2,3].

© В.В. Аулін, В.В. Слонь, О.В. Кузик, 2012

Експлуатація кар'єрних автосамоскидів має істотні особливості, що впливають на фізико-хімічні показники моторних олив:

- безперервний режим роботи автосамоскидів "пуск-зупинка";
- складний профіль автомобільних доріг (спуски і підйоми з великими подовжніми ухилами, де кут ухилу досягає 6%, наявність серпантинів, затяжних поворотів і т. д.);
- переважаючий напрям руху з вантажем на підйом;
- велика кількість тимчасових автомобільних доріг з щебеневим покриттям (до 85...90%), неякісний стан дорожнього полотна;
- погіршення умов експлуатації, пов'язане з поглибленням до 4-7 м рівня кар'єру в рік, а отже збільшення серпантину доріг;
- експлуатація транспортних засобів в умовах запиленості між верхньою і нижніми відмітками кар'єру.

Зважаючи на вище зазначене, можна зробити висновок про те, що дизелі кар'єрних автосамоскидів експлуатуються у надзвичайно важких умовах, що не може не вплинути на роботу його трибосполучення та зниження властивостей моторної оливи.

Відомо, щоб зменшити тертя в трибосполучення дизелів періодично заміняють моторну оливу, а також поліпшують її властивості і фізико-хімічні показники модифікуванням різними способами [4]. Зазначимо, що практично не дослідженні моторні оливи дизелів автосамоскидів, що працюють в умовах кар’єрних перевезень, періодичність їх заміни та модифікуючого впливу присадок та фізичних полів (електричного, магнітного, електромагнітного) [5,6].

Виявлено, що інтенсивність зміни фізико-хімічних показників моторної оливи залежить головним чином від режимів роботи автосамоскидів. Робота дизеля сприяє високотемпературному окисленню, забрудненню оливи і накопиченню в його картері корозійно-агресивних продуктів [7]. При пробігах на коротких відстанях, тривалій роботі на холостому ходу (головним чином в зимову пору року) характерним є робота на зниженому тепловому режимі. При цьому умови роботи олив можуть бути не менш жорсткими, ніж при напруженому тепловому режимі: погіршується процес згорання палива, збільшується попадання в картер вуглистих частинок, важких фракцій палива.

Схематично вплив чинників на зміну фізико-хімічних показників базової моторної оливи можна уявити у вигляді схеми (рис. 1.)

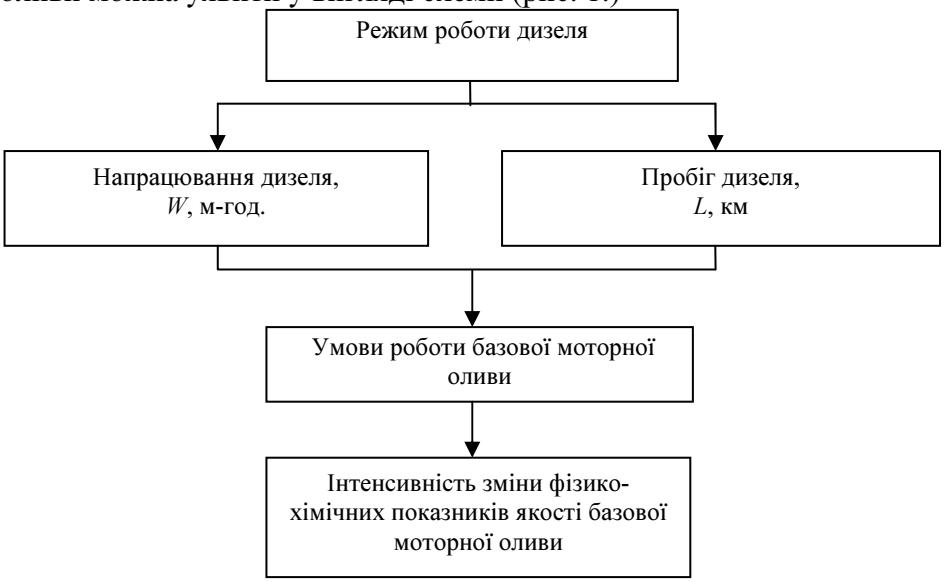


Рисунок 1 – Схема причинно-наслідкових зв'язків зміни фізико-хімічних показників базової моторної оливи

Аналіз взаємодії елементів даної системи показав, що існує необхідність у встановленні закономірностей впливу режиму роботи РС на інтенсивність зміни показників якості моторної оливи. В роботі проаналізовано отримані дані зміни таких показників якості моторної оливи як коксівності і густини оливи з напрацюванням. Коксівність моторної оливи вимірювали пристроєм ТЛ-ПХП ГОСТ 19932, а густину ареометром за ГОСТ 3900-85.

Результати дослідження зміни коксівності оливи від напрацювання дизеля наведено на рис 2.

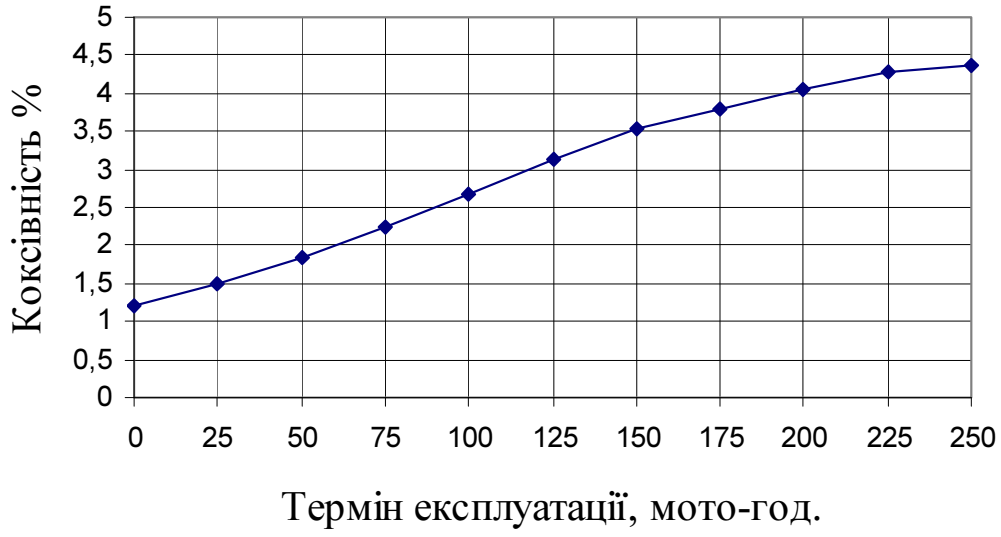


Рисунок 2 – Зміна коксівності оливи залежно від терміну експлуатації двигуна ЯМЗ – 8401.10-01

В процесі експлуатації дизеля, коксівність моторних олив на відміну від більшості інших показників збільшується і в деяких випадках досягає гранично допустимого значення, рівного 4 %. Отримані результати можна пояснити накопиченням продуктів окислення, продуктів спрацьовування зольної присадки, надходженням в оливу частинок продуктів зносу деталей тертя і запиленості, а також наявністю частинок сажі, які є продуктами неповного згорання палива.

Основними причинами погіршення якості оливи є забрудненість його водою, паливом, механічними домішками, обумовленої несправностями в роботі різних систем двигуна та умовами експлуатації. При роботі дизеля на обводненій оливі відбувається коагуляція диспергуючих вуглецевих частинок, внаслідок чого підвищується осадоутворення в оливі, збільшується швидкість забруднення оливи, і як наслідок зростання показника коксівності.

Виявлено, що в процесі експлуатації густина моторної оливи може збільшуватися, а може і зменшуватися. Збільшення щільності працюючої оливи відбувається за рахунок процесу окислення базової оливи і накопичення в ній різних видів експлуатаційних забруднень. На зменшення щільності оливи впливає наявність палива в оливі, яке має щільність дещо нижчу, від моторної оливи. Залежність густини оливи від напрацювання двигуна наведено на рис 3.

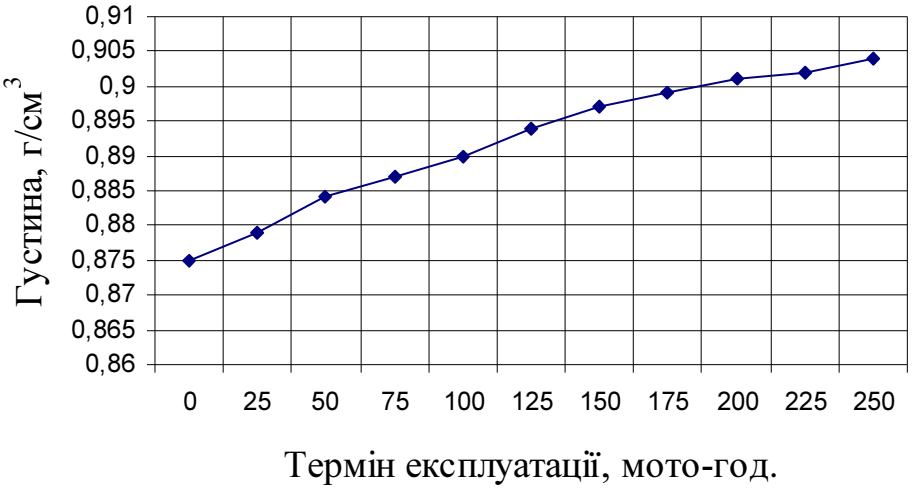


Рисунок 3 – Зміна густини оливи залежно від терміну експлуатації

При терміні експлуатації рівному 210 мото-годин величина густини працюючої оливи рівна 0,900 г/см^3. Саме цю величину рекомендують, як гранично допустиму для густини моторної оливи, після досягнення якої здійснюють заміну оливи.

Встановлено, що між коксівністю оливи і її густиною існує деяка функціональна залежність (рис. 4), при якій із зміною величини одного показника відбувається зміна величини іншого, і навпаки.

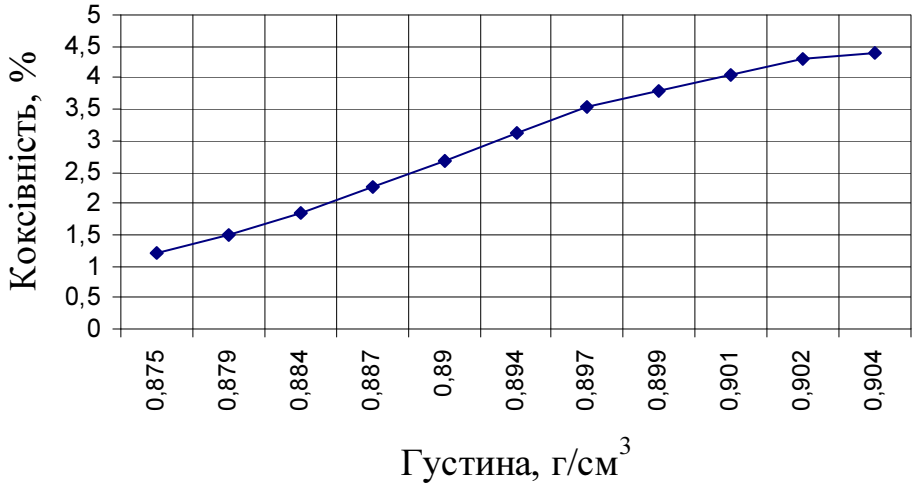


Рисунок 4 – Залежність між коксівністю оливи і її щільністю при експлуатації

Крім цього виявлено, що показник забрудненості оливи (ПЗО), дає можливість оцінити фактичний стан моторної оливи і спрогнозувати його подальшу експлуатаційну придатність. Граничнодопустиме значення ПЗО після досягнення якого експлуатацію двигуна доцільно припинити і здійснити заміну оливи, становить 71,5%.

Найбільш інформативним показником процесів спрацювання деталей дизеля, а отже і є концентрація продуктів зносу в працюючій оливі. Дослідження зміни якості моторної оливи проведені на фотоелектричному спектрометрі МФС-7, який дозволяє визначити 26 металів методом обертального електроду. За отриманими даними на

ПЕОМ побудовані закони розподілу різних хімічних елементів від їх вмісту в оливі з певним напрацюванням. Зазначені характеристики є кількісними характеристиками процесу інтенсивності зношування поверхонь тертя.

Результати зміни концентрації хімічних елементів в моторній оливі дизеля ЯМЗ-8401.10-01. наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Зміна концентрації хімічних елементів в базовій моторній оливі дизеля ЯМЗ-8401.10-01. пробіг до 12,0 тис. км

Пробіг,	Концентрація хімічних елементів, мг/т										
тис. км	*P*	*Mg*	*Si*	*Ni*	*Mn*	*Al*	*Pb*	*Cr*	*Cu*	*Na*	*Fe*
1,5	17,5	7,0	11,8	15,6	29,8	8,7	19,6	20,5	103,6	13,4	63,2
3	17,3	5,2	15,4	17,3	35,1	10,5	24,8	22,5	119,4	17,3	99,9
4,5	15,4	5	22,9	18,1	43,5	11,6	26,8	30,4	96,2	22,2	122,8
6	13,8	5	25,6	20,4	47,6	14,0	28,4	32,2	78,8	23,9	128,7
7,5	12,9	3	26,1	30,4	50,7	15,6	34,2	35,8	70,4	27,2	141,2
9	9,5	3	32,6	46,5	52,5	17,8	37,6	41,7	46,0	31,2	175,6
10,5	8,9	2,8	34,8	43,8	55,8	31,2	42,3	43,9	34,8	35,2	194,3
12	9,0	3,0	36,7	45,0	63,5	50,9	54,2	52,2	29,3	46,0	248,1

Аналізуючи зміну концентрації конкретних хімічних елементів в моторній оливі, на прикладі дизеля ЯМЗ-8401.10-01, можемо говорити, що досягнення критичних концентрацій відбувається вже при пробігу 4,5 тис. км по *Si* та *Cr*. На підвищення концентрації хрому значний вплив здійснює підвищення концентрації кремнію у вигляді абразивних частинок. При пробігу більше 7,5 тис. км спостерігається різке збільшення концентрації заліза. Це свідчить про зростання інтенсивності зношування сполучених деталей дизеля. При настанні часу заміни моторної оливи в дизелі ЯМЗ-8401.10-01. (пробіг 12 тис. км), максимальних значень при цьому досягає концентрація заліза, яка перевищує граничнодопустимі межі на 30...39%.

По мірі спрацювання робочих поверхонь деталей в моторній оливі накопичуються продукти зносу у вигляді механічних і хімічних домішок, а також продукти, пов'язані із зміною самого змащувального матеріалу (полімеризація, розщеплювання, окислення і т. п.).

Таким чином, властивості моторної оливи в процесі експлуатації погіршуються, що обумовлює збільшення спрацювання робочих поверхонь його сполучень та зменшення надійності дизеля, а отже і кар’єрних автосамоскидів в цілому.

Істотно поліпшити характеристики моторної оливи можна модифікуванням її додаванням металовмісних присадок та обробкою базової та композиційної оливи фізичними полями (електричним, магнітним, електромагнітним). При цьому на трибосполученнях дизеля формується плівки антифрикційного покриття, та змінюється режим тертя з переважанням гідродинамічного. Зазначене пройшло лабораторні та стендові дослідження, магнітним, електромагнітним полем, але потребує ретельних експлуатаційних досліджень.

Попередні дані свідчать, що ресурсом кар'єрних автосамоскидів можна управляти та збільшувати інтервал ТО (з 125 мото-год. до 250 мото-год.), і тоді автосамоскид БелАЗ-75800 буде безальтернативний з іншими моделями кар'єрних автосамоскидів, у тому числі і імпортного виробництва.

Список літератури

1. Аулін В.В. Підвищення експлуатаціної надійності машин шляхом модифікування моторної оливи / В.В. Аулін, С.В. Лисенко, О.В. Кузик // Вісник Харківського нац. техн. університету сільск. господарства. /Вип. 100. Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва. – Харків. – 2010. – С.127-133.
2. Зырянов Н.В. Методика определения влияния условий эксплуатации на долговечность конструкций карьерных автосамосвалов/ Н.В. Зырянов // Цветная металлургия, 1994, № 4-5. – С. 22-23.
3. Караулов А.К. Автомобильные масла. Моторные и трансмиссионные. Ассортимент и применение: справочник / А.К. Караулов, Н.Н. Худолий. – К.: ООО "Журнал "Радуга", 2000. – 437 с.
4. Аулін В.В. Фізико-хімічні процеси, що відбуваються в композиційній оливі при прирацюванні сполучень деталей / В.В. Аулін, С.В. Лисенко, О.В. Кузик // Матеріали ІІІ міжнародної науково – технічної конференції: "Сучасні проблеми триботехніки", 7-9 жовтня 2009р. – Миколаїв: НУК, 2009. – С 65-67.
5. Аулін В.В. Вплив модифікування композиційних моторних олив магнітним полем на триботехнічні характеристики робочих поверхонь деталей / В.В. Аулін, О.В. Кузик, О.Д. Мартиненко // Вісник Харківського нац. техн. університету сільск. господарства ім. П.Василенка /Вип. 118. Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машинобудуванні. – Харків. – 2011.-С.268-273.
6. Аулін В.В. Теоретичне обґрунтування зміни режимів тертя в циліндро-поршневій групі ДВЗ / В.В. Аулін, С.В. Лисенко, О.В. Кузик // Проблеми трибології (Problems of tribology). Хмельницький. ХНУ, 2010. – №3. – С.46-54.
7. Аулін В.В. Зміна технічного стану основних сполучень двигуна та моторної оливи в процесі його експлуатації / В.В. Аулін, С.В. Лисенко, О.В. Кузик // Проблеми трибології (Problems of tribology). Хмельницький. ХНУ, 2009. – №4 – С.118-122.

В. Аулин, В. Слонь, О. Кузык

Изменение физико-химических показателей моторного масла дизелей автосамосвалов в процессе експлуатации

В статье выявлено влияние условий эксплуатации на изменения физико-химических показателей базового моторного масла дизелей автосамосвалов, приведенная схема причинно-следственных связей этих изменений. Дано результаты исследований изменения коксуемости, плотности масла от срока эксплуатации, показано изменение концентрации химических элементов в нем. Установлено, что ресурсом карьерных автосамосвалов можно управлять и увеличивать интервал ТО, осуществляя модифицирующее влияние на моторное масло добавлением присадок и обработкой физическим полем.

V. Aulin, V. Slon, O. Kuzyk

Change of physical and chemical indexes of motor oil of diesels of dumper in the process of exploitation

Influence of external on the changes of physical and chemical indexes of base motor oil of diesels of dumper environments, the brought chart over of relationship of cause connections of these changes, is educed in the article. The results of researches of change of coked, closenesses of oil, are given from the term of exploitation, the change of concentration of chemical elements is shown in him. It is set that it is possible to manage the resource of quarry dumper and increase an interval maintenance, carrying out modifying influence on motor oil addition of additives and treatment the physical field.

Одержано 02.04.12

УДК 62.233.21

В.А.Павлюк-Мороз, доц., О.В. Крилов, ас.
Кіровоградський національний технічний університет
В.М.Морозов, головний конструктор
ПАТ «Гідросила», м.Кіровоград

Застосування металофторопластових підшипників ковзання у вузлах тертя шестеренних насосів

В статті наведені методика та результати дослідження робочих характеристик металофторопластових підшипників ковзання у вузлах тертя шестеренних насосів.
металофторопластовий підшипник, шестеренний насос, коефіцієнт тертя

Гідросистеми знайшли широке розповсюдження у самих різних областях техніки. Зараз гідросистеми використовують на транспортних, гірничих, будівельних, меліоративних, сільськогосподарських та інших машинах.

Одним з головних елементів гідросистеми є шестеренний насос.

Тенденція до підвищення тиску в гідросистемах, а також подачі шестеренних насосів потребує вдосконалення і модернізації їхньої конструкції з метою забезпечення надійної роботи при тиску 20…25 МПа і більшій частоті обертання.

Всебічним аналізом практичного застосування шестеренних насосів типу НШ встановлені головні фактори, які обмежують підвищення тиску і подачі насосів, одним з яких є мала несуча здатність підшипників ковзання внаслідок схоплювання та заїдання, які виготовлені з антифрикційного алюмінієвого сплаву АМКО 8-1-3 по ТУ 113-1.03-73.

Рішення проблеми несучої здібності та надійної роботи підшипників ковзання гідронасосів при збільшенні номінального тиску і подачі є застосування прогресивних підшипникових матеріалів, у тому числі металофторопластових підшипників, які відповідають підшипниками марок DY і DX фірми Гласьэ (Великобританія) [1].

Металофторопластовий підшипник у своєї основи має стрічку зі сталей 08кп або 10кп, яка покрита з обох сторін шаром міді М1 або латуні Л90. На стрічці спікається високо пористий (до 35%) бронзовий шар з сферичного бронзового порошку (з 9…11% Sb) з розмірами частинок 0,063…0,16 мм. Просочення пористого шару проводиться втиранням композиції, яка складається з 75% суспензії фторопласту 4ДВ (ТУП-40-59) і 25% дисульфідомолібдену. Готова стрічка поставляється з товщиною бронзового шару 0,35 мм, товщина фторопластового шару 0,06 мм.

Будова поверхні з металофторопластовим покриттям показана на рис. 1.

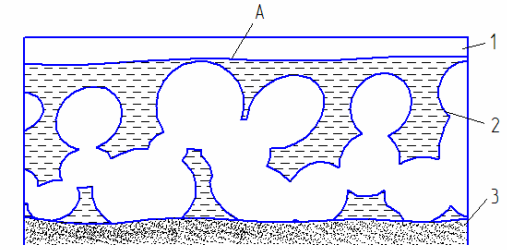
Композиційний матеріал, який складається зі сталевої основи і пористої бронзової матриці, просоченою і покритою фторопластом, працює наступним чином. Сталева основа забезпечує механічну міцність, а бронзовий проміжний шар – міцне з'єднання твердого змащувального матеріалу з основою. Пориста бронза покращує теплопровідність підшипника, знижуючи температуру на опорній поверхні.

Теплове розширення по колу підшипника, а також по величині, як у сталі.

По даним публікацій [2, 3] фторопластові підшипники ковзання мають низькі коефіцієнти тертя f = 0,04…0,08, підшипники можна експлуатувати при температурах -200…+280 ^{o}C, є хімічно інертними, застосовуються у самих різних галузях

© В.А.Павлюк-Мороз, О.В. Крилов, В.М.Морозов, 2012

промисловості: транспорті, енергетичних установках тощо.



1 – шар ПТФЕ, 2 – просочений бронзовий каркас, 3 – сталева підложка, А – робоча поверхня

Рисунок 1 – Будова поверхні підшипника з металофторопластовим покриттям

Металофторопластові підшипники ковзання можуть використовуватися у вузлах тертя у вигляді втулок або вкладишів.

Слід відзначити, що в науково-технічній літературі відсутні дані по обмеженню параметрів при застосуванні метало фторопластових підшипників у шестеренних насосах, тому було проведено комплекс експериментальних лабораторних і стендових досліджень.

Результати досліджень викладені у даній статті.

1. Визначення величини коефіцієнта тертя. Проведені порівняльні випробування пар тертя: «сталь 18ХГТ - алюмінієвий сплав АМКО 8-1-3», «сталь 18ХГТ – фторопластовий підшипник». Випробування проводили на модернізованій машині тертя СМЦ-2 по схемі «диск – колодка». Диски виготовлені з сталі 18ХГТ, твердість HRC 60…63. Мащення – масло МГЕ-46В.

Результати випробувань представлені на рис.2.

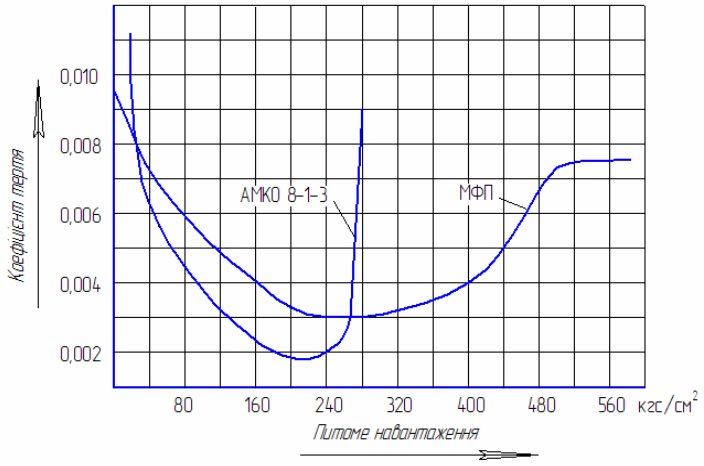


Рисунок 2 – Залежність коефіцієнту тертя від питомого навантаження для металофторопласту та сплаву АМКО 8-1-3

2. Проведення випробування на знос

Порівняльні випробування на знос проводили на модернізованій машині тертя СМЦ-2 по схемі «диск – колодка». Диски виготовлені зі сталі 18ХГТ твердістю HRC 60…63, колодки – з алюмінієвого сплаву АМКО 8-1-3 та металофторопласту. Змащення проводилося крапельним способом маслом МГЕ-46В з додаванням абразивного порошку в кількості 0,189…0,197% по об'єму. Знос диску і колодки вимірювався гравітаційним методом на вагах ВЛА200-М з точністю до 0,1 мг по втраті маси. Результати випробувань представлені на рис. 3.

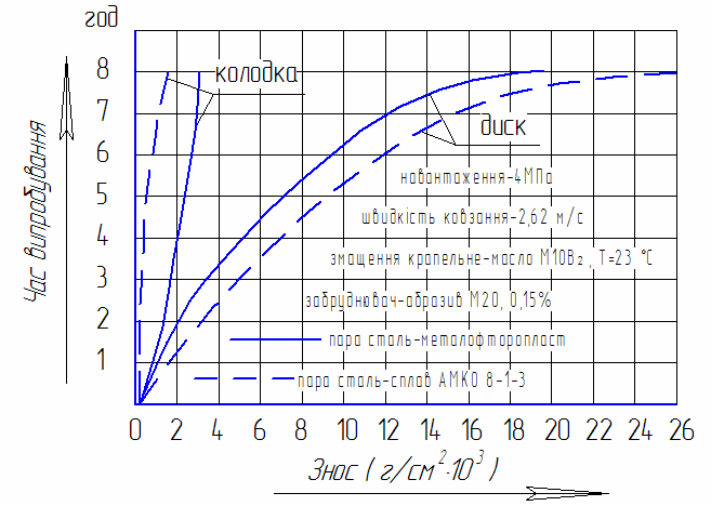


Рисунок 3 – Випробування на знос по схемі «диск – колодка» на машині тертя СМЦ-2

3. Визначення температури підшипників у працюючому насосі

Випробування насосів проводилось на стенді «Vsetin» (Чехія) з балансирним динамометром DS 1036-4N.

Вимір температури підшипників ковзання проводився хромелькопелевою термопарою та мілівольтметром М-64 у працюючих насосів при номінальному режимі навантаження. Робоча рідина насосів – масло МГ-46В.

Результати вимірювання представлені на рис.4.

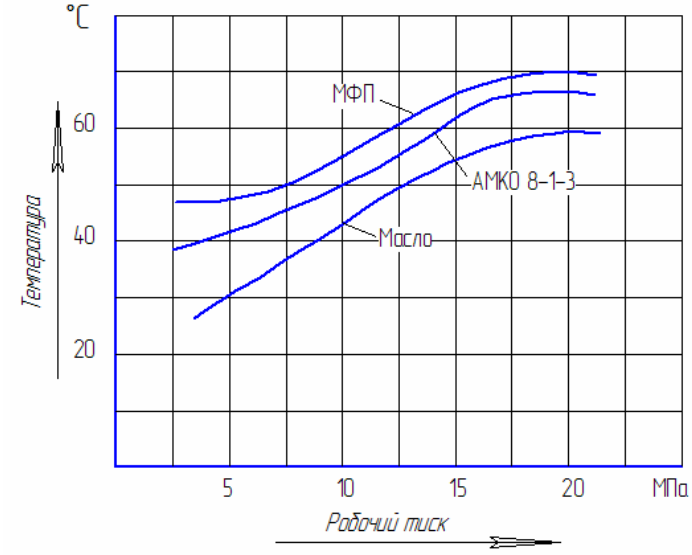


Рисунок 4 – Залежність температури підшипників ковзання зі сплаву АМКО 8-1-3 та метало фторопласту у працюючому насосі

4. Визначення коефіцієнту тертя від величини відносного підшипникового зазору пари тертя сталь – фторопластовий підшипник.

Визначення коефіцієнту тертя від величини підшипникового зазору визначали на працюючих шестеренних насосах НШ-50-4 на стенді «Vsetin» (Чехія), обладнаних балансирним динамометром DS 1036-4N. Зазори вимірювали мікромікражом цапф шестерень за допомогою скоби важільної СР-50 ГОСТ 11098-75 з точністю 2 мкм, діаметр отвору підшипників ковзання – нутроміром індикаторним НИ 18-50 мод.109 ГОСТ 9244-75.

Коефіцієнт тертя підшипників ковзання визначали за формулою:

$$f = \frac{M_p}{M_т}$$

де M_p – обертовий момент по показанням головки динамометра стенда;
M_m – обертовий момент теоретичний

$$M_т = \frac{P \cdot q}{2\pi}$$

де P – тиск масла у працюючому шестеренному насосі;
q – стала насосу.
Результати вимірювання представлені на рис. 5.

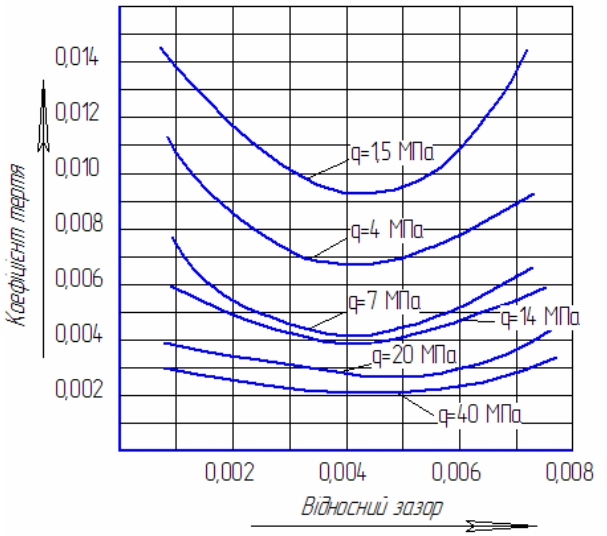


Рисунок 5 – Залежність коефіцієнту тертя від величини підшипникового зазору при різних питомих навантаженнях q. Пара тертя: сталь – металофторопластовий підшипник

Отримані результати дозволяють рекомендувати металофторопластові підшипники для модернізації вузлів тертя шестеренних насосів.

Застосування металофторопластових підшипників забезпечує надійну роботу шестеренних насосів при робочому тиску 20…25 МПа.

Список літератури

1. Семенов А.П., Савинский Ю.Э. Металлофторопластовые подшипники. М., Машиностроение, 1976. -286 с.
2. Машино-строительные материалы. Краткий справочник. М, «Машиностроение»,1980.–511 с.
3. Словарь-справочник по трению, износу и смазке деталей машин. Киев, «Наукова думка», 1990. -257 с.

В.Павлюк-Мороз, А.Крылов, В.Морозов

Применение металлофторопластовых подшипников в узлах трения шестеренних насосов

В статье приведены методика и результаты исследования робочих характеристик металлофторопластовых подшипников скольжения в узлах трения шестеренних насосов

V.Pavluk-Moroz, O.Krylov, V.Morozov

Application of metaloftoroplastovikh slidewaies in knots friction of cog-wheel pumps

In the articles resulted method and results of research of workings descriptions of metaloftoroplastovikh slidewaies in knots friction of cog-wheel pumps.

Одержано 16.04.12

УДК 628.14

Н.В. Ковальчук, викл.
Кіровоградський національний технічний університет

Програма для визначення характеристики відцентрового насоса після обточки робочого колеса

В статті представлена програма розрахунку діаметра обточеного робочого колеса відцентрового насоса при його регулюванні або підборі, що дає можливість в короткий термін не тільки визначити параметри його обточки, але і нові характеристики насоса, і координати точок спільної роботи насоса з трубопроводом

насос, витрата, напір, характеристика насоса, робоче колесо, трубопровід, діаметр, обточка

На теперішній час існує велика кількість розроблених та перевірених відцентрових насосів, які використовуються для потреб водопостачання. Але при підборі насосних агрегатів не можливо знайти обладнання, яке б ідеально підходило для заданих параметрів трубопроводу. Тому підібраний найближчій насос буде потребувати корегування. Крім того, в практиці експлуатації також часто доводиться звертатися до регулювання параметрів насосів, головним чином, витрати [1].

В разі потреби зменшення подачі рідини в трубопровід необхідно зменшити характеристику насосної установки. Цього можливо досягти за рахунок регулювання напірною засувкою. Так, при закриванні засувки зменшується подача і збільшуються втрати напору на величину втрат на засувці. Унаслідок цього лінія потрібного напору (характеристика мережі) може бути наближена до необхідної робочої точки [2]. Але при всій простоті цього методу він не доцільний і неекономний через збільшення втрат напору.

Ще одним методом корегування характеристики насосу можна назвати зменшення подачі за рахунок роботи перепускної лінії на напірному трубопроводі насоса [3]. При цьому частина рідини повертається в резервуар, а характеристики насосу і трубопроводу залишаються незмінними. Однак, і цей метод також неекономний через витрату енергії на рух рідини по перепускній лінії.

Крім того, зміна характеристик насоса досягається регулюванням частоти обертання вала насоса [4]. Виходячи з формул подібності відцентрових насосів:

$$\frac{Q_1}{Q_2}=\frac{n_1}{n_2};\frac{H_1}{H_2}=(\frac{n_1}{n_2})^2, \qquad (1)$$

де Q_1, H_1, n_1 - подача, напір, частота обертання насоса до регулювання;

а Q_2, H_2, n_2 - подача, напір, частота обертання відповідно після регулювання.

З формул (1) визначається частота обертання після регулювання:

$$n_2=n_1\frac{Q_2}{Q_1};n_2=n_1\sqrt{\frac{H_1}{H_2}}. \qquad (2)$$

Це регулювання економніше ніж попередні, але для даного методу потрібні двигуни зі змінною частотою обертання, що зменшує межі його застосування[3].

Також зміни характеристики насоса можна отримати за рахунок обточки робочого колеса. Крім того, цей метод може бути застосований при будь-якому

© Н.В. Ковальчук, 2012

двигуні, а експериментально доведено не суттєве зниження ККД при зменшенні діаметра робочого колеса відцентрового насоса на 10-15% [4]. Тому регулювання характеристики за допомогою обточки робочого колеса може вважатися оптимальним рішенням для отримання бажаного результату.

Діаметри робочого колеса до і після обточки, а також витрата з напором при цьому пов'язані між собою залежностями, аналогічними формулам (1) і (2), тільки частота обертання n замінюється діаметром D.

Виконання розрахунків по визначенню вищезазначених параметрів насоса за допомогою комп'ютера може дозволити швидко отримати результати і побудувати його характеристику.

Програма розроблена за допомогою мови Pascal і передбачає розрахунок координат точок спільної роботи насоса з трубопроводом і діаметр обточеного робочого колеса насоса.

Розглянемо алгоритм підбору насоса для трубопроводу з необхідним напором на початку 39,7 м , витратою 15 л/с , який полягає в наступному.

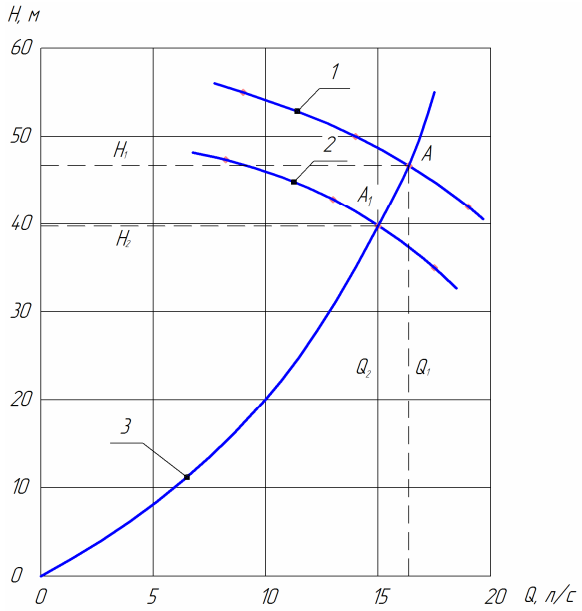
По зведеному графіку полів відцентрових насосів консольного типу [4] підбирається насос типу К-80-50-200 основна технічна характеристика якого представлена в таблиці 1.

Таблиця 1 - Характеристика відцентрового насоса К-80-50-200

Q , $м^3/с$	0,0089	0,0139	0,0189
H , $м$	55	50	41

За даними таблиці 1 будується графічна характеристика насоса (рис. 1). Обраний насос не зовсім підходить заданим умовам, так як ця крива не проходить через точку A_1 з необхідними параметрами трубопроводу .

Змінимо характеристику насоса за рахунок обточки робочого колеса за допомогою розробленої програми.



1 – характеристика насоса до обточки робочого колеса,
2 – характеристика насоса після обточки робочого колеса,
3 – характеристика трубопроводу
Рисунок 1 – Графіки спільної роботи насоса і трубопроводу

Після активізації програми на екрані дисплея з'являється вікно, зразок якого наведений на рисунку 2.

Перший вхідний параметр –- це кількість вимірів, або кількість точок характеристики обраного насоса. В даному прикладі – 3.

Далі натискається клавіша Enter і по черзі з'являються запити для внесення параметрів витрат і напорів для кожної точки характеристики насоса, цифрові значення яких вибираються з таблиці 1.

Після чергового натискання клавіші Enter на екрані з'являються коефіцієнти квадратичної залежності параболи характеристики насоса A_0, A_1, A_2, які в подальшому будуть використані програмою для визначення координати точки перетину характеристики насоса з характеристикою трубопроводу (Q_3).

При подальшому натиску клавіші Enter програма дає запит на внесення наступних параметрів:

D_1 – діаметр робочого колеса обраного насоса, $м$; $D_1 = 0.2м$;

Q_2 – необхідну витрату в трубопроводі, $м^3/с$; $Q = 0.015м^3/с$;

H_2 – необхідний напір трубопроводу, м; $H_2 = 39.7м$;

E – точність розрахунків; $E = 0.001$.

Останній раз натискаємо клавішу Enter і отримуємо на екрані координату точки перетину характеристики насоса з характеристикою трубопроводу $Q_3 = 0.0162$ $і^2/ñ$ (точка A).

Також на екрані з'являється діаметр робочого колеса насоса після його обточки $D_2 = 0.185108$ м.

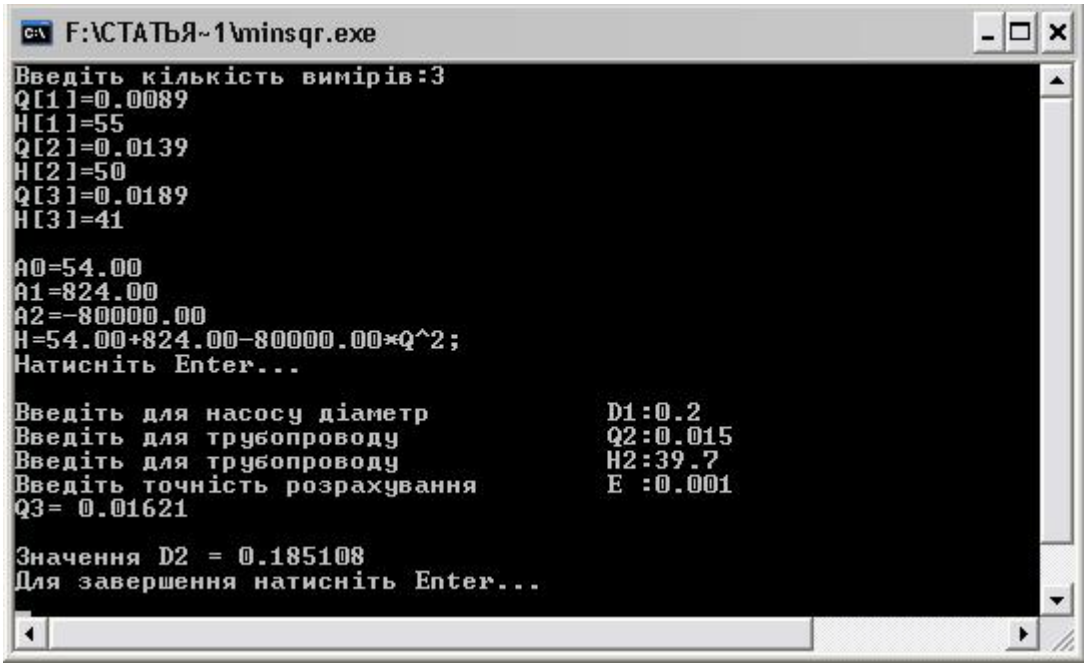


Рисунок 2 – Зразок вікна для обчислення обточки діаметра робочого колеса насоса

Далі використовуємо експериментальні формули подібності:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{D_1}{D_2}; \qquad \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2; \tag{3}$$

Для визначення характеристики насоса після обточки робочого колеса, виведемо їх з формул (3):

$$Q_2 = Q_1 \frac{D_2}{D_1}; \qquad H_2 = H_1 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^2; \qquad (4)$$

Підставляючи в формули (4) значення попередньої характеристики насоса з таблиці 1, попередній діаметр колеса насоса D_1 та визначений за допомогою розробленої програми діаметр обточеного робочого колеса D_2, можемо визначити нові координати характеристики насоса. Результати розрахунків занесені в таблицю 2.

Таблиця 2 - Характеристика насоса К-80-50-200 після обточки робочого колеса

Q , $м^3/с$	0,0082	0,0129	0,0175
H , $м$	47,11	42,83	35,12

За даними таблиці 2 будуємо характеристику насоса з обточеним робочим колесом (рис. 1).

Побудована характеристика проходить через точку A_1 і тепер цей насос підходить для даного трубопроводу, що свідчить про правильність роботи програми і точність розрахунків.

Розроблена програма дає можливість дуже швидко одержати результати розрахунків. Програма проста в користуванні та не потребує спеціальних знань . Вона може бути використана як в навчальному процесі при вивченні теми «Відцентрові насоси» так і при підборі насосного обладнання для водопровідних і каналізаційних насосних станцій проектними і експлуатаційними організаціями.

Список літератури

1. СНиП 2.04.02-84 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. – М.: Стройиздат, 1985. – 136 с.
2. Циклаури Д.С. Гидравлика, сельскохозяйственное водоснабжение и гидросиловые установки. – Москва. Издательство литературы по строительству, 1970. – 255 с.
3. Карасев Б.В. Гидравлика, основы сельскохозяйственного водоснабжения и канализации. Минск. Высшая школа, 1983. – 285 с.
4 Мандрус В.І., Лещій Н.П., Звягін В.М. Машинобудівна гідравліка. – Лівів:Світ,1995.-264с.;іл..

Н. Ковальчук

Программа для определения характеристики центробежного насоса после обточки рабочего колеса

В статье представлена программа расчета диаметра обточеного рабочего колеса центробежного насоса при его регулировании или подборе , что дает возможность в короткий срок определить не только параметры его обточки , но и новые характеристики насоса , и координаты точек совместной работи насоса с трубопроводом .

N. Kovalchuk

The program for determination of the centrifugal pump characteristics after driving wheel turning

In the article the program of diameter calculation for turning driving wheel of centrifugal pump by regulation or selection is presented , it gives the opportunity to determine not only the parameters of turning , but new pump characteristics and points of coordinates for joint work of pump with conduit .

Одержано 10.04.12

УДК 631.227:681.311

М.А. Зиновик, проф., д-р хим. наук, Е.В. Зиновик, доц., канд. хим. наук
Кировоградский национальный технический университет

Влияние низкотемпературного отжига на структуру и свойства ферритов системы Mg-Mn-Zn-Ca-Fe-O

Исследована эволюция вторичной микроструктуры и электромагнитных параметров при вариации температуры и времени отжига спеченных ферритовых элементов системы Mg-Mn-Zn-Ca-Fe-O, использующихся в переключающих и логических устройствах автоматизированных систем управления различными процессами. Установлено образование в образцах вторичной микроструктуры двух типов – точечной и сетчатой. Последняя резко ухудшает электромагнитные параметры элементов. Точечная структура обнаружена в спеченных при 1603 К и закаленных от 1273 К образцах, дополнительно прошедших при 823 К отжиг. Показано, что отжиг до 3 ч сопровождается ростом коэрцитивной силы H_C без ухудшения остальных параметров. Это позволило в 1,5 раза повысить % годных элементов путем доведения отжигом забракованных (из-за низкой H_C) образцов до годных. Разработана технология, обеспечивающая одинаковый температурно-временной режим для всех образцов отжигаемой партии, а также позволяющая в процессе ее осуществления управлять выходом годных элементов посредством периодической корректировки продолжительности отжига по результатам разбраковки контрольных партий образцов.

феррит, шпинельная структура, кристаллическая решетка, магнитный элемент, спекание, закалка, отжиг, вторичная микроструктура, электромагнитные параметры, выход годных элементов

В работе [1] нами исследовано влияние термообработки на структуру и свойства элементов памяти стандартизированной марки 0,16 Вт состава $(MgFe_2O_4)_{0,203}$ $(MnFe_2O_4)_{0,299}$ $(ZnFe_2O_4)_{0,252}$ $(CaFe_2O_4)_{0,068}$ $(Mn^{2+}Mn_2^{3+}O_4)_{0,178}$, использующихся в автоматизированных системах управления различными процессами промышленности и сельского хозяйства. Однако отжиг выше 673 К синтезированных на воздухе при оптимальных условиях (спекание – 1603, закалка – 1273К) образцов не проводился, хотя такие исследования представляются целесообразными в плане поиска условий увеличения коэрцитивной силы H_C и выхода годных за счет элементов, забракованных из-за низкой H_C.

Восполнение указанного пробела – цель настоящей работы.

Подготовка образцов и методы исследования не отличались от использованных в работе [1].

Результаты исследований. Спеченные на воздухе при 1603 К и закаленные от 1273 К образцы были подвергнуты дополнительной термообработке – отжигу на воздухе при 823 и 973 К. Весовой анализ показал, что отжиг не изменяет массу и гомогенное состояние образцов. Кроме того, из таблицы следует, что колебания значений периода кристаллической решетки ***a*** при увеличении продолжительности отжига при 823 К до 15 ч находятся в пределах ошибки измерений. Следовательно, окисления образцов при отжиге не происходит. До 823 К образцы сохраняют первоначальную микроструктуру (рис.1).

При 823 и 973 К обнаружена вторичная микроструктура, которая в зависимости от температуры отжига имеет различный характер (рис.2). В первом случае она выявляется в виде беспорядочно расположенных внутри кристаллитов точек (рис.2, *а*).

© М.А. Зиновик, Е.В. Зиновик, 2012

При повышении температуры вначале точки выстраиваются в линии, а затем линии образуют сетчатую структуру. Такая эволюция просматривается при сравнении микроструктуры разных образцов (рис.2, *а* и 2, *б*), а также разных кристаллитов в пределах одного образца (рис.2,*б*).

Изменение микроструктуры при отжиге сопровождается изменением электромагнитных характеристик образцов. Из таблицы видно, что отжиг при 823 К с выдержкой до 3 ч. увеличивает H_C без ухудшения остальных параметров, а с большей выдержкой – с ухудшением. Отжиг при 973 К привел к резкому ухудшению электромагнитных параметров.

Таблица 1 − Изменение периода шпинельной кристаллической решетки и электромагнитных характеристик однофазных образцов в зависимости от времени отжига на воздухе при 823 К*. Спекание при 1603, 3 ч; закалка от 1273 К

Время отжига, ч	Период кристаллической решетки, (a±0,003), Å	Электромагнитные характеристики при H_m=143 А/м			
		Коэрцитивная сила H_C, А/м	Полезный сигнал E_1, мВ/вит	Помеха E_0, мВ/вит	Квадратность петли гистерезиса E_1/E_0
0	8,498	13,5	2100	110	19,1
2	8,500	15,2	2100	90	23,4
3	8,497	17,5	2090	88	23,7
4	8,499	18,3	1900	80	23,7
15	8,496	40,5	1650	70	23,6

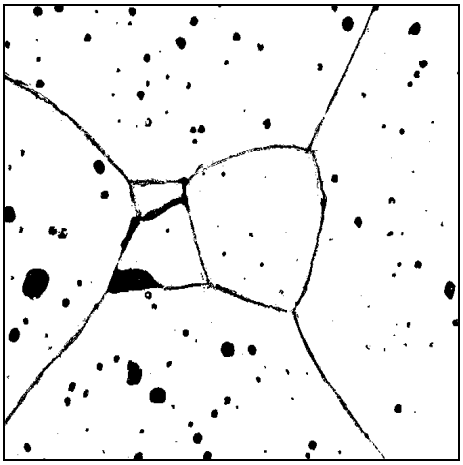
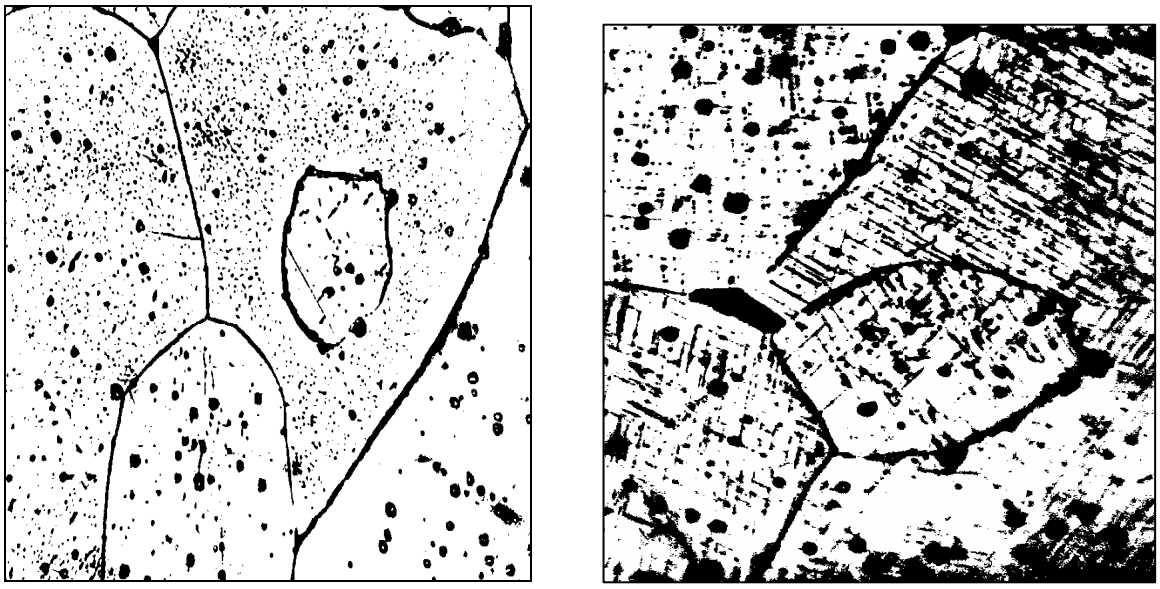


Рисунок 1 - Микроструктура однофазних образцов, закаленных от 1273 К. Спекание на воздухе при 1603 К, 3 ч.

Все образцы со вторичной микроструктурой были подвергнуты еще одному спеканию на воздухе при 1603 К в течение 0,5 ч. и закалке от 1273 К. Микроструктура всех образцов после такой термообработки имела первоначальный вид (рис.1), а магнитные свойства вернулись к исходному состоянию. Следовательно, образование вторичной структуры имеет обратимый характер.

* Представленные в табл. значения электромагнитных характеристик являются среднеарифметическими величинами десяти измеренных образцов.



а *б*

а – отжиг при 823К, 15 ч; *б* – отжиг при 973 К, 1 ч.
Рисунок 2 − Микроструктура однофазных образцов, прошедших низкотемпературный отжиг на воздухе. Спекание на воздухе при 1603 К, 3 ч; закалка от 1273 К

Обсуждение результатов. При перемагничивании образцов на крупных точечных (рис. 2, *а*) и сетчатых (рис. 2, *б*) микронеоднородностях возникают большие размагничивающие поля [2-5], которые резко ухудшают электромагнитные параметры (табл., отжиг 15 ч). Мелкие точечные неоднородности напротив положительно сказываются на магнитных свойствах ферритов. Объясняется это тем, что они служат центрами зарождения доменов обратной намагниченности и барьерами для смещения границ таких доменов до приложения поля определенной величины, не вызывая возникновения существенных размагничивающих полей [6, 7]. Такие неоднородности несомненно существуют в образцах, отожженных при 823 К менее 15 ч, хотя микроструктурным анализом они не были обнаружены. Об этом свидетельствует то обстоятельство, что увеличение времени отжига сопровождается ростом размера неоднородностей и зависящей от этого коэрцитивной силы (табл.). При отжиге до 3 ч неоднородности, по-видимому, еще не достигают критического размера и свойства образцов не ухудшаются, хотя H_C при этом увеличивается на 30 % (табл.). Этот результат в плане поставленной в работе проблемы имеет важное значение, так как он показывает возможность увеличения % выхода годных элементов путем доведения отжигом забракованных (из-за низкой H_C) образцов до годных.

С целью практической реализации этой идеи получаемый после разбраковки элементов брак подвергли анализу. Было установлено, что годные по H_C элементы содержат брака по полезному сигналу E_1 и помехе E_0 не более 10 %. Поэтому поиск оптимальной низкотемпературной технологии вели в направлении получения максимального % выхода годных по коэрцитивной силе. При этом режим высокотемпературного спекания – (1603±20) К, 3 ч, закалка от 1273 К с противнем – считали оптимальным и не меняли.

Очевидно, что максимальный выход годных элементов возможно достичь лишь в том случае, если он будет контролироваться в процессе проведения синтеза, а параметры последнего − корректироваться. Кроме того, необходимо было исключить значительные расхождения образцов по коэрцитивной силе в зависимости от толщины

слоя и площади их засыпки в противне из-за сильной зависимости H_C от температуры и времени отжига.

Эти задачи были решены путем замены противня на вращающийся никелевый барабан емкостью 4 л. со спиралеобразными направляющими и с открывающейся заслонкой. Барабан, приваренный к никелевой трубе, загружали образцами, имеющими заниженную H_C (полученными после разбраковки на автомате или в результате пережога целых партий), а затем перемещали внутрь печи. Включали смонтированный за задней стенкой печи привод для вращения трубы с барабаном со скоростью 10 об/мин и печь, для которой устанавливали постоянную температуру, равную 823 К. При этой температуре образцы выдерживали 1 ч, после чего печь выключали и с помощью шумовки открывали заслонку и брали контрольные образцы. Затем сразу же на автомате определяли % выхода годных. После этого печь вновь включали, отжигали при заданной температуре еще 15 минут, брали образцы и определяли выход годных. Цикл повторяли через каждые 15 минут до достижения максимального % выхода годных. Далее всю партию синтезированных образцов передавали на разбраковку, а барабан загружали новой партией забракованных по H_C элементов и вновь проводили отжиг по описанному режиму. Предложенная технология позволила увеличить выход годных элементов в среднем в 1,5 раза.

Выводы. Низкотемпературный отжиг на воздухе закаленных от 1273 К образцов сопровождается формированием вторичной микроструктуры двух типов – в виде сетки и точек. Первая микроструктура обнаружена после отжига образцов при 973 К, 1 ч, а последняя – при 823 К, 15 ч. Показано, что размер точек с увеличением времени отжига растет. При отжиге до 3 ч такая микроструктура увеличивает H_C без ухудшения остальных параметров. Установление этой закономерности позволило в 1,5 раза повысить % выхода годных элементов путем доведения отжигом забракованных (из-за низкой H_C) образцов до годных.

Разработана технология, обеспечивающая одинаковый температурно-временной режим для всех образцов отжигаемой партии, а также позволяющая в процессе ее осуществления управлять выходом годных элементов через периодическую корректировку продолжительности отжига по результатам разбраковки контрольных партий образцов.

Полученные в работе результаты показывают, что вторичная микроструктура является дополнительным фактором, существенно влияющим на магнитные свойства ферритов системы Mg-Mn-Zn-Ca-Fe-O. Поэтому исследование возможности и условий ее возникновения в ферритах других систем представляется перспективным.

Список литературы

1. Зиновик М.А. Влияние условий термической обработки на структуру и функциональные свойства ферритовых элементов электроавтоматики / Зиновик М.А., Зиновик Е.В. – Кіровоград: КНТУ, 2011. – С. 284-290. – (Збірник наукових праць КНТУ. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація; вип. 24, Ч.1).
2. Рабкин Л.И. Ферриты / Рабкин Л.И., Соскин С.А., Эпштейн Б.Ш. – Л.: Энергия, 1968.−384 с.
3. Зиновик М.А. Синтез, структурные, термодинамические и магнитные свойства многокомпонентных ферритов в системах Cu-Mn-Fe-O и Mg-Mn-Zn-Ca-Fe-O: автореф. дис. … канд. хим. наук: 02.00.04. – Свердловск, 1971. – 20с.
4. Зиновик М.А. Ферриты с прямоугольной и квадратной петлей гистерезиса /. Зиновик М.А, Зиновик Е.В. // Порошковая металлургия. – 2005. − №1/2. – С. 80-89.
5. Зиновик М.А. Влияние термообработки на магнитные свойства ферритов с прямоугольной петлей гистерезиса / Зиновик М.А., Щепеткин А.А., Чуфаров Г.И. // Электронная техника. Серия 14. Материалы. – 1968. – Вып.6. – С.144-156.
6. Зиновик М.А. К вопросу о структурных неоднородностях в ферритах и их влиянии на форму петли гистерезиса // Электронная техника. Серия Материалы. – 1974. – Вып. 3. – С. 16-22.

7. Goodenough J. Chemical Homogeneities and Square B –H Loops // J. Appl. Phys. −1965.− V. 36.− P. 2342 – 2344.

М. Зіновік, О. Зіновік

Вплив низькотемпературного відпалу на структуру і властивості феритів системи Mg-Mn-Zn-Ca-Fe-O

Досліджена еволюція вторинної мікроструктури і електромагнітних параметрів при варіації температури і часу відпалу запечених феритових елементів системи Mg-Mn-Zn-Ca-Fe-O, які використовуються в перемикаючих і логічних пристроях автоматизованих систем керування різними процесами. Встановлено утворення у зразках вторинної мікроструктури двох типів – точкової і сітчастої. Остання різко погіршує електромагнітні параметри елементів. Точкова структура виявлена у спечених при 1603 К і загартованих від 1273 К зразках, що додатково пройшли при 823 К відпал. Показано, що відпал до 3 год. супроводжується ростом коерцитивної сили H_C без погіршення інших параметрів. Це дало змогу у 1,5 рази підвищити % придатних елементів шляхом доведення відпалом забракованих (через низьку H_C) зразків до придатних. Розроблена технологія, яка забезпечує однаковий температурно-часовий режим для всіх зразків партії, що відпалюється, а також дозволяє в процесі її здійснення керувати виходом придатних елементів за допомогою періодичного коректування тривалості відпалу по результатам розбраковки контрольних партій зразків.

M. Zinovik, E. Zinovik

Influence of low t° annealing upon structure and properties of ferrites of the Mg-Mn-Zn-Ca-Fe-O

We have studied evolution of the secondary microstructure and electromagnetic parameters under different conditions of t° and time of thermo treatment of annealed ferrite elements in Mg-Mn-Zn-Ca-Fe-O system used in commutators and logical units in automatic control systems of different processes.. Formation in secondary microstructure of elements of 2 types – spot and grid was found. The last strongly worsens elements electromagnetic properties. Spot structure was found in sintered under 1603 K and hardened under over 1273 K patterns additionally annealed under 823 K. It was shown that annealing up to 3 h gives growth of coercivity H_C not worsening other parameters. As a result portion of valid elements grew 1,5 times due to transition of rejected elements (for low H_C) by annealing into valid ones. We developed the technology that provides equal temperature time regime for all the patterns of the annealed lot making it possible to control output of valid elements via periodical correction of annealing duration according to accept / reject level of check party samples.

Получено 01.03.12

УДК 621.9.06

І.І. Павленко, проф., д-р техн. наук, Д.В. Вахніченко, асп.
Кіровоградський національний технічний університет

Аналіз робочого простору верстата з паралельною кінематикою

В статті досліджується зони робочого простору верстатів з паралельною кінематикою при виконанні типових технологічних рухів.
верстат, гексапод, МПК, ВПК, верстат з паралельною кінематикою

Верстати з паралельною кінематикою (ВПК) мають перспективу використання при обробці деталей складної форми, де необхідні рухи інструменту в різних напрямках, під різними кутами. Механізми з паралельною кінематикою (МПК) є основою виконання таких верстатів. При проектуванні механізмів з паралельною кінематикою важливо визначити умову ефективного функціонування верстата, тобто здійснення ним необхідних рухів, які реалізуються відповідним переміщенням та орієнтацією виконавчого органу [1,2]. Найбільш поширеним конструктивним виконанням ВПК є верстати-гексаподи.

Для ефективного виконання заданих операцій необхідно мати обґрунтоване визначення конструктивних параметрів ВПК. Таке функціонування верстата можливе при наявності геометрично вільного простору, який являє собою робочий простір (простір функціонування) ВПК, обмеженого основою, верхньою нерухомою плитою та боковими стінками (рис.1а). Обґрунтоване визначення величини цього простору, відповідно до технологічного призначення верстату, дозволяє встановити габаритні його розміри, доцільні розміри використовуємого МПК та ефективні умови роботи верстата. Величина робочого простору, залежно від здійснюваних рухів може оцінюватись різними параметрами. Так при реалізації ВПК лінійних рухів оцінка робочого простору може здійснюватись лінійними розмірами: висотою - $H_{ВПК}$, діаметром - $D_{ВПК}$ та ін. При виконанні рухів в площині ця оцінка повинна здійснюватись величиною площі робочого простору ВПК в потрібних напрямках рухів - $S_{ВПК}$. Відповідним чином повинна виконуватись оцінка в об'ємному просторі $V_{ВПК}$ [2].

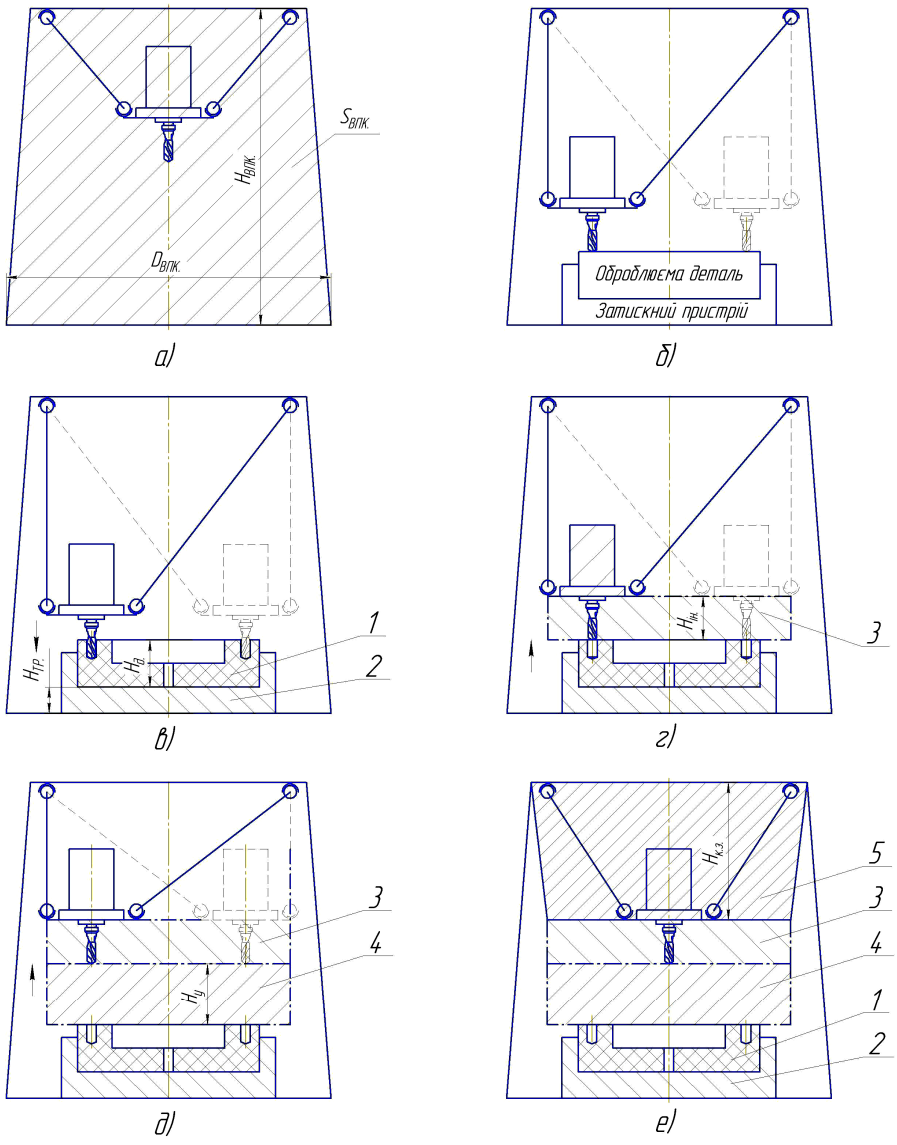
Початком формування робочого простору ВПК є визначення необхідних рухів різального та іншого інструменту для здійснення яких, у відповідності до умов обробки деталі, необхідна наявність простору, який можна назвати технологічним простором (зоною). В подальшому на рис.1 поетапно показано процес формування зон, а відповідно загального робочого простору ВПК. Так, на рис.1б. показано вихідне положення різального інструменту перед початком обробки. За цим положенням відбувається обробка одного (рис.1в.), а потім подібно і інших отворів. Для здійснення цього процесу ріжуча частина інструменту послідовно переміщується в оброблюваній деталі ($H_{д.}$), що і складає висоту технологічної зони – поз.1. Як резервну технологічну зону ($H_{ТР.}$) слід розглядати простір, який займає технологічний пристрій для встановлення в нього оброблюваної деталі. При цьому враховується, що такий пристрій

© І.І. Павленко, Д.В. Вахніченко, 2012

може мати різні розміри або взагалі може бути відсутній. На рис.1.в – ця зона позначена поз.2. Фізична реалізація вказаних технологічних рухів можлива при наявності додаткового робочого простору (зони), який займається ріжучим інструментом та пристроєм його кріплення $H_{ін.}$, рис.1г. - поз.3.

Для здійснення рухів по переміщенню інструменту у вихідні позиції обробки різних отворів ($H_{У.}$) повинна бути зона установчих рухів – рис1д., поз.4. Вище верхньої границі позиції 3, в режимі установчих рухів, знаходиться конструктивна зона 5 (рис.1.е), яка необхідна для здійснення функціональних рухів штанг (кінематичних ланок). Величина цієї зони $H_{К.З.}$ залежить від особливостей конструктивного виконання МПК, його параметрів та необхідних рухів виконавчого органу, а також розмірів привода шпиндельного вузла. При чому, на різних етапах роботи ВПК зони можуть змінювати своє положення та розміри. Таким чином, загальна висота ВПК буде:

$$H_{ВПК} = H_{д.} + H_{ТР.} + H_{ін.} + H_{У.} + H_{К.З.}$$



1 – Технологічна зона; 2 – Резервна технологічна зона; 3 – Зона інструменту; 4 – Зона установчих рухів;
5 – Конструктивна зона.

Рисунок 1 – Схема формування робочого (функціонального) простору ВПК

Після визначення робочого простору ВПК, у відповідності до умов обробки деталі та можливого функціонування МПК враховуються особливості руху кінематичних ланок ВПК, а відповідно і виконавчого органу, який за рахунок поступальних переміщень ланок може здійснювати лінійні та обертові рухи виконавчого органу. Все це дозволяє внести уточнення у формування робочого простору (рис.2.а). В цьому робочому просторі ВПК можна виділити п’ять основних зон. Першочергово розглянемо зону переміщень вершини інструменту, яка приймає безпосередню участь в процесі обробки і охоплює слідуючі зони функціонування ВПК: технологічну, резервну технологічну і установчих рухів. Остання при деяких умовах може складати зону обробки. Комплекс цих зон слід вважати як загальну зону обслуговування ВПК. Наступна зона, це зона яку займає ріжучий інструмент.

Зона переміщення рухомої платформи з приводом шпиндельного вузла та кінематичними ланками складає конструктивну зону, що є третьою складовою робочого простору ВПК. Як четверту зону можна розглядати зону нереалізуємих рухів, так як вона знаходиться нижче основи ВПК. Під основою ВПК може бути встановлена додаткова станина, яка піднімає верстат на необхідну висоту (на схемах не показано), що забезпечує зручні умови для обслуговування верстата та контролю за його роботою. П’ята зона – це недосяжна зона в робочому просторі ВПК. На рис.2.а зображено зони функціонування ВПК, у верхньому положенні рухомої платформи. З рухом інструменту вниз конструктивна зона та зона інструменту також зміщується вниз, зменшуючи зону установчих рухів. На рис.2.б та рис.2.в показано зони функціонування ВПК в положенні рухомої платформи на початку та кінці обробки периферійних отворів відповідно. Важливою складовою зон функціонування ВПК є зона функціонування самого механізму з паралельною кінематикою, яка представлена на рис.2.г.

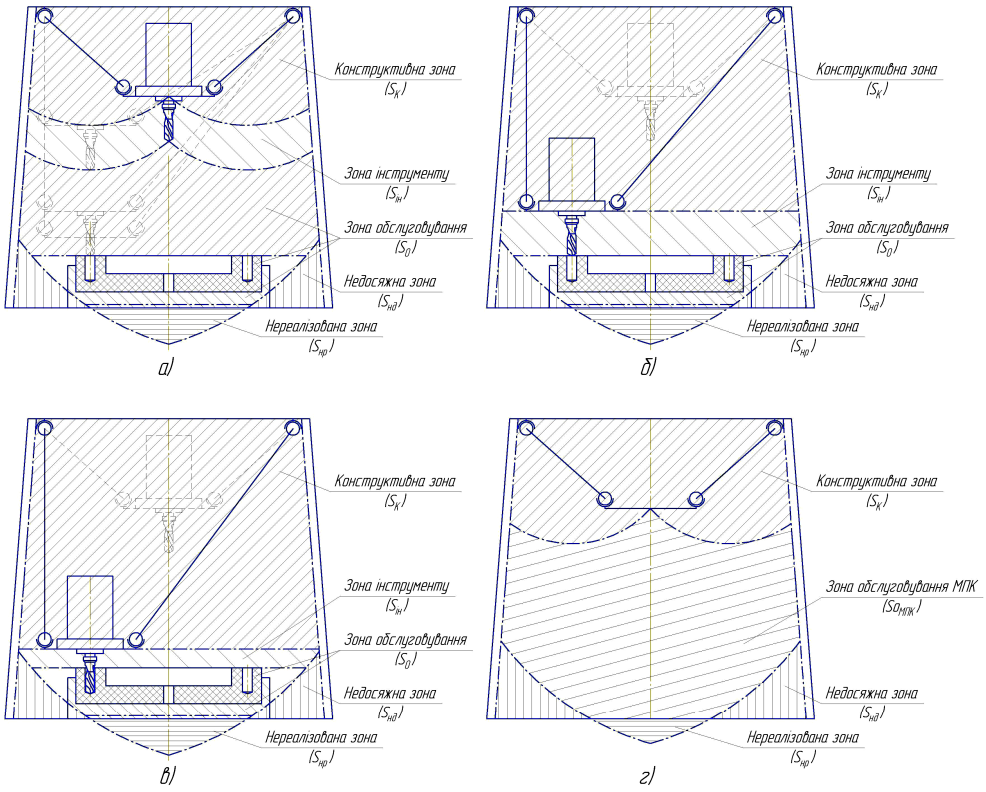


Рисунок 2 – Зони робочого простору

Виходячи з умови функціонування верстата при свердлінні вказаних отворів переходимо до визначення його конструктивних параметрів. Для цього використовуємо наведену розрахункову схему рис.3 з узагальненим позначенням зон та параметрів ВПК:

a, b - відповідно розмір (діаметр) нерухомої та рухомої платформ;

L - довжина штанги в проміжному положенні;

$L_{\max}$ - максимальна довжина штанги;

$l_{\min}$ - мінімальна довжина штанги;

$l_{обр.}$ - глибина оброблюваного отвору;

$h_{\min}$ - мінімальне положення рухомої платформи по вісі симетрії гексапода;

h_1 - положення рухомої платформи при її зміщенні для обробки периферійних отворів;

h_2 - положення на початку обробки периферійних отворів;

H - максимальне положення рухомої платформи гексапода при обробці заданих отворів;

$H_{\max}$ - максимально можливе положення рухомої платформи в резервній технологічній зоні;

$H_{ін.}$ - висота інструменту;

$H_{д.}$ - висота деталі;

$H_{ТР.}$ - висота резервної технологічної зони;

$H_{У\max.}$ - максимальна зона установчих рухів (для даного прикладу);

$H_{к.з.}$ - висота конструктивної зони;

$H_{ВПК.}$ - загальна висота верстата;

$D_{обр.}$ - розміщення оброблюємих отворів по відношенню до осі симетрії верстату;

$D_{д.}$ - загальний розмір (діаметр) оброблюємої деталі;

$D_{ВПК.}$ - загальна ширина (діаметр) верстата.

Для силового варіанту обробки приймаємо умову, що в крайньому із відхилених положень штанг, вона займає вертикальне положення. Забезпечення даної вимоги можливо при умові $a = D_{обр.} + b$.

Відстань між опорами рухомої платформи:

$b = D_{шп.} + b_{оп}$,

де $D_{шп.}$ - діаметр (габарит) шпиндельного вузла;

$b_{оп}$ - розміри опорних вузлів.

Мінімальна довжина штанги $l_{\min}$ визначається параметрами конструкції штанги, конструкції опори, силовими особливостями експлуатації механізму, висотою шпиндельного вузла $H_{шп.}$ (при наявності обмежень з боку верхньої частини нерухомої платформи ВПК) та ін.

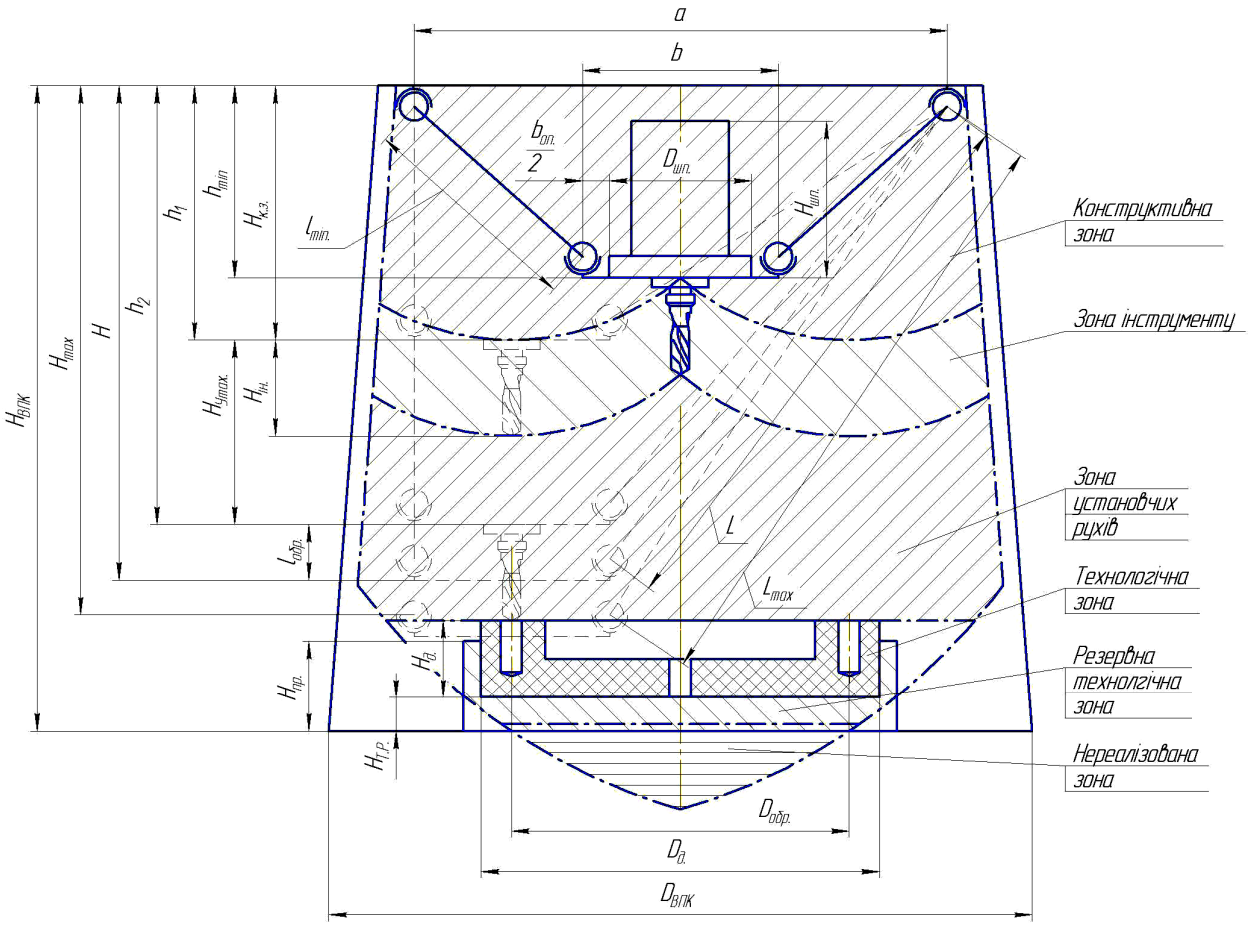


Рисунок 3 – Розрахункова схема гексапода для свердління з позначенням зон та параметрів ВПК

Визначаємо основні положення рухомої платформи:

- мінімальне положення рухомої платформи по вісі симетрії ВПК $h_{\min} = \sqrt{l^2_{\min} - (\frac{a-b}{2})^2}$;
- положення рухомої платформи при зміщенні її для обробки периферійних отворів $h_1 = l_{\min}$;
- положення на початку обробки периферійних отворів $h_2 = l_{\min} + H_{ó\max}$.
- положення в кінці обробки периферійних отворів $H = h_{2.} + l_{обр} = \sqrt{L^2 - (a-b)^2}$,

де довжина штанги в кінці обробки периферійних отворів:

$$L = \sqrt{\left(h_1 + H_{y\max.} + l_{обр}\right)^2 + (a-b)^2};$$

- максимально можливе положення рухомої платформи в резервній технологічній зоні $H_{\max} = \sqrt{L^2_{\max} - (\frac{a-b}{2})^2}$,

де максимальна довжина штанги: $L_{\max} = \sqrt{\left(H_{ВПК} - H_{ін}\right)^2 + (a-b)^2}$.

Важливим підсумковим, показником якості механізму з паралельною кінематикою (рис.2.г) є відношення реальної (обслуговуваної) величини переміщення до теоретично можливої [2]. Якщо взяти за приклад переміщення в площині, то це відношення буде:

$$K_{п.п.} = \frac{S_{Рмпк}}{S_{Тмпк}} = \frac{S_o}{S_T},$$

де $S_{Рмпк} = S_o$ - величина реального переміщення (площа), яка дорівнює величині площі зони обслуговування;

S_T - величина (площа) теоретично можливого переміщення, яка дорівнює (рис.2.г):

$$S_T = S_к + S_o + S_{нд} + S_{нр},$$

де $S_к, S_o, S_{нд}, S_{нр}$ - відповідна величина конструктивної, обслуговувальної, недосяжної та нереалізованої зон.

Подібно можна визначити якість верстата з паралельною кінематикою (рис.2.а):

$$K_{п.п.} = \frac{S_{Рвпк}}{S_{Твпк}} = \frac{S_o}{S_T},$$

де S_o - обслуговувана зона визначається:

$$S_o = S_{тех.} + S_{ТР} + S_У,$$

де $S_{тех}, S_{ТР}, S_У$ - відповідно технологічна, технологічно резервна зони та зона установчих рухів.

S_T - теоретично можлива зона визначається:

$$S_T = S_к + S_{ін} + S_У + S_{тех.} + S_{ТР} + S_{нд} + S_{нр}.$$

В цю складову окремо включається зона інструменту $S_{ін}$.

Особливо важливим є показник відношення величини технологічної зони по відношенню до загальної теоретично можливої. В наведеному прикладі при руху в площині це співвідношення буде:

$$K_{п.п.} = \frac{S_{тех}}{S_T}.$$

Подібним чином можлива оцінка співвідношення окремих зон як між собою так і по відношенню до загальної робочої зони (простору) ВПК.

Аналіз отриманих даних дозволяє зробить слідуючи висновки:

1. В роботі запропоновано методику визначення робочого простору верстатів з паралельною кінематикою.
2. В робочому просторі ВПК можна виділити слідуючі функціональні зони: технологічну; резервну технологічну; інструменту; установчих рухів; конструктивну, обслуговування, недосяжну, нереалізовану.
3. На кожну функціональну зону мають вплив свої параметри. Так на технологічну зону і зону інструменту впливають лише технологічні складові, на зону

установчих рухів, резервну технологічну зону впливають конструктивні та технологічні складові; на конструктивну зону лише конструктивні складові.

4. Аналіз всіх складових зон дозволить обґрунтовано визначити конструктивні параметри ВПК, що підвищить ефективність його функціонування.

Список літератури

1. Павленко І.І. Промислові роботи: основи розрахунку та проектування./ Павленко І.І. – Кіровоград; КНТУ, 2007. – 420с.
2. Павленко І.І., Валявський І.А. Рухові характеристики верстатів з паралельною кінематикою / І.І. Павленко, І.А. Валявський / Збірник наукових праць КНТУ: техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кіровоград, 2008. – Вип.21 - С.128-134.
3. Павленко І.І., Валявський І.А. Дослідження впливу конструктивних параметрів механізму паралельної структури на функціональні можливості верстата з паралельною кінематикою. / Павленко І.І., Валявський І.А. / Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин – Кіровоград: КНТУ, 2008.- вип. 38 ч.1. -С.284-287.
4. Павленко І.І., Вахніченко Д.В., Годунко М.О. Аналіз впливу конструктивних параметрів МПК на рух платформи під кутом. / Павленко І.І., Вахніченко Д.В., Годунко М.О. / Збірник наукових праць КНТУ: техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кіровоград, 2011. – Вип.24. ч.1. - С.279-283.

И.Павленко, Д.Вахниченко

Анализ рабочего пространства станков с параллельной кинематикой.

В статье исследуются рабочие пространство станков с параллельной кинематикой при выполнении типовых технологических операций.

I.Pavlenko, D. Vakhnichenko

Definition of design data MPK at performance of typical technological movements.

In article design data of machine with parallel kinematics are defined at performance of typical technological movements of the mechanism tool with parallel kinematics.

Одержано 17.04.12

УДК 621.951

В.М. Пестунов, проф., канд. техн. наук, В.М. Бабич, доц.
Кіровоградський національний технічний університет

Вирішення проблем глибокого свердління нетрадиційними методами

У статті описані нетрадиційні методи вирішення проблем глибокого свердління, що ґрунтуються на перерозподілі потоків потужності та навантаження між приводом головного руху верстата і приводами подачі, підведення охолоджувальної рідини. Вони направлені на поліпшення умов обробки, удосконалення інструмента, вузлів і механізмів верстатів і пристосувань. Наведені схеми і конструкції нових силових головок, пристроїв для захисту від поломки при перевантаженнях, подрібнення і відведення стружки та ін. Це дозволяє створювати оптимальні умови процесу обробки і функціонування обладнання, підвищує його надійність і ефективність.

глибоке свердління, свердло, потік потужності, навантаження, перерозподіл, виконавчий орган, привод, подача, охолодження, подрібнення стружки, силова головка

Глибоке свердління, як відомо, відноситься до трудомістких технологічних операцій і пов’язане з великими труднощами. При ньому ускладнюється відведення стружки, утворюється значна кількість тепла, погіршуються умови охолодження ріжучої частини свердла. При обробці глибоких отворів спіральним свердлом відбувається значне відхилення свердла і викривлення осі оброблюваного отвору.

Верстати, на яких виконують глибоке свердління, як правило, мають кілька потоків потужності від джерел енергії до технологічної зони обробки. Кількість цих потоків, звичайно, визначається числом складових руху формоутворення, а співвідношення величин потужності, що передається цими потоками і витрачається на процес, залежить від схеми обробки. При свердлінні, як і при інших операціях обробки різанням, співвідношення ефективної потужності, що передається кінематичними ланцюгами головного руху та подачі, визначається, головним чином, режимами різання та геометрією інструмента. Такий розподіл потужності вважається очевидним і визначає традиційні методи поліпшення вихідних характеристик машин. Ці методи спрямовані переважно на вирішення протиріччя „навантаження – точність” шляхом удосконалення елементів, що визначають вихідні характеристики машин, і не враховують потоки потужності та структуру привода.

За цими методами, вибравши схему обробки і призначивши режими, тим самим визначають умови навантаження виконавчих органів і кінематичних ланцюгів, які істотно впливають на вихідні характеристики машин. Величина потоку потужності, що передається різними кінематичними ланцюгами, і викликане ним навантаження елементів по-різному впливають на вихідні характеристики машин. Так, у верстатах характеристики за точністю, точнісною надійністю і довговічністю залежать, головним чином, від умов навантаження привода подачі, напрямних та інструмента.

Традиційні методи вирішення цієї проблеми полягають у створенні таких умов навантаження зазначених елементів при заданих режимах обробки, які відповідають максимально можливому поліпшенню вихідної характеристики за точністю та іншими параметрами.

Вирішення цієї проблеми можливе зміною потоків потужності й навантаження, що визначаються традиційним їх розподілом у приводі. З іншого боку відомо, що

© В.М. Пестунов, В.М. Бабич, 2012

помилки, допущені на етапі вибору структурної схеми, не піддаються виправленню на наступних етапах проектування. Тому при виборі структурної схеми привода потрібний системний підхід, який дозволяє враховувати всі можливі варіанти структурних рішень і вибирати найраціональніший за вихідними характеристиками варіант.

Можливість такої оцінки варіантів структури привода проектованого верстата дає його схема [1], що зображена на рис. 1. Ця схема дозволяє змінювати навантаження у межах заданих режимів обробки і створювати оптимальні умови функціонування виконавчих органів і привода, що визначають вихідні характеристики, суміщати оптимальні параметри процесу обробки з оптимальними умовами функціонування основних вузлів і механізмів привода верстата. Це розширює технологічні можливості верстата і підвищує його ефективність.

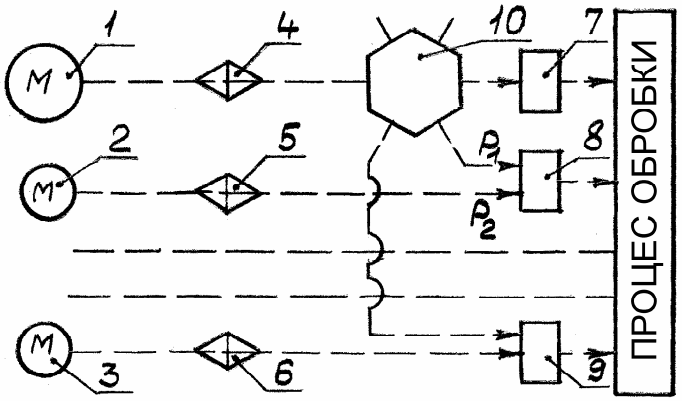


Рисунок 1 – Схема привода верстата

Привод має електродвигуни 1–3, які через ланки настроювання 4–6 кінематично з'єднані з виконавчими органами 7–9, що забезпечують процес обробки. Кінематичні ланцюги додатково з'єднані через диференціальний механізм 10. Цей механізм установлений послідовно в одному з кінематичних ланцюгів і кінематично з'єднаний із виконавчими органами. Він має на виході число ступенів свободи, що дорівнює числу кінематичних ланцюгів, які забезпечують процес обробки і беруть участь у перерозподілі навантаження приводів.

При вмиканні електродвигунів 1–3 по кінематичних ланцюгах через ланки настроювання 4–6 рух надається виконавчим органами 7–9, на які привод здійснює відповідну дію. Одночасно рух надається і диференціалу 10, виконаному, наприклад, у вигляді планетарної передачі, що має на виході таке число ступенів свободи, як і число кінематичних ланцюгів, які беруть участь в одержанні складного руху формоутворення. У наслідку на виконавчий орган 8 верстата здійснюють силовий вплив уже не один, а два кінематичні ланцюги привода, які й сприймають його технологічне навантаження. Кінематичний ланцюг подачі на виконавчий орган 8 діє силою P_2, а на диференціал – силою P_1. Оскільки зазначені сили сприймають технологічне навантаження і сили опору переміщенню виконавчого органа, то механізм подачі сприймає лише частину навантаження. Величина цього навантаження визначається параметрами диференціала 10 і може бути будь-якою заздалегідь заданою, тобто відповідною оптимальному значенню для умов функціонування привода.

Аналогічна картина спостерігається і з іншими виконавчими органами верстата.

Отже, при певних режимах обробки співвідношення навантаження кінематичних ланцюгів може бути перерозподілене у будь-якому заздалегідь заданому відношенні. Це дозволяє створювати умови оптимального функціонування кінематичних ланцюгів і механізмів, що визначають вихідні характеристики верстата, суміщати умови їх

оптимальної роботи з оптимальними параметрами процесу обробки. Одночасно збільшується навантаження, наприклад, привода головного руху. Але, оскільки привод, що розвантажує інші приводи (у цьому прикладі привод головного руху), має відносно менші втрати при передаванні потужності, загальні втрати у верстаті зменшуються.

Таким чином, зображена на рис. 1 схема дозволяє змінювати традиційний розподіл потоків потужності у приводі верстата. Деякі можливості вирішення проблем глибокого свердління на основі цієї схеми наведені далі.

Для поліпшення умов обробки спіральні свердла оснащують трубками для підведення змащувально-охолоджувальної рідини (ЗОР), розташованими з боку спинки зуба. Ці трубки знижують міцність свердла. Для усунення цього недоліку пропонується трубку для підведення ЗОР розміщувати у стружковідвідній канавці, що закінчується розвантаженим ріжучим лезом [2]. Конструкція такого твердосплавного свердла з асиметричною підточкою ріжучих лез зображена на рис. 2. В осьовому отворі державки 1 закріплено свердло 2, що має дві спіральні канавки 3 і 4, які закінчуються ріжучими лезами 5 і 6. Ці леза підточені з ексцентриситетом *е* відносно осі свердла. У спіральну канавку 4 закатана трубка 7, що з'єднана з магістраллю подачі ЗОР.

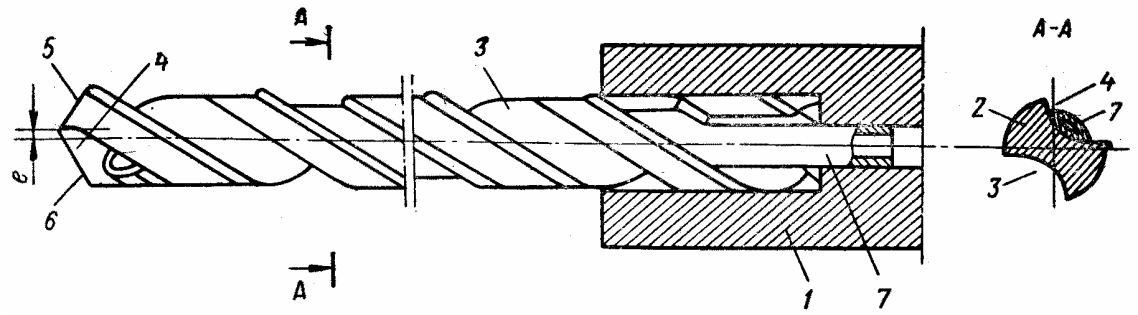


Рисунок 2 – Свердло з трубкою для підведення ЗОР

Під час свердління через ексцентричне виконання ріжучих лез 5 і 6 основний шар металу знімає лезо 5, а лезо 6 – незначний по ширині й товщині шар. Внаслідок цього основна маса стружки відводиться через канавку 3, а через канавку 4 – незначна кількість стружки. Це дозволяє зменшити перетин канавки 4, розмістивши в ній трубку 7 підведення ЗОР. Цим підвищується міцність свердла і появляється можливість внутрішнього підведення ЗОР при свердлінні отворів малих діаметрів (менших 6 мм) твердосплавними свердлами.

ЗОР подається під тиском через трубку 7, проникає безпосередньо в зону різання, вимиває стружку через канавку 3 і частково через канавку 4, охолоджуючи ріжучі леза.

Успішність виконання операції глибокого свердління в значній мірі залежить від поздовжньої стійкості стебля свердла. Дослідження цієї стійкості для свердла 1, що встановлене за традиційною схемою (рис. 3, *а*), показали, що критичному значенню осьової сили P відповідає відношення b/a = 0,5÷0,6. Але при встановленні додаткової рухомої опори 2 (рис. 3, *б – е*) і забезпеченні відношення b/a = 0,3÷0,85 величина критичної сили зростає у 1,5 – 2 рази, а коефіцієнт стійкості стебла – більше, ніж у 3 рази.

При глибокому свердлінні не застосовується встановлення свердел із додатковими рухомими опорами через складність забезпечення постійного співвідношення відстаней між проміжними опорами. Максимальну стійкість може мати стебло свердла, встановленого за схемою рис. 3, *б*, якщо зміна відстані l_1 між опорами під час свердління буде відбуватися пропорційно швидкості робочої подачі. Проте для цього потрібна складна система переміщення опор за допомогою окремих приводів.

Основою для розробки схеми встановлення свердла з проміжними опорами, що приводяться в рух механізмом подачі через механізм перерозподілу навантаження, може бути універсальна структурна схема привода верстатів із перерозподілом навантаження. На відміну від традиційного способу керування переміщенням проміжних опор у функції швидкості робочої подачі механізм перерозподілу навантаження забезпечує керування переміщенням у функції осьового навантаження, яке діє на пружні елементи, що розділяють опори. Це дозволяє значно спростити схему й конструкцію механізму керування переміщенням опор. Так, завдяки встановленню підпружинених проміжних опор у телескопічно з'єднаних втулках 3 (рис. 3, *е*) забезпечується рівномірна зміна відстаней l_1 між опорами під час робочої подачі. При цьому

$$l_1 = [l + (n-1)h]/n, \tag{1}$$

де l – задана глибина свердління;

n – число прольотів між опорами;

h – ширина проміжної опори.

Із виразу (1) видно, що багатоопорне встановлення свердла веде до збільшення його довжини при заданій глибині свердління. Це вказує на можливість вибору оптимального співвідношення між числом опор і доцільним ступенем підвищення поздовжньої стійкості свердла.

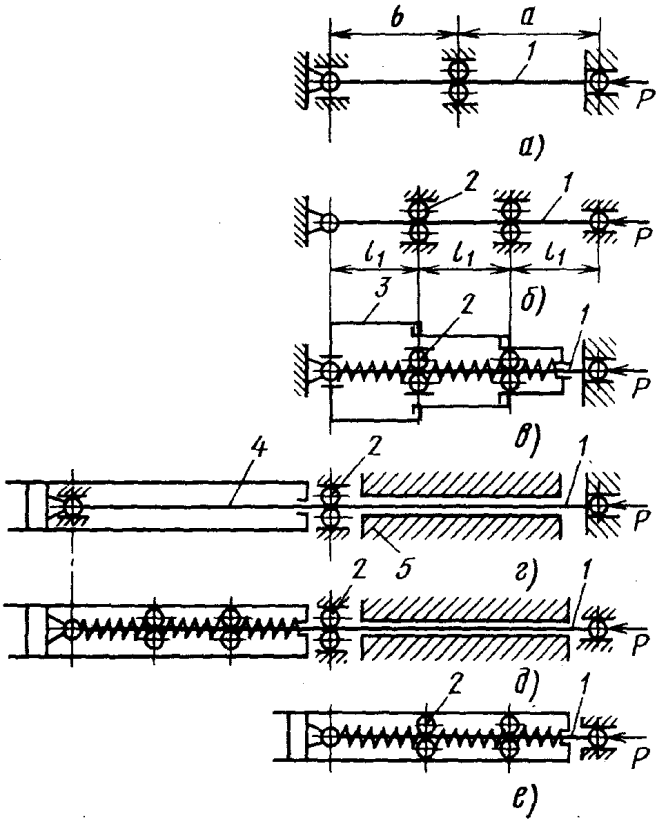


Рисунок 3 – Схеми встановлення свердла для глибокого свердління і з'єднання його з приводом

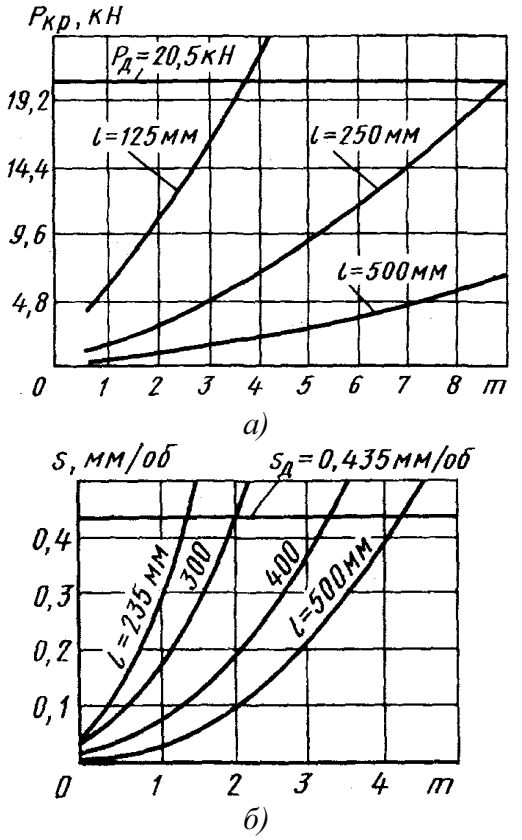


Рисунок 4 – Залежність сили $P_{кр}$ (а) і подачі s (б) свердла Ø6 мм від числа m проміжних опор при різній глибині l свердління

На рис. 4, *а* наведені графіки залежності критичної сили $P_{кр}$, розрахованої за формулою Ейлера, від числа $m = n - 1$ проміжних опор і заданої глибини l свердління

сталі свердлом діаметром 6 мм при h =10 мм. Із них видно, що зі збільшенням числа m сила $P_{кр}$ зростає, причому інтенсивність її зростання залежить від заданої глибини свердління. Пряма, що відповідає осьовій силі P, допустимій за умовами міцності робочої частини свердла, обмежує область доцільного збільшення сили $P_{кр}$ при уведенні проміжних рухомих опор.

Із наведених на рис. 4, *б* залежностей подачі s свердла діаметром 6 мм від числа m опор при різній глибині l свердління видно, що зі збільшенням l зростає й число опор, але зі збільшенням l ефективність уведення кожної наступної опори знижується. Це показує, що введення однієї рухомої проміжної опори ефективне лише при порівняно невеликій глибині l. Пряма, що відповідає подачі $s_д$, допустимій за умовами міцності свердла, обмежує область доцільного збільшення числа проміжних рухомих опор для заданої глибини свердління.

Оскільки збільшення числа проміжних рухомих опор сприяє збільшенню критичної сили, для процесу глибокого свердління фактично знімається обмеження за поздовжньою стійкістю стебла свердла, і продуктивність обмежується технологічними параметрами міцності процесу звичайного свердління.

На підставі досліджень (за схемою рис. 3, *в*) розроблена конструкція рухомого кондуктора (рис. 5). Кондуктор має телескопічно з'єднані рухомі корпуси 2, 4 і 6 із кондукторними втулками 3, 5 і 7 відповідно, розділеними пружинами 13, 12 і 11. Корпус 2 закріплений на пінолі 1 силової головки або рухомому вузлі агрегатного верстата. Свердло 10, установлене в шпинделі верстата, опирається на втулки 3, 5 і 7, рівномірно розташовані по його довжині. Рухомий кондуктор може напрямлятися за допомогою штирів 9 у пристосуванні, в якому закріплена заготовка 8.

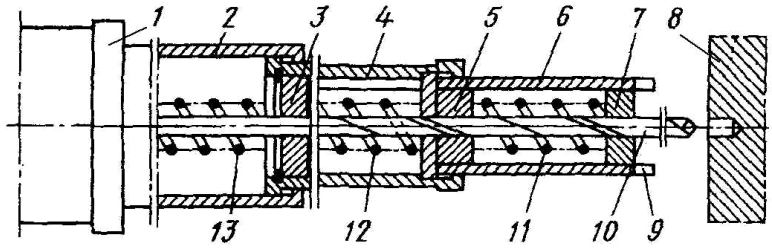


Рисунок 5 – Рухомий кондуктор

Під час робочої подачі корпуси 2, 4 і 6 переміщуються в осьовому напрямку. При цьому пружини забезпечують рівномірне зменшення відстані між кондукторними втулками, що підвищує поздовжню стійкість свердла, а це дозволяє збільшити подачу і підвищити продуктивність свердління. З іншого боку, зі збільшенням числа проміжних опор значно зростає необхідна довжина свердла при заданій глибині свердління. Це протиріччя можуть вирішити принципово нові схеми встановлення свердла і з'єднання його з приводом верстата.

У схемі за рис. 3, *г* проблема підвищення поздовжньої стійкості стебла свердла зведена до проблеми підвищення стійкості штока 4 гідропривода подачі шляхом використання напрямної втулки 5.

Механізм привода для глибокого свердління (рис. 6, *а*), що відповідає схемі, наведеній на рис. 3, *д*, має корпус 2, у якому на підшипниках установлений шпиндель 4, виконаний у вигляді гідроциліндра і з'єднаний із втулкою 1 привода. Шток 5 поршня 3 жорстко з'єднаний зі свердлом 7 і направляється втулкою 6.

У механізмі (рис. 6, *б*), розробленому за схемою рис. 3, *е*, підвищення поздовжньої стійкості штока 4 досягається шляхом установлення проміжних опор 6, що мають канали для проходу масла. Між поршнем 2, опорами 6 і внутрішньою торцевою поверхнею гідроциліндра 3 розміщені пружини 7 однакової жорсткості. Під час робочої

подачі, що здійснюється гідроприводом, поршень стискає пружини, які забезпечують рівномірне переміщення проміжних опор у напрямку подачі при рівномірному взаємному зближенні. Механізм гідроподачі надає свердлу 5 зворотно-поступальний рух і забезпечує (згідно із заданою програмою) подачу робочої рідини в праву або ліву порожнину корпусу 1 гідроциліндра. Керування циклом роботи гідропривода і настроювання на задану програму здійснюються пристроями шляхової автоматики.

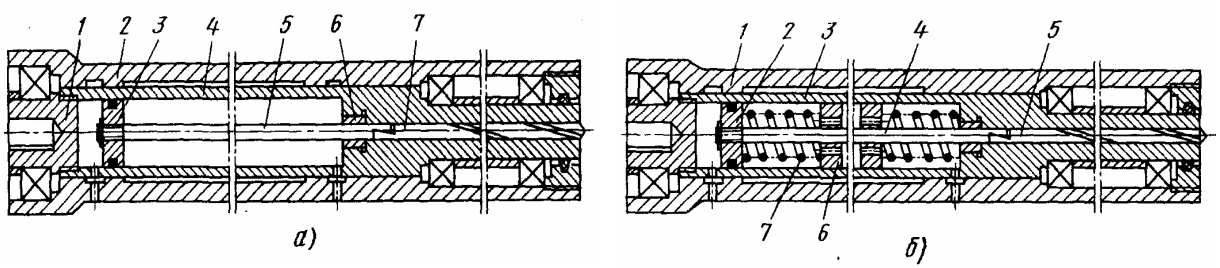


Рисунок 6 – Механізми привода для глибокого свердління

Силова головка для глибокого свердління (рис. 7) має корпус 3, гідроциліндр 5, поршень 4, циліндричні стержні 6 (закріплені в кришках 2 і 10 гідроциліндра), свердло 7 і його проміжні рухомі опори 8. Хвостовик свердла вставляють у поперечний паз у поршні 4; від осьового зсуву свердло утримує фіксатор, що включає в себе кульку 13, гвинт 14 і пружину 15. Опори 8 розділені пружинами 9 однакової жорсткості. При вмиканні електродвигуна обертання його вала 1 передається кришці 2, синхронно з якою обертаються циліндр 5, стержні 6, поршень 4, опори 8, кришка 10 і свердло 7.

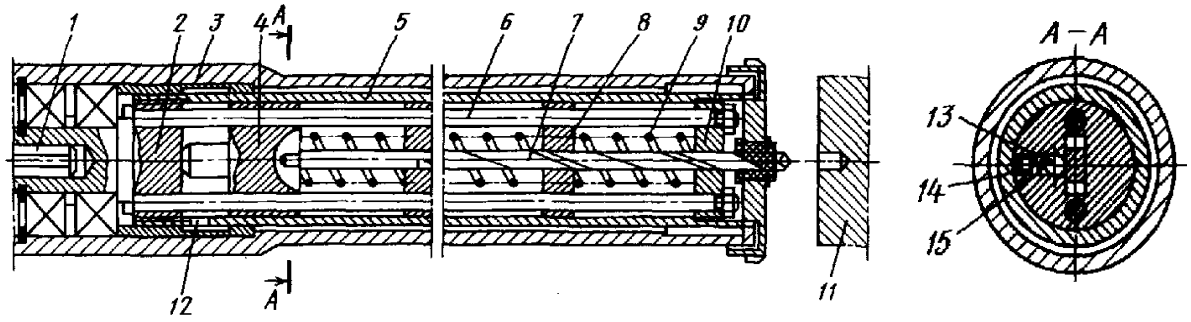


Рисунок 7 – Силова головка для глибокого свердління

Зворотно-поступальний рух свердлу надає гідропривод (на рис. 7 не показаний). Масло від установленого в корпусі гідророзподільника через отвір 12 під тиском подається в гідроциліндр. При цьому поршень, стискаючи пружину, швидко підводить свердло до заготовки 11. Перехід на робочу подачу здійснюється системою шляхової автоматики (на рисунку не показана), що перемикає дросель подачі масла в циліндр. Після закінчення обробки порожнина розподільника з'єднується з баком, і пружини повертають поршень зі свердлом у вихідне положення. Рухомі проміжні опори запобігають згинанню свердла, підвищуючи його повздовжню стійкість.

Усі розглянуті механізми для глибокого свердління дозволяють підвищити поздовжню стійкість свердла і виключити її з числа параметрів, що обмежують граничну глибину свердління при обробці деталей на багатоопераційних верстатах.

Управління подачею у функції навантаження з метою підвищення точності обробки шляхом зміни потоків потужності між приводами головного руху й подачі реалізоване в конструкції силової головки [3], що зображена на рис. 8. Головка має

корпус 1, піноль 2, виконану у вигляді штока з поршнем 3, шпиндель 4, втулку 5, пасову передачу 6, зубчасті колеса 7 і 8, електродвигун 9, свердло 10.

У корпусі 1 змонтований циліндр гідропривода подачі, в якому розміщена піноль 2. З торців циліндр закритий кришками 11 і 12, які служать опорами пінолі. В пінолі на підшипниках установлений шпиндель 4. Він шпонкою з'єднаний із втулкою 5, яка за допомогою пасової передачі 6 і зубчастих коліс 7 і 8 з'єднана з двигуном 9.

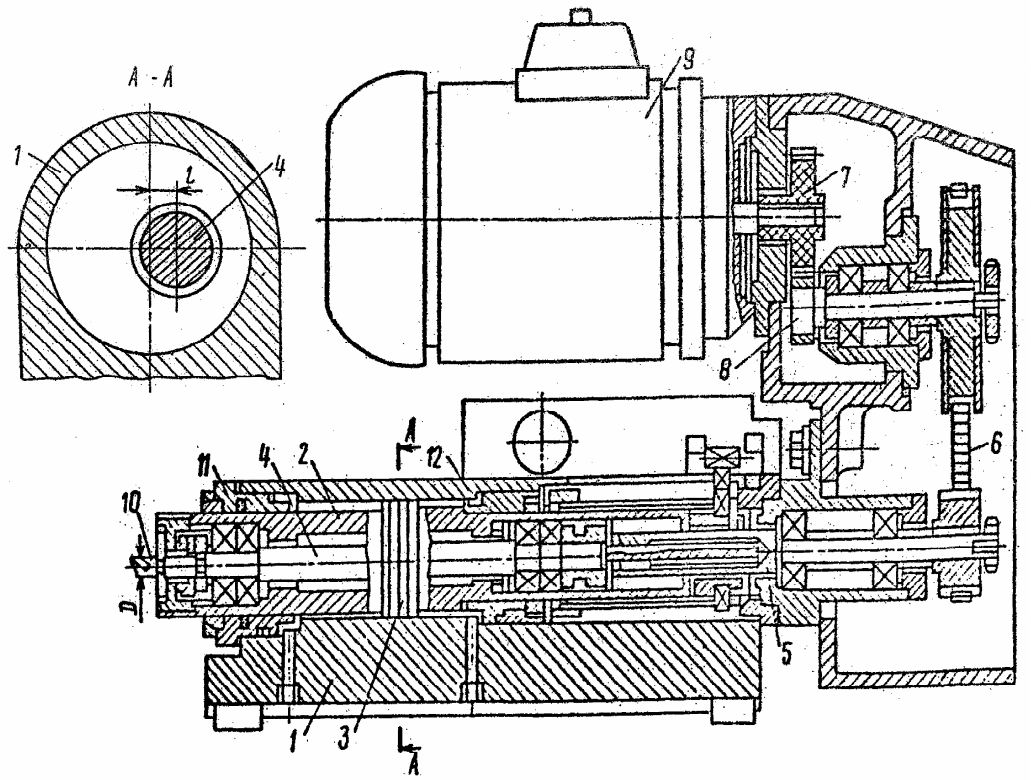


Рисунок 8 – Силова головка з ексцентричним розташуванням шпинделя і штока циліндра подачі

При вмиканні двигуна 9 по зазначеному кінематичному зв'язку шпиндель 4 з установленим в ньому свердлом 10 одержує обертання. Гідропривод подачі забезпечує зворотно-поступальний рух поршня пінолі 2 і разом із нею шпинделю 4 зі свердлом.

Поршень 3 має ексцентрично розташований шток, тому при створенні тиску в циліндрі на робочу поверхню поршня діє рушійна сила, яка прикладена ексцентрично відносно осі шпинделя 4 і забезпечує рух поршня 3 разом із піноллю 2 і шпинделем 4. Причому ця сила притискує піноль до однієї і тої ж поверхні напрямних, виконаних у кришках 11 і 12. Це створює визначеність базування пінолі 2 на протязі всього робочого ходу та холостих переміщень незалежно від зміни величини й напряму технологічного навантаження, бо це навантаження завжди прикладене в межах круга, що має такий же діаметр, як і діаметр установленого в шпинделі свердла. Для запобігання повороту пінолі в циліндрі корпусу вона з'єднана з корпусом шпонкою.

Величина ексцентриситету $l \geq D/2$, де D – максимальний діаметр свердла, що може бути встановлене в шпинделі.

Отже, ексцентричне розташування шпинделя відносно з'єднаного з ним поршня гідроциліндра подачі забезпечує його стабільне базування під час роботи і підвищення точності обробки.

Інша конструкція силової головки пінольного типу [4], що дозволяє здійснювати повний цикл зворотно-поступальних переміщень без реверсування привода головного руху, зображена на рис. 9. Це досягається шляхом застосування самогальмівної

гвинтової пари, встановленої паралельно несамогальмівній парі у відомих головках, причому гайка самогальмівної пари кінематично зв'язана зі шпинделем, а її гвинт – із валом привода, а також із корпусом головки електромагнітним гальмом.

Головка складається з корпусу 1, пінолі 2 зі шпинделем 3, електродвигуна 4, редуктора 5, приводного вала 6, різьбовий кінець якого спряжений зі шпинделем. На шпинделі встановлена шестірня 7, яка входить у зачеплення із зубчастим вінцем гайки 8, закріпленої на пінолі 2. Гвинт 9 установлений нерухомо в осьовому напрямку в корпусі 1 і зв'язаний із приводним валом 6 парами шестерень 10-11, 12-13 і електромагнітними муфтами 14 і 15, а із корпусом 1 – електромагнітним гальмом 16.

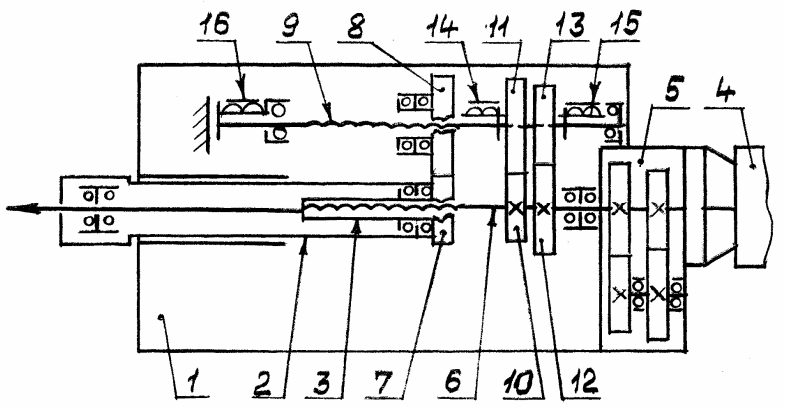


Рисунок 9 – Силова головка без реверса привода головного руху

При вмиканні двигуна 4 обертальний рух через редуктор 5, приводний вал 6 передається шпинделю 3 із закріпленим в ньому інструментом. Під дією крутного моменту сил різання в передачі вал 6 – шпиндель 3, що являє собою гвинтову пару, виникає осьова сила, напрям якої збігається з напрямом робочої подачі, а величина перевищує осьову складову сил різання. Надлишкова сила сприймається парою гвинт 9 – гайка 8 механізму керування.

Швидкість робочої подачі залежить від співвідношення кроків різьбової частини приводного вала 6 і гвинта 9, передаточних відношень передач 7-8, 10-11 і визначається за формулою

$$S_0 = Hh\frac{i_2 - i_1}{H + hi_2}, \tag{2}$$

де S_0 – подача на оберт;

H – крок гвинта приводного вала 6;

h – крок гвинта 9;

i_1 і i_2 – передаточні відношення шестерень відповідно 10-11 і 7-8.

Змінюючи відношення i_1 і i_2, можна одержати будь-яку необхідну швидкість робочої подачі. При цьому повинна виконуватися умова $i_2 > i_1$.

Якщо передаточне відношення шестерень 12-13 дорівнює i_3 і менше передаточного відношення шестерень 7-8, тобто $i_3 < i_2$, то при вимкненій муфті 14 і увімкненій муфті 15 напрям переміщення пінолі 2 зміниться на зворотний зі швидкістю

$$S_0' = -Hh\frac{i_3 - i_2}{H + hi_2}. \tag{3}$$

Отже, при цьому буде забезпечене швидке відведення пінолі у вихідне положення.

Якщо муфти 14, 15, 16 вимкнені, піноль залишається нерухомою, бо нарізка гвинта 9 самогальмівна і він буде обертатися разом із гайкою 8. Це дозволить фіксувати піноль у потрібному положенні, наприклад, на початку і в кінці циклу, і підвищує надійність роботи головки.

Швидкі переміщення в напрямі робочої подачі виконуються при вимкнених муфтах 14, 15 і увімкненому гальмі 16. Це відповідає нульовому передаточному відношенню від вала 6 до гвинта 9. При цьому швидкість переміщень дорівнює

$$S_0'' = Hh\frac{i_2}{H + hi_2}. \qquad (4)$$

Швидкі переміщення можуть бути одержані також за допомогою додаткового кінематичного ланцюга, паралельного ланцюгу 10, 11, 14, 12, 13, 15. Керування електромагнітними муфтами здійснюється за допомогою шляхової автоматики.

Якщо необхідно одержати дві робочі подачі, паралельно шестірням 10, 11 може бути встановлена ще одна пара шестерень і електромагнітна муфта.

Для підвищення ефективності подрібнення стужки при глибокому свердлінні за рахунок перетворення пульсуючого тиску ЗОР розроблено пристрій (рис. 10), в якому в каналі подачі ЗОР на стержні свердла встановлена дросельна шайба.

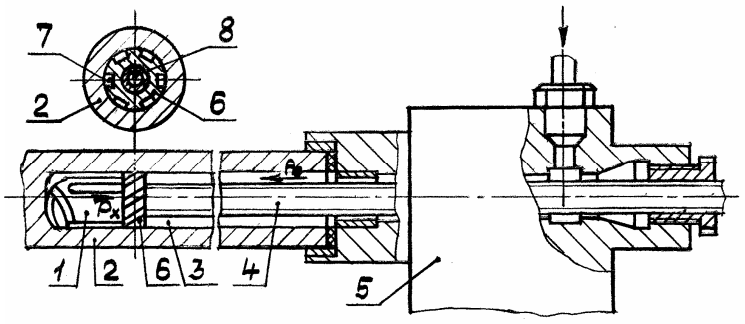


Рисунок 10 – Пристрій для подрібнення стружки при глибокому свердлінні

Під час свердління ріжучою головкою 1 отвору в деталі 2 в порожнину 3 між стеблем 4 свердла і обробленою поверхнею деталі подається від маслоприймача 5 під пульсуючим тиском ЗОР. ЗОР дроселюється шайбою 6 із канавками 7, відведення стружки здійснюється через внутрішній канал 8 у стеблі свердла. Для виникнення пульсацій ЗОР і подрібнення зливної стружки в системі підведення ЗОР у порожнину 3 створюється пульсуючий тиск рідини, який діє на шайбу 6. Збільшення тиску викликає пружну деформацію (розтягування) стебла 4, а його зниження повертає стебло у вихідне положення. Так пульсація тиску підведеної ЗОР викликає пульсуючу деформацію стебла свердла й осьові коливання ріжучої головки, що забезпечує подрібнення зливної стружки.

Для підвищення ефективності процесу свердління частота пульсації підведеної ЗОР задається у функції швидкості обертання заготовки й свердла. Для надійного подрібнення стружки величина змінної складової пульсуючого тиску повинна забезпечувати пружну деформацію стебла, більшу величини подачі. Для збільшення глибини вібраційного свердління стеблу свердла надають (наприклад, за допомогою кулькового вібратора) синхронні осьові коливання, які створюють обернену за знаком деформацію стебла.

Інший спосіб подрібнення стружки полягає у наданні свердлильному шпинделю нерівномірної подачі (рис. 11). Обертання від втулки 8 через шліцьове з'єднання приводного вала 1 передається шпинделю 7 через циліндричну пружину 4 і муфту 5

однобічної дії. Пружина 4, контактуючи своєю зовнішньою циліндричною поверхнею з внутрішньою поверхнею різьбової пінолі 2, захоплює її, примушуючи вигвинчуватися з корпусу 3 у напрямку деталі. При збільшенні крутного моменту на шпинделі 7 відбувається скручування пружини 4, що викликає зменшення її контакту з піноллю. Внаслідок зменшення фрикційного зв'язку між пружиною та піноллю зменшується подача, що призводить до зменшення навантаження на шпинделі. Зменшення крутного моменту викликає збільшення зовнішнього діаметра пружини, що збільшує подачу, бо контакт між піноллю та пружиною збільшується. Цикл триває до повного закінчення обробки.

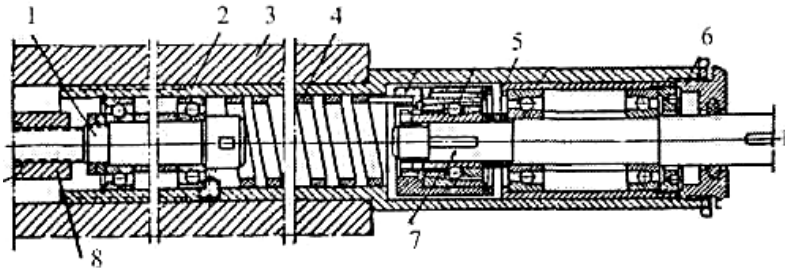


Рисунок 11 – Подрібнення стружки нерівномірною подачею шпинделя

Для повернення пінолі у вихідне положення здійснюють реверсування привода обертання шпинделя. Якщо це відбувається під час обработки, то щоб уникнути поломки інструмента від стружки, між пружиною і шпинделем встановлюють муфту вільного ходу 6, яка при реверсуванні розклинюється, і шпиндель не обертається.

Регулюють механізм гайкою 6 шляхом осьового переміщення втулки з опорами шпинделя. При осьовому зсуві втулки пружина 4 стискується, що викликає збільшення її зовнішнього діаметра і контакту пружини з піноллю.

Для захисту свердла від перевантаження та його поломки під час обробки і на виході з наскрізного оброблюваного отвору запропоновано спосіб [5], який полягає в тому, що під час обробки здійснюється контроль потужності різання і за його результатами регулюється швидкість робочої подачі так, що при збільшенні потужності різання подача зменшується, а при досягненні швидкістю подачі нижньої межі регулювання свердло виводиться з отвору.

Схема здійснення цього способу зображена на рис. 12, де 1 – оброблювана заготовка; 2 – затискне пристосування; 3 – ріжучий інструмент; 4 – свердлильна головка; 5 – електродвигун привода головного руху; 6 – датчик потужності різання; 7 – перетворювач сигналу датчика; 8 – порівнювальний пристрій; 9 – програмний пристрій; 10 – керуючий пристрій; 11 – привод подачі.

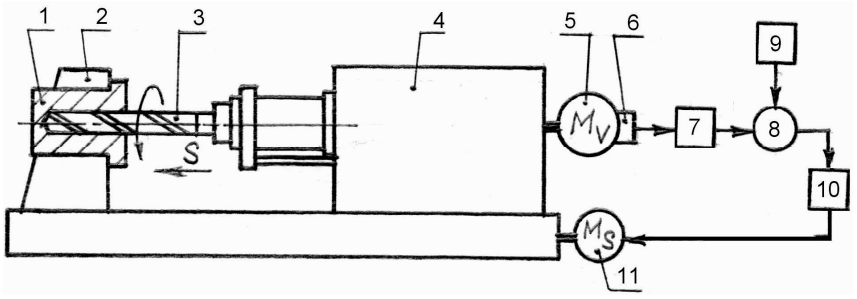


Рисунок 12 – Схема способу глибокого свердління

Спосіб здійснюється так. Заготовку 1 закріплюють у пристосуванні 2. Інструмент 3, встановлений у шпинделі свердлильної головки 4, одержує обертання від

двигуна 5 привода головного руху. У двигуні 5 встановлений датчик 6, що контролює потужність різання. Сигнал датчика 6 через перетворювач 7 подається в порівнювальний пристрій 8, куди одночасно надходить і нормований сигнал від програмного пристрою 9. Результуючий сигнал подається в керуючий пристрій 10, який при збільшенні потужності через керований привод 11 зменшує швидкість робочої подачі інструмента, запобігаючи таким чином поломці інструмента на виході його з наскрізного оброблюваного отвору, а при досягненні швидкістю подачі нижньої межі регулювання свердло виводиться з отвору.

Отже, вирішення проблем глибокого свердління можна ефективно здійснювати нетрадиційними методами на основі зміни потоків потужності та навантаження між приводом головного руху та приводами подачі, підведення ЗОР і закріплення свердла.

Список літератури

1. Пестунов В.М. Диалектика развития привода металлорежущих станков // Станки и инструмент. – 1996. - № 8. – С. 32 – 36.
2. А.с. 469545 СССР М. Кл. В 23b 51/06. Двухлезвийное твердосплавное спиральное сверло / Пестунов В.М., Лебедев Ю.В. – № 1804631/25-8; Заявлено 03.07.72; Опубл. 05.05.75, Бюл. № 17.
3. А.с. 1798119 А1 СССР М. Кл. В 23Q 37/00. Силовая головка / Крыжановский В.А., Пестунов В.М. – № 4939522/08; Заявлено 24.05.91; Опубл. 28.02.93, Бюл. № 8.
4. А.с. 464397 СССР М. Кл. В 23b 47/24, В 23g 37/00. Силовая головка / Пестунов В.М. и др. – № 1975347/25-8; Заявлено 11.12.73; Опубл. 25.03.75, Бюл. № 11.
5. Патент № 66209 Україна. МПК (2011.01) B23Q 15/00. Спосіб глибокого свердління / Пестунов В.М., Бабич В.М. – u201107479; Заявлено 14.06.11; Опубл. 26.12.11, Бюл. № 24.

В. Пестунов, В. Бабич

Решение проблем глубокого сверления нетрадиционными методами

В статье описаны нетрадиционные методы решения проблем глубокого сверления, которые основаны на перераспределении потоков мощности и нагрузки между приводом главного движения станка и приводами подачи, подвода охлаждающей жидкости. Они направлены на улучшение условий обработки, усовершенствование инструмента, узлов и механизмов станков и приспособлений. Приведены схемы и конструкции новых силових головок, устройств для защиты от поломки при перенагрузках, дробления и отвода стружки и др. Это позволяет создавать оптимальне условия процесса обработки и функционирования оборудования, повышает его надежность и эффективность.

W. Pestunov, W. Babich

Problems' of deep drilling with innovative methods solving

In this article the innovative methods for solving problems of deep drilling are described. They are based on the redistribution of power which flows between the drive and load the main movement of the machine and drives supply, supply of coolant. They are aimed at improving the processing conditions, the improvement of tools, components and machinery and machine tools. The schemes and the construction of new power heads, devices are used to protect from damage during overload, fragmentation and removal chips, etc. This allows you to create optimal conditions for the processing and operation of equipment, increases its reliability and efficiency.

Одержано 30.03.12

УДК 621.86

Я.І. Проць, проф., канд. техн. наук, П.С. Федорів, асист., Ю.О. Цяпута, асп.
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Дослідження струменевих пристроїв з множиною круглих отворів для відділення листових заготовок

Проведено теоретичні дослідження процесу відділення листового матеріалу за допомогою струменевих пристроїв з множиною круглих отворів. Досліджено зв'язки між геометричними і аеродинамічними параметрами соплового пристрою і листа металу, що знаходився під ним . Визначено основні конструктивні і технологічні параметри, які визначають оптимальні режими роботи струменевих пристроїв для відділення листових заготовок.
струменевий пристрій, сопло, аеродинамічний ефект, розхід повітря, листова заготовка, присмоктувальна сила, відділення листів

Відоме застосування соплових пристроїв з великою кількістю круглих отворів для обдування великих поверхонь і підтримки в підвішеному стані різного роду плоских тіл, зокрема листів металу, скла, шиферної плити, картону й інших матеріалів подібної форми. Завдяки великій швидкості витікання струменів повітря виникає аеродинамічний ефект притягання, що полягає у взаємодії витікаючого із екранованого сопла струменя стиснутого повітря із плоскою поверхнею заготовки. [1].

У результаті подачі до сопла 2 (рис. 1) стиснутого повітря постійного тиску сформований отвором-соплом радіусом r_c і спрямований перпендикулярно площині поршня струмінь повітря протікає в щілину h між торцями струменевого елемента і заготовки 3 зі швидкістю V_0 приблизно рівною місцевій швидкості звуку $V_{кр}$. Переломлюючись об поверхню листа повітря в щілині перетвориться в плоский радіальний потік. Швидкість плину потоку V_1 на деякому радіусі r дещо менша швидкості витікання $V_1<V_0$, а в міру наближення до периферії силового елемента поступово зменшується до швидкості $V_1>V_2$, а надалі на радіусі r_2 відбувається повне розчинення в атмосфері. Енергія рухомого суцільного кільцевого газового потоку, обумовлена повним напором, що складається із суми п'єзометричного і динамічного напорів, викликає на торці струменевого елемента зниження тиску до величини нижче атмосферного, тобто

$$P_a \geq \Delta P + \frac{\rho V_1^2}{2}, \qquad (1)$$

що сприяє при визначених конструктивних параметрах струменевих елементах появі аеродинамічного ефекту притягання.

© Я.І. Проць, П.С. Федорів, Ю.О. Цяпута, 2012

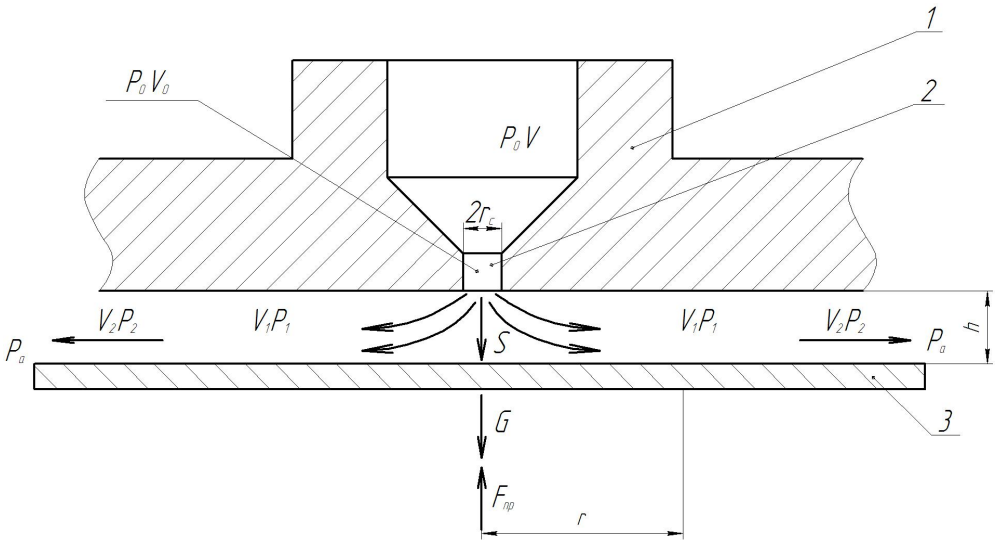
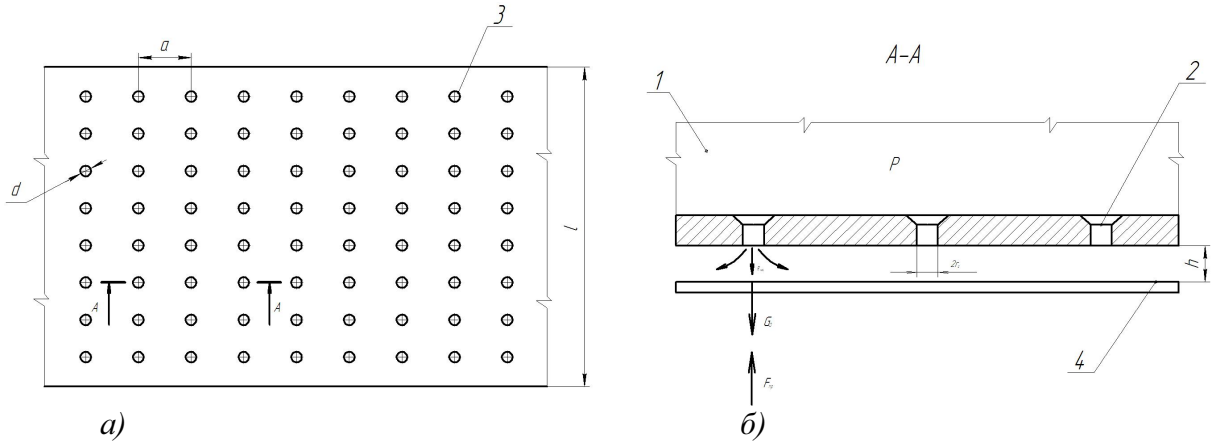


Рисунок 1 – Схема струменевого силового елемента

Під його дією лист силою присмоктування з визначеної відстані піднімається нагору і притискається до торця соплового елемента. Лист не знаходиться в безпосередньому дотику з торцем силового механізму, а вільно плаває на повітряній подушці автоматично підтримуючи зазор *h* товщиною порядку 0,08…0,12 мм. Величина результуючої силової дії витікаючого струменя повітря на обтічну поверхню залежить від відстані *h* між торцями сопла і листа матеріалу. Деякі закономірності таких соплових пристроїв знайшли своє відображення в літературі. Однак невизначеність в зв'язках між геометричними і аеродинамічними характеристиками цих пристроїв не дозволяють достатньо надійно визначити потрібний тиск і розхід повітря для підтримання листа заданої маси на певній висоті в стані вільного підвішення.

Ці обставини викликають потребу провести описані нижче дослідження соплових пристроїв з круглими отворами і визначити залежності присмоктувальної сили, потрібного тиску повітря від геометричних параметрів соплових пристроїв і відстані *h* між торцями струменевого пристрою і заготовки матеріалу.

Система для подачі струменів повітря на листову заготовку складається з ресивера, закріпленого на ньому соплового пристрою з розподіленими за певним законом круглими отворами і розміщеного під цим пристроєм листа матеріалу (Рис. 2).



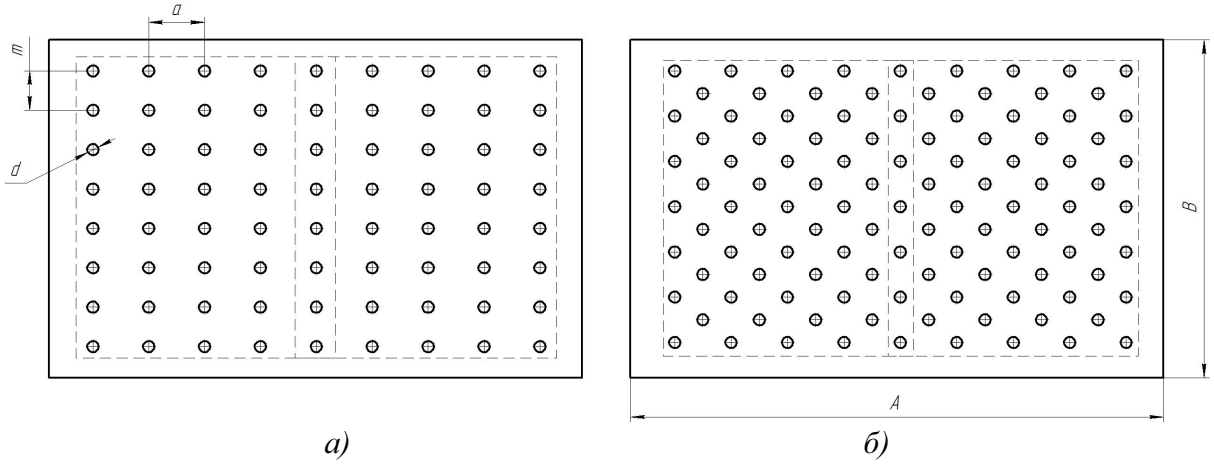
1 – ресивер; 2 – сопловий пристрій; 3 – круглий отвір; 4 – лист матеріалу

Рисунок 2 – Переносна система з множиною круглих отворів

Такі соплові пристрої виконують, наприклад, в вигляді панелі з листового металу і внутрішніми ребрами жорсткості, що забезпечують при надлишковому тиску в ресивері системи підтримку плоскості зовнішньої поверхні панелі.

Ресивер вирівнює повітря, що підводиться до системи, і подає до отворів, з яких виходять круглі струмені стиснутого повітря. Струмені розтікаються в поздовжньому напрямку і, створюючи завихрення, розходяться по спіральним траєкторіям в поперечному напрямку. Опрацьований газ відводиться від листа в бокові сторони через канавки, утворені кромками листа і панелі. В робочому просторі між сопловим пристроєм і листом матеріалу виникає збільшений статичний тиск – газова подушка. Цей тиск викликаний динамічною дією струменів, що витікають з соплів, і реактивною дією потоків газу, що виходять в поперечному напрямку.

Досліджено два соплових пристрої з круглими отворами [2], що мають однакову прохідну площу і відрізняються способом розміщення отворів (рис. 3). Кожний пристрій представляє собою лист з алюмінієвого сплаву товщиною 3 мм і розміром АхВ. На робочій частині струменевого пристрою (показаній штриховою лінією), просвердлені отвори, рекомендований діаметри яких *d=0,8-1* мм (для стінки корпуса товщиною 3 мм).



а) – з матричним розміщенням отворів; б) – з шахматним розміщенням отворів.

Рисунок 3 – Дослідження соплових пристроїв

Виділимо в кожному сопловому пристрої модуль, що повторює картину руху повітря по довжині цього пристрою. В якості модуля може бути розглянута ділянка потоку між двома перетинами, перпендикулярними до поздовжньої осі соплового пристрою і розміщеними один відносно другого на відстані кроку отворів в поздовжньому ряді. В модулі соплового пристрою з шахматним розміщенням отворів є два поперечних ряди отворів. Оскільки кожен з цих двох сусідніх поперечних рядів має однакову кількість отворів, а в поздовжньому напрямку вони багаторазово повторяються, то для спрощення в якості розрахункового модуля можна взяти ділянку потоку, що включає лише один ряд отворів, а ширину модуля прийняти рівною відстані між сусідніми поперечними рядами. Границі розрахункових модулів показані на рис. 3 штрихпунктирними лініями.

При розгляді зв’язків між аеродинамічними характеристиками і геометрією соплових пристроїв з круглими отворами доцільно множину отворів модуля замінити одним еквівалентним по площі щілиноподібним отвором і в якості одного з основних геометричних параметрів прийняти еквівалентну по площі ширину b щілиноподібного отвору.

Вважаючи

$$F = bl\frac{\pi d^2}{4}n, \tag{2}$$

виходить

$$b = \frac{\pi}{4}\frac{d^2}{l}n, \tag{3}$$

де F – площа отворів модуля;

d – діаметр отворів;

n – кількість отворів в модулі;

l – довжина щілиноподібного отвору, рівна довжині модуля.

Зв'язки між геометричними і аеродинамічними параметрами соплового пристрою і листа металу, що знаходився під ним, можна представити наступним чином.

Сила, що діє на заготовку складається з присмоктувальної сили $F_{пр}$, ваги G_0 листа і реактивної сили R, спричиненої дією струменя повітря на об'єкт.

$$F = F_{пр} - G_0 - R. \tag{4}$$

Умова присмоктування має наступний вигляд:

$$F_{пр} \geq G_0 + R; \tag{5}$$

$$R = \frac{Q_м^2}{\pi r_c \rho}; \tag{6}$$

$$Q = 2\pi r\int_h^0 V dh; \tag{7}$$

$$Q_м = \pi V_0 h_{\max} r_c, \tag{8}$$

де $Q_м$ – масовий розхід повітря в зазорі, r_c – радіус соплового елементу,

$$F_{пр} = G_0 = c_y S_0 H \text{ ю} \tag{9}$$

Звідси коефіцієнт присмоктувальної сили

$$c_y = \frac{G_0/S_0}{H} = \frac{mg}{S_0}\frac{1}{H}, \tag{10}$$

де m – маса листа;

g – прискорення вільного падіння;

S_0 – робоча площа соплового пристрою;

H – тиск потоку повітря, що підводилося до соплового пристрою.

Розхід повітря в системі

$$Q_0 = aF_0\sqrt{2/\rho}\sqrt{H} \tag{11}$$

і відповідно коефіцієнт розходу в системі

$$a = \frac{Q_0}{F_0\sqrt{2/\rho}\sqrt{H}}. \tag{12}$$

Тут Q_0 – розхід повітря в системі; F_0 – загальна площа круглих отворів в сопловому пристрої; ρ – густина повітря, що подавалось до струменевого пристрою.

Загальна площа круглих отворів в сопловому пристрої

$$F_0 = \frac{\pi d^2}{4}nz, \tag{13}$$

де d – діаметр отворів.

Замінивши в формулі (11) тиск H його значенням з формули (9), отримаємо

$$Q_0 = \frac{a}{\sqrt{c_y}} F_0 \sqrt{\frac{2}{\rho}} \sqrt{\frac{G_0}{S_0}} . \quad (14)$$

Цю залежність можна представити у вигляді

$$\overline{Q} = \frac{Q_0}{F_0 \sqrt{\frac{2}{\rho}} \sqrt{\frac{G_0}{S_0}}} = \frac{a}{\sqrt{c_y}} = a \sqrt{\frac{H}{G_0 / S_0}} . \quad (15)$$

Формула (15) виражає в безмірному вигляді потрібний розхід повітря.

Отже, проаналізувавши вище сказане, можна зробити висновок що якщо при тому ж тиску встановити лист великої маси, то висота h зменшиться, а для досягнення потрібної висоти необхідно збільшити як тиск P, так і відповідно розхід повітря Q_0. Проте, за аналітичними й експериментальними дослідженнями [3] струменеві присоси, у порівнянні з вакуумними, мають ряд переваг: високу точність базування заготовок, кращі динамічні характеристики, відсутність рухомих елементів і додаткових механізмів цільового призначення для транспортування заготовки та ін. Завдяки цьому вони можуть бути використані при автоматизації технологічних процесів у машинобудівній, приладобудівній, легкій, поліграфічній та інших промисловостях.

Список літератури

1. Бляхеров И.С. Автоматическая загрузка технологических машин: Справочник /И.С. Бляхеров, Г.М. Варьяш, и др.; Под общ. ред. И.А. Клусова. – М.: Машиностроение, 1990. – 400 с.
2. Ханжонков В.И. Аэродинамические характеристики натекания множества круглых струй на экран / Ханжонков В.И. – М.: Машиностроение, 1991. – С. 76-85.
3. Козловский М.А. Присасывающее действие струи, обтекающей пластинку.-Приборостроение.-Киев.: Техніка, вып.2, 1966. –С. 197-199.
4. Битюков В.К. Аэродинамические конвейеры. – Механизация и автоматизация производства, 1981, №10, с. 11.

Я.И. Проць, П.С. Фэдорив, Ю.О. Цяпута

Исследование струйных устройств с множеством круглых отверстий для отделения листовых заготовок

Проведены теоретические исследования процесса отделения листового материала с помощью струйных устройств с множеством круглых отверстий. Исследованы связи между геометрическими и аэродинамическими параметрами соплового устройства и листа металла, находящегося под ним. Определены основные конструктивные и технологические параметры, которые определяют оптимальные режимы работы струйных устройств для отделения листовых заготовок.

Y. Prots, P. Fedoriv, Y. Tsiaputa

Investigation of air-jet devices with a plurality of round holes to separate the sheet blanks

Theoretical research of sheet material separation using air-jet devices with a plurality of round holes was done. The links between geometric and aerodynamic parameters of nozzle device and the metal sheet that was under him were investigated. The basic design and technological parameters that determine optimal modes of air-jet devices for sheet blanks separation were defined.

Одержано 20.03.12

УДК 621. 9. 048. 4

В.І.Носуленко, проф., докт. техн. наук, В.М.Шмельов, викл.
Кіровоградський національний технічний університет

Електрична дуга як інструмент для розмірної обробки спряжених пар робочих деталей розділових штампів

Описано енергетичні характеристики електричної дуги при обробці сталевими електродами в умовах розмірної обробки електричною дугою (РОД) робочих деталей розділових штампів. Показано, що в умовах РОД густина струму і напруженість електричного поля дуги є головним чином функціями динамічного тиску робочої рідини і струму дуги. Наведені типові осцилограми напруги дуги і струму процесу РОД при обробці сталевими електродами, з яких видно, що не має принципових відмін від типових осцилограм струму і напруги відомих зварювальних і плазмових дуг, а сам процес відрізняється більш стабільними значеннями струму і напруги .

спряжена пара, розділовий штамп, електрична дуга, напруга дуги, струм дуги, динамічний тиск потоку робочої рідини, напруженість електричного поля дуги, густина струму

Виготовлення спряжених пар робочих деталей розділових штампів способом розмірної обробки електричною дугою (РОД) [1], що відрізняється більш високою продуктивністю порівняно з традиційними способами ЕЕО, в сукупності з способом керованого зносу електрод-інструмента (РОД СКЗЕІ) [2] дозволяє отримувати комплект спряжених пар робочих деталей розділових штампів необхідних геометричних розмірів з рівномірними зазорами. Проте для забезпечення необхідних технологічних можливостей такого процесу вимагає вивчення фізичний механізм електричної ерозії, зокрема електричні та геометричні характеристики дуги як інструменту для розмірної обробки при обробці сталевими електродами.

Електричні характеристики дуги, – струм I і напруга U, – можуть бути установлені за осцилограмами. Типова осцилограма струму і напруги в поперечному потоці рідини підтверджує безперервне горіння дуги (рис. 1), не має принципових відмін від типових осцилограм струму і напруги відомих зварювальних і плазмових дуг і відрізняється більш стабільними значеннями струму і напруги. Порівняно із зварювальними дугами напруга дуг, що горять в поперечному потоці рідини в умовах РОД, дещо вища і в ряді випадків наближується до напруги плазмових дуг для зварювання і різання металів. Струм такої дуги, як і для відомих дуг, може змінюватись від декількох ампер до багатьох тисяч ампер.

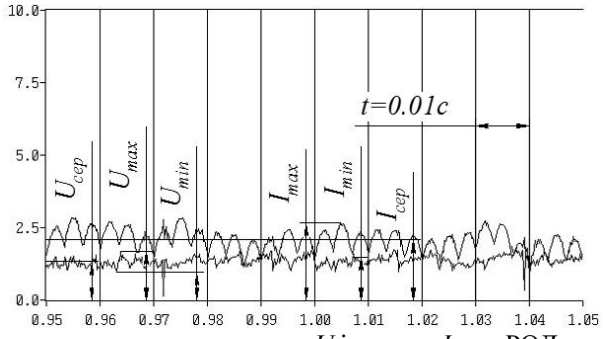


Рисунок 1 – Типова осцилограма напруги дуги U і струму I при РОД сталевими електродами

© В.І.Носуленко, В.М.Шмельов, 2012

Струм I і напруга дуги U безперервно змінюються . Тому для кожного заданого проміжку часу t існування дуги треба розрізняти максимальну напругу дуги U_{max}, мінімальну напругу U_{min}, середню напругу $U_{сер}$, максимальний струм дуги I_{max}, мінімальний струм I_{min}, середній струм $I_{сер}$. При цьому максимальному струму I_{max} відповідає мінімальна напруга U_{min} і, навпаки, мінімальному струму I_{min} відповідає максимальна напруга U_{max}, що пояснюється використанням джерел живлення технологічним струмом із зовнішніми падаючими характеристиками.

До геометричних характеристик дуги відносяться форма і розміри (площа поперечного перерізу і довжина) різних областей дуги. Вони необхідні при визначенні густини струму на аноді j_a, на катоді $j_к$, в стовпі дуги j_c та напруженості електричного поля в стовпі дуги E_c, а також для оцінки електроерозійної дії дуги на оброблюваний метал.

Дуга в поперечному потоці рідини переміщується по поверхні електродів зі значними швидкостями. Форма і розміри такої дуги безперервно змінюються. Площі поперечних перерізів катодної і анодної областей дуги визначались на підставі аналізу слідограм на аноді і катоді в результаті безпосередніх замірів відбитків короткочасної дуги з використанням відрахункового мікроскопа типу МПБ-2. Довжина дуги L приймалась рівною міжелектродному зазору δ, який визначався за результатами безпосередніх замірів по завершенні експерименту.

Площі поперечних перерізів стовпа, катодної і анодної областей дуги приблизно однакові, а тому приблизно однакові також і значення середньої густини струму в стовпі, катодній і анодній областях дуги. Площа поперечного перерізу дуги S є головним чином функцією струму I і динамічного тиску потоку робочої рідини P_d. Форма і розміри дуги в поперечному потоці рідини, яка знаходиться в постійному русі, безперервно змінюються. Форма поперечного перерізу такої дуги в більшості випадків являє собою овал, що наближається до круга, витягнутий в напрямку руху потоку.

Площа поперечного перерізу дуги зростає при збільшенні I та зменшенні P_d. Зазначимо, що порівняно зі звичайними зварювальними і плазмовими дугами [3] площа поперечного перерізу дуг в поперечному потоці рідини в умовах РОД при інших рівних умовах (струм і напруга) принаймні в декілька разів менше. Довжина дуги L є головним чином функцією напруги дуги U і динамічного тиску потоку робочої рідини P_d, і зростає при збільшенні U і зменшенні P_d. Зазначимо, що порівняно зі звичайними зварювальними і плазмовими дугами [4, с. 15...21] довжина дуг в поперечному потоці рідини за інших рівних умов (напруга і струм) в десятки разів менше. Це дозволяє використати таку дугу для достатньо точної розмірної обробки металів.

Густина струму в дузі у є головним чином функцією струму дуги I та динамічного тиску потоку робочої рідини P_d (рис. 2). Густина струму в дузі визначалась на підставі замірів площ відбитків короткочасної дуги на металевих електродах. Густина струму в дузі порівняно мало залежить від струму і значно залежить від динамічного тиску потоку рідини. При цьому порівняно зі звичайними зварювальними і плазмовими дугами [4,с.30] густина струму в дугах, що горять в поперечному потоці рідини, за інших рівних умов (струм і напруга) в декілька разів більше і наближується за своїми значеннями до густини струму в стовпі нестаціонарного іскрового електричного розряду [5, с. 98, 104], зокрема в умовах відомих способів ЕЕО [6, с. 35].

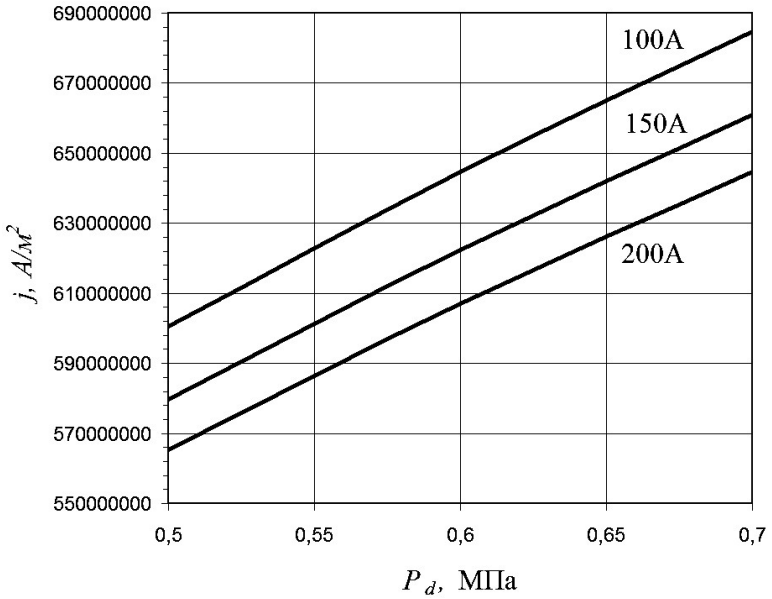


Рисунок 2 – Залежність густини струму j від P_d та I при обробці сталевими електродами

Про характер розподілу струму по поперечному перерізу дуги можна судити по характеру ерозійної дії дуги на металеві електроди, зокрема, по профілю лунок обробленої поверхні. На рисунку 3 показано профіль лунок на катоді і аноді зі сталі при протіканні дуги в поперечному потоці водопровідної води при стумі I=400А і динамічному тиску потоку P_d=0,1МПа.

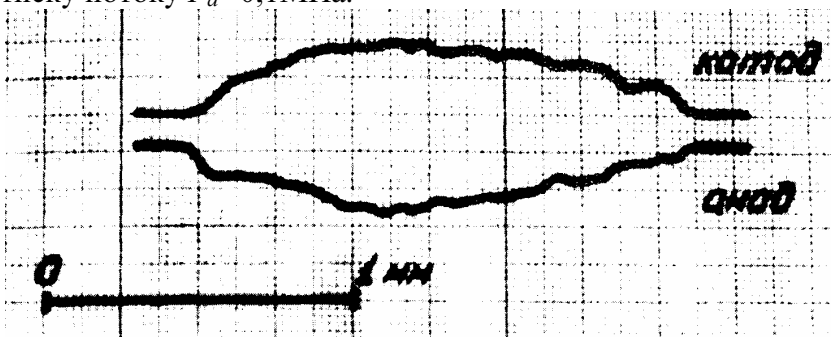


Рисунок 3 – Профіль лунок на аноді і катоді із сталі

Приведені профілі лунок дозволяють зробити висновок, що при застосуванні для катода і анода сталі струм як в катодній, так і в анодній плямах розподілено достатньо рівномірно (оскільки лунки мають достатньо рівномірну глибину).

Важливим геометричним параметром дуги є довжина (висота) катодної і анодної областей. Наявність осцилограм напруги дуги “сталий процес - коротке замикання” дозволяє установити сумарну довжину катодної і анодної областей дуги. Дійсно, такі осцилограми (рис. 4) дозволяють достатньо точно визначити час t переміщення електрода на ділянці сумарної довжини катодної і анодної областей дуги. З іншої сторони, осцилографування переміщень електрода дозволяє установити швидкість його руху на цій ділянці. Тому сумарна довжина катодної і анодної областей дуги може бути визначена як добуток швидкості руху електрода на час його руху на ділянці сумарної довжини катодної і анодної областей дуги.

Отримані таким чином розрахункові дані показали, що при горінні дуги в поперечному потоці рідини сумарна довжина катодної і анодної областей дуги в діапазоні досліджених режимів обробки (I=100...200А, P_d=0,5...0,7МПа) для сталевих електродів складають 0,1...0,2 мкм.

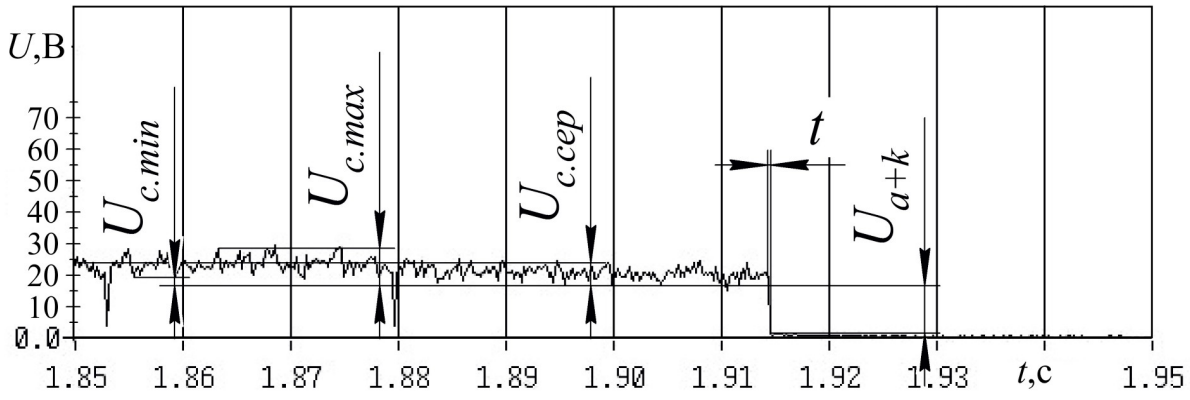


Рисунок 4 – Осцилограма напруги дуги U при зближені електродів із сталі до короткого замикання

Якщо брати до уваги, що значення $U_{к+а}$ для дуг в поперечному потоці рідини і для звичайних відкритих дуг в повітрі відрізняється незначно, то можна зробити висновок, що напруженість електричного поля в катодній і анодній областях дуг, що горять в поперечному потоці рідини, приблизно в 2...3 рази і більше вища, аніж в звичайних відкритих дугах в повітрі, і зростає при збільшенні динамічного тиску потоку.

Напруженість електричного поля в стовпі дуги визначилась на підставі отриманих в результаті осцилографування значень напруги в стовпі дуги (рис. 4) і довжини дуги L. Напруга на дузі, як показують осцилограми, безперервно змінюється. Безперервно змінюється також напруга в стовпі дуги U_c. Тому для кожного заданого проміжку часу існування дуги необхідно розрізняти максимальну U_{cmax}, мінімальну U_{cmin} і середню напругу в стовпі дуги, а отже максимальну E_{max}, мінімальну E_{min} і середню E напруженість електричного поля в стовпі дуги. Напруженість електричного поля є головним чином функцією динамічного тиску потоку робочої рідини P_d і різко зростає при його збільшенні (рис. 5).

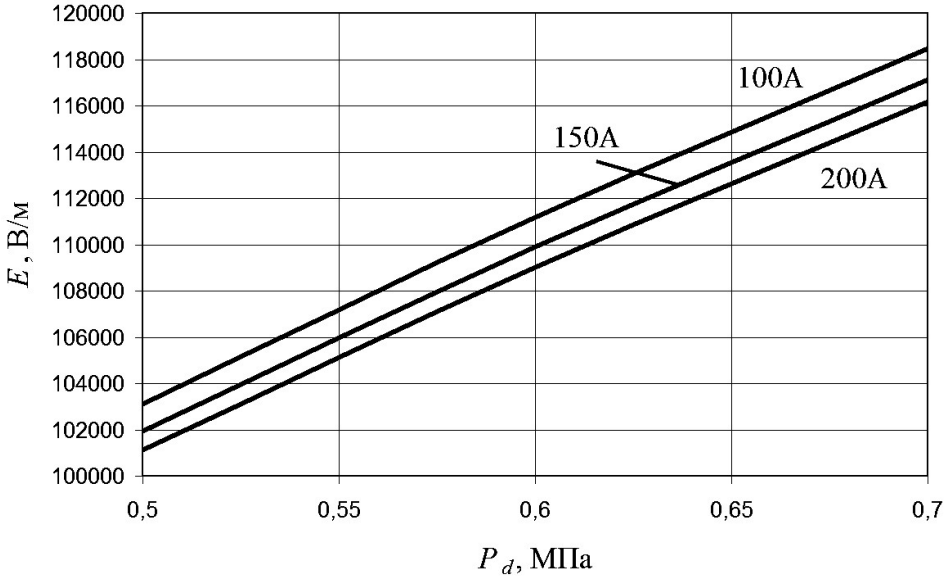


Рисунок 5 – Залежність напруженості електричного поля в стовпі дуги E від P_d та I при обробці сталевими електродами

Описано енергетичні характеристики електричної дуги в умовах РОД СКЗЕІ, при обробці сталевими електродами. що дозволило забезпечити необхідні технологічні

характеристики оптимізувавши процес отримання спряжених пар робочих деталей розділових штампів. Описано енергетичні характеристики електричної дуги при відповідних значеннях сили технологічного струму I=100…200А та динамічного тиску робочої рідини P_S=0,5…0,7МПа значення суми падіння напруги біля анода і катода U_{a+k}=17…19В, густина струму j=5,65·10^8…6,85·10^{8}А/м^2, напруженість електричного поля в стовпі дуги E_c=1·10^5…1,2·10^{5}В/м. Показано, що площа поперечного перерізу та довжина дуги в поперечному потоці рідини в умовах РОД в порівняно зі звичайними зварювальними і плазмовими дугами при інших рівних умовах принаймні в декілька разів менше, а густина струму і напруженість електричного поля дуги значно більші. Вище зазначене дозволяє зробити висновок: електрична дуга в поперечному потоці рідини в умовах РОД СКЗЕІ є високоефективним інструментом для розмірної обробки робочих спряжених пар розділових штампів.

Список літератури

1. Носуленко В. І. Розмірна обробка металів електричною дугою: Автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.03.07. /Кіровоградський держ. техн. ун-т. – К., 1999. – 32 с.
2. Пат. №29603 Україна, МПК (2006) B23H 1/00. Спосіб електроерозійної обробки робочих спряжених пар штампів суміщеної дії / В. І. Носуленко, В. М. Шмельов, П. М. Великий, О. С. Чумаченко (Україна), - №u200704716; Заявл. 27.04.2007; Зареєст. 25.01.2008.
3. Тиходеев Г.М. Энергетические свойства электрической сварочной дуги. – М. – Л.:АНСССР, 1961.
4. Лесков Г.И. Электрическая сварочная дуга. – М.: Машиностроение, 1970.
5. Сомервилл Дж.М. Электрическая дуга (пер. с англ.). – М.: Госенергоиздат, 1962.
6. Электроразрядная обработка металлов / Левинсон Е.М. и др. – Л.: Машиностроение, 1975.

В.Носуленко, В.Шмелёв

Электрическая дуга как инструмент для размерной обработки электрической дугой сопрягаемых пар рабочих деталей разделительных штампов

Описано энергетические характеристики электрической дуги при обработке стальными электродами в условиях размерной обработки электрической дугой (РОД) рабочих деталей разделительных штампов. Показано, что в условиях размерной обработки электрической дугой плотность тока и напряженность электрического поля дуги есть главным образом функциями динамического давления рабочей жидкости и тока дуги. Приведены типовые осциллограммы напряжения дуги и тока процесса РОД при обработке стальными электродами, из которых видно, что нет принципиальных отличий от типовых осциллограмм тока и напряжения известных сварочных и плазменных дуг, а сам процесс отличается более стабильными значениями тока и напряжения.

V.Nosulenko, V.Shmelyov

Electric arch as the tool for dimensional processing by an electric arch of interfaced pairs working details of dividing stamps

It is described power characteristics of an electric arch at processing by steel electrodes in the conditions of arc sizing machining (ASM) of working details of dividing stamps. It is shown that in the conditions of dimensional processing by an electric arch the density of a current and intensity of electric field of an arch is mainly functions of dynamic pressure of a working liquid and an arch current. Typical oscillograms of voltage of an arch and a current of process the ASM are resulted at processing by steel electrodes from which it is visible that there are no basic differences from typical oscillograms of a current and voltage of known welding and plasma arches, and process differs stabler values of a current and voltage.

Одержано 17.04.12

УДК 621.355:517.9

Т. Г. Сабірзянов, проф., д-р техн. наук, М. В. Кубкін, асист., В. П. Солдатенко, асист., В. В. Мартиненко, студент
Кіровоградський національний технічний університет

Узагальнена математична модель накопичувача енергії

В статті розглядається математичне моделювання акумуляторів енергії різної природи. Отримані рівняння динаміки для акумуляторної батареї (електрохімічного акумулятора) та теплового акумулятора (накопичувального бойлера).
математична модель, акумулятор, електрична енергія, теплова енергія

Узагальнена математична модель накопичувача енергії. В загальному випадку будь-яку систему накопичення енергії можна представити у вигляді моделі, наведеної на рис. 1 Тут $E_{\text{вх}}(t)$ — вхідний потік енергії (потік енергії, що надходить до накопичувача); $E_{\text{вих}}(t)$ — вихідний потік енергії (потік енергії, що відбирається з накопичувача); $E_{\text{втр}}(t)$ — потік втрат енергії накопичувача; $g(t)$ — кількість накопиченої енергії.

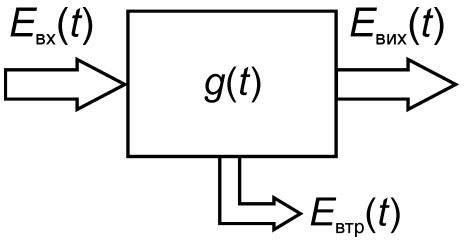


Рисунок 1 — Узагальнена модель накопичувача енергії

Згідно закону збереження енергії, зміна кількості енергії в накопичувачі за час Δt буде визначатись алгебраїчною сумою енергій, що надійшли до накопичувача та відібрались з нього за час Δt :

$$\begin{aligned} g(t+\Delta t)-g(t) &= E_{\text{вх}}(t)\Delta t - E_{\text{вих}}(t)\Delta t - E_{\text{втр}}(t)\Delta t = \\ &= \left[E_{\text{вх}}(t) - E_{\text{вих}}(t) - E_{\text{втр}}(t)\right]\Delta t. \end{aligned} \tag{1}$$

Приймемо, що втрата енергії накопичувача $E_{\text{втр}}(t)\Delta t$ буде залежати від кількості накопиченої енергії $g(t)$ і введемо поняття *«коефіцієнт втрат накопичувача енергії»*, який визначає частку від накопиченої енергії, яка буде втрачатись накопичувачем за час Δt :

$$\varepsilon(t) \triangleq \frac{E_{\text{втр}}(t)\Delta t}{g(t)},$$

звідки

© Т. Г. Сабірзянов, М. В. Кубкін, В. П. Солдатенко, В. В. Мартиненко, 2012

$$E_{\text{втр}}(t)\Delta t = \varepsilon(t)g(t)\,.$$

Враховуючи останній вираз, рівняння (1) можна записати як

$$g(t+\Delta t) - g(t) = E_{\text{вх}}(t)\Delta t - E_{\text{вих}}(t)\Delta t - \varepsilon(t)g(t)\,,$$

або після перетворення

$$g(t+\Delta t) = g(t)\left[1-\varepsilon(t)\right] + \left[E_{\text{вх}}(t) - E_{\text{вих}}(t)\right]\Delta t\,. \qquad (2)$$

Рівняння (2) будемо називати *рівнянням динаміки накопичувача енергії*. Це рівняння можна застосовувати для опису накопичувачів енергії різної фізичної природи. При цьому характер величин $\varepsilon(t)$, $E_{\text{вх}}(t)$, $E_{\text{вих}}(t)$ буде визначатись природою енергії, що накопичується (електрична, теплова, механічна, хімічна тощо).

Нижче будуть отримані рівняння динаміки для акумуляторної батареї (електрохімічного акумулятора) та теплового акумулятора (накопичувального бойлера).

Математична модель акумуляторної батареї. Основною характеристикою АБ є її *ємність* $C_{\text{АБ}}$. Ємністю АБ називають кількість електрики, що виражена в ампер-годинах, яку накопичувач може віддати при розряді струмом певної величини. При розряді номінальним струмом виробником гарантується номінальна ємність АБ — $C_{\text{АБ ном}}$.

З енергетичної точки зору АБ характеризується *ККД по енергії* $\eta^{\text{e}}_{\text{АБ}}$, який визначається відношенням кількості енергії, що отримана в процесі *розряду*, до кількості енергії, що отримала АБ в процесі *заряду* до початкового стану [1]:

$$\eta^{\text{e}}_{\text{АБ}} = \frac{U_{\text{розр ср}} I_{\text{розр ср}} t_{\text{розр}}}{U_{\text{зар ср}} I_{\text{зар ср}} t_{\text{зар}}}\,,$$

де $U_{\text{розр ср}}$, $U_{\text{зар ср}}$ — середні напруги розряду та заряду відповідно;

$I_{\text{розр ср}}$, $I_{\text{зар ср}}$ — середні струми розряду та заряду відповідно;

$t_{\text{розр}}$, $t_{\text{зар}}$ — час розряду та заряду відповідно.

Оскільки фізико-хімічні процеси, що відбуваються в АБ, є дуже складними, при створенні математичної моделі, яка буде використовуватись при визначенні складу комбінованої електроенргетичної системи (КЕС), введемо наступні припущення:

а) напруга АБ не залежить від режиму роботи батареї і дорівнює номінальній напрузі $U_{\text{АБ}} = U_{\text{АБ ном}} = \text{const}$;

б) ККД заряду (розряду) не залежить від струму заряду (розряду) та рівня заряду АБ і визначається як [2];

$$\eta_{\text{зар}} = \eta_{\text{розр}} = \sqrt{\eta^{\text{e}}_{\text{АБ}}}\,;$$

в) нехтуємо впливом температури оточуючого середовища на ємність АБ.

Вищезазначені припущення будуть справедливими при умовах експлуатації АБ в межах, що регламентуються виробником.

Потік енергії, що надходить до АБ:

$$E_{\text{АБ вх}}(t) = U_{\text{АБ}} I_{\text{зар}}(t) \eta_{\text{зар}}, \tag{3}$$

де $I_{\text{зар}}$ — струм заряду акумулятора;

$\eta_{\text{зар}}$ — ККД заряду.

Потік енергії, що відбирається з АБ:

$$E_{\text{АБ вих}}(t) = U_{\text{АБ}} I_{\text{розр}}(t) \eta_{\text{розр}}, \tag{4}$$

де $I_{\text{розр}}$ — струм розряду акумулятора;

$\eta_{\text{розр}}$ — ККД розряду.

Кількість енергії, що накопичено АБ на момент часу *t*:

$$g_{\text{АБ}}(t) = U_{\text{АБ}} C_{\text{АБ}}(t), \tag{5}$$

де $C_{\text{АБ}}(t)$ — ємність АБ в момент часу *t*.

Коефіцієнт втрат потужності накопичувача $\varepsilon_{\text{АБ}}(t)$ для АБ можна визначити з величини *саморозряду* АБ σ. Під саморозрядом розуміють неперервну втрату хімічної енергії, що накопичена в АБ, внаслідок побічних реакцій на пластинах обох полярностей, що викликані домішками в матеріалах АБ або домішками, які виникли в електроліті під час експлуатації. Кількісно саморозряд визначається за наступним виразом [3]:

$$\sigma = \frac{C_{\text{АБ}}(t) - C_{\text{АБ}}(t + \Delta t)}{C_{\text{АБ}}(t) \cdot \Delta t}, \tag{6}$$

де $C_{\text{АБ}}(t)$ — ємність АБ в момент часу *t*;

$C_{\text{АБ}}(t + \Delta t)$ — ємність АБ в момент часу $t + \Delta t$.

Помноживши чисельник і знаменник (6) на $U_{\text{АБ}}$ і врахувавши (5), отримаємо

$$\sigma = \frac{U_{\text{АБ}} C_{\text{АБ}}(t) - U_{\text{АБ}} C_{\text{АБ}}(t + \Delta t)}{U_{\text{АБ}} C_{\text{АБ}}(t) \cdot \Delta t} = \frac{g_{\text{АБ}}(t) - g_{\text{АБ}}(t + \Delta t)}{g_{\text{АБ}}(t) \cdot \Delta t}. \tag{7}$$

З рівняння (1) враховуючи, що саморозряд визначають при відключеній АБ ($E_{\text{АБ вх}}(t) = E_{\text{АБ вих}}(t) = 0$), чисельник (7) буде дорівнювати $E_{\text{втр}}(t)\Delta t$. Таким чином,

$$\sigma = \frac{E_{\text{втр}}(t)\Delta t}{g(t) \cdot \Delta t} = \frac{\varepsilon_{\text{АБ}}}{\Delta t},$$

звідки остаточно

$$\varepsilon_{\text{АБ}} = \sigma \Delta t. \tag{8}$$

Підставивши (4) – (5), (8) в рівняння динаміки накопичувача (2), отримаємо:

$$U_{\text{АБ}}C_{\text{АБ}}(t+\Delta t)=U_{\text{АБ}}C_{\text{АБ}}(t)\left(1-\sigma\Delta t\right)+\left[U_{\text{АБ}}I_{\text{зар}}(t)\eta_{\text{зар}}-U_{\text{АБ}}I_{\text{розр}}(t)\eta_{\text{розр}}\right]\Delta t\,,$$

або

$$C_{\text{АБ}}(t+\Delta t)=C_{\text{АБ}}(t)\left(1-\sigma\Delta t\right)+\left[I_{\text{зар}}(t)\eta_{\text{зар}}-I_{\text{розр}}(t)\eta_{\text{розр}}\right]\Delta t\,. \qquad (9)$$

В закордонній практиці розрахунків режимів роботи КЕС ємність АБ характеризується наступними величинами:

а) рівнем заряду батареї SOC(t) (*англ.* state of charge) [4], який визначається відношенням поточної ємності АБ до номінальної:

$$\text{SOC}(t)=\frac{C_{\text{АБ}}(t)}{C_{\text{АБ ном}}};$$

б) глибиною розряду DOD(t) (*англ.* depth of discharge):

$$\text{DOD}(t)=1-\text{SOC}(t)\,.$$

Розділивши обидві частини (9) на $C_{\text{АБ ном}}$, отримаємо:

$$\text{SOC}(t+\Delta t)=\text{SOC}(t)\left(1-\sigma\Delta t\right)+\frac{\left[I_{\text{зар}}(t)\eta_{\text{зар}}-I_{\text{розр}}(t)\eta_{\text{розр}}\right]\Delta t}{C_{\text{АБ ном}}}\,. \qquad (10)$$

На режими роботи АБ накладаються обмеження:

а) за рівнем заряду батареї:

$$\text{SOC}_{\min}\le\text{SOC}(t)\le\text{SOC}_{\max}\,, \qquad (11)$$

де $\text{SOC}_{\min}$ — мінімальний рівень заряду АБ, який нормується виробником;

$\text{SOC}_{\max}$ — максимальний рівень заряду АБ ($\text{SOC}_{\max}=1$);

б) за струмом АБ:

при заряді:

$$I_{\text{зар}}(t+\Delta t)=\begin{cases}I_{\text{АБ max}}, & \dfrac{C_{\text{АБ ном}}}{\Delta t}\left[\text{SOC}_{\max}-\text{SOC}(t)\right]\ge I_{\text{АБ max}};\\[2ex] \dfrac{C_{\text{АБ ном}}}{\Delta t}\left[\text{SOC}_{\max}-\text{SOC}(t)\right], & \dfrac{C_{\text{АБ ном}}}{\Delta t}\left[\text{SOC}_{\max}-\text{SOC}(t)\right]<I_{\text{АБ max}};\end{cases} \qquad (12)$$

при розряді:

$$I_{\text{ðî çð}}(t+\Delta t)=\begin{cases}I_{\text{ÀÁmax}}, & \dfrac{C_{\text{ÀÁí îì}}}{\Delta t}\left[\text{SOC}(t)-\text{SOC}_{\min}\right]\ge I_{\text{ÀÁmax}};\\[2ex] \dfrac{C_{\text{ÀÁí îì}}}{\Delta t}\left[\text{SOC}(t)-\text{SOC}_{\min}\right], & \dfrac{C_{\text{ÀÁí îì}}}{\Delta t}\left[\text{SOC}(t)-\text{SOC}_{\min}\right]<I_{\text{ÀÁmax}},\end{cases} \qquad (13)$$

де $I_{\text{АБ max}}$ — максимально допустимий струм АБ.

Математична модель теплового акумулятора. В якості теплового акумулятора будемо розглядати накопичувальний бойлер. Основними технічними характеристиками бойлера виступають: номінальний об'єм води — $V_{\text{ТА}}$, максимальна температура води — $\vartheta_{\max}$.

При створенні математичної моделі будемо вважати, що рівень води в ТА залишається незмінним ($V_{\text{ТА}} = \text{const}$), тому що витрачена гаряча вода заміщується холодною водою з водопроводу; тиск дорівнює нормальному атмосферному.

Потік енергії, що надходить до ТА:

$$E_{\text{ТА вх}}(t) = I_{\text{ТА}}^2(t) R_{\text{ТА}} \Delta t\,, \tag{14}$$

де $I_{\text{ТА}}(t)$ — сила струму в нагрівальному елементі в момент часу *t*;

$R_{\text{ТА}}$ — опір нагрівального елементу.

Потік енергії, що відбирається з ТА:

$$E_{\text{ТА вих}}(t) = \rho G_{\text{ТА}}(t) h_{\text{ТА}}(t) \Delta t\,, \tag{15}$$

де ρ — густина води;

$G_{\text{ТА}}(t)$ — витрата води в момент часу *t*;

$h_{\text{ТА}}(t)$ — ентальпія води в момент часу *t*.

Кількість енергії, що накопичено ТА на момент часу *t*:

$$g_{\text{ТА}}(t) = \rho V_{\text{ТА}} h_{\text{ТА}}(t)\,. \tag{16}$$

Коефіцієнт втрат енергії на момент часу *t*:

$$\varepsilon_{\text{ТА}}(t) = \frac{E_{\text{втр}}(t)\Delta t}{g_{\text{ТА}}(t)} = \frac{\alpha K F_{\text{пов}} \left[\vartheta(h_{\text{ТА}}) - \vartheta_0\right] \Delta t}{\rho V_{\text{ТА}} h_{\text{ТА}}(t)}\,, \tag{17}$$

де α — коефіцієнт тепловіддачі з поверхні ТА;

K — коефіцієнт, що враховує зменшення температури поверхні баку (залежить від коефіцієнта теплопровідності стінок ТА);

$F_{\text{пов}}$ — площа поверхні ТА;

$\vartheta(h_{\text{ТА}})$ — температура води в ТА, яка є функцією ентальпії води:

$$\vartheta(h_{\text{ТА}}) = 0,239 \cdot 10^{-3} h_{\text{ТА}};\quad 0 \le h_{\text{ТА}} \le 419,1 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг};$$

ϑ_0 — температра оточуючого середовища.

Таким чином рівняння динаміки ТА буде мати вид:

$$\rho V_{\text{ÒA}} h_{\text{ÒA}}(t + \Delta t) = \rho V_{\text{ÒA}} h_{\text{ÒA}}(t) \left\{1 - \frac{\alpha K F_{\text{ïîâ}} \left[\vartheta(h_{\text{ÒÀ}}) - \vartheta_0\right] \Delta t}{\rho V_{\text{ÒA}} h_{\text{ÒA}}(t)}\right\} + \left[I_{\text{ÒÀ}}^2(t) R_{\text{ÒÀ}} - \rho G_{\text{ÒÀ}}(t) h_{\text{ÒÀ}}(t)\right] \Delta t,$$

або

$$h_{\text{ТА}}(t+\Delta t)=h_{\text{ТА}}(t)\left\{1-\frac{\alpha K F_{\text{пов}}\left[\vartheta(h_{\text{ТА}})-\vartheta_0\right]\Delta t}{\rho V_{\text{ТА}} h_{\text{ТА}}(t)}\right\}+\frac{I_{\text{ТА}}^2(t)R_{\text{ТА}}-\rho G_{\text{ТА}}(t)h_{\text{ТА}}(t)}{\rho V_{\text{ТА}}}\Delta t\,. \qquad (18)$$

Висновки. Таким чином була запропонована узагальнена математична модель накопичувача енергії, яка дозволяє отримати рівняння для пристрою акумулювання у залежності від накопиченої енергії (електрична, теплова, механічна, хімічна тощо).

Були отримані рівняння динаміки для акумуляторної батареї (електрохімічного акумулятора) та теплового акумулятора (накопичувального бойлера).

Розроблені математичні моделі можна використовувати при розробці імітаційних моделей енергетичних систем, що використовують системи накопичення електричної та теплової енергії.

Список літератури

1. Скоков Я.М. Химические источники тока. Стационарные аккумуляторы Мн.: ЗАО «Техноперспектива», 2004. — 102 с.
2. Duffie J. Solar engineering of thermal processes / J. Duffie, W. Beckman. — John Wiley & Sons, Inc, New York — 1980.
3. Бут Д.А. Накопители энергии / Д.А. Бут, Б.Л. Алиевский, С.Р. Мизюрин, П.В. Васюкевич. — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 400 с.
4. Yang H A novel optimization sizing model for hybrid solar-wind power generation system / H Yang, L Lu, W Zhou, Solar Energy 81 (2007), 76—84 p

Т. Сабирзянов, М. Кубкин, В. Солдатенко, В. Мартыненко
Обобщенная математическая модель накопителя энергии

В статье рассматривается математическое моделирование аккумуляторов энергии разной природы. Получены уравнения динамики для аккумуляторной батареи (электрохимического аккумулятора) и теплового аккумулятора (накопительного бойлера).

T. Sabirzanov, M. Kubkin, V. Soldatenko, V. Martynenko
Generalized mathematical model of store of energy

The article deals with mathematical modeling of energy storage devices of different nature. The equations for the dynamics of the battery (electrochemical battery) and the heat accumulator (storage boiler).

Одержано 30.12.11

УДК 621.923.5

М.М. Підгаєцький, доц. к.т.н., К.К.Щербина, асп., Л.В. Копосова, магістрант
Кіровоградський національний технічний університет

Хонінгування отворів великих діаметрів

В статі розглядається дослідження хонінгування отворів великих діаметрів з використанням еластичних алмазних хонінгувальних брусків у порівнянні з іншими хонінгувальними брусками. Розглянута система регулювання радіального розміру на базі пружного гвинтового хону для обробки отворів великих діаметрів. Наведені залежності між знімаємим припуском та тривалістю обробки різними хонінгувальними брусками.
хонінгування, хонінгувальний брусок, еластичний алмазний хонінгувальний брусок

При хонінгуванні отворів великих діаметрів чавунних заготовок, які мають міцність не менше 30 HRc, має місце утруднене знімання великого шару металу,що пов’язане з великими силами різання, які виникають в процесі обробки. Крім того, після попередньої токарної обробки залишаються значні внутрішні напруження, які викликають відхилення отвору від циліндричності в межах до 0.1 мм [1].

Тому, була поставлена мета визначити оптимальні умови хонінгування і характеристик алмазних брусків, які забезпечують стабільне зніманні підвищеного припуску.

Дослідження проводили на експериментальній моделі мехатроного продукційного хонінгувального верстата з адаптивно-програмним керуванням. При обробці деталі картер УЯИШ.731158.001 з чавуну ВЧ 500 (діаметр 114 і довжиною 216 мм) використовувалась система регулювання радіального розміру (СРРР) на базі пружно гвинтового хону (ПГХ). В якості мастильної охолоджувальної рідини (МОР) використовувалась масляна МОР Аріан ОСМ-1 ТУ У. 23.2-205741-28-01-2003.

Розглянемо конструкцію СРРР для обробки отворів великих діаметрів. СРРР на базі ПГХ (рис.1) складається з оправки 3 виконаної у вигляді двоступеневого тіла обертання з триступеневим осьовим отвором. В осьовому отворі ступеня меншого діаметру розміщуються елементи, які утворюють гідростатичний тиск, що необхідний для деформації ПГХ 1. В тому числі муфта 7, стакан 6, оболонкова форма направленої дії (ОФНД) 4, різьбова втулка 5.

При цьому ОФНД 4 опирається на дно отвору ступеня більшого діаметру і притискається до нього різьбовою втулкою 5. Різьбовий отвір втулки 5 з’єднаний із стаканом 6, який в свою чергу з’єднаний з муфтою 7. Муфта 7 притискається до торцевої поверхні різьбової втулки 5 за допомогою гайок 10. Зовнішня сторона стакану 6 виконана для його приєднання до карданного валу верстату.

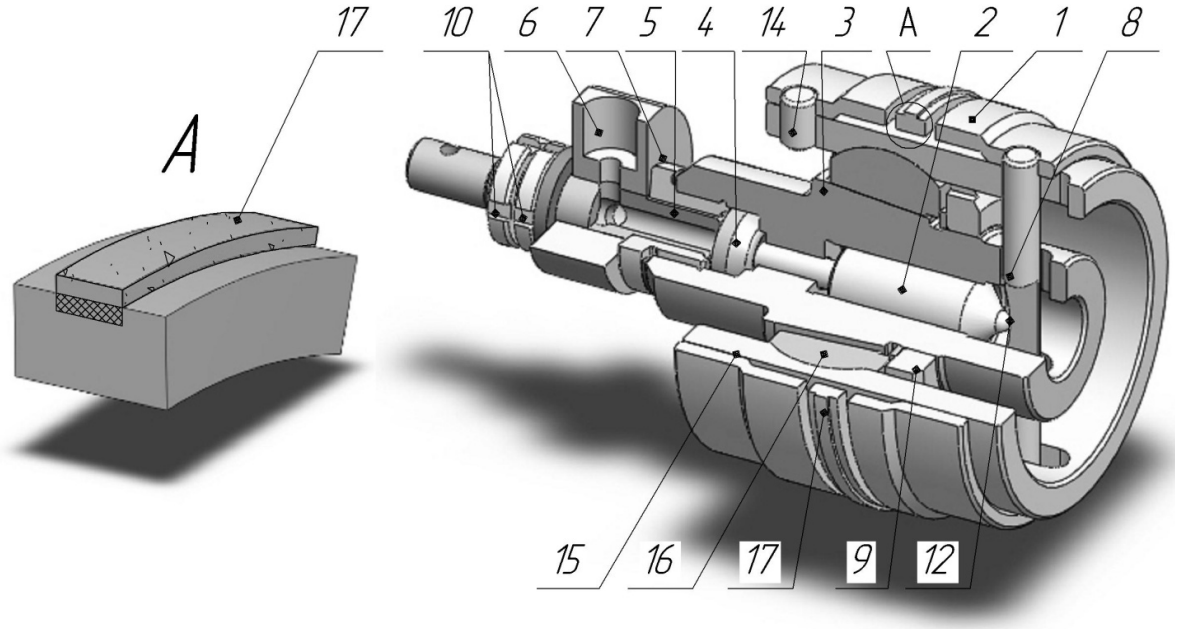
ПГХ 1 встановлюється на втулці 15 за рахунок штифтів 8, 14. Втулка 15 має тороподібні пази, які спряжені з зовнішньою тороподібною поверхнею розрізної обойми 16 з радіусом $R_{сф1}$. Розрізна обойма 16 спрягається своєю внутрішньою конічною поверхнею з зовнішньою конічною поверхнею більшої ступені оправки 3, після чого підтискається гайками 9 для забезпечення центрування ПГХ 1. Подібне виконання забезпечує можливість самовстановлення по обробляємому отвору.

Контакт штифта 8 і товкача 2 здійснюється за допомогою сфери $R_{сф2}$, виконаний концентрично до сферичної поверхні обойми 16, що призводить до зменшення контактних напруженнь.

© М.М. Підгаєцький, К.К.Щербина, Л.В. Копосова, 2012

Принцип дії СРРР на базі ПГХ для відділкової алмазно-абразивної обробки отворів великих діаметрів.

Робочі цикли здійснюються внаслідок подачі робочої рідини через муфту 7 і стакан 6 у внутрішню порожнину ОФНД 4.



1 – ПГХ; 2 – товкач; 3 – оправка; 4 – ОФНД; 5 – різьбова втулка; 6 – стакан; 7 – муфта; 8 – штифт; 9 – гайки для створення початкової пружної деформації; 10 – гайки для фіксації положення стержня; 11 – ущільнюючі елементи; 12 – поверхня контакту товкача та штифта; 14 – штифт; 15 – втулка; 16 – обойма; 17 – еластичний алмазний хонінгувальний брусок АББХ по ТУ 2-037-1.046-90

Рисунок 1 – СРРР на базі ПГХ

Перед початком обробки тиск, який утвориться в порожнині, пружно здеформує дно ОФНД 4 і через товкач 2, який взаємодіє із штифтом 8 здеформує ПГХ 1 в напрямку його геометричної вісі. Така осьова деформація ПГХ забезпечить зменшення власного радіального розміру.

В процесі обробки тиск, який утворився буде рівномірно зменшуватися, що призведе до того, що ПГХ 1 почне повертатися до початкового стану, що призведе до збільшення його радіального розміру.

Даний процес дозволяє налаштовувати СРРР на базі ПГХ на необхідний радіальний розмір в процесі обробки з максимально можливою точністю. Далі визначимо налагоджувальні параметри процесу обробки.

Призначимо режими різання, колова швидкість 37 м/хвл, швидкість зворотно-поступального руху 12-16 м/хвл, тиск ρ=0,8-1,3 МПа. Для стандартних брусків зернистість 160/125 і 250/200 допустимий тиск ρ=1,3 МПа; при зернистості 315/250 і більше ρ=0,4 МПа. Для еластичних алмазних хонінгувальних брусків будь-якої зернистості ρ=1,3 МПа.

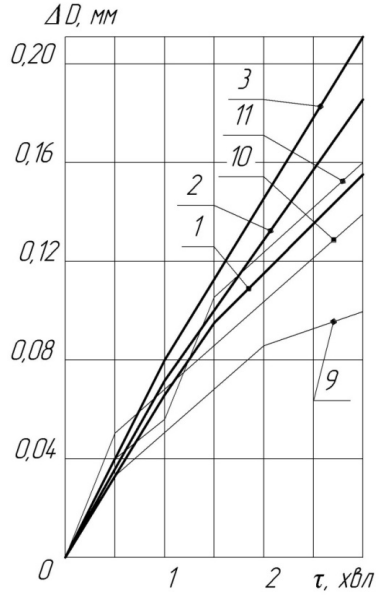
Отже, в однакових умовах оброблялись від 8 до 20 картерів. При цьому визначали: середню продуктивність Q ($мм^3$/хвл.) брусків при хонінгуванні одного картеру на протязі 3 хвл.; припуск ΔD (мм); стійкість С брусків (шт.); по величині їх лінійного зносу; шорсткість R_a (мкм) обробляємої поверхні. Характеристики досліджень працеспроможності стандартних і еластичних алмазних хонінгувальних брусків приведені в табл.1.[1,2,3]

Таблиця 1 – Характеристика хонінгувальних брусків

№	Марка алмазу	Зернистість алмазів	Концентрація алмазів	Зв'язка
Стандартні хонінгувальні бруски				
1	АСЧ	160/125	100%	М5-14
2	АСЧ	200/160	50%	М5-06
3	АРК4	250/200	100%	М2-01
4	АРС3	400/315	50%	М5-10
5	АРК4	500/400	50%	М5-06
6	АРК4	630/500	50%	М5-06
7	АРК4	630/500	50%	М5-03
8	АРК4	800/630	50%	М5-06
Еластичні алмазні хонінгувальні бруски				
9	АРК4	100/80	100%	В2-04
10	АРС3	250/200	50%	ВС12
11	АРС3	250/200	25%	ВС12
12	АРС3	400/315	50%	ВС12
13	АРС3	400/315	25%	ВС12
14	АРС3	630/500	50%	ВС13

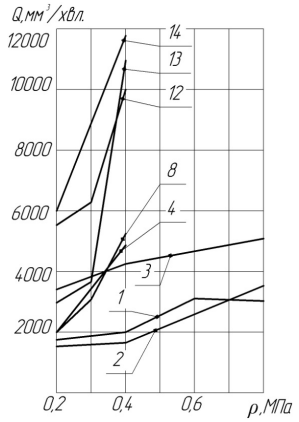
Випробуваннями встановлено, що процес хонінгування високоміцного чавуна має незгасаючий характер. Величина знімання припуску приблизно пропорційна тривалості обробки і залежить в основному від зернистості брусків (рис.2)

У відповідності до рис.2. продуктивність стандартних хонінгувальних брусків в 1.5-2 рази менша, ніж у еластичних алмазних хонінгувальних брусків. В процесі обробки утворюється зливна стружка, котра сприяє вивільненню алмазних зерен. Це скорочує стійкість брусків, особливо крупнозернистих але забезпечують високу продуктивність обробки (рис.3).



1,2,3,9,10,11 – номер хонінгувального бруска у відповідності до табл.1

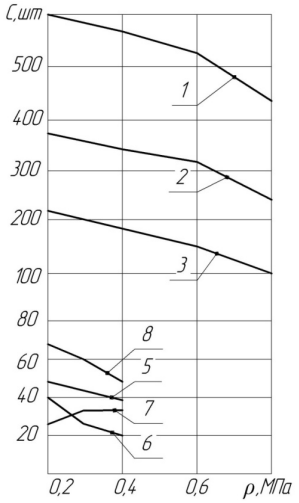
Рисунок 2 – Залежність знімаємого припуску ΔD від тривалості обробки τ різними хонінгувальними брусками



1,2,3,4,8,12,13,14 – номер хонінгувального бруска у відповідності до табл.1

Рисунок 3 - Залежність продуктивності обробки Q від тиску ρ

Стійкість брусків (рис.4) в більшій мірі залежить від їх зернистості, а з зменшенням зернистості збільшується стійкість брусків. Тому, при хонінгуванні високоміцного чавуну слід використовувати мілко зернисті бруски, якщо при цьому забезпечуються продуктивність, шорсткість оброблюємої поверхні та іншу вимоги. При використанні брусків зернистістю більше 250/200 утворюється крупна зливна стружка, яка періодично впроваджується в зв'язку, що призводить до натирання оброблюємої поверхні, її нагріва та до інших негативних явищ.



1,2,3,5,6,7,8– номер хонінгувального бруска у відповідності до табл.1

Рисунок 4 – Залежність стійкості С брусків від тиску ρ

Отже, можна прийди до висновку, що при хонінгуванні високоміцного чавуна більш доцільно використовувати хонінгувальні бруски з меншою зернистістю. Використання еластичних алмазних хонінгувальних брусків дозволило підвищити продуктивність 1-1.5 рази. Використання СРРР на базі ПГХ дозволило покращити відхилення від циліндричної форми поверхні.

Список літератури

1. Ю.С. Сире, И.К. Мазур, А.Я. Шапиро, В.А. Солдатов Алмазное хонингование стальных гильз. Станки и инструмент. 1992. №3 с. 17-19.
2. Прогрессивные методы хонингования. /С.И. Куликов, Ф.Ф. Ризванов, В.А. Романчук, С.В. Ковалевский, - М.: Машиностроение, 1983. – 134 с.
3. Хонингование. Справочное пособие. / С.И. Куликов. Р.А. Романчук, Ф.Ф. Ризванов, Ю.М. Евсеев. М.: Машиностроение, 1973. – 168 с.

М. Подгаецкий, К. Щербина, Л. Копосова
Хонингование отверстий больших диаметров

В статье рассматривается исследование хонингования отверстий больших диаметром с использованием эластичных алмазных хонинговальных брусков в сравнении с другими хонинговальными брусками. Рассмотрена система регулирования радиального размера на основе упругого винтового хона для обработки отверстий больших диаметров. Приведены зависимости между снимаемым припуском и продолжительностью обработки различными хонинговальными брусками.

M. Podgaetski,. K. Scherbina, L.Koposova
Honing of apertures of big diameters

In article research honing apertures big with use elastic diamond honing whetstones in comparison with others honing whetstones is considered in diameter. The system of regulation of the radial size on the basis of elastic screw honing for processing of apertures of big diameters is considered. Dependences between a removed allowance and duration of processing various honing whetstones are resulted.

Одержано 22.02.12

УДК 621.9.048.4

В.М. Боков, проф., канд. техн. наук, О. Ф. Сіса, викл., М.І. Попова, доц. канд. техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет

Гідродинаміка процесу біполярної обробки електричною дугою двох твердосплавних валків

Запропоновано принцип активного керування гідродинамічним режимом потоку в торцевому зазорі при біполярної обробки дугою двох твердосплавних валків.
електрична дуга, гідродинамічний потік, торцевий міжелектродний зазор, статичний тиск робочої рідини на вході потоку в зазор, сумарний гідравлічний опір, номограма «зазор – витрата - тиск»

Із роботи [1] відомо, що при реалізації процесу розмірної обробки металів електричною дугою динамічний тиск робочої рідини в торцевому МЕЗ є основним параметром взаємодії дуги з поперечним потоком. Він визначається за формулою, Па:

$$P_{\partial} = \frac{\rho \cdot V_{m\,(вх)}^2}{2}, \qquad (1)$$

де ρ - густина робочої рідини, кг/м^3;

$V_{m\,(вх)}$ – швидкість потоку, яка, наприклад, на вході потоку в торцевий зазор (рис. 1.1) визначається формулою, м/с:

$$V_{m\,(вх)} = \frac{Q}{F} = \frac{Q}{\pi D \delta_{m\,(вх)}}, \qquad (2)$$

де Q – витрата робочої рідини крізь МЕП, м^3/с;

© В.М. Боков, О. Ф. Сіса, М.І. Попова, 2012

М. Подгаецкий, К. Щербина, Л. Копосова
Хонингование отверстий больших диаметров

В статье рассматривается исследование хонингования отверстий больших диаметром с использованием эластичных алмазных хонинговальных брусков в сравнении с другими хонинговальными брусками. Рассмотрена система регулирования радиального размера на основе упругого винтового хона для обработки отверстий больших диаметров. Приведены зависимости между снимаемым припуском и продолжительностью обработки различными хонинговальными брусками.

M. Podgaetski,. K. Scherbina, L.Koposova
Honing of apertures of big diameters

In article research honing apertures big with use elastic diamond honing whetstones in comparison with others honing whetstones is considered in diameter. The system of regulation of the radial size on the basis of elastic screw honing for processing of apertures of big diameters is considered. Dependences between a removed allowance and duration of processing various honing whetstones are resulted.

Одержано 22.02.12

УДК 621.9.048.4

В.М. Боков, проф., канд. техн. наук, О. Ф. Сіса, викл., М.І. Попова, доц. канд. техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет

Гідродинаміка процесу біполярної обробки електричною дугою двох твердосплавних валків

Запропоновано принцип активного керування гідродинамічним режимом потоку в торцевому зазорі при біполярної обробки дугою двох твердосплавних валків.
електрична дуга, гідродинамічний потік, торцевий міжелектродний зазор, статичний тиск робочої рідини на вході потоку в зазор, сумарний гідравлічний опір, номограма «зазор – витрата - тиск»

Із роботи [1] відомо, що при реалізації процесу розмірної обробки металів електричною дугою динамічний тиск робочої рідини в торцевому МЕЗ є основним параметром взаємодії дуги з поперечним потоком. Він визначається за формулою, Па:

$$P_{\partial} = \frac{\rho \cdot V_{m\,(вх)}^2}{2}, \qquad (1)$$

де ρ - густина робочої рідини, кг/м^3;

$V_{m\,(вх)}$ – швидкість потоку, яка, наприклад, на вході потоку в торцевий зазор (рис. 1.1) визначається формулою, м/с:

$$V_{m\,(вх)} = \frac{Q}{F} = \frac{Q}{\pi D \delta_{m\,(вх)}}, \qquad (2)$$

де Q – витрата робочої рідини крізь МЕП, м^3/с;

© В.М. Боков, О. Ф. Сіса, М.І. Попова, 2012

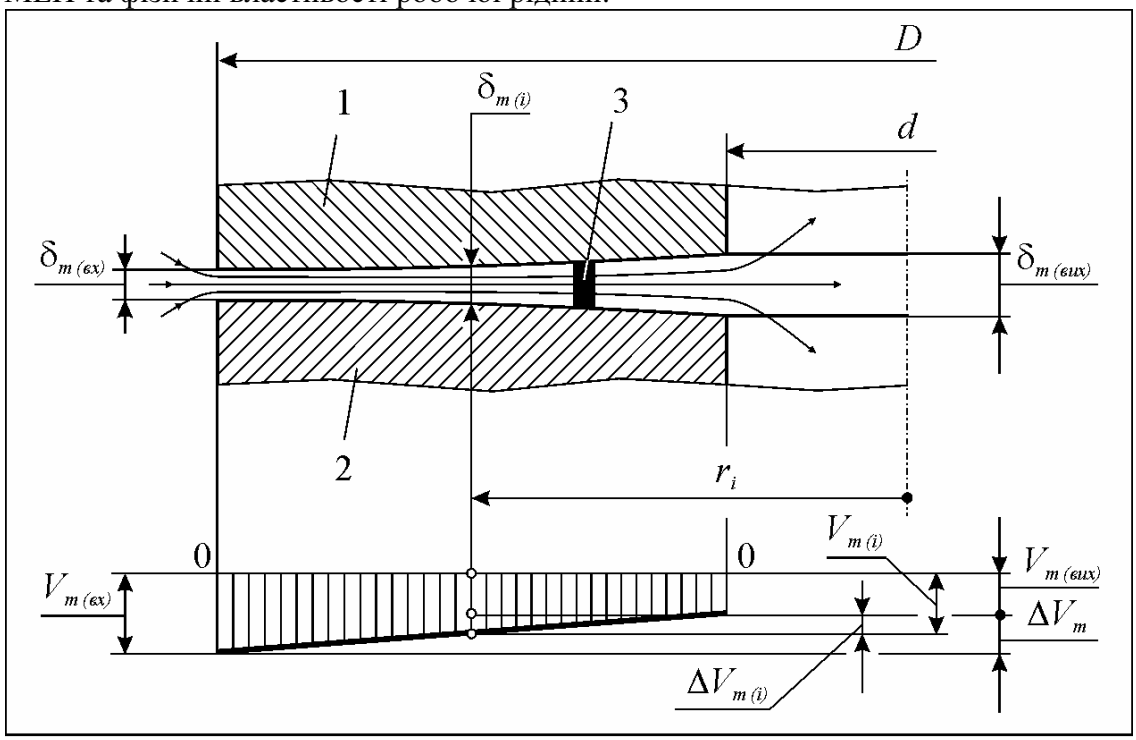
D – зовнішній діаметр зразка, м;

$\delta_{m\,(вх)}$ – значення МЕЗ на вході потоку в торцевий міжелектродний зазор, м.

Таким чином, для керування динамічним тиском необхідно контролювати витрату робочої рідини крізь МЕП та мати інформацію про величину МЕЗ. Керування витратою робочої рідини можна здійснювати витратоміром [38], але інформація про величину МЕЗ під час обробки не відома.

Мета роботи – активне керування гідродинамічним фактором.

В роботі [2] показана можливість керування гідродинамічним фактором шляхом зміни статичного тиску робочої рідини на вході потоку в МЕП P_{cm}. Тиск є більш зручним на практиці параметром, так як легко контролюється манометром. Для активного керування процесом одночасної біполярної РОД двох твердосплавних валків, зокрема гідродинамічним фактором режиму обробки, визначимо теоретичну залежність статичного тиску робочої рідини на вході в МЕП P_{cm} від факторів, що визначають геометричні параметри МЕП, гідродинамічні характеристики потоку в МЕП та фізичні властивості робочої рідини.



1 - верхній (рухомий) валок;
2 - нижній (нерухомий) валок; 3 - електрична дуга

Рисунок 1 - Розрахункова схема міжелектродного проміжку як елемента гідравлічного опору для реалізації одночасної біполярної РОД двох твердосплавних валків

Чорнова одночасна біполярна РОД двох твердосплавних валків здійснюється за умовою досягання максимально можливої продуктивності обробки ($M = M_{max}$), а отже обробка ведеться на підвищених технологічних струмах та на зменшених швидкостях прокачування робочої рідини крізь МЕП. Такий режим РОД називається жорсткий. Процес РОД реалізується при використанні схеми формоутворення (рис. 4.1), що характеризується наявністю нерухомого нижнього валка, поступального руху верхнього валка та однозонного способу зворотного прокачування робочої рідини крізь торцевий МЕЗ під технологічним тиском.

За даними роботи [2] при реалізації жорсткого режиму із підвищенням сили технологічного струму швидкість потоку на виході із торцевого МЕЗ $V_{m\,(вих)}$, порівняно із швидкістю потоку на вході в торцевий МЕЗ $V_{m\,(вх)}$, зменшується у зв'язку із

збільшенням торцевого МЕЗ у напрямку евакуації продуктів ерозії. Показано, що до певної величини сили струму спостерігається рівновага між об'ємами зруйнованого та вилученого за межі МЕП матеріалу електродів. Режим, при якому сила струму I дорівнює силі струму короткого замикання $I_{кз}$, відповідає максимально можливій продуктивності обробки та характеризується критичним значенням коефіцієнта відносної швидкості потоку на виході з торцевого МЕЗ, який, як показали чисельні експерименти, дорівнює

$$\left[\frac{V_{m\,(вих)}}{V_{m\,(вх)}}\right]_к = 0{,}5\,. \qquad (3)$$

Встановлено, що коли $V_{m\ (вих)}/V_{m\ (вх)} < 0{,}5$, швидкість потоку на виході із торцевого МЕЗ $V_{m\ (вих)}$ недостатня для вилучення великих за масою часток продуктів ерозії, тому вони залишаються в торцевому зазорі, вторинно диспергуються, внаслідок чого продуктивність обробки зменшується. Крім того, спостерігаються короткі замикання, процес дестабілізується, а при подальшому підвищенні сили струму припиняється.

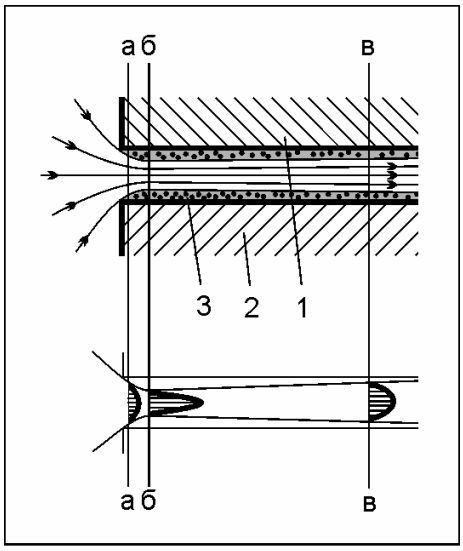
Таким чином для гідродинамічних розрахунків доцільно прийняти таку схему течії робочої рідини в торцевому МЕЗ, яка відповідає умові (3).

Приймаємо закон зміни швидкості робочої рідини у радіальному напрямку торцевого МЕЗ лінійний. Можливість прийняття такої умови підтверджується роботою [2], яка стосується теж жорсткого режиму РОД, але для іншої технологічної схеми формоутворення.

За роботою [3] розрізняють два види втрат повного тиску: втрати на тертя (опір тертя) та місцеві втрати (місцеві опори). Для зручності обидва види втрат сумують за принципом їх накладання (принцип суперпозиції). Втрату повного тиску $P_{ст}$, або сумарний гідравлічний опір МЕП $P_{сум}$, для вибраної технологічної схеми формоутворення можна представити у наступному вигляді

$$P_{ст} = \sum_{i=1}^{n} \Delta P_i = \Delta P_{вх} + \Delta P_m + \Delta P_{вих}, \qquad (4)$$

де $\Delta P_{вх}, \Delta P_m, \Delta P_{вих}$ - втрати тиску, відповідно, на вході потоку в МЕП, в торцевому МЕП, на виході потоку з МЕП, Па.



1 - верхній валок;
2 - нижній валок

Рисунок 2 - Динаміка зміни профілей швидкостей потоку на вході в зазор

Підвищення кінетичної енергії робочої рідини на вході в МЕП відбувається за рахунок зменшення її потенціальної енергії. Перш ніж ввійти в МЕП, робоча рідина проходить простір, що частково обмежено поверхнями, які прилягають до вхідних відносно гострих кромок електродів (валків), і відривається поблизу входу від поверхонь електродів (рис. 2). Цей відрив та викликане ним вихроутворення є основними джерелами місцевих втрат тиску на вході потоку в МЕП $\Delta P_{вх}$. Втрати тиску на вході потоку в МЕП $\Delta P_{вх}$ (Па) можна розрахувати за формулою

$$\Delta P_{вх} = \xi_{вх} \frac{\rho V_{m\,(вх)}^2}{2} = \xi_{вх} \frac{\rho Q^2}{2\pi^2 D^2 \delta_{m\,(вх)}^2}, \qquad (5)$$

де $V_{m\,(вх)}$ - швидкість потоку на вході в торцевий МЕЗ, м/с; див. вираз (2).

Втрати тиску в торцевому МЕП ΔP_m визначаються наступним інтегралом, (Па)

$$\Delta P_m = \int_{a=\sqrt{2D\delta_{m\,(вх)}}}^{b=0{,}5D} \Delta P_{m\,(i)} dr = \int_{a=\sqrt{2D\delta_{m\,(вх)}}}^{b=0{,}5D} \xi_{m\,(i)} \frac{\rho V_{m\,(i)}^2}{2} dr =$$

$$= \frac{48\nu\rho Q}{\pi D^3 \delta_{m\,(вх)}^3} \int_{a=\sqrt{2D\delta_{m\,(вх)}}}^{b=0{,}5D} \left(r_i - \sqrt{2D\delta_{m\,(вх)}}\right) \cdot \left(0{,}5 + \frac{r_i - \sqrt{2D\delta_{m\,(вх)}}}{D - 2\sqrt{2D\delta_{m\,(вх)}}}\right)^3 r_i dr; \quad (6)$$

де $\xi_{m\,(i)}$ - змінне значення коефіцієнта гідравлічного опору в торцевому МЕЗ

$$\xi_{m\,(i)} = \frac{\lambda_{m\,(i)} \cdot l_{m\,(i)}}{D_{г\,(m)\,i}}; \quad (7)$$

ρ - густина органічного середовища, кг/м^3;

$l_{m\,(i)}$ – змінне значення довжини каналу, м;

$\lambda_{m\,(i)}$ - змінне значення лінійного коефіцієнта гідравлічного тертя у торцевому МЕЗ. Для визначення закону зміни даного коефіцієнта оцінимо режим течії робочої рідини в торцевому МЕЗ. Введемо поняття коефіцієнта k_m, що показує у скільки разів число Рейнольда на виході потоку із торцевого МЕЗ $\mathrm{Re}_{m\,(вих)}$ більше числа Рейнольда на вході потоку в торцевий МЕЗ $\mathrm{Re}_{m\,(вх)}$:

$$k_m = \frac{\mathrm{Re}_{m\,(вих)}}{\mathrm{Re}_{m\,(вх)}} = \frac{D}{2\sqrt{2D\delta_{m\,(вх)}}}. \quad (8)$$

Вираз (8) отримано з використанням умови (3). В діапазоні зміни діаметрів ЕЗ $26\cdot10^{-3} < D < 215\cdot10^{-3}$ м та зазорів ($\delta_{m\,(вх)} = \delta_б$) на вході потоку в торцевий МЕЗ $0{,}03\cdot10^{-3} < \delta_{m\,(вх)} < 0{,}1\cdot10^{-3}$ м, коефіцієнт k_m змінюється у межах $1{,}9 < k_m < 10{,}0$. Тоді можливі діапазони зміни чисел Re при швидкостях потоку $V_{m\,(вх)} = 1\ldots4$ м/с [2] будуть: на вході потоку у торцевий МЕЗ – $6{,}7 < \mathrm{Re}_{m\,(вх)} < 89$; на виході потоку із торцевого МЕЗ – $13{,}3 < \mathrm{Re}_{m\,(вих)} < 164$. Таким чином, у торцевому МЕЗ спостерігається ламінарний режим течії робочої рідини. Це означає, що в торцевому лінійний коефіцієнт гідравлічного тертя $\lambda_{m\,(i)}$ не залежить від відносної шорсткості стінок (поверхонь) електродів, а повністю визначається числом $\mathrm{Re}_{m\,(i)}$ за законом Гагена-Пуазейля [4, с. 141], і, з урахуванням поправочного коефіцієнта для щілиноподібного перерізу каналу [3, с. 55], визначається за формулою

$$\lambda_{m(i)} = \frac{96}{\mathrm{Re}_{m\,(i)}} = \frac{96\nu}{V_{m\,(i)} \cdot D_{г\,(m)\,i}}, \quad (9)$$

де $\mathrm{Re}_{m\,(i)}$ – змінне значення числа Рейнольда в торцевому МЕЗ;

$V_{m\,(i)}$ – змінне значення швидкості потоку в торцевому МЕЗ, м/с;

$D_{г(m)i}$ – змінне значення гідравлічного діаметру каналу торцевого МЕЗ, м

$$D_{г\,(m)\,i} = 2\delta_{m\,(i)}; \quad (10)$$

$\delta_{m\,(i)}$ – змінне значення торцевого МЕЗ, м

$$\delta_{m(i)} = \frac{D\delta_{m(вх)}}{2r_i\left(0{,}5 + \dfrac{r_i - \sqrt{2D\delta_{m(вх)}}}{D - 2\sqrt{2D\delta_{m(вх)}}}\right)}; \qquad (11)$$

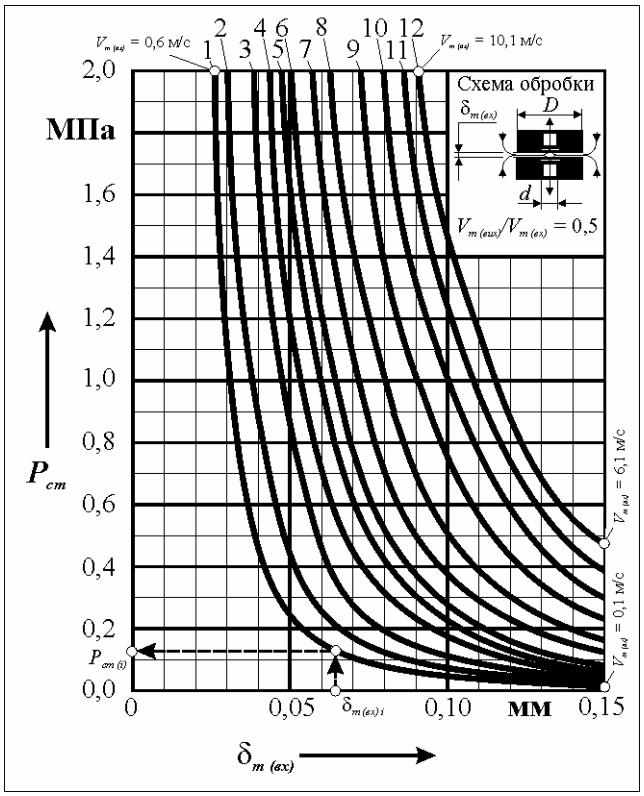
$\Delta P_{вих}$ – місцеві втрати тиску на «удар» при раптовому розширенні потоку на виході із торцевого МЕЗ, Па

$$\Delta P_{вих} = \xi_p \frac{\rho V^2_{m(вих)}}{2} = \xi_p \frac{\rho Q^2}{8\pi^2 \delta^2_{m(вх)} D^2}. \qquad (12)$$

Після підстановки виразів (5), (6) та (12) у формулу (4) та подальших перетворень отримаємо у загальному вигляді інтегральну теоретичну залежність (13) статичного тиску органічної робочої рідини в герметичній камері верстата від групи факторів, що характеризують геометричні параметри МЕП ($\delta_{m(вх)}$, D), кількісні та якісні параметри робочої рідини (Q, ρ, ν), а також гідравлічний опір на різних ділянках МЕП ($\xi_{вх}$, ξ_p)

$$P_{cm} = \frac{\rho Q}{\pi D \delta^2_{m(вх)}}\left\{\frac{Q}{2\pi D}\left(\xi_{вх} + 0{,}25\xi_p\right) + \frac{48\nu}{D^2\delta_{m(вх)}}\int_{a=\sqrt{2D\delta_{m(вх)}}}^{b=0{,}5D}\left(r_i - \sqrt{2D\delta_{m(вх)}}\right)\cdot\left(0{,}5 + \frac{r_i - \sqrt{2D\delta_{m(вх)}}}{D - 2\sqrt{2D\delta_{m(вх)}}}\right)^3 r_i dr\right\} \qquad (13)$$

З метою активного керування схованим від безпосереднього спостерігання торцевим МЕЗ $\delta_{m(вх)}$ в процесі одночасної біполярної РОД торцевих поверхонь пари твердосплавних валків, на підставі отриманої залежності (13) розроблено номограму (рис. 3), що дозволяє підтримувати технологічний зазор $\delta_{m(вх)}$, а отже і швидкість потоку на вході в торцевий МЕЗ (див. вираз 2), на необхідному рівні шляхом керування такими зручними факторами, як витрата робочої рідини крізь МЕП Q та статичний тиск P_{cm} в герметичній камері верстата. Слід відмітити, що на $\delta_{m(вх)}$ впливають і інші фактори, наприклад напруга на електродах, але їх зміна приводить до зміни параметрів P_{cm} та Q. Тому координати даної номограми $P_{cm} - Q$ однозначно визначають певний гідравлічний опір МЕП, а отже і певний МЕЗ $\delta_{m(вх)}$.



1 - Q = 0,5 л/хв = 0,83·10^{-5} м^3/с;
2 - Q = 1,0 л/хв = 1,66·10^{-5} м^3/с;
3 - Q = 2,0 л/хв = 3,32·10^{-5} м^3/с;
4 - Q = 3,0 л/хв = 4,98·10^{-5} м^3/с;
5 - Q = 4,0 л/хв = 6,64·10^{-5} м^3/с;
6 - Q = 5,0 л/хв = 8,30·10^{-5} м^3/с;
7 - Q = 7,0 л/хв = 11,6·10^{-5} м^3/с;
8 - Q = 10 л/хв = 16,2·10^{-5} м^3/с;
9 - Q = 15 л/хв = 24,3·10^{-5} м^3/с;
10 - Q = 20 л/хв = 32,4·10^{-5} м^3/с;
11 - Q = 25 л/хв = 40,5·10^{-5} м^3/с;
12 - Q = 30 л/хв = 48,6·10^{-5} м^3/с;

Рисунок 3 - Номограма для визначення статичного тиску органічної робочої рідини $P_{ст}$ в герметичній камері верстата при заданих значеннях $\delta_{m(вх)}$ та Q для одночасної біполярної РОД торцевих поверхонь пари твердосплавних валків (ρ = 875 кг/м^3; ν = 9·10^{-6}м^2/с; D = 0,17 м; $\xi_{вх}$ = 0,25; $\xi_{р}$ = 1,8). Ключ: $\delta_{m(вх)\,i} \rightarrow Q_i \rightarrow P_{ст\,(i)}$

ПРИКЛАД. Визначити статичний тиск $P_{ст}$ органічної робочої рідини в герметичній камері верстата при одночасній біполярній РОД торцевих поверхонь пари твердосплавних валків зовнішнім діаметром 0,17 м, якщо швидкість потоку на вході в торцевий МЕЗ $V_{m(вх)}$ дорівнює 2 м/с, а торцевий МЕЗ на вході потоку $\delta_{m(вх)}$ = 0,06·10^{-3} м.

РІШЕННЯ. За формулою (2) визначаємо потрібну для заданих умов витрату робочої рідини Q

$$Q = V_{m(вх)} \cdot \pi D \delta_{m(вх)} = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}17 \cdot 0{,}06 \cdot 10^{-3} = 6{,}4 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}.$$

За номограмою (рис. 3) методом інтерполяції для відомих значінь $\delta_{m(вх)}$ та Q знаходимо значення для $P_{ст}$ = 0,95 МПа.

Список літератури

1. Носуленко В. І. Розмірна обробка металів електричною дугою: Дис… д-ра техн.. наук: 05.03.07. – Кіровоград, 1998. – 389 с.
2. Боков В. М. Розмірне формоутворення поверхонь електричною дугою. – Кіровоград: Поліграфічно-видавничий центр ТОВ «Імекс-ЛТД», 2002. – 300 с.
3. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / Идельчик И. Е. – М.: Машиностроение, 1975. – 559 с.
4. Чугаев Р. Р. Гидравлика / Чугаев Р. Р. – Л.: Энергоиздат, 1980. – 672 с.

В. Боков, О. Сиса, М. Попова

Гидродинамика процесса биполярной обработки электрической дугой двух твёрдосплавных валков

Предложен принцип активного управления гидродинамическим режимом потока в торцевом зазоре при биполярной обработке дугой двух твёрдосплавных валков.

V. Bokov, O. Sysa, M. Popova

Hydrodynamics of process of bipolar treatment by electric arc of two hard-alloyed rolls

The principle of active control hydrodynamic mode of the flow in the end clearance under the conditions of bipolar treatment by electric arc of two hard-alloyed rolls was proposed.

Одержано 23.01.12

УДК 621.311.26

Т.Г. Сабірзянов, проф., д-р. техн. наук, П.Г. Плєшков, доц., канд. техн. наук, М.В. Кубкін, асист., В.П. Солдатенко, асист., В.В. Мартиненко, студ.
Кіровоградський національний технічний університет

Шляхи удосконалення систем енергопостачання

В статті розглянута проблема переходу від традиційних систем енергопостачання, що базуються на використанні переважно невідновлюваних джерел енергії, до комплексних систем з відновлюваними джерелами енергії, а також шляхи удосконалення останніх
енергопостачання, системи, удосконалення

Потреби людства в енергії задовольняються в наш час, головним чином, шляхом використання звичайного палива (в основному природного газу, нафти і кам'яного вугілля), ядерного палива (наприклад, радіоактивного урану) та потенційної енергії води на гідроелектростанціях. Вказані джерела енергії, крім останнього, є невідновлюваними. Обсяги використання звичайного і ядерного палива з кожним роком зростають, отже їх запаси стрімко скорочуються. За розрахунками фахівців через декілька десятиліть постане проблема гострої нестачі природного газу і нафти, а далі – і ядерного палива.

Спалювання звичайних видів палива призводить до забруднення довкілля. Атомна енергетика ще більш небезпечна. Глобальні техногенні катастрофи, що сталися на атомних електростанціях у 1986 р. у Чорнобилі (Україна) та у 2011 р. у Фукусімі (Японія), є дуже серйозним попередженням про те, що ядерна енергетика являє собою реальну смертельну загрозу для нашої цивілізації.

Гідроенергія річок хоча і є відновлюваною, але її використання, особливо на рівнинних ріках, супроводжується величезними безповоротними втратами земель сільськогосподарського призначення (в Україні – це прекрасні чорноземи).

Виходом із цього загрозливого становища є поступова відмова від традиційних невідновлюваних джерел енергії на користь відновлюваних джерел – енергії сонячного випромінювання, вітрової енергії, хімічної енергії відновлюваних вуглеводневих матеріалів, таких як деревина, опале листя, промислові та побутові відходи, які містять в собі горючі складові і якими можна скористатись як сировиною для виробництва, наприклад, біогазу.

Надзвичайно важливим чинником при вирішенні проблеми енергопостачання є скорочення абсолютної і відносної потреби в енергії.

Перший напрямок економії енергії полягає у поступовому зменшенні загальної

© Т.Г. Сабірзянов, П.Г. Плєшков, М.В. Кубкін, В.П. Солдатенко, В.В. Мартиненко, 2012

V. Bokov, O. Sysa, M. Popova

Hydrodynamics of process of bipolar treatment by electric arc of two hard-alloyed rolls

The principle of active control hydrodynamic mode of the flow in the end clearance under the conditions of bipolar treatment by electric arc of two hard-alloyed rolls was proposed.

Одержано 23.01.12

УДК 621.311.26

Т.Г. Сабірзянов, проф., д-р. техн. наук, П.Г. Плєшков, доц., канд. техн. наук, М.В. Кубкін, асист., В.П. Солдатенко, асист., В.В. Мартиненко, студ.
Кіровоградський національний технічний університет

Шляхи удосконалення систем енергопостачання

В статті розглянута проблема переходу від традиційних систем енергопостачання, що базуються на використанні переважно невідновлюваних джерел енергії, до комплексних систем з відновлюваними джерелами енергії, а також шляхи удосконалення останніх
енергопостачання, системи, удосконалення

Потреби людства в енергії задовольняються в наш час, головним чином, шляхом використання звичайного палива (в основному природного газу, нафти і кам'яного вугілля), ядерного палива (наприклад, радіоактивного урану) та потенційної енергії води на гідроелектростанціях. Вказані джерела енергії, крім останнього, є невідновлюваними. Обсяги використання звичайного і ядерного палива з кожним роком зростають, отже їх запаси стрімко скорочуються. За розрахунками фахівців через декілька десятиліть постане проблема гострої нестачі природного газу і нафти, а далі – і ядерного палива.

Спалювання звичайних видів палива призводить до забруднення довкілля. Атомна енергетика ще більш небезпечна. Глобальні техногенні катастрофи, що сталися на атомних електростанціях у 1986 р. у Чорнобилі (Україна) та у 2011 р. у Фукусімі (Японія), є дуже серйозним попередженням про те, що ядерна енергетика являє собою реальну смертельну загрозу для нашої цивілізації.

Гідроенергія річок хоча і є відновлюваною, але її використання, особливо на рівнинних ріках, супроводжується величезними безповоротними втратами земель сільськогосподарського призначення (в Україні – це прекрасні чорноземи).

Виходом із цього загрозливого становища є поступова відмова від традиційних невідновлюваних джерел енергії на користь відновлюваних джерел – енергії сонячного випромінювання, вітрової енергії, хімічної енергії відновлюваних вуглеводневих матеріалів, таких як деревина, опале листя, промислові та побутові відходи, які містять в собі горючі складові і якими можна скористатись як сировиною для виробництва, наприклад, біогазу.

Надзвичайно важливим чинником при вирішенні проблеми енергопостачання є скорочення абсолютної і відносної потреби в енергії.

Перший напрямок економії енергії полягає у поступовому зменшенні загальної

© Т.Г. Сабірзянов, П.Г. Плєшков, М.В. Кубкін, В.П. Солдатенко, В.В. Мартиненко, 2012

потреби в енергії шляхом відмови від надмірного виробництва і споживання та дотримання принципу, за яким у людини має бути все необхідне для комфортного життя, але не більше того, бо сучасний експоненціальний характер зростання чисельності населення на планеті та надмірність в споживанні – це прямий шлях до загибелі нашої цивілізації.

Другий напрямок економії енергії – традиційний. Він пов'язаний із скороченням питомих витрат енергії, тобто витрат її на одиницю продукції, що виробляється. Даний напрямок реалізується шляхом підвищення ефективності роботи обладнання, яке входить до складу комплексних систем енергопостачання (КСЕП) [1].

Проблема економного використання енергії є надзвичайно актуальною для України, де питомі витрати енергії в багатьох випадках у 3-4 рази більші, аніж в економічно розвинених країнах.

Таким чином, вирішення проблеми кардинального підвищення ефективності енергозабезпечення народного господарства України та інших країн світу лежить на шляху поступового переходу від систем енергопостачання з невідновлюваними джерелами енергії, до систем з джерелами відновлюваними.

Для удосконалення КСЕП її слід розглядати як деяку кібернетичну систему, яка складається з пов'язаних між собою наступних підсистем:

- сортування і переробки побутових і промислових відходів;
- вироблення із відходів твердого, рідкого чи газоподібного палива у вигляді, наприклад, брикетів, дизпалива або біогазу, відповідно;
- вироблення в енергогенеруючих пристроях теплової чи електричної енергії при використанні палива, отриманого у попередній підсистемі;
- трансформації енергії на шляху від енергогенератора до споживача;
- акумуляції надлишково виробленої енергії;
- інших підсистем.

Кожна із зазначених підсистем, як і загальна КСЕП, має свої вхідні та вихідні параметри.

Вхідні параметри в підсистемах і в КСЕП можна поділити на три групи:

- регульовані;
- такі, що фіксуються, але не регулюються;
- невідомі випадкові, а отже такі, що не регулюються і не фіксуються.

Вихідні параметри – це величини, які характеризують різноманітні результати функціонування як окремих підситем, так і КСЕП в цілому. Однак оптимізувати останню можна лише за якимось одним критерієм – параметром оптимізації, який найкращим чином відображає результати роботи КСЕП. Таким параметром може бути, наприклад, питома витрата енергії на одиницю продукції, що виробляється споживачем енергії (підприємство, агропромислове господарство, будівля тощо). Тоді решта вихідних параметрів виконуватимуть роль обмежень, які обов'язково фіксуються з метою недопущення виходу їх значень за встановлені межі.

Питання про можливі параметри оптимізації та їх визначення розглянуто в роботі [2].

Для оптимізації КСЕП за критерієм питомої витрати енергії треба домогтися того, щоб втрати енергії в кожній підсистемі і у КСЕП в цілому були мінімальними, а коефіцієнти корисної дії в усіх процесах трансформації енергії на шляху від її генерації до використання споживачем – максимальними. Крім того, сполучення регульованих вхідних величин має бути оптимальним, тобто таким, яке забезпечує максимальну техніко-економічну ефективність функціонування КСЕП.

Остання мета може бути досягнута при використанні методу планування екстремальних експериментів [3, 4, 5], ідея якого вперше була сформульована Р.Фішером в середині тридцятих років минулого століття. В подальшому завдяки працям Ч.Хікса, Д.Фінні, Д. Бокса, К. Уілсона, В.В. Налімова та інших вчених метод сформувався настільки, що набув широкого використання в багатьох галузях науки і техніки.

Метод надає можливість, по-перше, одержувати статистичну математичну модель складного багатокомпонентного об'єкту дослідження і, по-друге, в разі необхідності здійснювати його оптимізацію, наприклад, методом крутого сходу. Дуже важливо підкреслити, що ці дві задачі розв'язуються при мінімальній кількості необхідних дослідів, а отже при мінімальних витратах на проведення експерименту.

Характерною відмінністю методу, що розглядається, у порівнянні з класичним методом регресійного аналізу, є те, що в його основі лежить активний експеримент, при якому вхідні величини (фактори), що впливають на вихідні величини (функції відгуку), фіксуються на конкретних рівнях згідно з конкретним планом проведення експерименту (матрицею планування факторного експерименту).

Статистична залежність між параметром оптимізації і факторами відшукується здебільшого у вигляді полінома першого або другого степеня. Останній може бути неповним або повним (квадрикою).

Експеримент планується так, що коефіцієнти полінома знаходяться за дуже простою процедурою, розглянутою нижче.

Одержана математична модель після перевірки на адекватність може бути використана для розв'язання різноманітних задач, таких як оцінка значущості факторів, визначення причин того чи іншого виду браку, проведення модельного експерименту, розрахунок крутого сходу з метою визначення тієї сукупності факторів, якій відповідає найкраще (в певному розумінні) значення функції відгуку.

Математичне планування експерименту починається з чіткого визначення об'єкта і предмета дослідження, а також мети експерименту.

Наступний крок – визначення всіх факторів x_j, які суттєво впливають на вихідні величини y_i.

До факторів ставляться такі вимоги: вони мають бути керованими і їх вимірювання повинно здійснюватись з достатньою точністю; вони не повинні бути корельованими; сукупність факторів має бути сумісною і достатньо повною.

Фактори можуть бути кількісними і якісними.

Параметри оптимізації теж можуть бути кількісними і якісними, але в будь-якому разі параметр оптимізації має виражатись певним числом, для чого у випадку якісних параметрів оптимізації проводиться їх ранжування – процедура присвоєння певного числа тому чи іншому якісному рівню параметра.

До параметра оптимізації ставляться наступні додаткові вимоги: він має бути однозначним, ефективним з точки зору досягнення поставленної мети експерименту і, по можливості, універсальним.

Далі для кожного фактора приймається рішення про область визначення фактора, його нульовий рівень і величину інтервалу варіювання.

Область визначення фактора – це той інтервал, в якому можуть змінюватись значення фактора.

Нульовий рівень фактора – це його початкове значення в даному експерименті.

Сукупність нульових рівнів всіх факторів називається центром плану експерименту або нульовою точкою.

В кожному досліді активного експерименту значення кожного фактора, згідно з планом експерименту, підтримується на строго фіксованому рівні, який більше або менше нульового рівня на одну і ту ж величину – інтервал варіювання фактора.

Отже, інтервал варіювання фактора – це величина, яку треба додати до основного рівня фактора або відняти від нього, щоб одержати, відповідно, верхній і нижній рівні фактора.

Інтервал варіювання фактора може бути вузьким, середнім або широким. Він вважається вузьким, якщо становить менше 10 % від величини області визначення фактора, середнім – при 10-30 % від цієї області і широким, якщо він більше 30 % області визначення фактора. Вибір величини інтервалу варіювання фактора залежить від конкретних умов проведення експерименту. Звуженню інтервалу варіювання сприяють висока точність фіксації фактора і параметра оптимізації, а також велика кривизна поверхні відгуку.

Кількість потрібних дослідів залежить від кількості факторів, а також від того, на скількох рівнях фіксується кожний фактор в активному експерименті. При даній кількості факторів k кількість дослідів N є найменшою у тому випадку, коли фактор фіксується лише на двох рівнях – верхньому і нижньому. У цьому випадку кількість дослідів визначається за формулою $N = 2^k$.

При великій кількості факторів кількість потрібних дослідів може бути зменшеною у два, чотири, вісім і т.ін. разів. Такі скорочені плани експерименту називаються, відповідно, півреплікою, чвертьреплікою, 1/8-реплікою і т.ін. Використання реплік, з одного боку, зменшує витрати на експеримент, але з іншого боку, приводить до змішування оцінок коефіцієнтів поліноміальної математичної моделі, яка будутьється за результатами експерименту.

Заради зручності планування експерименту та обробки його результатів проводиться кодування факторів, внаслідок якого будь-який фактор на верхньому рівні набуває значення +1, на нижньому рівні фактор дорівнює –1, на нульовому – 0. З метою скорочення записів в кодованих значеннях факторів одиниці відкидаються і залишаються одні лише знаки: “плюс” означає, що фактор знаходиться на верхньому рівні, а “мінус” – на нижньому.

Останній крок у математичному плануванні експерименту – це побудова матриці планування у вигляді таблиці, в якій вказуються умови проведення всіх дослідів, тобто для кожного досліду наводяться чисельні значеня кожного фактора.

Вертикальні колонки в матриці планування називаються вектор-стовпцями, горизонтальні – вектор-рядками.

В матриці планування перший вектор-стовпець містить номери дослідів, другий – значення фіктивного фактора x_0, третій – значення першого фактора x_1 і т.ін. Останнім є вектор-стовпець значень параметра оптимізації в експерименті.

Перший вектор-рядок відповідає позначенням факторів, їх взаємодій та параметра оптимізації; другий – умовам першого досліду; третій – умовам другого досліду і т.ін.

Існує три способи побудови матриці планування, з яких найбільш простим є спосіб чергування знаків. Він полягає в тому, що у вектор-стовпці, наприклад, першого фактору, знаки чергуються через один; у вектор-стовпці другого фактору – через два знаки; у вектор-стовпці третього фактору – через чотири знаки і т.ін. Тобто чергування знаків у кожному вектор-стовпці відбувається через 2^n знаки, де n = 0, 1, 2,… – своя для кожного вектор-стовпця фактора величина. Вектор-стовпець фіктивного фактора має одні плюси. Вектор-стовпці взаємодій факторів типу x_1x_2, x_1x_3 і т.ін. заповнюються шляхом перемноження елементів вектор-стовпців відповідних факторів.

План факторного експерименту, побудований у такий спосіб, має наступні властивості:

1. В будь-якому вектор-стовпці сума всіх елементів завжди дорівнює нулю. Ця властивість називається симетричністю відносно центру плану.

2. Сума квадратів елементів кожного вектор-стовпця дорівнює кількості дослідів. Ця властивість називається умовою нормування.

3. Якщо елементи двох будь-яких вектор-стовпців перемножити, то вийде новий вектор-стовпець, який має ті ж самі вищезазначені властивості, що і решта вектор-стовпців факторів чи їх взаємодій. Ця властивість матриці планування називається її ортогональністю.

4. Точки, що відповідають дослідам, розташовані в матриці планування так, що точність прогнозування значень параметра оптимізації однакова на однакових відстанях від центру плану незалежно від напрямку. Ця властивість матриці планування називається її ротатабельністю.

Після реалізації плану експерименту і заповнення вектор-стовпця значень параметра оптимізації знаходять коефіцієнти полінома математичної моделі об'єкта дослідження як поділену на кількість дослідів алгебраїчну суму добутків елементів вектор-стовпця параметра оптимізації і вектор-стовпця відповідного фактора чи взаємодії факторів.

В процесі статистичної обробки експериментальних даних за допомогою *t*-критерію Стьюдента проводиться перевірка на брак підозрілих результатів вимірювань параметра оптимізації, визначаються його дисперсії і похибки в окремих дослідах і в експерименті в цілому; перевіряється однорідність дисперсій дослідів за допомогою *F*-критерію Фішера; перевіряється математична модель на адекватність; проводиться перевірка значущості коефіцієнтів поліноміальної математичної моделі об'єкта дослідження.

Нарешті, в залежності від мети експерименту, а також від адекватності чи неадекватності математичної моделі, значущості чи незначущості коефіцієнтів полінома, а також інформації щодо розташування області оптимуму, приймається одне з таких рішень: припинити експеримент, побудувати і реалізувати план другого порядку, скористатись одним із градієнтних методів для пошуку оптимуму. Найчастіше приймається останнє рішення, тому що його реалізація ціною небагатьох дослідів може значно покращити стан об'єкта дослідження за рахунок віднайдення його оптимальної області і покращення параметра оптимізації.

В деяких спрощених випадках математичну модель КСЕП можна знайти не у вигляді рівняння регресії, як у методі планування екстремальних експериментів, а більш простим способом, а саме у вигляді сукупності балансових співвідношень, що зв'язують між собою окремі параметри КСЕП.

Таким чином, удосконалення систем енергопостачання має відбуватись шляхом використання КСЕП з відновлювальними джерелами енергії, а також їх оптимізації різними методами, в тому числі методом планування екстремальних експериментів.

Список літератури

1. Т.Г. Сабірзянов, М.В. Кубкін, В.П. Солдатенко. Методика вибору структури і складу систем електропостачання з відновлюваними джерелами // Зб. наук. праць КНТУ. – 2011. – В.24. – ч. ІІ. – С. 146 – 151.
2. П.Г. Плєшков, В.П. Солдатенко. Визначення економічної ефективності комплексної електроенергетичної системи для сільського господарства // Констр., вир-во та експлуатація с/г машин. – 2010. – В.40. – ч. ІІ. – С. 266 – 270.
3. В.В. Налимов, Н.А. Чернова. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. – М.: Наука, 1965. – 341 с.
4. Т.Г. Сабірзянов. Математичне моделювання технологічних процесів лиття. – Кіровоград: КНТУ, 2007. – 74 с.
5. Т.Г. Сабірзянов, В.В. Мошнягул, М.В. Новіков. Ресурсозберігаючі технології виробництва феронікелю. – Кіровоград: КНТУ, 2011. – 97 с.

Т. Сабирзянов, П. Плешков, М. Кубкин, В. Солдатенко, В.Мартыненко
Пути усовершенствования систем энергоснабжения

В статье рассмотрена проблема перехода от традиционных систем энергоснабжения, базирующихся преимущественно на невозобновляемых источниках энергии, к комплексным системам с возобновляемыми источниками энергии, а также указаны пути усовершенствования этих систем.

T. Sabirjanov, P. Pleshkov, M. Kubkin, V. Soldatenko, V. Martynenko

The ways of improvement of the energysupply systems

In the article is regarded the problem of passage from the traditional systems of energysupply, wich are based on unresumption energy sources, to the resumption ones. The ways of improvement of the systems are outlined.

Одержано 03.01.12

УДК 621.9.06

І.І. Павленко, проф., д-р техн. наук, Д.В. Вахніченко, асп.
Кіровоградський національний технічний університет

Визначення параметрів ВПК при виконанні свердлильних операцій

В статті визначаються конструктивні параметри верстатів з паралельною кінематикою при виконанні типових технологічних рухів механізмів з паралельною кінематикою.
верстат, гексапод, МПК, ВПК, верстат з паралельною кінематикою

Ефективне використання механізмів з паралельною кінематикою (МПК) як основи відповідних верстатів можливе при умові обґрунтованого визначення їх конструктивних параметрів.

Подальші дослідження конструктивних параметрів ВПК – гексаподів виконано на прикладах реалізації різних типових варіантів свердлильних операцій.[4]

Для кожного із варіантів обробки складається своя розрахункова схема на якій наведено основні параметри, що характеризують даний процес обробки. В роботі наведено більш загальний варіант обробки представлений на рис.1. На даній схемі вказані розміри оброблюваних деталей по горизонталі - $D_{д.}$; $d_{д.}$ та по вертикалі $H_{д.}, h_{д.}$, а також глибина оброблюваних отворів l_o та координати їх розміщення T, φ.

На схемі суцільною лінією показано вихідне положення рухомої платформи відведене від оброблюваної деталі на величину $H_У$, що необхідно для виводу вершини різального інструменту на позицію початку обробки. Ця величина ($H_У$) буде відповідати швидкому установчому руху інструменту до деталі за яким почнеться процес обробки на величину:

© І.І. Павленко, Д.В. Вахніченко, 2012

Т. Сабирзянов, П. Плешков, М. Кубкин, В. Солдатенко, В.Мартыненко
Пути усовершенствования систем энергоснабжения

В статье рассмотрена проблема перехода от традиционных систем энергоснабжения, базирующихся преимущественно на невозобновляемых источниках энергии, к комплексным системам с возобновляемыми источниками энергии, а также указаны пути усовершенствования этих систем.

T. Sabirjanov, P. Pleshkov, M. Kubkin, V. Soldatenko, V. Martynenko

The ways of improvement of the energysupply systems

In the article is regarded the problem of passage from the traditional systems of energysupply, wich are based on unresumption energy sources, to the resumption ones. The ways of improvement of the systems are outlined.

Одержано 03.01.12

УДК 621.9.06

І.І. Павленко, проф., д-р техн. наук, Д.В. Вахніченко, асп.
Кіровоградський національний технічний університет

Визначення параметрів ВПК при виконанні свердлильних операцій

В статті визначаються конструктивні параметри верстатів з паралельною кінематикою при виконанні типових технологічних рухів механізмів з паралельною кінематикою.
верстат, гексапод, МПК, ВПК, верстат з паралельною кінематикою

Ефективне використання механізмів з паралельною кінематикою (МПК) як основи відповідних верстатів можливе при умові обґрунтованого визначення їх конструктивних параметрів.

Подальші дослідження конструктивних параметрів ВПК – гексаподів виконано на прикладах реалізації різних типових варіантів свердлильних операцій.[4]

Для кожного із варіантів обробки складається своя розрахункова схема на якій наведено основні параметри, що характеризують даний процес обробки. В роботі наведено більш загальний варіант обробки представлений на рис.1. На даній схемі вказані розміри оброблюваних деталей по горизонталі - $D_{д.}$; $d_{д.}$ та по вертикалі $H_{д.}, h_{д.}$, а також глибина оброблюваних отворів l_o та координати їх розміщення T, φ.

На схемі суцільною лінією показано вихідне положення рухомої платформи відведене від оброблюваної деталі на величину $H_У$, що необхідно для виводу вершини різального інструменту на позицію початку обробки. Ця величина ($H_У$) буде відповідати швидкому установчому руху інструменту до деталі за яким почнеться процес обробки на величину:

© І.І. Павленко, Д.В. Вахніченко, 2012

$$l = l_{o} + l_{вр.}, \text{ де } l_{вр.} = 2 \div 4 мм .$$

В подальшому із-за малого значення величини врізання $l_{вр.}$ будемо вважати, що вона входить в l_{o} : $l = l_{o}$.

Нижнє положення платформи по завершенню обробки показано пунктирною лінією.

На вертикальне положення рухомої платформи будуть впливати технологічні фактори: висота оброблюваної деталі ($H_{д.}$); висота необхідного технологічного пристрою ($H_{пр.}$); відстань між торцем деталі та вершиною різального інструменту ($H_{У}$); довжина різального інструменту та довжина пристрою для його закріплення ($H_{ін.}$).

Сума вище наведених величин складає технологічну висоту ($H_{T.}$) ВПК:

$$H_{T.} = H_{пр.} + H_{д.} + H_{У} + H_{ін.} .$$

Остання складова визначається:

$$H_{ін.} = h_{р.ч.} + h_{д.ч.} + h_{з.п.} + h_{р.о.},$$

де $h_{р.ч.}$ – необхідна довжина робочої частини інструменту;

$h_{д.ч.}$ – допоміжна частина інструменту, яка включає довжину конструктивно неробочої частини інструменту та запас робочої частини для переточування, наладки та ін.;

$h_{з.п.}$ – довжина затискного інструментального пристрою (патрону, цанги та ін.);

$h_{р.о.}$ – величина виступу шпиндельного вузла робочого органу нижче рухомої платформи.

Другою частиною висоти ВПК є конструкторська складова, яка визначає необхідні параметри МПК для реалізації потрібних технологічних рухів. Її мінімальні розміри залежать від можливого втягнутого положення кінематичних ланок (штанг), що в свою чергу залежить від конструктивних параметрів гексапода, основними із яких є:

a, b - відповідно відстань між опорами нерухомої і рухомої платформ;

$l_{\min}$ - мінімальна довжина штанги;

L - положення рухомої платформи при обробці отворів деталі;

$L_{\max}$ - максимальна довжина шланги;

$\alpha, \beta, \gamma, \lambda$ - кути обертання штанг в опорах.

Відзначені параметри впливають не тільки на висоту, а і ширину (діаметр) ВПК.

Відстань між опорами рухомої платформи:

$$b = D_{шп.} + b_{оп}$$

де $D_{шп.}$ - діаметр (габарит) шпиндельного вузла;

$b_{оп}$ - розміри опорних вузлів.

Із виконаних досліджень [1-4] відстань між опорами рухомої платформи (b) повинна бути по можливості меншою ($b/a = 0{,}1...0{,}3$), що в свою чергу залежить від розмірів шпиндельного вузла встановлюваного на даній платформі. Розмір між опорами нерухомої платформи в плані рухових можливостей повинен бути в межах $a/\mathrm{L} = 0{,}6...1{,}0$.

З точки зору зменшення габаритних розмірів ВПК та забезпечення необхідних умов обробки відстань між опорами визначається:

$$a < D_м + b,$$

де $D_м$ - положення максимально віддаленого отвору для обробки заданої деталі.

З іншого боку, з точки зору покращення силових умов обробки деталі, штанги при обробці деталей не повинні переходити за вертикальне їх положення, а тому відстань між опорами повинна бути:

$$a \geq D_м + b.$$

При цьому також повинна враховуватись можливість обмежень руху ВО конструкцією шпиндельного вузла. Враховуючи вище перераховані положення для даних досліджень приймається умова $a = D_м + b$.

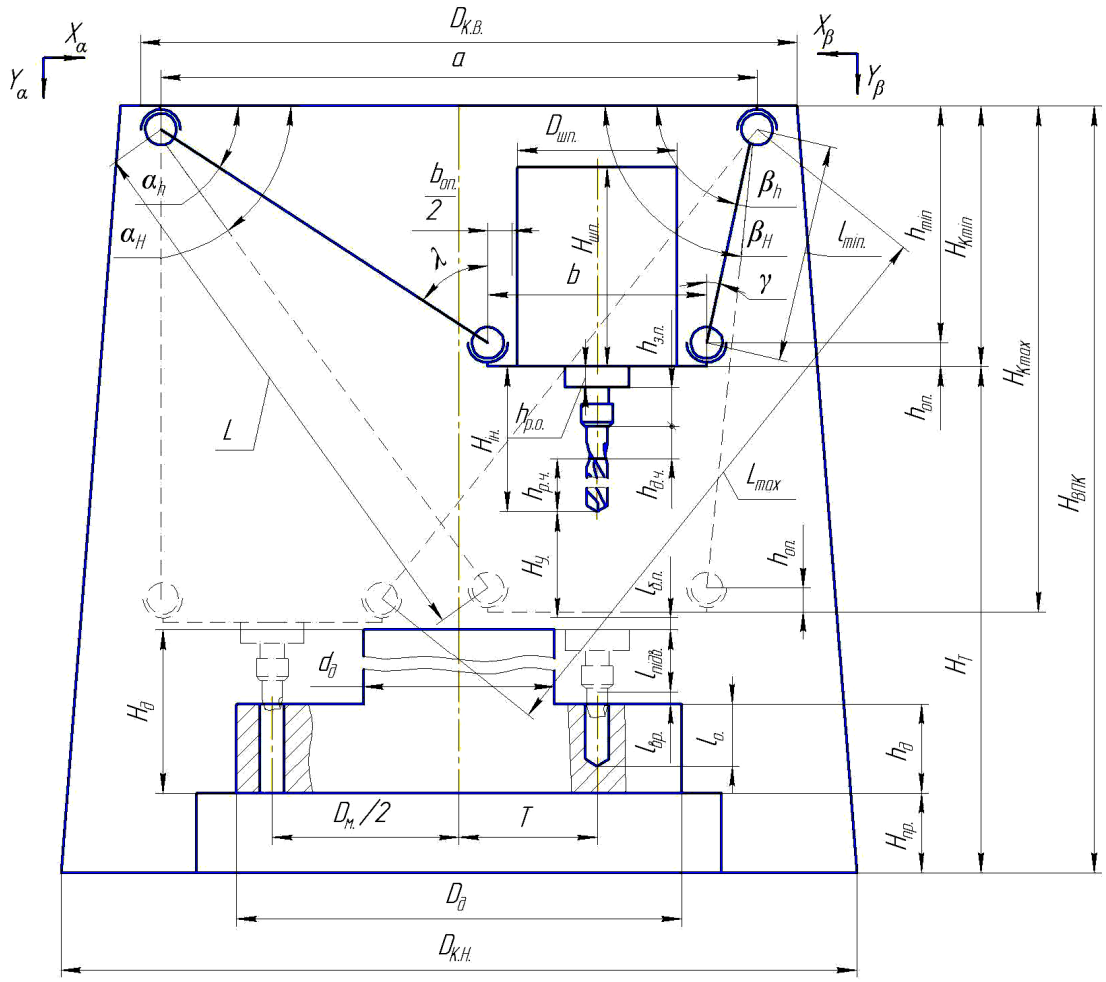


Рисунок 1 – Розрахункова схема гексапода для свердління отвору паралельно вісі верстату з наявністю обмежень руху інструменту

Мінімальна довжина штанги $l_{\min}$ визначається параметрами конструкції штанги, конструкції опори, силовими особливостями експлуатації механізму, висотою шпиндельного вузла $H_{шп.}$ (при наявності обмежень з боку верхньої частини нерухомої платформи ВПК) та обмеженнями кутів в опорах нерухомої платформи.

Величина відстані між стояками або стінками каркасу ВПК в нижній його частині повинна бути достатньою для обробки деталі та виконання всіх технічних та експлуатаційних умов роботи верстата, а тому згідно аналізу існуючих конструкцій ВПК:

$$D_{кн} = (1{,}2...2{,}0) \cdot a .$$

Розмір верхньої частини каркасу залежить від форми його виконання:

- для прямокутного $D_{кв} = D_{кн}$;
- для трапецевидного (конічного) $D_{кв} = (1{,}0...1{,}2) \cdot a$.

Вертикальні розміри каркасу залежать від конструктивних особливостей виконання МПК, де основними характеристиками є розміри штанг ($L_{\max}$,$l_{\min}$) та технологічні параметри обробки. В плані забезпечення максимальних рухових можливостей відношення $l_{\min} / L$ повинно змінюватися від якомога меншої величини наближеної до $(a-b)/2$ і до одиниці.

З урахуванням вищенаведених та деяких інших умов мінімальна висота положення рухомої платформи для аналізуємого варіанту обробки (рис.1) МПК дорівнює $h_{\min}$ [4]. При визначені цієї величини розраховується можливість МПК здійснювати необхідний рух ВО та різального інструменту для виконання заданих операцій. Загальна мінімальна конструкторська величина ВПК буде:

$$H_{K\min} = h_{\min} + h_{оп.},$$

$h_{оп.}$ - відстань між віссю опори і рухомою платформою.

Для спрощення розрахунків приймемо умову, що вісь опори знаходиться на лінії нижньої площини рухомої платформи, а тому в подальших дослідженнях приймаємо: $H_{K\min} = h_{\min}$.

Максимальна величина конструкторської складової висоти також залежить від величини установчих рухів - $H_У$,розмірів оброблюваної деталі (діаметра- $D_д$ та висоти- $H_д$) та параметрів обробки: глибини оброблюваного отвору $l_о$ та розташування отворів по відношенню до вісі симетрії верстату T. Тоді максимальна конструкторська складова для різного зміщення інструменту буде:

$$H_{K\max} = h_{\min} + l_о + H_{У.} = \sqrt{l^2_{\min} - \left(\frac{D_м - 2T}{2}\right)^2} + l_о + H_{У.}$$

Знаючи максимальну конструкторську величину $H_{K\max}$ визначаємо довжину штанг рухомої платформи L при обробці даних отворів:

$$L = \sqrt{H_{K\max}^2 + (\frac{a-b}{2} + T)^2} .$$

При максимальному зміщені отвору і обробки його на максимальну глибину довжина штанг досягає свого максимального значення: $L = L_{\max}$.

Для дослідження впливу складових елементів ВПК на його максимальну висоту вводимо додаткові позначення, що характеризують співвідношення розмірів деталі та параметрів обробки: $K_{о} = \frac{l_{о}}{H_{д}}; K_{зм} = \frac{2T}{D_{м}}; K_{д} = \frac{H_{д}}{D_{м}}$.

Підставляючи прийняті значення у вихідну формулу отримуємо:

$$H_{K\max} = \sqrt{l_{\min}^2 - \left(\frac{D_{м} - K_{зм} D_{м}}{2}\right)^2} + K_{о} \cdot K_{д} \cdot D_{м.} + H_{У.} =$$

$$= \sqrt{l_{\min}^2 - \left(\frac{D_{м.}\left(1 - K_{зм}\right)}{2}\right)^2} + K_{д} \cdot K_{о} \cdot D_{м.} + H_{У.}$$

По отриманому рівнянню побудовані графічні залежності, які представлені на рис.2.-рис.4.

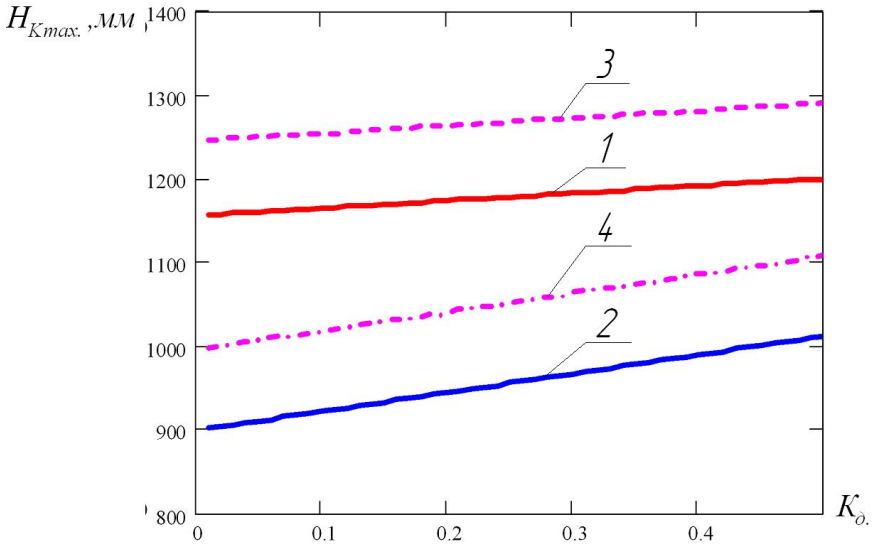


Рисунок 2 – Графік впливу на конструкторську складову висоти верстату $H_{K\max}$ показника розмірів деталі $K_{д.}$ при:

1. $l_{\min} = 600$ мм; $D_{м} = 900$ мм; $H_{У} = 600$ мм; $K_{зм.} = 0{,}5$; $K_{о.} = 0{,}1$.
2. $l_{\min} = 600$ мм; $D_{м} = 900$ мм; $H_{У} = 300$ мм; $K_{зм.} = 1$; $K_{о.} = 0{,}25$.
3. $l_{\min} = 600$ мм; $D_{м} = 900$ мм; $H_{У} = 750$ мм; $K_{зм.} = 0{,}25$; $K_{о.} = 0{,}1$.
4. $l_{\min} = 600$ мм; $D_{м} = 900$ мм; $H_{У} = 500$ мм; $K_{зм.} = 0{,}75$; $K_{о.} = 0{,}25$.

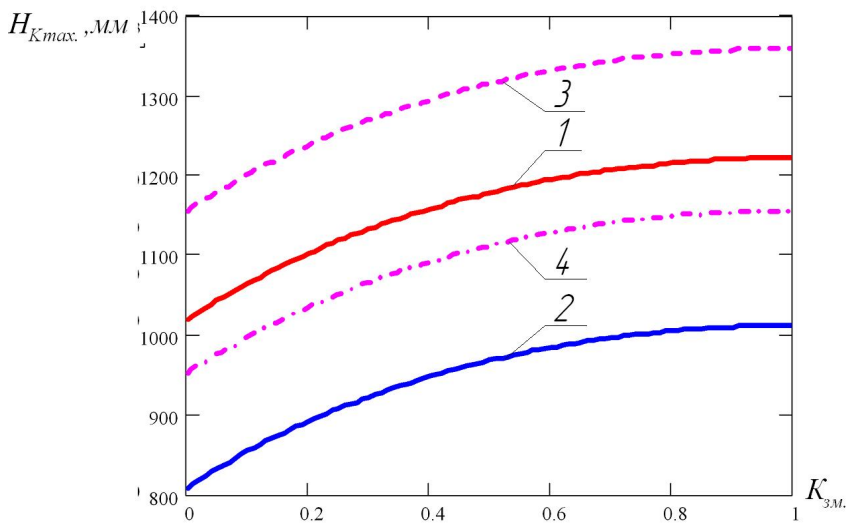


Рисунок 3 – Графік впливу на конструкторську складову висоти верстату $H_{K\max}$ показника зміщення отвору від осі деталі $K_{зм.}$ при:

1. $l_{\min} = 600$ мм; $D_м = 900$ мм; $H_У = 600$ мм ; $K_{д.} = 0{,}25$; $K_{о.} = 0{,}1$.
2. $l_{\min} = 600$ мм; $D_м = 900$ мм; $H_У = 300$ мм ; $K_{д.} = 0{,}5$; $K_{о.} = 0{,}25$.
3. $l_{\min} = 600$ мм; $D_м = 900$ мм; $H_У = 750$ мм ; $K_{д.} = 1{,}0$; $K_{о.} = 0{,}1$.
4. $l_{\min} = 600$ мм; $D_м = 900$ мм; $H_У = 500$ мм ; $K_{д.} = 0{,}25$; $K_{о.} = 0{,}25$.

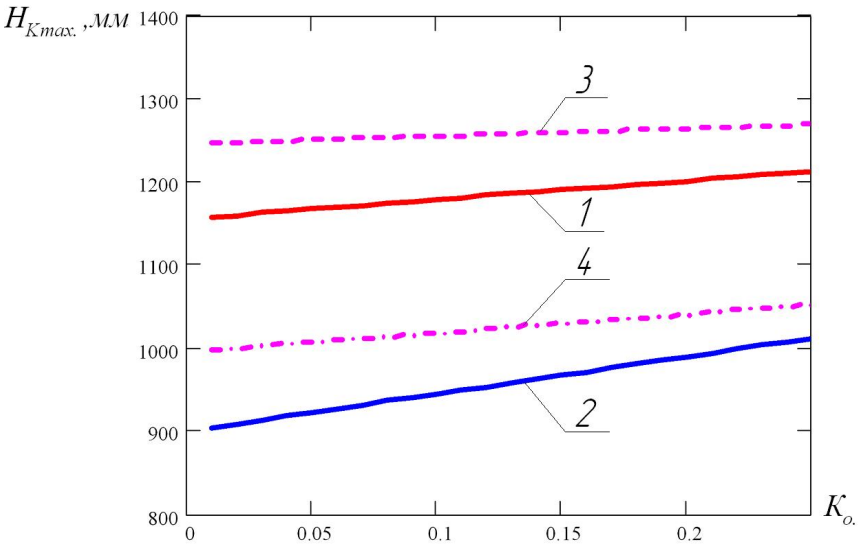


Рисунок 4 – Графік впливу на конструкторську складову висоти верстату $H_{K\max}$ показника глибини обробки $K_{о.}$ при:

1. $l_{\min} = 600$ мм; $D_м = 900$ мм; $H_У = 600$ мм ; $K_{д.} = 0{,}25$; $K_{зм.} = 0{,}5$.
2. $l_{\min} = 600$ мм; $D_м = 900$ мм; $H_У = 300$ мм ; $K_{д.} = 0{,}5$; $K_{зм.} = 1{,}0$.
3. $l_{\min} = 600$ мм; $D_м = 900$ мм; $H_У = 750$ мм ; $K_{д.} = 1{,}0$; $K_{зм.} = 0{,}25$.
4. $l_{\min} = 600$ мм; $D_м = 900$ мм; $H_У = 500$ мм ; $K_{д.} = 0{,}25$; $K_{зм.} = 0{,}75$.

Аналіз отриманих даних дозволяє зробить слідуючи висновки:

5. Конструктивно доцільні розміри ВПК залежать від необхідних рухів виконавчого органу верстата та особливостей конструктивного виконання використовуємого механізму з паралельною кінематикою.

6. При дослідженні залежності величини конструкторської складової висоти $H_{K\max}$ від показників оброблюваної деталі $K_{зм.}$, $K_{д.}$, $K_{о.}$ (рис.2- рис.4) видно, що при зростанні технологічного показника $K_{зм.}$ конструкторська складова висоти верстата збільшується, тобто для зменшення висоти верстата бажано вести обробку максимально наближено до осі симетрії верстату і при зростанні інших показників $K_{д.}$, $K_{о.}$ конструкторська складова висоти верстата також збільшує своє значення, тобто при збільшенні висоти деталі і довжини обробки по відношенню до загальної висоти деталі відповідно зростає конструкторська складова висоти верстата.

7. Визначення максимальної конструкторської величини $H_{K\max}$ дозволяє визначити загальну висоту верстата-гексапода:

$$H_{ВПК} = H_{K\max} + (H_{ін.} - l_{о.} - l_{підв.}) + H_{д.} + H_{пр.}.$$

Список літератури

1. Павленко І.І. Промислові роботи: основи розрахунку та проектування./ Павленко І.І. – Кіровоград; КНТУ, 2007. – 420с.
2. Павленко І.І., Валявський І.А. Рухові характеристики верстатів з паралельною кінематикою / І.І. Павленко, І.А. Валявський / Збірник наукових праць КНТУ: техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кіровоград, 2008. – Вип.21 - С.128-134.
3. Павленко І.І., Валявський І.А. Дослідження впливу конструктивних параметрів механізму паралельної структури на функціональні можливості верстата з паралельною кінематикою. / Павленко І.І., Валявський І.А. / Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин – Кіровоград: КНТУ, 2008.- вип. 38 ч.1. -С. 284-287.
4. Павленко І.І., Вахніченко Д.В. Дослідження впливу конструктивних параметрів механізму паралельної структури на функціональні можливості верстата з паралельною кінематикою. / Павленко І.І., Вахніченко Д.В. / Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин – Кіровоград: КНТУ, 2011.- вип. 41 ч.2. -С.99-105.

И.Павленко, Д.Вахниченко

Определиние параметров СПК на выполнение сверлильных операций.

В статье определяются конструктивные параметры станков с параллельной кинематикой при выполнении типичных технологических движений механизмов с параллельной кинематикой.

I.Pavlenko, D. Vakhnichenko

Definition of design data MPK at performance of typical technological movements.

In article design data of machine with parallel kinematics are defined at performance of typical technological movements of the mechanism tool with parallel kinematics.

Одержано

УДК 621.867

Б.М. Гевко, проф., д-р техн. наук, А.Є. Дячун, канд. техн. наук, Р.Р. Івасечко, інж.
Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя

Відпрацювання гвинтових робочих органів машин на технологічність конструкцій

Розроблена конструкція гвинтового робочого органу підвищеної міцності експлуатаційної надійності і довговічності. Приведені шляхи підвищення міцності і експлуатаційної надійності і довговічності гвинтових механізмів машин. Виведені аналітичні залежності для визначення цих параметрів.
конструкція, гвинтові робочі органи, надійність, довговічність, підвищена міцність

Гвинтові механізми машин (ГММ) отримали широке застосування у всіх галузях народного господарства завдяки концентрації різних операцій у поєднанні з транспортуванням. До таких операцій належать транспортування, завантаження-розвантаження, подрібнення, змішування, пресування, очищення і зендрування шкіри, видавлювання соків та багато іншого.

Специфіка їх роботи зумовлена різноманітністю операцій технологічних процесів, а також регіональними властивостями транспортуючих матеріалів, номенклатурою і конструктивними параметрами.

Відпрацювання ГММ на технологічність присвячені роботи вчених Амирова Ю.Д.[1], Шатуновского Г.М.[2], Григорьева А.М. [3], Германа Х. [4], Гевко Б.М. [5] та багатьох інших. Однак цілий ряд питань пов”язаних з різними технологічними процесами, які забезпечують підвищення експлуатаційної надійності і довговічності ГММ, вимагають своїх подальших досліджень.

Метою роботи є відпрацювання ГММ на технологічність конструкції та забезпечення відповідної міцності, експлуатаційної надійності і довговічності на стадії проектування, виготовлення, експлуатації і ремонту.

Робота виконується згідно Постанови Кабінету Міністрів України “Про розвиток сільськогосподарського машинобудування і забезпечення агропромислового комплексу конкурентноздатною технікою” на 2010...2015 роки.

Технологічність конструкції гвинтових робочих органів (ГРО) машин – це сукупність властивостей, які визначають його пристосованість до досягнення оптимальних витрат у процесі виробництва, міцності, експлуатації та ремонту для заданих показників якості й умов виконання своїх функцій. Технологічність конструкцій виробу (ТКВ) – це зручність і легкість його реалізації, які дозволяють виконати процес, що забезпечує отримання заданих результатів з найменшими витратами живої та опредметненої праці. ТКВ в основному залежить від п”яти груп факторів: властивостей виробу, заданої якості, умов виконання робіт у виробництві, експлуатації та ремонті. Загалом система показників ТКВ охоплює 9 груп факторів і описується 51 загальним і понад 100 частковими коефіцієнтами [2]. У цілому система оцінок являє собою граф-дерево показників і коефіцієнтів, яке постійно збільшується і доповнюється, бо кількість ознак предмета й умов користування ним є нескінченним.

Різноманітність вимог до технологічного формування конструктивних параметрів (ГРО) призводить до необхідності впорядкування великої кількості

© Б.М. Гевко, А.Є. Дячун, Р.Р. Івасечко, 2012

варіантів технологічних процесів (ТП), серед яких існують оптимальні за відповідними критеріями якості. Вони відрізняються один від одного не лише за різновекторністю направлення, кількістю та конструкцією елементів (схем формотворень, конструкцій устаткування й спорядження), а також характером зв'язків між ними та іншими показниками. Однак, незважаючи на те, що ТП в основному визначаються параметрами ГРО, які виготовляються з гвинтових заготовок (ГЗ), необхідно відзначити існування спільних ознак. Це дає можливість розрізняти конструкції інструментів за типом кінематичного зв'язку системи " ГЗ – інструмент", та виділити 8 основних ТП, які диференційовані за характерними ознаками виконання основної операції формоутворення гвинтових деталей і визначені на основі особливостей топології формозмінних та обмежуючих конструктивних параметрів робочих елементів технічних систем [2].

ГОСТ 14201-83 встановлює показники, відповідно до яких здійснюється комплекс заходів із забезпечення необхідного рівня технологічності конструкції ГРО. Найважливіші з цих показників є трудомісткість і собівартість виготовлення, коефіцієнт використання матеріалу та матеріаломісткість.

Для дослідження технологічності конструкції ГРО, яка виражається у трудомісткості та собівартості виготовлення, надійності і довговічності в роботі, необхідно проаналізувати найпрогресивніші технологічні процеси їх виготовлення, зробити порівняння і вибрати найбільш економічний і ефективний. До цього необхідно розглянути основні способи їх виготовлення із заданими конструктивними параметрами, вартість використання технологічного обладнання, трудомісткість і енергоємність. Технологія виготовлення робочих органів ГРО, і зокрема гвинтових стрічок, суттєво впливає на зміну їх конструктивних параметрів і техніко-економічні показники.

На стадії технічного проекту формується конструкція ГРО і його складальних вузлів, визначається конструктивна форма всіх деталей, завантажувальних пристроїв, робочого органу, приводу тощо. Правильний вибір конструкції механізму, форми поверхні спіралі усуває появу й утворення так званих "мертвих зон", які можуть виникати в процесі захоплення й транспортування матеріалів у ГРО. На цьому етапі роботи вирішуються питання технологічності способів одержання заготовок, особливо у випадку їх отримання для навивання спіралей профільної форми, а також проводиться вибір ТП обробки деталей та складання вузлів і самого ГРО.

Одним з важливих недоліків ГРО полягає в тому, що вал і ГЗ мають різний запас міцності. Так вал має запас міцності в 6…15 разів більший ніж ГЗ. Тому нами розроблена конструкція ГММ, яка усуває цей недолік.

Спосіб виготовлення гвинтових спіралей підвищеної міцності [6], який включає гнуття Ω – подібної заготовки 1 поздовж осі, в простір між ребрами якої встановлюють гвинтову стрічкову заготовку 2 заданих параметрів з радіусним заокругленням по зовнішньому діаметру рівним внутрішньому радіусу при вершині Ω – подібної заготовки відомим способом із попереднім натягом із наступним навиванням витків Ω – подібної форми на оправку на певний крок. Першою операцією є виготовлення плоскої розвертки заготовки Ω – подібної форми гвинтової спіралі певної довжини, друга операція – виготовлення двох рядів отворів 3 у плоскій розвертці заготовки Ω – подібної форми на віддалі від центральної рівною довжині півкола при вершині подальшої гвинтової спіралі в шахматному порядку з розрахунку зі зміщення двох рядів на 120° гвинтової спіралі, третя операція - формування Ω – подібного прямолінійного профілю гвинтової заготовки, четверта операція – нарізання плоскої заготовки внутрішньої гвинтової спіралі товщиною рівною внутрішньому зазору між вертикальними стінками Ω – подібної заготовки, п'ята операція - формування в цій

заготовці по верхній кромці по довжині радіусного заокруглення 4 рівного внутрішньому радіусу при вершині Ω – подібної заготовки відомим способом, шоста операція - складання Ω – подібної заготовки з плоскою заготовкою внутрішньої гвинтової спіралі; сьома операція – навивання спіралі підвищеної міцності на оправку на заданий крок відомим способом, восьма операція – токарне оброблення спарених двох бокових гвинтових канавок 5 шириною більшою товщини Ω – подібної заготовки і центральної 6 шириною більшою товщини внутрішньої гвинтової спіралі; дев'ята операція – зварювання Ω – подібної заготовки до вала 7; десята операція зварювання Ω – подібної заготовки внутрішнього гвинтового між собою через отвір 3.

Зварювання ГММ проводять півавтоматом в захисному середовищі вуглекислого або інших газів. Ця операція виконується на токарному або іншому верстаті з підігрівом зон контакту трьох елементів 1, 2 і вала 7 струмами високої частоти відомої контактної зварювальної установки.

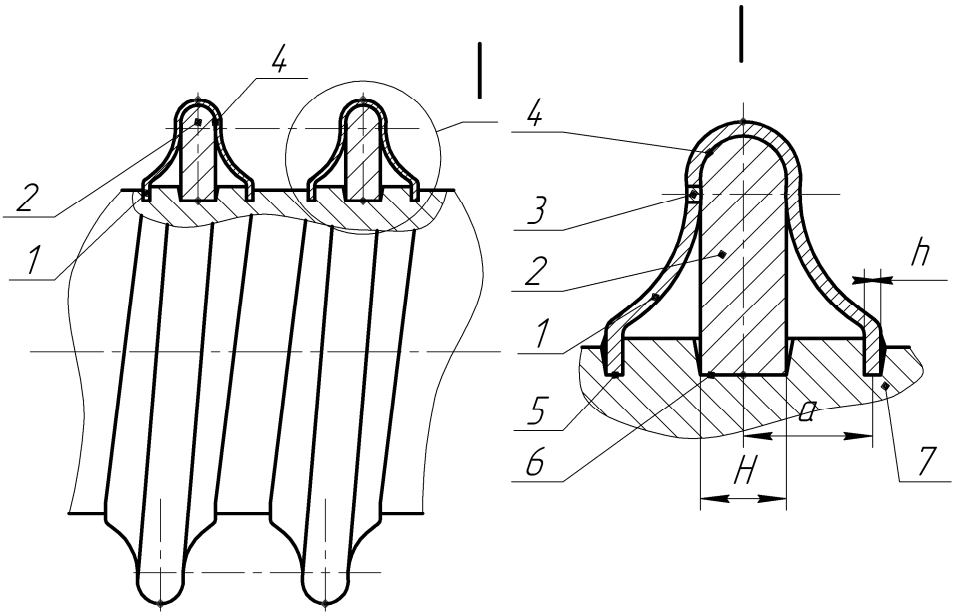


Рисунок 1 - Розрахункова схема гвинтового робочого органу підвищеної міцності, експлуатаційної надійності і довговічності для визначення коефіцієнта підсилення

Для порівняння двох варіантів конструкції існуючої і запропонованого шнека введемо коефіцієнт підсилення згідно розрахункової схеми на рисунку 1:

$$K_n = \frac{W_1}{W_2}, \tag{1}$$

де W_1 – момент опору підсиленого витка, мм^3;

W_2 – момент опору звичайного витка, мм^3.

Під час роботи шнека основними є осьові навантаження, що призводять до згину витків.

Момент опору звичайного витка знаходять за формулою:

$$W_2 = \frac{L \cdot H^2}{6}, \tag{2}$$

де L – довжина робочої частини шнека, мм;

H – ширина витка шнека, мм.

Визначаємо момент опору підсиленого шнека:

$$W_1 = \frac{I_1}{a + \frac{h}{2}}, \tag{3}$$

де I_1– момент інерції січення підсиленого витка шнека при основі, мм^4;

a – відстань від центральної вісі витка шнека до центральної вісі поперечного січення підсилюючого елемента, мм;

h - ширина підсилюючого елемента, мм.

Момент інерції січення підсиленого витка шнека визначають з залежності:

$$I_1 = \frac{LH^3}{12} + \frac{Lh^3}{6} + 2a^2 \cdot Lh. \tag{4}$$

Тоді момент опору підсиленого витка шнека буде рівним:

$$W_1 = \frac{L\left(\frac{H^3}{12} + \frac{h^3}{6} + 2a^2 \cdot h\right)}{a + \frac{h}{2}}. \tag{5}$$

Підставляючи формули (5) і (2) у формулу (1) після скорочень і перетворень, одержуємо залежність для визначення коефіцієнт підсилення:

$$K_n = \frac{H^3 + 2h^3 + 24a^2h}{2H^2\left(a + \frac{h}{2}\right)}. \tag{6}$$

На основі формули (6) будуємо графік залежності коефіцієнта підсилення від ширини підсилюючого елемента (рисунку 2).

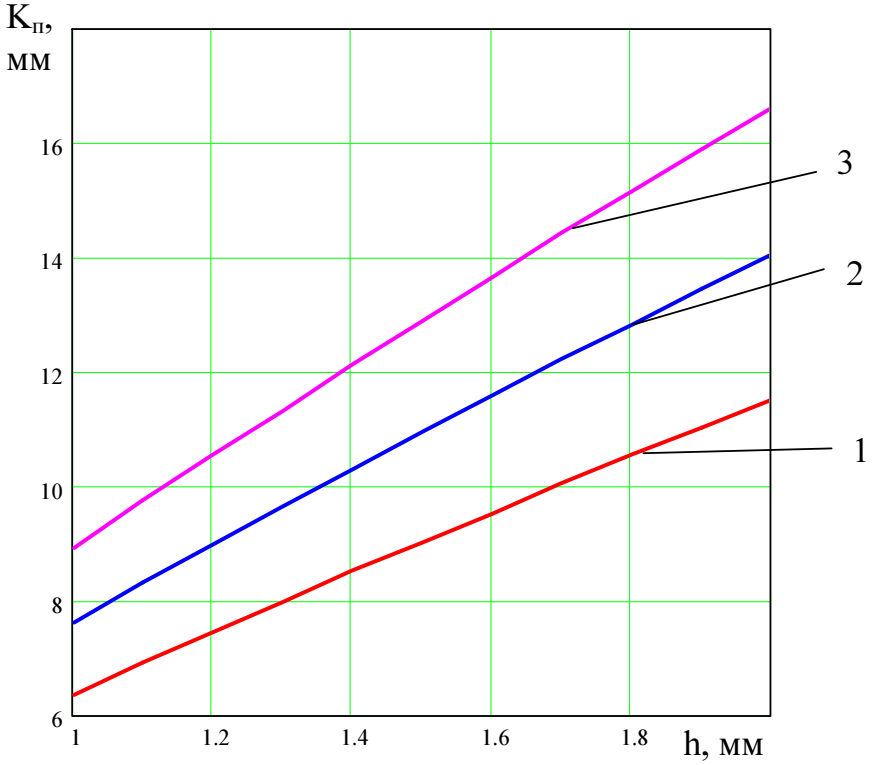


Рисунок 2 – Графік залежності коефіцієнта підсилення від ширини підсилюючого елемента:
1 – а=5мм; 2 – а=6мм; 3 – а=7мм

На основі проведених досліджень, можна зробити наступні висновки:

1. Приведені технологічні передумови підвищення експлуатаційної надійності і довговічності гвинтових робочих органів машин.
2. Розроблена конструкція ГММ підвищеної міцності, експлуатаційної надійності і довговічності.

Список літератури

1. Технологичность конструкции изделий. Справочник / Амиров Ю.Д. и др. – М.: Машиностроение, 1985. – 217 с.
2. Шатуновский Г.М. Технологичность конструкции и экономическая эффективность сельскохозяйственных машин / Шатуновский Г.М. –М.: Машгиз, 1963. – 328 с.
3. Григорьев А.М. Винтовые конвееры / Григорьев А.М. – М.: Машиностроение, 1972. – 148 с.
4. Герман Х. Шнековые механизмы в технологіях ФРГ / Герман Х.. - Л.: Машгиз, 1975. – 212с.
5. Механізми з гвинтовими пристроями / Гевко Б.М., Рогатинський Р.М. та інші. – Львів: Світ, 1993. - 207 с.
6. Пат. №61354 Україна, МПК B21D 11/06. Спосіб виготовлення гвинтових стрічкових робочих органів/ Гевко І.Б.; Ляшук О.Л.; заявник і патентовласник Тернопільський національний технічний університет. – №2 u2003010130; заявл. 03.01.2003; опубл. 17.11.2003, Бюл. №11.

Б. Гевко, А. Дячун, Р. Ивасечко

Отработка винтовых рабочих органов машин на технологичность конструкций

Разработана конструкция винтового рабочего органа повышенной прочности эксплуатационной надежности и долговечности. Приведены пути повышения прочности и эксплуатационной надежности и долговечности винтовых механизмов машин. Выведены аналитические зависимости для определения этих параметров.

B. Hewko, A. Dyachun, R. Ivasechko

Working screw bodies working on machines constructions manufacturability

A helical structure of the working body with increased strength of operational reliability and durability. The ways of improving durability and reliability and durability of screw machines mechanisms. The derived analytical dependences for determining these parameters.

Одержано 20.01.12

УДК 621.9.06-8

В.М. Пестунов, проф., канд. техн. наук, М.В. Ткаченко, ст. викл.,
В.Ю. Шапошник, студ.
Кіровоградський національний технічний університет

Підвищення точності обробки на металорізальних верстатах

У статті пропонується підвищити точність обробки на металорізальних верстатах за рахунок застосування приводів з можливістю перерозподілу або управління навантаженням робочих органів.
металорізальний верстат, привід, точність, перерозподіл навантаження, управління навантаженням

Способи підвищення точності на металорізальних верстатах спрощено можна розділити на конструкторські, технологічні, експлуатаційні та комплексні системи управління точністю. Всі способи мають цільову направленість на усунення одної чи декількох причин створення похибок обробки. Ці причини, переломлюючись через процес обробки, викликають похибку як інтегральний показник відхилення, по якому важко встановити степінь впливу кожної із цих причин на якість обробки. Тому рішення проблеми точності зводиться до рішення одиничних конкретних задач.

Розглянемо задачу підвищення точності обробки шляхом зміни потоків потужності та навантаження в приводі. Відомо, що розподіл потужності та навантаження в приводі верстатів визначається режимами, геометрією інструмента і іншими параметрами процесу обробки. Розподіл навантаження не завжди відповідає оптимальному по точності навантаженню виконавчих органів і кінематичних ланцюгів визначаючих вихідні характеристики верстата.

Це викликає необхідність при заданих режимах і умовах обробки змінювати потоки потужності та навантаження таким чином, щоб створити оптимальні по точності умови навантаження виконавчих органів верстата.

Задача полягає в тому, щоб на етапі розробки структурної схеми верстата оцінити умови навантаження виконавчих органів привода верстата, що визначають його вихідні характеристики.

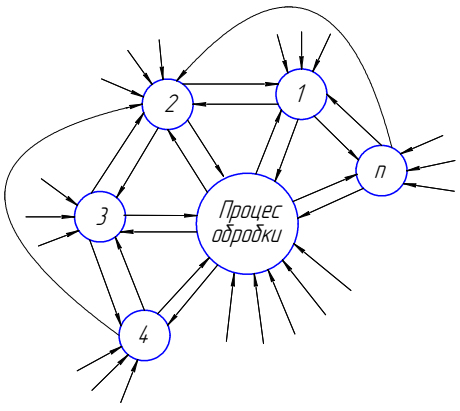


Рисунок 1 - Граф структурної схеми привода

© В.М. Пестунов, М.В. Ткаченко, В.Ю. Шапошник, 2012

Структурну схему привода, що охоплює верстатний привід, можна представити в вигляді графа (рис. 1). Вершини графа 1,2,…n позначають виконавчі органи привода верстата. Ребра графа показують напрямок взаємодії і зв'язку виконавчих органів привода з процесом обробки і між собою. Виконавчі ограни привода верстата виконують технологічний процес обробки від джерел потужності, а умови їх навантаження при заданих параметрах процесу можуть бути зміненні шляхом управління потоками потужності і навантаження в приводі.

Структурна схема привода верстата з ЧПК приведена на рис.2.

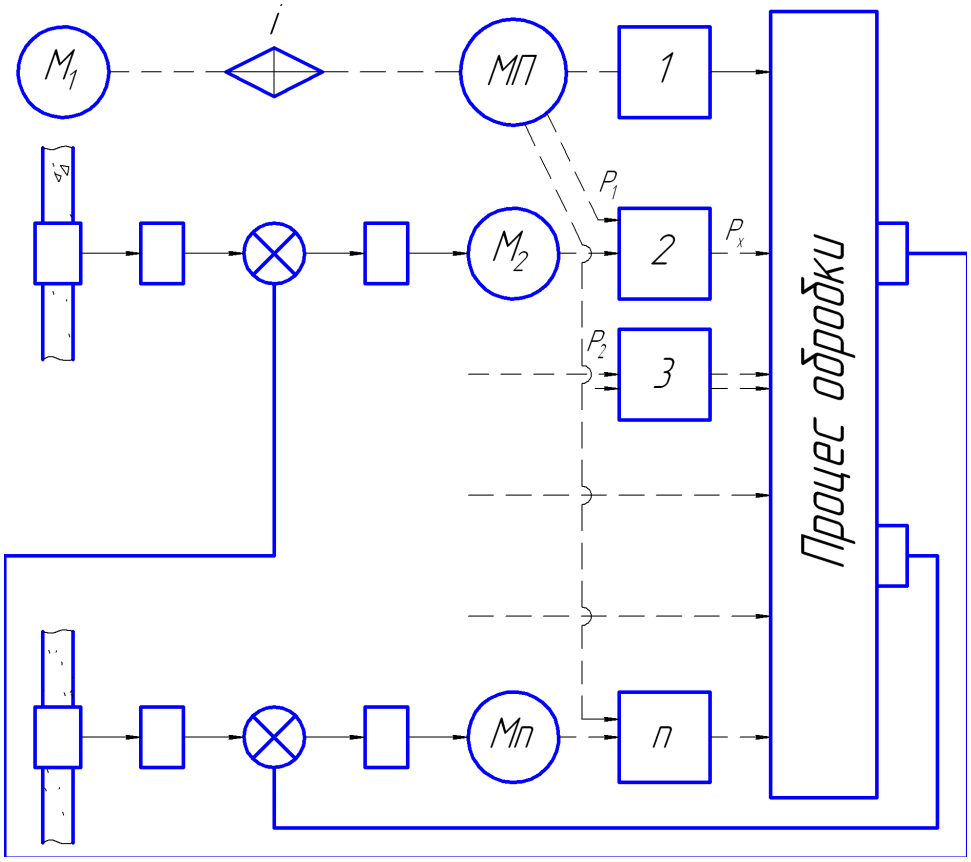


Рисунок 2 – Структурна схема привода верстату з ЧПУ

Привод містить електродвигуни $M_1, M_2, \ldots M_n$ по числу створених рухів формоутворення, виконавчі органи *1,2,3,… n*, *МП* - механізм зміни потоків потужності. Електродвигун M_1 через ланку настроювання *i* кінематично зв'язаний з механізмом зміни потоків потужності, який в свою чергу зв'язаний з виконавчими органами *1, 2, 3,… n,* що здійснюють процес обробки. Із схеми видно, що виконавчі органи привода подачі діючих сил *(P_1 і P_2):* одна від кінематичного ланцюга подачі з електродвигуном M_2 , а другою – від механізму зміни потоків потужності. Таке з'єднування механізму розподілення потужності дозволяє управляти навантаженням кінематичного ланцюга подачі в функції сили різання, автоматично розподілити потужність необхідну для процесу обробки, і передавати основну її частину по кінематичному ланцюгу головного руху, звичайно менш чутливого до перевантаження.

Така структура дозволяє змінити схему навантаження виконавчого органа привода з тим, щоб максимально розвантажити напрямні без порушення визначення базування виконавчого органа привода на напрямних. Розглянувши схему навантаження виконавчого органа показану на рис.3 можна відмітити, що задане технологічне навантаження P_x можна забезпечити при різних значеннях сил P_{x1} і P_{x2}.

Оскільки сила P_x навантажує циліндричні напрямні пінолі, то необхідно намагатись до її відносного зменшення. Однак при цьому система, що розглядається може втратити визначеність базування, що веде до втрати точності обробки. Розв'язання даного протиріччя необхідно шукати в динамічній рівновазі, при якій піноль не втрачає визначеності базування, а її напрямні максимально розвантажуються при любому переборі параметрів технологічного навантаження. Це можливо тоді коли виконується наступна умова:

$$P_{x2} \cdot l > P_x \cdot \cos\omega \cdot t, \qquad (1)$$

де l – величина ексцентричності прикладання рухомої сили і технологічного навантаження відносно осі шпинделя;

ω - кутова швидкість обертання шпинделя;

t – час.

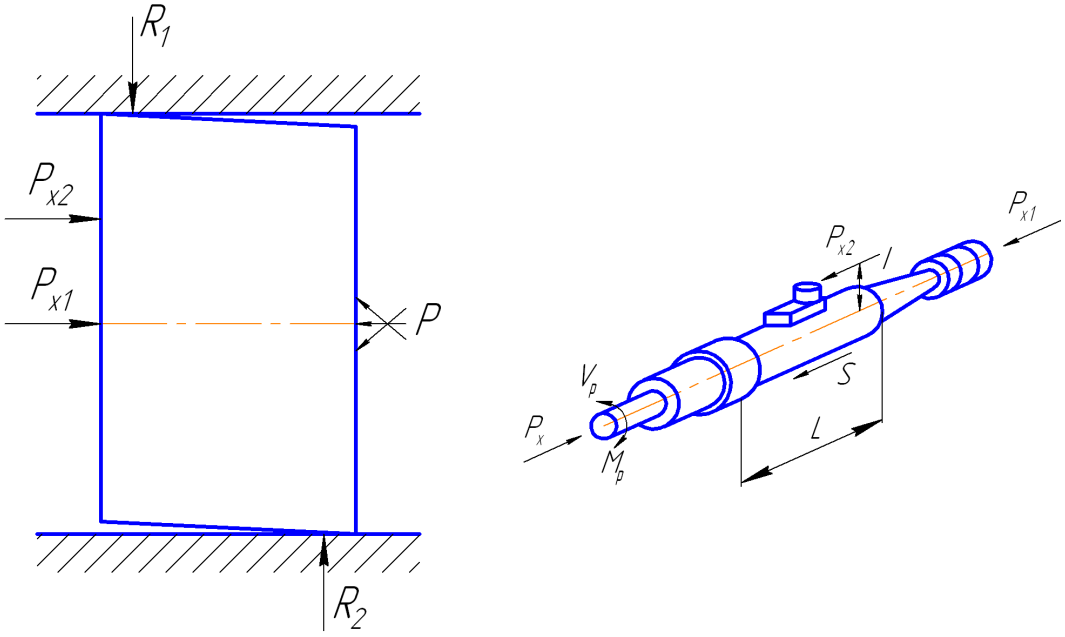


Рисунок 3 – Схема навантаження виконавчого органа

В загальному випадку вибір необхідного співвідношення рухомих сил P_x *і* P_{x2} здійснюється по типовим монограмам відповідно з обмежувальними параметрами. В якості таких параметрів можуть виступати максимально допустимий питомий тиск в напрямних, величина деформації напрямних, величина допустимого зношування напрямних і точність обробки. Якщо відомий один із перелічених параметрів, можна по монограмі (рис.4) визначити необхідне співвідношення сил P_x *і* $P_{x2.}$ На приведеній монограмі послідовність вибору показаний стрілками. По заданим продуктивності Q і степені первинної концентрації технологічних операцій (числу інструментів) K визначається величина технологічного навантаження $P_{x.}$ Одночасно по допустимій величині деформації напрямних A з урахуванням діаметра пінолі d визначається допустиме навантаження механізму подачі P_{x2}. По шкалі зусиль сила P_{x1} визначається як різниця P_x *і* $P_{x2.}$ Визначення таким чином відношення сил P_{x1} *і* P_{x2} є основою для вибору параметрів механізму розподілення навантаження. Стосовно до приведеної на рис.3 розрахункової схеми, де в якості механізму розподілення навантаження прийнята несамогальмівна гвинтова передача, параметром, який визначає відношення сил P_{x1} і P_{x2} є кут нахилу гвинтової лінії різьби. Без врахування сил тертя можна записати:

$$P_x - P_{x1} - P_{x2} = 0 \qquad (2)$$

або $$P_x - (2 \cdot M \cdot tg\Delta / d_ф) - P_{x2} = 0 \ , \quad (3)$$

де M – обертальний момент на шпинделі;

$d_{ср}$ – середній діаметр несамогальмівної гвинтової передачі;

Δ - приведений кут нахилу гвинтової лінії передачі.

Із рівняння (1.3) кут нахилу гвинтової передачі дорівнює:

$$\Delta = arctg(d \cdot (P_x - P_{x2})) / 2M \quad (4)$$

Формула (1.4) є основою для побудови монограм вибору приведеного кута нахилу гвинтової передачі. В якості механізму розподілення навантаження можуть бути використанні механізми, які складають рухи або диференціальні передачі.

Запропонований підхід перерозподілу навантаження дозволяє розробити методику проектування привода технологічних машин по вихідним характеристикам експлуатації і представити її у вигляді алгоритму (рис.5) накладеного на традиційну схему проектування привода.

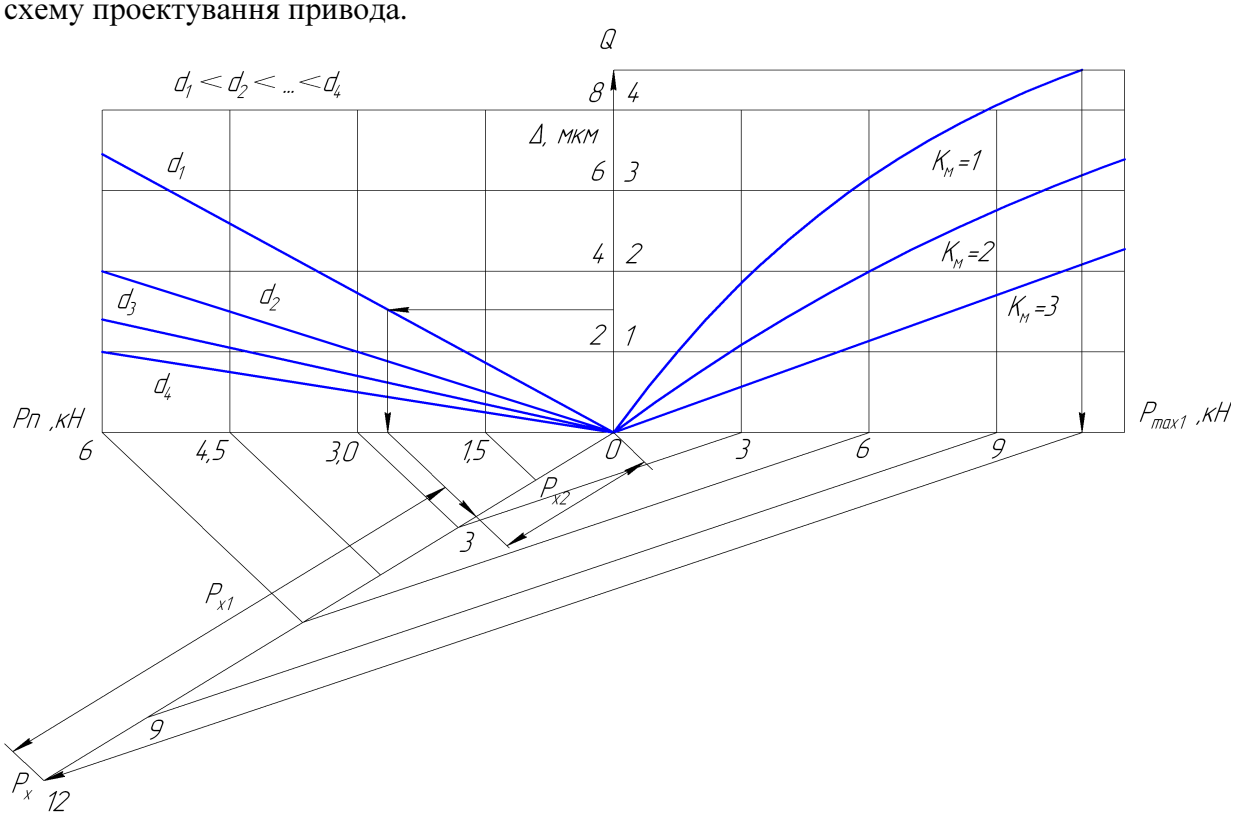


Рисунок 4 – Номограма рухомих сил привода

Ця методика додатково передбачає:

1) пошук приводів, які мають граничні вихідні характеристики відповідні з службовим призначенням верстата, визначення параметрів обмеженого і умовного функціонування приводів, лімітуючи вихідні характеристики верстата;

2) визначення необхідної степені розвантаження приводів за рахунок зміни потоків потужності і визначати приведенні порівняльні оцінки можливих варіантів по вихідним характеристикам;

3) розробку нової структури привода;

4) прогнозування параметричної надійності верстата і його ефективності;

5) порівняння досяжних характеристик з потребою промисловості і проробку різних варіантів до отримання потрібного;

6) вибір типів і визначення параметрів механізмів кінематичного з'єднання приводів, які забезпечують задані зміни потоків потужності;

7) розробку кінематичної схеми верстата;

8) складання рівнянь, які описують перехідні процеси в приводі верстата: математичне моделювання і вибір конструкторських параметрів;

9) вибір компоновки і розробку конструкції верстата;

10) виготовлення і дослідження опитного зразка; перевірку вихідної характеристики і умов функціонування приводів.

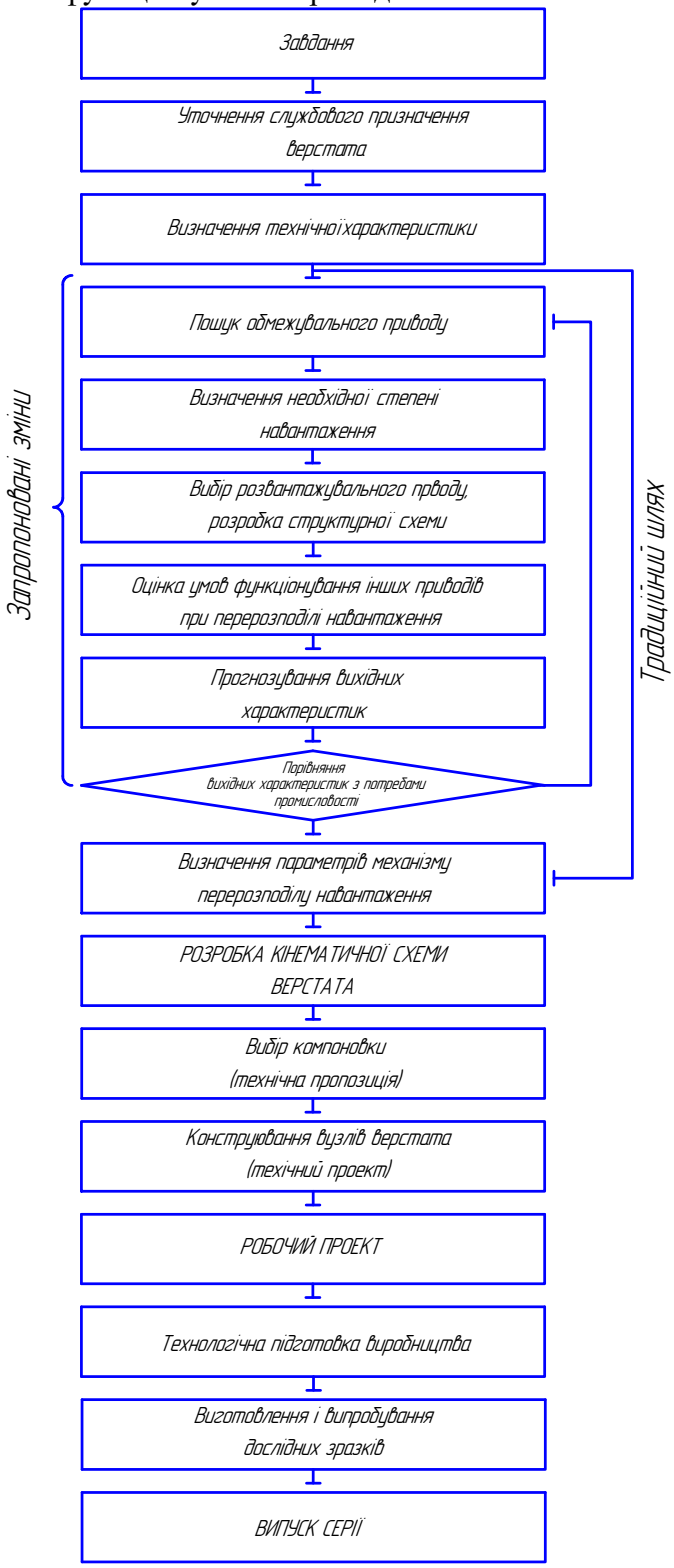


Рисунок 5 – Алгоритм проектування привода

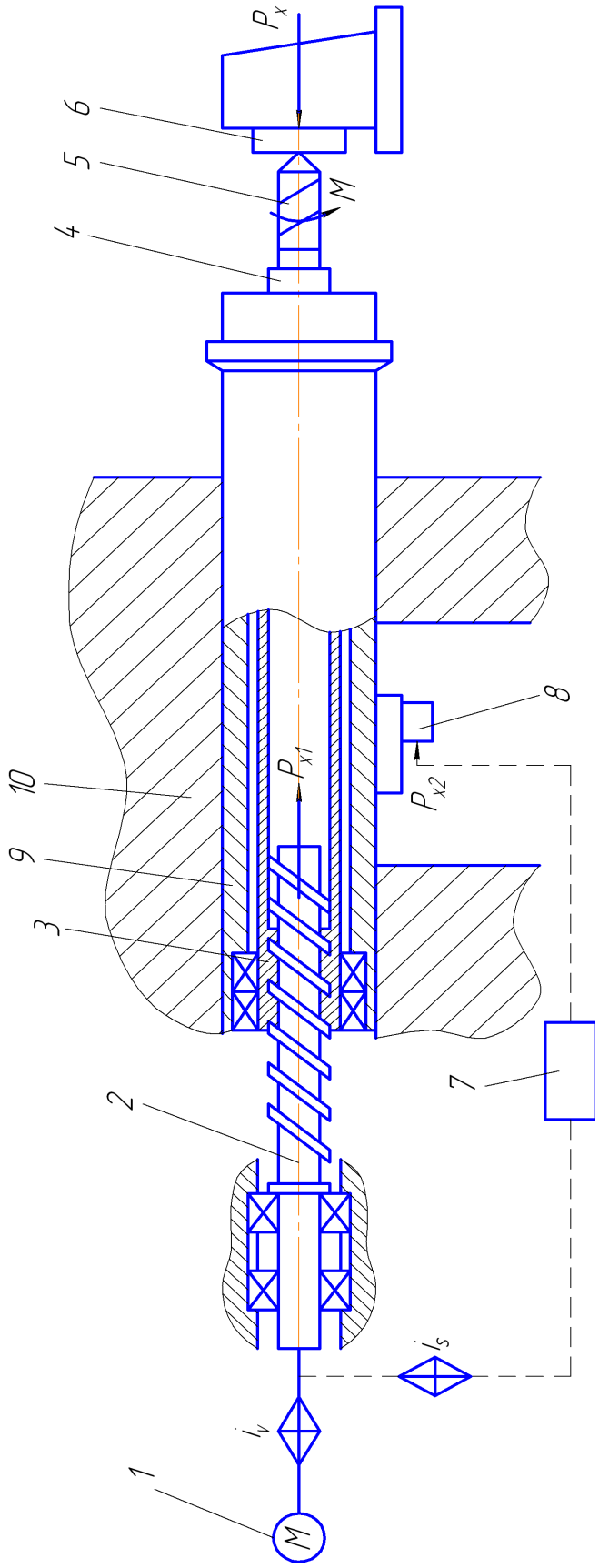


Рисунок 6 – Типова конструкція механізму подач пінольного типу

Для порівняння експериментальних досліджень традиційних механізмів з механізмами, які змінюють потоки потужності (рис. 6) прийнята типова конструкція силової головки з механізмом подачі пінольного типу, яка широко використовується в силових головках агрегатних верстатів. В корпусі 10 на підшипниках 3 установлена піноль 9, яка через шліцьову передачу з'єднана з шпинделем 4, а кінематичним ланцюгом подач з ланкою настроювання i_s з приводом обертання. В шпинделі 4 кріпиться інструмент 5, який обробляє заготовку 6. Шпиндель містить в своїй порожнині шліцьовий гвинтовий механізм 2 встановлений на підшипниках і разом з ним здійснює повний цикл зворотно-поступального руху, який надається йому механізмом подачі. Механізм подачі отримує рух від шпинделя через ланку настроювання i_s, черв'ячну передачу 7 обертання передається кулачку, який переміщує роликовий штовхач 8 установлений на пінолі 9. В якості механізму зміни потоку потужності і навантаження між приводом головного руху і подачі прийнята шліцьова гвинтова передача 2, кутом нахилу якої змінюється коефіцієнт *К* зміни потоків потужності і навантаження в приводі.

З метою визначення впливу зміни потоку потужності і навантаження на вихідні характеристики головки були приведені порівнювальні дослідження силових головок нової та традиційної структур. Статистична оцінка умов експлуатації силових головок визначена вибором настроювання. Дослідження проводились при суцільному свердлуванні в сталі 45 свердлами із швидкоріжучої сталі діаметром від 11 до 16 мм при частоті обертання шпинделя n = 466-714 хв$^{-1}$, подачі S = 0,218-0,245 мм/об.

В якості порівнювальних вихідних характеристик силових головок була прийнята точність переміщення пінолі в процесі свердлування, яка визначалась степеню розвантаження привода подачі. Зміною режимів і діаметрів свердлування в указаних діапазонах при незмінних параметрах шліцьової гвинтової передачі викликають зміну степені розвантаження механізму подачі в діапазоні від 0,4 до 0,5.

Результати порівняльних досліджень дозволяють зробити висновок, що сумарні переміщення пінолі в поперечному напрямку з новою структурною основою в 1,7 рази менша, чим у традиційної серійної силової головки. Це співвідношення збільшується при збільшенні степені розвантаження механізму подачі. Змінення степені розвантаження в зазначеному діапазоні дозволяє збільшити на 40-50 % навантажувальну здатність силової головки на осьовому зусиллю, що розширює технологічні можливості силових головок і створених на їх основі агрегатних верстатів. Процес обробки різанням забезпечується не тільки приводами рухів формоутворення . В процесі обробки, як правило, одночасно приймають участь приводи підвода ЗОР, змащування гідростатичних напрямних верстатів викликають необхідність їх функціонального об'єднання. Об'єднання приводів не тільки рухів формоутворення може також здійснюватись через диференціальний механізм відповідно з типовою схемою функціональних зв'язків приводів. Дослідження шпиндельного вузла показано, що його використання дозволяє підвищити продуктивність процесу свердлування в порівнянні з звичайним традиційним методом в 2 – 3 рази.

По результатам експериментальних досліджень зміни точності обробки в часі для різних схем навантаження виконавчого органа після їх математичної обробки побудовані графічні залежності $\Delta = f(Ty.i)$, приведені на рис. 7, 8, 9.

В результаті аналізу графіків (рис. 7,8,9) установлено, що змінюється точність обробки в часі по лінійній залежності і відповідає моделі формування поступового відказу з урахуванням розсіювання початкових параметрів. Схема навантаження виконавчого органа привода подачі визначає швидкість втрати силовою головкою точності обробки. Так по даним побудованих графіків (рис. 7, 8, 9) розрахункові

швидкісні втрати точності обробки для трьох схем навантаження виконавчого органа привода подачі тим вище, чим більше посилення подачі P_{x2}, тобто чим менше значення коефіцієнта розподілення навантаження K_p (див. таблицю 1). На основі аналізу графічних залежностей $\Delta = f(Ty.i)$ і швидкості втрати точності обробки, установлено, що пониження точності обробки в часі визначається схемою навантаження виконавчого органу привода подачі, так як збільшення зусилля подачі привода приводе до збільшення контактних деформацій напрямних виконавчого органа, інтенсифікуючи їх зношення, що в кінцевому результаті негативно впливає на точність обробки.

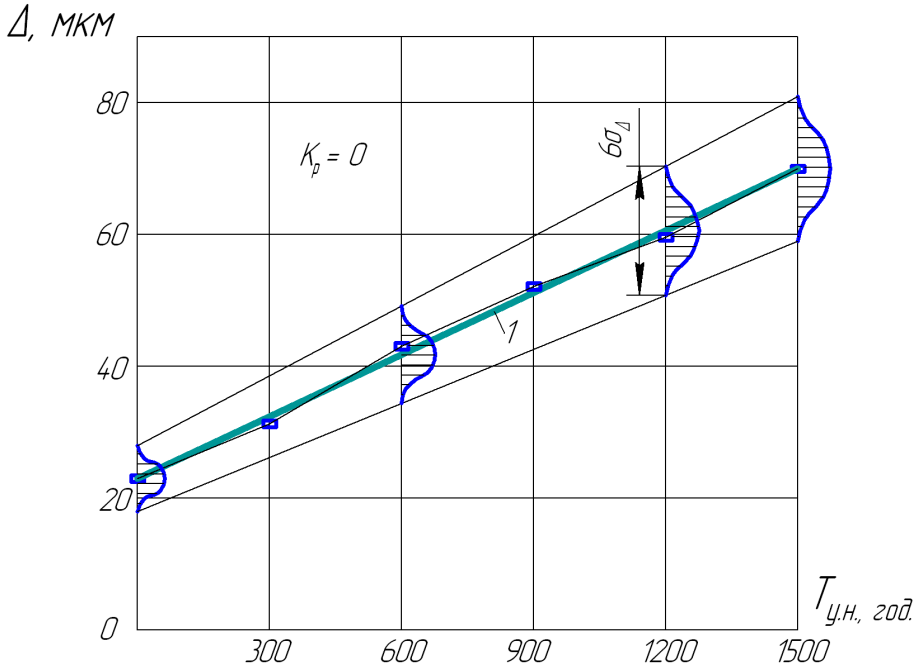


Рисунок 7 – Зміна точності обробки в часі з традиційною схемою навантаження пінолі

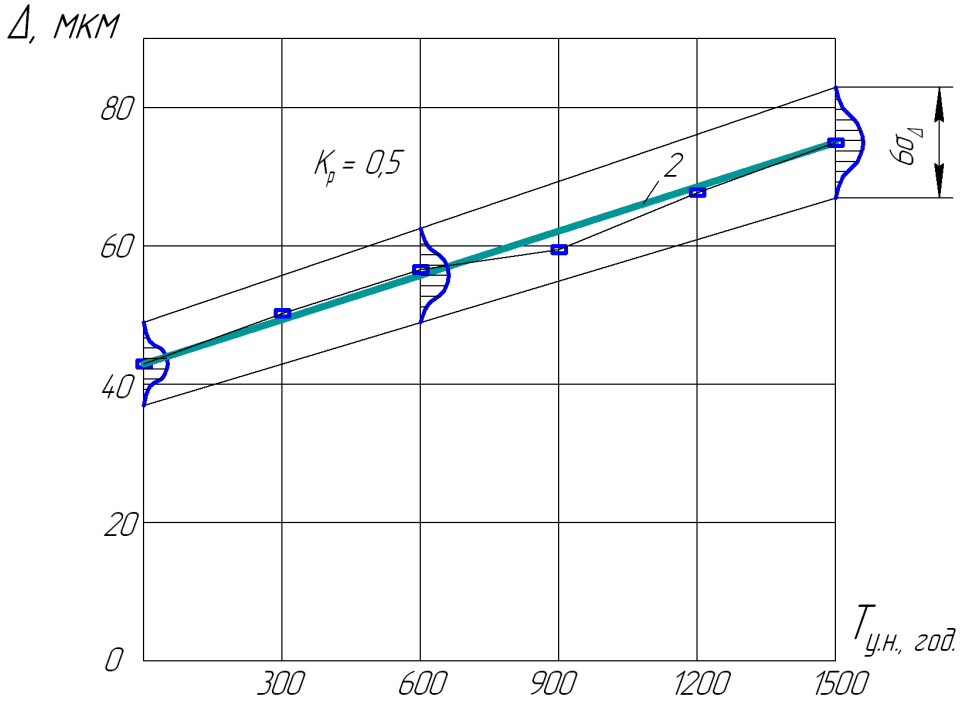


Рисунок 8 - Зміна точності обробки в часі з навантаженням виконавчого органу двома силовими потоками P_x та P_{x2}

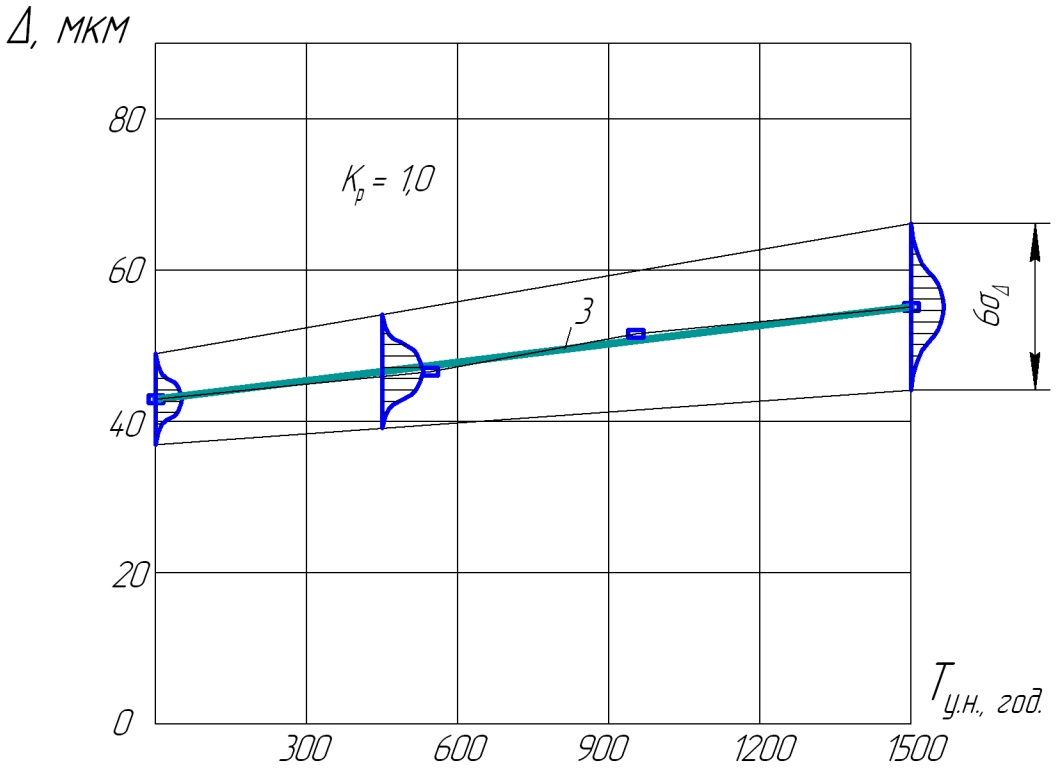


Рисунок 9 – Зміна точності обробки в часі з співвісним розташуванням осьового зусилля P_x та осьової складової P_{x1} при $P_{x2} = 0$

Таблиця 1 – Розрахункові швидкості втрати точності обробки

K_p	γ, мкм/годину	σ_γ
0	0,033	0,0022
0,5	0,0253	0,0018
1,0	0,0079	0,0006

В процесі проведення експериментів оцінювався напрямок уводу осі отвору, що розточувався. Це дозволяє визначити напрямок переміщення виконавчого органа подачі в просторі. Напрямок уводу осі розточувального отвору визначався напрямком вектора зміщення центрів колограм, по яким оцінювалась не перпендикулярність осі отвору з *ø26A₁* базовому торцю втулки. В результаті обробки експериментальних даних по напрямку уводу осі розточувального отвору установлено, що для традиційної схеми навантаження виконавчого органа привода подачі і схеми навантаження з характеристикою $K_p=0,5$ напрямок дії зусиль P_{x2}, при чому область розсіювання напрямків вектора зміщення осі отвору на виході і вході отвору *ø 26* мм менше для схеми навантаження виконавчого органа з $K_p=0,5$, чим для традиційної схеми.

Найменшою стабільністю положення осі розточувального отвору має схема навантаження виконавчого органа з $K_p=1$. Це підтверджує припущення про планетарний рух виконавчого органа відносно своїх напрямних. На рис.10 в полярних координатах показані області уводів осей розточувальних отворів для розглянутих схем навантаження виконавчих органів приводів подачі, де кути $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ - відповідно для схем навантаження виконавчих органів з $K_p=0$, $K_p=0,5$, $K_p=1,0$, 1 - площина дії зусилля подачі P_{x2}, 2 - базовий торець деталі. По експериментальним даним установлено, що $\beta_1 = 34°, \beta_2 = 96°, \beta_3 = 118°$. Це дає можливість вважати, що

найменший вплив на змінення положення осі отвору здійснює привід силової головки з загальною схемою навантаження виконавчого органа привода подачі, для якої $K_p=0,5$.

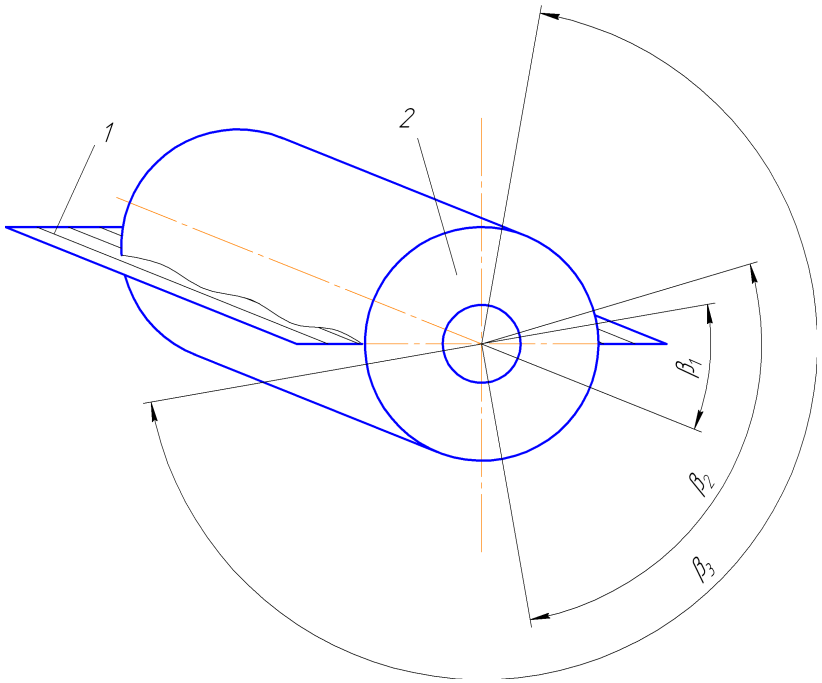


Рисунок 10– Області напрямку векторів відводу осі розточених отворів

На основі приведених досліджень можна зробити висновки про те, що:

1) швидкість втрати точності обробки визначається схемою навантаження виконавчого органа привода подачі;

2) найменша швидкість втрати точності обробки (по не перпендикулярному осі отвору базовому торцю) буде при схемі з осьовим прикладанням зусилля подачі в такий же час при такій схемі навантаження спостерігається найбільша нестабільність направлення уводу осі отвору;

3) увід осі обробленого отвору відбувається в площині дії рухомого зусилля кулачкового механізму подачі для традиційної схеми навантаження його виконавчого органу;

4) характер формування втрати точності обробки не визначається схемою виконавчого органа привода подачі силових головок.

Список літератури

1. Кузнецов Ю.Н., Крыжановський В.А. Агрегатно-модульное технологическое оборудование нового поколения. К. – Кировоград. ООО «ЗМОК» - ПП «Гнозис», 2001. – 258 с.
2. Металлорежущие системы машиностроительных производств / под. ред. Г.Г. Земскова и О.В. Татаринова – М. : Высшая школа. 1988. – 454 с.
3. Пестунов В.М. Основы теории привода с перераспределенной нагрузкой металлорежущих станков: Автореферат дис. д-ра техн. наук: 05.03.01 / МВТУ им. Н.Э. Баумана.– М., 1983.– 32 с.
4. Пестунов В.М., Кариков Е.А. Повышение точности и производительности металлорежущих станков.– К.: Техника, 1979.– 96 с.
5. Петраков Ю.В. Теорія автоматичного управління в металообробці: Навч. посібник.– К.: ІЗМН, 1999.– 212 с.

В.Пестунов, М.Ткаченко, В.Шапошник
Повышение точности обработки на металлорежущих станках

В статье предлагается повысить точность обработки на металлообрабатывающем оборудовании за счет применения приводов с возможностью перераспределения или управления нагрузкой рабочих органов.

V.Pestunov, M.Tkachenko, V.Shaposhnik
Increase of exactness of treatment on metal-cutting machine-tools

In the article it is suggested to promote exactness of treatment on a metal-working equipment due to application of drives with possibility of redistribution or management loading of workings organs.

Одержано 27.03.12

УДК 621.9.077:621.865.85

І.І. Павленко, проф., д – р. техн. наук, М.О. Годунко, викл.
Кіровоградський національний технічний університет

Обгрунтування узгодження характеристик промислових роботів та їх захватних пристроїв

Запропоновано для узгодження характеристик промислових роботів та їх захватних пристроїв методику, що розроблена на основі градації роботів по вантажності. Проаналізовано відповідність вантажності захватних пристроїв до промислових роботів і побудовано залежності для визначення діапазону функціонування захватів відповідно до ваги та розмірів утримуваних деталей. Отримано результати у вигляді градації розмірів утримуваних роботом деталей з врахуванням вантажності та зон обслуговування захватних пристроїв.
промисловий робот, захватний пристрій, градація по вантажності, зона обслуговування, діапазон розмірів

Постановка проблеми. Враховуючи всезростаюче використання роботів у промисловому виробництві, де здійснюється виготовлення різних за формою, розмірами та іншими параметрами деталей, актуальним є обгрунтування градації як в цілому роботів, так і їх захватних пристроїв (ЗП). Це важливо ще й тому, що промислові роботи відносять до універсальних засобів автоматизації, які в умовах ринкового швидко змінного виробництва повинні з мінімальними витратами переналагоджуватись на випуск нової продукції. Це особливо відноситься до переналагодження ЗП, які безпосередньо взаємодіють з оброблюваними деталями.

Аналіз останніх досліджень. Проблема обгрунтування градації промислових роботів за їх основними технічними характеристиками розглядалася у багатьох літературних джерелах. Зокрема в роботах [1] та [2] висвітлювалося питання визначення потреби в роботах різної вантажності для виконання завантажувально-розвантажувальних, складальних, транспортних та ін. операцій, де об'єктами переміщення виступають різноманітні штучні деталі. У даній роботі проведено аналіз вантажності промислових роботів з урахуванням вантажності їх захватних пристроїв та приведено діапазон розмірів деталей, який відповідає приведеній градації.

Узгодження характеристик промислових роботів та їх захватних пристроїв.

© І.І. Павленко, М.О. Годунко, 2012

В.Пестунов, М.Ткаченко, В.Шапошник
Повышение точности обработки на металлорежущих станках

В статье предлагается повысить точность обработки на металлообрабатывающем оборудовании за счет применения приводов с возможностью перераспределения или управления нагрузкой рабочих органов.

V.Pestunov, M.Tkachenko, V.Shaposhnik
Increase of exactness of treatment on metal-cutting machine-tools

In the article it is suggested to promote exactness of treatment on a metal-working equipment due to application of drives with possibility of redistribution or management loading of workings organs.

Одержано 27.03.12

УДК 621.9.077:621.865.85

І.І. Павленко, проф., д – р. техн. наук, М.О. Годунко, викл.
Кіровоградський національний технічний університет

Обгрунтування узгодження характеристик промислових роботів та їх захватних пристроїв

Запропоновано для узгодження характеристик промислових роботів та їх захватних пристроїв методику, що розроблена на основі градації роботів по вантажності. Проаналізовано відповідність вантажності захватних пристроїв до промислових роботів і побудовано залежності для визначення діапазону функціонування захватів відповідно до ваги та розмірів утримуваних деталей. Отримано результати у вигляді градації розмірів утримуваних роботом деталей з врахуванням вантажності та зон обслуговування захватних пристроїв.
промисловий робот, захватний пристрій, градація по вантажності, зона обслуговування, діапазон розмірів

Постановка проблеми. Враховуючи всезростаюче використання роботів у промисловому виробництві, де здійснюється виготовлення різних за формою, розмірами та іншими параметрами деталей, актуальним є обгрунтування градації як в цілому роботів, так і їх захватних пристроїв (ЗП). Це важливо ще й тому, що промислові роботи відносять до універсальних засобів автоматизації, які в умовах ринкового швидко змінного виробництва повинні з мінімальними витратами переналагоджуватись на випуск нової продукції. Це особливо відноситься до переналагодження ЗП, які безпосередньо взаємодіють з оброблюваними деталями.

Аналіз останніх досліджень. Проблема обгрунтування градації промислових роботів за їх основними технічними характеристиками розглядалася у багатьох літературних джерелах. Зокрема в роботах [1] та [2] висвітлювалося питання визначення потреби в роботах різної вантажності для виконання завантажувально-розвантажувальних, складальних, транспортних та ін. операцій, де об'єктами переміщення виступають різноманітні штучні деталі. У даній роботі проведено аналіз вантажності промислових роботів з урахуванням вантажності їх захватних пристроїв та приведено діапазон розмірів деталей, який відповідає приведеній градації.

Узгодження характеристик промислових роботів та їх захватних пристроїв.

© І.І. Павленко, М.О. Годунко, 2012

Найбільш розповсюдженими деталями у машинобудівному виробництві є деталі обертання. Вони також найбільш придатні для автоматизованої обробки, а тому більшість металообробних верстатів, як і промислових роботів, використовуються для виготовлення таких деталей. Градація ЗП роботів, в першу чергу, повинна бути узгоджена з градацією їх вантажності. Тому вага утримуваних деталей циліндричної форми буде:

$$P = \frac{\pi d^2}{4} l \cdot \gamma, \qquad (1)$$

де d, l – діаметр та довжина утримуваної деталі;

γ – питома вага матеріалу деталі.

Якщо взяти за основу рекомендовану градацію за геометричними рядами [ГОСТ 8032-84], то в подальшому пропонується використання основного ряду R5 (знаменник 1,6) та допоміжного ряду R10 (знаменник 1,25). За цих умов для основного ряду область утримуваних деталей, наприклад, роботом вантажності Р=4,0кг можна представити графічно (рис.1), де вона виділена нахиленим штрихуванням. При побудові даних графіків також прийнято, що основна кількість таких деталей (до 97%) знаходиться в межах розмірів деталей обертання від l/d=0,2 до l/d=5. Ця умова на рисунку виділена відповідними обмежувальними лініями.

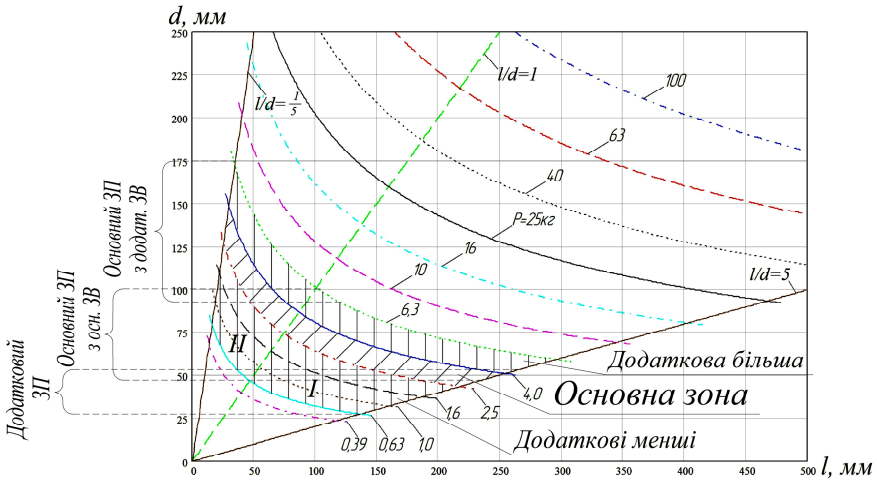


Рисунок 1 - Градація промислових роботів за вантажністю

Відповідно до прийнятих умов захватний пристрій промислового робота повинен утримувати короткі деталі, коли l/d=0.2, діаметр яких визначаємо з рівняння:

$$\frac{\pi d^2}{4} 0.2 d\gamma = P = 4кг\,. \qquad (2)$$

Якщо деталі прийняти стальними, то: γ = 7,8·10^{-6} кг/мм^2. Тоді максимальний діаметр короткої деталі основної зони обслуговування робота:

$$d_{к.о.\max} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot P}{0.2 \cdot \pi \cdot \gamma}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 4}{0.2 \cdot 3.14 \cdot 7.8 \cdot 10^{-6}}} = 148мм. \qquad (3)$$

Довжина такої деталі:

$$l_{к.о.\max} = d/5 = 148/5 = 30мм\,. \qquad (4)$$

Мінімальний діаметр короткої деталі для цієї зони буде визначатися утриманням гранично мінімальної деталі, яка, в даному випадку, буде мати вагу 2,5 кг. Тоді:

$$d_{к.о.\min} = \sqrt[3]{\frac{4P}{0.2\pi\gamma}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 2.5}{5 \cdot 3.14 \cdot 7.8 \cdot 10^{-6}}} = 126, \quad (5)$$

а довжина $l_{ê.î.\min} = 126/5 = 25$.

Для довгої деталі $l/d = 5$ максимальний діаметр буде:

$$d_{д.о.\max} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot P}{5 \cdot \pi \cdot \gamma}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 4}{5 \cdot 3.14 \cdot 7.8 \cdot 10^{-6}}} = 50мм. \quad (6)$$

Довжина такої деталі: $l_{ä.î.\max} = 50 \cdot 5 = 250 ìì$.

Мінімальний діаметр довгої деталі, за такими ж умовами, як і для короткої деталі, буде:

$$d_{д.о.\min} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot P}{5 \cdot \pi \cdot \gamma}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 2.5}{5 \cdot 3.14 \cdot 7.8 \cdot 10^{-6}}} = 43мм, \quad (7)$$

довжина такої деталі: $l_{ä.î.\min} = 43 \cdot 5 = 215 ìì$.

Для ЗП як з точки зору силових навантажень, так і їх функціональних особливостей, дуже важливим є діапазон утримуваних деталей. Згідно з отриманими даними, для зазначеного прикладу, максимальний діапазон діаметрів знаходиться в межах від 148мм до 43мм. Тобто, відношення діаметрів утримуваних деталей складає:

$$\frac{d_{k.o.\max}}{d_{д.о.\min}} = \frac{148}{43} = 3.44 \text{ рази.}$$

Порівнюючи дані значення із раніше отриманими [3] бачимо, що для силових навантажень доцільно змінювати значення діаметрів утримуваних деталей в межах 1,25 (в більшу сторону) – 2 рази (в меншу сторону), а функціональних по точності в межах 1,3 (в більшу сторону) – 2 рази (в меншу сторону) по відношенню до номінального діаметру [4].

При цих порівняннях необхідно прийняти умову, якщо максимальне значення на граничній лінії (див.рис.1) вантажності відповідає номінальному діаметру утримуваної захватом деталі, то при додатковому руху в більшу сторону є можливість утримувати деталь більшого діаметра за номінальний, але тої ж ваги. Із попередніх досліджень видно [3], що така зміна діаметра може привести до збільшення сил затиску в 1,2 – 1,5 раз, на прикладі вантажності 4,0 кг. Відповідна зміна діаметра в меншу сторону приведе до зменшення сил затиску в 1,25 – 1,4 рази. По точності, для приведеної вантажності, така зміна діаметрів на одну ступінь в більшу сторону і на три ступені в меншу приведе до зміщення центру деталі до 7 мм.

Така можливість доцільна, оскільки утримувана деталь може бути пустотілою, або непостійного зовнішнього діаметру (ступінчаста), тому робот в межах встановленої вантажності може утримувати і деталі більшого діаметру. Якщо прийняти за умову, що таке граничне верхнє відхилення буде співпадати із наступним більшим значенням робота по вантажності, то для досліджуваного прикладу це буде відповідати вантажності Р=6,3 кг. При цій умові максимальний діаметр утримуваної деталі буде:

$$d_{к.б.\max} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot P}{0.2 \cdot \pi \cdot \gamma}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 6.3}{0.2 \cdot 3.14 \cdot 7.8 \cdot 10^{-6}}} = 173мм. \quad (8)$$

Таким чином, при цьому маємо збільшення діаметру в $\frac{173}{148} = 1.17$ раз. Тому таку зону слід розглядати як додаткову – більшу, що на рис.1 виділено вертикальним штрихуванням.

Дещо більшою мірою роботи можуть працювати з меншими за вагою деталями як більш вірогідними за умовами їх експлуатації. Це пов´язано, з одного боку, з тим, що

в процесі експлуатації робота у виробництві можуть виготовлятися деталі різних розмірів, в тому числі і близькі за вантажністю, що відноситься до інших зон (наприклад Р = 2,5кг., Р = 1,6кг та Р = 1кг). Тому попередньо доцільним слід вважати охоплення деталей роботом конкретної вантажності на три ступені меншої величини (на рис.1 ці області також виділені вертикальним штрихуванням).

Врахування цих обставин передбачає функціонування робота із значно меншим діаметром. Так, при охопленості роботом трьох нижніх зон мінімальний діаметр утримуваних коротких деталей буде:

$$d_{к.м.\min} = \sqrt[3]{\frac{4P}{0.2\pi\gamma}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 0.63}{0.2 \cdot 3.14 \cdot 7.8 \cdot 10^{-6}}} = 79мм. \qquad (9)$$

Подібним чином визначаються діаметри утримування довгих деталей.

Таким чином, якщо захват охоплює деталі на одну ступінь вантажності більше і на три менше, то загальний діапазон утримуваних деталей:

$$\frac{173}{28} = 6,2 \text{ раз.}$$

Отримані значення показують, що діапазон утримуваних деталей повинен бути великим, приблизно з відношенням діаметрів від 6 до 7, що складно забезпечити захватними важелями одного виконання, в тому числі і без підрізання їх кінцевих частин та інших конструктивних особливостей.

Для досліджуваного варіанту ЗП (Р = 4кг), доцільним є використання двох ЗП:

- перший – основний ЗП для роботи з деталями ваги 4кг з двома парами змінних затискних важелів (ЗВ): - 1-й комплект для діаметрів 40…100мм; - 2-й комплект для діаметрів 80…200мм;
- другий – додатковий ЗП для деталей меншої ваги (в даному випадку Р=2,5кг).

Встановлені діапазони прийняті із відношенням максимального діаметра до мінімального рівним 2.5, що узгоджується з функціональними можливостями ЗП. Величина діаметрів прийнята з деяким перекриттям зон їх обслуговування, що розширює їх можливості. Прийняті діаметри також узгоджені із ГОСТ 8032-84 (СТ СЕВ 3961-83).

Подібні розрахунки для ЗП роботів іншої вантажності зведені до табл.1.

Таблиця 1 - Діапазон розмірів утримуваних деталей ЗП роботів різної вантажності

Вантажність, кг	Діаметри зон обслуговування ЗП (мм)						Параметри захватів (мм)								
	Основна зона		Більша зона		Три менші		Основного ЗП						Додаткового ЗП		
							1-й комплект ЗВ			2-й комплект ЗВ					
	$d_{к.о.\max}$	$d_{д.о.\min}$	$d_{к.б.\max}$	$d_{д.б.\max}$	$d_{к.м.\min}$	$d_{д.м.\min}$	D_{min}	$D_н$	D_{max}	D_{min}	$D_н$	D_{max}	D_{min}	$D_н$	D_{max}
1,0	93	27	109	37	50	17	20	40	50	40	80	100	10	20	25
1,6	109	32	127	43	58	20	25	50	63	50	100	125	12	25	32
2,5	127	37	148	51	68	23	32	68	80	68	125	160	16	32	40
4,0	148	43	173	59	80	27	40	80	100	80	160	200	20	40	50
6,3	173	51	201	69	93	32	50	100	125	100	200	250	25	50	63
10	201	59	236	81	109	37	63	125	160	125	250	320	32	63	80

Висновки. Таким чином, отримано необхідне обгрунтування по розподілу загальної зони обслуговування захватами робота оброблюваних деталей на окремі частини за рахунок використання змінних ЗП та їх змінних важелів.

Список літератури

1. Павленко І.І. Промислові роботи: основи розрахунку та проектування. Кіровоград, КНТУ, 2007. – 420 с.
2. Павленко І.І. Промислові роботи: Характеристики та градація. – Кіровоград.: КІСМ, 1997. – 78с.
3. Павленко І.І. Дослідження силових навантажень ЗП промислових роботів / І.І. Павленко, М.О. Годунко // Збірник наукових праць НТУ «ХПІ» / високі техології в машинобудуванні./ Харків: НТУ «ХПІ», 2008 (1'2008). – С. 216 – 220.
4. Павленко І.І. Оцінка точності положення утримуваної деталі в захватному пристрої робота / І.І. Павленко, М.О. Годунко // Десята Всеукраїнська молодіжна науково-технічна конференція «Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво». Тези доповідей. – Суми: СумДУ, 2010. С. 111 – 113.

И.Павленко, М. Годунко

Обоснование согласования характеристик промышленных роботов и их захватных устройств

Предложена для согласования характеристик промышленных роботов и их захватных устройств методика, которая разработана на основе градации роботов по их грузоподьёмности. Проанализировано соответствие грузоподьёмности захватных устройств с промышленными роботами и построены зависимости для определения диапазона функционирования схватов соответственно весу и размеров удерживаемых деталей. Получены результаты в виде градации размеров удерживаемых роботом деталей с учетом грузоподьёмности и зон обслуживания захватных устройств.

I.Pavlenko, M. Godunko

Ground of concordance of descriptions of industrial robots and their grippers

A method which is developed on the basis of gradation of robots on their the masses is offered for the concordance of descriptions of industrial robots and their grippers. Accordance of masses of grippers is analysed with industrial robots and dependences are built for determination of range of functioning of grippers according to weight and sizes of the retained details. Results are got as gradation of sizes of the details retained a robot taking into account masses and areas of maintenance of grippers.

Одержано 02.03.12

УДК 621.86

Я.І. Проць, проф., канд. техн. наук, П.С. Федорів, асист., Ю.О. Цяпута, асп.
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Дослідження струменевих багатощілинних приводів захоплюючих пристроїв

Здійснено аналітичні та експериментальні дослідження силових характеристик багатощілинних ежекційних струменевих приводів механічних захоплюючих пристроїв Досліджено раціональні конструктивні параметри струменевого привода для забезпечення необхідних зусиль захоплення об'єктів маніпулювання.
струменевий пристрій, аеродинамічний ефект, ежекція, привід, захоплюючих пристрій, присмоктувальна сила, тягове зусилля приводу

У роботизованих системах в якості виконавчих пристроїв широко використовуються захоплюючі пристрої з важільними передавальними механізмами. Для створення силових зусиль захоплювачів найчастіше застосовують різноманітні конструкції пневматичних приводів. Одним з перспективних видів пневмопривода є струменевий привід, який володіє високими динамічними характеристиками і простотою конструкції.

Дослідженням роботи та проектуванням механічних захоплюючих пристроїв займались ряд авторів [1, 2, 3]. Відомі праці [4, 5, 6], в яких досліджувалися вплив струменя повітря для створення ним силового зусилля, одначе питання конструктивних рішень для забезпечення силових зусиль ще не достатньо обґрунтовані.

Аналіз силової дії струменевих елементів показує, що перспективним для приводів захоплюючих пристроїв є виконання на торці струменевого елемента кільцевої конічної щілини на власному торці під визначеним кутом α до площини поршня. У порівнянні з вакуумними й електромагнітними, а також струменевими приводами з перпендикулярними соплами, даному пристрою властиві більш широкі технологічні можливості і переваги. У них більш високі силові характеристики, можуть працювати із різними площинами обтікання поршня, який може бути з вирізами, отворами, або нагрітим до визначеної температури.

Конструкція захоплюючого пристрою з струменевим ежекційним приводом (рис.1) містить корпус 1, у якому встановлена вставка 2 з конічною периферією, що утворює з фаскою отвору конуса на торці корпуса кільцеву конічну щілину, поршень 3. зв'язаний важільним передавальним механізмом із губками захоплювача 4. Захоплення заготовки відбувається за рахунок подачі у камеру струменевого елемента стиснутого повітря. Розкриття губок захоплювача здійснюється під дією пружини 5 після припинення подачі до привода стиснутого повітря.

При роботі привода кільцевий струмінь повітря, витікаючи під кутом α до поверхні поршня в зазорі між торцями корпуса й поршня, утворює суцільний плоский радіальний потік. Цей потік викликає зниження тиску до величини нижче атмосферного P_a, що приводить до появи аеродинамічного ефекту. Характерними геометричними параметрами таких струменевих пристроїв є: радіус циліндричної конічної вставки r_0, радіус соплового елемента r_2, радіус камери $r_к$, висота щілини h_1,

© Я.І. Проць, П.С. Федорів, Ю.О. Цяпута, 2012

вимірювана в нормальному до її стінок напрямку, кут нахилу щілини α. Відмінною рисою такого протікання є те, що в результаті сформованого щілиною і кільцевим суцільним витікаючим в атмосферу потоком газу на охопленій ним площини торця, тобто торця вставки 2, за рахунок ежекції утвориться знижений тиск, розрідження P_p.

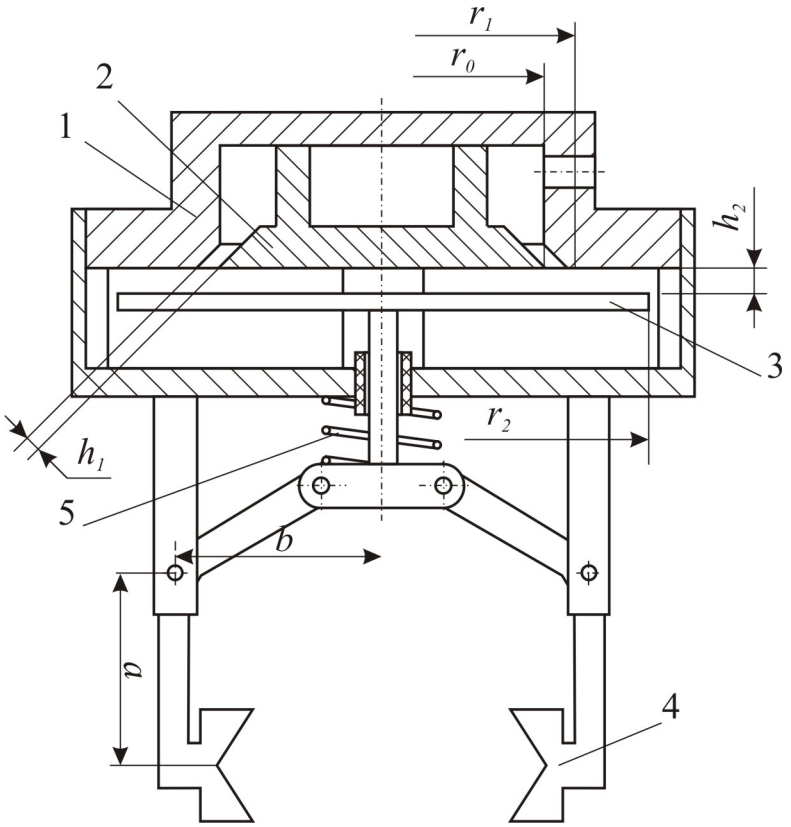


Рисунок 1 – Силовий структурний елемент із кільцевий концентричною щілиною

При розподілі швидкостей у зазорі h_{i1} варто розрізняти дві ділянки протікання повітря: ділянка формування профілю швидкостей на виході з щілини і ділянка плину плоского радіального потоку зі сталим профілем швидкостей. Характер формування профілю швидкостей на початковому рівні залежить від геометричних параметрів кільцевої щілини.

Ідеалізуючи процес руху газу між торцем силового елемента й поверхнею поршня (зазор h_2) приймаємо його ламінарним, стабілізуючим, нестиснутим плоским потоком між двома паралельними стінками. Градієнт швидкості і тиску на товщині зазору дорівнюють нулю, а товщина повітряної подушки h_n=const величина постійна і не залежить від підвідного тиску *Рм.* Величина тиску P в будь-якому перетині суцільного потоку газу, перпендикулярному швидкості потоку, однакова і залежить тільки від радіуса r, а швидкість потоку змінюється тільки по висоті h_n повітряної подушки. Крім цього, протікання відбувається без обміну енергії між потоком і зовнішнім середовищем, тобто на виході в зазор h відбувається повне адіабатичне розширення газу до величини атмосферного тиску P_a на виході. Однак плин газу на кінцевій ділянці сопла, де напрямок потоку повітря може бути перпендикулярним, паралельним чи спрямованим під кутом до зазору h_2, і в самому зазорі h_2 між торцем

струменевого елемента і поверхнею поршня супроводжується складними фізичними явищами і вимагає особливого аналізу.

Ефективність струменевого силового пристрою з кільцевою щілиною на торці залежить від оптимального співвідношення між зазором h_2 і товщиною h_1 конічної щілини, яка виміряється в нормальному до поверхні фасок напрямку і максимальна сила присмоктування поршня $F_{пр}$ (до 250-300 Н) забезпечується при h_2/ h_1=2,8...3,2 і куті нахилу щілини α=120…150^0. Для стійкої роботи струменевих приводів рекомендується магістральний тиск (18,62-49,05) 10^4 Па.

Більш досконалими з погляду маніпулювання силою затиску захоплюючих пристроїв, тобто розширення технологічних можливостей, є конструкція багатокільцевого струменевого привода, показаного на рис.2. Вона містить корпус 1, на торцевій поверхні якого концентрично, із зазором один відносно одного, закріпленні тарілки 2, 3, 4, які утворюють циліндричні камери 5, 6 і 7, а верхні торці тарілки лежать в одній площині й утворюють робочий торець силового елемента.

Конічними периферіями і внутрішніми фасками тарілок на робочому торці силового елемента утворюються концентричні кільцеві щілини 8, 9 і 10 радіусами відповідно r_{01}, r_{02}, r_{03}.

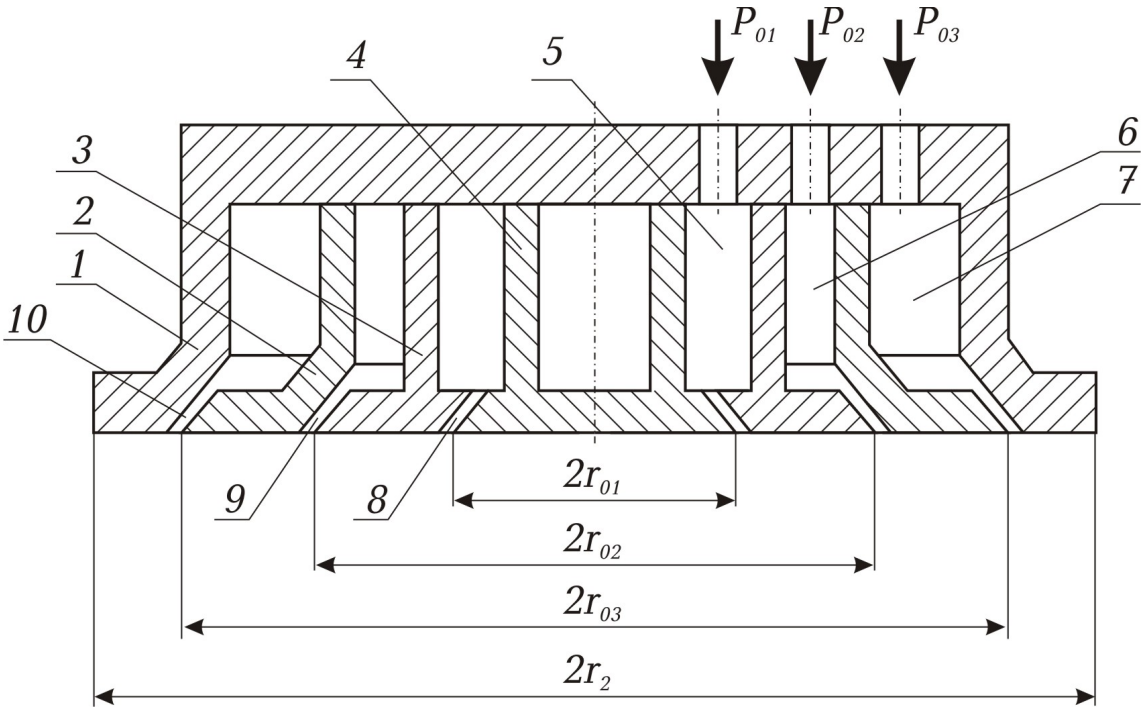


Рисунок 2 – Розрахункова схема багатокільцевого струменевого елемента

Принцип роботи струменевого багатокільцевого привода полягає в подачі стиснутого повітря через повітряпідвідні канали послідовно до кожної або паралельно до декількох, або всіх відразу циліндричних щілин.

Розглянемо послідовне включення, коли стиснене повітря надходить спочатку до однієї камери і витікає крізь відповідну їй кільцеву щілину в атмосферу. Силову характеристику струменевого привода з радіусами конічної щілини r_{01} і периферії r_2 можна визначити за формулою

$$F_{пр} = \int_{r_0}^{r_2} (P_a - P) \cdot 2\pi r dr \ , \qquad (1)$$

де сила присмоктування поршня $F_{пр}$ залежить від величини виникаючого на торці тарілки вакууму P_p і зниження тиску від швидкісного напору потоку повітря на кільцевій ділянці, що охоплює кільцеву щілину, тобто в інтервалі радіусів від r_{01} до r_2. При подачі стиснутого повітря в другу камеру і витікання його вже другою щілиною радіусом r_{02}, сила присмоктування визначиться за тією ж формулою (1), тільки з підстановкою конструктивних параметрів іншої щілини. Величина цієї сили збільшиться, оскільки її основна складова від виниклого внаслідок ежекції на торці тарілки вакууму P_p прямо пропорційна площі цього торця.

Включення струменевих силових елементів з радіусами конічних щілин рівними r_{03}, r_{04} і т.д. приводить до послідовного збільшення аеродинамічних характеристик притягування поршня. На підставі аналізу формулу сили притягування поршня при одинарно включених силових елементах у загальному виді можна представити наступним виразом

$$F_{пр} = \pi V_{0i}^2 \rho_a r_{0i} \left(\frac{r_2 \ln \frac{r_2}{r_{0i}} - r_2 + r_{0i}}{r_2 - r_{0i}} + 0{,}5 - \frac{h_2}{r_{0i}} \cos \frac{\alpha}{2} \right), \qquad (2)$$

де V_{0i} - швидкість витікання струменя з i-тої кільцевої конічної щілини;

r_{0i} - радіус конічної тарілки i-тої кільцевої щілини.

Розглянемо випадок паралельного включення, коли стиснуте повітря від джерела надходить одночасно в камери 5, 6, 7 (рис.2) і потім витікає крізь відповідні їм кільцеві конічні щілини 8, 9 і 10 в атмосферу. На кожній з кільцевій ділянці зазору h_2, починаючи з другого радіуса r_{02}, відбудеться взаємодія двох неоднорідних потоків, з яких першим є кільцевий суцільний, паралельний торцю потік газу в зазорі h_2 а другим – витікаючий із щілини та діючий відносно першого під кутом $\frac{\alpha}{2}$, рівним половині кута нахилу конічної щілини. Напрямок потоку після злиття формується зазором h_2. Однак швидкість мас потоків, що злилися, дещо міняється і на ділянках змішування можна визначити виходячи з кількості руху мас [4]. Величина рівнодіючої потоку в цьому випадку виразиться формулою

$$m_1 V_{01} + m_2 V_{02} \sin \frac{\alpha}{2} + ... + m_i V_{0i} \sin \frac{\alpha}{2} = (m_2 + m_3 + ... + m_i) V_i \sin \frac{\alpha}{2} + m_1 V_{01} \qquad (3)$$

де $m_1 ... m_i$ - маси стиснутого повітря витікаючого з конічних щілин;

$V_{01} ... V_{0i}$ - швидкості витікання повітря з цих щілин при тисках $P_{01} ... P_{0i}$, V_i- швидкість змішаного струменя повітря на кожній з ділянок, що з деякими допущеннями в загальному вигляді для i-ї ділянки можна записати як

$$V_i = \frac{m_1 V_{01} + \sin\frac{\alpha}{2}\sum_{i=2}^{k} m_i V_{0i}}{\sum_{i=1}^{k} m_i}. \quad (4)$$

Для визначення маси повітря, що протікає за одиницю часу *dt* через зазор *dh,* скористаємося відомим рівнянням стану Менделєєва-Клапейрона, що зв'язує між собою основні параметри потоків газу всіх ділянок.

$$P_{0i} V_i = \frac{m_i}{\mu_i} RT \ , \quad (5)$$

Тут V_i - елементарний об'єм повітря на *i*-тій ділянці. У результаті перетворень загальна формула (4) для визначення величини швидкості результуючого струменя на будь-якій ділянці змішування представиться виразом

$$V_i = \frac{P_{01} V_{01}^2 + \sin\frac{\alpha}{2}\sum_{i=2}^{k} P_{0i} V_{0i}^2}{\sum_{i=1}^{k} P_{0i} V_{0i}} \ . \quad (6)$$

Замітимо, що в тому випадку, коли на торці силового елемента базується кільцеподібний поршень з внутрішнім діаметром кільця меншим діаметра першої конічної щілини r_1 змішування двох потоків (витікаючого з першої щілини і засмоктуючого через отвір поршня внаслідок ежекції) відбудеться уже на першій ділянці від r_{01} до r_{02}. Швидкість на цій ділянці визначиться згідно формули (6) з урахуванням перепаду тиску $\Delta P \approx P_1$. Якщо припустити, що вхідний тиск на крайці кожної щілини дорівнює магістральному тиску, тобто $P_{01} = P_{02} = ... = P_{0k} = P_m$, а також допустити, що при однакових конструктивних параметрах (h_1, h_2, *y*, α і ін.) швидкість витікання з щілин буде дорівнює V_0, тобто $V_{01}=V_{02}=...=V_{0k}=V_0$ то швидкість результуючого струменя V_i можна прийняти малоизмінним щодо середнього значення швидкості V_0 і рівною

$$V_i = K_{cm} \cdot V_0 \ , \quad (7)$$

де K_{cm} - коефіцієнт пропорційності, що визначається як

$$K_{cm} = \frac{1 + (N_1 - 1)\sin\frac{\alpha}{2}}{N_1} \ , \quad (8)$$

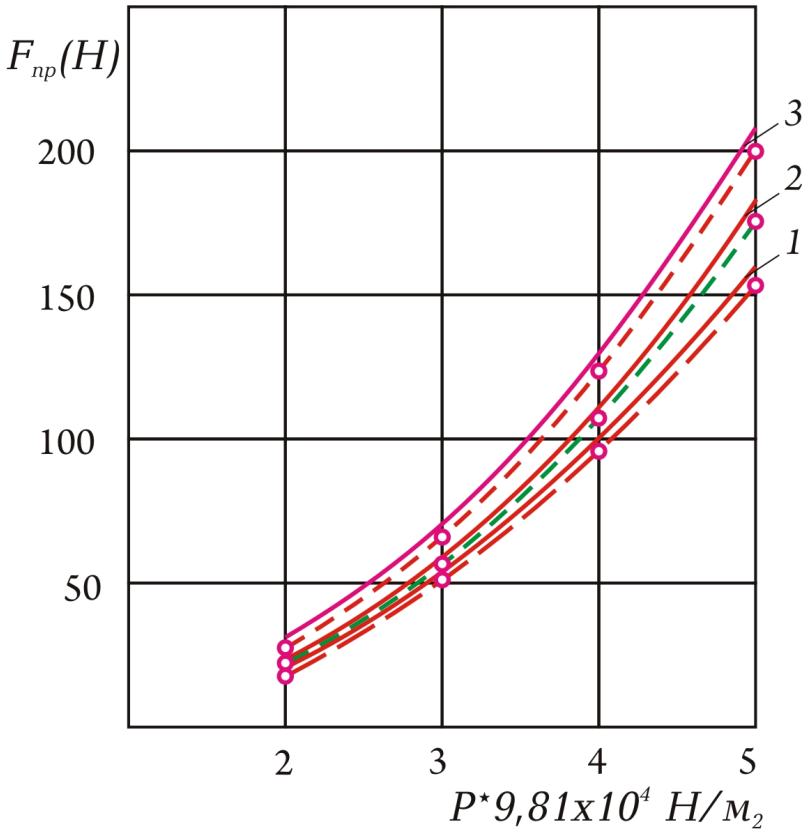
де N_1 - повне число кільцевих конічних щілин, яке визначається з урахуванням варіанта, і рівне цілому числу N_1=1,2,3... Теоретичні й експериментальні дослідження показують, що коефіцієнт K_{cm} можна прийняти рівним 0,95-0,97 при α= 150°.

У результаті сила присмоктування багатокільцевого приводу представиться сумою від зусилля присмоктування підрахованого формулою (2) для першого

(внутрішнього) кільцевого силового елемента і сумуючого зусилля присмоктування, підрахованого для кожного наступного силового елемента, на ділянці якого відбувається змішування струминевих потоків повітря. Формула цієї сили буде мати вигляд:

$$F_{np} = \pi\rho_a \left[V_{01}^2 r_{01} \left(\frac{r_{02} \ln \frac{r_{02}}{r_{01}} - r_{02} - r_{01}}{r_{02} - r_{01}} + 0{,}5 - \frac{h_2}{r_{01}} \cos\frac{\alpha}{2} \right) + \sum_{i=2}^{k} V_i^2 r_{0i}^2 \left(\frac{r_{0i+1} \ln \frac{r_{0i+1}}{r_{0i}} - r_{0i+1} + r_{0i}}{r_{0i+1} - r_{0i}} - \frac{h_2}{r_{0i}} \cos\frac{\alpha}{2} \right) \right] \quad (9)$$

де r_{0i} - радіус *i*-ої кільцевої конічної щілини, r_{0i+1} - радіус наступної після *i*-ої щілини.



суцільні лінії – розрахункові, пунктирні – експериментальні; криві 1 і 2 отримані при послідовному підключенні силових струменевих, крива 3 – при одночасному.

Рисунок 3 – Залежність сили привода $F_{пр}$ від тиску живлення $P_м$:

При теоретичним розрахункам використовувалися такі значення параметрів: ρ_a=1,225 кг/м^3, n=1,41, R=287 Н·м/(кг·град), T=293^0. На рис.3 показані силові залежності $F_{пр}=f(P)$ для двох приводів із геометричними параметрами $2r_{01}$=40 мм, $2r_{02}$=60 мм, $2r_2$=100 мм, h_1=0,1 мм, α=150^0. Криві 1 і 2 представляють залежності окремо

включених, а крива 3 характеризує силове зусилля одночасно включених кільцевих струменевих елементів. Незначне зменшення до 5% експериментальних даних відносно теоретичних вказує на наявність сил тертя між поверхнями потоку і щілин.

Розглянуті приводи прості у виготовленні й в експлуатації, той самий силовий елемент може використовуватися для різних за розмірами, матеріалом і конфігурації поршнів. Силові елементи мають зручне живлення у виробничих умовах і низьку собівартість як виготовлення так і обслуговування.

Список літератури

1. Градецкий В. Г. Роботы вертикального перемещения / В. Г. Градецкий, М. Ю. Рачков.- М.: Тип. Мин. Образования РФ, 1997. — 223 с.
2. Колпашников С. Н., Методы расчета характеристик схватов роботов. Промышленные роботы на погрузочно-разгрузочных работах/ С. Н. Колпашников, И. Б. Челпанов.- Л.: Изд-во ЛДНТП, 1984. – с. 52—56.
3. Челпанов И. Б. Схваты промышленных роботов/ И.Б. Челпанов, С.Н. Колпашников – Л.:Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1989. – 287 с.
4. Дмитриев В.Н. Основы пневмоавтоматики/ В.Н. Дмитриев, В.Т. Градецкий. – М.: Машиностроение, 1973. – 360с.
5. Сентяков Б.А. Исследование силовых характеристик струйного вихревого преобразователя/ Б.А. Сентяков, Г.П. Исупов. – М.: Измерительная техника. – 1984. – № 1. – С. 34
6. Проць Я., Савків В., Федорів П. Струменеві захоплюючі пристрої промислових роботів // Вісник Тернопільського державного технічного університету імені Івана Пулюя. – 1998. – том 3, число 1. – С. 44-48

Я. Проць, П. Фэдорив, Ю. Цяпута

Исследование струйных многощелевых приводов захватных устройств

Осуществлены аналитические и экспериментальные исследования силовых характеристик многощелевых эжекционных струйных поводов механических захватывающих устройств Исследовано рациональные конструктивные параметры струйного привода для обеспечения необходимых усилий захвата объектов манипулирования.

Y. Prots, P. Fedoriv, Y. Tsiaputa

Investigation of multislot air-jet actuators of gripping devices

Analytical and experimental investigations of force characteristics of multislot ejecting air-jet actuators of mechanical grippers were done. Rational design parameters of air-jet drive for provision with the necessary efforts to grab objects of manipulation were researched.

Одержано 20.03.12

УДК 621.952.5

В.М. Пестунов, проф., канд. техн. наук, В.В. Святський, канд. техн. наук,
С.В. Придворова, магістрант
Кіровоградський національний технічний університет

Оптимізація процесу обробки глибоких отворів

Наведені теоретичні і експериментальні дослідження механізмів приводів верстатів для обробки глибоких отворів. Показано, що застосування пристроїв із змінною величиною вильоту інструмента, а також механізмів вібраційного свердлення підвищують ефективність обробки глибоких отворів.
глибоке свердлення, вібраційне різання, стійкість, жорсткість, інструмент, ефективність

Свердлення глибоких отворів є трудомісткою технологічною операцією, особливо при обробці в'язких матеріалів. В системі верстат – пристрій – інструмент – деталь (ВПІД) при глибокому свердлінні в найбільш важких умовах працює інструмент – свердло [1]. Замкнений об'єм обробки, різноманітні функції, виконання яких повинна забезпечувати конструкція інструменту, форсовані режими різання змушують працювати корпус свердла, його ріжучі і напрямні елементи з високими напруженнями.

Відомо, що в основі оптимізації процесу глибокого свердлення лежить функція стійкості інструменту від параметрів процесу різання. Математичний опис цього процесу визначається великим числом взаємозв'язаних чинників, які не подаються на сьогоднішній день узагальненню. Основним елементом системи ВПІД, що обмежує вихідні параметри верстата при глибокому свердленні, є інструмент. Оптимізація процесу глибокого свердлення при цьому зводиться, як правило, до зняття певних технічних обмежень по стійкості, міцності або жорсткості свердла.

Як цільова функція оцінки можливостей елементів технологічної системи може бути прийнята продуктивність процесу глибокого свердлення [2]:

$$Q = \frac{V \cdot S \cdot d \cdot T}{2 \cdot (T + t_{\text{зм}})},$$

де V, S, d – величини швидкості, подачі і діаметру свердлення, відповідно;

T – стійкість свердла;

$t_{\text{зм}}$ – час зміни інструменту, мин.

Для підвищення продуктивності процесу свердлення необхідно вести обробку з максимально допустимою величиною подачі. У той же час максимальна допустима подача свердлення обмежується міцністю і подовжньою стійкістю інструменту.

Подача, припустима міцністю робочої частини свердла, може бути визначена по формулі [3]:

$$S = \sqrt[y_{\text{М}}]{\frac{0{,}02 \cdot d^{3-x_{\text{М}}} \cdot \sigma_{\text{в}}}{1{,}73 \cdot \text{C}_{\text{М}} \cdot HB}}, \qquad (1)$$

де d – діаметр інструменту; $\sigma_{\text{в}}$ – допустима напруга для матеріалу інструменту;

$C_{\text{М}}$, $y_{\text{М}}$, $x_{\text{М}}$ – постійні коефіцієнти, які залежать від механічних властивостей матеріалу, що оброблюють, і матеріалу ріжучої частини свердла;

HB – твердість матеріалу, що оброблюють, по Брінеллю.

© В.М. Пестунов, В.В. Святський, С.В. Придворова, 2012

Із збільшенням глибини свердлення швидкість подачі обмежується подовжньою стійкістю стебла інструменту, оскільки осьова складова сил різання не повинна перевищувати критичну силу по Ейлеру, що визначається по формулі [3]:

$$P_{\text{кр}} = \frac{E \cdot \pi^3 \cdot I}{(\mu \cdot l)^2} = \eta \frac{E \cdot I}{l^2}, \qquad (2)$$

де $P_{\text{кр}}$ – критична сила;

E – модуль пружності;

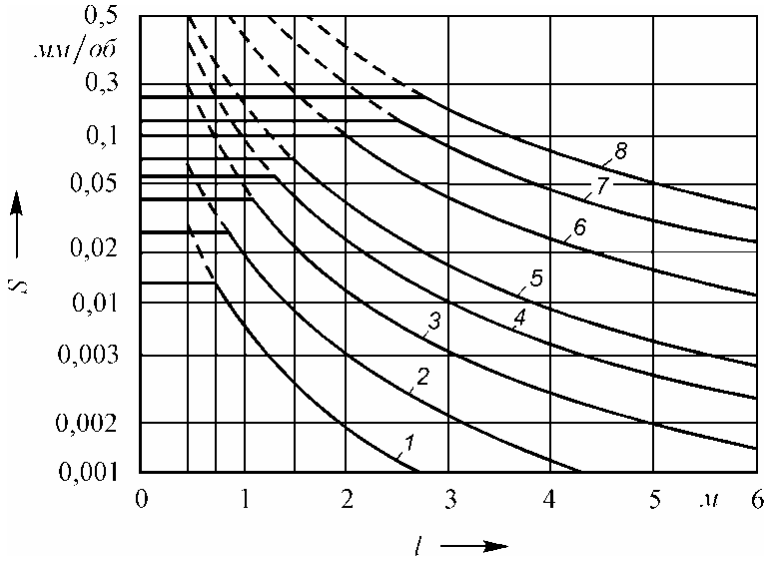
l – довжина стебла свердла;

I – момент інерції поперечного перетину інструменту; μ – коефіцієнт приведеної довжини;

η – коефіцієнт стійкості.

Для збереження подовжньої стійкості стебла інструмента у міру збільшення глибини обробки необхідно зменшувати осьову складову сили різання шляхом зниження швидкості подачі. Проте, зменшення швидкості подачі приводить до збільшення питомої сили різання, що, у свою чергу, якісно впливає на процес різання. Обробка глибоких отворів на малих подачах є малопродуктивною, а на граничних подачах – веде до зниження якості обробки отворів.

На рис. 1 наведені графіки допустимої швидкості подачі при обробці сталі 45 за умови міцності стебла свердла по крутильному моменту і умови збереження інструментом подовжньої стійкості відповідно до залежностей (1) і (2).

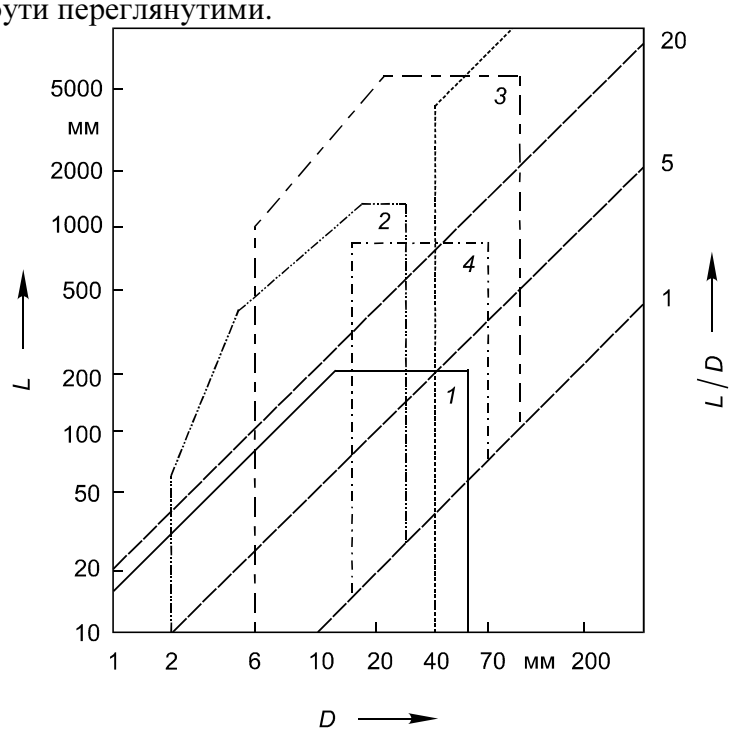


Діаметр свердла: 1 – 5 мм; 2 – 7,5 мм; 3 – 10 мм; 4 – 12,5 мм; 5 – 15 мм; 6 – 20 мм; 7 – 25 мм; 8 – 30 мм

Рисунок 1 – Допустимі подачі при обробці сталі 45 за умови міцності стебла свердла по крутильного моменту і умови збереження інструментом подовжньої стійкості

Аналіз приведених на рис. 1 графічних залежностей свідчить, що робоча область в системі координат „подача – глибина свердлення” визначається двома показниками: мінімальною для даного діаметру свердла величиною подачі, що визначається стійким характером стружкоутворення і мінімальною продуктивністю; і максимально допустимою величиною подачі відповідно з міцністю поперечного перерізу інструменту і подовжньої стійкості стебла свердла.

Наявність перерахованих обмежень по міцності, стійкості інструменту і мінімальному значенню допустимої подачі свердлення визначає область можливого вибору допустимих параметрів елементів технологічної системи. Теорія і практика глибокого свердлення дає деякі рекомендації економічної доцільності тих або інших способів глибокого свердлення (рис. 2). Зрозуміло, що ці рекомендації певною мірою є умовними, а їх межі розпливчаті і у кожному конкретному випадку обробки гибоких отворів можуть бути переглянутими.



1 – область можливої обробки спіральними свердлами; 2 – область обробки гарматними свердлами; 3 – область обробки свердлами з внутрішнім відведенням стружки; 4 – інжекторне свердлення; 5 – розсвердлювання

Рисунок 2 – Номограма для визначення економічної ефективності способів глибокого свердлення (*L* – глибина свердлення, *D* – діаметр свердлення)

В роботі [4] встановлена причина виникнення крутильних коливань свердлів і визначений їхній ступінь впливу на стійкість інструмента. Достатня відповідність в роботі [4] теоретичних досліджень результатам експерименту при обробці титанових сплавів дозволяють використати наведені дані для вибору оптимальних параметрів інструменту для глибокого свердлення. З наведених у роботі [5] графіків можна зробити висновок, що збільшення жорсткості інструмента в півтора-два рази приводить до зниження кута розкручування спіралі свердла у два-три рази.

Проте можливості підвищення жорсткості інструменту за рахунок зміни форми перерізу стеблини свердла на даний час досить повно вивчені і практично вичерпані. Тому автори [5], вказуючи на складність істотного підвищення жорсткості свердла за рахунок оптимізації його поперечного перерізу, звертають основну увагу на раціональну експлуатацію свердлів.

Проведені теоретичні дослідження і узагальнення результатів експериментальних досліджень [1], створили основу для аналізу ефективності процесу свердлення зі змінним вильотом інструмента. По результатам експериментальних досліджень [6] визначено, що величина стійкості інструмента зі збільшенням глибини свердління нелінійно залежить від довжини вильоту. Це дозволяє записати залежність для визначення періоду стійкості свердла T , що використана в роботі [5], у вигляді:

$$\frac{T^m}{T_0^m} = \left(\frac{l_0}{l}\right)^n , \tag{3}$$

де l – робоча довжина вильоту;

l_0 – вихідна розрахункова довжина вильоту;

n, m – показники, які враховують вплив вильоту на стійкість інструменту.

Залежно від способу виготовлення свердла, а також матеріалу, який оброблюють, показники степенів n і m за результатами досліджень [4, 5] приймають в межах від 0,1 до 0,5. Так, наприклад, для свердлів, які досліджувались у роботі [4] при обробці сплаву ВТ20, показник степеня n приблизно дорівнює 0.4, для фрезерованих свердлів відповідно з результатами, що наведені у роботі [5], показник степеня n становить приблизно 0,15.

Порівнюючи процеси глибокого свердлення отворів свердлами з постійним і змінним вильотом, необхідно відзначити, що величина вильоту буде однакова тільки на граничній глибині обробки. Протягом усього процесу обробки при роботі зі змінним вильотом інструмента ця величина завжди буде меншою. Таким чином, за всіма рівними умовами відношення стійкості інструмента при обробці зі змінним і постійним вильотом може бути визначене по формулі:

$$\frac{T}{T_0} = \frac{k - k^{\frac{n}{m}}}{k-1} \cdot \frac{1}{1-\frac{n}{m}}, \tag{4}$$

де k – відношення вильоту наприкінці обробки до вихідного вильоту.

Відповідно до залежностей (3) і (4) побудовані графіки стійкості інструмента при свердлінні зі змінним вильотом від відношення вильотів наприкінці і початку обробки (рис. 3). Показник степені m, що враховує вплив вильоту на стійкість, при цьому прийнятий рівним 0,25.

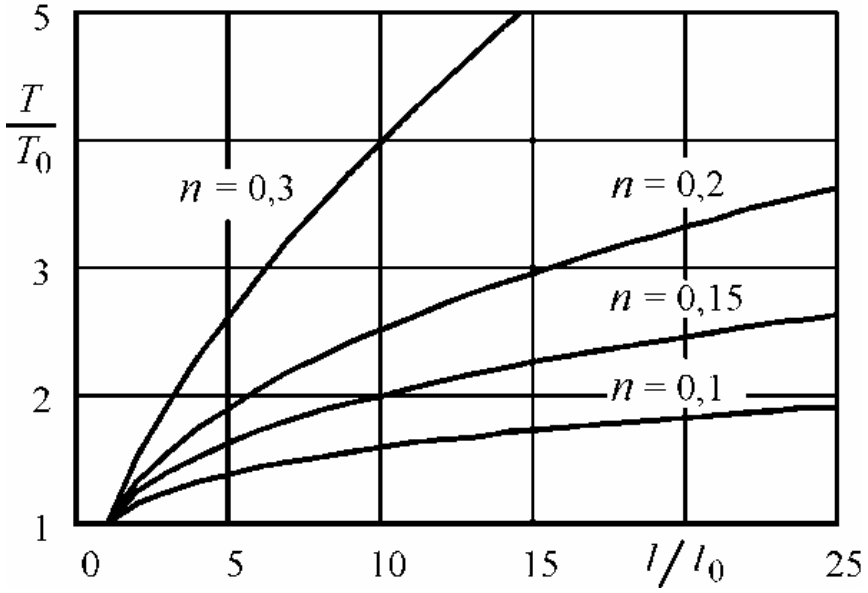
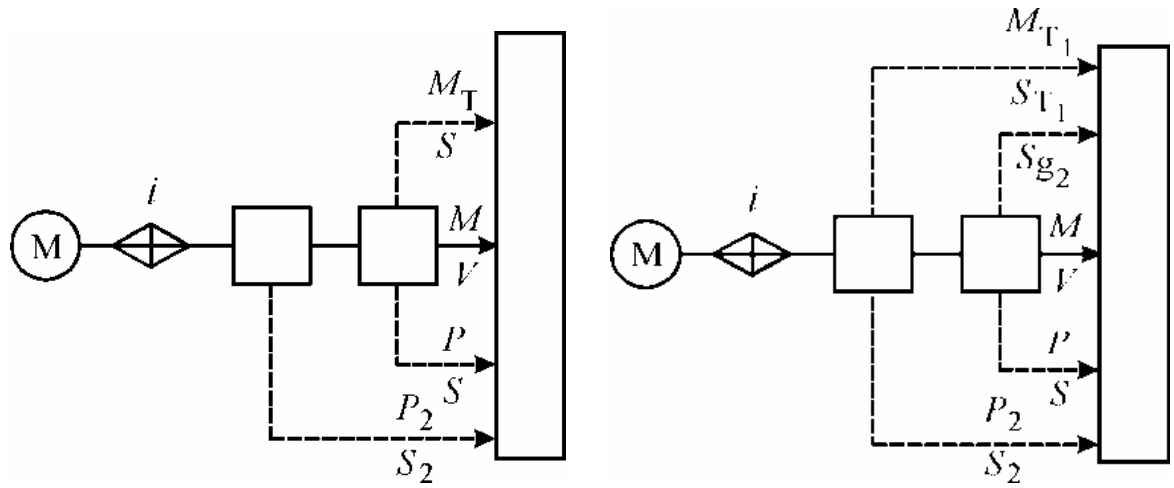


Рисунок 3 – Стійкість інструмента при свердлінні зі змінним вильотом

Наведені графічні залежності показують, що зі збільшенням відношення вильотів наприкінці і початку обробки, стійкість інструмента зростає. З погіршенням оброблюваності матеріалу (збільшення показника n) ефект зростання стійкості

збільшується. Ці висновки співпадають з експериментальними дослідженнями, проведеними в роботі [7] на спеціальних свердлах (свердлильних спіралях без хвостовика) постійного перерізу по всій довжині інструмента, які показали, що крутильні коливання, які знижують стійкість свердлів, є пропорційними кубу довжини вильоту свердла. При цьому шляхом зменшення довжини вильоту свердла можна збільшити величину подачі в три-сім разів при одночасному збільшенні стійкості інструмента від трьох до семи разів.

Структурні схеми привода [8], отримані результати досліджень [9, 10] і узагальнення робіт [1 – 10] склали теоретичну основу створення ряду принципово нових конструкцій механізмів зі змінною структурою, що працюють за методом перехоплення стебла інструмента по його довжині (див. рис. 4). Ці механізми забезпечують передачу крутного моменту осьової сили свердлу при мінімальному вильоті і здійснюють дискретну подачу. Конструктивною особливістю цих механізмів є наявність в осьовому напрямку рухливих затискачів, які по черзі включають, і механізму керування затискачами. Механізм затискачами забезпечує почергову фіксацію свердла в осьовому напрямку і дискретне його переміщення.



а) б)

а) із одним механізмом дискретних переміщень; б) з двома механізмами дискретних переміщень

Рисунок 4 – Структурні схеми приводів верстатів для глибокого свердлення

На рис. 5, а показана схема установки свердла з однією проміжною опорою, що поділяє відстань l на ділянки a і b. Застосування даної схеми дозволяє підвищити поздовжню стійкість інструменту при глибокому свердленні. Проте, у міру заглиблення свердла в заготовку змінюється величина його вильоту і, відповідно, відношення a до b, яке для отримання максимальної жорсткості інструменту під час процесу свердлення бажано зберігати постійним. Сказане призводить до ускладнення конструкції механізму. Завдання не вирішується і на схемі (див. рис. 5, б), не дивлячись на те, що технологічні можливості по допустимій глибині свердлення поліпшуються.

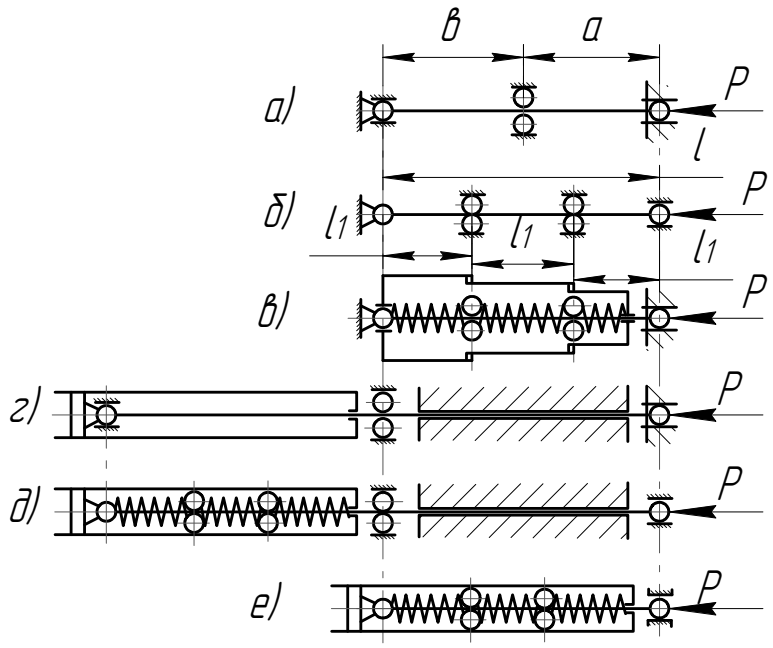


Рисунок 5 – Схеми вирішення задачі підвищення поздовжньої стійкості свердел при глибокому свердлінні [11]

Схема (рис. 5, в) забезпечує рівномірну зміну відстані між опорами у міру заглиблення свердла в заготовку, проте наявність пружин і проміжних опор збільшує загальний виліт свердла порівняно з глибиною свердлення.

Підвищення поздовжньої стійкості і жорсткості інструменту в процесі обробки отворів забезпечує схема (див. рис. 5, г). По цій схемі шток гідроприводу подачі безпосередньо з'єднаний із свердлом. А оскільки жорсткість штока завжди вище за жорсткість свердла при рівних діаметрах, то схема (див. рис. 5, г) забезпечує підвищення жорсткості інструмента і, відповідно, підвищує ефективність процесу глибокого свердлення. Схема (див. рис. 5, д) забезпечує подальше підвищення жорсткості інструмента і ефективності свердлення, а схема (див. рис. 5, е) до того ж скорочує приблизно удвічі осьові габарити приводу подачі.

Конструкція механізму привода верстатів для глибокого свердління, розроблена за схемою (рис. 5, г), наведена на рис. 6. У корпусі 1 на підшипниках установлений шпиндель 3, виконаний у вигляді гідроциліндра. У циліндрі встановлений поршень 2, шток 4 якого жорстко з'єднаний зі свердлом 5. Для зміни діаметра свердла шпиндельна група головки виконана змінною.

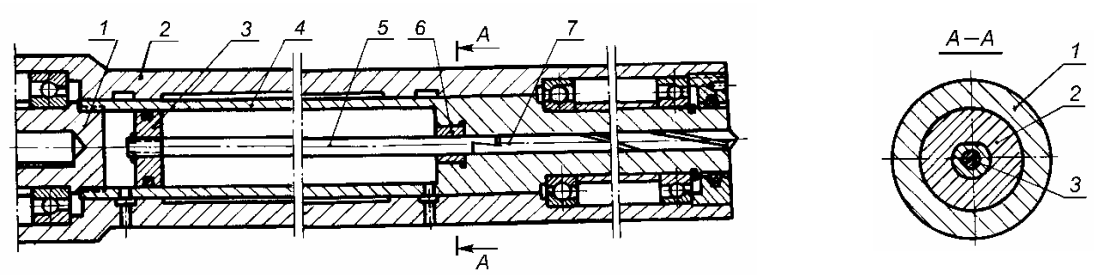


Рисунок 6 – Механізм привода верстатів для глибокого свердління

Підвищення поздовжньої стійкості штока розглянутого механізму (див. рис. 6) забезпечується установкою проміжних опор (див. рис. 7). Проміжні опори 8

встановлені в циліндрі на штоку 4 по вільному садінні і мають отвори для проходження мастила. Між поршнем 2, опорами 8 і торцевою поверхнею циліндра встановлені спіральні пружини 7 рівної жорсткості. У процесі робочої подачі, що здійснює гідропривід, поршень 2 стискає послідовно встановлені пружини 7, які, в свою чергу, забезпечують рівномірне переміщення проміжних опор у напрямку подачі при рівномірному взаємному зближенні.

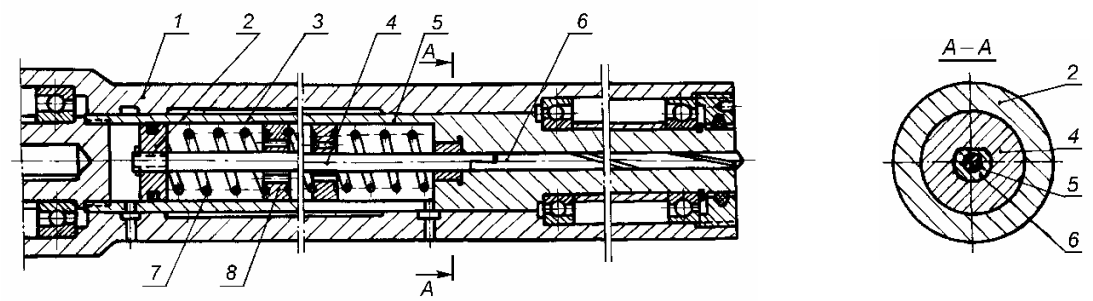


Рисунок 7 – Механізм привода верстатів для глибокого свердління з проміжними опорами

Повний цикл зворотно-поступальних рухів свердла надається гідравлічним механізмом подачі, що забезпечує відповідно до заданої програми подачу робочої рідини в праву або ліву порожнини обертового гідроциліндра. Керування циклом роботи гідроприводу і настроювання на задану програму поступальних переміщень здійснюється за допомогою шляхової автоматики (на схемі не показана).

Ефективність обробки глибоких отворів спіральними свердлами можна підвищити завдяки застосуванню вібраційного свердлення, що у порівнянні із традиційним свердленням забезпечує: зниження сил тертя по поверхні контакту інструмента із заготовкою, надійне дроблення і транспортування зливної стружки від зони різання, підвищення ефективності застосування мастильно-охолодного технічного засобу (МОТЗ) тощо.

Відомий цілий ряд пристроїв для вібраційного свердління із завданням змушених осьових коливань інструменту за допомогою електродинамічних, електрогідравлічних і інших вібраторів [12, 13]. Поряд з перевагою – плавністю регулювання амплітуди коливань, вони досить складні в технічному виконанні і мають високу вартість. Останнім часом знаходять застосування різні вібраційні патрони, зокрема, кулькові вібратори, що дозволяють використовувати наявне на підприємствах обладнання і здійснювати надійне подрібнення стружки при порівняно малих габаритах, простоті конструкції і невисокій вартості виготовлення цих механізмів [14, 15]. Доцільність застосування різних вібросвердлильних пристроїв визначається параметрами отворів, які оброблюють.

Для свердління отворів у діапазоні діаметрів від 3 до 9 мм зі співвідношенням $L/D \geq 3$ розроблена конструкція кулькового вібратора [16], описана нижче. Схема вібратора наведена на рис. 8. У шпинделі верстата кріпиться хвостовик 7, у якому за допомогою шпонки 6 фіксується інструментальний шпиндель 8, що підтискається в

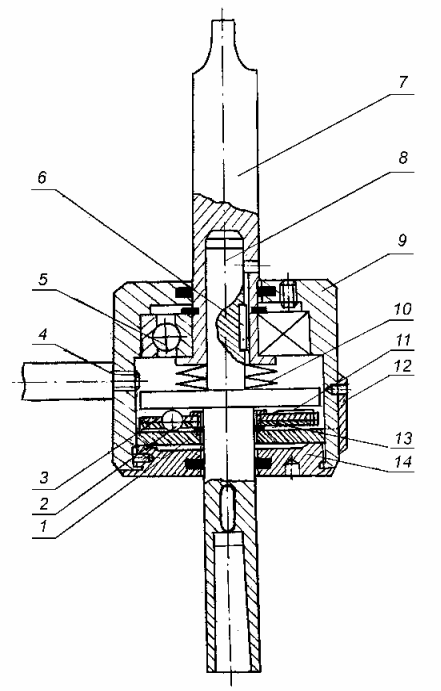


Рисунок 8 – Кульковий вібратор

напрямку подачі пружиною 10. По похилих поверхнях профільного кільця 1, які утворюють рівносторонню піраміду, перекочуються кульки 2, розміщені в сепараторі, що складається із кілець 3 і 13 із виконаними під кутом один до одного пазами.

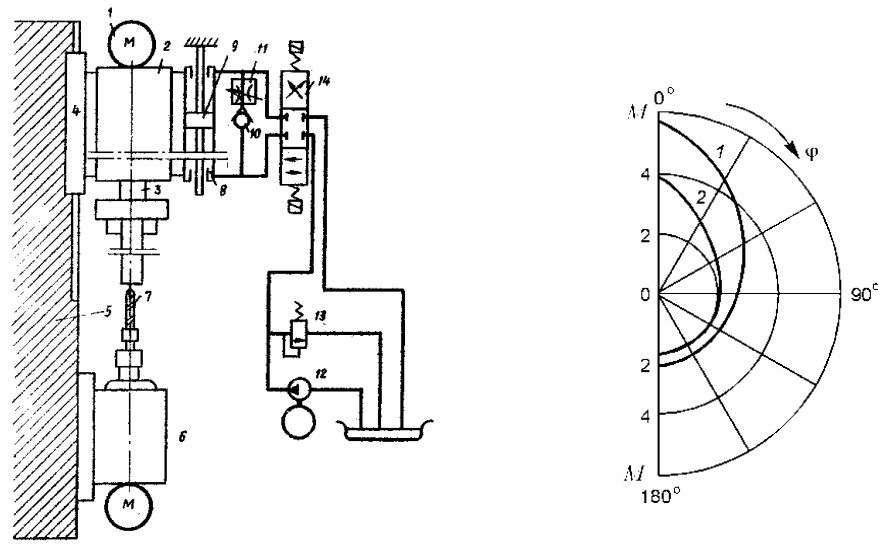
Механізм зміни амплітуди коливань виконано у вигляді пружного елемента 11, який з'єднано з кільцем 3 і який взаємодіє з пазами, що розташовані на периферії кільця 13. Профільне кільце 1 піджате в осьовому напрямку кришкою 14, яка є спряженою з корпусом 9. Корпус 9 має вікно для регулювання відносного зміщення кілець сепаратора. Вікно закривається кришкою 12. Корпус 9 фіксується від провороту шпилькою 14 і планкою, яка закріплена на верстаті (на схемі не показана). Кульковий підшипник 5 спряжений з хвостовиком 7.

Вібраційний патрон працює таким чином. При задані хвостовику 7 обертового руху, кульки 2 перекочуються по доріжках кочення опорного кільця 1 і профільного кільця 13, поверхні яких утворені похилими площинами, що визиває коливання інструментального шпинделя 8, який підтискає в напрямку подачі пружина 10, сила стиснення якої більше осьової складової сили різання. Під доріжкою кочення приймається кругова траєкторія руху кульок 2 по поверхні профільного кільця 1, радіус якої можна змінювати, змінюючи відносне положення кілець 3 і 13 сепаратора.

Частота осьових коливань інструменту визначається швидкістю обертання хвостовика 7, числом кульок 2 і відносним положенням кілець 1 і 13. Амплітуда коливань інструменту залежить від кута нахилу площин профільного кільця 1, а також радіуса доріжки кочення кульок, який можна регулювати шляхом відносного зміщення кілець 3 і 13 сепаратора. Для зміни величини амплітуди коливань необхідно, не розбираючи патрон зняти кришку 12, провернути інструментальний шпиндель 8 таким чином, щоб механізм фіксації розташувався напроти вікна корпуса. Пружний елемент 11 виводиться із пазу кільця 1, кільце 13 зміщується відносно кільця 3 на потрібний кут, після чого положення кілець фіксується пружним елементом 11.

Для вібраційного свердління за допомогою наведеного пристрою використовують стандартні спіральні свердла зі збільшеним заднім ходом.

На рис. 9 показана модульна система приводу для глибокого вібраційного свердлення, що дозволяє в широкому діапазоні змінювати параметри обробки [1]. Верстат містить привід головного руху, що включає електродвигун 1, коробку швидкостей 2, шпиндель 3, що встановлені на напрямні 4 станини 5. На станині встановлений також вібратор 6, в шпинделі якого закріплений інструмент 7. На коробці швидкостей 2 встановлений гідравлічний циліндр 8 з поршнем 9, шток якого з'єднаний зі станиною 5. Порожнини гідравлічного циліндра з'єднані каналом, в якому встановлений зворотний клапан 10.



а) б)

Рисунок 9 – Модульна система приводу для глибокого вібраційного свердлення (а) і залежність крутильного моменту від кута повороту планшайби (б)

В процесі свердлення деталь, закріплена в патроні шпинделя 3, одержує обертання із швидкістю головного руху. Під дією сили ваги рухомих вузлів і деталей привід головного руху 1 – 3 переміщується у напрямку свердла. Встановлений послідовно дросель 11 обмежує максимально допустиму швидкість цього руху. Для здійснення неробочого і установного переміщень приводу головного руху верстат забезпечений окремим гідроклапаном, що містить насос 12, клапан 13 і розподільник 14. При подачі мастила під тиском в одну із порожнин гідроциліндра 8 забезпечується швидке установне переміщення приводу вгору або вниз по напрямних 4 станини 5.

Підвищити ефективність процесу глибокого свердлення можна зміною положення ріжучого інструменту в просторі [17]. Проведені дослідження процесу свердлення показали (див. рис. 9, б), що поворот планшайби від 0° до 180° (перехід від свердлення зверху до свердлення знизу) забезпечує зниження моменту крутильного навантаження на інструмент в три рази при обробці сталі (див. рис. 9, б, крива 1) і в два рази при обробці чавуну (див. рис. 9, б, крива 2) за однакових умов різання.

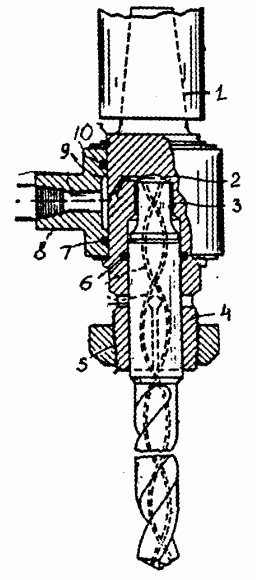


Рисунок 10 – Конструкція патрону для подачі МОТЗ під тиском в зону свердлення

При переході від свердлення зверху до свердлення знизу спіральними свердлами виникає проблема підведення МОТЗ в зону обробки. Цю проблему вирішує конструкція [1], показана на рис. 10. На корпусі 1, закріпленому в шпінделі верстата встановлена муфта 8, яка зв’язана з системою подачі МОТЗ під тиском. Отвір муфти 8 пов’язано з порожниною 2, закритою ущільнювачами 6-7-10. Порожнина 2 через спіральні клапани свердла 3 сполучена з ріжучою частиною свердла. Свердло 3 за допомогою цангового затиску 4-5 закріплено в корпусі 1. В процесі обробки система підведення МОТЗ забезпечує охолоджування ріжучої частини свердла при будь-якому розташуванні інструмента в просторі, зменшуючи тим самим дію сил тертя і вимиваючи стружку з отвору, що оброблюється.

Таким чином, проведені теоретичні і експериментальні дослідження показують, що застосування механізмів приводів верстатів для глибокого свердління, що мають проміжні опори, приводить до збільшення періоду стійкості інструмента. Крім ефекту підвищення стійкості з'являється можливість здійснення безкондукторного свердлення глибоких отворів. Використання вібраційного свердлення підвищує ефективність обробки глибоких отворів спіральними свердлами завдяки надійному дробленню і транспортування зливної стружки від зони різання. Застосовування даних механізмів фактично знімає обмеження процесу обробки глибоких отворів спіральними свердлами за критерієм поздовжньої стійкості інструмента.

Список літератури

1. Пестунов В.М., Свяцкий В.В., Свяцкая Л.П. Решение проблем глубокого сверления в металлообработке // Вестник НТУУ „КПИ". Машиностроение. – К.: НТУУ „КПИ", 2006. – №49. – С. 173 – 178.
2. Корытин А.М., Шапарев Н.К. Оптимизация управления металлорежущими станками. – М.: Машиностроение, 1974. – 160 с.
3. Лищинский Л.Ю. Оптимизация операций глубокого сверления // Станки и инструмент. – 1971. – №10. – С. 18 – 24.
4. Бурмистров Е.В., Мурашкин Е.М., Таратов А.В. Крутильные колебания и их влияние на стойкость сверл малых диаметров при обработке жаропрочных и титановых сплавов // Материалы симпозиума „Прогрессивные конструкции сверл и их рациональная эксплуатация". – Вильнюс: ЛитНИИНТИ, 1974. – С. 13.
5. Жилис В.И., Казокайтис В.Ф., Вайкунас П.С. Исследование износа быстрорежущих спиральных сверл // Материалы симпозиума „Прогрессивные конструкции сверл и их рациональная эксплуатация". – Вильнюс: ЛитНИИНТИ, 1974. – С. 34.
6. Пестунов В.М., Свяцкий В.В., Свяцкая Л.П. Элементы системы СПИД, ограничивающие выходные характеристики процесса глубокого сверления // Materialy IV Międzynarodowej naukowi-praktycznej konferencji „Naukowym progress na rubieży tysiącleci – 2008". – Przemyśl: Nauka i studia, 2008. – Tym 14. Techniczne nauki. – Str. 53 – 55.
7. Wendelhoven J. Kurzuendelbohrer. Ratonalisierung im Betriebdurch Arbeiten mit Kurswendelbohrern // Maschinen Merkt, 1970. – № 13. – H. 76. – S. 239 – 241.
8. Пестунов В.М., Свяцкий В.В., Свяцкая Л.П. Управление циклом процесса глубокого сверления // Матеріали II міжнародної науково-практичної конференції „Дни науки – 2006". – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2006. – Том 10. Технічні науки. – С. 8 – 11.
9. Пестунов В.М., Свяцкий В.В., Свяцкая Л.П. Элементы системы СПИД, ограничивающие выходные характеристики процесса глубокого сверления // Materialy IV Międzynarodowej naukowi-praktycznej konferencji „Naukowym progress na rubieży tysiącleci – 2008". – Przemyśl: Nauka i studia, 2008. – Tym 14. Technicczne nauki. – Str. 53 – 55.
10. Пестунов В.М., Свяцький В.В., Свяцька Л.П. Процес глибокого свердління з управлінням потоками потужності в кінематичних ланцюгах формоутворення // Materiály IV mezinárodni vědecko-praktická konference „Nastoleni moderni vědi – 2008". – Praha: Publishing House „Education and science" s.r.o., 2008. – Dil. 9. Technické vědy. Tělovýchova a sport. – S. 31 – 33.
11. Пестунов В.М., Свяцький В.В., Свяцька Л.П. Увеличение производительности процесса глубокого сверления повышением жесткости установки сверла // Materialy IV międzynarodowej naukowi-praktycznej konferencji „Perspektywiczne opracowania nauki i techniki – 2008". – Przemyśl: Nauka i studia, 2008. – Tym 13. Techniczne nauki. – Str. 89 – 91.
12. Подураев В.Н. Обработка резанием с вибрациями. – М.: Машиностроение, 1970. – 351 с.
13. Д. Кумабэ. Вибрационное резание. – М.: Машиностроение, 1985. – 424 с.
14. Свяцкий В.В., Свяцкая Л.П. Вибрационное сверление глубоких отверстий // Матеріали VIII міжнародної науково-технічної конференції „Динаміка наукових досліджень". Том 53. Технічні науки. – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2005. – С. 10 – 12.
15. Пестунов В.М., Свяцький В.В., Свяцька Л.П. Підвищення продуктивності процесу глибокого свердління при накладанні на інструмент осьових коливань // Materiały V międzynarodowej naukowi-praktycznej konferencji „Naukova myśl informacyjnego wieku – 2009". – Przemyśl: Nauka i studia, 2009. – Volume 15. Techniczne nauki. Budownictwo i architectura. – Str. 33 – 35.
16. В.М. Пестунов, В.В. Свяцький, Л.П. Свяцька. Використання методів вібраційного свердлення в сільськогосподарському машинобудуванні // Конструювання, виробництво і експлуатація

сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кіровоград: КНТУ, 2010. – Вип. 40. Част. 2. – С. 185 – 189.
17. Пестунов В.М., Свяцкий В.В., Свяцкая Л.П. Увеличение производительности процесса глубокого сверления изменением пространственного положения инструмента // Materiály V mezinárodni vědecko-praktická konference „Věda a technologie: krok do budoucnosti – 2009”. – Praha: Publishing House „Education and science” s.r.o., 2009. – Díl. 15. Technické vědy. Výstavba a architektura. – S. 14 – 16.

В. Пестунов, В. Свяцкий, С. Придворова
Оптимизация процесса обработки глубоких отверстий

Приведены теоретические и экспериментальные исследования механизмов приводов станков для обработки глубоких отверстий. Показано, что применение устройств с переменной величиной вылета инструмента, а также механизмов вибрационного сверления повышают эффективность обработки глубоких отверстий.

V. Pestunov, V. Svyatsky, S. Pridvorova
Optimization of treatment process of the deep bore

In the article the theoretical and experimental researches of mechanisms of machine tools drives for the deep drilling are considered. The application of devices with a variable quantity of tool extension, and also mechanisms of vibration drilling raise effectiveness of deep-hole machining are demonstrated.

Одержано 12.03.12

УДК 621.735.3

В.П. Пукалов, В.В. Пукалов, доценти, кандидати технічних наук, Ф.И.Златопольский, проф., канд. техн. наук
Кировоградский национальный технический университет

Расчет напряжений при осадке полых осесимметричных тел

В последние годы участились случаи аварии на нефте и газопроводах при её добычи и транспортировке. Поэтому задача усовершенствования расчёта на прочность труб большого диаметра является весьма актуальной.
осесиметричное тело, напряжения, усилие деформации

Для определения напряжений и усилий в пластически деформируемом полом цилиндре (трубе большого диаметра) имеем два дифференциальних уравнения равновесия и уравнение пластичности в цилиндрических координатах:

$$\frac{\partial \sigma_\rho}{\partial \rho} + \frac{\partial \tau_{z\rho}}{\partial z} + \frac{\sigma_\rho - \sigma_\theta}{\rho} = 0 \quad , \qquad (1)$$

$$\frac{\partial \tau_{\rho z}}{\tau_\rho} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\tau_{\rho z}}{\rho} = 0 \quad , \qquad (2)$$

© В.П. Пукалов, В.В. Пукалов, Ф.И.Златопольский, 2012

сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кіровоград: КНТУ, 2010. – Вип. 40. Част. 2. – С. 185 – 189.
17. Пестунов В.М., Свяцкий В.В., Свяцкая Л.П. Увеличение производительности процесса глубокого сверления изменением пространственного положения инструмента // Materiály V mezinárodni vědecko-praktická konference „Věda a technologie: krok do budoucnosti – 2009”. – Praha: Publishing House „Education and science” s.r.o., 2009. – Díl. 15. Technické vědy. Výstavba a architektura. – S. 14 – 16.

В. Пестунов, В. Свяцкий, С. Придворова
Оптимизация процесса обработки глубоких отверстий

Приведены теоретические и экспериментальные исследования механизмов приводов станков для обработки глубоких отверстий. Показано, что применение устройств с переменной величиной вылета инструмента, а также механизмов вибрационного сверления повышают эффективность обработки глубоких отверстий.

V. Pestunov, V. Svyatsky, S. Pridvorova
Optimization of treatment process of the deep bore

In the article the theoretical and experimental researches of mechanisms of machine tools drives for the deep drilling are considered. The application of devices with a variable quantity of tool extension, and also mechanisms of vibration drilling raise effectiveness of deep-hole machining are demonstrated.

Одержано 12.03.12

УДК 621.735.3

В.П. Пукалов, В.В. Пукалов, доценти, кандидати технічних наук, Ф.И.Златопольский, проф., канд. техн. наук
Кировоградский национальный технический университет

Расчет напряжений при осадке полых осесимметричных тел

В последние годы участились случаи аварии на нефте и газопроводах при её добычи и транспортировке. Поэтому задача усовершенствования расчёта на прочность труб большого диаметра является весьма актуальной.
осесиметричное тело, напряжения, усилие деформации

Для определения напряжений и усилий в пластически деформируемом полом цилиндре (трубе большого диаметра) имеем два дифференциальних уравнения равновесия и уравнение пластичности в цилиндрических координатах:

$$\frac{\partial \sigma_\rho}{\partial \rho} + \frac{\partial \tau_{z\rho}}{\partial z} + \frac{\sigma_\rho - \sigma_\theta}{\rho} = 0 \quad , \qquad (1)$$

$$\frac{\partial \tau_{\rho z}}{\tau_\rho} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\tau_{\rho z}}{\rho} = 0 \quad , \qquad (2)$$

© В.П. Пукалов, В.В. Пукалов, Ф.И.Златопольский, 2012

$$(\sigma_\theta - \sigma_\rho)^2 + 4\tau_{\rho\theta}^2 = 4k^2, \quad (3)$$

где k - постоянная пластичности.

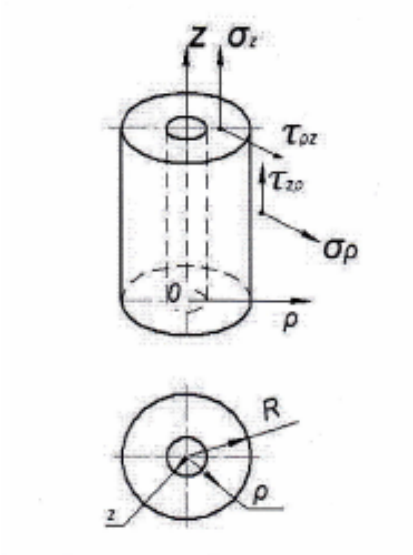


Рисунок 1 - Схема действий напряжений при осадке полого цилиндра

Имеем всего три уровня (1, 2, 3) с четырьмя неизвестными ($\sigma_\rho, \sigma_\theta, \sigma_z, \tau_{z\rho} = \tau_{\rho z}$),

Задача статистически неопределимая. Решение становиться возможным, если принять, что цилиндр является достаточно длинным, и деформация в направлении оси z, оси цилиндра, достаточно мала, и ею можно пренебречь, т.е. отсутствует. Деформация цилиндра осесимметрична и в то же время плоская, все деформации лежать в плоскости $\rho\theta$, перпендикулярной оси z, т.е. деформации в диаметральных плоскостях отсутствуют.

В этом случаи нормальное напряжение σ_z в направлении отсутствия деформации равно полсуме двум другим σ_p и σ_θ.

$$\sigma_z = \frac{\sigma_\rho + \sigma_\theta}{2}. \quad (4)$$

Касательные напряжения равны нулю:

$$\tau_{z\rho} = \tau_{\rho z} = 0;\ \tau_{z\theta} = \tau_{\theta z} = 0;\ \tau_{\rho\theta} = \tau_{\theta\rho} = 0$$

Таким образом, если касательные напряжения отсутствуют, то нормальные напряжения σ_ρ и σ_θ действуют в главной площадке и являються главными.

Так как σ_p зависит только от координаты p, то дифференциальные уравнения равновесия (1, 2) упрощаются: остаётся одно (первое уравнение) и его записываем в обычные производные (5):

$$\frac{\partial \sigma_\rho}{\partial_\rho} + \frac{\sigma_\rho - \sigma_\theta}{\rho} = 0. \quad (5)$$

Уравнение пластичности также упрощается

$$\sigma_\theta - \sigma_\rho = \pm 2k \quad . \tag{6}$$

Решаем совместно уравнения (5) и (6):

$$\frac{\partial \sigma_\rho}{\partial \rho} = \frac{\sigma_\theta - \sigma_\rho}{\rho} \quad . \tag{7}$$

Тогда

$$\partial \sigma_\rho = (\sigma_\theta - \sigma_\rho)\frac{\partial \rho}{\rho} = \pm 2k \frac{\partial \rho}{\rho} \tag{8}$$

Отсюда

$$\sigma_\rho = \pm 2k \cdot \ln \rho + c \quad . \tag{9}$$

Постоянную интегрирования находим из условий:

При $\rho = R$ - наружному диаметру цилиндра:

$$\sigma_R = \pm 2k \cdot \ln \rho + c = 0$$

Отсюда

$$c = \pm 2k \cdot \ln \rho$$

и

$$\sigma_\rho = 2k \cdot \ln \rho - 2k \cdot \ln R = -2k \cdot \ln \frac{R}{\rho}$$

$$\sigma_\rho = -2k \cdot \ln \frac{R}{\rho} \tag{10}$$

Определим нормальное напряжение σ_θ из условия:

$\sigma_\theta - \sigma_\rho = 2k,$

Тогда

$$\sigma_\theta = 2k + \sigma_\rho = 2k - 2k \cdot \ln \frac{R}{\rho}$$

$$\sigma_\theta = 2k\left(1 - \ln \frac{R}{\rho}\right). \tag{11}$$

Нормальное напряжения σ_z:

$$\sigma_z = \frac{\sigma_\rho + \sigma_\theta}{2} = 2k\left(\frac{1}{2} - \ln \frac{R}{\rho}\right)$$

$$\sigma_z = 2k\left(\frac{1}{2} - \ln \frac{R}{\rho}\right). \tag{12}$$

Зная значения нормальних напряжений ст. на контактной поверхности можно рассчитать полное и удельное усилие, необходимое для пластической деформации заготовки.

Список литературы

1. Пукалов В.П., В.В.Пукалов, Ф.И.Златопольский. Расчет напряжений при осадке полых осесиметричных тел. // Збірник наукових праць КНТУ.Техніка в сільськогосподарському виробництві,галузеве машинобудування, автоматизація. вип. 24. - .Кировоград : КНТУ,2010. - С.391 - 393.
2. Сторожев М.В., Попов Е.А..Теория обработки металлов давлением. - М.Машиностроение, 1977, - 433 с.
3. Громов Н.П. Теория обработки металлов давлением,- М: Металургия, 1987,-360 с.
4. Гун Г.Я. Теоретические основы обработки металлов давлением. - М: Металлургия.– 1980, - 450 с.
5. Полухин П.И., Горелик С.С., Воронцов В.К. - Физические основы пластической деформации.. М: Металлургия.– 1982. - 584 с.

В.Пукалов, В.Пукалов, Ф. Златополъский

Розрахунок напружень при осадці порожніх вісесиметричних тіл

Стаття присвячена розрахунку напружень при осадці вісесиметричних тіл. На основі аналогичного вивчення розподілу дотичних напружень по контактній поверхні інструмента з металом і сумісного рішення диференціальних рівнянь рівноваги і рівняння пластичності, отримані формули розрахунку напружень у будь-якій точці заготовки, яка деформується.

V. Pukalov, V. Pukalov, F.Zlatopolskyy

Stresses calculation when precipitating hollow axisymmetric bodies

The article deals with the problem of stresses calculation when precipitating hollow axisymmetric bodies. On the ground of analytic study of distribution of the tandent stresses along the contact surface of the tool with metal and joint resolution of differential balance equations and plasticity equations formalas for stresses calculation at any point of deformable work material are received.

Одержано 01.11.11

УДК 621.9.048.4

В.І. Носуленко, проф., д-р техн. наук, О.В. Шелепко, асп.
Кіровоградській національний технічний університет

Технологічні характеристики розмірної обробки електричною дугою непрофільованим електродом-інструментом

Виконано експериментальні дослідження технологічних характеристик процесу розмірної обробки електричною дугою непрофільованим електродом-інструментом. Отримано математичні моделі і побудовано графіки продуктивності, шорсткості і зносу інструменту.
розмірна обробка, електричною дугою, непрофільований, електрод-інструмент, технологічні характеристики

Для підвищення експлуатаційних можливостей та збільшення ресурсу роботи машин, агрегатів і вузлів, підприємства машинобудування все більш широко застосовують важкооброблювані метали, такі як високоміцні загартовані сталі, тверді сплави, жароміцні сталі і спеціальні сплави. В цьому зв'язку все більш широке застосування отримують фізико–технічні способи обробки і, зокрема, спосіб розмірної обробки електричною дугою (РОД) [1], який порівняно з традиційними способами металообробки забезпечує більш високу продуктивність, а за умови використання непрофільованого електрода-інструмента (ЕІ), до того ж, дозволяє обробляти як деталі типу тіл обертання, так і фасоні поверхні порівняно великих розмірів [2].

Опис технологічних схем формоутворення та відповідних технічних рішень у вигляді так званих електроерозійних головок (ЕЕГ) наведено в роботах [2,3]. Проте невизначеними залишаються якісні та кількісні технологічні характеристики процесу, дослідження і опис яких є необхідним для ефективної реалізації запропонованого процесу в умовах виробництва.

© В.І. Носуленко, О.В. Шелепко, 2012

В.Пукалов, В.Пукалов, Ф. Златополъский

Розрахунок напружень при осадці порожніх вісесиметричних тіл

Стаття присвячена розрахунку напружень при осадці вісесиметричних тіл. На основі аналогичного вивчення розподілу дотичних напружень по контактній поверхні інструмента з металом і сумісного рішення диференціальних рівнянь рівноваги і рівняння пластичності, отримані формули розрахунку напружень у будь-якій точці заготовки, яка деформується.

V. Pukalov, V. Pukalov, F.Zlatopolskyy

Stresses calculation when precipitating hollow axisymmetric bodies

The article deals with the problem of stresses calculation when precipitating hollow axisymmetric bodies. On the ground of analytic study of distribution of the tandent stresses along the contact surface of the tool with metal and joint resolution of differential balance equations and plasticity equations formalas for stresses calculation at any point of deformable work material are received.

Одержано 01.11.11

УДК 621.9.048.4

В.І. Носуленко, проф., д-р техн. наук, О.В. Шелепко, асп.
Кіровоградській національний технічний університет

Технологічні характеристики розмірної обробки електричною дугою непрофільованим електродом-інструментом

Виконано експериментальні дослідження технологічних характеристик процесу розмірної обробки електричною дугою непрофільованим електродом-інструментом. Отримано математичні моделі і побудовано графіки продуктивності, шорсткості і зносу інструменту.
розмірна обробка, електричною дугою, непрофільований, електрод-інструмент, технологічні характеристики

Для підвищення експлуатаційних можливостей та збільшення ресурсу роботи машин, агрегатів і вузлів, підприємства машинобудування все більш широко застосовують важкооброблювані метали, такі як високоміцні загартовані сталі, тверді сплави, жароміцні сталі і спеціальні сплави. В цьому зв'язку все більш широке застосування отримують фізико–технічні способи обробки і, зокрема, спосіб розмірної обробки електричною дугою (РОД) [1], який порівняно з традиційними способами металообробки забезпечує більш високу продуктивність, а за умови використання непрофільованого електрода-інструмента (ЕІ), до того ж, дозволяє обробляти як деталі типу тіл обертання, так і фасоні поверхні порівняно великих розмірів [2].

Опис технологічних схем формоутворення та відповідних технічних рішень у вигляді так званих електроерозійних головок (ЕЕГ) наведено в роботах [2,3]. Проте невизначеними залишаються якісні та кількісні технологічні характеристики процесу, дослідження і опис яких є необхідним для ефективної реалізації запропонованого процесу в умовах виробництва.

© В.І. Носуленко, О.В. Шелепко, 2012

В цьому зв'язку необхідно визначити основні технологічні характеристики, зокрема, продуктивність обробки ***M***, шорсткість обробленої поверхні ***Ra***, об'ємний знос електрода-інструмента (ЕІ) **γ**. Для цього використовуємо розроблену нами ЕЕГ [3], що дозволяє забезпечити якісні та кількісні показники обробки за рахунок оптимальних характеристик гідродинамічних потоків в зоні обробки, а саме, розділення робочої рідини на два потоки (рис.1): напірний потік А, який рухаючись по порожнині 1 ЕІ зустрічається, на виході, з заготовкою 4, забезпечуючи таким чином необхідні гідродинамічні характеристики робочої рідини в зоні обробки 5; напірний потік Б, що подається в отвір 6 корпуса 2 який за рахунок порожнини 3 з'єднаний з кільцевим соплом 8, на виході з якого робоча рідина також стикається з заготовкою 4, утворюючи при цьому два потоки $Б_1$ і $Б_2$. Потік $Б_1$ направлений назовні, а потік $Б_2$ стикається з потоком А, локалізуючи таким чином зону обробки і до того ж дозволяє зберегти швидкість робочої рідини на виході з міжелектродного зазору, що, в свою чергу, дозволить уникнути явища «видовжених дуг». При цьому утворюється новий потік В, що спрямований в напрямку порожнини 9 (зона меншого тиску), створюючи передумови для видалення робочої рідини разом з продуктами ерозії із зони обробки, через отвір 7, в магістраль зливу.

Для визначення зазначених технологічних характеристик використано математичне моделювання і статичні методи планування та обробки результатів експерименту. Згідно методик [4,5] усі параметри, що не задовольняють критерії керованості було фіксуємо на одному рівні, а саме, статичний тиск робочої рідини у напірній магістралі ЕЕГ – 0,8 МПа, кут α сопла 8 – 42^0 та оберти заготовки 4 – 12 об/хв. В якості заготовки було використано металеву трубу D = 48 мм, що виготовлена зі сталі 20, при цьому ЕІ виготовлено з чавуну, розмірами d=5мм, $d2$=12мм і L=70 мм. В якості змінних факторів [4,5], що задовольняють вимоги керованості і дозволяють отримати адекватні математичні моделі, обрано відстань (***n***) з межами варіювання 1…3 мм, струм (***I***) – 50…100А і напруга (***U***) – 25…30в.

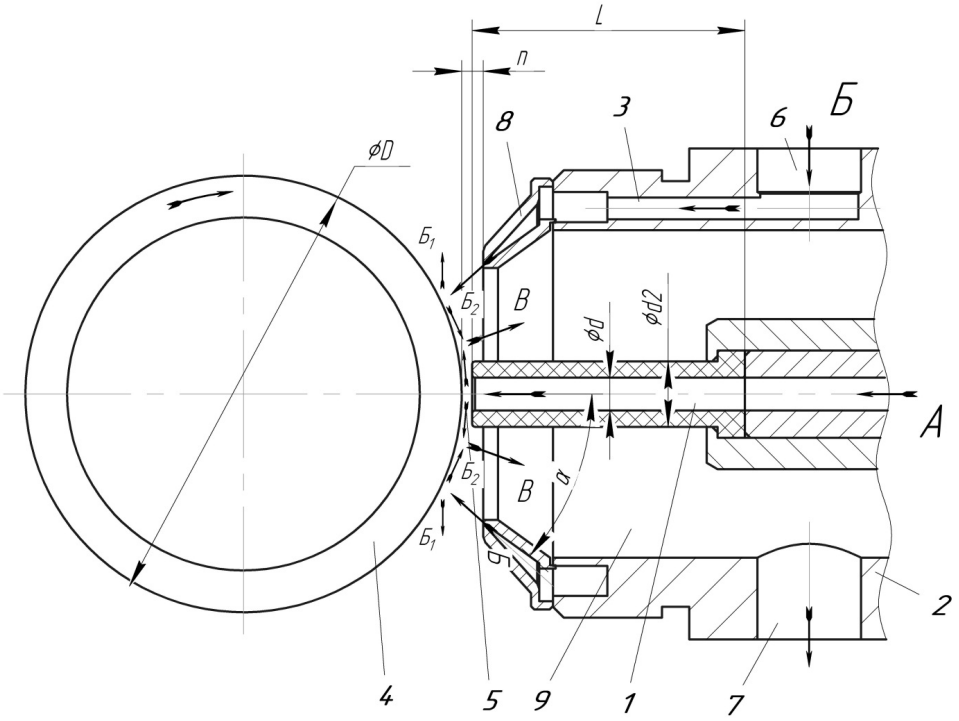


Рисунок 1 – Принципова схема роботи ЕЕГ

Для спрощення розрахунку, було використано програмний пакет STATISTICA, зокрема такі модулі як планування експерименту, множинна регресія та нелінійне оцінювання [6].

В результаті було отримано математичну модель продуктивності обробки в функції трьох факторів:

$$M = 0.933 \cdot I^{1.67} \cdot U^{-0.19} \cdot n^{-0.05}. \quad (1)$$

Згідно перевірки моделі за критерієм значимості (рис.2), вагомими факторами є сила технологічного струму *(I)* та відстань сопел від заготовки *(n)*. Тому для зазначених параметрів будуємо графіки залежності продуктивності від відстані сопел до заготовки при різних значеннях сили струму (рис 3).

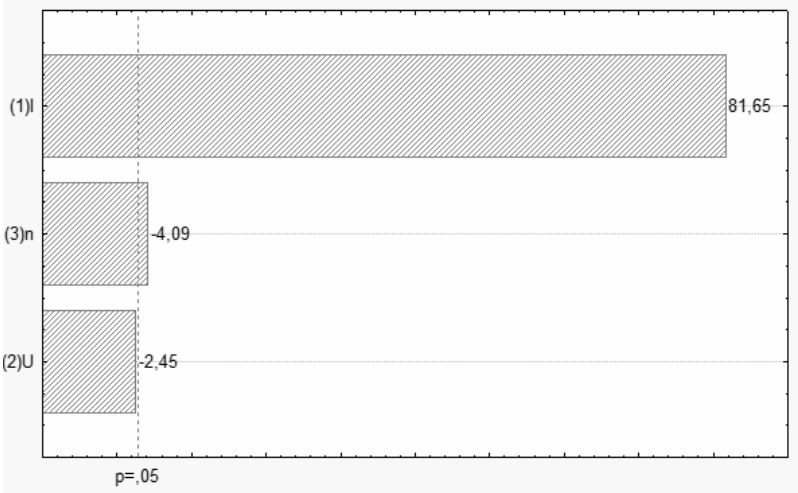


Рисунок 2 – Ступінь впливу факторів на продуктивність обробки

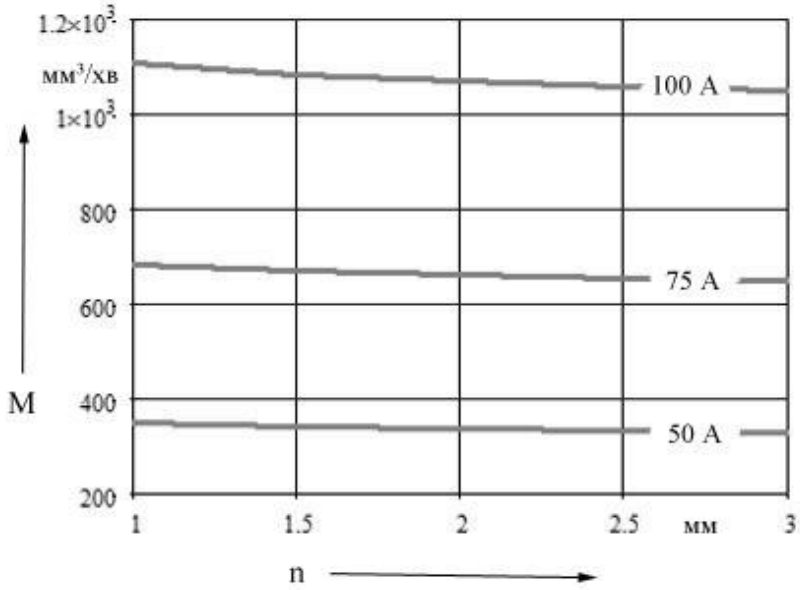


Рисунок 3 – Графік залежності продуктивності від сили струму і відстані сопел від заготовки

Математична модель шорсткості в функції трьох факторів, мкм:

$$Ra = 1.15 \cdot I^{0.48} \cdot U^{0.125} \cdot n^{0.08}. \quad (2)$$

Згідно перевірки моделі за критерієм значимості (рис.4), вагомими факторами, є сила технологічного струму *(I)* та відстань сопел від заготовки *(n)*. Тому для зазначених параметрів будуємо графіки залежності шорсткості від відстані сопел до заготовки при різних значеннях сили струму(рис 5).

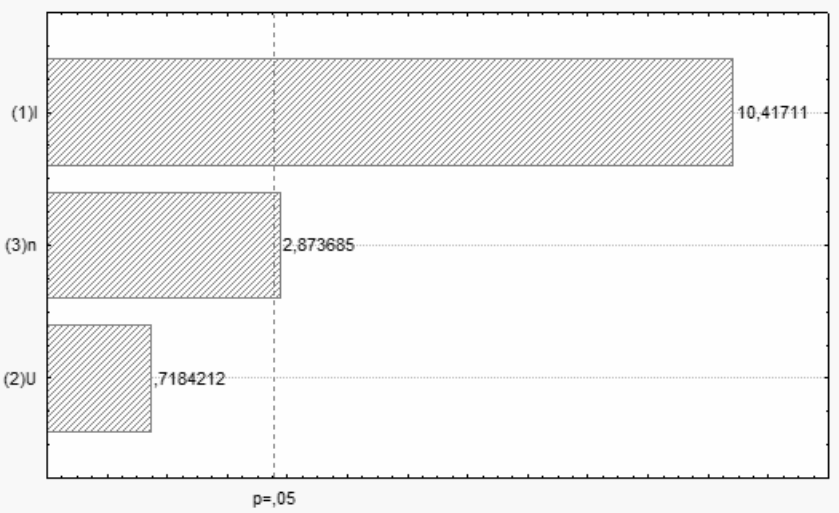


Рисунок 4 – Ступінь впливу факторів на шорсткість поверхні

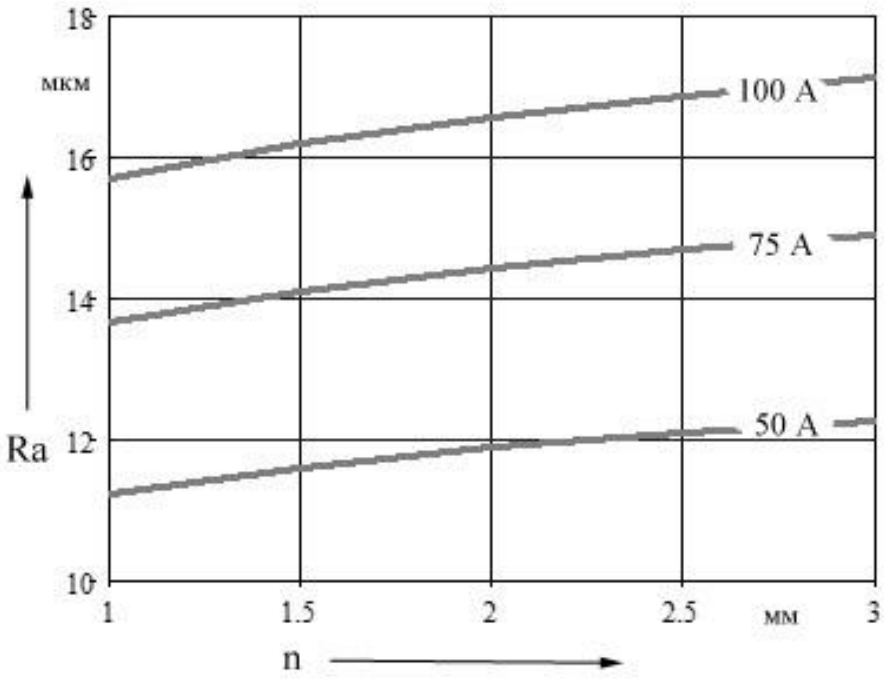


Рисунок 5 – Графік залежності шорсткості від сили струму і відстані сопел від заготовки

Математична модель об'ємного зносу EI в функції трьох факторів, %

$$\gamma = 4.17 \cdot I^{0.37} \cdot U^{0.06} \cdot n^{0.06}. \quad (3)$$

Згідно перевірки моделі за критерієм значимості (рис.6), вагомими факторами, є сила технологічного струму *(I)* та відстань сопел від заготовки *(n)*. Тому для зазначених параметрів будуємо графіки залежності шорсткості від відстані сопел до заготовки при різних значеннях сили струму(рис 7).

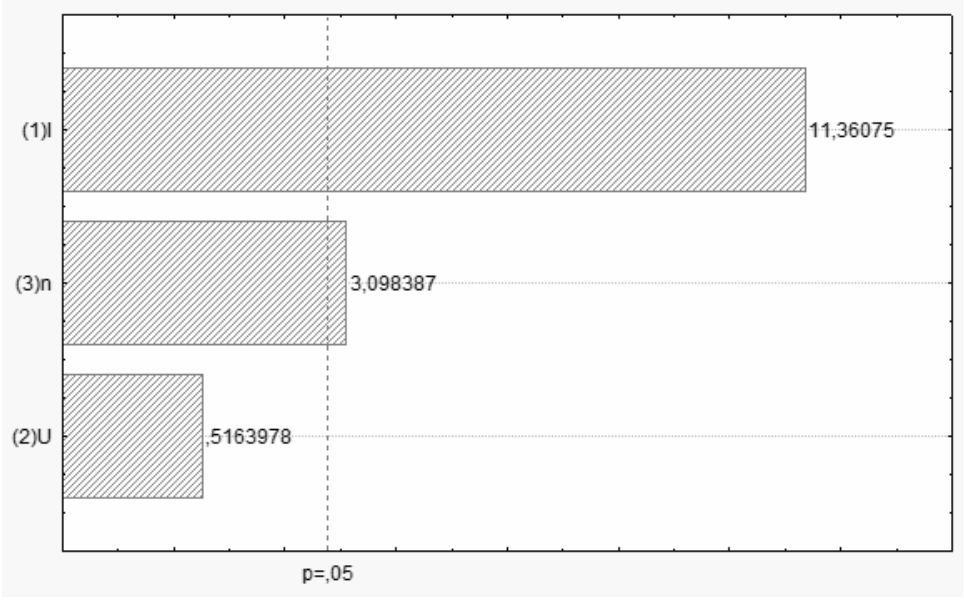


Рисунок 6 – Ступінь впливу факторів на знос ЕІ

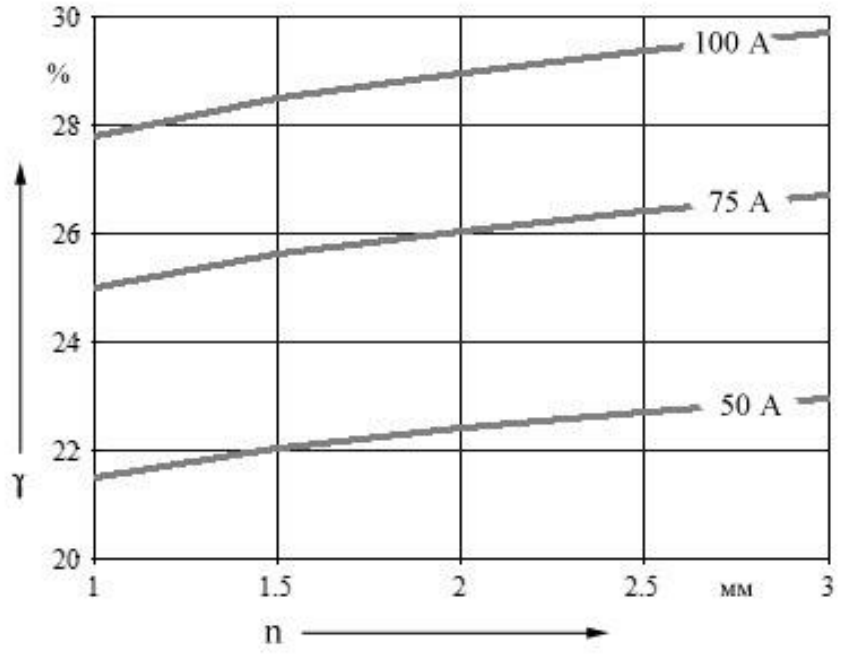


Рисунок 7 – Графік залежності об’ємного зносу ЕІ від сили струму і відстані сопел від заготовки

Досліджені і описані технологічні характеристики РОД непрофільованим ЕІ в функції основних керуючих факторів дозволяють здійснити розробку технологічних процесів, виконати розрахунки продуктивності, стійкості інструменту та керувати якістю отриманих деталей. В результаті експериментальних досліджень технологічні характеристики змінюються залежно від сили струму і відстані сопел від заготовки.

При цьому продуктивність знаходиться між 500-1200 мм^3/хв., зростає при збільшені сили струму і зменшені відстані сопел від заготовки. Шорсткість обробленої поверхні складає 11-18 мкм та зростає при збільшені сили струму і збільшені відстані сопел від заготовки. Об'ємний знос є керованим і знаходиться в межах 21-30% і прямо пропорційна залежить від сили струму і знижується із зменшенням відстані сопел від заготовки

Список літератури

1. Носуленко В.И. Электрическая дуга в поперечном потоке среды – диэлектрика как источник тепла для новых технологий /В.И. Носуленко// Электронная обработка материалов, – 2005. – № 2. – С. 26-32
2. Носуленко В.І., Шелепко О.В. Розмірна обробка електричною дугою непрофільованим електродом-інструментом як альтернатива традиційним технологіям // Збірник наукових праць КНТУ. Вип.42 . Кіровоград: КНТУ, 20. – С.
3. Носуленко В.І., Шелепко О.В. Розмірна обробка електричною дугою непрофільованим електродом-інструментом як альтернатива традиційним технологіям // Збірник наукових праць КНТУ. Вип.42 . Кіровоград: КНТУ, 20. – С.
4. Хартман Э. Левицкий В. Шеффер М. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов / К., –1987. М. 610. – С.
5. Джонсон Н., Лион Ф. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке: Методи планирования эксперимента. Пер. с англ. – М.:Мир, 1981. – 520 с., ил.
6. Боровиков В.П., Боровиков И.П. STATISTICA – статистический анализ и обработка даних в среде Windows – М./Информационное–издательский дом «Филинь».1998 – 608 С.

В. Носуленко, А. Шелепко

Технологические характеристики размерной обработки электрической дугой непрофилированным электродом - инструментом

Выполнено экспериментальные исследования технологических характеристик процесса размерной обработки электрической дугой непрофилированным электродом – инструментом. Получено математические модели и построено графики производительности, шероховатости и износа инструмента.

V.Nosylenko, A.Shelepko

Technological descriptions of size treatment a voltaic arc by the unprofiled electrode - instrument

Experimental researches of technological descriptions of process of size treatment a voltaic arc are executed by the unprofiled electrode - instrument. Mathematical models are got and it is built graphic arts of the productivity, roughness and wear of instrument.

Одержано 17.04.12

УДК 621.795

В.М. Пестунов, канд. техн. наук, проф., В.В. Святський, канд. техн. наук,
С.В. Придворова, магістрант
Кіровоградський національний технічний університет

Механізми розвантаження інструменту при свердленні глибоких отворів

Наведено схеми розвантаження свердла, що основані на використанні комбінованої обробки „різання – пластична деформація" і підведенням мастильно-охолодного технічного засобу з надлишковим тиском. Способи вирішують задачі зниження складових технологічного навантаження і дозволяють розширити технологічні можливості процесу свердління по глибині обробки.
глибоке свердлення, розвантаження, різання, деформування, стійкість, жорсткість, ефективність

Обробка глибоких отворів є трудомісткою технологічною операцією. На практиці чималу проблему представляє свердлення глибоких отворів малих діаметрів в матеріалах, які важко обробляти. Рішення задач підвищення продуктивності обробки і збільшення граничної глибини свердлення тісно пов'язане з раціональним вибором параметрів свердла і умов його експлуатації [1].

Як правило, процес свердлення глибоких отворів виконують на спеціальних або агрегатних верстатах за допомогою пристрою, що містить свердло, встановлене на трубчастому стеблі з каналами для відведення стружки і мастилоприймачем системи подачі мастильно-охолодного технічного засобу (МОТЗ) під тиском. В процесі обробки стебло свердла знаходиться під впливом осьової складової сил різання, що приводить до його подовжнього вигину і, отже, зниженню точності обробки і стійкості інструменту.

Розвантаження стебла свердла при глибокому свердлінні можливе шляхом застосуванням комбінованих методів обробки отворів або використання ефекту підведення МОТЗ з надлишковим тиском. Проведеними дослідженнями [1] встановлено, що такі процеси механічної обробки мають більші резерви підвищення ефективності обробки глибоких отворів в порівнянні із традиційними методами.

Дані досліджень [2] обробки отворів комбінованими інструментами показали, що принципово змінюється характер процесу різання. Додаткові леза комбінованого інструмента сприяють ущільненню поверхневого шару металу і згладжуванню мікронерівностей, що утворюються в процесі різання. Відбувається зміна структури поверхневого шару і створюються сприятливі умови для покращання чистоти поверхні, яку оброблюють.

При цьому використання комбінованого інструмента істотно не впливає на величину осьової складової технологічного навантаження. Крутний момент технологічного навантаження збільшується несуттєво: ця величина не перевищує 20% від номінального значення. Точність обробки отворів і стійкість інструмента при цьому підвищується. При оптимальній взаємодії інструмента з поверхнею обробки технологічні складові частково або повністю можуть компенсувати навантаження кінематичних ланцюгів формоутворення. Така компенсація навантаження є особливо важливою в процесах обробки глибоких отворів, де передача значних технологічних навантажень через стебло інструмента надзвичайно обмежена.

Дослідженнями [3] встановлено, що найбільш ефективною формою поперечного

© В.М. Пестунов, В.В. Святський, С.В. Придворова, 2012

перерізу стебла свердла для глибокого свердління є кільцевий переріз, що забезпечує найкращу стійкість при передачі крутного моменту і осьової сили. При переході від V-подібного перерізу гарматного свердла до свердла кільцевого перерізу за інших рівних умов розрахункове значення стійкості по Ейлеру збільшується приблизно в три рази [5]. Крім цього використання кільцевих перерізів стебла свердла дає можливість використовувати зовнішнє підведення МОТЗ і внутрішнє відведення стружки.

Проведені дослідження і узагальнення опублікованих робіт [1 – 7] є основою для розробки схеми комбінованої обробки глибоких отворів із взаємною компенсацією складових технологічного навантаження. Однопотокова функціональна залежність навантаження привода подачі разом із приводом головного руху у відповідності зі структурою схемою, що наведена в [6], є основою для розробки принципово нових способів комбінованої обробки. За механізм зазначеної функціональної залежності можуть виступати інструмент і заготовка, що оброблюється, і які взаємодіють в процесі обробки.

Схема розвантаження свердла, що основана на використанні комбінованої обробки „різання – пластична деформація", застосована для свердління глибоких отворів. Схема процесу наведена на рис. 1. Інструмент комбінованої обробки глибоких отворів (рис. 1) складається з різцевої головки 1, встановленої на корпусі 2 і напрямної 3 з роликами 4, що розташовані між стінкою 5 отвору, який оброблюється, і гвинтовим замкнутим пазом 6 напрямної 3. Напрямна 3 може бути виконана у вигляді двох конусних кілець 7, закріплених на корпусі 2 гайкою 8.

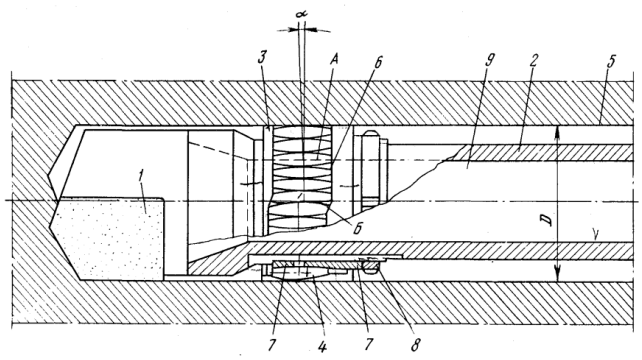


Рисунок 1 – Свердло для глибокого свердління із самоподачею

Гвинтова поверхня паза 6 на ділянці A виконана з кутом підйому α, що визначається з умови $\operatorname{tg}\alpha \geq S_0/\pi D$, де S_0 – подача на оберт; D – діаметр отвору. Гвинтовий паз змикається на ділянці $Б$, виконаної з більшою глибиною ніж на ділянці A. Корпус 2 має осьовий канал 9 для відводу МОТЗ.

При обробці глибоких отворів комбінованим інструментом деталі або інструменту надають відносне обертання і рух подачі. МОТЗ подається в кільцевий зазор між корпусом 2 і отвором 5. Відпрацьована рідина разом зі стружкою виводиться через осьовий канал 9. Між роликами 4 і поверхнею отвору 5 створюється натяг за допомогою гайки 8, що зближує конічні кільця 7. Це дає змогу при взаємному обертанні деталі і інструмента роликам 4 перекочуватись по поверхні отвору 5 і по кільцях 7. Так як конічна поверхня кілець на ділянці A виконана гвинтовою, ролики 4 відносно отвору 5 рухаються по гвинтовій лінії, долаючи осьову складову сил різання, і надають інструменту переміщення в напрямку подачі. Повернення роликів 4 здійснюється на ділянці $Б$ конічних кілець 7, що виконані тут з більшою глибиною, завдяки чому ролики 4 не контактують з поверхнею отвору 5 і можуть вільно повертатися у вихідне положення на ділянці A.

Натяг між роликами 4 і отвором 5 забезпечується гайкою 8, що зближає кільця 7, і вибирається в залежності від осьової складової сили різання так, щоб сила тертя між роликами 4 і отвором 5 перевищили її. При необхідності зміни величини подачі, наприклад, при переході до обробки іншого матеріалу, кільця 7 замінюються на кільця з іншим кутом нахилу.

При взаємодії роликів 4 з отвором 5 відбувається часткове пластичне деформування металу деталі, завдяки чому поліпшується якість обробленої поверхні.

Механізм подачі необхідний лише під час врізання і для здійснення прискорених переміщень. Стебло свердла розвантажується від осьових сил і, відповідно, зменшується амплітуда коливань і підвищується точність обробки. Момент опору перекочування роликів у порівнянні з моментом сил різання є незначним і мало відображається на верхній межі передачі, обумовлений умовою міцності стебла по крутному моменту. Одночасно зі здійсненням подачі ролики пластично деформують стінки отвору, підвищуючи його якість.

Розвантаження стебла свердла при глибокому свердленні можливе не тільки при використанні комбінованого процесу механічної обробки глибоких отворів „різання – пластична деформація” [2, 3]. Запропоновано пристрій, що дозволяє понизити осьове навантаження на стебло свердла створенням надмірного тиску МОТЗ в зоні різання. Пристрій (рис. 2) працює таким чином. Свердло 1, що оброблює деталь 2, закріплено на стеблі 3, який утворює з обробленим отвором кільцеву порожнину 4, що використовується для подачі МОТЗ під тиском через мастилоприймач 5. На стеблі 3 виконана шайба 6, що має гвинтовими канавками 7. Стебло 3 має внутрішній канал 8.

В процесі свердлення деталі повідомляється обертання, а стеблу 3 свердла 1, закріпленому в інструментальному супорті верстата (на кресленні не показаний), – рух подачі. В процесі різання виникає осьова сила різання, що викликає подовжній вигин стебла 3. Стружка, яка утворюються при різанні, вимивається через канал 8 за допомогою подачі під тиском МОТЗ з мастилоприймача 5 через зазор 4.

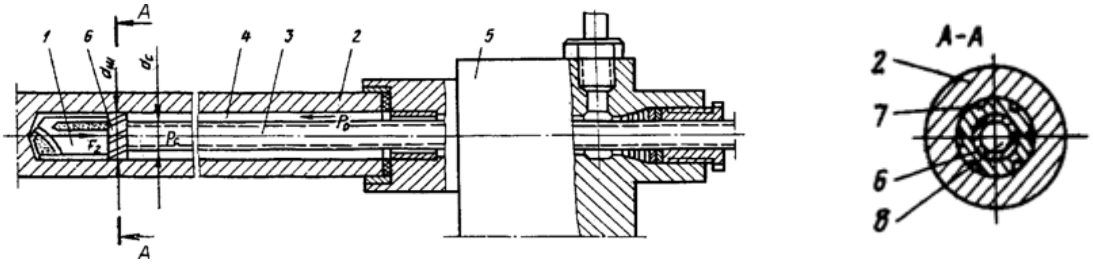


Рисунок 2 – Пристрій для глибокого свердлення

Тиск МОТЗ в зазорі 4 сприймається шайбою 6, що створює у поєднанні із стеблом 3 і отвором деталі 2 поршневу пару. При цьому співвідношення діаметрів шайби 6 і стебла 3 вибране з нерівності

$$d_{\text{ш}}^2 - d_{\text{с}}^2 > \frac{4F_x}{\pi\left(P_0 - P_{\text{с}}\right)}, \tag{1}$$

где $d_{\text{ш}}$ – діаметр шайби;

$d_{\text{с}}$ – діаметр стебла;

F_x – осьова складова сил різання;

P_0 – тиск МОТЗ в зазорі між стеблом і отвором;

$P_{\text{с}}$ – найбільший тиск в отворі стебла.

Шайба 6 має гвинтові канавки 7, переріз яких визначається заданою витратою МОТЗ. Діаметр шайби 6 виконаний менше мінімального діаметру отвору на величину гарантованого зазору. Наявність гвинтових канавок 7 полегшує центрування свердла в отворі. Проходження МОТЗ через гвинтові канавки 7 спричиняє реактивний момент, направлений зворотно моменту сил різання, що частково розвантажує стебло 3 від моменту сил різання.

При великій різниці діаметрів шайби 6 і стебла 3, що визначається співвідношенням (1) зусилля, яке діє на шайбу 6 (буртик), перевищить F_x. При цьому стебло 3 працює на розтягування, що дозволяє не тільки підвищити точність обробки і стійкість інструменту, але і істотно полегшити умови роботи приводу подачі верстата.

Таким чином, конструкція даного пристрою забезпечує в процесі роботи повне або часткове розвантаження стебла інструменту від сил різання, що дозволяє підвищити точність і продуктивність обробки.

Схема іншого пристрою для подачі в зону різання надмірного тиску МОТЗ приведена на рис. 3. Інструментальна головка 1, оброблювана деталь 2 закріплені на трубчастому стеблі 3, що створює з оброблюваним отвором кільцеву порожнину 4 для подачі під тиском МОТЗ з мастилоприймача (на малюнку не показаний). На стеблі 3 біля різцевої головки закріплена шайба-дросель 5. Перед шайбою в стеблі виконані під кутом отвори 6 малого діаметру, що направлені від різцевої головки і сполучають порожнину 4 з осьовим каналом 7 стебла.

Для забезпечення оптимальних співвідношень гідравлічних потоків площа $F_к$ осьового каналу 7 стебла свердла і площі $F_о$ отворів 6 зв'язані залежністю $12 < \frac{F_к}{F_о} < 25$.

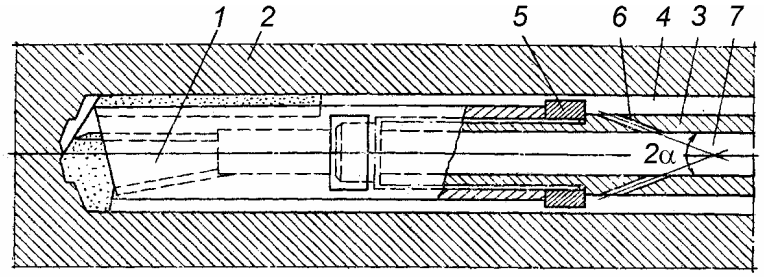


Рисунок 3 – Зменшення продольного вигину стебля свердла

Пристрій працює таким чином. В процесі свердлення деталі 2 повідомляється обертання, а стеблу 3, закріпленому в інструментальному супорті верстата (на рисунку не показаний), повідомляється рух подачі.

В процесі різання виникає осьова сила різання, що впливає на стебло 3 і яка спричиняє його подовжній вигин. Стружка, яка утворюється при різанні, вимивається через канал 7 стебла свердла за допомогою МОТЗ, що подається під тиском через порожнину 4 і зазор між шайбою і отвором.

Різниця тиску МОТЗ з боків шайби 5 створює осьову силу, направлену зворотно складовій сил різання і частково компенсуючу її. Сила, що діє на стебло, зменшується, підвищується точність і продуктивність обробки. Величина різниці тиску залежить від тиску МОТЗ в каналах стебла свердла. При витіканні МОТЗ через отвори 6 малого діаметру виникаючі похилі струмені захоплюють за собою МОТЗ, що знаходиться в каналі 7, і створюють в отворі різцевої головки розрідження. При цьому в отворі різцевої головки значно збільшується різниця тиску на шайбі. Ефект збільшення розвантажуючої сили досягається без зростання тиску МОТЗ в напірній магістралі, що дозволяє використовувати гідростанції малої потужності.

Оскільки частина потоку МОТЗ з порожнини 4 перетікає в канал 7 через отвір 6, з'являється можливість зменшити зазор між шайбою і отвором, збільшити діаметр шайби і підвищити розвантажуючу силу, залежну від площі шайби. Даний пристрій забезпечує розвантаження стебла свердла при дії сил різання без збільшення споживаної від гідростанції потужності, що значно покращує його експлуатаційні характеристики.

Наведені теоретичні і експериментальні дослідження показують, що керування навантаженням стебла інструмента по осьовій складовій сили різання і сил опору принципово можливе при використанні процесів комбінованої обробки отворів. Розроблені способи обробки глибоких отворів вирішують задачу зниження складових технологічного навантаження і дозволяють розширити технологічні можливості процесу свердління по глибині обробки.

Список літератури

1. Линчевский П.А., Буюкли И.М., Иоргачев В.Д. Новые конструкции инструмента для совмещенной обработки отверстий большого диаметра и длины // Труды Одесского политехнического университета, 2007. – Вып. 2. – С. 1 – 8.
2. Розенберг А.М., Розенберг О.А. Механика пластического деформирования в процессах резания и деформирующего протягивания. – К.: Наукова думка, 1990. – 320 с.
3. Пестунов В.М., Свяцкий В.В., Свяцкая Л.П. Решение проблем глубокого сверления в металлообработке // Вестник НТУУ „КПИ". Машиностроение. – К.: НТУУ „КПИ" , 2006. – №49. – С. 173 – 178.
4. Пестунов В.М., Свяцкий В.В., Свяцкая Л.П. Разработка привода по условиям оптимальной стойкости инструмента и производительности процесса глубокого сверления // Материали за 4-а международна научна практична конференция „Научно пространство на Европа – 2008". – София: Бял ГРАД-БГ ООД, 2008. – Том 27. Технологии. – С. 28 – 30.
5. Пестунов В.М., Свяцкий В.В., Свяцкая Л.П. Управление циклом процесса глубокого сверления // Матеріали II міжнародної науково-практичної конференції „Дні науки – 2006". Том 10. Технічні науки. – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2006. — С. 8 – 11.
6. Пестунов В.М., Свяцкий В.В., Свяцкая Л.П. Элементы системы СПИД, ограничивающие выходные характеристики процесса глубокого сверления // Materialy IV Międzynarodowej naukowi-praktycznej konferencji „Naukowym progress na rubieży tysiącleci – 2008". – Przemyśl: Nauka i studia, 2008. – Tym 14. Techniczne nauki. – Str. 53 – 55.
7. Пестунов В.М., Свяцький В.В., Свяцька Л.П. Обробка глибоких отворів комбінованим інструментом із самоподачею // Материали за 4-а международна научна практична конференция „Динамика изследования – 2008". – София: Бял ГРАД-БГ ООД, 2008. – Том 29. Технологии. Физика. – С. 14 – 16.

В. Пестунов, В. Свяцкий, С. Придворова

Механизмы разгрузки инструмента при сверлении глубоких отверстий

Приведены схемы разгрузки сверла, основанные на использовании комбинированной обработки „резание – пластическая деформация" и подводом смазывающе-охлаждающего технического средства с избыточным давлением. Способы решают задачу снижения составляющих технологической нагрузки и позволяют расширить технологические возможности процесса сверления по глубине обработки.

V. Pestunov, V. Svyatsky, S. Pridvorova

Mechanisms of demounting of instrument in deep-hole drilling

The schemes of drill unloading, based on use of the combined processing „cutting – plastic deformation" and admission lubricant-cooling agent with overpressure, are considered. The methods solve a problem of technological load components decrease and allows expanding technological capability of drilling process on depth of processing.

Одержано 09.04.12.

УДК 62-752

Ю.А. Невдаха, доц., канд. техн. наук, В.В. Пукалов, доц., канд. техн. наук, А. Ю. Невдаха, асист.
Кіровоградський національний технічний університет

До руйнування зубців зубчастих коліс

В статті проведено конкретизацію і доповнення загальних відомостей за основними видами руйнування зубчастих коліс, рекомендовані заходи запобіганню поломки зубців.
зубець, викришування, деформація, руйнування, робоча поверхня, напруження згину, мікротріщини

В машинобудуванні, сільськогосподарській промисловості та інших галузях народного господарства широко застосовуються механічні зубчасті передачі. Вірно спроектована і виготовлена передача при виконанні всіх правил її експлуатації не повинна перегріватися та шуміти. Поява значного перегрівання і надмірного шуму свідчить про недоліки в роботі передачі, пов'язані з її конструкцією, виготовленням, неправильним вибором змащувального матеріалу або можливим пошкодженням зубців. Практика експлуатації зубчастих передач показує, що найбільш характерними видами руйнувань зубців є такі: поломка зубців, викришування робочих поверхонь зубців, знос зубців, пластичні деформації, заїдання та відшарування поверхневих шарів зубців. Ці види руйнування зубців розглянуті в [1], [2], [3]. Передчасний вихід з ладу зубчастих коліс ускладнює експлуатацію багатьох машин, збільшує експлуатаційні витрати, а в деяких випадках може привести до аварії з серйозними наслідками. .

Поломка зубців внаслідок своєї раптовості є небезпечним видом руйнування. У більшості випадків поломка зубців носить втомний характер. Якщо напруження згину, періодично виникають при входженні зуба в зачеплення перевищують межу витривалості, то в місцях переходу зубців в обід (зона максимальної концентрації напружень) з'являються мікротріщини, що поширюються при повторних циклах навантаження всередину тіла зуба по нормалі до його поверхні (рис. 1).

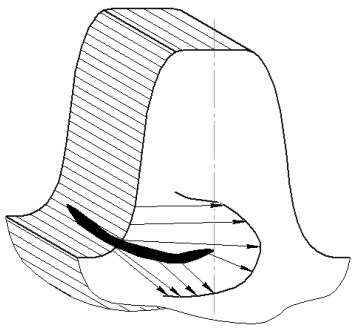


Рисунок 1 – Утворення втомної тріщини

Це явище найбільш часто зустрічається у передач з чавунними зубчастими колесами, а також зі сталевими колесами, які мають високу твердість робочих поверхонь зубців НВ > 350.

© Ю.А. Невдаха, В.В. Пукалов, А. Ю. Невдаха, 2012

Причинами поломок зубців можуть бути виникаючі в процесі експлуатації нерівномірності розподілу навантаження по ширині зубчатого вінця через перекіс осей, викликаного надмірним збільшенням люфтів в підшипниках і в шліцьових з'єднаннях, а також різного роду виробничих дефектів (раковини при відливанні деталі, тріщини при термообробці і т. п.). При відносно невеликій товщині зуба по колу виступів менше $(0{,}3...0{,}4)m$ може відбуватися викришування вершин зуба. На цей випадок необхідно звертати увагу при виборі коефіцієнтів корекції.

На колесах з косими та шевронними зубцями, тріщина розвивається з торцевої поверхні колеса в основі зубця і розповсюджується похило по довжині зубця до його вершини (рис.2). Внаслідок чого виламується частина зуба.

Рисунок 2 – Приклад поломки зуба косозубого колеса

Зменшення можливості поломок зубців досягається збільшенням міцності основи зуба, зменшенням концентрації напружень, збільшенням точності виготовлення і монтажу передачі та підвищенням механічних властивостей матеріалу зубчастих коліс. **Викришування робочих поверхонь зубців** – найбільш розповсюджений вид руйнування зубців закритих передач, працюючих з підвищеним змащуванням і надійно захищених від попадання бруду і абразивних частинок.

Зобразимо складові векторів колових швидкостей точки зачеплення *K* (рис. 3), яка належить зубцям першого і другого коліс.

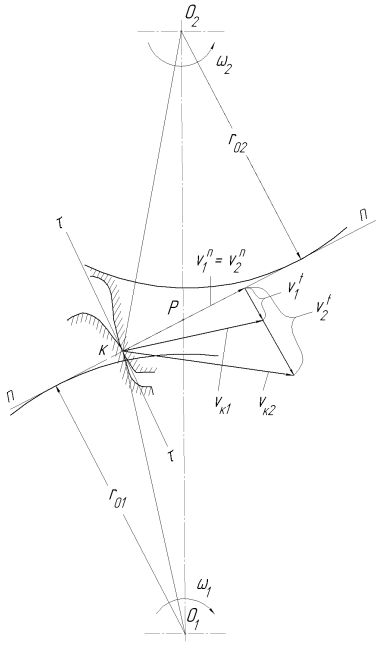


Рисунок 3 – Визначення випереджаючої поверхні

Як відомо із основного закону зачеплення, $V_1^n = V_2^n$, і якщо точка дотикання зубців не співпадає з полюсом зачеплення *P*, то $V_1^\tau \neq V_2^\tau$. Із побудови видно, що $V_2^\tau > V_1^\tau$, тобто поверхня ніжки зуба являється випереджаючою поверхнею, і саме тому ямки викришування з'являються на поверхні ніжок зубців і, як правило, відсутні на поверхні головок зубців рис. 4.

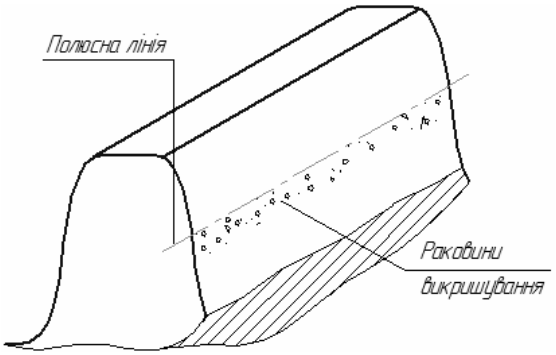


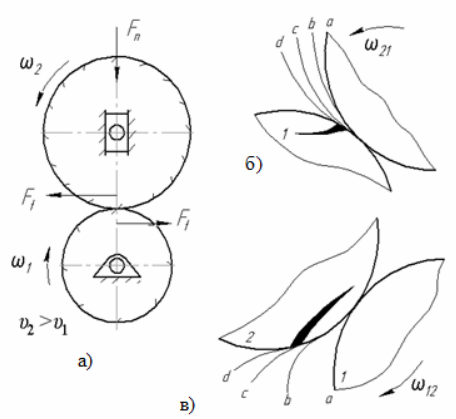
Рисунок 4 – Викришування на поверхні ніжок зубців

Експериментальними дослідами встановлено, що при швидкостях ковзання $V_S \leq 0.1$ м/с коефіцієнт тертя досягає максимальної величини і при цьому спостерігається мінімальний опір викришуванню. В зубчастих передачах при середніх і високих кутових швидкостях зона з указаною величиною швидкості ковзання знаходяться на відстані $(0.1...0.4)\cdot m$ від полюсної лінії, тому викришування спочатку виникає на ніжка зубців поблизу полюсної лінії.

Одним з факторів, що сприяють інтенсивному розвитку втомних тріщин є наявність мастила. В тих випадках, коли відносне кочення дотичних поверхонь супроводжується ковзанням, втомні тріщини, що виникають на поверхнях, під впливом сил тертя орієнтуються по-різному для обох поверхонь. Положення втомних тріщин визначається напрямом сили тертя, прикладеної до даної поверхні. Слід зазначити, що похиле розташування втомних тріщин спостерігається також у крихких матеріалах, які набувають пластичних властивостей завдяки сильному всебічному стиску матеріалу в зоні контакту.

На рис. 5а наведено два котки, притиснуті один до одного силою F_n і мають різні, за величиною, колові швидкості на поверхні контакту. Припустимо, що колова швидкість другого котка більша, ніж колова швидкість першого. При цьому, крім перекочування котків, матиме місце і відносне ковзання, швидкість якого може бути визначена як різниця колових швидкостей котків. При прийнятому співвідношенні колових швидкостей поверхня першого котка буде відстаючою, а поверхня другого котка – випереджаючою. На рис. 5а показано напрям початкових втомних тріщин, орієнтованих по-різному у відстаючій та випереджаючій поверхонь. На випереджаючій поверхні втомні тріщини орієнтовані таким чином, що в зону дії контактних напружень першим потрапляє під поверхневий кінець тріщини. Внаслідок цього, при подальшому відносному переміщенні поверхонь, проміжні положення яких відзначені на рис. 5в літерами a, b, c і d, мастило з тріщин видавлюється і тріщина рости не буде. Втомні тріщини на відстаючій поверхні рис. 5б розташовані таким чином, що в зону найбільший тисків вони підходять своїм відкритим, поверхневим кінцем. При подальшому відносному русі мастило нагнітається в тріщину, тиск в шарі масла, що

знаходиться всередині тріщини, різко зростає, що створює розклинюючую дію, яка сприяє поступовому розвитку тріщини і призводить в результаті до виламування частинки металу.



а) загальний вид передачі; б) розвиток втомних тріщин на відстаючій поверхні; в) розвиток втомних тріщин на випереджаючій поверхні

Рисунок 5 – Вплив змащування на розвиток втомних тріщин:

Таким чином, наявність мастила сприяє появі процесу викришування робочих поверхонь. Значний вплив на величину опору викришування чинить в'язкість мастила: зі збільшенням в'язкості зростає навантажувальна здібність передачі, так як зменшується коефіцієнт тертя між контактуючими поверхнями; крім того, в більшому об'ємі мастила розвивається надмірних тиск, який сприяє зниженню контактних напружень. Сорт мастила чинить вплив на величину коефіцієнта тертя; спосіб подачі мастила змінює контактну витривалість робочих поверхонь зубців. Зі зменшенням кількості мастила до величини достатньої для попередження заїданню і недопущення перегріву передачі, збільшується опір викришування, так як при цьому підвищується спрацювання робочих поверхонь, ускладнюється розвиток втомних тріщин. Руйнування зубців від стирання випереджає їх руйнування від розвитку втомних тріщин при наявності абразивних частинок або недостатньому змащуванні, що і пояснює відсутність викришування у відкритих передачах.

Знос зубців полягає в стиранні робочих поверхонь зубців характерний для відкритих передач, в яких колеса не захищені від попадання абразивних часток. Стирання поверхонь буде тим більше, чим більша величина питомого ковзання зубців, тому ніжки піддаються найбільшому зносу (рис. 6).

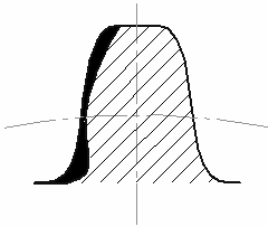


Рисунок 6 – Розподіл зносу по висоті зуба

Мінімальним стирання буде в полюсі зачеплення, оскільки в ньому відсутнє ковзання профілів. Внаслідок нерівномірності зносу спотворюється евольвентний профіль зуба, зростають динамічні навантаження, ослабляються ніжки зуба. Усе це веде до зростання напруження в основі зуба, зниженню згінної міцності і може привести до поломки зуба. Знос зубців можна зменшити застосовуючи зубчасті колеса

з високою твердістю робочих поверхонь, правильним підбором мастила та вирівнюванням величини питомого ковзання за допомогою корекції зубчастих коліс.

Пластичні деформації (зсуви) спостерігаються у важко навантажених тихохідних зубчастих колесах, виготовлених з м'якої сталі. При високих контактних напруженнях пластичні деформації можуть досягти значних розмірів і сили тертя викликають великі переміщення часток поверхневих шарів у напрямі ковзання. В результаті, на поверхні ведучих зубців уздовж полюсної лінії утворюється западина рис. 7, а на поверхні ведених зубців – хребет.

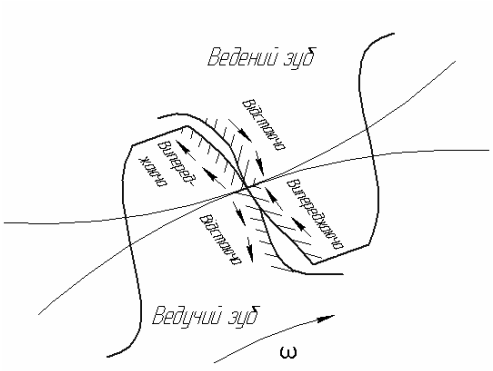


Рисунок 7 – Пластичні деформації робочих поверхонь зубців

Пластичні деформації можна усунути з підвищенням в'язкості мастила, оскільки при цьому зменшується коефіцієнт тертя, та з підвищенням твердості робочих поверхонь зубців.

Заїдання (зчеплення) полягає в тому, що при наявності ковзання і відсутності умов, що забезпечують неперервну масляну плівку між робочими поверхнями, частинки більш м'якого матеріалу міцно зчіплюються з частинками матеріалу другої поверхні, відриваються від першої і при подальшому русі утворюють борозни на більш м'якій поверхні. Напрямок цих борозен або «задирів» співпадає з напрямком відносної швидкості руху робочих поверхонь.

При наявності великих тисків між дотичними поверхнями, руйнування масляної плівки і пов'язане з ним заїдання, може відбутися або при високих швидкостях, внаслідок підвищення температури в зоні контакту і втрати в'язкості масла, або при малих швидкостях, коли відсутні умови для утворення масляного клину.

Викришування, що з’являється на робочих поверхнях кінематичних пар сприяють виникненню заїдання, так як при цьому зменшується поверхня дотику, що призводить до зростання напружень в зоні контакту. При цьому, також зростають сили тертя у зв'язку з тим, що мастило вижимається в утворені при викришуванні ямки рис. 8.

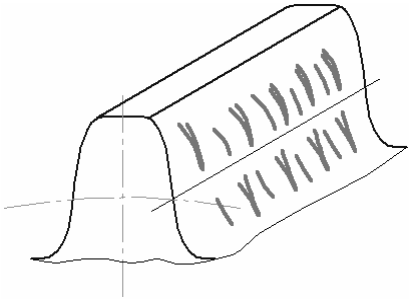


Рисунок 8 – Сліди заїдання на робочій поверхні зуба

Зменшення можливості виникнення заїдання досягається зниженням максимальної швидкості ковзання робочих поверхонь (за допомогою кутової корекції або збільшення числа зубців при заданих розмірах передачі), збільшенням твердості робочих поверхонь зубців, підвищенням в'язкості мастила і вживанням поверхнево-активних (противозадирних) мастил, що містять присадки з сірки.

Відшарування, цей вид руйнування найнебезпечніший для коліс, зубці яких мають поверхневе зміцнення (азотування, цементування, гартування і т.п.). Відшаруванню сприяє дія підвищених навантажень на зубці. Відшарування поверхневих шарів зубців спостерігається у тих випадках, коли під зміцненим поверхневим шаром зубців зведені контактні напруження достатньо великі. Через періодичну дію глибинних напружень під зміцненим шаром матеріалу можуть виникнути втомні тріщини, розвиток яких спричинює відшарування окремих ділянок поверхневого зміцненого шару.

Щоб запобігти відшаруванню поверхневих шарів зубців, треба забезпечити відповідну товщину зміцненого шару та достатню міцність серцевини зубця.

Висновок. У цій статті розглянуто лише найбільш поширені види руйнувань, що носять загальний характер для всіх механізмів. Вірно спроектовані передачі повинні бути розраховані так, щоб будь-яка з можливих причин пошкодження зубців була виключена. Згідно з цим перевіряють витривалість робочих поверхонь (розрахунок на контактну міцність і міцність на згин). Загальноприйнятої методики розрахунку зубців на зношування і заїдання в даний час немає. Відкриті передачі розраховуються на згин, закриті – на контактну міцність і на згин.

Список літератури

1. Павлище В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин: Підручник. – К.: Вища школа , 1993. - 556 с.
2. Иванов М.Н. Детали машин: Учебник для машиностр. спец. вузов. – М.: Высш. шк., 1984. – 336 с.
3. Решетов Д.Н. Детали машин: Учебник для машиностроительных и механических спец. вузов. 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1989. – 496 с.: ил.

Ю.Невдаха, В.Пукалов, А. Невдаха

К разрушению зубьев зубчатых колес

В статье приведена конкретизация и дополнение общих сведений по основным видам разрушения зубчатых колес, рекомендованы меры предотвращения поломок зубьев.

Iu. Nevdakha, V. Pukalov, A. Nevdakha

To destruction of the teeth's breakage cogwheels

The article contains specify and addition of the general information by the main types of cogwheels destruction, also it has recommendation of the measures for prevent teeth's breakage.

Одержано 02.02.12

УДК 549.621.9:622.235

А.А. Калашник, канд.геол.наук
Казенное предприятие «Кировгеология»
Н.А. Ковришкин, доц., канд.техн.наук
Кировоградский национальный технический университет

Исследование микротрещиноватости частиц граната из концентрата Завальевского месторождения

В статье изложены результаты изучения микротрещиноватости частиц граната концентратов, полученных из пород гранито-гнейсовой формации Завальевского месторождения и Лозоватского обнажения.

микротрещиноватость, гранатовый концентрат, естественные и техногенные дефекты в минералах

Гранат обладает высоким удельным весом и повышенной сопротивляемостью к истиранию. В промышленности все более активно применяется абразивный гранат – изделие, полученное в результате обогащения гранатсодержащего сырья вплоть до получения высококачественного гранатового песка. Вследствие высокого сопротивления к разрушению (прочности), абразивный гранат востребован, с одной стороны, как многократное неметаллическое абразивное вещество, и, с другой стороны, как продукт для гидроабразивной резки различных материалов. Острые грани зерен граната обеспечивают высокое качество и продуктивность обработки. При этом гранатовый песок безопасен для здоровья человека вследствие того, что не является канцерогенным и нетоксичен. Абразивный гранат не загрязняет окружающую среду и рабочее место.

Общее потребление гранатового концентрата на мировом рынке по отраслям следующее: очистка поверхностей – 40%, очистка воды – 24%, гидроабразивная резка – 12%, абразивы – 12%, щадящие абразивы – 6%, нефтяная промышленность – 4%, прочие – 2%.

Украина располагает одной из мощных сырьевых баз граната в СНГ и Европе. Однако рынок гранатового концентрата на сегодняшний день в большей мере обеспечивает внутренние потребности страны за счет экспортируемого сырья из Чехии, Австралии, Индии, часто довольно сомнительного качества, в частности по показателю радиоактивности, обусловленному присутствием в концентратах плохо извлекаемых радиоактивных примесей, в первую очередь ториеносных монацита, а также циркона (малакона), апатита. Получение чистых концентратов с радиоактивностью первого класса из высокопримесных радиоактивных исходных трудоемко и дорого, поэтому показатели удельной активности зачастую замалчиваются. В то же время имеются отечественные источники гранатовых концентратов, которые генетически характеризуются низкопримесным содержанием радиоактивных минералов, в первую очередь Завальевское месторождение, материнскими породами граната на котором являются гранат-биотитовые гнейсы и кварциты.

ЗАО «Завальевский графит» выходит на уровень промышленного производства высококачественного и более дешевого относительно ввозимого в Украину гранатового

© А.А. Калашник, Н.А. Ковришкин, 2012

концентрата, и способен обеспечить им внутренние потребности нашей страны. Кроме того, попутное промышленное производство гранатового концентрата обеспечивает рациональное и максимально полное использование ресурсов Завальевского графитового месторождения.

Одним из технических требований, предъявляемых к качеству гранатового концентрата, является характер трещиноватости частиц – густота трещин, их направленность, глубина проникновения в тело частицы минерала. Степень трещиноватости обуславливается генетическими причинами (в первую очередь, различными условиями минералообразования, также степенью проявленности наложенных процессов – тектоническими, метаморфическими, гипергенными). Выбранная схема технологического обогащения и условия измельчения в дробилках, мельницах и дезинтеграторах предопределяют степень формирования техногенной трещиноватости.

Гранаты относятся к группе минералов, присутствие которых в породах обуславливает генетическое трещинообразование. Разновидности этого минерала, как правило, в условиях практически всех фаций метаморфизма не образуют резко вытянутых индивидов. Основные кристалломорфологические свойства – сингония кубическая, встречаются в хорошо выраженных кристаллах – ромбододекаэдрах, тетрагонтриоктаэдрах или комбинации этих форм, отсутствие спайности. Однако, при некоторых термодинамических условиях, и особенно при наличии водных растворов, в процессе перекристаллизации и обменных реакциях могут образовывать индивиды и агрегаты вытянутой и пластинчатой формы и поэтому в благоприятных тектонических условиях могут обуславливать генетическое трещинообразование. Кристаллы граната могут становиться вытянутыми вдоль краев синклинали в условиях динамического влияния растягивающих тектонических напряжений при формировании синклиналей, что может обуславливать высокую природную трещиноватость и снижение абразивно-эксплуатационных свойств – формирование в процессе обогащения гранат-содержащих пород значительного содержания фракции – 0,1 мм, образования при дроблении обломков нежелательных форм (пластинчатой, игольчатой, остроклинной).

Динамическое разрушение минералов и степень развития микротещиноватости при техногенном обогащении основываются на исходных размерах естественных дефектов пород. Согласно классификации естественных дефектов в горной породе (поры, трещины и т.п.) В.В.Ржевского и Г.Я.Новика, приведенной в [1] дефекты по величине делятся на три порядка: дефекты первого порядка – собственно дефекты кристаллической решетки минералов и другие внутрикристаллические дефекты размером 10^{-9}-10^{-5}м. Дефекты второго порядка – это трещины в межзерновом цементе или непосредственно между зернами размером 10^{-6}-10^{-2}м. Дефекты третьего порядка – это тектонические трещины, кливаж, трещины выветривания и т.д., достигающие размеров 10-100м. Акцентируется внимание [1], что именно дефекты второго порядка оказывают решающее влияние на процессы измельчения в дробилках, мельницах и дезинтеграторах, что обусловливает качество получаемого концентрата по показателю микротрещиноватости. Дефекты второго и первого порядков ориентированы хаотично и обусловлены в большей мере процессами диагенезиса осадков, степенью метаморфизма и кристаллизации магм. Они являются основой развития генетических микротрещин.

Цель работы – изучить микротрещиноватость частиц граната из гранатового концентрата Завальевского месторождения.

Объектом исследований были минералогические пробы гранатового концентрата, полученные в результате технологического обогащения при попутной промышленной разработке Завальевского месторождения в действующем

обогатительном цехе гранатового концентрата ЗАО «Завальевский графит». Концентрат однотипен по вещественному составу. Преимущественным в отобранной пробе является класс -0,5+0,1 мм при его выходе с содержанием граната более 90%. Для сравнения микротрещиноватости использовался гранатовый концентрат, полученный авторами из мелкообъемной пробы коры выветривания гранат-биотитовых гранитов, отобранной при исследовании Лозоватского обнажения. Гранаты в обогащенной пробе с Лозоватского обнажения характеризуются наличием генетической трещиноватости при отсутствии влияния техногенной.

Определение степени трещиноватости частиц граната выполнялось на минеральных зернах, выбранных хаотически из типового товарного концентрата ЗАО «Завальевский графит» с применением ранее разработанных способов [2] и высокоточной лабораторной техники. Исследования выполнялись в КНТУ на растровом электронном микроскопе модели РЭМ-106И производства фирмы «SELMI» (рис.1) с разрешающей способностью электронного микроскопа при получении изображений 4 нм, с возможностью регулирования увеличения от 15 до 300 тыс.крат.

Рисунок 1 – Установка РЭМ-106И в процессе проведения исследования

Технологические особенности обуславливают поведение минеральных частиц при обогащении. Определяющие технологические признаки граната – плотность, крупность, характер поверхности, магнитность, электропроводность. Неоднородность свойств связана с разной степенью микротрещиноватости, минеральными включениями (биотит), примазками, плохой раскрываемостью и, соответственно, плохой извлекаемостью попутных минеральных включений относительно крупных зерен граната, неоднородным присутствием разновидностей граната в гранатовом концентрате ЗАО «Завальевский графит»: альмандина (свыше 90%), пиропа (единичные зерна), гроссуляра (единичные зерна). Свойства разновидностей граната перекрываются между собой и лишь частично со свойствами сопутствующих в концентрате минералов-примесей (в первую очередь ильменита, а также пирита, пирротина, магнетита, биотита, пироксена, роговой обманки, кварца).

Для исследования микротрещиноватости частиц граната предварительно были изготовлены скрепленные шлифы из частиц граната различных гранулометрических фракций различных проб (рис.2). Общий вид шлифа из частиц товарного гранатового концентрата ЗАО «Завальевский графит» приведен на рис.3.

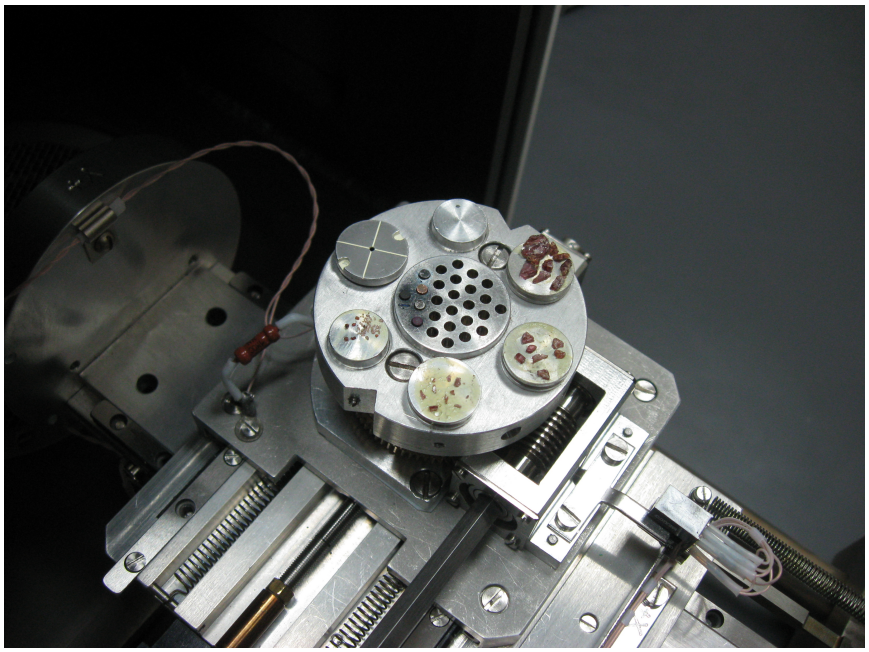


Рисунок 2 – Образцы зерен граната перед подготовкой к проведению исследования микротрещиноватости в установке РЭМ-106И

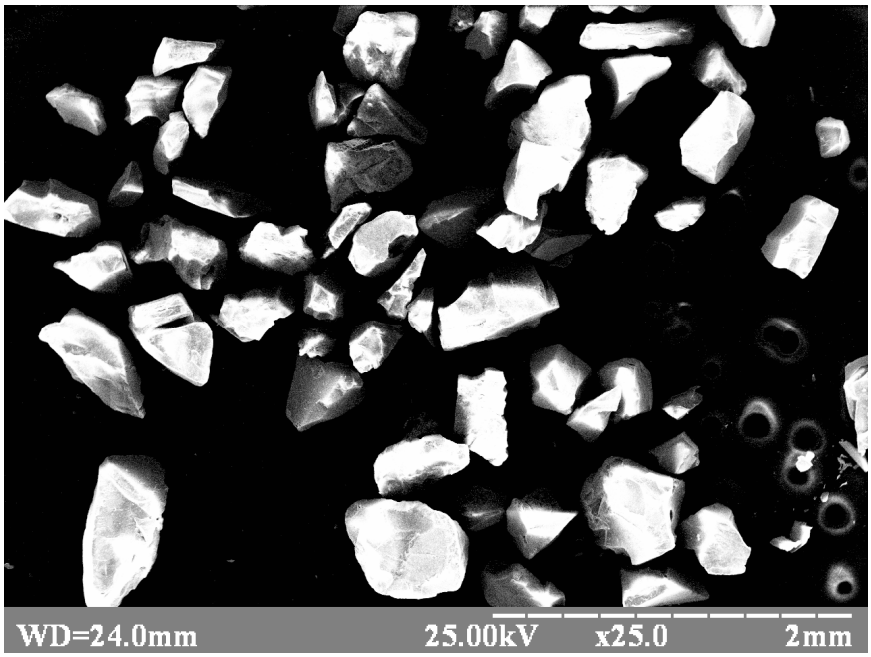


Рисунок 3 – Общий вид шлифа из частиц товарного гранатового концентрата ЗАО «Завальевский графит» гранулометрической фракции -0,5+0,1 мм перед началом исследования микротрещиноватости

Далее определялась длина сечения всех частиц граната, попадавших в ряд параллельных линий-профилей, секущих шлиф и располагающихся друг от друга на расстоянии около 1 мм и велся расчет количества трещин вдоль линии каждого профиля (рис. 4-6). Количество расчетных профилей в каждом шлифе было не менее 2. Длины сечений всех частиц граната и количество трещин подсчитывались, производилось деление первого показателя на второй и тем самым определялся показатель трещиноватости ($мм^{-1}$), который характеризует степень трещиноватости зерен граната. Характер трещиноватости частиц для зерен граната исследованного гранатового концентрата показаны на рис.7-8.

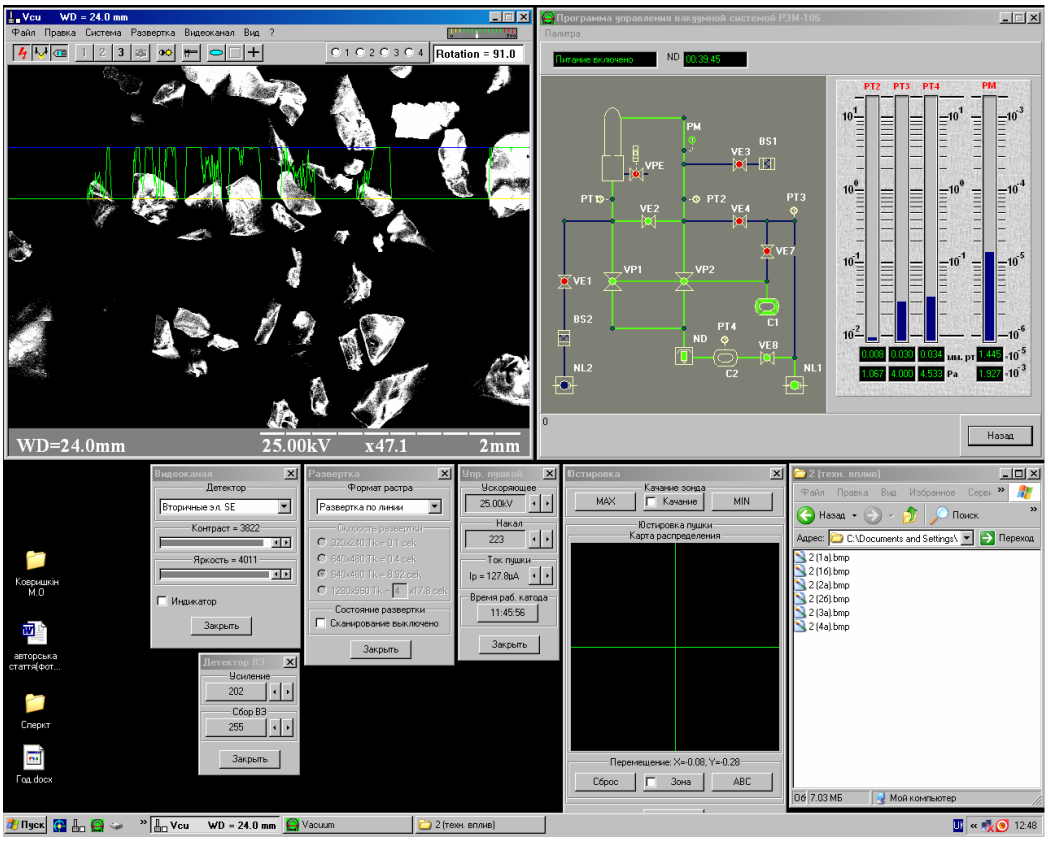


Рисунок 4 – Измерение длины частиц зерен граната по линии-профилю1 в 1 исходном шлифе из гранатового концентрата ЗАО «Завальевский графит»

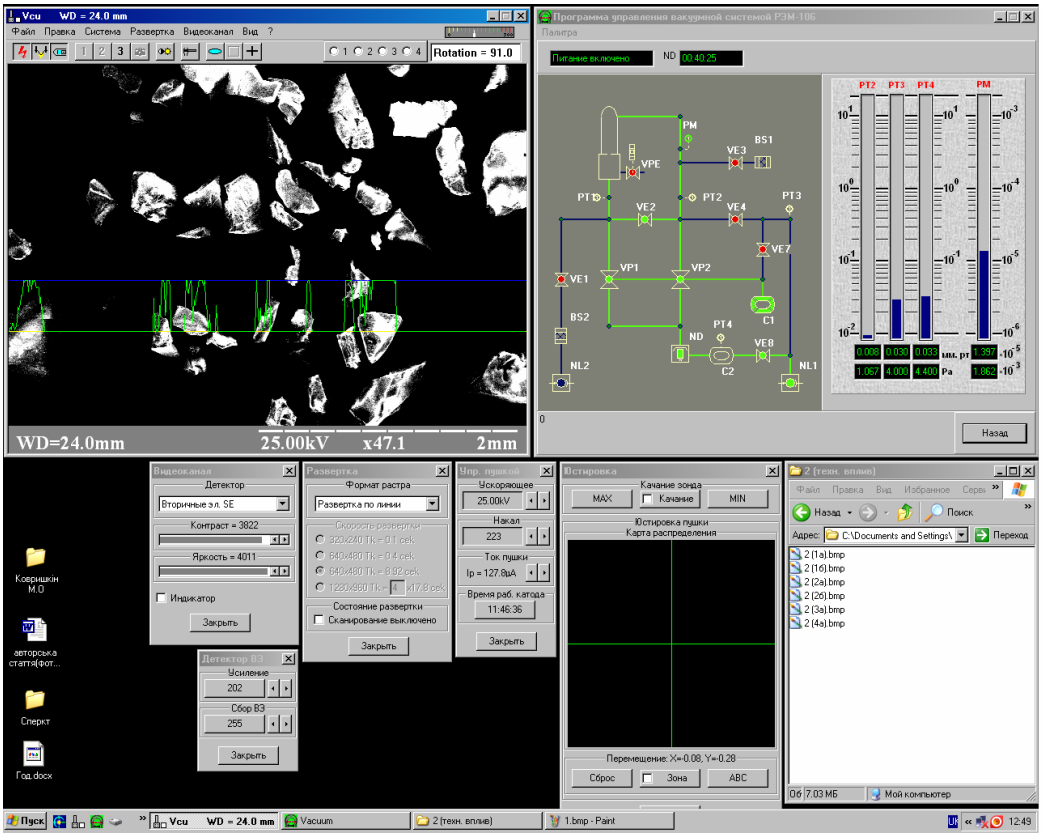


Рисунок 5 – Измерение длины частиц зерен граната по линии-профилю 2 в 1 исходном шлифе из гранатового концентрата ЗАО «Завальевский графит»

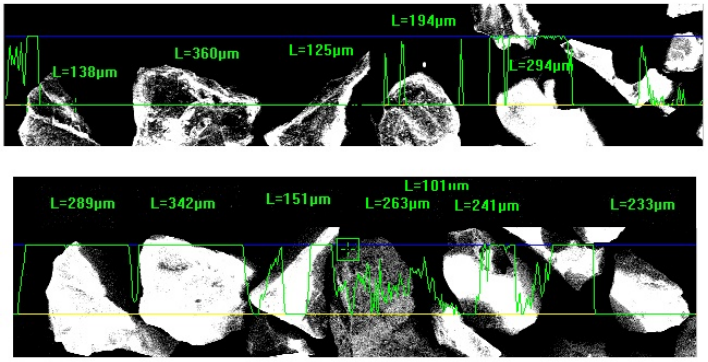
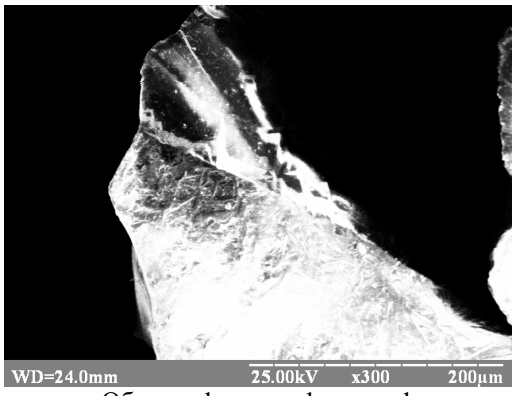
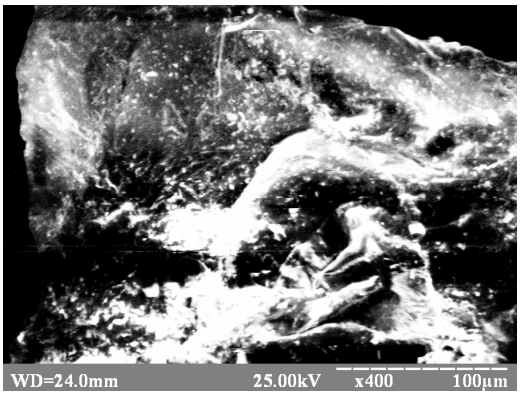


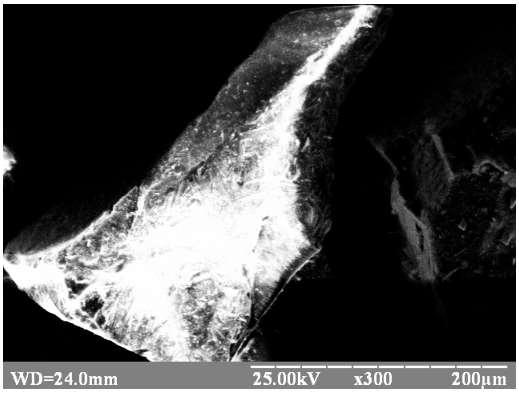
Рисунок 6 – Определение трещиноватости зерен граната в шлифе 1 (гранатовый концентрат гранулометрической фракции -0,5+0,1 мм, ЗАО «Завальевский графит»)



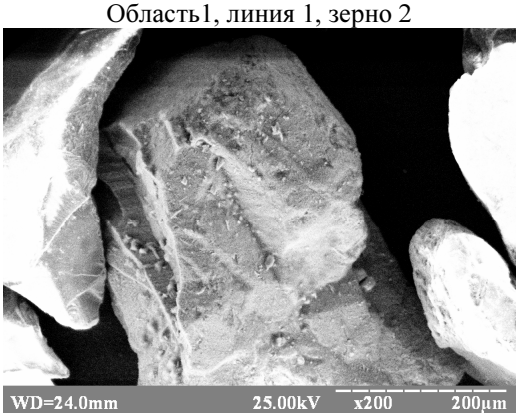
Область 1, линия 1, зерно 1



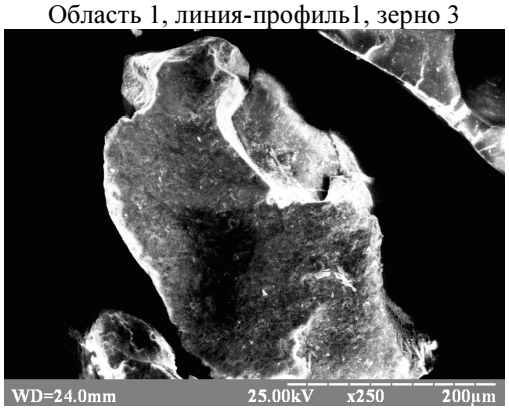
Область1, линия 1, зерно 2



Область 1, линия-профиль1, зерно 3



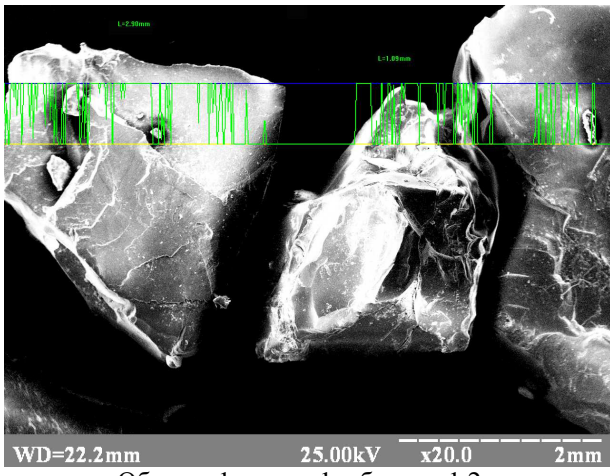
Область 1, линия-профиль1, зерно 4



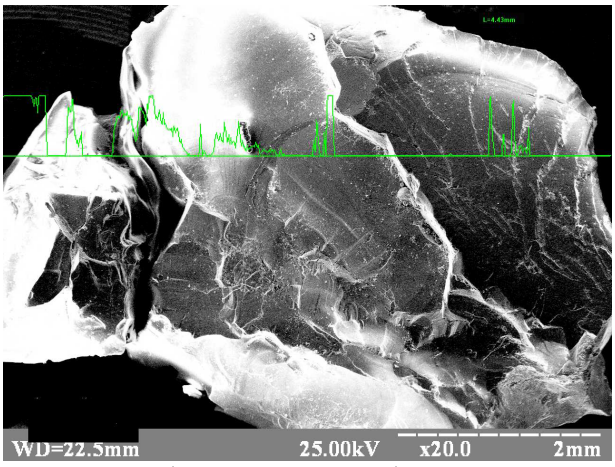
Область 1, линия-профиль1, зерно 5

Область 1, линия-профиль1, зерно 6

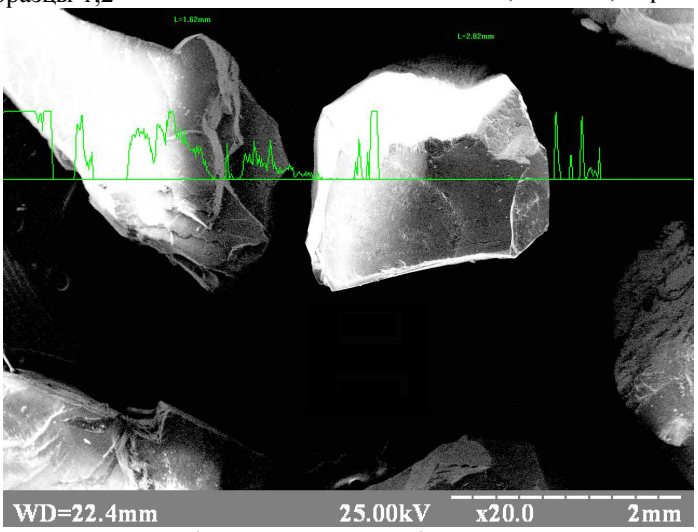
Рисунок 7 – Характер трещиноватости гранатовых частиц товарного гранатового концентрата ЗАО «Завальевский графит» (генетическая и техногенная трещиноватость)



Область 1, линия 1, образцы 1,2



Область 1, линия 1, образец 3



Область 1, линия 1, образцы 4,5

Рисунок 8 – Характер трещиноватости гранатовых частиц гранатового концентрата Лозоватского обнажения (генетическая трещиноватость при отсутствии техногенной)

Показатели трещиноватости для зерен граната исследованных шлифов отражены в табл.1.

Таблица 1 – Трещиноватость частиц граната ($мм^{-1}$) из гранатовых концентратов

Источник концентрата	Образцы	Грануло-метрические классы, мм	Трещиноватость частиц граната, $мм^{-1}$
Завальевское месторождение	Область1, линия 1	-0,5+0,1	0,570
Завальевское месторождение	Область 1, линия 2	-0,5+0,1	0,540
Завальевское месторождение	Область 2, линия 1	-0,5+0,1	0,590
Завальевское месторождение	Область 2, линия 2	-0,5+0,1	0,550
Лозоватское обнажение	Область 1, линия 1	-5,2+0,8	0,375

Приведенные результаты основаны на изучении частиц граната фракции -0,5+0,1 мм.

Для сравнения приведем данные по исследованию микротрещиноватости в близком гранулометрическом классе (-0,5+0,315 мм) по данным [2] исследования гранатовых концентратов месторождений Emerald Creek (США) и Bengal Bay (Индия) –

лидеров мирового рынка товарного гранатового концентрата, которые составляют соответственно, 0,436 и 1,283 мм$^{-1}$.

Таким образом, проведенные нами с помощью современной аппаратуры исследования трещиноватости частиц гранатов из концентрата Завальевского месторождения показали, что они характеризуются крайне низкими показателями трещиноватости (0,550-0,590 мм$^{-1}$), что свидетельствует о высоком качестве по этому показателю получаемого гранатового концентрата в ЗАО «Завальевский графит». Это обусловлено среди прочих причин и техническими инновациями в технологической схеме обогащения граната, использованной ЗАО «Завальевский графит».

Учитывая уровень запасов гранатовой руды на Завальевском месторождении и налаженное промышленное производство высококачественного гранатового концентрата при попутной эксплуатации Завальевского графитового месторождения ЗАО «Завальевский графит» способно в течение длительного времени обеспечивать Украину собственным гранатовым сырьем для различных целей, что представляет национальные интересы Украины.

Авторы статьи выражают искреннюю признательность Хейсону О.Ю. (ЗАО «Завальевский графит») за содействие в проведении исследований.

Список литературы

1. Ржевский В.В. Основы физики горных пород /В.В.Ржевский, Г.Я.Новик. - М.: Недра, 1992. - 327 с.
2. Ковальчук Л.Н. Трещиноватость частиц граната из концентратов некоторых месторождений мира /Л.Н. Ковальчук, П.Н. Хартанович // Геолого-мінералогічний вісник. - 2001. - №1. - С.106-109.

Г. Калашник, М. Ковришкін

Дослідження мікротріщинуватості часток гранату з концентрату Заваллівського родовища

В статті наведено результати вивчення мікротріщинуватості часток гранату концентратів, що отримані з порід граніто-гнейсової формації Заваллівського родовища та Лозуватського оголення.

G. Kalashnyk, M. Kovryshkin

Research of micro fissuring particles of garnet from concentrate of Zavalievskogo deposit

Results of study micro fissuring particles of garnet in concentrates selected from the rocks of granite-gneisses formations of Zavalievskogo deposit and Lozovatskogo outcropping have been considered in the article.

Одержано 18.04.12

УДК 621.9.04:621.9.02

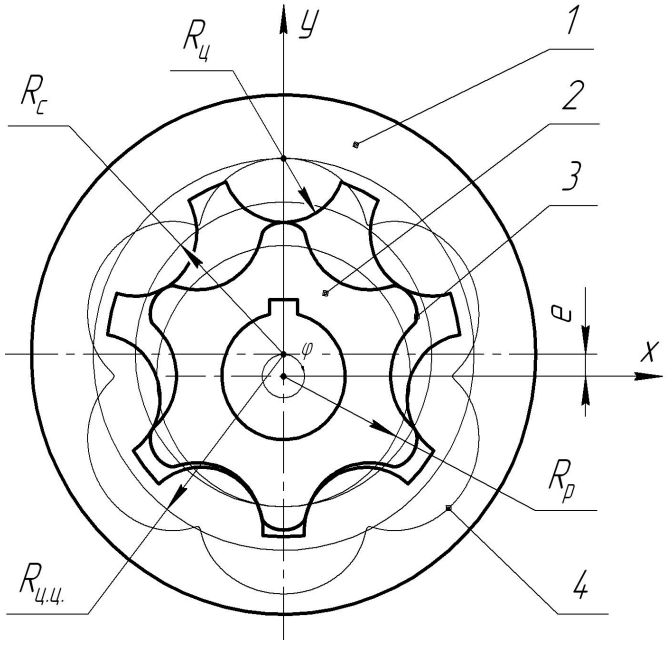
О.І. Скібінський, доц., канд. техн. наук, В.І. Гуцул, доц., канд. техн. наук,
А.А. Гнатюк, магістр
Кіровоградський національний технічний університет

Дослідження умов існування робочого профілю деталей позацентроїдних епіциклоїдальних цівкових передач внутрішнього зачеплення

В статті приведено основні дослідження умов існування робочих профілів деталей позацентроїдних епіциклоїдальних цівкових передач внутрішнього зачеплення та представлені рекомендації щодо раціонального вибору їх конструктивних параметрів.
робочий профіль, еквідистанта, мінімальний радіус кривизни, епіциклоїда, вироджені ділянки

При проектуванні деталей позацентроїдних епіциклоїдальних цівкових передач внутрішнього зачеплення, особлива увага приділяється раціональному вибору їх конструктивних параметрів. Для визначення раціональних конструктивних параметрів епіциклоїдальних передач різного призначення, існуючої інформації на сьогоднішній день недостатньо.

Основними вхідними параметрами при проектуванні епіциклоїдальних цівкових передач (рис. 1) є: число зубців ротора z_1, ексцентриситет передачі e, радіус центрів цівок $R_{щ}$, радіус цівки $R_{ц}$.

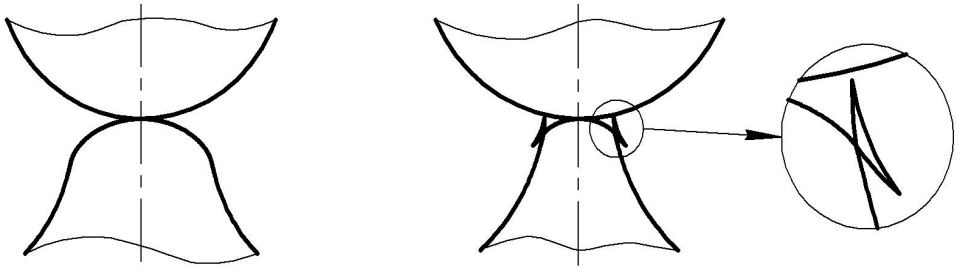


1 – статор із числом зубців z_2; 2 – ротор із числом зубців z_1; 3 – робочій профіль ротора (еквідистанта до епіциклоїди); 4 – епіциклоїда

Рисунок 1 – Загальна схема позацентроїдного епіциклоїдального цівкового зачеплення з позначенням основних параметрів

© О.І. Скібінський, В.І. Гуцул, А.А. Гнатюк, 2012

Визначимо умови існування робочого профілю ротора. Фактичний робочий профіль ротора є еквідистанта до вкороченої епіциклоїди, яка розташована на відстані радіуса цівки $R_ц$. Малі значення радіуса цівки призводять до підвищеного ковзання під час роботи передачі, великі – до підвищеного зносу ділянок початку зачеплення [3] Окрім цього, при великих значеннях радіуса цівки на еквідистанті з'являються так звані "вироджені ділянки" (рис. 2,б). В такому випадку профіль не може бути використаним для утворення робочого профілю ротора. Тому, виникає необхідність визначення умов, при яких робочий профіль існує без "вироджених ділянок". Встановлено, що значення радіуса цівки впливає на умови появи "вироджених ділянок".



а) б)

а) – нормальний робочий профіль; б) – профіль з "виродженими ділянками"

Рисунок 2 – Робочий профіль (еквідистанта)

Поява "вироджених ділянок" профілю обумовлюється появою точок, в яких порушуються умови гладкості кривої. У вказаних точках радіус кривизни дорівнює нулю.

Вихідна вкорочена епіциклоїда задається рівняннями:

$$x = R_{цц}\cos\left(\frac{R_c - R_p}{R_c}\varphi\right) - (R_c - R_p)\cos\varphi, \quad (1)$$

$$y = R_{цц}\sin\left(\frac{R_c - R_p}{R_c}\varphi\right) - (R_c - R_p)\sin\varphi, \quad (2)$$

де R_p – радіус центроїди ротора;

R_c – радіус центроїди статора;

φ – кутовий параметр.

Радіус R напрямного кола, радіус r твірного кола та відстань d від центра твірного кола до точки, яка утворює епіциклоїду, визначаються наступним чином:

$$R = \frac{R_{цц}R_p}{R_c}, \quad r = \frac{R_{цц}(R_c - R_p)}{R_c}, \quad d = R_c - R_p = e. \quad (3)$$

Відмітимо, що $z_1 = R/r = R_p/(R_c - R_p)$. Використовуючи відому формулу для радіуса кривизни епіциклоїди [1], можемо записати (допускаємо від'ємні значення):

$$\rho_e(\varphi) = \frac{e\left(R_c^2 + R_{цц}^2 - 2R_cR_{цц}\cos\left(\frac{R_p}{R_c}\varphi\right)\right)^{\frac{3}{2}}}{R_{цц}^2 e + R_c^3 - R_cR_{цц}(R_c + e)\cos\left(\frac{R_p}{R_c}\varphi\right)}. \quad (4)$$

Виконавши необхідні перетворення, дістаємо формулу для обчислення радіуса кривизни робочого профілю ротора:

$$\rho(\varphi) = \rho_e(\varphi) - R_ц\,, \tag{5}$$

де $\rho_e(\varphi)$ визначається за формулою (4).

Нижче (рис. 3) на основі (4) і (5) побудовані типові залежності ρ від кутового параметру φ (розглянуто ділянку одного зубця, тобто $0 \le \varphi \le 2\pi \cdot z_2/z_1;\ z_2/z_1 = R_c/R_p$) .

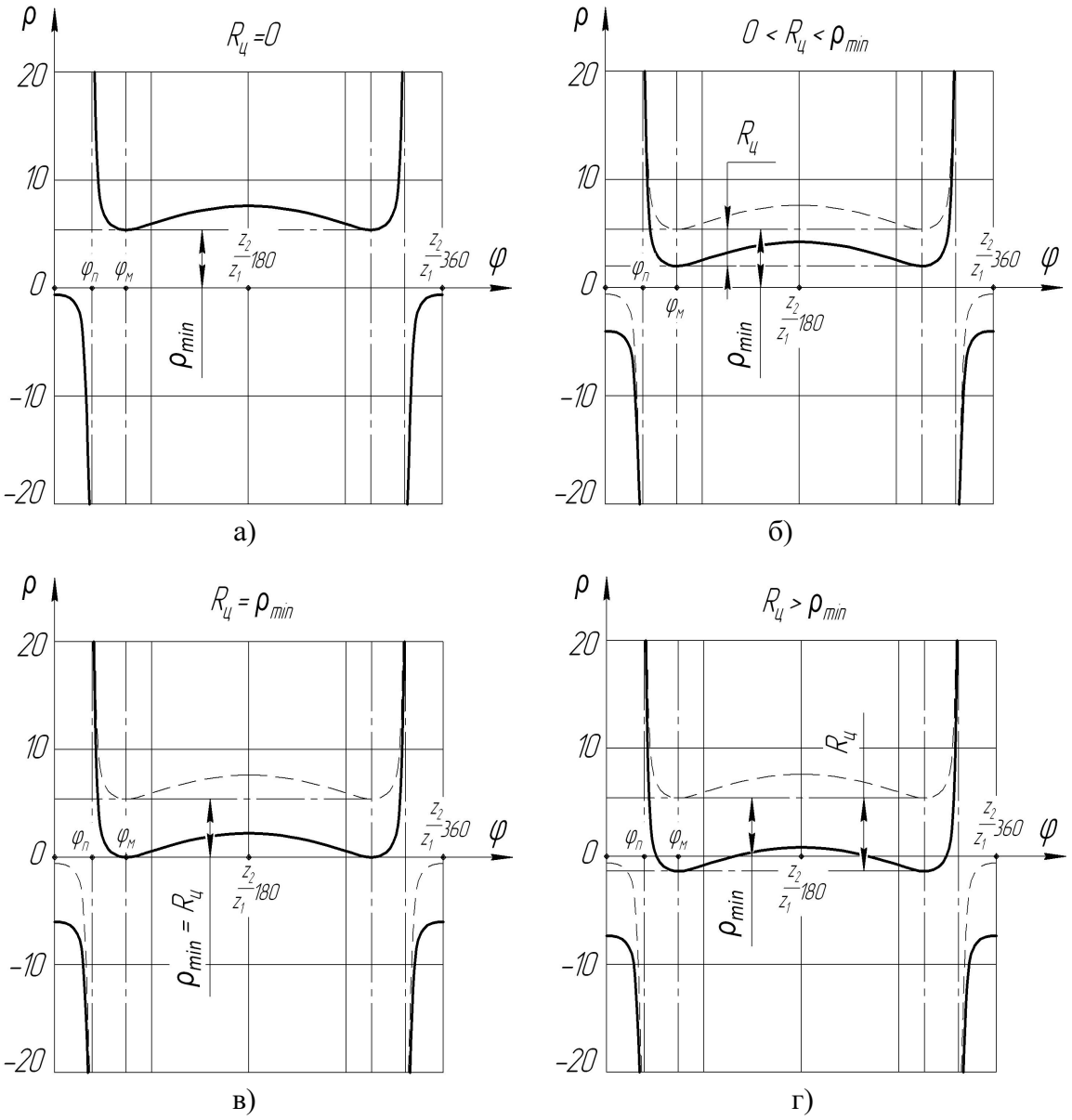


Рисунок 3 – Графік залежності радіуса кривизни робочого профілю ротора від кутового параметру φ

При $R_ц$=0 (рис. 3,а) розглядаємо кривизну вкороченої епіциклоїди. Як видно з графіка, епіциклоїда, на проміжку кроку $360 \cdot z_2/z_1$ має дві симетрично розташовані точки перегину (ліву позначено через $\varphi_п$), де радіус кривизни прямує до нескінченності, змінюючи знак з "–" на "+", та дві точки з мінімальним радіусом кривизни ρ_{min} (ліву позначено через $\varphi_м$). При $0 < R_ц < \rho_{min}$ (рис. 3,б) розглядаємо кривизну робочого профілю ротора. Очевидно, що кутові параметри $\varphi_п$ і $\varphi_м$, які відповідають особливим точкам, залишаються однаковими, як для епіциклоїди так і для еквідистанти. При збільшенні значення $R_ц$ радіус кривизни профілю зменшується. При $R_ц = \rho_{min}$ (рис. 3,в)

радіус кривизни профілю в точці, що відповідає $\varphi_м$ дорівнює 0. При цьому графік дотикається до вісі в точці, яка відповідає $\varphi_м$. Якщо прийняти $R_ц > \rho_{\min}$ (рис. 3,г), графік перетне вісь φ, а на профілі з'являться "вироджені ділянки".

Знайдемо значення величин $\varphi_п$ і $\varphi_м$ і $\rho_{\min}$. Прирівнявши знаменник функції (4) до нуля, дістаємо формулу для визначення точки перегину:

$$\varphi_п = \frac{R_c}{R_p} \cdot \arccos \left[\frac{R_c^3 + R_{цц}^2 \cdot e}{R_c \cdot R_{цц} \cdot (R_c + e)} \right]. \qquad (6)$$

Дослідивши функцію (4) на точки екстремуму, отримуємо:

$$\varphi_м = \frac{R_c}{R_p} \arccos \left[\frac{R_{цц}^2 (2e - R_c) + R_c^2 (2R_c - e)}{R_c R_{цц} (R_c + e)} \right], \quad \rho_{\min} = \rho_e(\varphi_м). \qquad (7)$$

Таким чином, умова відсутності "вироджених ділянок" на еквідистанті може бути представлена у вигляді (при виконанні цієї умови немає точок, в яких радіус кривизни еквідистанти дорівнює нулю):

$$\frac{e\left(R_c^2 + R_{цц}^2 - 2R_c R_{цц} \cos\left(\frac{R_p}{R_c} \varphi_м \right) \right)^{\frac{3}{2}}}{R_{цц}^2 e + R_c^3 - R_c R_{цц} (R_c + e) \cos\left(\frac{R_p}{R_c} \varphi_м \right)} > R_ц. \qquad (8)$$

При проектуванні епіциклоїдальної передачі можливо вибирати необхідне значення $R_ц$, яке лежить в діапазоні від 0 до $\rho_{\min}$, профіль при цьому зберігатиме цілісність і плавність переходів. Варіювання значенням $R_ц$ в допустимих межах дає можливість проектувати епіциклоїдальні передачі, виходячи з необхідної величини об'єму робочих камер гідравлічних машин, до складу яких вони входять. Подібна залежність дає змогу, також виявити ділянки профілю, найбільш схильні до зносу та визначити, як впливає значення $R_ц$ на ступінь зносу.

Список літератури

1. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике / Выгодский М.Я. – М.: Наука, 1975. - 872 с.
2. Litvin F.L. Gear Geometry and Applied Theory, Prentice Hall/ Litvin F.L. - New Jersey, 1994. - 724p.
3. Фролова К.В. Механика промышленных роботов/ - Фролова К.В., Воробьева Е.И. Кн. 3: Основы конструирования – М.: Высшая школа, 1989. – 380 с.

А. Скибинский, В. Гуцул, А.Гнатюк

Исследование условий существования рабочего профиля деталей внецентроидных эпициклоидальных цевочных передач внутреннего зацепления

В статье приведены основные исследования условий существования рабочих профилей внецентроидных эпициклоидальных цевочных передач внутреннего зацепления, а так же представленны рекомендации для рационального выбора их конструктивных параметров.

O.Skibinskiy,V. Gutsul, A.Gnatuk

Research of terms existence of job profiles details of center epicyclic transmission internal gear

In this paper resulted basic researches of terms existence of job profiles details of center epicyclic transmission internal gear and also recommendations are resulted for a rational choice of structural parameters.

Одержано 16.02.12

УДК 621.735.5

В.П. Пукалов, В.В.Пукалов, доценти, кандидати технічних наук, Н.Н.Петренко, проф., канд.тех.наук
Кировоградский национальный технический университет

Напряжённо-деформированное состояние метала при деформации осесимметричных тел с переменной площадью поперечного сечения

Работа посвячена расчету напряжонно-деформированного состояния метала при деформации осесимметричных тел с переменной площадью переметного сечения.
напряжённо-деформированное состояние, осесимметричное тело, площадь поперечного сечения

1. Определение деформированного состояния нейтральной оси осесимметричных тел с переменным сечением

При определении деформированного состояния нейтральной оси балок переменного сечения при любой заданной нагрузке применяется метод начальних параметров (1),который позволяет свести решение к отысканию всего двух постоянных.

В случае нагружения валка сосредоточенной силой P (рис.1) можно определить перемещение,угол наклона, изгибающий момент и поперечную силу в сечении на расстоянии x_i от начала координат по следующим уравнениям:

$$Y_i = Y_0 + \theta_0 x_i + M_0 \frac{x_i^2}{2EI_i} + Q_0 \frac{x_i^3}{6EI_i} \; ; \qquad (1)$$

$$\theta_i = \theta_0 + M_0 \frac{x_i}{EI_i} + Q_0 \frac{x_i^2}{2EI_i} \; ; \qquad (2)$$

$$M_i = M_0 + Q_0 x_i \; ; \qquad (3)$$

$$Q_i = Q_0 \; . \qquad (4)$$

Влияние сдвига на прогиб определяется по значению

$$-Q_0 \frac{\eta x_i}{GF_i} \; , \qquad (2)$$

где F,G – модуль упругости I, II рода материала валка;

η - коэффициент формы площади поперечных сечений, для круга $\eta = 1{,}185.$

В матричной форме, расчет деформированного состояния для осессиметричных тел с переменной площадью поперечного сечения валков выполняются по схеме (2):

$$\Delta_{0f} \cdot u_1 \cdot u_2 \cdot \cdots \cdot u_i = \Delta_{ff} \xrightarrow{P_i} \Delta_{ff} \cdot u_{f+1} \cdot u_{f+1} \cdot u_{f+2} \cdot \cdots \cdot u_n = \Delta_{nf} \; , \qquad (5)$$

где $\Delta_{if} = [y_{if} \theta_{if} M_{if} Q_{if}]$ - действительный вектор i- го участка;

© В.П. Пукалов, В.В.Пукалов, Н.Н.Петренко, 2012

$$u_i = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ x_i & 1 & 0 & 0 \\ \frac{x_i^2}{2}a_i & x_i a_i & 1 & 0 \\ \left(\frac{x_i^3}{6}a_i - x_i\frac{\eta}{GF_I}\right) & \frac{x_i^2}{2}a_i & x_i & 1 \end{bmatrix}$$ – матрица i- го участка; (6)

$\Delta_{jj} \xrightarrow{P_j} \Delta_{jj}$ - знак изменения действительного значения при переходе через j – тое нагружаемое сечение;

$a_i = \frac{1}{EI_i}$ – коэффициент изменения элементов эпюры изгибающих моментов в зависимости от изменения момента инерции I_i поперечных сечений валка.

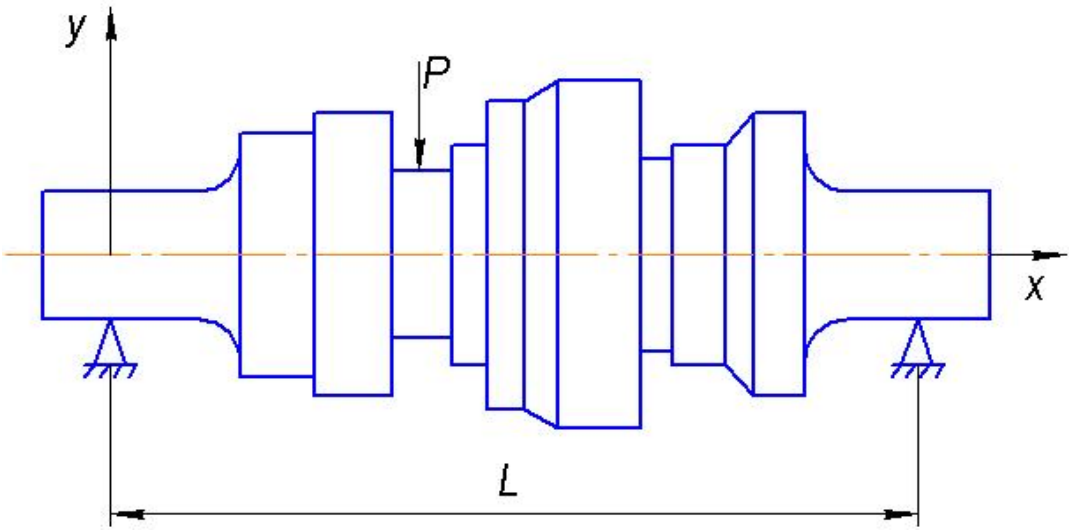


Рисунок 1 – Схема расчета деформированного состояния нейтральной оси осессиметричнных тел с переменной площадью поперечного сечения.

2. Определение начальных параметров поперечной силы и угла наклона θ_0. Известно, что перемещение и изгибающий момент первого и последнего сечения равны нулю. Тогда, решение задачи определения деформированного состояния калиброванных валков зависят от определения значения начальных параметров угла наклона θ_0 и поперечной силы Q_0 , которые приравнивают конечные параметры изгибающего момента и перемещения к нулю.

Для этого, предположим, что валок имеет эквивалентный диаметр D_n , который определяется по уравнению (12) и неизвестные начальные параметры угла наклона и поперечной силы, которые задаются равными произвольным значениям $\theta_{0,1}$ и $Q_{0,1}$. Эти значения содержат в себе погрешности $\Delta\theta_0$ и ΔQ_0, которые приводят к образованию перемещения y_L и изгибающего момента M_L последнего сечения определяющиеся по уравнениям (1) и (3) с учетом влияния сдвига на прогиб:

$$y_L = L \cdot \Delta\theta_0 + \left(\frac{L^3}{6EI_m} - \frac{\eta L}{GF_m}\right)\Delta Q_0 \; ; \quad (8)$$

$$M_L = L \cdot \Delta Q_0 . \quad (9)$$

Из этих уравнений находим:

$$\Delta Q_0 = M_L f_L; \tag{10}$$

$$\Delta\theta_0 = \frac{y_L}{L} - M_L\left[\frac{L}{6EI_m} - \frac{\eta}{GLF_m}\right]; \tag{11}$$

$$D_{\text{п}} = \sqrt{\frac{d_1^2 \cdot l_1 + d_2^2 \cdot l_2 + \cdots + d_n^2 \cdot l_n}{l}}. \tag{12}$$

Таким образом, действительные начальные параметры угла наклона θ_0 и поперечная сила Q_0 определяются по уравнениям:

$$\theta_0 = \theta_{0,1} - \Delta\theta_0;$$

$$Q_0 = Q_{0,1} - \Delta Q_0.$$

Математическое моделирование расчета деформированного состояния нейтральной оси калиброванных валков, лежащих на шарнирных опорах. Большое количество участков калиброванных валков сопряжено со значительными трудностями при определении их деформаций. Следовательно, целесообразно применить вычислительные машины.

На основе схемы (5) был разработан алгоритм расчета рис. 2, позволяющий реализовать задачу в виде программы на языке фортран-4 с использованием ЭВМ «ЕС».

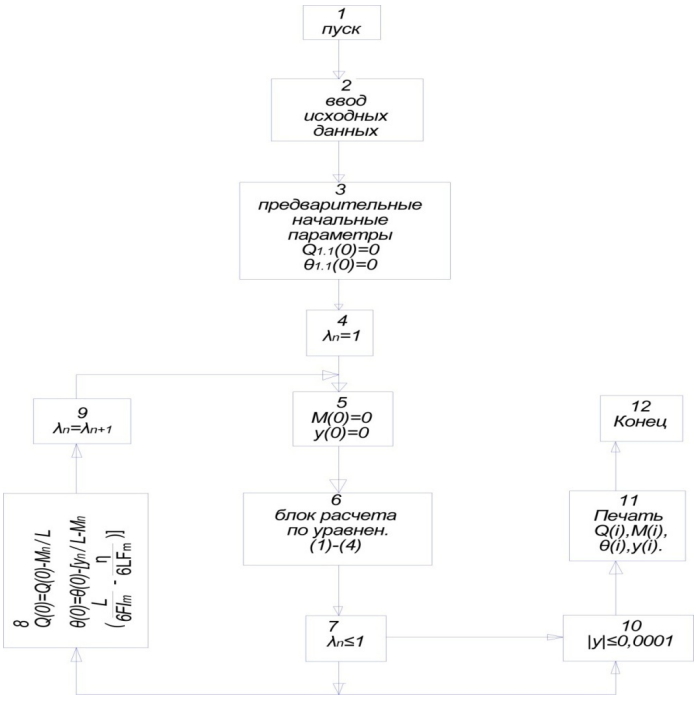


Рисунок 2 – Алгоритм расчета напряженно-деформированного состояния при деформации осесимметричных тел с переменной площадью поперечного сечения

Согласно этого алгоритма, расчет выполняется в двух циклах. Начальные параметры угла поворота $\theta_{0,1}$ и поперечной силы $Q_{0,1}$ задаются равными нулю, следовательно, по полученным значениям перемещения y_L и изгибаемого момента M_L последнего сечения и на основе уравнений (9-10) можно определять начальные погрешности угла наклона $\Delta\theta_0$ и поперечной силы. Эти параметры являются начальными параметрами второго цикла. Если валок имеет постоянный диаметр, то задача решается с точностью до 100%, т.е. значения перемещений последнего сечения равно нулю. В случае валка переменного сечения, точность решения задачи будет меньше. Это объясняется тем, что уравнение (10) было выведено на основе того, что валок имеет эквивалентный диаметр. В том случае, точность решения задачи увеличивается по мере увеличения числа циклов расчета. Блок 10 позволяет обеспечить требуемую точность расчета.

Выводы

1. Разработана математическая модель напряженно-деформированного состояния металла при деформации осесимметриченых тел с переменной площадью поперечного сечения.
2. Исследовано влияния изменения степени самоустановки подвижных опор на распределение давления по длине продольной оси.
3. Разработан алгоритм расчета напряженно-деформированного состояния при деформации осесимметричных тел с переменной площадью поперечного сечения.

Список литературы

1. 1.Писаренко Г.С., В.А.Агарев и др. – Сопротивление материалов. – Киев, Высшая школа, 1973, - 672 с.
2. С.Ф. Клейсон, В.И. Есряев, М.М. Ростел, - Расчет жесткости прокатных валков, калиброванных для сложных фасонных профилей. – Изд. вузов, Черная металлургия, 1977, с. 181 – 186.

В.Пукалов, В.Пукалов, Н.Петренко

Напружено-деформований стан метала при деформації осесиметричних тіл із змінною площею поперечного перетину

Робота посвячена розрахунку напряужно-деформованого стану металу при деформації осесиметричних тіл із змінною площею переметного перетину.

V.P.Pukalov, V.V.Pukalov, N.N.Petrenko

Threw the Tensely deformed state during deformation of axisymmetrical bodies with the variable area of the transversal crossing

Work the posvyachena calculation of the napryazhonno-deformed state threw during deformation of axisymmetrical bodies with the variable area of peremetnogo section.

Получено 24.01.12

УДК 321.30.06

М.М. Підгаєцький, доц., канд. техн. наук,Т.Г. Сабірзянов, проф. д-р техн. наук, К.К.Щербина, асп., О.В. Лобода студ.
Кіровоградський національний технічний університет

Продукційний хонінгувальний верстат з адаптивно-програмним керуванням

В статі розглядається мехатронний продукційний хонінгувальний верстат з адаптивно-програмним керуванням. Обґрунтовано роздільний привід для шпинделю деталі та шпинделю інструменту. Приведено поняття мехатронної верстатної системи та мехатронної технологічної системи. Висунуто вимоги до створення верстатних систем для хонінгування отворів Розроблені функціональна та гідро-кінематична схема та побудований алгоритм роботи мехатронного продукційного хонінгувального верстата з адаптивно-програмним керуванням.
продукційний хонінгувальний верстат, верстатна система, мехатронна верстатна система, мехатронна технологічна система, адаптивно-програмне керування

Однією з головних вимог при створенні нових сучасних автоматизованих хонінгувальних верстатних систем є використання мехатроніки. Для забезпечення підвищення показників якості деталей та ефективності процесу обробки доцільно застосовувати мехатронну верстатну систему з функціональними підсистемами [1].

Отже, визначимо ряд термінів та вимог, які висуваються до мехатронних верстатних систем.

Визначення «мехатроніка» доцільно використовувати у верстатобудуванні, якщо конструктивні ланки створюються з врахуванням, що рух виконавчих органів керується за допомогою комп'ютерної техніки [1].

Мехатронна верстатна система, як частина мехатронної технологічної системи, являє сукупність мехатронних ланок з адаптивно-програмним керуванням, призначену для виготовлення деталей потрібної якості з високою продуктивністю [1].

Мехатронна технологічна система являє сукупність керованих технологічних об'єктів і систем електронного керування з використанням в якості підсистем мехатронних ланок, які забезпечують здійснення необхідного робочого процесу [1].

Визначимо ряд вимог, які висуваються для мехатронних верстатних систем:

- Використання ланок, рухом яких можливо керувати за допомогою комп'ютерної техніки;
- Можливість верстатної системи працювати в умовах адаптивного керування процесом;

Далі розглянемо інші положення, які висуваються до верстатних систем для хонінгувальної обробки отворів.

Існуючі верстати наведені в роботах [2,3,4] мають ряд недоліків. Одним з головних недоліків є концентрація рухів на одному з шпинделів верстату, а саме на інструментальному, що призводить до ускладнення конструкції верстату. Тому було доцільно частину рухів надати шпинделю деталі.

Головним чинником, концентрації рухів на інструменті є те, що маса інструмента менша за масу деталі. Це обумовлено тим, що чим менша маса рухомих елементів тим менша сила інерції [2,4].

© М.М. Підгаєцький, Т.Г. Сабірзянов, К.К.Щербина, О.В. Лобода, 2012

Але в горизонтально-хонінгувальних верстатах обертання надається саме деталі [2,4]. Це пов'язано з тим, що номенклатура деталей, які оброблюються на даних верстатах зазвичай відносяться до класу тіл обертання.

Також необхідністю передачі обертального руху деталі є те, що зазвичай для усунення такого негативного явища, як не співвісність інструмента та деталі використовують шарнірне кріплення інструменту. Але необхідно зазначити, що навіть при двошарнірному з'єднанні інструменту під дією осьових сил та радіальної подачі, яка надається хонінгувальній головці, вісь інструмента намагатиметься зайняти положення, яке буде співпадати з віссю верстата [4].

Виходячи із вище приведеного, доцільно передати обертальний рух деталі, проте необхідно при цьому враховувати масу деталей, що будуть оброблюватися.

Ще одним із недоліків існуючих верстатів є складність конструкції механізмів осциляції.

Розглянемо функціональну схему мехатронного продукційного хонінгувального верстата з адаптивно-програмним керування (в подальшому МХВАПК) (рис.1)

Рисунок 1 – Функціональна схема МПХВАПК

Розглянемо компоновку МПХВАПК опираючись на функціональну схему (рис.1.). Згідно з функціональною схемою МХВАПК складається з п'яти модулів, а саме з модулю приводу зворотно-поступального руху інструменту, приводу обертального руху деталі, механізму кругової осциляції, системи регулювання радіального розміру (СРРР) та пристрою числового програмного керування.

Розглянемо будову кожного модулю. Почнемо з модулю пристрою числового програмного керування, так як він виконує контроль та керування рештою модулів. Модуль пристрою числового програмного керування складається з підсилювача вхідного сигналу, аналового-цифрового перетворювача, цифро-аналового перетворювача, пристрою числового програмного керування.

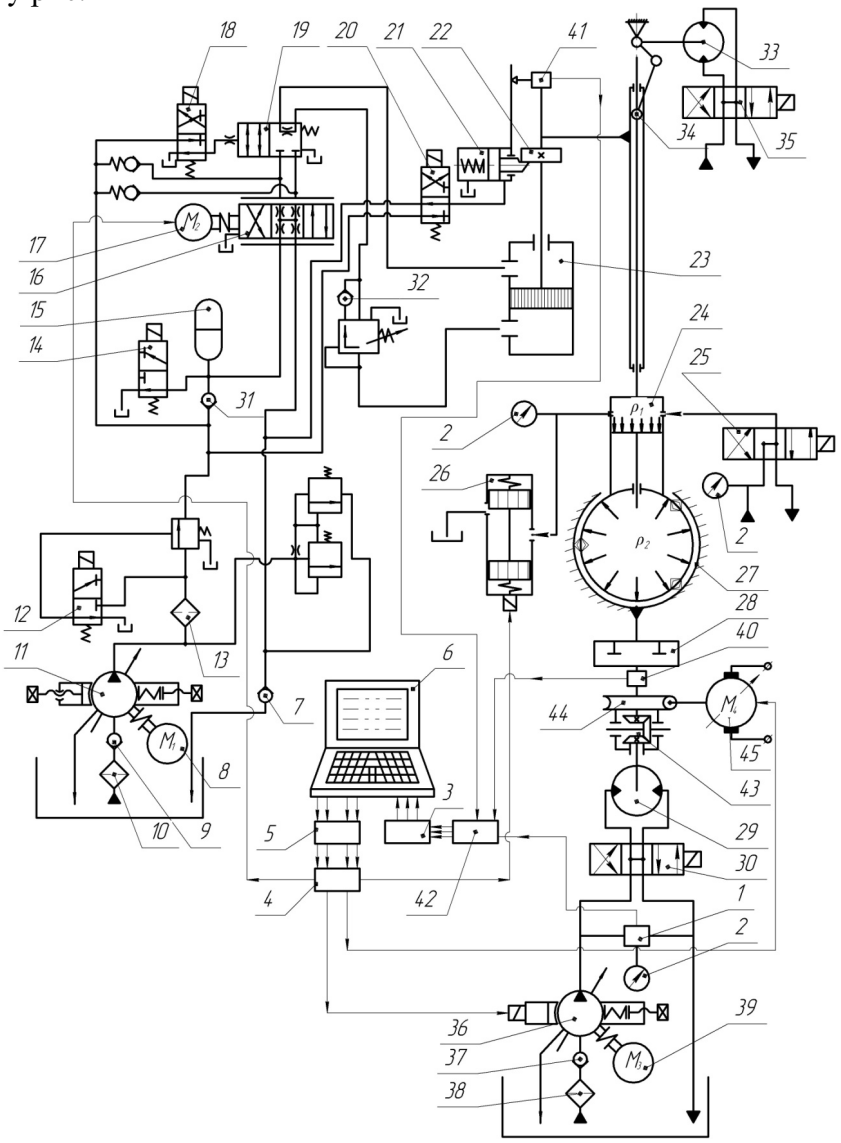
Модуль приводу зворотно-поступального руху інструменту складається з електродвигуна, гідрозолотника, гідронасоса, гідроциліндру та датчика положення шпинделю.

Модуль привода обертального руху деталі складається з гідронасосу, гідромотору та датчику диференціального тиску.

Модуль СРРР складається з слідкуючого однокромкового золотника та самої СРРР.

Модуль механізму кругової осциляції складається з електричного крокового двигуна, диференціалу та датчику кількості обертів.

Опираючись на функціональну схему та модулі МХВАПК, розробимо гідро-кінематичну схему рис.2



1 – диференційний датчик тиску; 2 – манометр; 3 – АЦП; 4 – підсилювач; 5 – ЦАП; 6 – пристрій числового програмного керування; 7,9,31,32,37 – зворотній клапан; 8,39 – електродвигун; 10,13,38 – фільтр; 11,36 – пластинчатий регулює мий насос; 12,14,16,18,19,20 – гідрозолотник; 15 – гідроакумулятор; 17 – кроковий електродвигун; 21 – гідроциліндр; 22 – фіксатор; 23 – гідроциліндр приводу зворотно-поступального руху; 24 – СРРР; 25,30,35 – гідророзподільники; 26 - слідкуючий одно кромковий золотник в магістралі зливу СРРР; 27 – деталь, що оброблюється; 28 – стіл; 29,33 – гідромотор; 34 – кривошипно-повзуний механізм; 40 – датчик кількості обертів; 41 – датчик положення шпинделя; 42 – підсилювач; 43 – диференціал; 44 – черв'ячна передача; 45 – кроковий електродвигун.

Рисунок 2 – Гідро-кінематична схема МПХВАПК

Згідно з гідро-кінематичною схемою гідравлічного МПХВАПК обертання надається шпинделю деталі, за допомогою гідравлічного двигуна 30. В зв'язку з цим, на даному верстаті більш доцільно обробляти тіла обертання.

Зворотно-поступальний рух надається шпинделю інструмента, за допомогою гідравлічного циліндру 23. Використання якого в якості приводу зворотно-поступального руху має ряд переваг, а саме: надійність, довговічність та точність, проте має і ряд недоліків, таких як низька швидкість та швидкодія. Усунення даних недоліків можливо завдяки використанню пристрою числового програмного керування 6 (в подальшому ПЧПК). Розглянемо конструкцію привода зворотно-поступального руху [5].

Шпиндель фіксується в вихідному положенні гідрозолотником 20 та блокувальним гідроциліндром 21. При вмиканні блокувального гідроциліндру 21 шпиндель вивільняється, а при вимиканні фіксується. Фіксування шпинделя відбувається за допомогою фіксатора 22.

Особливістю гідросистеми зворотно-поступального руху є наявність гідроакумулятора 15 і ПЧПК 6. Гідроакумулятор 15 призначений для компенсації перепадів тиску в гідросистемі при реверсивних рухах. Для розвантаження гідроакумулятора 15 використовується гідрозолотник 14. Для блокування зворотно-поступальних рухів використовується гідрозолотник 18. При його вмиканні робоча рідина подається через гідрозолотник 19 в порожнину гідроциліндра 23.

Основним елементом системи є ПЧПК 6, який управляє блоком крокового електродвигуна. Останній керує кроковим електродвигуном 17, вал котрого пов'язаний з передачею гвинт-гайка. Вона переміщує пілот гідророзподільника 16, який змінює направлення течії і витрат робочої рідини в лініях, які поєднанні з гідроциліндром 23 приводу зворотно-поступального руху через гідрозолотник 19.

На поршні гідроциліндру 23 встановлений датчик зворотного зв'язку 41 по положенню шпинделя. Інформація від датчика у вигляді послідовних імпульсів подається на ПЧПК. Частота імпульсів пропорційна швидкості переміщення, а кількість величині.

Алгоритм роботи приводу зворотно-поступального руху МПХВАПК приведений на рис. 3

Також МПХВАПК оснащений круговою та осьовою осциляцією.

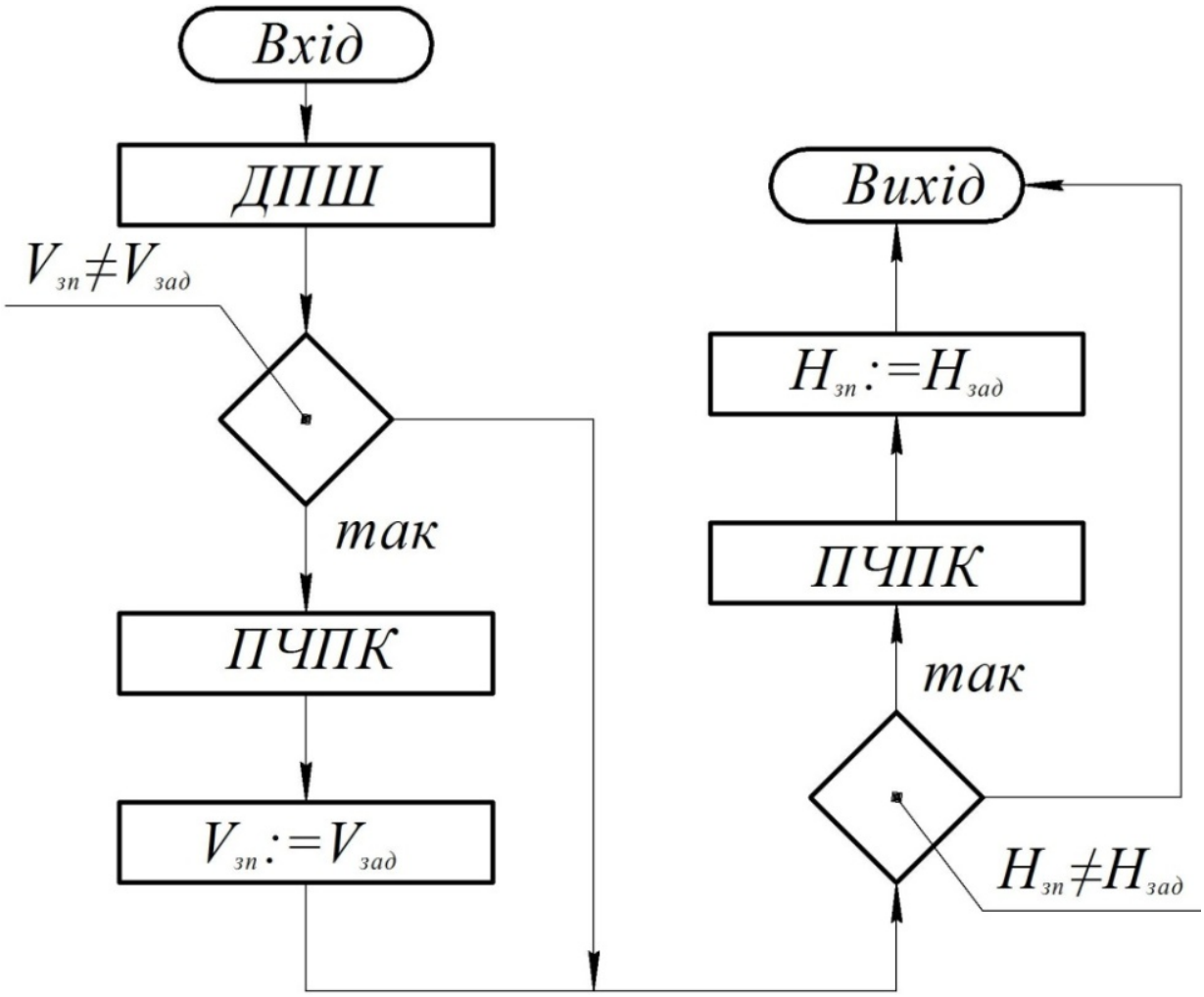
Кругова осциляція буде здійснюватися за допомогою приводу конічного диференціалу, який з'єднаний з черв'ячною передачею 44, яку в свою чергу буде обертати кроковий електродвигун 45. Механізм кругової осциляції буде працювати наступним чином. Кроковий електродвигун 45 буде змінювати частоту та напрямок обертання у відповідності до команд, які надходять з ПЧПК заданого алгоритму роботи. Приведені зміни будуть поєднуватися з постійною величиною обертального руху за допомогою конічного диференціалу 43. Дані про значення амплітуди та частоти коливання будуть визначатися за допомогою датчика кількості обертів, який буде подавати сигнал про зміну кількості обертів, що буде визначати амплітуду коливань, а кількість сигналів будуть визначати частоту коливання**.** Використання крокового двигуна в для кругової осциляції, дає можливість вільного керування частою та амплітудою коливань, що дозволить створювати, будь яку траєкторію руху зерен без обмежень. Алгоритм роботи приведений на рис.4

Осьова осциляція буде здійснюватися за допомогою гідромеханічного приводу та кривошипного механізму.

Отже, можна зробити висновок, що даний верстат має диференціацію рухів між обома взаємодіючими елементами, а саме: деталі надається рух обертання, а

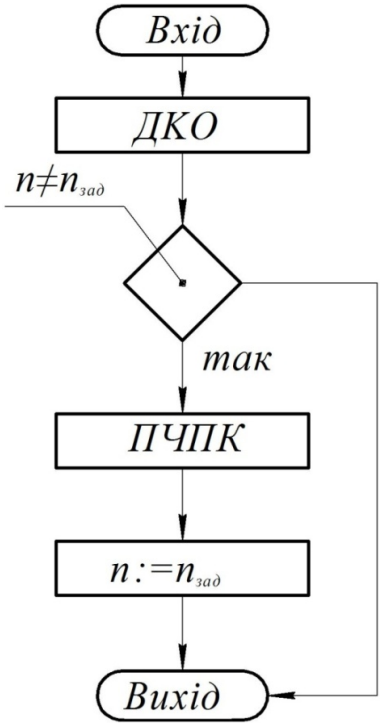
інструменту зворотно-поступальний рух, що привело до спрощення конструкції верстату.

Використання гідравлічного привода зворотно-поступального руху разом з пристроєм числового програмного керування дозволили усунути всі недоліки, які пов'язані з використанням гідроприводу.



ДПШ – датчик положення шпинделя; $V_{зп}$ – швидкість зворотно-поступальних рухів; $V_{зад}$ – задана швидкість зворотно-поступальних рухів; $H_{зп}$ – кількість зворотно-поступальних рухів; $H_{зад}$ – задана кількість зворотно-поступальних рухів;

Рисунок 3 – Алгоритм роботи приводу зворотно-поступального руху МПХВАПК



ДКО – датчик кількості обертів; n – кількість обертів гідромотору; $n_{зад}$ – задана кількість обертів гідромотору;

Рисунок 4 - Алгоритм роботи кругової осциляції МПХВАПК

Використання крокового електричного двигуна в якості приводу кругової осциляції не вносить обмежень в процес регулювання частоти та амплітуди коливань

Створений верстат повністю відповідає вимогам мехатрнонної верстатної системи за рахунок використання адаптивно-програмного керування ланками верстата.

Список літератури

1. Кудояров Р.Г. Повышение точности формы и качества поверхности деталей при алмазном хонинговании на мехатронных станках. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук . Уфа 2003.
2. Прогрессивные методы хонингования. /С.И. Куликов, Ф.Ф. Ризванов, В.А. Романчук, С.В. Ковалевский, - М.: Машиностроение, 1983. – 134 с.
3. Фрагин И.Е.. Новое в хонинговании. – М.: Машиностроение, 1980. – 93 с.
4. Хонингование. Справочное пособие. / С.И. Куликов. Р.А. Романчук, Ф.Ф. Ризванов, Ю.М. Евсеев. М.: Машиностроение, 1973. – 168 с.
5. Каяшев А.И., Романчук В.А. Система управления электроприводом подачи с адаптацией по пути. Вестник Машиностроения. 1992. №4.

М. Подгаецкий, Т. Сабирзянов, К. Щербина, А. Лобода

Продукционный хонинговальный станок с адаптивно-программным управлением.

В статье рассматривается мехатронный продукционный хонинговальный станок с адаптивно-программным управлением. Обосновано раздельный привода для шпинделя детали и шпинделя инструмента. Приведено понятия мехатронной станочной системы и мехатронной технологической системы. Выдвинуты требования к созданию станочных систем для хонингования отверстий. Разработана функциональная, гидрокинематическая схема и построений алгоритм работы мехатронного продукционного хонинговального станка с адаптивно-программным управлением.

M. Podgaetski, T. Sabirzanov, K. Scherbina, A. Loboda
Products of honing machine-tool by adaptive-programmatic control.

In the article examined mechatronik products of honing machine-tool with by an adaptive-programmatic control. The separate is grounded drive for mandrel of detail and mandrel of instrument. The concepts of mechatronik of the machine-tool system and mechatronik of the technological system are resulted. Pulled out requirement to creation of the machine-tool systems for honing of openings. A functional, hydrokinematic diagram is developed and constructions algorithm of work mechatronik products of honing machine-tool with by an adaptive-programmatic control.

Одержано 06.02.12

УДК 621.941.025-521

О.В. Лисенко, доц., канд. техн. наук, Є.С. Ігнатьєв, студ.
Кіровоградський національний технічний університет

Розробка інструментальних систем з адаптивним управлінням процесом обробки методом морфологічного аналізу

В статті описано процес розробки інструментальної системи з адаптивним управлінням для точіння методом морфологічного аналізу. Запропонована конструкція інструментального пристрою дає можливість уникнути недоліків, виявлених в ході аналізу відомих рішень, та дозволяє підвищити геометричну точність деталей в процесі обробки.
різець, інструментальний пристрій, технологічна оброблювальна система, пружна деформація, морфологічний аналіз

Особливості ринкової економіки пов’язані з постійним підвищенням вимог до виробів, що не можливо без розвитку нових систем верстатного обладнання. Значні витрати, викликані необхідністю вдосконалення верстатного обладнання відомими методами, призвели до пошуку нових методів підвищення експлуатаційних якостей верстатного обладнання. Одним з таких методів є створення модульних систем адаптації окремих складових технологічної оброблювальної системи (ТОС), які представляють собою окремі вузли або інструмент з вбудованою системою управління.

В результаті розвитку систем адаптивного управління у металообробці виокремилось два шляхи. Один з яких реалізує принцип компенсації пружної деформації ТОС у напрямку утворення розміру обробки, другий – принцип стабілізації навантаження, яке викликає пружну деформацію технологічної системи верстата, та у підсумку, розміру обробки.

Системи побудовані за обома принципами можуть бути як замкненими, так і розімкненими. Різні системи мають свої переваги та недоліки. Замкнені системи мають більшу чутливість та точністю, але у більшості випадків вони складніші у виготовленні та експлуатації. В свою чергу розімкнені системи менш точні, але простіші у виготовленні та універсальні [1].

З розвитком виробництва поступово виникло протиріччя між великою кількістю різноманітних технологічних операцій, реалізованих на сучасних багатоцільових

© О.В. Лисенко, Є.С. Ігнатьєв, 2012

M. Podgaetski, T. Sabirzanov, K. Scherbina, A. Loboda
Products of honing machine-tool by adaptive-programmatic control.

In the article examined mechatronik products of honing machine-tool with by an adaptive-programmatic control. The separate is grounded drive for mandrel of detail and mandrel of instrument. The concepts of mechatronik of the machine-tool system and mechatronik of the technological system are resulted. Pulled out requirement to creation of the machine-tool systems for honing of openings. A functional, hydrokinematic diagram is developed and constructions algorithm of work mechatronik products of honing machine-tool with by an adaptive-programmatic control.

Одержано 06.02.12

УДК 621.941.025-521

О.В. Лисенко, доц., канд. техн. наук, Є.С. Ігнатьєв, студ.
Кіровоградський національний технічний університет

Розробка інструментальних систем з адаптивним управлінням процесом обробки методом морфологічного аналізу

В статті описано процес розробки інструментальної системи з адаптивним управлінням для точіння методом морфологічного аналізу. Запропонована конструкція інструментального пристрою дає можливість уникнути недоліків, виявлених в ході аналізу відомих рішень, та дозволяє підвищити геометричну точність деталей в процесі обробки.
різець, інструментальний пристрій, технологічна оброблювальна система, пружна деформація, морфологічний аналіз

Особливості ринкової економіки пов’язані з постійним підвищенням вимог до виробів, що не можливо без розвитку нових систем верстатного обладнання. Значні витрати, викликані необхідністю вдосконалення верстатного обладнання відомими методами, призвели до пошуку нових методів підвищення експлуатаційних якостей верстатного обладнання. Одним з таких методів є створення модульних систем адаптації окремих складових технологічної оброблювальної системи (ТОС), які представляють собою окремі вузли або інструмент з вбудованою системою управління.

В результаті розвитку систем адаптивного управління у металообробці виокремилось два шляхи. Один з яких реалізує принцип компенсації пружної деформації ТОС у напрямку утворення розміру обробки, другий – принцип стабілізації навантаження, яке викликає пружну деформацію технологічної системи верстата, та у підсумку, розміру обробки.

Системи побудовані за обома принципами можуть бути як замкненими, так і розімкненими. Різні системи мають свої переваги та недоліки. Замкнені системи мають більшу чутливість та точністю, але у більшості випадків вони складніші у виготовленні та експлуатації. В свою чергу розімкнені системи менш точні, але простіші у виготовленні та універсальні [1].

З розвитком виробництва поступово виникло протиріччя між великою кількістю різноманітних технологічних операцій, реалізованих на сучасних багатоцільових

© О.В. Лисенко, Є.С. Ігнатьєв, 2012

верстатах та різноманітністю інструмента, який при цьому використовується. Що призвело до необхідності розробки систем адаптації до змінних параметрів інструмента та заготовки, вбудованих в окремі зміні елементи ТОС. Такими елементами у переважній більшості є інструменти.

Для отримання в процесі точіння поверхні деталі необхідної якості, необхідно забезпечити сталий відносний рух заготовки та інструменту. В процесі точіння виникає цілий ряд збурень, факторів що негативним чином впливають на геометричну точність отриманої деталі. Вони поділяються на дві групи: детерміновані або напередвизначені, наприклад, зміна жорсткості верстату в залежності від координати обробки, розмірний спрацювання інструменту, теплову деформацію ТОС та ін.; стохастичні або випадкові, наприклад, зміна припуску на заготовці, зміна твердості матеріалу заготовки по її діаметру та ін. Створення інструментів з локалізованою системою управління, призначеною для повного або часткового усунення похибки обробки, що виникає через пружну деформацію ТОС є актуальною задачею. Такі системи дозволять простою заміною інструменту забезпечити необхідну якість геометричної точності деталі в процесі обробки.

В практиці машинобудування відомі конструкції інструментів з вбудованими системи управління. Для систематизації існуючих та виявлення нових перспективних рішень доцільно застосувати метод морфологічного аналізу. Перш за все, необхідно визначити повний перелік структурних морфологічних ознак. Не суттєві відкинути, суттєві залишити, по кожній з яких визначити можливі варіанти (альтернативи) технічного вираження використання цих ознак. В даному випадку ознаками будуть:

1 – вид обробки;
2 – тип системи управління;
3 – природа ланок систем управління;
4 – сили за якими відбувається регулювання (P_x, P_y, P_z);
5 – координата, проходження керуючого впливу.

Згідно з виявленими ознаками систем складено морфологічну матрицю (табл. 1).

Таблиця 1 –Морфологічна матриця

1.	2.	3.	4.	5.
1.1 точіння	2.1. замкнута	3.1 електрична	4.1 P_x	5.1. X
1.2 фрезерування	2.2 розімкнута	3.2 механічна	4.2 P_y	5.2 Y
1.3 протягування		3.3 гідравлічна	4.3 P_z	5.3 Z
1.4 свердління		3.4 змішана	4.4 P_x,P_y	5.4 X,Y
1.5 зубонарізання			4.5 P_y, P_z	5.5 X, Z
1.6 обкатка			4.6 P_x, P_z	5.6 Z, Y
1.7 комбінований			4.7 P_z, P_y, P_x	

Згідно морфологічної матриці (табл. 1) повний перебір – загальна кількість варіантів можливих конструктивних рішень інструментальних пристроїв – складе:

$$N = 7 \times 2 \times 4 \times 7 \times 6 = 2352 \text{ варіанти.}$$

З теорії технічних систем відомо [2], що на сьогодні не розроблений апарат вибору припустимих рішень з усієї кількості можливих варіантів. Визначення раціональних варіантів відбувається шляхом аналізу відомих, та отриманих нових можливих варіантів.

Проаналізуємо відомі рішення:

$X_1 \rightarrow$ 1.1 - 2.1 - 3.1 - 4.1 - 5.1 – токарний різець [3]

$X_2 \rightarrow$ 1.1 - 2.2 - 3.2 - 4.2 - 5.2 – різець з самогальмівною гвинтовою передачею [4]
$X_3 \rightarrow$ 1.1 - 2.2 - 3.2 - 4.2 - 5.3 – різець з несамогальмівною гвинтовою передачею [5]
$X_4 \rightarrow$ 1.1 - 2.2 - 3.2 - 4.1 - 5.1 – різець з регулювальним гвинтом [6]
$X_5 \rightarrow$ 1.1 - 2.2 - 3.2 - 4.1 - 5.1 – різець з регулювальною пружиною [7]
$X_6 \rightarrow$ 1.1 - 2.2 - 3.2 - 4.1 - 5.1 – різець з різальним елементом на пружній основі [8]

Проаналізуємо переваги та недоліки досліджуваних інструментальних систем. До цих систем пред'являються вимоги: простота використання, гнучкість налаштування, досягнення необхідної якості обробки.

Різець, що відповідає поєднанню ознак X_1, складається з корпуса з регулювальним гвинтом. В корпусі виконано два поперечних паза, які містять п'єзоматеріал. Другий поперечний паз виконаний в хвостовику корпуса, у якому розташований датчик зусилля, включений у замкнуту систему управління механізмом малих переміщень, який розміщується в першому поперечному пазу. Через виконання пазів в одному координатному напрямі, в процесі роботи на датчик подається сигнал з похибкою, через те, що сили, які діють на п'єзоматеріал накладаються з керуючим впливом [3].

Токарний різець X_2, містить у собі корпус з встановленою у ньому на підшипниках круглою ексцентричною пластиною. При цьому, пластина закріплена на пружній осі, яка кінематично зв'язана з механізмом налагодження, що містить приводний вал, самогальмівну передачу і з'єднаний з пластиною обмежувач попереднього натягу кута повороту пластини. Інструмент виготовлений згідно X_2 є багатокомпонентним, складний у виготовленні та експлуатації [4].

Різець X_3, складається з корпуса та закріпленої в ньому на осі круглої ексцентричної пластини. При цьому, пластина встановлена на пружину, а ось пластини споряджена гвинтовими шліцами та з'єднана з втулкою, причому ексцентричність осі пластини направлена вправо від осі гвинтових шліців, гвинтові шліці мають праву нарізку. Інструмент виготовлений згідно X_3 подібній до X_2, також складний у виготовленні через багатокомпонентність не зручний в експлуатації [5].

Токарний різець X_4, складається з корпуса, головки з вершиною, що поєднує грані і кромки. При цьому, він споряджений зверху відкритим поперечним пазом, який відокремлює головку від корпуса глибиною $l = (0{,}6...0{,}8)h$, де h – висота корпуса різця. Інструмент виготовлений згідно X_4 схильний до виникнення шкідливих вібрацій через те що ріжуча пластина встановлена на пружній основі. Також пружина втрачає пружність и пластина може просідати [6].

Різець X_5, подібний до X_6, але в ньому напрямні прямі, через що похибка при різанні збільшується. Інструмент виготовлений згідно X_5 має розімкнену систему, схильний до вібрацій. Також через наявність пружини різець може втрачати пружність [7].

Різець X_6, складається з корпуса і встановленій у ньому на похилих напрямних та пружній опорі різальної пластини. При цьому, нахил напрямних пластини виконаний від вершини різця в бік поверхні, що обробляється. Інструмент виготовлений згідно X_5 має розімкнену систему, схильний до вібрацій. Також через наявність пружини різець може втрачати пружність [8].

З аналізу розглянутих рішень, найбільше вказаним вимогам відповідає рішення X_1, але воно має серйозний недолік, який суттєво впливає на експлуатаційні характеристики. Цей недолік усувається шляхом рознесення координат проходження сигналу та керуючого впливу: координата проходження сигналу Z; координата керуючого впливу Y. Подібне рішення відповідає поєднанню ознак X_7 морфологічної матриці (табл. 1).

$X_7 \rightarrow$ 1.1 - 2.1 - 3.1 - 4.1 - 5.3 – різець з рознесеними по координатах сигналом та керуючим впливом

Запропонована конструкція інструментального пристрою (рис. 1) складається з корпуса 1, що має поперечний паз 2, у якому встановлений датчик 3, наприклад п'єзоелектричний, який вимірює величину радіальної P_Y складової сили різання. У корпусі різця виконаний поперечний паз 4, в якому встановлений механізм малих переміщень, виконаний у вигляді п'єзоелемента 5, який забезпечує поворот різця у поздовжній площині (площині дії складових сил різання P_Z і P_Y, що виникають при обробці заготовки 11). У поздовжньому отворі у тілі різця, знаходиться регулювальний гвинт 6, який поєднує різальну частину 7 з корпусом 1. Система управління складається з задавального 8 та порівняльного 9 пристроїв, перетворювача 10 та механізму малих переміщень 5 (п'єзоелемент).

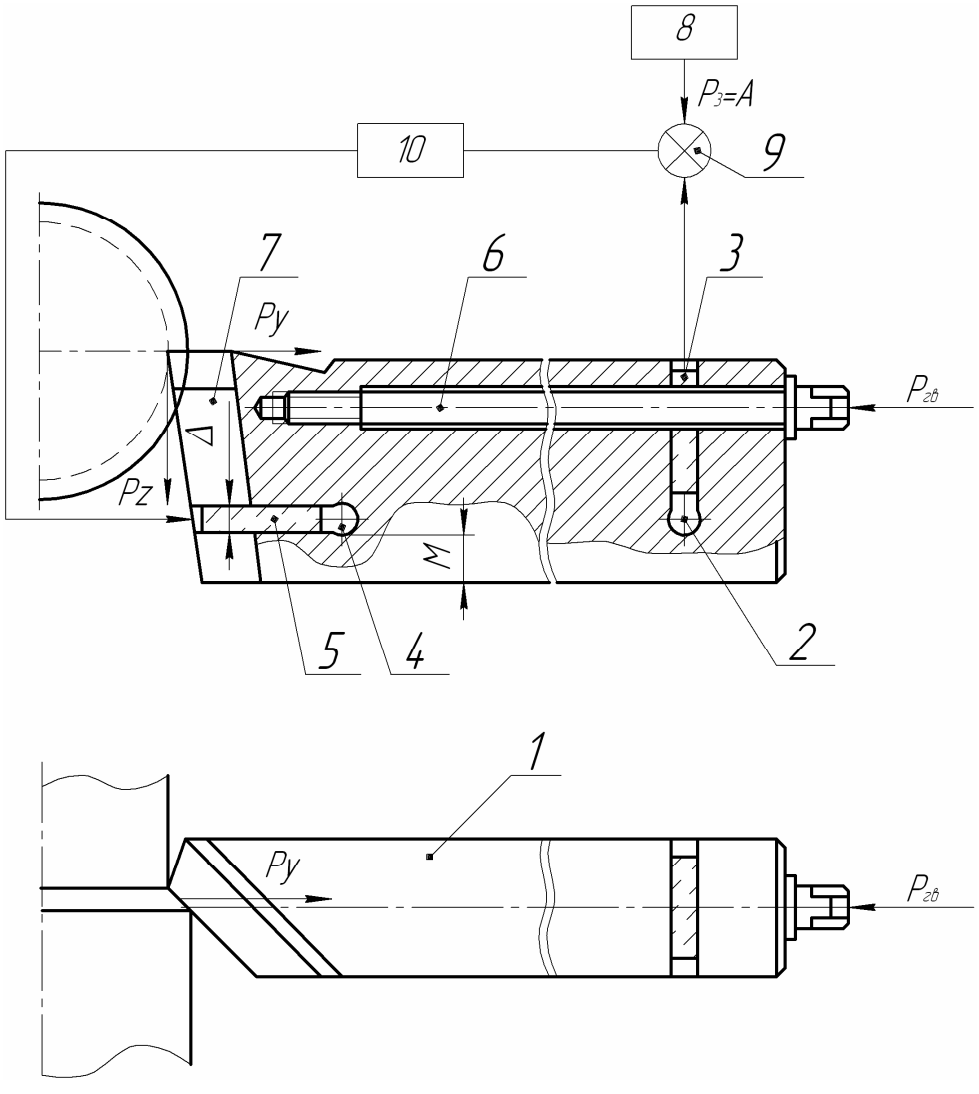


Рисунок 1 – Принципова схема замкнутої системи для автоматичного управління процесом обробки

Перед початком обробки порівняльний пристрій 9 балансується спільно з датчиком 3 і задавальним пристроєм 8, а на п'єзоелемент 5 подається первинний сигнал від перетворювача 10. Значення складових сил різання $P_Z = P_Y = 0$ і вони не впливають на датчик 3. Попереднє зусилля $P_{ГВ}$, що реєструється датчиком 3, регулюється регулювальним гвинтом 6. В порівняльний пристрій 9 надходять сигнали від дії

вихідної сили навантаження корпуса 1 різця $P_{ВИХ} = P_{ГВ}$ і сигнал постійної величини, що видається задавальним пристроєм 9 $P_З = A$.

З початком обробки заготовки 11 виникає сила різання. Дію її складової P_Y сприймає датчик 3 та надсилає сигнал на порівняльний пристрій 9. Складові сили різання (P_X, $P_У$, P_Z) деформують ТОС. Одночасно, у порівняльний пристрій 9 від задавального 8 надходить сигнал $P_З = A$. У випадку коли складова $P_У$, а значить деформація ТОС, перевищує допустиме значення, встановлене задавальним пристроєм 8, сумарна дія на датчик 3 зменшується ($P_Σ \neq P_{ВИХ}$; $P_Σ = P_В - P_У$) і датчик через порівняльний пристрій 9 надсилає сигнал на перетворювач 10, який у свою чергу надсилає сигнал на механізм малих переміщень 5, який шляхом збільшення розміру $Δ$ розвертає різальну частину інструмента 7 відносно пружного елемента M по радіусу R, виконує компенсацію пружної деформації ТОС та стабілізує розмір обробки.

При увімкненні механізму малих переміщень 5 одночасно зі збільшенням розміру $Δ$ відбувається зменшення сили $P_{ГВ}$, до тих пір, поки сумарне зусилля $P_Σ$, що діє на датчик 3, не буде дорівнювати вихідному $P_{ВИХ}$:

$$P_Σ = P_{ГВ} + P_У = P_{ВИХ}\,. \qquad (1)$$

Якщо у процесі обробки заготовки 11 значення сили різання зміниться (збільшиться або зменшиться), відповідно зміниться і значення складової сили різання $P_У$, а значить зміниться і деформація ТОС, перестане виконуватись умова (1). Зміну значення $P_Σ$ зафіксує датчик 3, сигнал з якого через порівняльний пристрій 9 і перетворювач 10 надійде у механізм малих переміщень 5, який, в свою чергу відповідному напряму (збільшення або зменшення) корегуватиме величину $Δ$, доти доки не виконається умова (1). Таким чином справедливим буде наступний вираз:

$$P_Σ = P_{ГВ} + P_У = const = A. \qquad (2)$$

На основі (2) можливо стверджувати, що відбувається стабілізація пружної деформації ТОС ($Δ_{РІЗ}$ = const), що призводить до підвищення точності обробки.

Висновки. Розроблений інструментальний пристрій дає змогу підвищити якість обробки за рахунок того, що містить п'єзоматеріал в пазах, виконаних у різних координатних напрямах, в результаті чого на датчик подається сигнал без похибки. Конструкція інструменту, що пропонується дозволяє підвищити точність обробки, у порівнянні з аналогами, розширює область можливого використання. Розглянуті конструкції не вичерпують усі можливі варіанти виконання інструментальних пристроїв з вбудованою системою управління.

Список літератури

1. Пестунов В.М. Системи автоматичного управління з адаптивними властивостями в приводах верстатів/ Пестунов В.М., Лисенко О.В./ Зб. наук. пр. КНТУ. Техніка в с/г виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кіровоград, 2007.– Вип. 18.– С. 42-49.
2. Кузнецов Ю.М., Луців І.В., Дубеняк С.А. Теорія технічних систем / Під загальною редакцією проф. Ю.М. Кузнецова, К.:-Тернопіль, 1997 р.– 310 с.
3. Патент № 35356 А (Україна), МПК 6 В 23 В 27/12. Різець/ В.М. Пестунов, О.В. Лисенко; КДТУ, – Опубл. 15.03.01.
4. Патент № 51785 С2 (Україна), МПК 6 В 23 В 27/12. Токарний різець/ В.М. Пестунов, О.В. Лисенко; КДТУ, – Опубл. 16.12.02.
5. Патент № 34967 А (Україна), МПК 6 В 21 К 5/12. Різець/ В.М. Пестунов, О.В. Лисенко; КДТУ, – Опубл. 15.03.01.
6. Патент № 25283 А (Україна), МПК 6 В 23 В 27/00. Токарний різець/ В.М. Пестунов, О.В. Лисенко; КІСМ, – Опубл. 30.10.98.
7. Патент N2.645.844. (США). Toolholder \ N.E. Lonoe. – Опубл.– 21.07.53 р.

8. Патент № 24661 А (Україна), МПК 6 В 21 К 5/12. Різець/ В.М. Пестунов, О.В. Лисенко; КІСМ, – Опубл. 04.08.98.

А. Лысенко, Е. Игнатьев

Разработка инструментальных систем с адаптивным управлением процессом обработки методом морфологического анализа

В статье описан процесс разработки инструментальной системы с адаптивным управлением точением методом морфологического анализа. Предложенная конструкция инструментального приспособления дает возможность избежать недостатков, выявленных в ходе анализа известных решений и позволяет повысить геометрическую точность деталей в процессе обработки.

O. Lysenko, E. Ignatiev

Development of the instrumental systems with adaptive control by the process of treatment the method of morphological analysis

In the article a development of the instrumental system process is described with adaptive control sharpening by the method of morphological analysis. The offered construction of instrumental adaptation gives an opportunity to avoid the defects educed during the analysis of the known decisions and allows to promote geometrical exactness of details in the process of treatment.

Одержано 09.04.12

УДК 621.9.048.4

О. Ф. Сіса, викл.
Кіровоградський національний технічний університет

Засоби формування біполярного струму для обробки дугою твердосплавних валків

Розроблено електронну та електромеханічну системи ефективного формування біполярного струму для обробки дугою твердосплавних валків.

електрична дуга, біполярний струм, інвертор, контактний перетворювач, осцилограма біполярної напруги

В умовах біполярної розмірної обробки дугою (РОД) торцевих поверхонь твердосплавних прокатних валків два однакових за формою та розмірами валка закріплюються на електроерозійному верстаті: нижній нерухомо відносно стола, а верхній нерухомо відносно рухомого шпинделя з можливістю осьової подачі. Електрична дуга збуджується в торцевому міжелектродному зазорі між валками в потужному потоці робочої рідини. Відомо, що при постійному електричному струмі продуктивність обробки катода і анода з будь-якого матеріалу не однакові. Тому, для забезпечення знімання однакового за об’ємом припуску з кожного валку доцільно полярність обробки періодично змінювати [1].

Мета роботи: розробка засобів формування біполярного струму для обробки дугою твердосплавних валків.

© О. Ф. Сіса, 2012

8. Патент № 24661 А (Україна), МПК 6 В 21 К 5/12. Різець/ В.М. Пестунов, О.В. Лисенко; КІСМ, – Опубл. 04.08.98.

А. Лысенко, Е. Игнатьев

Разработка инструментальных систем с адаптивным управлением процессом обработки методом морфологического анализа

В статье описан процесс разработки инструментальной системы с адаптивным управлением точением методом морфологического анализа. Предложенная конструкция инструментального приспособления дает возможность избежать недостатков, выявленных в ходе анализа известных решений и позволяет повысить геометрическую точность деталей в процессе обработки.

O. Lysenko, E. Ignatiev

Development of the instrumental systems with adaptive control by the process of treatment the method of morphological analysis

In the article a development of the instrumental system process is described with adaptive control sharpening by the method of morphological analysis. The offered construction of instrumental adaptation gives an opportunity to avoid the defects educed during the analysis of the known decisions and allows to promote geometrical exactness of details in the process of treatment.

Одержано 09.04.12

УДК 621.9.048.4

О. Ф. Сіса, викл.
Кіровоградський національний технічний університет

Засоби формування біполярного струму для обробки дугою твердосплавних валків

Розроблено електронну та електромеханічну системи ефективного формування біполярного струму для обробки дугою твердосплавних валків.

електрична дуга, біполярний струм, інвертор, контактний перетворювач, осцилограма біполярної напруги

В умовах біполярної розмірної обробки дугою (РОД) торцевих поверхонь твердосплавних прокатних валків два однакових за формою та розмірами валка закріплюються на електроерозійному верстаті: нижній нерухомо відносно стола, а верхній нерухомо відносно рухомого шпинделя з можливістю осьової подачі. Електрична дуга збуджується в торцевому міжелектродному зазорі між валками в потужному потоці робочої рідини. Відомо, що при постійному електричному струмі продуктивність обробки катода і анода з будь-якого матеріалу не однакові. Тому, для забезпечення знімання однакового за об’ємом припуску з кожного валку доцільно полярність обробки періодично змінювати [1].

Мета роботи: розробка засобів формування біполярного струму для обробки дугою твердосплавних валків.

© О. Ф. Сіса, 2012

В результаті експериментальних досліджень процесу біполярної РОД виявлено, що реальний діапазон зміни частоти полярності лежить у межах від 0,01 до 50 Гц та залежить від площі обробки: чим більша площа обробки, тим менша частота. Реальна площа процесу біполярної РОД змінюється в діапазоні від декілька мм^2 до декілька тисяч мм^2. Для керування частотою зміни полярності в даному достатньо широкому діапазоні доцільно поділити цей діапазон на два з використанням в кожному з них оптимальної системи зміни полярності обробки. Так в діапазоні частот від 1 до 50 Гц пропонується використовувати електронну систему зміни полярності обробки, а в діапазоні частот від 0,01 до 3 Гц – електромеханічну.

Електронна система зміни полярності обробки включала в себе розробку, виготовлення та випробування інвертора для перетворення постійного струму в змінний прямокутної форми. Кожен із двох валків, що обробляються, по черзі бувають катодом та анодом. Таким чином, відбувається руйнування катодних та анодних плям, а також переорієнтація заряджених часток в стовпі дуги. Зміна полярності електродів викликає зміну направлення газових потоків в дузі. Струм в дузі, величина якого змінюється в кожному напівперіоді, обумовлює зміни радіальних розмірів стовпа, його температури, розмірів катодних та анодних плям на електродах, що є відмінною особливістю змінних дуг, порівняно з постійними.

Прямокутна форма струму напівперіоду, порівняно з синусоїдальною, дозволяє максимально можливо використати енергію струму для руйнування електродів. При цьому, з метою досягнення максимально можливої продуктивності, прагнуть організувати перехідний процес зміни полярності так, щоб його час t_n був як можна менший (рис. 1). Саме тому, час періоду циклу T біполярного режиму визначається формулою

$$T = 2(t_o + t_{n1} + t_{nз} + t_{n2}),$$

де t_o - час горіння дуги в кожному напівперіоді;

t_{n1}, t_{n2} - час перехідного процесу в рамках відповідного напівперіоду; $t_{nз}$ - час захисної паузи, що необхідний для поновлення працездатності вихідних потужних транзисторів.

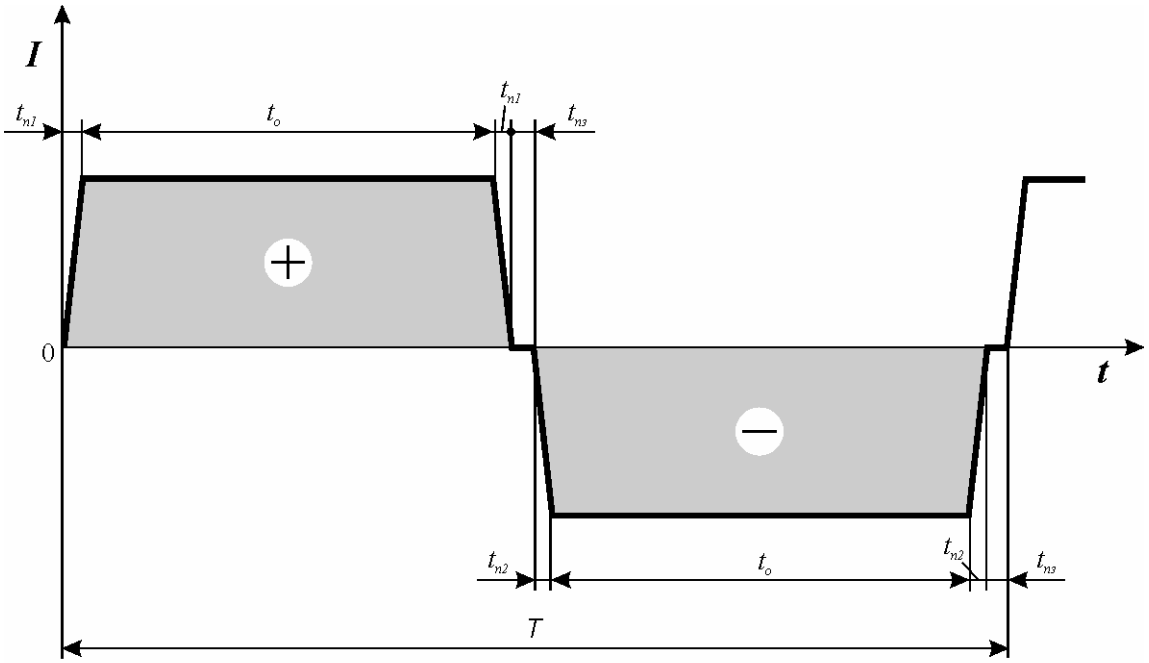


Рисунок 1 - Графік зміни сили струму *I* протягом періоду *T* при біполярній РОД

Таким чином, для створення ефективного способу біполярної РОД твердосплавних прокатних валків необхідно забезпечити керування формуванням напівперіодів хвиль при зміні частоти генератора імпульсів. Це можливе при застосуванні керування, заснованого на принципах широтно-імпульної модуляції (ШІМ). Ефективність роботи інвертора в значній мірі визначається динамічними комутаційними втратами на силових елементах при комутації технологічних струмів. Оптимальна форма сигналу керування забезпечує низькі значення комутаційних перенапруг. Такий підхід створює так звану «м'яку» комутацію за рахунок перерозподілу енергії між власною силовою частиною комутаційного елемента (транзисторного ключа) та формуючим елементом.

У синусоїдальних формах струму значно зростають статичні втрати в силових елементах, а при сигналі керування з прямими фронтами забезпечується найкраща динаміка перемикання силових елементів. Тому звичайно використовуються IGBT-транзистори standard-класу у яких напруга насичення менша ніж у warp-speed IGBT-транзисторів, але необхідно враховувати захист від коротких замикань, так як для IGBT-транзисторів час коротких замикань дуже малий та складає проміжок $t_{кз} \leq 10$ мкс [44]. Використання транзисторів такого класу ефективне лише при частоті перемикань більше 20 кГц.

При використанні частот перемикань від 1 до 50 Гц найбільш ефективними є транзистори біполярної структури, так як у них максимальна температура кристалу, порівняно з IGBT-транзисторами, на 50° більше та досягає 200°С. Активний режим роботи транзистора в ключовому використанні має місце на фронтах перехідного процесу перемикань, та характеризується прямим зміщенням одного з переходів [3].

Для збільшення коефіцієнта передачі сили струму застосовано, так звану, складену структуру, яка має назву транзистора Дарлінгтона. В ньому коефіцієнт передачі струму дорівнюється добутку коефіцієнтів передачі струму двох транзисторів. Шунтування переходів емітера значно знижує їх інжекційні властивості, але одночасно підвищує робочу напругу в ланцюгах колектор-емітер та теплову стабільність в

структурі. При цьому також підвищується динамічні характеристики вимикання транзистора за рахунок створення контуру течії від'ємних струмів бази.

З урахуванням вище зазначених вимог, для реалізації біполярної РОД розроблена принципова схема (рис. 2) та виготовлено інвертор (рис. 3) за схемою повного мосту широтно-імпульсної модуляції. Схема повного мосту, порівняно з напівмостовою, дозволяє підвищити потужність інвертора, при інших рівних умовах, у два рази.

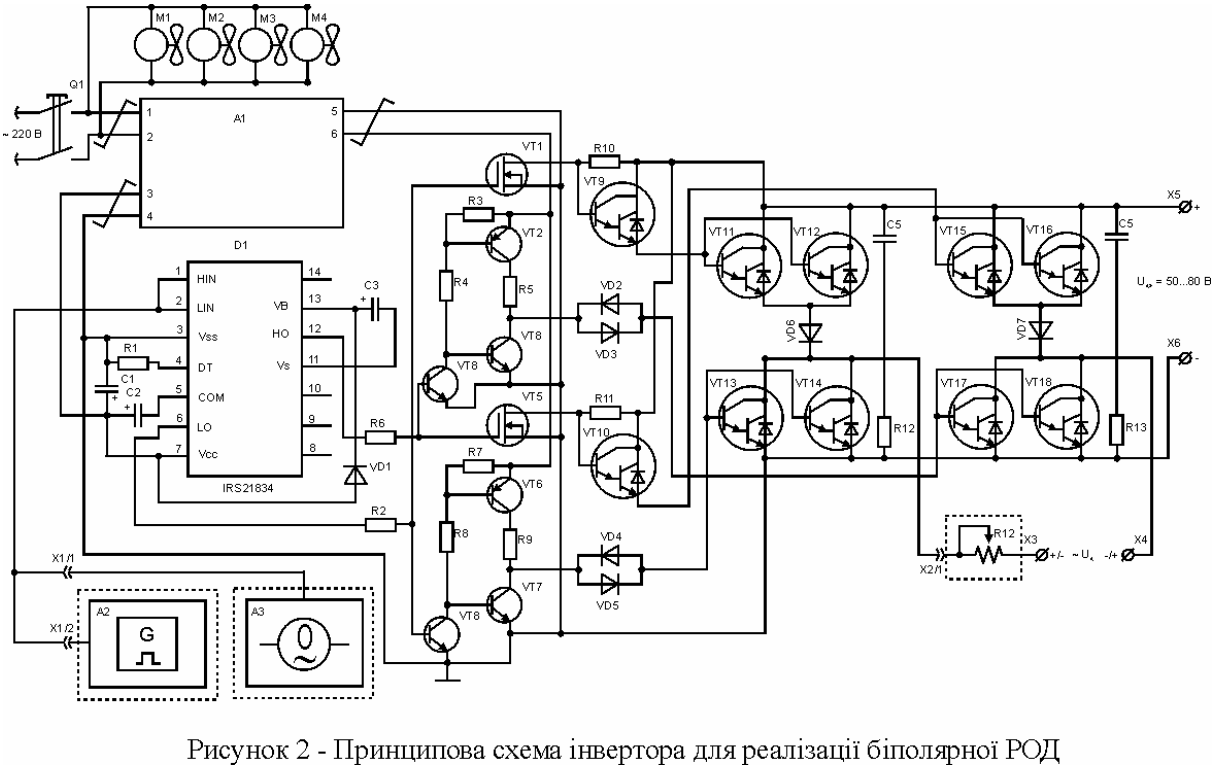
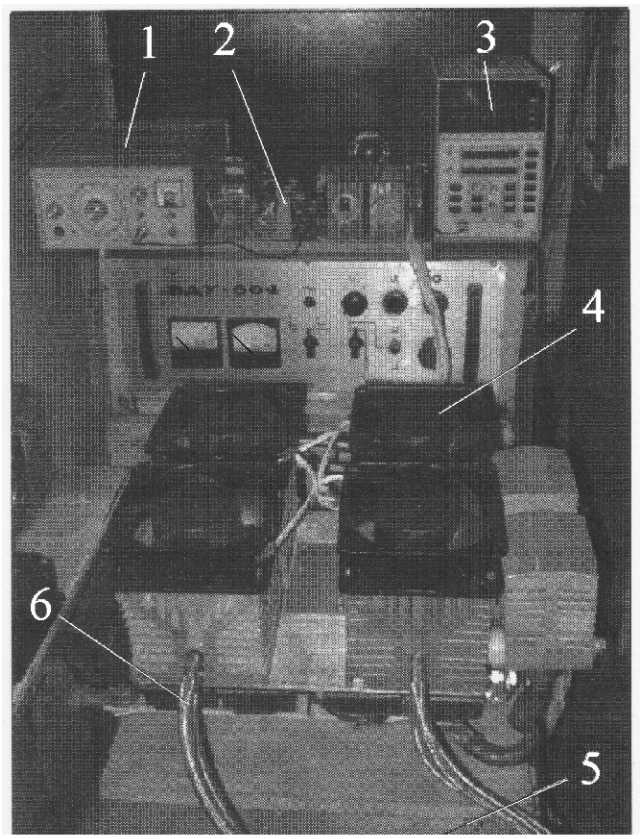


Рисунок 2 - Принципова схема інвертора для реалізації біполярної РОД

У відповідності з принциповою схемою, інвертор живиться змінною напругою 220 В (50 Гц), яка через вимикач Q1 подається на двигуни повітряних вентиляторів М1…М4 силового каскаду та в блок живлення А1. Там напруга знижується і стабілізується для живлення драйверів керування силових транзисторів і драйвера формувача D1 захисної паузи. Прямокутний сигнал з частотою від 1 до 50 Гц подається з генератора частоти А2 на вхід 1, 2 драйвера формувача D1 та контролюється електролічильним частотоміром А3. Там він перетворюється на два керуючих прямокутних сигнали зі зміщенням в часі на півперіоду з сформованою захисною паузою, тривалістю дві мкс для забезпечення закінчення перехідних процесів потужних силових транзисторів під час їх перемикань. З виходів 12, 13 драйвера формувача D1 сигнали подаються на резистори R2, R6, де обмежується їх струм, а далі – на драйвери керування напівмостів. Один із сигналів закриває транзистор VT1 та відкриває транзистор VT9 і силові транзистори VT11 та VT12, які пропускають силову напругу через діод до баластного навантажувача R12, а далі – на клему Х3. Крім того, цей сигнал закриває транзистор VT4 та відкриває транзистор VT3 і силові транзистори VT17, VT18, які створюють від'ємну напругу на клемі Х4. Другий із сигналів працює аналогічно першому, але зі зміщенням на півперіоду. Таким чином створюється зміна полярності в часі із заданою частотою.



1 - низькочастотний генератор сигналів;
2 - модуль керування;
3 - електронно-лічильний частотомір;
4 - силовий модуль; 5 - баластний реостат;
6 - система водяного охолодження

Рисунок 3 - Фото інвертора:

Лабораторні випробування інвертора показали наступні результати:

- інвертор, як додатковий пристрій до джерела живлення постійним технологічним струмом, забезпечує як жорстку, так і круто падаючу вольт-амперну характеристику при прямокутній формі зміни струму;

- інвертор забезпечує діапазон регулювання частоти зміни полярності обробки у межах від 1 до 50 Гц;

- інвертор дозволяє ефективно керувати зміною полярності при одночасній обробки двох твердосплавних прокатних валків з різними припусками завдяки тому, що може працювати як в уніполярному, так і у біполярному режимах;

- використання інвертора підвищує експлуатаційні характеристики верстата, усуває ручний та тривалий за часом спосіб зміни полярності процесу РОД, та дозволяє зручно керувати полярністю обробки електричним шляхом.

Електромеханічна система зміни полярності обробки передбачала розробку контактного перетворювача**.** При застосуванні режимів біполярної РОД на інфрачастотах, зокрема 0,01…3 Гц, необхідно, щоб контактний перетворювач забезпечував надійність роботи при довготривалій витримки силової напруги полярності. Таку можливість мають електромагнітні контактори, які дозволяють перемикати силовий струм з частотою менше 3 Гц. Крім того, вони забезпечують дистанційне керування (вмикання та розмикання силових контактів) за допомогою електромагнітної системи (сердечника, якоря, котушки).

Електромеханічна система керування зміни полярності обробки (рис. 4, 5) складається із електронної системи керування А1 (програмне реле ПР110), силових контакторів К1…К4, ключів керування VT1, VT2 та блока живлення напруги контакторів Tr1.

При роботі напруга живлення (U = 220 В) подається на трансформатор Tr1 та систему керування А1, а силова постійна напруга ($U_{дж}$ = 50…80 В) подається на клеми Х2 та Х4. Із виходу трансформатора Tr1 знижена напруга подається на діодний міст VDS1, де випрямляється та фільтрується ємністю С1 і потрапляє на транзисторні ключі керування VT1, VT2 та котушки силових контакторів К1, К4. В залежності від

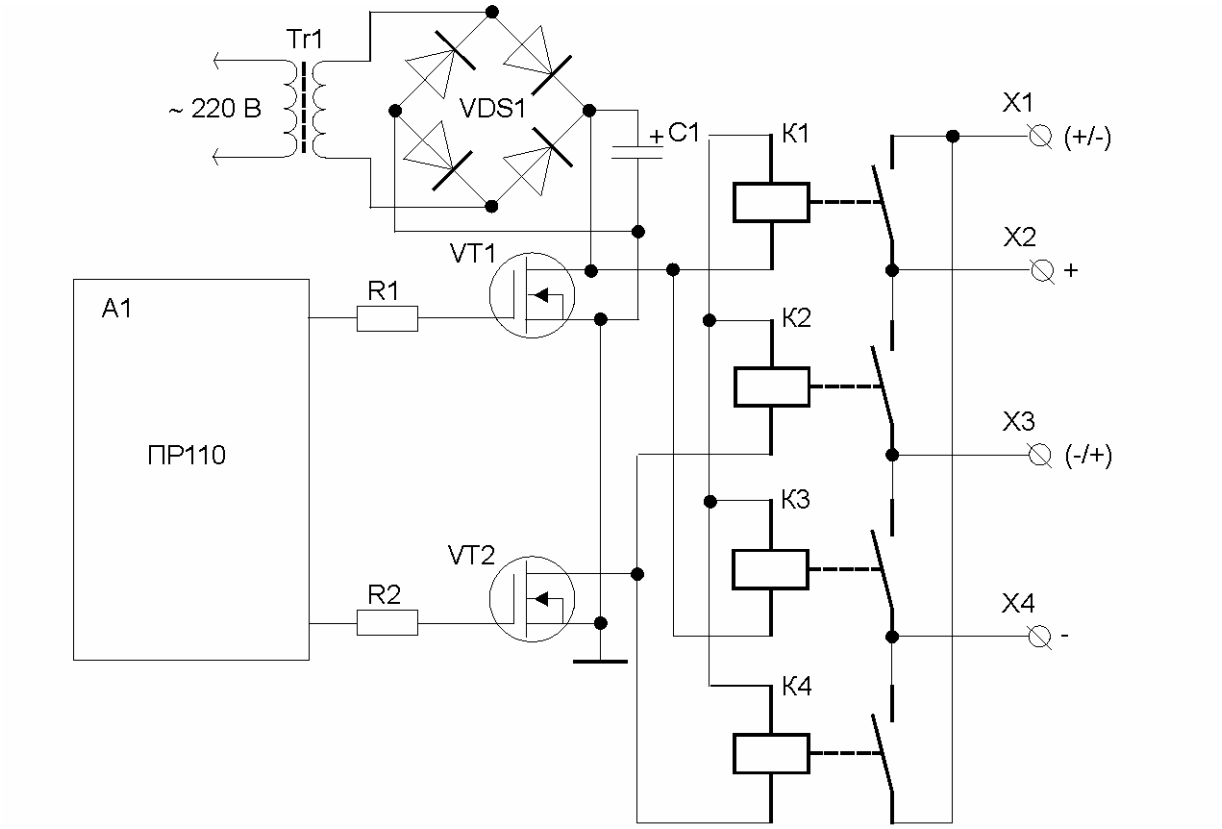
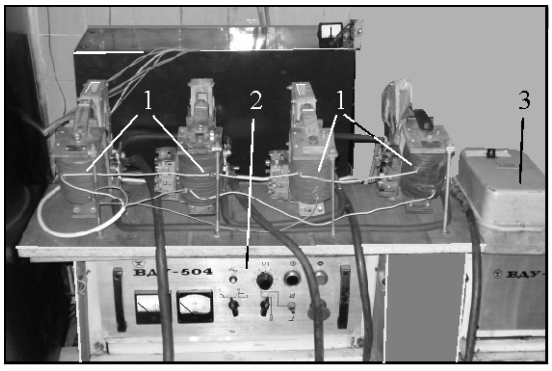


Рисунок 4 - Принципова схема електромеханічної системи зміни полярності для реалізації біполярної РОД

необхідної частоти перемикань *f*. яка запрограмована у програмному реле А1, вмикається режим, і електронна системи керування А1 формує необхідний сигнал керування за амплітудою та частотою. Сигнал із системи керування А1 подається на резистори R1, R2, далі – на транзисторні ключі VT1, VT2. При відкриванні транзисторного ключа VT1 спрацьовують котушки керування контакторів К1 та К3, і силова напруга подається на електроди в прямому напрямку. При відкриванні транзисторного ключа VT2 спрацьовують котушки керування контакторів К2 та К4, і силова напруга перемикається на електроди у зворотному напрямку. При цьому котушки К1 та К3 розмикаються. Далі цикл повторюється.



1 - контактор КПВ-604;
2 - джерело живлення технологічним струмом;
3 - блок керування

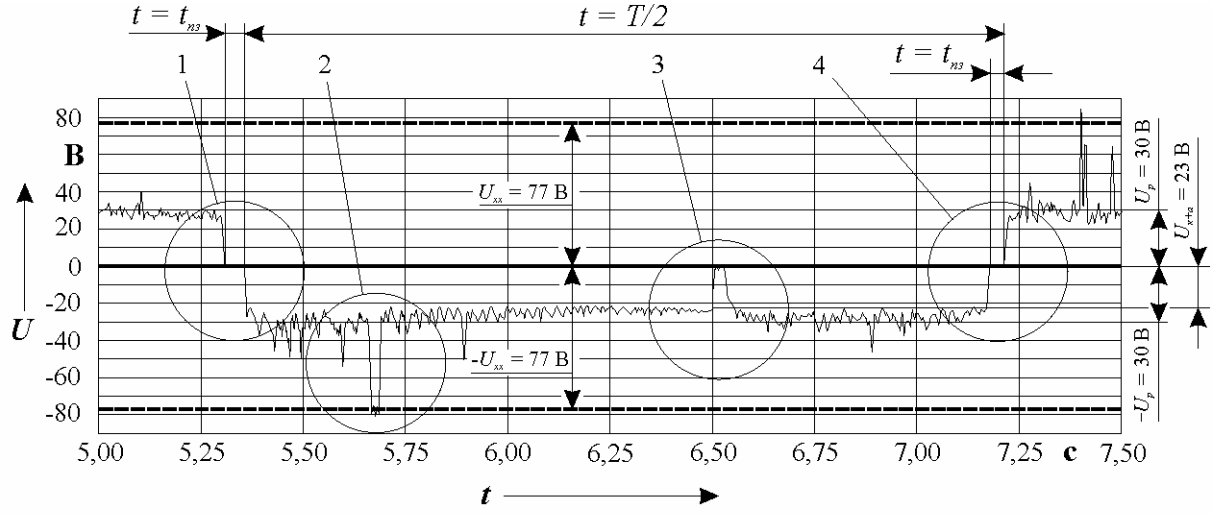
Рисунок 5 - Фото контактного перетворювача для біполярної РОД

Таким чином відбувається формування силової біполярної напруги для реалізації процесу РОД

Аналіз осцилограми біполярної напруги (рис. 6) дозволив виявити деякі фізичні особливості даного процесу:

- при перехідних процесах (див. рис. 6, зони 1, 4), що характеризуються зменшенням напруги на дузі до нуля, дуга не може існувати, а тому гасне. Однак, оскільки час паузи перехідного процесу дуже малий ($t_{пз}$ = 0,037 с), при подальшому зростанні напруги зворотної полярності електрична дуга може ініціюватися *безконтактним* способом, так як за інерцією (маса шпиндельної групи рухомих деталей складає більш ніж 100 кг) величина

торцевого МЕЗ за цей час практично не змінюється. З фізичної точки зору дане явище можна пояснити двома факторами. По-перше, процес біполярної РОД відбувається при дуже малому торцевому зазорі (δ_m = 0,03 мм). По-друге, місце, де горіла дуга, за час паузи ще не встигло охолонути. Ці обидва фактори сприяють ініціюванню дуги безконтактним способом при подальшому поновленні напруги до U_p = 30 В. В той же час в роботі [2] показано, що ініціювання дуги на «холодному» місці в органічному середовищі відбувається виключно контактним способом та потребує значно більшої напруги до рівня U_{xx};



1 - перехідний процес зміни полярності в напрямку "+ → - ";
2 - збій процесу на холостий хід;
3 - збій процесу на коротке замикання;
4 - перехідний процес зміни полярності в напрямку "- → +"

Рисунок 6 - Типова осцилограма напруги U процесу біполярної РОД зразків із твердого сплаву ТС-15 (I = 100 А; P_{cm} = 0,8 МПа; F = 400 мм^2; f = 0,5 Гц)

- у випадку, коли величина торцевого МЕЗ різко збільшується, що пов'язано із якістю системи слідкування за торцевим МЕЗ, дуга гасне, а нова дуга деякий час не збуджується. В цей момент сила струму зменшується до нульового рівня, а напруга на збільшується до напруги холостого ходу U_{xx} (див. рис. 6, зона 2) и тим самим створюється умова для подальшого збудження дуги;

- у випадку короткого замикання (див. рис. 6, зона 3) сила струму зростає до $I_{кз}$, а напруга падає до нульового рівня. Місце контакту інтенсивно нагрівається і тому при розведенні електродів збуджується дуга. Слід відмітити, що ця ділянка осцилограми дозволяє визначити за методикою роботи [4, с. 14] сумарне значення катодного та анодного падіння напруги $U_{к+а}$, яке для даних умов складає 23 В. Отже на стовп дуги припадає лише 7 В. Останнє пояснює той факт, що процес здійснюється на малих торцевих зазорах.

Таким чином, розроблені засоби дозволяють ефективно формувати біполярний струм для обробки дугою твердосплавних валків.

Список літератури

1. Пат. 45498 Україна, МПК B23H 1/00. Спосіб одночасної розмірної обробки електричною дугою плоских торцевих поверхонь двох деталей // Боков В. М., Сіса О. Ф.; заявник та патентоволодар Кіровоградський національний технічний університет. - № u200906150; заявл. 15.06.2009; опубл. 10.11.2009, Бюл. № 21.

2. Боков В. М. Фізичний процес електроерозії при розмірній обробці дугою / В. М. Боков // Вісник інженерної академії України. – 2002. - № 2. – С. 22- 29.
3. Воронин П. А. Силовые полупроводниковые ключи: семейства, характеристики, применение / Воронин П. А. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2005. – 384 с.
4. Лесков Г. И. Электрическая сварочная дуга / Лесков Г. И. – М.: Машиностроение, 1970. – 335 с.

О. Сиса

Средства формирования биполярного тока при обработке дугой твердосплавных валков

Разработана электронная и электромеханическая системы эффективного формирования биполярного тока для обработки дугой твёрдосплавных валков.

O. Sysa

Means of formation of bipolar current while treatment by arc of hard-alloyed rolls

Electronic and electromechanical systems of effective formation of bipolar current while treatment by arc of hard-alloyed rolls were developed.

Одержано 03.02.12

УДК 656.7.086 (45)

О.В. Артеменко, канд. техн. наук
Кировоградская летная академия Национального авиационного университета

Информационная модель автоматизированной системы подготовки предполетной информации

В статье приведена концептуальная модель автоматизированной системы предполетной информации, назначением которой является информационная поддержка оператора предполетного информационного обслуживания. Описаны ее задачи и функции, а также входная и выходная информация. Приводятся условные обозначения и схема информационной модели АС ППИ.
предполетное информационное обслуживание, информационная поддержка, автоматизированная система подготовки предполетной информации, информационная модель

Постановка проблемы. Каждому полету воздушного судна (ВС) должна предшествовать тщательная подготовка экипажа. Такая предполетная подготовка является одним из условий обеспечения безопасности полетов и направлена на предотвращение случаев потери ориентировки, нарушений правил использования воздушного пространства, облегчения работы пилотов в воздухе и т.д. [1]. В процессе такой подготовки экипаж воздушного судна (ЭВС) должен изучить различную аэронавигационную (АНИ), метеорологическую (МИ), картографическую (КИ), нормативную (Норм.И) и др. информацию, убедиться в работе всех средств и служб по маршруту и на аэродромах (АД) и в результате принять обоснованное решение на вылет [2]. В настоящее время предполетную подготовку обеспечивают диспетчеры по обеспечению полетов, в обязанности которых входит освобождение командира ВС (КВС) от рутинной работы, предоставляя необходимую информацию и консультацию [1]. Поскольку КВС и диспетчер по обеспечению полетов несут совместную

© О.В. Артеменко, 2012

2. Боков В. М. Фізичний процес електроерозії при розмірній обробці дугою / В. М. Боков // Вісник інженерної академії України. – 2002. - № 2. – С. 22- 29.
3. Воронин П. А. Силовые полупроводниковые ключи: семейства, характеристики, применение / Воронин П. А. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2005. – 384 с.
4. Лесков Г. И. Электрическая сварочная дуга / Лесков Г. И. – М.: Машиностроение, 1970. – 335 с.

О. Сиса

Средства формирования биполярного тока при обработке дугой твердосплавных валков

Разработана электронная и электромеханическая системы эффективного формирования биполярного тока для обработки дугой твёрдосплавных валков.

O. Sysa

Means of formation of bipolar current while treatment by arc of hard-alloyed rolls

Electronic and electromechanical systems of effective formation of bipolar current while treatment by arc of hard-alloyed rolls were developed.

Одержано 03.02.12

УДК 656.7.086 (45)

О.В. Артеменко, канд. техн. наук
Кировоградская летная академия Национального авиационного университета

Информационная модель автоматизированной системы подготовки предполетной информации

В статье приведена концептуальная модель автоматизированной системы предполетной информации, назначением которой является информационная поддержка оператора предполетного информационного обслуживания. Описаны ее задачи и функции, а также входная и выходная информация. Приводятся условные обозначения и схема информационной модели АС ППИ.
предполетное информационное обслуживание, информационная поддержка, автоматизированная система подготовки предполетной информации, информационная модель

Постановка проблемы. Каждому полету воздушного судна (ВС) должна предшествовать тщательная подготовка экипажа. Такая предполетная подготовка является одним из условий обеспечения безопасности полетов и направлена на предотвращение случаев потери ориентировки, нарушений правил использования воздушного пространства, облегчения работы пилотов в воздухе и т.д. [1]. В процессе такой подготовки экипаж воздушного судна (ЭВС) должен изучить различную аэронавигационную (АНИ), метеорологическую (МИ), картографическую (КИ), нормативную (Норм.И) и др. информацию, убедиться в работе всех средств и служб по маршруту и на аэродромах (АД) и в результате принять обоснованное решение на вылет [2]. В настоящее время предполетную подготовку обеспечивают диспетчеры по обеспечению полетов, в обязанности которых входит освобождение командира ВС (КВС) от рутинной работы, предоставляя необходимую информацию и консультацию [1]. Поскольку КВС и диспетчер по обеспечению полетов несут совместную

© О.В. Артеменко, 2012

ответственность за предполетное планирование и безопасное выполнение полетов, актуальной является задача информационной поддержки авиационного оператора (ЭВС или диспетчера по обеспечению полетов) на этапе подготовки и обеспечения полета.

Проведенный статистический анализ авиационных происшествий по Украине за 1998-2008 гг. показал, что значительная часть авиапроисшествий происходит по причине неудовлетворительной предполетной подготовки ЭВС [3]. Анализ основных особенностей предполетного информационного обслуживания выявил следующие проблемы: предполетная подготовка проводится в недостаточной мере; экипаж получает большой объем информации, которая не всегда касается конкретного вида полета, а также допускаются ошибки при изучении информации и принятии решения на вылет, что приводит к авиационным происшествиям.

Анализ исследований и публикаций. Информационная поддержка реализует широкий набор функций: сообщение об опасности, подбор справочной информации, выдача рекомендаций плана действий с указанием входных данных, стратегий решения задачи и объяснения принятого решения [4]. На сегодняшний день для решения задач планирования и обеспечения полетов эксплуатанты используют ряд программных продуктов, в том числе программы, содержащие действующие навигационные базы данных, без которых невозможно качественно планировать выполнение рейсов. Наиболее известными поставщиками указанных программ являются фирмы Jeppesen, SITA, Sabre, Skyplan, Lido и ряд других. Некоторые авиакомпании используют программное обеспечение собственной разработки. Эти программы позволяют получать рассчитанные НОТАМы, технические характеристики аэродромов, сводки фактической погоды и её прогнозы, различные метеорологические карты, и другую графическую информацию. Использование пользовательской базы данных характеристик самолётного парка пользователя вместе с эксплуатационными особенностями и навигационными и погодными данными позволяет рассчитывать планы полётов [1].

Однако автоматически сгенерированный компьютером оперативный план полёта не всегда является рациональным для выполнения данного рейса. Кроме того, данные системы не обеспечивают сбор и предоставление выборочной информации, необходимой ЭВС. Также в них не реализована информационная поддержка принятия решения о выполнении полета по маршруту. Поэтому в разрабатываемой системе основной функцией является информационная поддержка авиационного оператора на этапе подготовки и выполнения полета. Также согласно рекомендациям ICAO, при создании автоматизированных систем необходимо обеспечить пользователю возможность одновременного доступа ко всей имеющейся информации посредством общего интерфейса и с помощью одного запроса.

Цель работы – разработка информационной модели автоматизированной системы подготовки предполетной информации.

Результаты исследования. Одним из современных средств совершенствования предполетного обеспечения является разработка эффективных программных средств, которые поддерживают деятельность авиационного оператора в процессе предполетного обеспечения и принятия решения о выполнении полета по маршруту.

Повышение эффективности предполетного обслуживания возможно реализовать за счет решения следующих задач:

- обеспечения экипажа ВС необходимой информацией, относящейся к конкретному полету, на этапе предполетной подготовки или к ситуации во время выполнения полета;

- анализа возможности выполнения полета по заданному маршруту и выдачи рекомендации для принятия обоснованного решения на вылет.

Эти задачи целесообразно возложить на автоматизированную систему подготовки предполетной информации (АСППИ), в которой реализована функция информационной поддержки оператора предполетного информационного обслуживания [5]. Общая концепция системы подготовки предполетной информации представлена в форме совокупности подсистем, которые решают вышеперечисленные задачи (рис. 1).

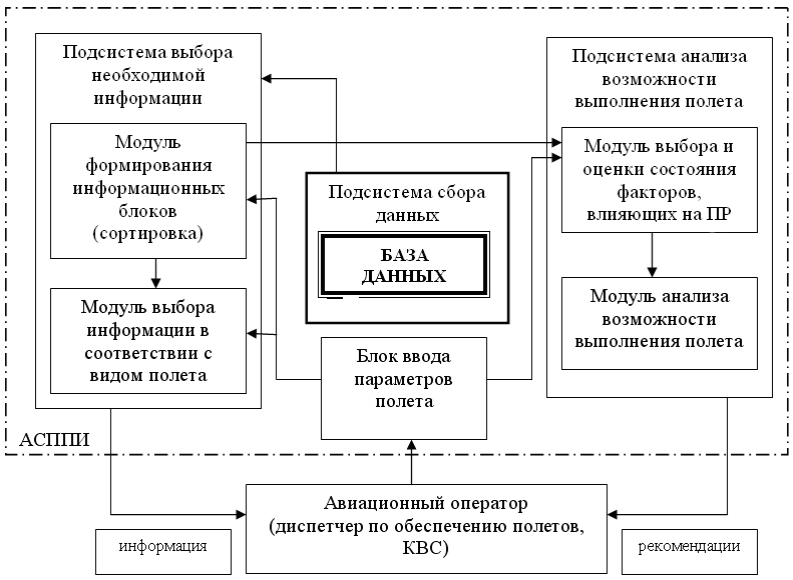


Рисунок 1 – Концептуальная модель автоматизированной системы подготовки предполетной информации

Этапы работы АСППИ и задачи, решаемые ею на этих этапах, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Этапы работы АСППИ и задачи, решаемые ею на этих этапах

Этапы работы АСППИ	**Задачи, решаемые АСППИ на этапах работы**
Этап 1. Подготовка информации, необходимой в целях предполетного планирования	Сбор всей информации, необходимой для обеспечения полетов
	Выбор всей необходимой информации для обеспечения полета в зависимости от заданных параметров полета
	Формирование информационных блоков: сортировка информации по АД вылета, АД назначения, маршруту и другой в соответствии с заданными параметрами полета
	Распределение информации по видам полета
Этап 2. Анализ возможности выполнения полета	Выбор из множества данных в информационных блоках факторов, влияющих на возможность выполнения полета
	Оценка состояния каждого фактора
	Анализ возможности выполнения полета по совокупной оценке факторов
Этап 3. Предоставление необходимой информации в соответствии с видом полета и рекомендации относительно возможности вылета	Предоставление необходимой информации в соответствии с видом полета
	Выдача рекомендации относительно возможности выполнения полета

С точки зрения основных особенностей, связанных с проведением предполетной подготовки, определим принципы построения АСППИ. За основу возьмем общие принципы создания автоматизированных систем [6]: системность, открытость (развитие), совместимость, стандартизация, эффективность.

Исследования в технологии создания автоматизированных систем для авиации показали, что эффективность полученных рекомендаций снижается из-за:

- резкого увеличение потока информации, которую получает оператор в условиях лимита времени и напряженного психофизиологического состояния;
- наличия психологического дискомфорта, когда оператор оторван от процедуры выработки решения и поэтому вынужден в большинстве случаев игнорировать даже очень полезные рекомендации из-за недоверия.

Анализ предполетного обеспечения показал, что его качество зачастую снижается из-за большого объема предоставляемой разноплановой информации, не всегда отвечающей конкретному полету и дефицита времени на проведение подготовки.

Учитывая эти обстоятельства, были сформулированы основные требования к АСППИ:

1. Применение при проектировании АСППИ принципа оптимальной лаконичности (или необходимой и достаточной информации) [7], т.е. устранение важной, но не нужной в данной ситуации информации и зрительное выделение наиболее важных элементов для концентрации на них внимания (экспериментально была определена наиболее ценная предполетная информация).

2. Наличие средств, которые создают «комфортные» условия для оператора: диалог, выдача рекомендаций в удобном для пользователя виде, способность системы объяснить человеку свое решение.

Учитывая предложенные в [8] рекомендации относительно форм предоставления информации авиационному оператору в автоматизированных системах с точки зрения оптимального восприятия решений, которые предлагаются системой, и максимального доверия к полученным результатам человеком-оператором, в АСППИ предусматривается реализация трех режимов работы системы в зависимости от сложности ситуации и времени на проведение предполетной подготовки:

- пассивный режим, в котором система предложит ознакомиться со всей имеющейся информацией (например, если ЭВС выполняет полет по заданному маршруту первый раз);
- полуактивный режим, в котором система предоставит всю требуемую информацию по запросу оператора;
- активный режим, в котором система предоставит только самую необходимую (ценную) информацию (используется, например, в условиях дефицита времени или когда какая-то информация потребовалась уже в полете).

При этом возможен переход к любой форме информационной поддержки по желанию пилота (или летного диспетчера, предоставляющего предполетную информацию).

3. Возможность обработки данных на основе методов логического анализа слабоформализованной информации, которая заложена в знаниях и опыте определенного эксперта.

Функции каждой из выделенных концепцией подсистем (рис. 1) определяются определенным кругом функций (задач) системы. Конкретизируем (в понятии названия и места в АСППИ) в табл. 2, какая информация будет выступать в качестве входных данных, а какая – выходных.

Таблица 2 – Функции подсистем АСППИ

Подсистема	**Входная информация (источник активации)**	**Задачи системы (функции)**	**Выходная информация (результат)**
1	**2**	**3**	**4**
Сбора данных	Статическая и динамическая АНИ, МИ, КИ, Норм.И	1. Сбор и хранение данных	Создание базы данных АНИ, МИ, КИ, Норм.И
Выбора необходимой информации	База данных; параметры полета	2. Анализ заданных параметров полета (определение АД вылета, назначения, и маршрута) 3. Выбор в БД из множества данных информации по АД вылета, назначения, по маршруту и дополнит. информации	Вся выбранная из БД информация в соответствии с параметрами полета
Модуль формирования информационных блоков	Вся выбранная из БД информация в соответствии с параметрами полета	4. Сортировка информации по АД вылета, назначения, маршруту и дополнительной	Информация по АД вылета, назначения, по маршруту, и дополнительная информация; вид полета
Модуль выбора информации в соответствии с видом полетов	Информация по АД вылета, назначения, по маршруту, и дополнительная информация; вид полета	5. Выбор из множества данных (в информационных блоках) необходимой информации	Выборочная необходимая информация в соответствии с видом полета
Модуль выбора и оценки состояния факторов, влияющих на ПР о выполнении полета	Информация по АД вылета, назначения, по маршруту, и дополнительная информация; Модели, критерии и алгоритмы анализа	6. Выбор и информационных блоках факторов, влияющих на ПР; 7. Оценка взлетной массы ВС 8. Оценка метеоусловий на АД вылета	Факторы, влияющие на возможность выполнения полета; характеристики оцениваемых факторов
		9. Оценка наличия ОМЯ на маршруте полета 10. Оценка соответствия фактических и прогнозируемых МУ на АД назначения 11. Оценка состояния АД вылета, назначения, воздушной обстановки 12. Оценка готовности ВС 13. Оценка готовности ЭВС 14. Оценка принятия FPL в IFPS 15. Оценка выбора запасного АД	Факторы, влияющие на возможность выполнения полета; характеристики оцениваемых факторов
Модуль анализа возможности выполнения полета	Характеристики оцениваемых факторов; методы и модели анализа возможности выполнения полета	16. Формирование оценки возможности выполнения полета и построение диаграммы	Рекомендации относительно возможности или невозможности выполнения полета, диаграмма

Анализ приведенной таблицы позволяет сделать вывод о необходимости создания базы данных (БД), а также выделить четыре ее составные группы. Первая – база аэронавигационной информации (АНИ), предоставляемую в основном объединенным пакетом, вторая – метеорологической (МИ), третья – картографическая (КИ), четвертая – нормативная (плановая для конкретного рейса) информация (Норм.И) [9].

Информационная модель системы подготовки предполетной информации

На основании разработок, представленных в [10], представим информационную модель автоматизированной системы подготовки предполетной информации, где соединены все структурные элементы. Придерживаясь поставленных требований и принципов построения системы и ее информационного обеспечения, между всеми подсистемами установлены информационные и логические связи, представленные на рис. 2. Расшифровка условных обозначений модели сведена в табл. 3.

Рассмотрим, как решаются поставленные задачи предполетной подготовки на этапах работы системы.

Этап 1. Подготовка информации, необходимой в целях предполетного планирования.

Подсистемой сбора данных собирается аэронавигационная, метеорологическая и картографическая информация, отдельно вводится нормативная (плановая) информация. После ввода параметров полета (ввода аэродрома вылета, назначения и вида полета) активизируется подсистема формирования информационных блоков, т.е. из базы данных выбираются конкретные аэродромы, и автоматически определяется маршрут полета. Далее уже в информационных блоках информация сортируется с учетом выявленных приоритетов в соответствии с видом полета и необходимая будет предоставлена пилоту.

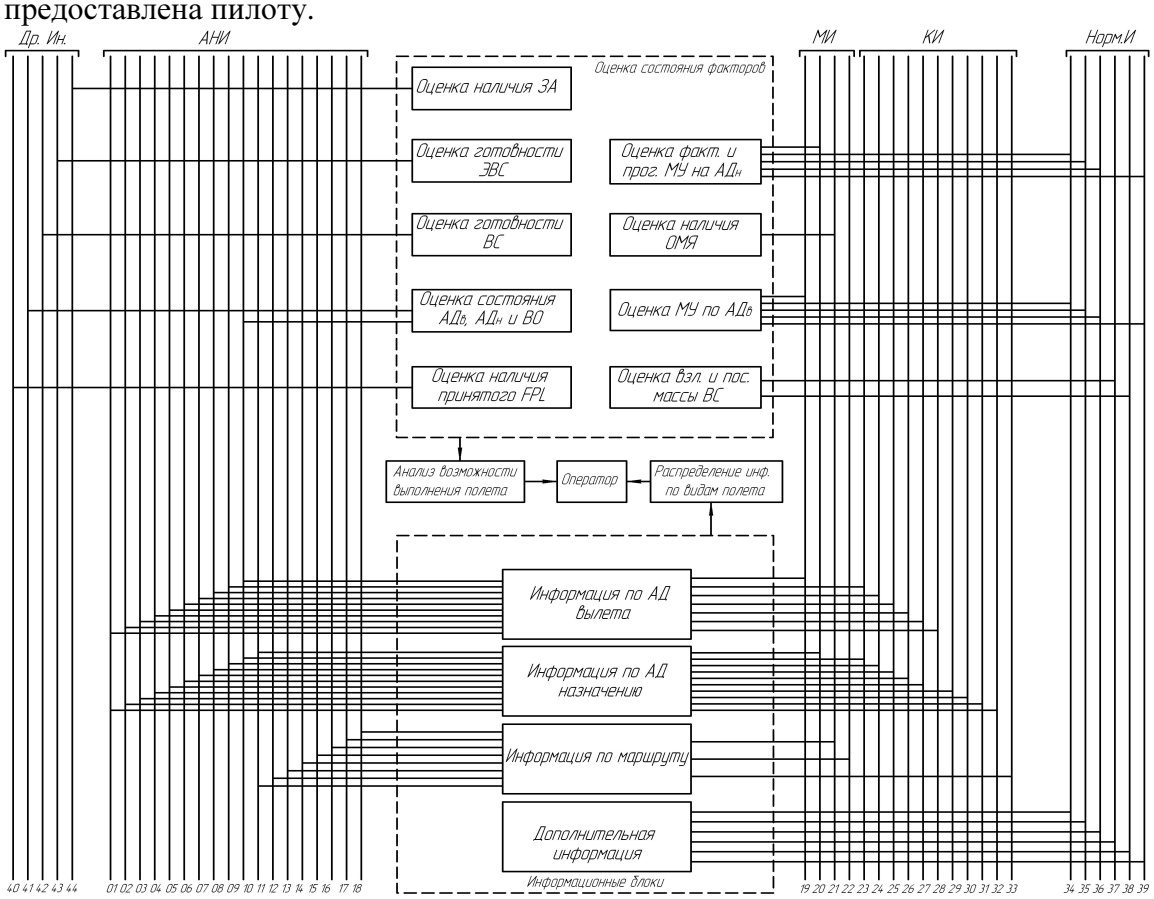


Рисунок 2 – Информационная модель АСППИ

Этап 2. Анализ возможности выполнения полета.

На основании информационных характеристик факторов, влияющих на принятие решения на вылет, которые поступают из информационных блоков, оценивается возможность выполнения полета в соответствующей подсистеме модулем оценки состояния факторов. Далее модуль анализа выполнения полета формирует оценку возможности вылета. Оценка возможности вылета предоставляется в виде рекомендации и в виде диаграммы. Доступность сложных моделей поставленных задач в сочетании с математическим подходом к принятию решения, дает возможность избежать психологического дискомфорта пилота, пользующегося рекомендациями АСППИ.

Систематизация структурных составляющих системы информационной поддержки и взаимосвязей между ними позволяет комплексно реализовать задачи предполетного информационного обеспечения.

Этап 3. Предоставление необходимой информации в соответствии с видом полета и рекомендации относительно возможности вылета.

Пользователю предоставляется выборочная необходимая информация. В случае необходимости дополнительных данных возможно по запросу получить дополнительный объем данных. Рекомендации относительно возможности выполнения полета предоставляются в виде диаграммы «Паук-ЦИС» [11], по структуре которой возможно наглядно оценить состояние каждого фактора и состояние всех факторов одновременно.

Таблица 3 – Условные обозначения информационной модели АСППИ

Информационные характеристики	**Код характе-ристики**
Аэронавигационная информация:	
Географические и административные данные по аэродромах	01
Национальные правила и требования	02
Физические характеристики ВПП и ее факт. состояние	03
СТО на ВПП, РД и перронах	04
РНС для взлета и посадки	05
Данные по перронам, РД и местам посадки	06
Службы и средства по обслуживанию на АД	07
Правила обслуживания в АП	08
Аэродромные сборы	09
NOTAM, PIB	10
Навигационная система подхода	11
РНС по маршруту	12
Описание маршрутов ОВД	13
Данные о РПИ	14
Предоставляемое обслуживание на маршруте	15
Радиолокационное обслуживание на маршруте	16
Сборы за аэронавигационное обслуживание по маршруту	17
Правила обслуживания по маршруту	18
Метеорологическая информация:	
METAR ,SPESI (сводка о текущих метео условиях на аэродроме вылета)	19
TAF (прогноз погоды по аэродрому посадки)	20
SIGMET, AIRMET (метеопредупреждения)	21
Фактическая и ожидаемая погода по маршруту (данные о ветре и температуре воздуха на высотах)	22

Картографическая информация:	
карта аэродрома	23
карта наземного аэродромного движения,	24
карта наземных аэродромных препятствий,	25
карта стоянок/постановки на стоянку	26
карта района (маршруты вылета, прибытия и транзитные маршруты)	27
карта стандартного вылета по приборам (SID)	28
карта стандартного прибытия по приборам (STAR)	29
карта местности для точного захода на посадку	30
карта захода на посадку по приборам	31
карта визуального захода на посадку	32
маршрутная карта	33
Нормативная и другая информация:	
Минимум АД	34
Минимум КВС	35
Минимум ВС	36
Предельно допустимая взлетная и посадочная масса ВС	37
Взлетная и посадочная масса ВС	38
Предельно допустимая составляющая ветра (для данного типа ВС)	39
Подача FPL в IFPS	40
Состояние АД вылета, назначения и воздушная обстановка	41
Техническая готовность и годность ВС к полету	42
Готовность ЭВС к выполнению полета	43
Выбор запасного аэродрома	44

Выводы:

1. Таким образом, разработанная информационная модель АСППИ позволяет:
- создать методологическое единство информационного обеспечения;
- контролировать процесс решения задач;
- перестраивать структуру информационного обеспечения в случае необходимости;
- непосредственно общаться с информацией.

2. Доступность сложных моделей задачи предполетного информационного обеспечения в сочетании с математическим подходом к анализу возможности выполнения полета и выбору необходимой информации даст возможность избежать психологического дискомфорта авиационного оператора при принятии решения на вылет

3. Систематизация структурных составляющих АС ППИ и взаимосвязей между ними позволяет комплексно реализовать задачи системы в процессе подготовки к полету.

Список литературы

1 Лебедев С.Б. Основы теоретической подготовки диспетчеров по обеспечению полетов / Лебедев С.Б. – 2-е изд., перер. и доп. Авиакомпания «Международные Авиалинии Украины». – Киев 2005. – 796 с.

2 Руководство по Службам аэронавигационной информации. – Doc. 8126 ИКАО. 2006. – 459 с.

3 Швец В.А. Анализ состояния аварийности гражданских воздушных судов Украины за период 1998–2007 гг. Госавиаадминистрация / В.А. Швец, О.Н. Алексеев. 2008. – 83 с.

4 Герасимов Б.М. Человеко-машинные системы принятия решений с элементами искусственного интеллекта / Герасимов Б.М., Тарасов В.А., Токарев И.В. – К.: Наукова думка, 1993. – 184 с.

5 Артеменко О.В. Розробка автоматизованої системи підготовки передпольотної інформації / О.В. Артеменко, Ю.Б. Бєляєв, Т.Ф. Шмельова // Науково-практичний журнал «Науково-технічна інформація». – К.: 2010. - №3. – С. 41-44.

6 Методические указания. Автоматизированные системы. Основные положения: РД 50-680-88. – [Введ. 1990-01-01]. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 7 с.

7 Гасов В.М. Организация взаимодействия человека с техническими средствами АСУ: в 7 кн. Инженерно–психологическое проектирование взаимодействия человека с техническими средствами: кн. 1 / В.М. Гасов, П.А. Соломонов. – М.: Высшая школа, 1990. – 127 с.
8 Рыбаков Ф.И. Системы эффективного взаимодействия человека и ЭВМ / Рыбаков Ф.И. – М.: Радио и связь, 1985. – 200 с.
9 Артеменко О.В. Использование интеллектуальных систем в автоматизированных системах подготовки информации в целях повышения эффективности предполетной подготовки / О.В. Артеменко // Автоматика – 2004: Матеріали 11-ї міжнародної конференції по автоматичному управлінню. – К.: 27 – 30 вересня 2004 року. – С. 4 – 5.
10 Сікірда Ю.В. Моделювання системи підтримки прийняття рішень авіадиспетчера в позаштатних польотних ситуаціях: дис. ... кандидата техн. наук: 05.13.06 / Сікірда Юлія Володимирівна. – К., 2004. – 184 с.
11 Артеменко О.В. Построение математической модели процесса принятия решения на вылет командиром воздушного судна / О.В. Артеменко // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кіровоград: КНТУ, 2010. – випуск 23. – С. 115 – 122.

О. Артеменко

Інформаційна модель автоматизованої системи підготовки передпольотної інформації

В статті приводиться концептуальна модель автоматизованої системи підготовки передпольотної інформації, призначенням якої є інформаційна підтримка оператора передпольотного інформаційного обслуговування. Описані її задачі та функції, а також вхідна та вихідна інформація. Наведені умовні позначення та схема інформаційної моделі АСППІ.

O. Artemenko

Information model of the automated system of preparation of the preflight information

In article the conceptual model of the automated system of preparation of the preflight information which appointment is information support of the operator of preflight information service is resulted. Its problems and function, and also the entrance and target information are described. Symbols and the scheme of information model ASPPI are resulted.

Одержано 13.03.12

УДК 621.396

А.А. Кузнецов, проф., докт. техн. наук,
Харьковский университет Воздушных Сил
А.А. Смирнов, доц., канд. техн. наук Е.В.Мелешко, канд. техн. наук
Кировоградский национальный технический университет

Математическая модель и структурная схема стеганографической системы

В данной работе исследуется формальное математическое описание и структурная схема стегранографической системы, и по аналогии с теорией криптографических систем, вводятся основные элементы и математически операторы, абстрактно описывающие стеганографическую систему защиты информации.
стеганография, защита информации, структурная схема, математическая модель

1. Введение. Математические основы современной криптографии заложены в работах известного американского ученого К. Шеннона [1-3], который впервые, используя теоретико-информационный подход, ввел абстрактное математическое определение криптографической системы и формализовал процедуры криптографического преобразования информации. Эти работы дали существенный толчок в развитии отдельных методов теории защиты информации, криптографии и аутентификации, цифровой стеганографии, а также методов цифровой обработки сигналов и помехоустойчивого кодирования [4-12].

В данной работе исследуется формальное математическое описание (в терминах К. Шеннона) и структурная схема стеганографической системы и по аналогии с теорией криптографических систем вводятся основные элементы и математические операторы, абстрактно описывающие стеганографическую систему защиты информации.

Методы стеганографической защиты информации развиваются в последние годы очень интенсивно [1-7]. В их основе лежит сокрытие не только смыслового содержания передаваемой информации, но и самого факта организации передачи данных. Другими словами, основной задачей методов стеганографической защиты информации является организация скрытного канала передачи данных посредством встраивания передаваемых информационных сообщений в объекты (контейнеры), обладающие высокой естественной избыточностью.

Одним из наиболее удобных способов организации цифровых стеганографических каналов скрытной передачи информации является использование в качестве цифровых контейнеров неподвижных изображений [1-7]. Обладая высоким уровнем естественной избыточности подобные контейнеры являются наиболее перспективным направлением исследований в современной стеганографии. В тоже время подавляющее большинство известных методов встраивания информации в неподвижные изображения используют простейшие процедуры кодирования наименее значимых бит и/или особенности форматирования растровых данных изображения [1-3].

2. Структурная схема и формальное математическое определение криптографической системы. Абстрактно криптографическая система определяется

© А.А. Кузнецов, А.А. Смирнов, Е.В.Мелешко, 2012

как некоторое множество отображений одного пространства (множества возможных сообщений) в другое пространство (множество возможных криптограмм) [1-3].

Зафиксируем множество возможных сообщений $M = \{M_1, M_2, ..., M_m\}$ и множество криптограмм $E = \{E_1, E_2, ..., E_n\}$. Зафиксируем также множество отображений:

$$\varphi = \{\varphi_1, \varphi_2, \ldots, \varphi_k\},$$

где:

$$\varphi_i: M \to E,\ i = 1, 2, ..., k.$$

Если множества M и E равномощны, т.е. $n = m$то существует обратное отображение $\varphi_i^{-1}: E \to M$, которое каждому элементу множества E ставит в соответствие элемент множества M. Очевидно, что φ_i и φ_i^{-1} задают взаимно однозначное отображение множеств M и E.

Зафиксируем теперь множество ключей $K = \{K_1, K_2, ..., K_k\}$ так, что для всех $i = 1, 2, ..., k$ отображение $\varphi_i \in \varphi$ однозначно задается ключом K_i, т. е.:

$$\varphi_i : M \xrightarrow{K_i} E.$$

Каждое конкретное отображение φ_i из множества φ соответствует способу шифрования при помощи конкретного ключа K_i. На рис. 1 схематично представлено отображение $\varphi_i \in \varphi$, заданное ключом K_i.

Зафиксируем множество ключей $K^* = \{K_1^*, K_2^*, ..., K_k^*\}$, в общем случае $K \neq K^*$. Все элементы множества обратных отображений:

$$\varphi^{-1} = \{\varphi_1^{-1}, \varphi_2^{-1}, \ldots, \varphi_k^{-1}\},$$

задаются соответствующим ключом:

$$\varphi_i^{-1} : E \xrightarrow{K_i^*} M.$$

Каждое конкретное отображение φ_i^{-1} из множества φ^{-1} соответствует способу расшифрования при помощи ключа K_i^*. Если известен ключ K_i^* то в результате расшифрования возможен лишь единственный ответ – элемент множества M.

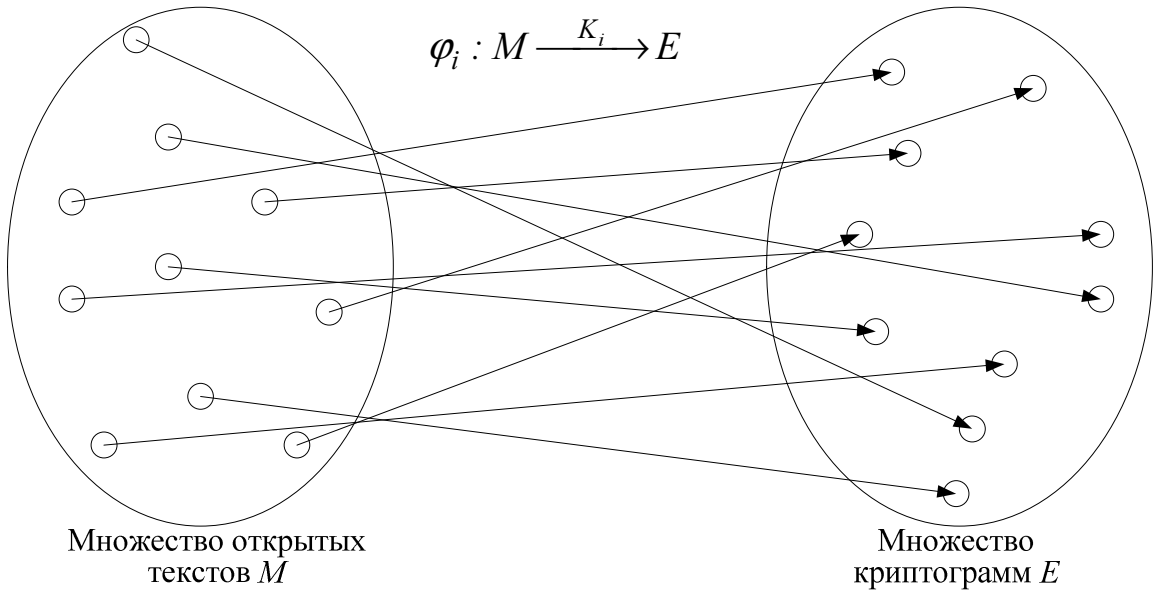


Рисунок 1 – Отображение $\varphi_i : M \xrightarrow{K_i} E$ множества открытых текстов в множество криптограмм

Таким образом, в абстрактное *определение криптографической системы* входят следующие множества M, E, φ, φ^{-1}, K и K^* (множества открытых текстов и криптограмм, множеств прямых и обратных отображений, множества ключей). Если

при этом $K \neq K^*$, то система *асимметрична*. Напротив, если $K = K^*$ – *симметрична*. На рис. 2 представлена структурная схема криптографической системы.

Источник сообщений порождает поток сообщений из множества M. Каждое сообщение представляется конкретной реализацией некоторого случайного процесса, описывающего работу источника сообщений. Каждому сообщению $M_j \in M = \{M_1, M_2, ..., M_m\}$ соответствует вероятность $P(M_j)$. Распределение вероятностей случайного процесса задается совокупным распределением вероятностей случайных величин, т.е. множеством вероятностей:

$$P_M = \{P(M_1), P(M_2), ..., P(M_m)\}. \quad (1)$$

Источник ключей порождает поток ключей из множества K и/или K^*. Каждому ключу $K_i \in K = \{K_1, K_2, ..., K_k\}$ соответствует некоторая вероятность $P(K_i)$, а каждому $K_i^* \in K^* = \{K_1^*, K_2^*, ..., K_k^*\}$ соответствует вероятность $P(K_i^*)$. Случайный процесс выработки ключей задается множествами вероятностей:

$$P_K = \{P(K_1), P(K_2), ..., P(K_k)\}, \quad (2)$$

и

$$P_{K^*} = \left\{P\left(K_1^*\right), P\left(K_2^*\right), ..., P\left(K_k^*\right)\right\}. \quad (3)$$

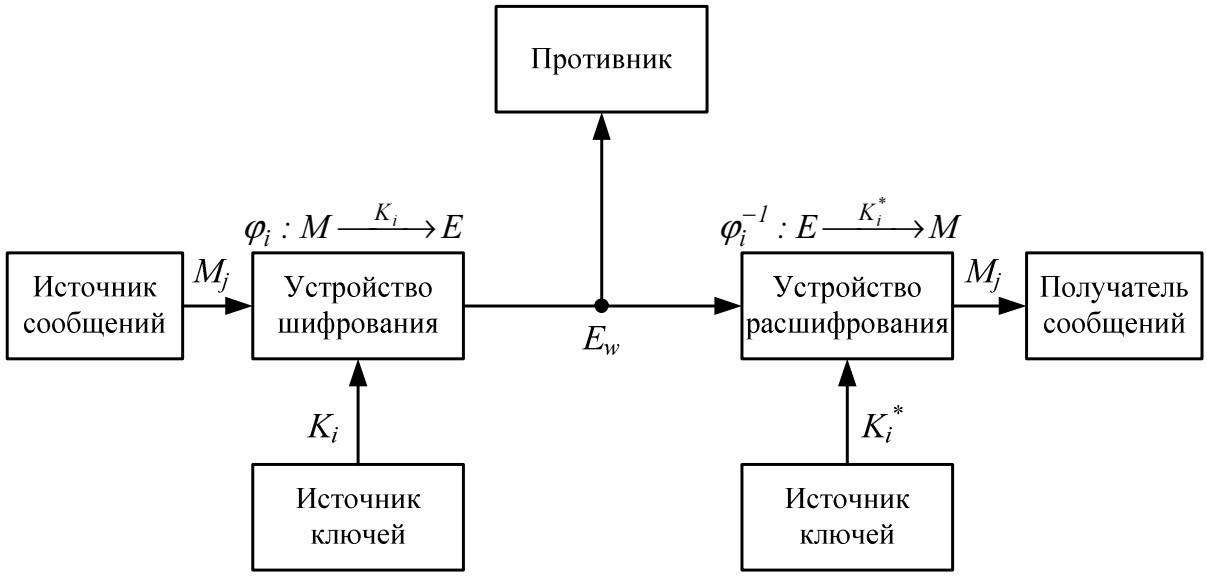


Рисунок 2 – Структурная схема криптографической системы

Множества значений априорных вероятностей (1 – 3) образуют априорные знания злоумышленника об источнике сообщений и источнике ключей, соответственно. Фактически эти множества характеризуют априорные знания злоумышленника относительно возможной «слабости» криптографической системы.

Выбор ключа K_i определяет конкретное отображение φ_i из множества отображений φ. С помощью отображения φ_i, соответствующего выбранному ключу K_i, по поступившему сообщению M_j формируется криптограмма:

$$E_w = \varphi_i(K_i, M_j),$$

$$i \in [1,2,...,k],\ j \in [1,2,...,m],\ w \in [1,2,...,n],\ n \geq m.$$

Криптограмма E_w передается в точку приема по некоторому каналу и может быть перехвачена злоумышленником. На приемном конце с помощью обратного отображения φ_i^{-1} (заданного ключом K_i^*) из криптограммы E_w восстанавливается первоначальное сообщение:

$$M_j = \varphi_i^{-1}(K_i, E_w).$$

Если злоумышленник перехватит криптограмму E_l, он может с ее помощью попытаться вычислить апостериорные вероятности различных возможных сообщений

$$P_{M|E_w} = \{P(M_1|E_w), P(M_2|E_w), ..., P(M_m|E_w)\}, \quad (4)$$

и различных возможных ключей:

$$P_{K|E_w} = \{P(K_1|E_w), P(K_2|E_w), ..., P(K_k|E_w)\}, \quad (5)$$

которые могли быть использованы при формировании криптограммы E_w.

Множества апостериорных вероятностей (4 – 5) образуют апостериорные знания злоумышленника о ключах $K = \{K_1, K_2, ..., K_k\}$ и сообщениях $M = \{M_1, M_2, ..., M_m\}$ после перехвата криптограммы E_l. Фактически, множества $P_{K|E_w}$ и $P_{M|E_w}$ представляют собой множества предположений, которым приписаны соответствующие вероятности.

3. Структурная схема и формальное математическое определение стеганографичной системы. По аналогии с теорией криптографических систем рассмотрим основные функциональные элементы и математически операторы, абстрактно описывающие стеганографическую систему защиты информации.

Зафиксируем множество возможных сообщений $M = \{M_1, M_2, ..., M_m\}$, множество возможных контейнеров $L = \{L_1, L_2, ..., L_l\}$, и множество возможных заполненных контейнеров (стеганограмм) $E = \{E_1, E_2, ..., E_n\}$. Зафиксируем множество отображений:

$$\varphi = \{\varphi_1, \varphi_2, \ldots, \varphi_k\},$$

где

$$\varphi_i: (M, L) \to E, \; i = 1, 2, ..., k.$$

Определим обратное отображение:

$$\varphi_i^{-1}: E \to (M, L),$$

которое каждому элементу множества E ставит в соответствие элемент множества M и элемент множества L.

Зафиксируем множество ключей $K = \{K_1, K_2, ..., K_k\}$ так, что для всех $i = 1, 2, ..., k$ отображение $\varphi_i \in \varphi$ однозначно задается ключом K_i, т. е.:

$$\varphi_i : (M, L) \xrightarrow{K_i} E.$$

Каждое конкретное отображение φ_i из множества φ соответствует способу встраивания сообщения из множества M в контейнер из множества L при помощи конкретного ключа K_i. На рис. 3 схематично представлено отображение $\varphi_i \in \varphi$, заданное ключом K_i.

Зафиксируем множество ключей $K^* = \{K_1^*, K_2^*, ..., K_k^*\}$, в общем случае $K \neq K^*$. Все элементы множества обратных отображений:

$$\varphi^{-1} = \{\varphi_1^{-1}, \varphi_2^{-1}, \ldots, \varphi_k^{-1}\},$$

задаются соответствующим ключом:

$$\varphi_i^{-1} : E \xrightarrow{K_i^*} (M, L).$$

Каждое конкретное отображение φ_i^{-1} из множества φ^{-1} соответствует способу извлечения сообщения из заполненного контейнера (и формирования пустого контейнера) при помощи ключа K_i^*. Если известен ключ K_i^* то в результате выполнения

операции извлечения возможен лишь единственный ответ – элемент множества M и элемент множества L:

$$\left(M_j, L_l\right) = \varphi_i^{-1}\left(E_w, K_i^*\right).$$

Для робастных систем справедливо следующее равенство:

$$\left(M_j, L_l\right) = \varphi_i^{-1}\left(E_w + \varepsilon, K_i^*\right),$$

т.е. незначительное изменение заполненного контейнера (на величину ε) не приведет к неправильному извлечению сообщения.

Хрупкие стаганосистемы характеризуются выполнением неравенства:

$$\left(M_j, L_l\right) \neq \varphi_i^{-1}\left(E_w + \varepsilon, K_i^*\right),$$

для сколь угодно малой величины ε.

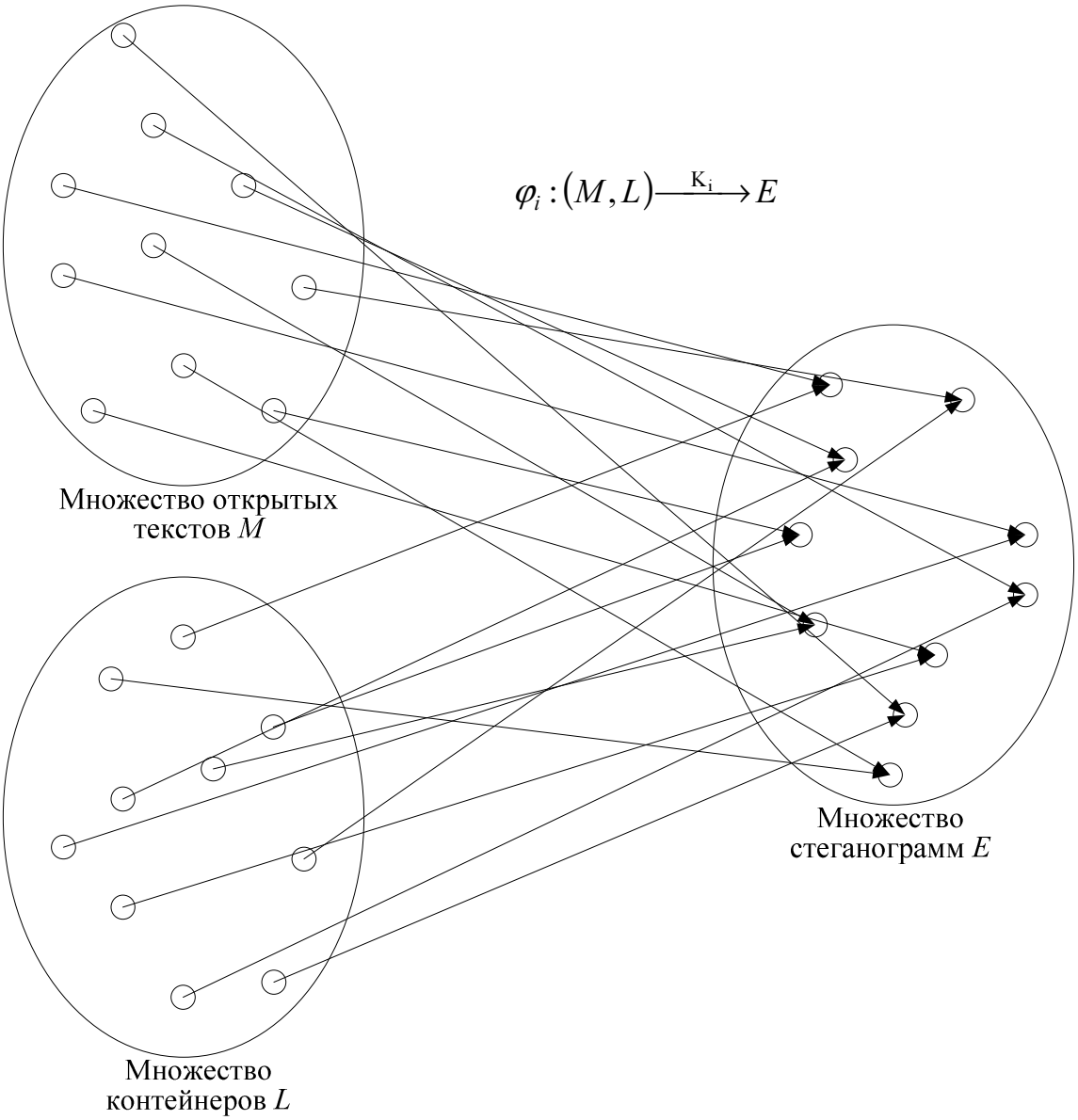


Рисунок 3 – Отображение $\varphi_i : \left(M, L\right) \xrightarrow{K_i} E$ множества открытых текстов в множество криптограмм

Таким образом, в абстрактное *определение стеганографической системы* входят следующие множества *M, L, E,* φ, φ^{-1}, *K* и K^* (множества открытых текстов, пустых

контейнеров и стеганограмм (заполненных контейнеров), множества прямых и обратных отображений и множества соответствующих им ключей).

На рис. 4 представлена структурная схема стеганографической системы.

Источник сообщений порождает поток информационных сообщений I_j из множества $I = \{I_1, I_2, ..., I_m\}$, которое, после предварительного преобразования в прекодере, формируется в виде сообщения M_j из множества M. Прекодер выполняет таким образом функцию предварительной подготовки информационного сообщения к встраиванию в контейнер (например, преобразование информационного сообщения в массив специально отформатированных цифровых данных).

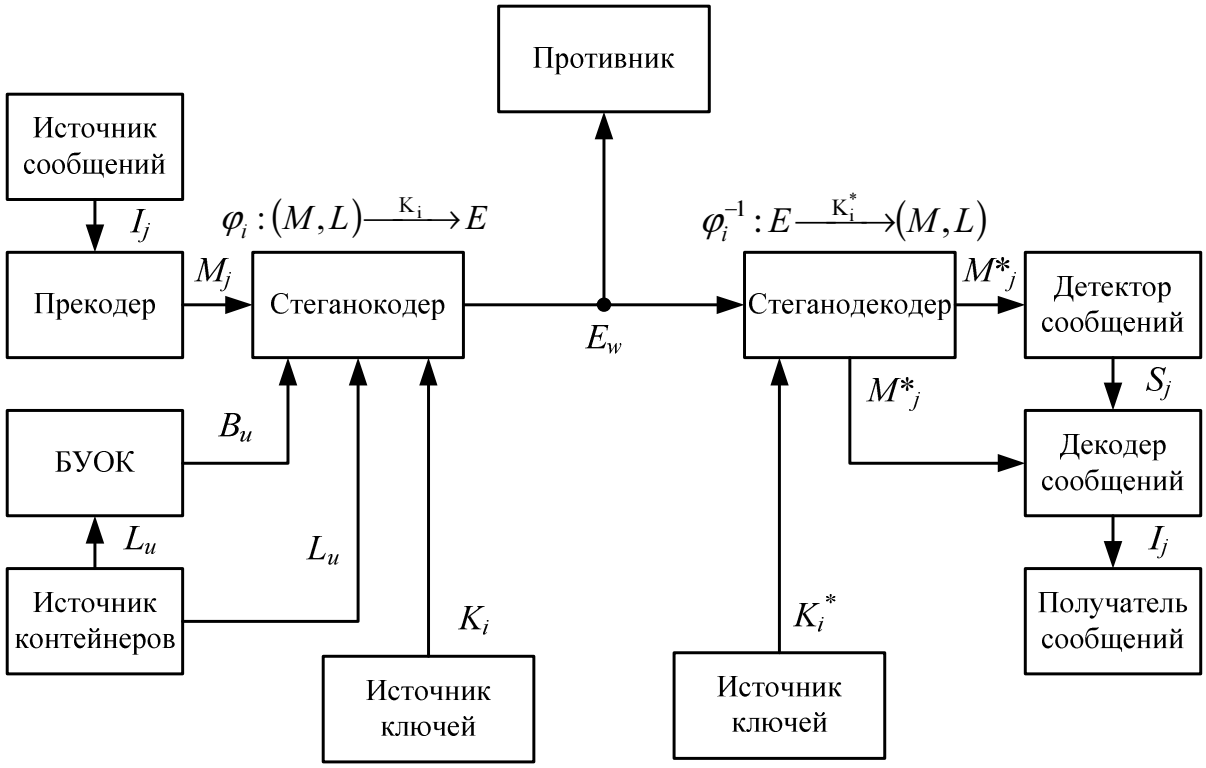


Рисунок 4 – Структурная схема стеганографической системы

Каждому сообщению $M_j \in M = \{M_1, M_2, ..., M_m\}$ соответствует вероятность $P(M_j)$. Распределение вероятностей случайного процесса задается совокупным распределением вероятностей случайных величин, т.е. множеством вероятностей:

$$P_M = \{P(M_1), P(M_2), ..., P(M_m)\}. \quad (6)$$

Источник контейнеров порождает поток пустых контейнеров L_u из множества $L = \{L_1, L_2, ..., L_l\}$. Работа источника контейнеров может так же описываться некоторым случайным процессом, конкретная реализация которого есть контейнер L_u. В этом случае имеем дело со случайными контейнерами, которым могут быть приписаны соответствующие вероятности:

$$P_L = \{P(L_1), P(L_2), ..., P(L_l)\}.$$

Гораздо чаще на практике используется другой тип контейнеров, формирование которых нельзя описать случайным процессом. В этом случае источник контейнеров работает по детерминированному правилу, задаваемому либо уполномоченной (например, передающей) стороной, либо злоумышленником. В первом случае формируются т.н. выбранные контейнеры, т.е. используемый контейнер не сформирован случайно, а выбран уполномоченной стороной по некоторым не

стохастическим признакам. Во втором случае источник контейнеров находится под управлением злоумышленника, а сами контейнеры по детерминированному правилу формируются злоумышленником и навязываются передающей стороне. Таким образом, имеем т.н. навязанный контейнер.

В простейшем случае множество пустых контейнеров содержит всего один элемент, который используется передающей стороной для встраивания сообщения и скрытной передачи его по каналу связи.

Сформированный контейнер L_u обрабатывается блоком учета особенностей контейнеров (БУОК). Основной функцией БУОК является выделение тех признаков (особенностей) B_u поступившего контейнера L_u, которые будут использованы при встраивании в него сообщения M_j .

Источник ключей в стеганографической системе порождает поток ключей из множества K и/или K^*. Каждому ключу $K_i \in K = \{K_1, K_2, ..., K_k\}$ соответствует некоторая вероятность $P(K_i)$, а каждому $K_i^* \in K^* = \{K_1^*, K_2^*, ..., K_k^*\}$ соответствует вероятность $P(K_i^*)$. Случайный процесс выработки ключей задается множествами вероятностей:

$$P_K = \{P(K_1), P(K_2), ..., P(K_k)\}, \quad (7)$$

и

$$P_{K^*} = \{P(K_1^*), P(K_2^*), ..., P(K_k^*)\}. \quad (8)$$

Множества значений априорных вероятностей (6 – 8) образуют априорные знания злоумышленника об источнике сообщений и источнике ключей, соответственно. Фактически эти множества характеризуют априорные знания злоумышленника относительно возможной «слабости» стеганографической системы.

Выбор ключа K_i определяет конкретное отображение φ_i из множества отображений φ. С помощью отображения φ_i, соответствующего выбранному ключу K_i, по поступившему сообщению M_j и поступившему контейнеру L_u с учетом выявленных особенностей B_u контейнера L_u формируется стеганограмма (заполненный контейнер):

$$E_w = \varphi_i(K_i, M_j, L_u),$$

$$i \in [1,2,...,k],\ j \in [1,2,...,m],\ u \in [1,2,...,l],\ w \in [1,2,...,n],\ n \geq m .$$

Стеганограмма E_w передается в точку приема по некоторому каналу и может быть перехвачена злоумышленником. На приемном конце с помощью обратного отображения φ_i^{-1} (заданного ключом K_i^*) из стеганограммы E_w восстанавливается первоначальное сообщение и пустой контейнер:

$$(M_j, L_u) = \varphi_i^{-1}(K_i, E_w).$$

При передаче стеганограммы E_w по каналу связи и возможном воздействии злоумышленником на E_w передаваемая стеганограмма может исказиться. В этом случае на приемной стороне будет принята некоторая смесь переданного заполненного контейнера и результата воздействия на контейнер при передаче по каналу связи: $E_w+\varepsilon$. Выполнение операции обратного отображения φ_i^{-1} (заданного ключом K_i^*) в этом случае приведет к формированию некоторой оценки переданного сообщения и переданного пустого контейнера, т.е. получим:

$$(M_j^*, L_u^*) = \varphi_i^{-1}(K_i, E_w + \varepsilon).$$

Для хрупких стеганографических систем неравенство $M_j^* \neq M_j$ должно приводить к отбраковке сообщения, т.е. при малейшем искажении контейнера ($\varepsilon \neq 0$) извлеченная оценка M_j^* не должна приводить к прочтению встроенного сообщения (сообщение M_j разрушается при $\varepsilon \neq 0$).

Робастные стеганографические системы устойчивы к воздействию на заполненный контейнер. В введенных выше обозначениях это означает, что при $\varepsilon \neq 0$ извлеченная оценка M_j^* должна сопоставляться с одним из возможных сообщений (в идеальном случае, с сообщением M_j). В тоже время, полученный из канала связи контейнер E_w может вовсе не содержать встроенного сообщения, т.е извлеченная из контейнера оценка M_j^* не должна быть сопоставлена ни с одним из допустимых сообщений. Функции детектирования встроенного сообщения на приемной стороне возложены на детектор сообщений, который по поступившей оценке M_j^* принимает решение о наличии или отсутствии встроенного сообщения в принятом контейнере E_w. Таким образом, оценка детектора S_j может быть интерпретирована как двоичное (да/нет) решение помехоустойчивого декодера о наличии или отсутствии неисправляемой ошибки. Само декодирование осуществляется в декодере сообщений, основными функциями которого является сопоставление извлеченной оценки M_j^* с одним из возможных сообщений M_j и преобразования последнего в информационное сообщение I_j, предоставляемое получателю информации.

Злоумышленник может перехватить стеганограмму E_w. В этом случае он может с ее помощью попытаться вычислить апостериорные вероятности различных возможных сообщений:

$$P_{M|E_w} = \{P(M_1|E_w), P(M_2|E_w), ..., P(M_m|E_w)\}, \quad (9)$$

и различных возможных ключей:

$$P_{K|E_w} = \{P(K_1|E_w), P(K_2|E_w), ..., P(K_k|E_w)\}, \quad (10)$$

которые могли быть использованы при формировании стеганограммы E_w.

Множества апостериорных вероятностей (9 – 10) образуют апостериорные знания злоумышленника о ключах $K = \{K_1, K_2, ..., K_k\}$ и сообщениях $M = \{M_1, M_2, ..., M_m\}$ после перехвата стеганограммы E_w. Фактически, множества $P_{K|E_w}$ и $P_{M|E_w}$ представляют собой множества предположений, которым приписаны соответствующие вероятности.

4. Выводы. В данной работе проведен анализ и исследовано формальное математическое описание и структурная схема стеганографической системы. По аналогии с рассмотренной формализацией из теории криптографических систем введены основные элементы и математически операторы, абстрактно описывающие стеганографическую систему защиты информации.

Во введенной формализации получено определение хрупких и робастных стеганосистем, а также введены вероятностные показатели, характеризующие апостериорные знания злоумышленника о криптографических ключах и встраиваемых сообщениях. *Перспективным направлением дальнейших исследований* является анализ и теоретическое обоснование критериев и показателей эффективности стеганографических систем защиты информации, исследование свойств известных примеров стеганосистем по введенным показателям и критериям оценки эффективности.

Список литературы

1. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. – М.: ИЛ, 1963. – 829 с.
2. Шеннон К. Связь при наличии шума. // Теория информации и ее приложения. Сборник переводов. – М.:ФИЗМАТГИЗ, 1959.– С. 82-12.

3. Шеннон К. Теория связи в криптографических системах // Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1963. – С.333-402.
4. Долгов В.И. Основы статистической теории приема дискретных сигналов. – Х.: ХВВКИУРВ, 1989. – 448 с.
5. Стасєв Ю.В. Основи теорії побудови сигналів. – Х.: ХВУ, 1999. – 87с.
6. Мак-Вильямс Ф.Дж., Слоэн Н.Дж.А. Теория кодов, исправляющих ошибки. – М.: Связь, 1979. – 744 с.
7. Науменко М.І., Стасєв Ю.В., Кузнецов О.О. Теоретичні основи та методи побудови алгебраїчних блокових кодів. Монографія. – Х.: ХУ ПС, 2005. – 267 с.
8. Молдовян Н.А., Молдовян А.А., Еремеев М.А. Криптография: от примитивов к синтезу алгоритмов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 448 с.
9. Сидельников В.М. Криптография и теория кодирования. Материалы конференции «Московский университет и развитие криптографии в России», МГУ. – 2002. – 22 с.
10. Саломаа А. Криптография с открытым ключом: Пер. с англ., – М.: Мир, 1995. – 318с.
11. Конахович Г. Ф., Пузыренко А. Ю. Компьютерная стеганография. Теория и практика. – К.: «МК-Пресс»б 2006. - 288 с., ил.
12. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. – М.: Вильямс, 2003. – 1104 с.
13. Кузнецов А.А., Смирнов А.А. Встраивание данных в контейнеры-изображения с использованием сложных дискретных сигналов // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – Харьков: ХТУРЭ.–2011. – Вып. 166. – С. 134-141.
14. Kuznetsov A., Serhiienko R., Kovtun V., Botnov A. Use of Complex Discrete Signals for Steganographic Information Security // Statistical Methods of Signal and Data Processing (SMSDP-2010): Proceedings. – Kiev: National Aviation University “NAU-Druk” Publishung House – 2010. – pp. 143 – 146.
15. Стасев Ю.В., Кузнецов А.А., Смирнов А.А. Использование сложных дискретных сигналов для стеганографической защиты информации // Системи управління, навігації та зв’язку. – Київ: Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління. – 2011. – Вип. 3 (19). – С. 110-114.

О. Кузнецов, О. Смірнов, Є. Мелешко

Математична модель і структурна схема стеганографічної системи

У даній роботі досліджується формальний математичний опис і структурна схема стеганографичної системи, і за аналогією з теорією криптографических систем, уводяться основні елементи й математично оператори, що абстрактно описують стеганографічну систему захисту інформації.

A. Kuznetsov, A. Smirnov, E. Meleshko

The mathematical model and flow diagram of the steganography system

In this work is probed formal mathematical specification and flow diagram of the steganography system, and by analogy with the theory of the secret systems, basic elements and mathematically operators, abstractly describing the steganography system of priv are entered.

Одержано 27.02.12

УДК 658.011.56

О.М. Сербул, канд. техн. наук, В.О. Кондратець, проф., канд. техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет

Розробка та дослідження блока ідентифікації розрідження пульпи в млинах з циркулюючим навантаженням

У статті приведені результати розробки та лабораторних досліджень блока ідентифікації розрідження пульпи в млинах з циркулюючим навантаженням. Наведені функціональна і принципова схеми блока, алгоритмічні схеми цифрового фільтрування сигналу витарти пульпи та визначення співвідношення руда/вода в кульовому млині, результати теоретичних та експериментальних досліджень.
блок, ідентифікація, розрідження пульпи, функціональна, принципова, алгоритмічна схеми, результати досліджень

В Україні все ширше використовують збагачення залізних руд, які необхідно подрібнювати у кульових млинах з циркулюючим навантаженням. Відсутність засобів ідентифікації і керування розрідженням пульпи гальмує виконання Державної науково-технічної програми “Ресурсозберігаючі технології нового покоління в гірничо-металургійному комплексі” та вимагає розробки теми “Комп’ютерно інтегрована система автоматичного регулювання співвідношення руда/вода в кульових млинах з циркулюючим навантаженням” (0106U000981), яка входить до плану наукової тематики Кіровоградського національного технічного університету і присвячена розв’язанню даної задачі. Враховуючи, що блок ідентифікації даного параметра у керованому об’єкті займає одне з центральних місць у створюваній системі автоматичного керування, тема статті є актуальною.

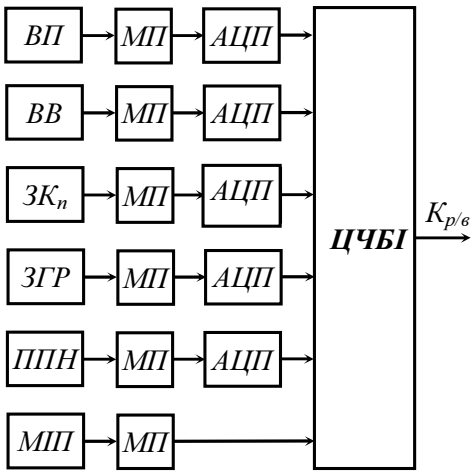
Дослідженням і розробкою таких технічних засобів у різні роки в Україні і за кордоном займаються вчені А.Г. Астахов, М.В. Федоровський, О.М. Марюта, Ю.Г. Качан, Є.В. Кочура, А.С. Давидкович, В.С. Моркун, В.В. Ткачов, О.М. Тихонов, А.Є. Троп, Д. Гілберт, А. Лінч та ін. Розроблені пристрої з різних причин не отримали розповсюдження на рудозбагачувальних фабриках. Запропоновані авторами підходи ідентифікації співвідношення руда/вода у млинах з циркулюючим навантаженням та автоматичної стабілізації параметра дозволяють ефективно розв’язати дану задачу, однак розробкою блоків для реалізації запропонованих чи подібних алгоритмів ніхто не займався.

Метою даної роботи є розробка та дослідження блока ідентифікації співвідношення руда/вода у кульових млинах з циркулюючим навантаженням.

Співвідношення руда/вода $K_{р/в}$ у кульових млинах з циркулюючим навантаженням можливо ідентифікувати відповідно математичній моделі, розглянутій в [1], що залежить від шести параметрів. Необхідний результат можливо забезпечити завдяки оптимізації точнісних характеристик перетворювачів технологічних параметрів. При відносно високій похибці вимірювання об’ємної витрати пульпи в пісковому жолобі класифікатора і допустимих похибках витратомірів води і руди в технологічний агрегат у достатньо складних умовах відносна похибка ідентифікації співвідношення руда/вода доведена до 1,72 %, що нижче її граничного значення ± 3,0 % [2]. З врахуванням математичної моделі і обраних типів технічних засобів функціональну схему блока

© О.М. Сербул, В.О. Кондратець, 2012

ідентифікації можна подати у вигляді, зображеному на рис. 1. Сигнал витратоміра подачі води у пісковий жолоб класифікатора $Q_{вж} = const$ враховується у цифровій частині блока ідентифікації *ЦЧБІ*, інші аналогові сигнали перетворювачів і задавачів вводяться за однаковою схемою: перетворювач – масштабуючий підсилювач – аналого-цифровий перетворювач.



ВП – витратомір пульпи; *ВВ* – витратомір води; $ЗК_п$ – задавач вмісту вологи в пісках класифікатора; *ЗГР* – задачач густини руди; *ППН* – перетворювач погонного навантаження руди; *МП* – магнітоіндукційний перетворювач швидкості конвеєрної стрічки; *МП* – масштабуючий підсилювач; *АЦП* – аналого-цифровий перетворювач; *ЦЧБІ* – цифрова частина блока ідентифікації

Рисунок 1 – Функціональна схема блока ідентифікації співвідношення руда/вода в кульовому млині

Для вимірювання об'ємної витрати пульпи в процесі оптимізації обрано чотириканальний пасивний сканер, який дозволяє знизити похибку до ± (3,0…3,5) %. Для вимірювання витрати води в кульовий млин прийнято безконтактний індукційний витратомір. Витратомір подачі води у пісковий жолоб класифікатора розроблявся спеціально. Витрата руди у кульовий млин визначається конвеєрними вагами, які були модернізовані. Зокрема, у вагах була здійснена цифрова фільтрація сигналів рудного навантаження та швидкості конвеєрної стрічки.

Похибку визначення $К_{р/в}$ можливо значно зменшити фільтруванням сигналу витрати пульпи, застосувавши цифрову фільтрацію, реалізуючи алгоритм визначення середнього значення випадкового сигналу витратоміра. Сигнал витратоміра пульпи необхідно фільтрувати впродовж 10 с або 20 с, 30 с і т.д. [3]. Початок фільтрування сигналу витрати пульпи розпочинається з мінімального значення в циклі, дані враховуються через 2×10^{-2}с, що відповідає запам'ятовуванню 762 точок за один повний цикл – 30,48 с. Алгоритмічна схема цифрового фільтрування сигналу витратоміра пульпи наведена на рис. 2.

Напруга на виході вимірювальних і задаючих пристроїв при найбільших фактичних значеннях технологічних параметрів дорівнює 5 В, вхідний сигнал АЦП – 0…3,3 В, тому перед входом АЦП встановлені масштабуючі підсилювачі. Похибка при визначенні співвідношення руда/вода може виникнути і в наслідок обмеженості розрядності при перетворенні аналогової інформації в дискретну. Моделювання даного процесу на персональному комп'ютері показало, що при чотирьох розрядах АЦП отримуємо великі похибки перетворення. Восьмирозрядний АЦП дозволяє значно підвищити точність визначення співвідношення руда/вода, однак помилки перетворення окремих технологічних параметрів залишаються суттєвими. Вони відповідно складають: 0,13 %; 0,13 %; - 0,22 %; - 0,04 %; - 0,04 %; - 0,17 % для руди, пульпи, води в млин, води в жолоб, густини руди, вмісту вологи в пісках класифікатора. 12-розрядні АЦП практично не мають відчутних помилок перетворення, а 10-розрядні – незначні. У 10-розрядних АЦП помилки перетворення сигналів склали наступні значення: 0,031 %; 0,032 %; - 0,057 %; - 0,013 %; 0,021 %; - 0,044 %. Отже, для перетворення аналогових сигналів у цифрові достатньо використовувати АЦП, розпочинаючи з 10-розрядних, однак вище 16-розрядних дані пристрої застосовувати недоцільно.

За даними, що відповідають реалізації сигналів тривалістю 30,48 с блок ідентифікації визначає співвідношення руда/вода в кульовому млині, яке запам'ятовується на тривалість циклу управління 30,48 с. Після цього цикл цифрового

фільтрування сигналів і визначення $K_{р/в}$ повторюється. Алгоритмічна схема визначення співвідношення руда/вода в кульовому млині наведена рис. 3.

Відповідно викладеному, здійснено вибір принципових елементів цифрової частини блока ідентифікації співвідношення руда/вода в кульовому млині. Принципова схема блока ідентифікації співвідношення руда/вода в кульовому млині показана на рис. 4.

Блок ідентифікації співвідношення руда/вода випробувався в лабораторних

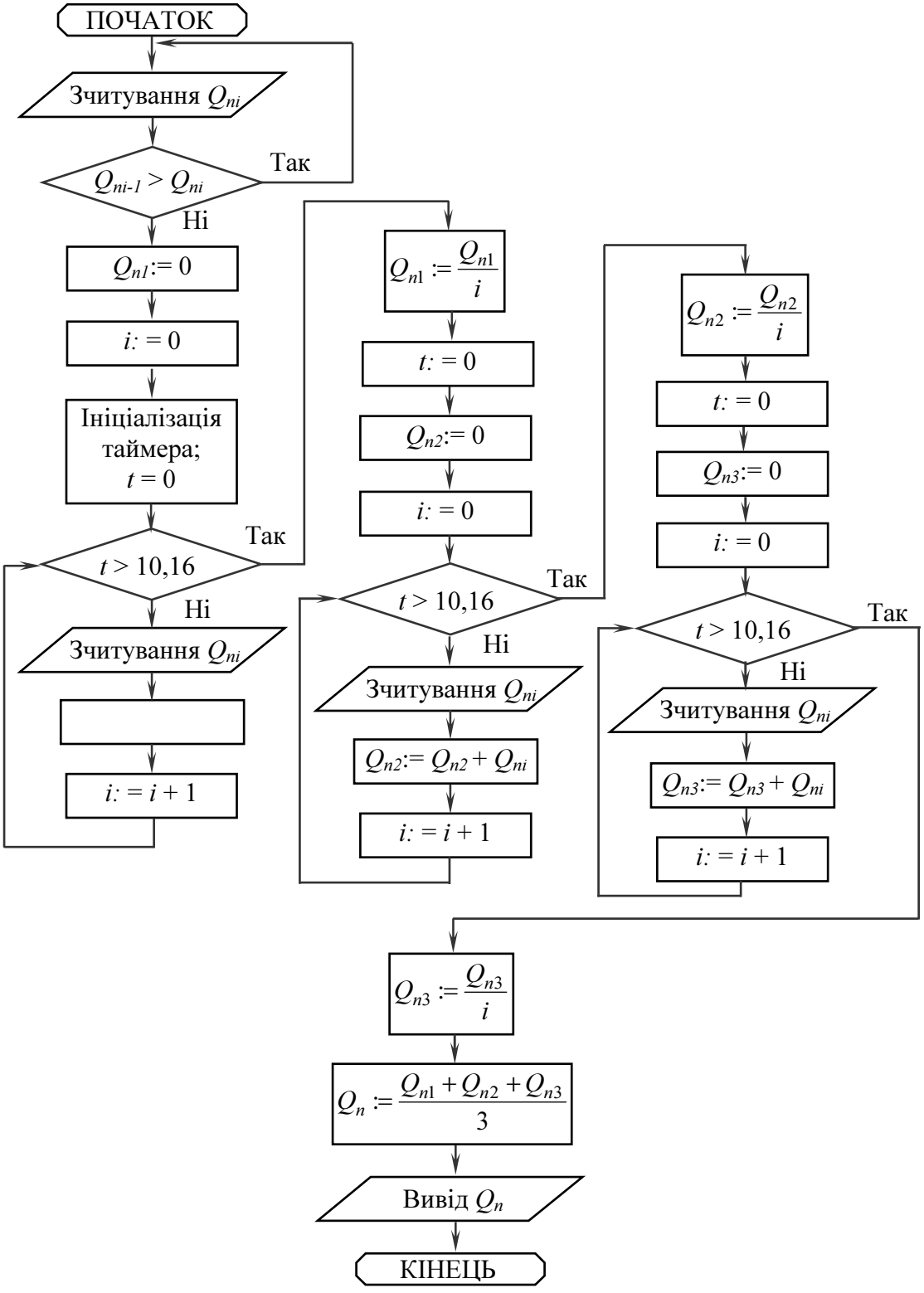


Рисунок 2 – Алгоритмічна схема цифрового фільтрування сигналу витратоміра пульпи

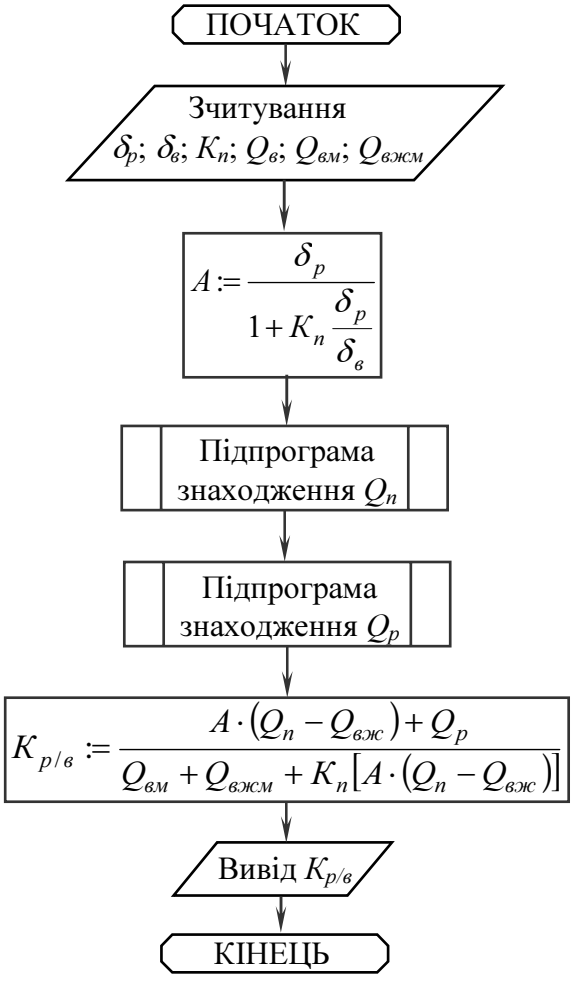


Рисунок 3 – Алгоритмічна схема визначення співвідношення руда/вода в кульовому млині

умовах. Випробування базувалося на його математичній моделі, де технічні дані відповідали базовому режиму роботи подрібнювального агрегату. Змінними при дослідженні виступали витрата пульпи $Q_п$ у пісковому жолобі та витрата руди Q_p у кульовий млин, які приводять до непостійності відшукуваного параметра.

Всі параметри у математичній моделі і відповідно у блоці ідентифікації встановлювалися за допомогою задавачів, які використані у принциповій схемі для густини руди і вмісту вологи в пісках класифікатора та забезпечені світловими індикаторами фактичного значення. Крім того, для введення сигналу витратоміра пульпи був виготовлений спеціальний задавач. Задавач містив синхронний двигун з редуктором, однообертове лекало, реохордний перетворювач радіального переміщення та джерело живлення постійного струму. Лекало визначало закономірність руху матеріалу в технологічному потоці. Для спрощення приймалися гармонічні залежності, що наближено відповідали умовам технологічного процесу. Лекало задавача витрати пульпи здійснювало один оберт за 10,16 с. Змінні параметри $Q_п$ і Q_p приймалися в межах технологічних значень. Витрата руди Q_p встановлювалася здавачем і ступінчасто у дослідах змінювалася в межах від 180 до 260 т/год.

Спочатку досліджувалася система цифрового фільтрування сигналу витратоміра пульпи. Сигнал з задавача витратоміра пульпи при незмінних інших параметрах вводився на вхід блока ідентифікації. При цьому фіксувалися кінцеві значення сигналів витратоміра пульпи. Вони відповідали встановленим тривалостям циклів фільтрування, тобто, 30,48 с. Дослідами встановлено, що дані, визначені системою цифрового фільтрування сигналів, повністю співпадають з параметрами задавача витрати пульпи в пісковому жолобі класифікатора.

На другому етапі досліджень знімалися статичні характеристики блока ідентифікації співвідношення руда/вода у кульовому млині. В якості інформаційних засобів використовувалися задавачі, прийняті у принциповій схемі блока ідентифікації. У дослідах були прийняті константами $Q_в$ = 65,28 м^3/год, δ_p = 3,3 т/м^3, $K_п$ = 0,12, $Q_{вж}$ = 24,3 м^3/год. Витраті пульпи $Q_п$ надавались постійні значення $Q_{п1}$ = 125,827 м^3/год, $Q_{п2}$ = 151,209 м^3/год, $Q_{п3}$ = 176,591 м^3/год. При кожному значенні витрати пульпи $Q_{пі}$ задавачем конвеєрних вагів встановлювалися незмінні значення витрати руди Q_p, які в дослідах змінювалися від 180 до 260 т/год. При цьому фіксувалися значення співвідношення руда/вода, визначені блоком ідентифікації та отримані розрахунково за математичною моделлю. На рис. 5 наведені теоретичні та експериментальні залежності $K_{р/в}$ від витрати руди при різній витраті пульпи у пісковому жолобі. З рис. 5 видно, що ці залежності повністю співпадають.

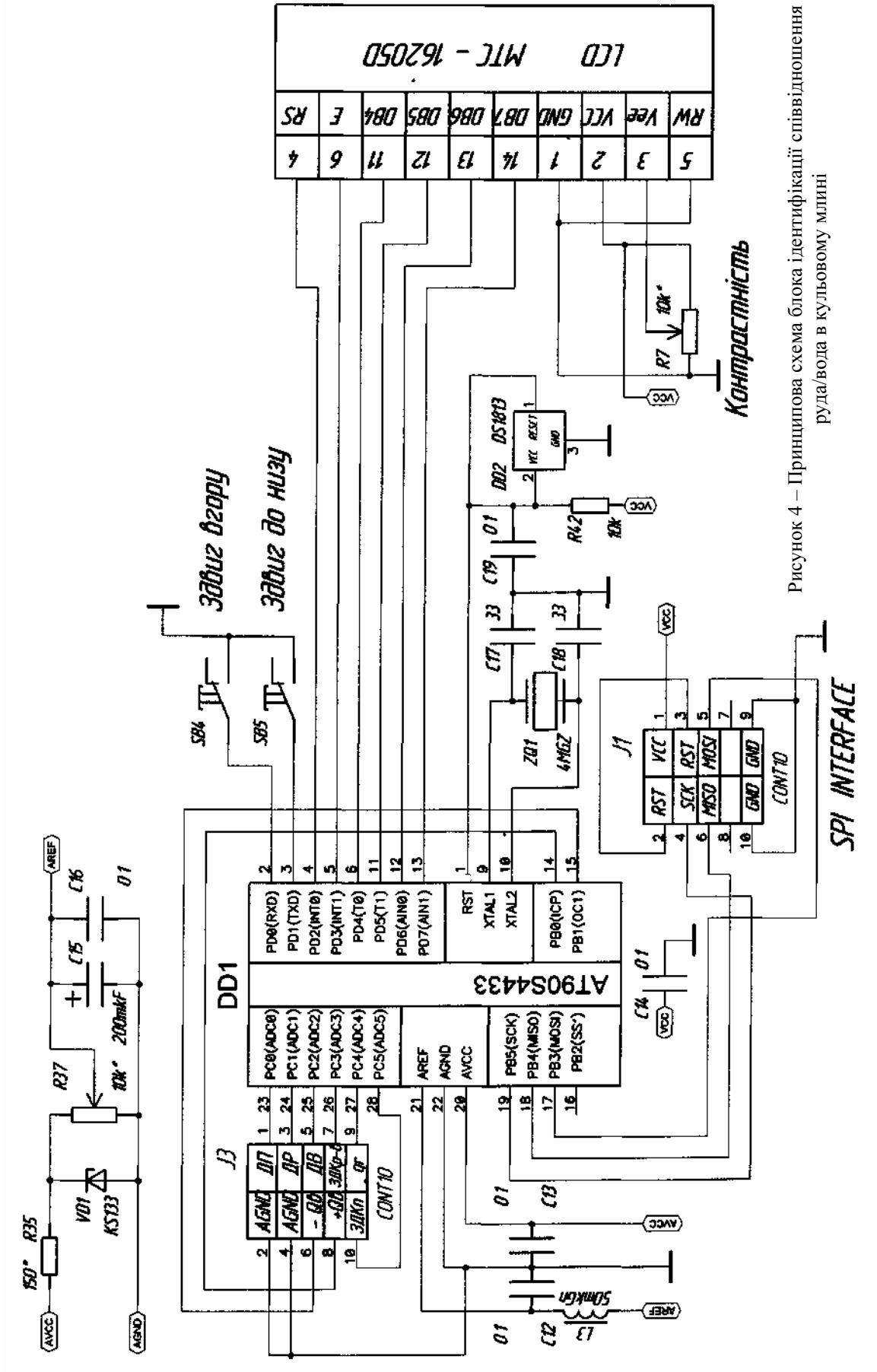
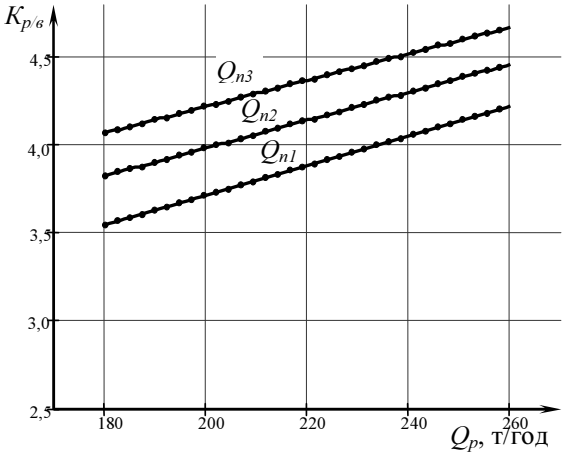


Рисунок 4 – Принципова схема блока ідентифікації співвідношення руда/вода в кульовому млині



▪▪▪▪▪▪експериментальні; ——— теоретичні;
$Q_{п1}$ = 125,827 м^3/год; $Q_{п2}$ = 151,209 м^3/год;
$Q_{п3}$ = 176,591 м^3/год

Рисунок 5 – Теоретичні та експериментальні залежності співвідношення руда/вода в кульовому млині від витрати руди

Таким чином, проведені дослідження показали, що розроблений блок з високою точністю ідентифікує співвідношення руда/вода у кульовому млині з циркулюючим навантаженням в широких межах зміни технологічних параметрів, результати, отримані теоретично і експериментально, повністю співпадають. За допомогою розробленого блока ідентифікації можливо ефективно в автоматичному режимі визначати співвідношення руда/вода на вході кульового млина.

Проведені дослідження відкривають перспективу розробки комп'ютеризованої системи автоматичного регулювання співвідношення руда/вода на вході кульових млинів, що працюють у замкнутому циклі з спіральними класифікаторами.

Список літератури

1. Сербул О.М. Обгрунтування підходу підвищення точності ідентифікації співвідношення руда/вода в кульових млинах з циркулюючим навантаженням /О.М. Сербул, В.О. Кондратець //Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: Зб. наук. праць КНТУ. – 2009. – № 22. – С. 24-28.
2. Кондратець В.О. Підвищення точності ідентифікації моделей складних систем оптимізацією точнісних характеристик параметрів /В.О. Кондратець, О.М. Сербул //Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту: Зб. наук. праць за матеріалами міжнар. наук. конф. Том. 1. – Херсон: ХНТУ, 2009. – С. 71-73.
3. Кондратець В.О. Підвищення точності стохастичної САР розрідження пульпи в млинах з циркулюючим навантаженням фільтруванням сигналів /В.О. Кондратець, О.М. Сербул //Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: Зб. наук. праць КНТУ. – 2010. – № 23. – С. 78-84.

А. Сербул, В. Кондратец

Разработка и исследование блока идентификации разжижения пульпы в мельницах с циркулирующей нагрузкой

В статье приведены результаты разработки и лабораторных исследований блока идентификации разжижения пульпы в мельницах с циркулирующей нагрузкой. Приведены функциональная и принципиальная схемы блока, алгоритмические схемы цифрового фильтрования сигнала расхода пульпы и определения соотношения руда/вода в шаровой мельнице, результаты теоретических и экспериментальных исследований.

A. Serbul, V. Kondratec

Development and research block of authentication of dilution of mash in mills with the circulatory loading

In the article results over of development and laboratory researches block of authentication of dilution of pulp in mills with the circulatory loading are presented. The functional and fundamental charts of block, algorithmic charts of digital filtration of signal of expense of pulp and determination of correlation water/ore in a ball mill, results of theoretical and experimental researches are presented.

Одержано 01.03.12

УДК 681.513.8

А.П. Ладанюк, проф., д-р техн. наук, Д.А. Шумигай, асп., Р.О. Бойко, асп.
Національний університет харчових технологій, Київ

Системна задача координації в технологічних комплексах неперервного типу

В статті розглядається підхід до постановки розширеної задачі координації в технологічних комплексах неперервного типу. Зокрема розглядається складний технологічний комплекс цукрового заводу. Описані основні особливості вирішення поставленої задачі координації.
принципи координації, підсистеми технологічного комплексу, нечіткі знання, часові ряди, функція мети

Вступ. Технологічні комплекси (ТК) неперервного типу, зокрема технологічний комплекс цукрового заводу, з точки зору задач управління відрізняються багатовимірністю, наявністю окремих стадій переробки сировини та напівпродуктів, складними зв`язками між стадіями, які реалізуються на технологічному обладнанні великої одиничної потужності. При цьому автоматизація окремих стадій ТК (дільниць, підсистем) не дає можливості досягти високих техніко-економічних показників роботи ТК в цілому, тому що вони залежать багато в чому від взаємних зв`язків між підсистемами ТК, що об'єктивно приводить до необхідності розробки задачі координації роботи управляємих підсистем.

Постановка задачі. В статті розглядається підхід до постановки та вирішення задачі координації в ТК неперервного типу. Для побудови структури управління використовується метод декомпозиції, що дозволяє розглядати ТК як сукупність підсистем. З точки зору задач управління в складі ТК існує оптимальна кількість підсистем: при збільшенні їх числа задача управління кожною підсистемою спрощується, але значно зростають витрати на координацію їх роботи [1]. Розв'язанням задачі координації є визначення взаємодії підсистем, при яких управління, оптимальні за критеріями ефективності кожної з підсистем, є також оптимальними за загальним критерієм для ТК в цілому.

Методика дослідження. Координація є специфічною задачею ієрархічної системи управління та на сьогодні використовує ряд принципів [2], на яких засновані ітеративні та безітеративні процедури розв'язання поставленої задачі. Основними є принципи:

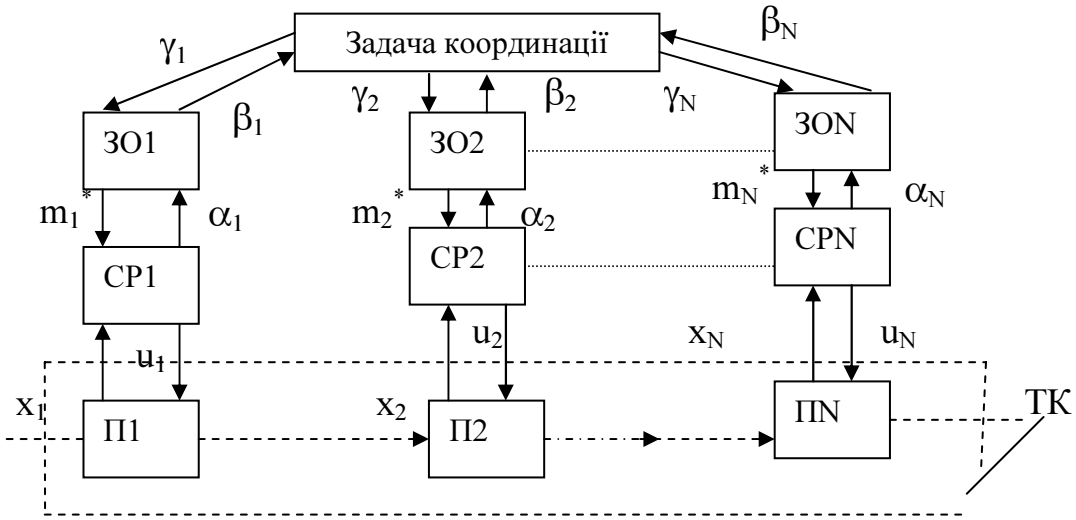
- прогнозування взаємодій, коли координація здійснюється шляхом задання змінних взаємодії координуємих підсистем (це відповідає проміжним завданням);
- узгодження взаємодій, який предбачає модифікацію локальних функцій мети за допомогою параметрів, які задаються координатором (це відповідає проміжним цінам);
- оцінки взаємодій, який можна розглядати як узагальнення принципу прогнозування взаємодій на випадок, коли в підзадачах нижнього рівня координатором задаються області допустимих значень змінних взаємодії підсистем

Складна система управління складається з різноманітних елементів - керуючих центрів, які виникають у результаті горизонтального та вертикального розподілу функцій. В багаторівневих ієрархічних системах управління задачі узгодження та

© А.П. Ладанюк, Д.А. Шумигай, Р.О. Бойко, 2012

координації рішень приймаються на всіх рівнях керування.

Найбільш відома дворівнева структура системи управління ТК має такий вигляд [3].



α_i – вектор агрегованих змінних для і-ої підсистеми; m_i^* - вектор управління (завдання змінних стану), визначений в і-й задачі оптимізації; γ_i – параметр координації; β_1- вектор інформації про оптимізацію і-тої підсистеми; ЗО - задача оптимізації; СР- система регулювання, П – підсистема ТК; x_i – координати стану або вихідні змінні; u_i – управління

Рисунок 1 – Структура системи управління ТК

Зважаючи на складність ТК цукрового заводу, доцільно розглядати розширену дворівневу задачу координації, де вирішується загальна або глобальна задача на рівні підсистем і локальна або внутрішня – координація на рівні окремої підсистеми.

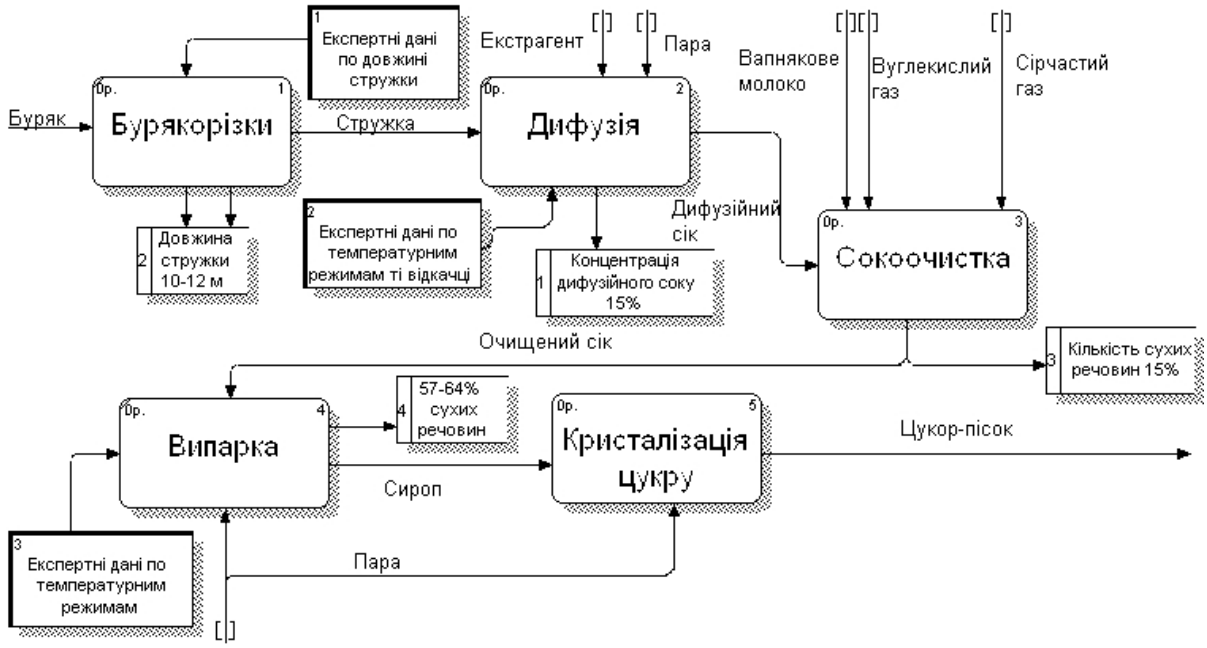


Рисунок 2 - Структура ТК цукрового заводу

На рис. 2 за допомогою Data Flow Diagram (DFD) відображено складну ієрархічну структуру ТК цукрового заводу, для якого задачу глобальної координації слід

розглядати як узгодження дії основних відділень (дифузійного, сокоочистного, випарного), а задачу локальної координації – узгодження дій на відповідних відділеннях. Наприклад, на відділенні сокоочистки підсистемами узгодження для вирішення задачі локальної координації є переддефекація, дефекація, I,II сатурація, сульфітація, причому кожний з цих процесів має свою задачу оптимізації.

Для постановки задачі координації необхідно провести аналіз досліджуваного ТК (наприклад, за допомогою DFD), виділити підсистеми, сформувати комплекс на основі виділених підсистем. Для розв'язання задачі координації складних об'єктів, насамперед технологічних комплексів (ТК), зажди виникає задача оцінки їх стану, що викликано неперервною зміною як зовнішнього середовища, так і параметрів об'єкта. Таким чином, об'єкти керування є динамічними, для опису їх стану використовуються динамічні моделі – як детерміновані, так і стохастичні. Методи аналізу динаміки складних динамічних об'єктів включають: детерміновані, статистичні, ймовірнісні, логічні, нечіткі та нейромережеві моделі [4].

Особлива увага приділяється отриманню та обробці знань, які відносяться до так званих нефакторів, тобто з невизначеністю, неточністю, нечіткістю[5]. Такі знання подаються кортежем [6]:

$$З_{не} = (З_1, З_2, З_3), \tag{1}$$

для яких використовуються комбіновані методи їх отримання від експертів, з проблемно-орієнтованих текстів на природній мові та з баз даних. Нечіткі знання з невизначеністю $З_1$ отримують на основі процедур, які передбачають визначення коефіцієнтів достовірності в інтервалах [0,1]і можуть мати межі [a;b]з [0,1]. Для умов цукрового заводу до таких знань відносяться: вміст цукру в буряках, вихід цукру на певному інтервалі часу, ціни на сировину, енергоносії та готову продукцію, тощо. До знань $З_2$ відносяться неточності, якими характеризуються числові величини, отримані насамперед з вимірювальних приладів певного класу точності. Це передусім технологічні змінні: температура, рівень, тиск, витрати тощо. Знання $З_3$ характеризуються лінгвістичними змінними з певними функціями належності та нечіткими лінгвістичними термами («високий», «низький», «середній»).

Відомим методом опису знань з невизначеністю є модель подання знань з коефіцієнтами невизначеності, які відповідають твердженням, що входять в посилання та наслідки правил для відображення закономірностей у проблемній області. Наприклад, використовуються методи Байєса та Демпстера-Шейфера, коли значенням параметрів приписується один коефіцієнт невизначеності.

Метод Демпстера-Шейфера застосовується, коли в результаті процедури $З_1$ значенням змінних або фактам приписується інтервал, тобто два коефіцієнта невизначеності (впевненість n та можливість p). Тоді об'єднаний інтервал невизначеності твердження H на основі двох правил $E_1 \to H$ та $E_2 \to H$, який дає оцінки $[n_1, p_1]$та $[n_2, p_2]$, має межі [6]:

$$n = \frac{n_1 p_2 + n_2 p_1 - n_1 n_2}{1 - n_1(1 - p_2) - n_2(1 - p_1)}; p = \frac{p_1 p_2}{1 - (1 - p_2) - n_2(1 - p_1)}. \tag{2}$$

В методі Демпстера-Шейфера коефіцієнти впевненості та можливості трактуються виключно як суб'єктивні оцінки експерта і обидві оцінки можуть приймати значення «одиниця» для достовірних тверджень, тобто не потрібно в базу знань крім правил заносити інформацію щодо апріорних ймовірностей подій.

При отриманні неточних даних від датчиків та вимірювальних приладів, неточність числового значення оцінюється коефіцієнтом в інтервалі [0;1], а результати розрахунку

визначають за формулами для абсолютних похибок на основі диференціала складної функції $z = f(x, y)$:

$$\Delta f(x,y) = \left|\frac{\partial f(x,y)}{\partial x}\right|\Delta x + \frac{\partial f(x,y)}{\partial x}\Delta y, \qquad (3)$$

$$\varepsilon(x,y) = \frac{\Delta f(x,y)}{f(x,y)}.$$

Нарешті, для знань $З_3$ головною задачею є визначення функцій належності нечітких лінгвістичних термів та їх опис. Для конкретної проблемної області доцільно створити словник природно-мовних термінів, які часто використовуються в даній системі, наприклад оцінки кількісних величин. Функції належності подаються кусково-лінійними залежностями у вигляді множини пар точок $(x_i, \mu(x_i)), i = \{1,...n\}, x_i$ – елемент нечіткої множини; μ - функція належності. В базі знань значення функції належності $\mu = 0$ трактується як неправдиве; $\mu = 1$ – істина, $\mu = 0{,}5$ – повна невизначеність.

В технічній літературі для визначення множини станів функціонування динамічного об'єкта використовують різні підходи: підмножина фазового простору з певними властивостями (обмеженнями); сегмент часового ряду; узагальнений опис особливостей фазової траєкторії [7]. Таким чином, розпізнавання станів складного динамічного об'єкта потребує використання сучасних методів, насамперед, розробки інтелектуальних інформаційних моделей на основі інформації у вигляді часового ряду, який може бути нестаціонарним з нелінійним трендом.

Для кожної підсистеми формується функція мети $\varphi_i(U_i, X_i)$, де U_i – управлінські дії, X_i – координати стану (вихідні змінні) відповідних підсистем. Для знаходження функції мети потрібно знати відповідні управлінські дії і координати стану об'єкта. Оцінку стану складного динамічного об'єкта можна зробити на основі аналізу часових рядів – статистичних оцінок та випадкових сигналів. Випадковий процес задається у вигляді, який характеризує стан об'єкта:

$$\{X, Y\} = \{X(t), Y(t), t_1 \le t \le t_2\}, Y(t) = f(x(t), \zeta(t)), \qquad (4)$$

де X – вектор змінних стану об'єкта, який не спостерігається;

$Y(t)$ – випадкова векторна функція, яка спостерігається (може бути $Y(t) = X(t)$);

$\zeta(t)$ – шум (перешкода) достатньо загальної природи з обмеженою дисперсією.

Приймається, що часовий фрагмент реалізації випадкового процесу може знаходитись в одній із заданих експертом або за навчальною вибіркою областей (класів) $\Omega_1, i = \overline{1, I}$.

При цьому виділено $I > 1$ альтернативних гіпотез $\Omega = \{\Omega_1, \Omega_2, ..., \Omega_i\}$, які характеризують повну групу подій та інтерпретуються як класи станів об'єкта. На реальному об'єкті або його моделі спостерігається випадковий процес у дискретні моменти часу, $t \in \{t_0, t_1, ..., t_N\}, t_j = t_0 = j\Delta; j = \overline{0, N}$. Δ - інтервал дискретизації, $\Delta > 0$.

Тоді значення реалізації $Y(t)$ на інтервалі $[t_1, t_2]$, відноситься до класу $\Omega_1, i = \overline{1, I}$.

Для визначення стану об'єкта доцільно використовувати контрольні карти, оскільки їх аналіз інтерпретується як:

- сигнал про те, що в процесі відбулися деякі зміни;
- в якості оцінки величини зміни, для усунення якої необхідна коригувальна дія;

– для визначення оцінок числа подібних випадків в минулому і визначення на їх основі причин, що викликали ці зміни;

– як міра якості продукції для класифікації по періодам [8].

Наприклад, для процесу екстрагування функція мети має вигляд [9]:

$$FE = Ц_0 \cdot G_{стр}(CX_0 - П_{ж} - П_{фр} - \frac{CX_0(G_{св} - G_{стр})}{G_{стр}}) - 3.047 G_{стр} HCX -$$

$$- G_{св} Ц_{со} + 0.0217 G_c CB_c - 0.24 G_c G_{из} - 1.689 \cdot pH \cdot G_{стр}, \quad (5)$$

де $Ц_0$ - ціна цукру (оптова), крб/т;

$G_{стр}$ - витрати стружки, т/год; $G_{стр}$ = 104 - 130; CX_0 - вміст цукру в стружці, %;

CX_0 = 14 - 20;$П_{ж}$ - втрати цукру в жомі, %;

$П_{ж}$ = 0.3 - 0.6;

$П_{фр}$ - втрати цукру від ферментації та мікробіологічного розкладання, %; $П_{фр}$ = 0.05 - 2.5;

$G_{св}$ - витрата буряків, т/год; $G_{св}$ = 125;

HCX - вміст несахарів в соці, %;

HCX = 2 -8; $Ц_{св}$ - закупочна ціна буряків, крб/т;

$Св_c$ - вміст сухих речовин в соці, %; $Св_c$ = 6 - 16;

$G_{из}$ - витрата вапна, %; $G_{из}$ = 1.5 - 5.0;

pH - pH в характерній точці апарата, од.pH; pH = 5.8 - 6.6;

G_c - витрата дифузійного соку, т/год; G_c = 137 - 175.

Тоді загальну задачу оптимального управління ТК як комплексом підсистем запишемо у вигляді адитивної згортки:

$$\max(\sum \varphi_i(U_i, X_i)) = \max \varphi(U, X), \quad (6)$$

$$\{U_i, X_i\}, i = \overline{1, N},$$

де N – кількість підсистем.

Загальна задача оптимального управління ТК може приймати й інший вигляд в залежності від вибору глобального критерію. Найчастіше в якості глобальних критеріїв застосовуються - адитивні, мультиплікативні і мінімаксні критерії.

Адитивний глобальний критерій якості визначається таким чином :

$$F(x,u) = \sum_{j=1}^{N} L_j f_j(x,u), \quad (7)$$

де N - кількість критеріїв ефективності підсистем

$$0 < L_j < 1 \text{ і } \sum_{j=1}^{N} L_j = 1. \quad (8)$$

Вагові коефіцієнти L для критеріїв підсистем підбираються суб'єктивно, на основі експертних оцінок.

Мультиплікативний глобальний критерій має вигляд

$$F(x,u) = \sqrt[N]{\prod_{j=1}^{N} L_j f_j(x,u)}, \quad (9)$$

а мінімаксний

$$F(x,u) = \min \max(f_1(x,u),..., f_N(x,u)). \quad (10)$$

Основні принципи координації - це взаємозв'язок і одночасність, ієрархічна підпорядкованість, узгодження, збалансованість, рівновага, резервування, єдність команд і дій, загальна ціль.

Для ефективного функціонування системи управління ТК важливими є умови координуємості та сумісності підзадач управління. Ці умови гарантують розв’язання

загальної задачі, якщо існує розв'язок кожної з підзадач. В загальному випадку постулат сумісності для двохрівневої системи управління формується так: підзадачі системи сумісні, якщо реалізація рішень підзадач нижнього рівня завжди забезпечує досягнення загальної мети функціонування системи.

Якщо припустити, що існує розв'язок загальної задачі управління ТК, то існують і розв'язки підзадач оптимального управління підсистем та координації їх роботи.

Ще однією умовою є коректність загальної задачі та підзадач управління в ієрархічній системі.

Задача управління розв`язується багатократно в реальному масштабі часу, тому вирішальними є такі вимоги: висока ймовірність (частота) знаходження глобального оптимуму при оптимізації підсистем; висока швидкість збіжності до оптимального рішення; можливість починати роботу з точок, які лежать поза межами допустимої області.

Для пошуку оптимального рішення при визначенні режимів роботи підсистем рекомендуються модифікований метод Бокса та симплексний метод Нелдера-Міда, для знаходження глобального критерія - метод приведеного градієнта [6].

Результати та висновки

Для досягнення кращих показників ефективності функціонування складних технологічних комплексів варто розглядати ТК як сукупність підсистем, які мають свої задачі оптимізації, а на верхньому рівні вирішувати задачу координації (узгодження взаємодії) підсистем.

На відміну від існуючого підходу нами показано, що для спрощення задачі управління ТК неперервного типу доцільно застосовувати розглянуті двохрівневі алгоритми координації, де глобальна координації – узгодження взаємодії між підсистемами, локальна координація – узгодження взаємодії в підсистемах.

Список літератури

1. Шумигай, Д. А. Алгоритми координації підсистем технологічних комплексів з використанням еталонних моделей / Д. А. Шумигай, А. П. Ладанюк // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2010. – № 6/3 (48). – С. 24.
2. Месарович, М. Общая теория систем и ее математические основы / М.Месарович. – М.: Прогресс, 1969. – С. 165-180.
3. Ладанюк, А. П. Основи системного аналізу: навчальний посібник / А. П. Ладанюк. – Вінниця: Нова книга, 2004. – 176 с.
4. Афанасьев В.Н. Аналіз временних рядов и прогнозирование / В.Н. Афанасьев, М.М. Юзбашев – М.: Финансы и статистика.
5. Рыбина Г.В. Автоматизированное построение баз знаний для интегрированных экспертных систем / Г.В. Рыбина // В кн.: Известия РАН. Теория и системы управления. 1998, №5, С. 152–166.
6. Душкин Р.В. Об одном подходе к автоматизированному извлечению, представлению и обработке знаний с НЕ-факторами / Р.В. Душкин, Г.В. Рыбина // В кн.: Известия РАН. Теория и системы управления. 1998, №5, С. 34–44.
7. Колесникова С.И. Выявление закономерностей во временних рядах при распознавании состояний сложных объектов управления. / С.И. Колесникова // Приборы и системы. Управление, контроль, діагностика, 2010,№5, С.66 – 71
8. Статистический контроль. Контрольні карти Шухарта (ISO 8258:1991, IDT): ДСТУ ISO 8258-2001. / М. Шарапов (пер. і наук.-техн.ред.). - К. : Держспоживстандарт України, 2003. - V, 32 с. – (Національний стандарт України).
9. Ладанюк, О.А. Автоматизированное управление взаимосвязанными подсистемами технологических комплексов пищевых производств: дисертаційна робота на здобуття наукового ступеню канд. техн. наук / О.А. Ладанюк. – К., 1996. – 176 с.

А. Ладанюк, Д.Шумигай, Р.Бойко

Системная задача координации в технологических комплексах непрерывного типа

В статье рассматривается подход к постановке расширенной задачи координации в технологических комплексах непрерывного типа. В частности рассматривается сложный технологический комплекс сахарного завода. Описаны основные особенности решения поставленной задачи координации.

A.Ladanuk, D. Shumigay, R.Boyko

System task of co-ordination in the technological complexes of continuous type

The paper considers an approach to setting the extended task of the coordination in technological complex of continuous type. In particular technological complex of sugar factory is considered. The main features of the solution of the coordination problem are described.

Одержано 19.03.12

УДК 621.311.153

К.Г. Петрова, асп., С.В. Серебренніков, доц., канд. техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет

Управління добовими графіками електричного навантаження промислових споживачів техніко-технологічними методами

Наведено результати досліджень із застосування техніко-технологічних методів регулювання режиму електроспоживання промислових споживачів у часі. Доведено ефективність комплексного використання пріоритетно-крокового методу і методів сітьового планування та управління при вирівнюванні добових графіків електричних навантажень.

режим електроспоживання, методи регулювання, рівні електроенергетичної системи, промислові споживачі, технологічний процес

Вступ. Характерною особливістю добового графіка навантаження об'єднаної енергосистеми (ОЕС) є наявність двох піків: ранкового та вечірнього, а також значне зниження навантаження в нічні години, причому коливання між максимальним та мінімальним значеннями потужності складає 15…30 % [1].

Вирівнювання графіків електронавантаження (ГЕН) сприяє підтриманню балансу електроенергії (ЕЕ), скороченню кількості маневрових електростанцій, заощадженню паливно-енергетичних ресурсів, зменшенню втрат ЕЕ та підвищенню її якості тощо.

Тому, вельми актуальним є дослідження методів і засобів цілеспрямованого регулювання режиму електроспоживання на всіх рівнях елекроенергетичної системи – від окремої операції технологічного процесу до ОЕС в цілому.

Аналіз досліджень та публікацій. Питання вирівнювання добових та річних ГЕН почали розглядатись з 30-х років минулого сторіччя [2]. Серйозні результати у формуванні ефективних режимів електроспоживання гірничовидобувних та збагачувальних підприємств отримано у [3]. У роботах [4-6] досліджується вплив технологічних та виробничих факторів на енергоспоживання гірничо-металургійних

© К.Г. Петрова, С.В. Серебренніков, 2012

В статье рассматривается подход к постановке расширенной задачи координации в технологических комплексах непрерывного типа. В частности рассматривается сложный технологический комплекс сахарного завода. Описаны основные особенности решения поставленной задачи координации.

A.Ladanuk, D. Shumigay, R.Boyko

System task of co-ordination in the technological complexes of continuous type

The paper considers an approach to setting the extended task of the coordination in technological complex of continuous type. In particular technological complex of sugar factory is considered. The main features of the solution of the coordination problem are described.

Одержано 19.03.12

УДК 621.311.153

К.Г. Петрова, асп., С.В. Серебренніков, доц., канд. техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет

Управління добовими графіками електричного навантаження промислових споживачів техніко-технологічними методами

Наведено результати досліджень із застосування техніко-технологічних методів регулювання режиму електроспоживання промислових споживачів у часі. Доведено ефективність комплексного використання пріоритетно-крокового методу і методів сітьового планування та управління при вирівнюванні добових графіків електричних навантажень.

режим електроспоживання, методи регулювання, рівні електроенергетичної системи, промислові споживачі, технологічний процес

Вступ. Характерною особливістю добового графіка навантаження об'єднаної енергосистеми (ОЕС) є наявність двох піків: ранкового та вечірнього, а також значне зниження навантаження в нічні години, причому коливання між максимальним та мінімальним значеннями потужності складає 15…30 % [1].

Вирівнювання графіків електронавантаження (ГЕН) сприяє підтриманню балансу електроенергії (ЕЕ), скороченню кількості маневрових електростанцій, заощадженню паливно-енергетичних ресурсів, зменшенню втрат ЕЕ та підвищенню її якості тощо.

Тому, вельми актуальним є дослідження методів і засобів цілеспрямованого регулювання режиму електроспоживання на всіх рівнях елекроенергетичної системи – від окремої операції технологічного процесу до ОЕС в цілому.

Аналіз досліджень та публікацій. Питання вирівнювання добових та річних ГЕН почали розглядатись з 30-х років минулого сторіччя [2]. Серйозні результати у формуванні ефективних режимів електроспоживання гірничовидобувних та збагачувальних підприємств отримано у [3]. У роботах [4-6] досліджується вплив технологічних та виробничих факторів на енергоспоживання гірничо-металургійних

© К.Г. Петрова, С.В. Серебренніков, 2012

комплексів. Регулювання електроспоживання залізничним транспортом за рахунок використання обладнання споживачів-регуляторів здійснюється у [7]. Основним недоліком перелічених досліджень за даною тематикою є їх зосередженість тільки на одній досить специфічній галузі і, як наслідок, відсутність інструментарію комплексного впливу на всі групи споживачів.

У [8] окреслюється шість незалежних способів зменшення електричних навантажень у пікові години; проте означені підходи найбільш прийнятні лише для промислових споживачів (ПС), а інші суб'єкти електроенергетичного ринку не розглядаються.

Вперше автори [9] намагаються розробити універсальну методику для керування режимами електроспоживання ПС з використанням ресурсу технологічного процесу (ТП) шляхом побудови концептуальної моделі електроспоживання узагальненого ТП. Такий підхід дозволяє визначити умови перерозподілу потужності електроспоживання на інтервалі часу технологічного циклу та, за допомогою функції щільності розподілу енергії, встановити відповідність між параметрами процесу електроспоживання, фазовим станом та швидкістю його зміни в точці фазової траєкторії. Водночас, в [9] зазначається, що запропоновані методи не можуть бути застосовані в певних галузях виробництва, так як «це спричинить погіршення якісних характеристик ТП» (до ТП, що допускають зміну швидкості реалізації, було віднесено лише електроліз, транспортування нафти з використанням регульованих електроприводів, подрібнення корисних копалин в технологічних млинах). Таким чином, запропоновані в [9] підходи не є достатньо універсальними.

У [10, 11] до регулювання, в основному, залучаються споживачі допоміжного виробництва, зміна режиму роботи котрих мало впливає на функціонування основного ТП, а обрані таким чином споживачі-регулятори не мають достатньої потужності для суттєвого впливу на загальну нерівномірність ГЕН. Наприклад, згідно з [8], в таких галузях промисловості як лісова, деревообробна та целюлозно-паперова, хімічна, будівельних матеріалів, потужність, що може бути регульована таким способом, складає приблизно 30...38 % від максимально споживаної даними галузями потужності, в легкій та електротехнічній – від 10 %, у вугільній – приблизно 30 %.

Натомість, у [9] зазначається, що для підприємств машинобудівної, хімічної, целюлозно-паперової, текстильної промисловості електроспоживання ТП складає 60…80 % від загального електроспоживання, а для кольорової металургії електроємність ТП може становити й понад 80 %; при цьому не обґрунтовується, який саме відсоток піддається регулюванню.

Такі цифрові дані свідчать про доцільність залучення до регулювання не окремих споживачів-регуляторів з обмеженою потужністю, а виявлення можливостей управління за рахунок ресурсу, безпосередньо пов'язаного з основним виробництвом.

Тому, на часі, залишається вдосконалення та розробка простих інженерних методів, які дозволять знизити загальну нерівномірність (ГЕН) як окремих споживачів ЕЕ, так і ОЕС в цілому.

Для оцінювання ступеня вирівнювання режиму електроспоживання використовується ряд показників нерівномірності ГЕН [12], проте, як показали проведені у [13] дослідження, певні критерії вирівнювання в окремих ситуаціях вступають у протиріччя один з одним. А отже, доцільним є пошук нових узагальнених характеристичних параметрів, котрі однозначно реагуватимуть на будь-які зміни конфігурації ГЕН.

Метою роботи є дослідження можливостей застосування техніко-технологічних методів для управління режимами електроспоживання у часі як окремих промислових підприємств, так і галузей промисловості.

Матеріал і результати дослідження. Максимуми більшості ГЕН потужних промислових підприємств збігаються у часі з піковим навантаженням ОЕС. Такий характер ГЕН визначається біологічним ритмом людської діяльності та технологічним процесом виробництва. А отже, за принципом суперпозиції, вирівнювання ГЕН окремих споживачів призведе до вирівнювання результуючого графіку обласних енергокомпаній (ЕК) та ОЕС.

Електроенергетична система України є складною динамічною системою з певною впорядкованою ієрархічною структурою в якій виокремимо наступні рівні:
(1) виробнича операція → (2) технологічний процес → (3) промислове підприємство (окремий споживач з комерційним обліком ЕЕ) → (4) вузлова підстанція → (5) обласна ЕК → (6) електроенергетична система → (7) ОЕС.

За початковий рівень прийнято операцію (а не окремий потужний агрегат), оскільки саме вона інтегрує потужність, споживану електроустаткуванням, задіяним на відрізку часу, що розглядається. Операційна структурна одиниця є елементарною складовою ТП і дозволяє, варіюючи моменти стартів та фінішів, здійснювати пошук прихованих часових резервів з метою цілеспрямовано перерозподілу електронавантаження вздовж ТП при незмінному обсязі спожитої енергії.

Для ефективного управління та синхронізації процесу виробництва-споживання ЕЕ необхідно спрямовувати управляючі дії одночасно на всі структурні рівні електроенергетичної системи.

Загалом чинити регулюючий вплив на споживачів ЕЕ можна за допомогою таких важелів, як: техніко-технологічні, нормативні, організаційні, адміністративні, економічні, інформаційно-пропагандистські тощо. З метою визначення пріоритетності їхнього застосування необхідно дослідити селективну ефективність кожного з методів для певного рівня ієрархічної структури.

Розглянемо застосування техніко-технологічних методів для базових 1-5 рівнів.

Виокремимо дві групи методів регулювання: 1 – котрі ґрунтуються на адитивному зсуві ГЕН у часі (без зміни технологічного процесу (ТП)) та 2 – котрі пов’язані зі зміною ТП (з використанням технологічного ресурсу).

Регулювання зі зміною ТП потребує складних досліджень специфіки технологій, стадій, операцій, виявлення їх почерговості, тривалості, енергоємності, пріоритетності та ін. До того ж підприємства значно різняться за характером виробництва, режимами робочого дня, навантаженням, устаткуванням, а ТП постійно удосконалюються, що ускладнює застосування універсальних методів, безпосередньо пов’язаних з технологічним ресурсом.

Регулювання без зміни ТП не потребує спеціальних знань, а тому, ця група методів, вочевидь, є простішою в реалізації. Одним з таких методів є кореляційно-резонансний або так званий пріоритетно-кроковий метод (ПКМ) [2]. Даний метод заснований на теорії кореляції електричних навантажень, відповідно до якої зсуви між двома ГЕН вибираються часовими «кроками», а послідовність задається пріоритетним рядом екстремумів (мінімумів) взаємокореляційної функції (ВКФ):

– на першому кроці обирається зсув між парою графіків, котрі мають максимальне від’ємне значення ВКФ при цьому зсуві;

– на другому кроці обирається зсув між парою графіків, від’ємний екстремум котрих посідає друге місце в пріоритетному ряді і т.д.

У процесі вибору можливе коректування обраних зсувів, обумовлене необхідністю врахування технологічних обмежень.

Головною перевагою даного методу є його універсальність, оскільки він може бути застосований на будь-якому структурному рівні системи – від 2 до 6.

Для прикладу проведемо вирівнювання сумарного ГЕН підгалузі сільськогосподарського машинобудування обласної ЕК (5 рівень) шляхом взаємного зсуву його складових за викладеною в [13] методикою.

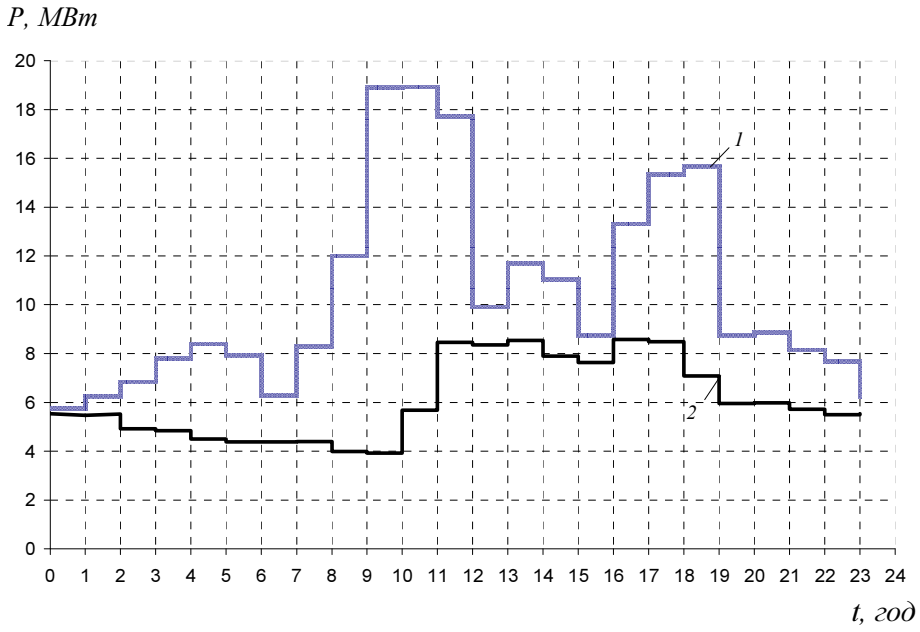


Рисунок 1 – Добові ГЕН виокремлених за потужністю ПС (1 – заводу «Червона Зірка», 2 – «Гідросили»)

Розглянемо ГЕН двох найбільш енергоємних споживачів в підгалузі сільськогосподарського машинобудування обласної ЕК – заводу «Червона Зірка» з середньодобовим значенням потужності 10,437 МВт, що складає 63,1 % від добової споживаної потужності всієї підгалузі (крива 1 на рис.1) та заводу «Гідросила» з потужністю 6,073 МВт, що становить відповідно 36,7 % (крива 2 на рис.1). Шляхом зсуву ГЕН цих двох галузей один відносно одного досягаємо зменшення нерівномірності сумарного графіку всієї підгалузі (при цьому загальне енергоспоживання залишається сталим). Вибір найкращого варіанту зсуву проводиться за критерієм мінімальних значень ВКФ (рис. 2) та дисперсії сумарного графіка, отриманого після зсуву [2].

ВКФ двох періодичних графіків визначався за формулою:

$$k(p_{RS}(\tau)) = \left[\frac{1}{t_Ц} \left(\int_0^{t_Ц - \tau} p_R(t) p_S(t+\tau) dt + \int_{t_Ц - \tau}^{t_Ц} p_R(t) p_S(t - t_Ц + \tau) dt \right) \right] - p_R p_S, \qquad (1)$$

де $\tau = t_{RS}$ – значення зсуву між першим та другим графіками, год;

$t_Ц$ – тривалість циклу (період), $t_Ц = 24$ год;

$p_R(t)$; $p_S(t)$ – потужність обох ГЕН у момент t, МВт;

p_R – середня потужність першого ГЕН, МВт;

p_S – середня потужність другого ГЕН, МВт.

Дисперсія Dp оцінює нерівномірність групового графіка, який складається із суми двох ГЕН, МВт^2:

$$Dp_\Sigma = Dp_1 + Dp_2 + 2k(p_{12}(\tau)), \qquad (2)$$

де Dp_1 – значення дисперсії першого графіка, МВт^2;

Dp_2 – значення дисперсії другого графіка, МВт^2.

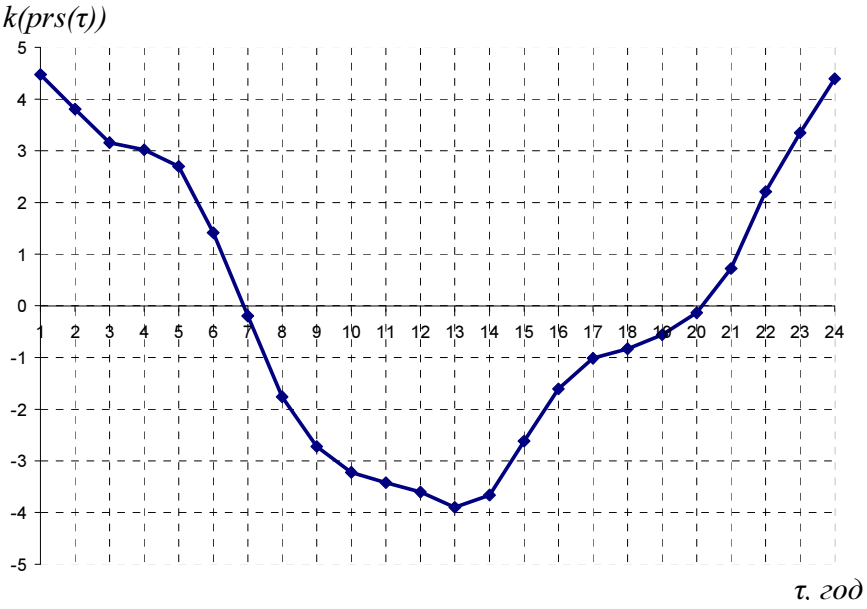


Рисунок 2 – Залежність ВКФ від взаємного погодинного зсуву $k(p_{RS}(\tau))$ ГЕН заводів «Гідросила» та «Червона Зірка»

Із розрахованої за (1) і наведеної на рис.2 кривої зміни ВКФ при погодинному зсуві ГЕН у межах τ=1…24 год видно, що мінімум ВКФ, а відповідно й дисперсії Dp_Σ, сумарного графіка підгалузі припадає на зсув у 13 годин другого графіка відносно першого (представлених на рис.1). Результуючий сумарний графік підгалузі с/г машинобудування при теоретично оптимальному зсуві показано на рис. 3 (крива 2).

Вочевидь, що на практиці неможливо настільки суттєво змінити режими роботи машинобудівних підприємств, тому раціонально дослідити більш реальні варіанти зміщень у межах -1…-2 год $\leq \tau \leq$ +1…+2 год (лівий і правий краї рис. 2; за додатній напрямок прийнято зсув праворуч).

З рис. 2 видно, що значення $k(p_{12}(1)) > k(p_{12}(23)) > k(p_{12}(2)) > k(p_{12}(22))$, тому обираємо найменший з можливих в цьому діапазоні ВКФ, а саме – при 22-годинному зсуві (що еквівалентний τ=-2). Результуючий сумарний графік підгалузі с/г машинобудування при практично досяжному зсуві його складових на τ=-2 год показано на рис. 3 (крива 2).

Порівняльний аналіз основних показників ГЕН до та після зсувів (табл. 2) свідчить, що шляхом зсуву ГЕН двох заводів один відносно одного досягається зменшення нерівномірності сумарного графіку всієї підгалузі (при цьому загальне енергоспоживання залишається незмінним).

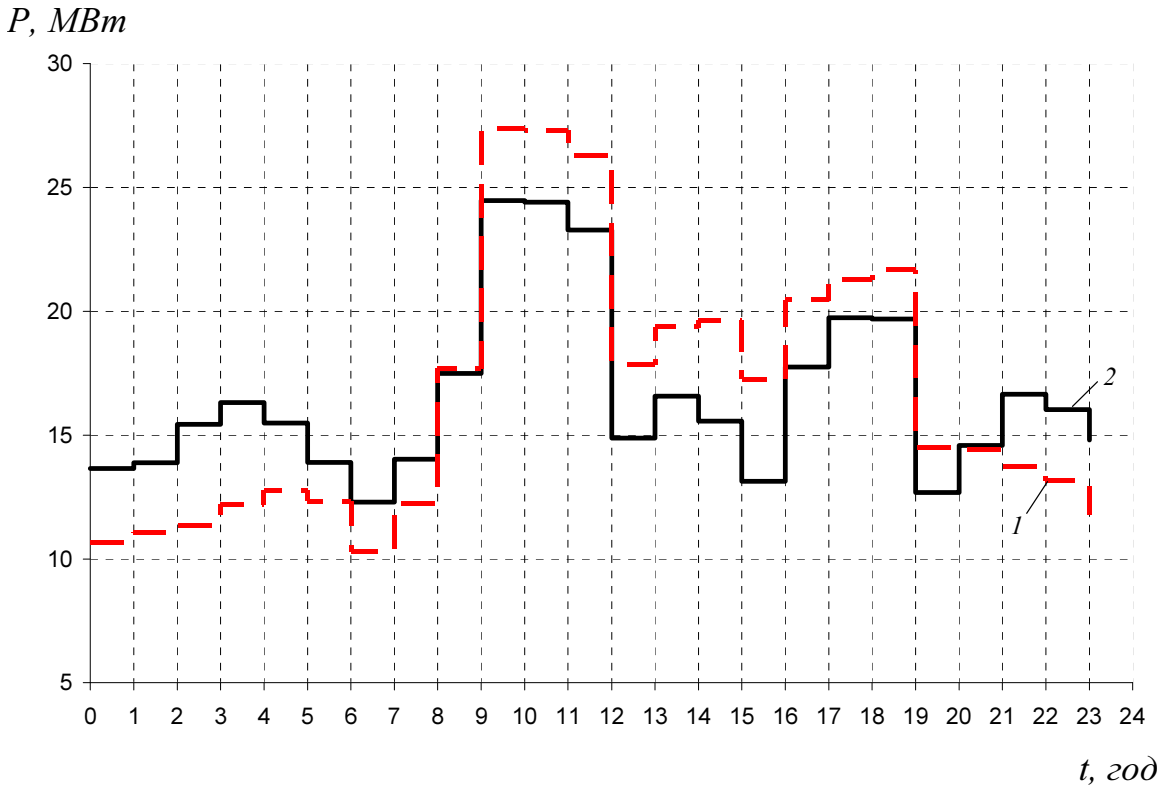


Рисунок 3 – Результуючий сумарний графік підгалузі с/г машинобудування (1 - до зсуву; 2 - оптимальний зсув на 13 год)

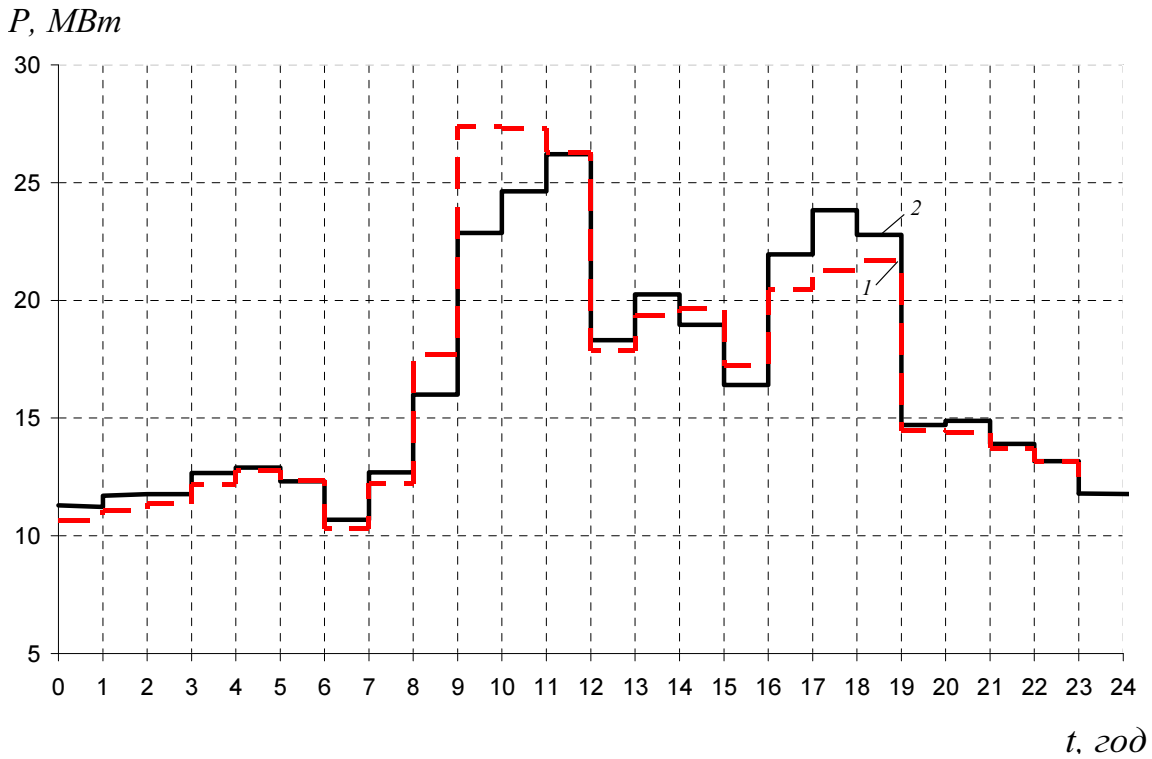


Рисунок 4 – ГЕН підгалузі сільськогосподарського машинобудування до (1) та після зсуву на -2 год (2)

Таблиця 1 – Порівняння основних показників ГЕН до та після зсувів

№ з/п	Варіанти зсуву	Основні показники [12] графіків навантажень					
		$K_{ЗГ}$	K_M	$K_{НР}$	$K_Ф$	Dp	σ_p
1	До зсуву	0,6034	1,6574	0,3761	1,0494	28,8555	5,3717
2	Теоретично оптимальний зсув	0,6754	1,4806	0,5022	1,0210	12,1276	3,4825
3	Практично можливий зсув	0,6834	1,4633	0,4428	1,0365	21,1900	4,6033

З порівняння показників ГЕН (табл. 1) та графіків на рис. 3, 4 видно, що режим електроспоживання після зсуву за обома варіантами значно покращився. Зокрема, при реалізації практично досяжного зсуву:

- $K_{ЗГ}$ збільшився з 0,6034 до 0,6834, а отже, і загальна нерівномірність, котру він характеризує зменшилась (для рівномірного ГЕН $K_{ЗГ} \to 1$);

- K_M зменшився з 1,6574 до 1,4633, що говорить про зменшення нерівномірності графіку в окремих точках, у даному випадку – це відсутність яскраво виражених ранішніх піків о 9-11 год;

- $K_{НР}$ збільшився з 0,3761 до 0,4428, тобто зменшилась різниця між P_{MIN} та P_{MAX} (розмах графіку).

Вочевидь, кращих результатів при застосуванні ПКМ можна було б досягти після попереднього вирівнювання ГЕН обох ПС за рахунок використання їх технологічного ресурсу.

Одним з таких підходів є використання методів сітьового планування та управління (СПУ) [14]. Розглянемо застосування методів СПУ на прикладі вирівнювання добового електроспоживання інструментального цеху «Червоної Зірки», схема сітьової моделі ТП якого має розгалужену структуру, що включає паралельні стадії та цикли і допускає зміну щільності розподілу енергії вздовж ТП. Використання методів СПУ дозволило виявити наявні резерви часу в основному ТП та реалізувати локальні зміщення певних операцій в середині технологічного циклу, без впливу на швидкість та якість перебігу інших операцій і ТП в цілому. Перерозподіл моментів стартів та фінішів виробничих операцій виконувався за критерієм зменшення нерівномірності режиму електроспоживання та мінімізації оплати споживаної ЕЕ за диференційованим тарифом.

Результати вирівнювання для інструментального цеху «Червоної Зірки» наведені на рис.5 (крива 2), а характеристичні показники нерівномірності ГЕН зведені до табл.2.

Таблиця 2 - Порівняння показників нерівномірності ГЕН інструментального цеху до та після регулювання режиму електроспоживання методами СПУ

Варіанти режиму електроспоживання	Основні показники нерівномірності ГЕН				
	$K_{ЗГ}$	K_M	$K_{НР}$	$K_Ф$	Dp
Вихідний	0,52355	1,91003	0,2038	1,10077	0,3166
Після регулювання	0,5995	1,66819	0,2333	1,07121	0,2206

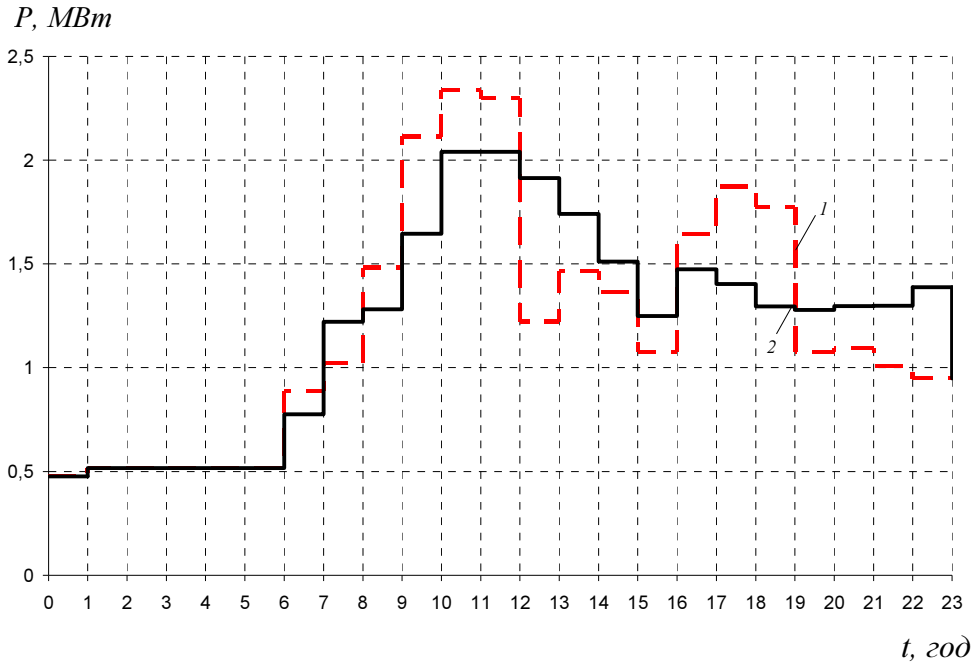


Рисунок 5 – Графік добового режиму електроспоживання інструментального цеху заводу «Червона Зірка» (1 – до регулювання, 2 – після регулювання методами СПУ)

Послідовно провівши подібне регулювання для всіх ТП і цехів заводів «Червона Зірка» та «Гідросила» можна спочатку вирівняти їхні ГЕН по окремо, а після цього, застосувавши ПКМ, – і сумарний ГЕН підгалузі сільськогосподарського машинобудування, що зрештою відповідним чином вплине на ГЕН всіх інших рівнів ієрархічної структури електроенергетичної системи України.

Висновки:

1. Диференціація електроенергетичної системи на структурні рівні та селекція методів і засобів за ступенем їх впливу на ГЕН для кожного рівня дозволяє суттєво покращити режими електроспоживання та полегшити забезпечення перманентного балансу на електроенергетичному ринку.
2. Регулювання режиму електроспоживання ПКМ за критерієм мінімуму взаємокореляційної функції та дисперсії показало, що теоретично оптимальний з точки зору найбільшого вирівнювання сумарного ГЕН зсув його складових становить занадто велике значення – 13 год. Тому вибір найбільш прийнятного варіанту зсуву в реальних межах слід здійснювати за експертною оцінкою всього комплексу показників вирівнювання.
3. Використання методів СПУ для управління режимом електроспоживання ПС за рахунок технологічного ресурсу, безпосередньо пов’язаного з основним виробництвом, дозволяє просто і наочно аналізувати можливість проведення локальних зміщень певних операцій у межах технологічного циклу, регулюючи таким чином щільність розподілу енергії вздовж ТП.
4. Розглянуті методи управління добовими графіками електричного навантаження, апробовані на 1-3 рівнях ієрархічної структури, цілком можуть бути застосовані і для решти рівнів 4-6.
5. Подальшого підвищення ступеня вирівнювання режиму електроспоживання ЕК і ОЕС можна досягти за рахунок поширення розглянутих методів регулювання на ПС інших галузей, варіювання швидкості перебігу певних операцій і стадій ТП, а також комплексного використання всіх наявних методів і важелів.

Список літератури

1. http://www.ukrenergo.energy.gov.ua/
2. Гордеев В.И. Регулирование максимума нагрузки промышленных электрических сетей / В.И. Гордеев. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 184 с.
3. Праховник А. В. Управление электрической нагрузкой предприятий / А. В.Праховник, П. Я. Экель, В. П. Калинчик // Общие вопросы энергетики и энергосбережения – К. : ИПЭ АН УССР. – 1991. – С. 97–105.
4. Синчук О. М. Оптимізація управління процесами енергоспоживання збагачувальних фабрик гірничо-металургійних комплексів / О. М. Синчук, В.О. Удовенко // Технічна електродинаміка. - К. : Силова електроніка та енергоефективність. - 2002 – Ч. 3. - С. 72-75.
5. Шеметов А.Н. Моделирование электропотребления при агломерации железных руд с использованием методов нечеткой идентификации / А.Н. Шеметов. – М., 2002. -9 с. Деп. в ВИНИТИ 28.05.02, № 944 - В 2002.
6. Калінчик В.П. Структура системи моніторингу та управління електроспоживанням дробильно-помольного комплексу / В.П. Калінчик, О.В. Мейта. – К. : 2009. - 6 с. - Деп. в ДНТБ України 07.12.09, № 97-Ук2009.
7. Мухамбетов С.Б. Управление режимом электропотребления предприятий железнодорожного транспорта / С.Б. Мухамбетов // Современные информационные технологии в научных исследованиях, образовании и управлении: Сб. науч. трудов СФ. - Саратов: СГТУ, – 2005 – С. 85-88.
8. Дикмаров С.В. Регулирование мощности при производстве и потреблении электроэнергии / С.В. Дикмаров, Г.Г.Садовский. – К.: Техніка, 1981. – 126 с.
9. Розен В.П. Використання внутрішніх резервів технологічних процесів при керуванні режимами електроспоживання промислових підприємств / В.П. Розен, М.В. Прокопець // Автоматизація виробничих процесів: Всеукр. наук.-техн. журн. – 2006. – №1(22). – С.26-30.
10. Калінчик В. П. Комплексне управління електричним навантаженням виробничих споживачів / В. П. Калінчик // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 1999. – №1. – С. 37–41.
11. Праховник А. В. Вирівнювання графіків електричних потужностей енергосистем за допомогою споживачів-регуляторів дискретної дії / А. В Праховник, В. П. Розен, В. Є. Майстренко // Математичне моделювання в електротехніці й електроенергетиці: І міжнар. наук.-техн. конф., 19–22 вер. 1995. : тези доп. – Львів, 1995. – С. 269–270.
12. Петрова К.Г. Порівняльний аналіз типових та реальних добових графіків електричних навантажень промислових споживачів / К.Г. Петрова // Наукові записки КНТУ.– Вип.11, Ч. І.– Кіровоград: КНТУ, 2011. – С. 274–278.
13. Серебренніков С.В., Петрова К.Г. Регулювання режимів електроспоживання у часі із застосуванням пріоритетно-крокового методу / С.В.Серебренніков К.Г. Петрова // Енергетика та енергетичні системи. Зб. наук. пр. X Міжнарод. НТК мол. учених і спец. у м. Кременчук, 28–29 березня 2012 р. – Кременчук: КрНУ, 2012. – у друці.
14. Петрова К. Регулювання режимів електроспоживання промислових підприємств з використанням технологічного ресурсу / К. Петрова // Енергетика та системи керування: Матер. III Міжнарод. конф. мол. вчених EPECS-2011. – Львів: Вид. Львівської політехніки, 2011. – С.100 – 103.

Е. Петрова, С. Серебренников

Управление суточными графиками электрической нагрузки промышленных потребителей технико-технологическими методами

Приведены результаты исследований по применению технико-технологических методов регулирования режима электропотребления промышленных потребителей во времени. Доказана эффективность комплексного использования приоритетно-шагового метода, методов сетевого планирования и управления при выравнивании суточных графиков электрических нагрузок.

K. Petrova, S.Serebrennikov

Control of daily schedules of electric loads industrials consumer with the use of technical-technological methods

Presented the results of studies on the application of technical- technological methods of regulation mode power consumption of industrial consumers in time. Proved the efficiency of an integrated priority-step method and methods of network planning and management in control of daily schedules of electric loads.

Одержано 19.03.12

УДК 535.232+52-323.2

Т. Г. Сабірзянов, проф., д-р техн. наук, О. І. Сіріков, доц., канд. техн. наук,
М. В. Кубкін, асист., В. П. Солдатенко, асист.
Кіровоградський національний технічний університет

Алгоритм визначення густини потоку сонячного випромінювання на довільно-орієнтовану поверхню

В статті шляхом використання методів сферичної астрономії та векторного аналізу для визначення погодинного надходження енергії від Сонця був отриманий аналітичний вираз знаходження горизонтальних координат Сонця за значеннями дня року та часу доби а також отримана зручна аналітична залежність кута падіння сонячних променів на довільно орієнтовану світлосприймаючу поверхню в функції часу доби, дня року та орієнтації поверхні; розроблено алгоритм розрахунку погодинної орієнтації світлосприймаючої поверхні для систем слідкування за Сонцем.
координати Сонця, сонячна радіація, густина потоку сонячного випромінювання, HDKR-модель

В даний час все ширше застосовуються установки, які перетворюють енергію Сонця в електричну або теплову. Тому виникає необхідність інженерного розрахунку систем із перетворювачами сонячної енергії. Як відомо надходження енергії від Сонця відносно постійне у часі, але на нього впливають багато факторів, як то стан атмосфери, нахил світло сприймаючої поверхні, пора року і час дня.

Іще 20-30 років тому велись активні спостереження за випромінюванням Сонця розширеною мережею метеостанцій. Усі дані збирались, оброблялись та систематизувались [1, 2]. Проте зараз такі спостереження ведуться лише кількома великими метеостанціями. Відтак при проектуванні енергетичних систем з сонячними установками виникають певні труднощі з оцінкою енергії, що надходить на їх поверхню [3].

Метою статті є розробка зручного способу визначення положення Сонця для будь-якого часу доби та створення алгоритму визначення густини потоку сонячного випромінювання на похилу поверхню.

Кількість сонячної радіації, яка потрапляє на приймаючу поверхню (фотоелектричну батарею, сонячний колектор тощо) залежить від положення Сонця відносно цієї поверхні. Положення Сонця відносно нерухомого спостерігача на поверхні Землі визначається двома горизонтальними координатами: азимутом та висотою (рис. 1, *а*).

Азимут Сонця $A_{\odot}$ — це кут між напрямком на північ та горизонтальною проекцією напрямку на Сонце. Може приймати значення від 0° до 360°.

Висота Сонця $h_{\odot}$ — це кут між горизонтальною площиною та напрямком на Сонце, приймає значення від –180º до 180º.

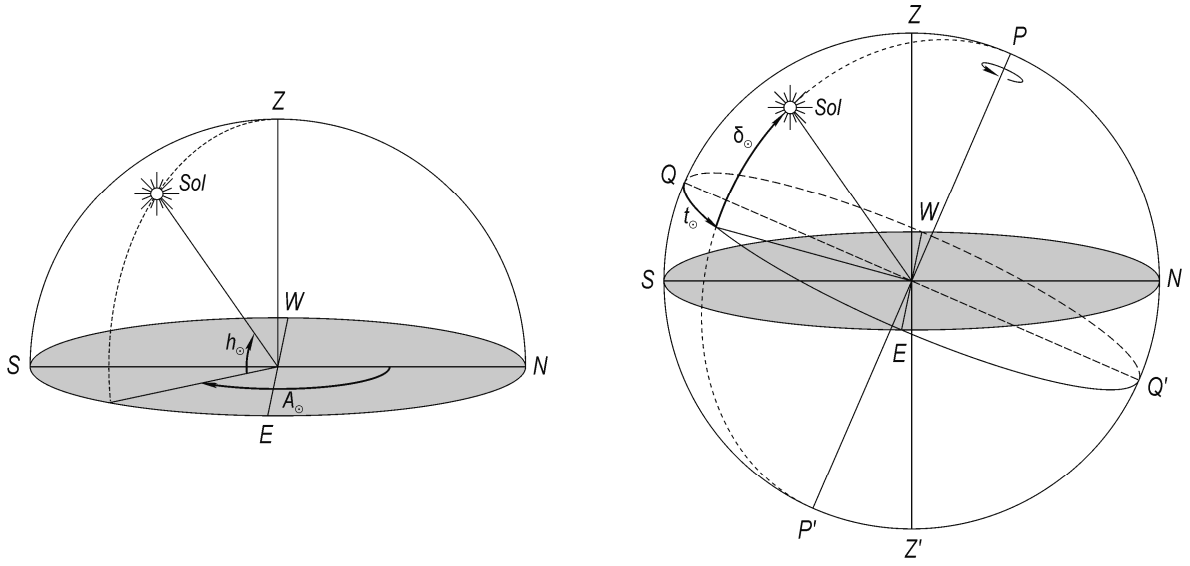
Так як Земля рухається як навколо власної осі так і навколо Сонця, то горизонтальні координати $\left(A_{\odot}, h_{\odot}\right)$ будуть неперервно змінюватись як на протязі доби так і на протязі року. Для визначення поточних горизонтальних координат Сонця скористаємося першою системою екваторіальних координат. У ній в якості координат використовують схилення Сонця $\delta_{\odot}$ та часовий кут Сонця $t_{\odot}$ (рис. 3.2, *б*).

© Т. Г. Сабірзянов, О. І. Сіріков, М. В. Кубкін, В. П. Солдатенко, 2012

Схилення Сонця можна визначити за формулою Купера [4]:

$$\delta_{\odot}(t) = 23,45° \sin\left[360° \frac{284 + d(t)}{365}\right], \tag{1}$$

де $d(t)$ — номер дня року.



а) *б)*

Рисунок 1 — Горизонтальні *(а)* та екваторіальні *(б)* координати Сонця

Часовий кут Сонця визначається перерахуванням середнього місцевого часу на істинний сонячний час:

$$t_{\odot}(t) = \left[\tau(t) + \frac{\lambda}{15°} - Z_{\text{п}} + E(t) - 12^{\text{h}}\right] \cdot 15°, \tag{2}$$

де $\tau(t)$ — поточний час доби (змінюється в межах від 0^{h} до 24^{h});
λ — довгота місця (на схід від Гринвічу додатна, на захід — від'ємна);
$Z_{\text{п}}$ — номер часового поясу (так, для UTC2 $Z_{\text{п}} = 2$, для UTC3 $Z_{\text{п}} = -3$);
$E(t)$ — рівняння часу (різниця між істинним сонячним та середнім часом) [5]:

$$E(t) = 3,85 \cdot \left[0,000075 + 0,001868 \cdot \cos B(t) - 0,032077 \cdot \sin B(t) - \right.$$
$$\left. - 0,014615 \cos 2B(t) - 0,04089 \sin 2B(t)\right], \tag{3}$$

де

$$B(t) = \left[d(t) - 1\right] \frac{360°}{365}.$$

Визначивши за рівняннями (1) та (2) екваторіальні координати Сонця можна перейти до горизонтальних координат [6]:

$$h_{\odot}(t) = \arcsin\left[\sin\delta_{\odot}(t)\sin\varphi + \cos\delta_{\odot}(t)\cos\varphi\cos t_{\odot}(t)\right]; \quad (4)$$

$$A_{\odot}(t) = \begin{cases} A', & \text{при } \sin t_{\odot}(t) < 0; \\ 360° - A', & \text{при } \sin t_{\odot}(t) \geq 0; \end{cases} \quad (5)$$

де $A' = \arccos\left[\dfrac{\sin\delta_{\odot}(t) - \sin\varphi\sin h_{\odot}(t)}{\cos\varphi\cos h_{\odot}(t)}\right]$;

φ — широта місцевості.

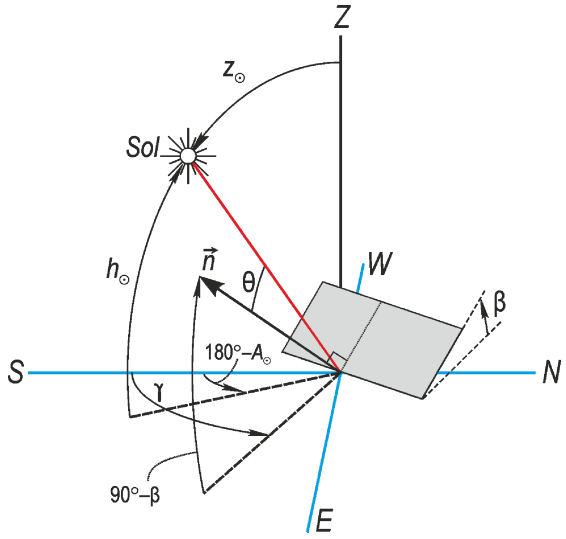


Рисунок 2 — До визначення кута падіння сонячних променів на довільно орієнтовану поверхню θ
$\vec{n}$ – нормаль до приймаючої поверхні

Кількість сонячної радіації, що потрапляє на похилу поверхню залежить від кута падіння променів на цю поверхню (рис. 2). Якщо поверхня має нахил відносно горизонту β, а її орієнтація відносно напрямку на Південь визначається кутом γ, то кут падіння сонячних променів θ можна визначити за виразом:

$$\cos\theta(t) = \sin\beta\sin\gamma\sin A_{\odot}(t)\cos h_{\odot}(t) - \sin\beta\cos\gamma\cos A_{\odot}(t) + \cos\beta\sin h_{\odot}(t). \quad (6)$$

Прийнято вважати, що потік сонячного випромінювання від Сонця величина постійна в часі. Але кількість випромінювання, яке надходить у верхні шари атмосфери коливається протягом року, оскільки відстань між Сонцем та Землею змінюється протягом року із-за ексцентриситету орбіти Землі.

Густина потоку *позаземного нормального сонячного випромінювання*, тобто кількість сонячної радіації, що падає на перпендикулярну променям поверхню на межі атмосфери, визначається як в [4]:

$$I_{0n}(t) = I_{sc}\left[1 + 0,033\cos\frac{360d(t)}{365}\right], \quad (7)$$

де $I_{0n}(t)$ — густина потоку позаземного нормального випромінювання, кВт/м^2;

$I_{sc} = 1,367$ кВт/м^2 — сонячна стала;

$d(t)$ — номер дня року.

Очевидно, що густина потоку *позаземного випромінювання* буде визначатись наступним чином:

$$I_0(t) = I_{0n}(t)\cos z_{\odot}(t) = I_{0n}(t)\cos\left[90° - h_{\odot}(t)\right] = I_{0n}(t)\sin h_{\odot}(t), \tag{8}$$

де $I_0(t)$ — густина потоку позаземного горизонтального випромінювання, кВт/м^2;

$I_{0n}(t)$ — густина потоку позаземного нормального випромінювання, кВт/м^2;

$z_{\odot}(t)$ — зенітний кут;

$h_{\odot}(t)$ — висота Сонця над горизонтом.

Для отримання середнього значення густини потоку позаземної горизонтальної радіації проінтегруємо (8):

$$\begin{aligned} \bar{I}_0(t) &= \frac{1}{t_2 - t_1}\int_{t_{\odot 1}}^{t_{\odot 2}} I_{0n}(t)\sin h_{\odot}(t)dt = \\ &= \frac{12}{\pi} I_{0n}(t)\left[\cos\varphi\cos\delta_{\odot}(t)[\sin t_{\odot 2}(t) - \sin t_{\odot 1}(t)] + \frac{\pi[t_{\odot 2}(t) - t_{\odot 1}(t)]}{180°}\sin\varphi\sin\delta_{\odot}(t)\right], \end{aligned} \tag{9}$$

де $\bar{I}_0(t)$ — середнє значення густини потоку позаземної горизонтальної радіації за 1 годину, кВт/м^2;

$t_{\odot 1}(t)$ та $t_{\odot 2}(t)$ — часові кути Сонця на початок t_1 та кінець t_2 годинного інтервалу.

Рівняння (9) дозволяє визначити середню кількість сонячної радіації, що потрапила на горизонтальну поверхню у верхніх шарах атмосфери за 1 годину. З іншого боку дані спостереження за сонячним випромінюванням на земних метеостанціях дають інформацію про кількість сонячної радіації, яка потрапила на горизонтальну поверхню в нижньому шарі атмосфери (біля поверхні Землі) за той самий проміжок часу. Відношення кількості випромінювання біля земної поверхні до кількості випромінювання у верхніх шарах атмосфери має назву *коефіцієнта ясності атмосфери* і визначається як:

$$k_{\text{ясн}}(t) = \frac{\bar{I}(t)}{\bar{I}_0(t)}, \tag{10}$$

де $\bar{I}_0(t)$ — середнє значення густини потоку позаземної радіації на горизонтальну поверхню за 1 годину;

$\bar{I}(t)$ — середнє значення густини потоку горизонтальної радіації біля поверхні Землі за інтервал 1 година.

Сонячне випромінювання можна представити як суму двох складових — *пряму і дифузну сонячну радіації*:

$$\bar{I}(t) = \bar{I}_{\text{пр}}(t) + \bar{I}_{\text{диф}}(t), \tag{11}$$

де $\bar{I}_{\text{пр}}(t)$ — середнє значення густини потоку прямої сонячної радіації за годину, кВт/м^2;

$\bar{I}_{\text{диф}}(t)$ — середнє значення густини потоку дифузної сонячної радіації за годину, кВт/м^2.

Пряма радіація – це частина сонячного випромінювання, яке надходить безпосередньо від Сонця до поверхні Землі без розсіяння в атмосфері. Розсіяна радіація – це частина сонячного випромінювання, напрямок якого був змінений внаслідок розсіювання в атмосфері Землі

Різниця між прямою і розсіяною радіацією відіграє важливу роль при розрахунку сумарної радіації, яка падає на похилу поверхню. Орієнтація поверхні має істотний впливає на пряму сонячну радіацію, яка надходить лише від Сонця, ніж на розсіяну радіацію, яка надходить з усіх частин неба.

Тим не менше в практиці на метеостанціях частіше вимірюють повну сонячну радіацію, а не її компоненти. Це означає, що розрахунковим методом потрібно визначити складові сонячного випромінювання, щоб правильно визначити кількість випромінювання, яке падає на приймальну поверхню. З цією метою можна використати співвідношення, за яким можна визначити долю розсіяної радіації в залежності від коефіцієнта ясності атмосфери [7]:

$$\frac{\bar{I}_{\text{диф}}(t)}{\bar{I}(t)} = \begin{cases} 1-0,009k_{\text{ясн}}(t) & \text{при } k_{\text{ясн}}(t) \le 0,2; \\ 0,9511-0,1604k_{\text{ясн}}(t)+ & \\ \quad 4,388k^2_{\text{ясн}}(t)-16,638k^3_{\text{ясн}}(t)+ & \text{при } 0,22<k_{\text{ясн}}(t) \le 0,8; \\ \quad 12,336k^4_{\text{ясн}}(t) & \\ 0,165 & \text{при } k_{\text{ясн}}(t) > 0,8; \end{cases} \qquad (12)$$

Для кожного годинного інтервалу використовується повна сонячна радіація на горизонтальну поверхню для розрахунку коефіцієнту ясності, а потім розсіяної радіації. Далі визначається пряма сонячна радіація шляхом віднімання розсіяного випромінювання від повного.

Існує кілька методик для оцінки сонячної радіації в залежності від часу, вимірюваних радіаційних даних, типу клімату і місця розташування.

Для розрахунку повного випромінювання, яке падає на похилу поверхню будемо використовуватися модель HDKR (Hay-Davies-Klucher-Reindl) [8]. Згідно цієї моделі сонячна радіація поділяється на пряму та розсіяну. Розсіяна радіація в свою чергу має три складові:

а) ізотропну складову

б). навколосонячну складову

в) позагоризонтну складову

Середнє значення густини потоку сонячного випромінювання на похилу поверхню згідно моделі HDKR (рис. 3) [8]:

$$\begin{aligned} \bar{I}_{\beta}(t) = & \left[\bar{I}_{\text{пр}}(t)+\bar{I}_{\text{роз}}(t)A_i(t)\right]R_{\text{пр}}(t)+ \\ & +\bar{I}_{\text{пр}}(t)[1-A_i(t)]\frac{1+\cos\beta}{2}\left[1+f(t)\sin^3\left(\frac{\beta}{2}\right)\right]+ \\ & +\bar{I}(t)\rho_{\text{зп}}\frac{1-\cos\beta}{2}, \end{aligned} \qquad (13)$$

де $\rho_{зп}$ — альбедо земної поверхні;

$R_{пр}(t)$ — геометричний фактор для прямої сонячної радіації,

A_i — анізотропний індекс;

f — коефіцієнт «просвітлення горизонту».

Геометричний фактор для прямої сонячної радіації визначається відношенням прямої радіації на похилу поверхню до прямої радіації на горизонтальну поверхню:

$$R_{пр}(t) = \frac{\cos\theta(t)}{\cos z_{\odot}(t)}. \tag{14}$$

Анізотропний індекс A_i є мірою прозорості атмосфери для прямої радіації. Цей коефіцієнт використовується для оцінки кількості навколосонячного випромінювання, яке також називають передрозсіяною радіацією:

$$A_i(t) = \frac{\bar{I}_{пр}(t)}{\bar{I}_0(t)}. \tag{15}$$

Величина f означується як коефіцієнт, що враховує «просвітлення горизонту», або той факт, що більша частина розсіяної радіації надходить із-за горизонту, а не від усього неба. Цей коефіцієнт пов'язаний з хмарністю і задається наступним рівнянням:

$$f(t) = \sqrt{\frac{\bar{I}_{пр}(t)}{\bar{I}(t)}}. \tag{16}$$

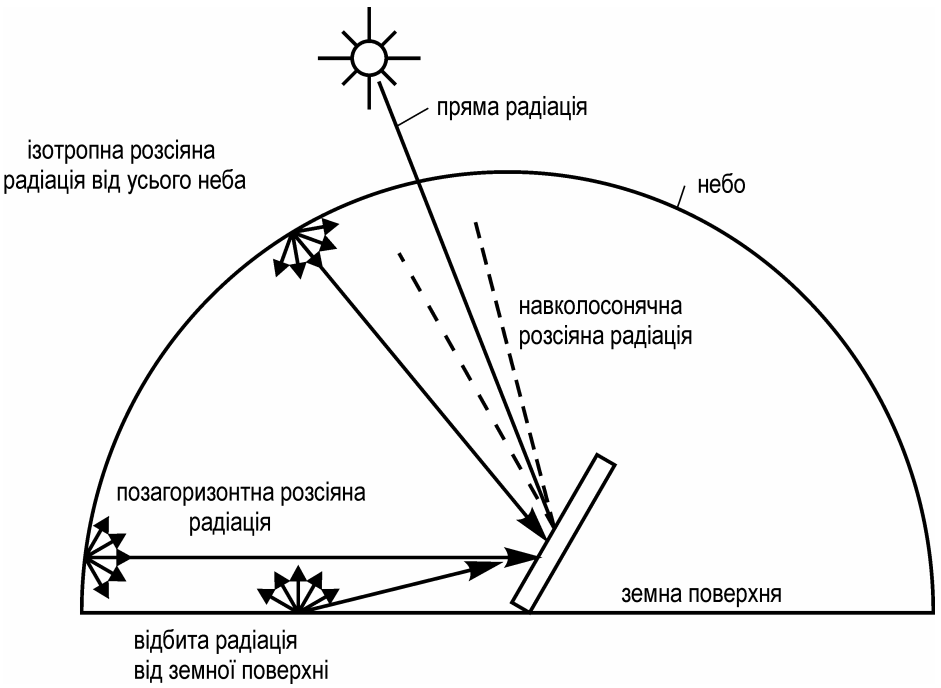


Рисунок 3 — Пряма, розсіяна і відбита радіація на похилу поверхню згідно моделі HDKR

Алгоритм визначення координат Сонця та кута падіння сонячних променів на довільно орієнтовану поверхню приведений на рис. 4.

Алгоритм визначення середнього значення густини потоку повної сонячної радіації на похилу поверхню за 1 годину приведений на рис. 5

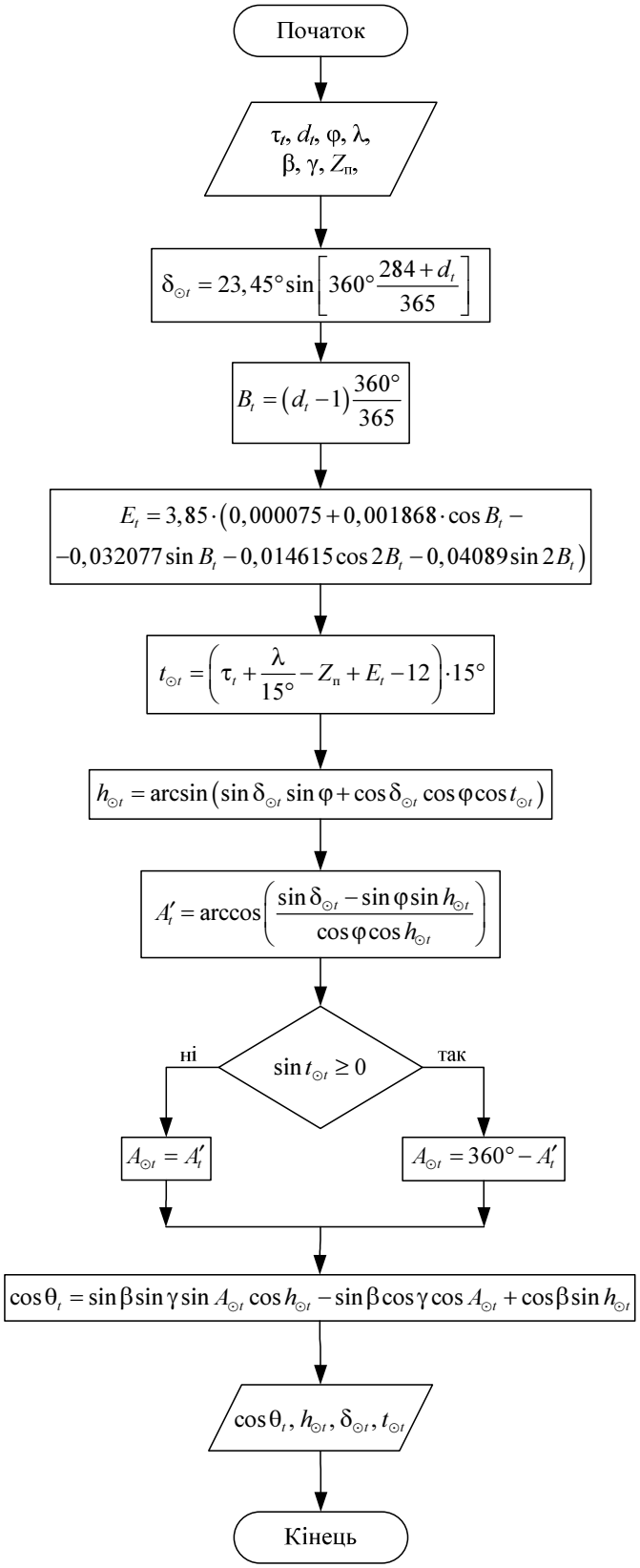
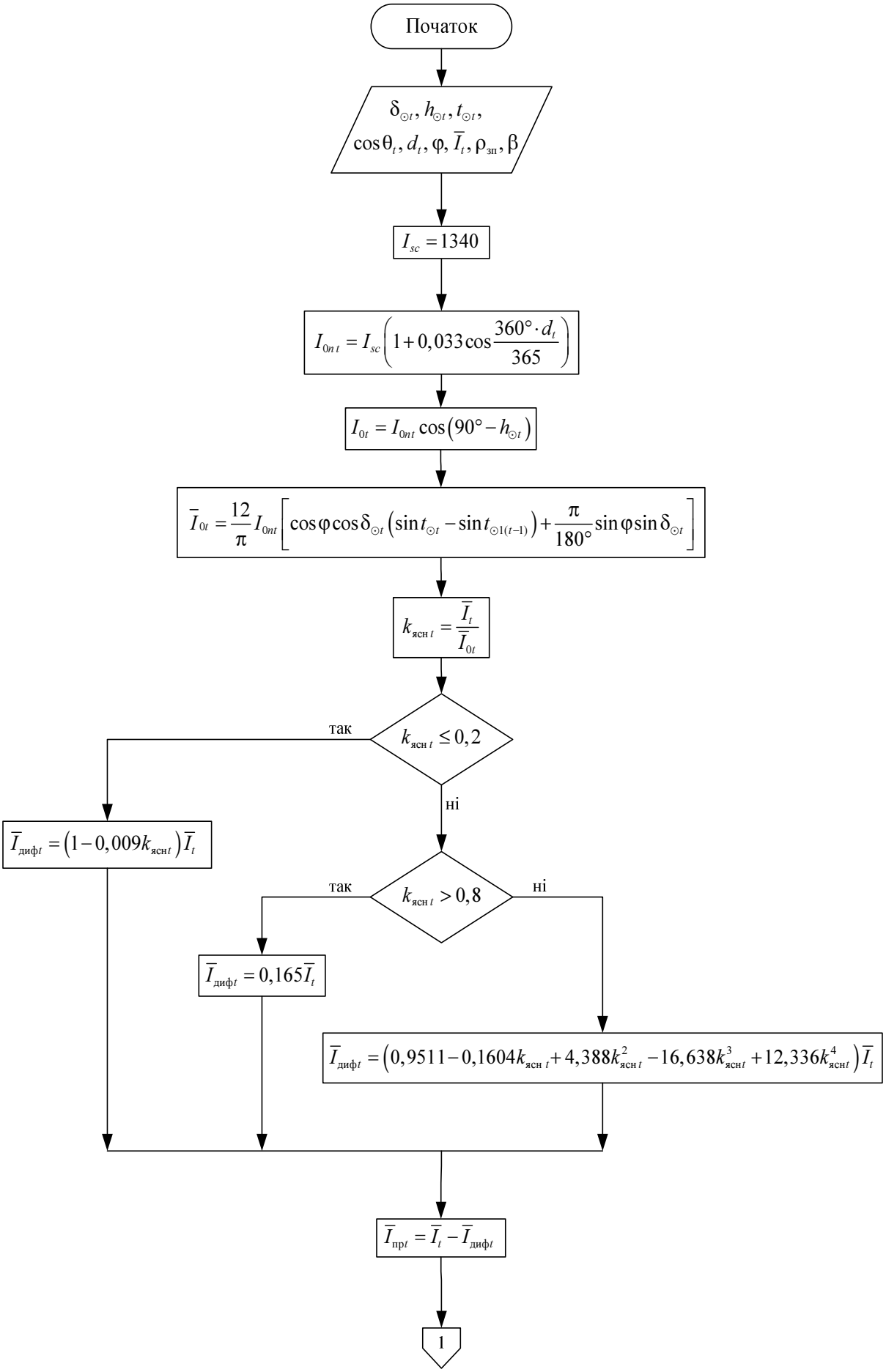


Рисунок 4 — Алгоритм визначення координат Сонця та кута падіння сонячних променів на довільно орієнтовану поверхню


Початок
$\delta_{\odot t}, h_{\odot t}, t_{\odot t}, \cos\theta_t, d_t, \varphi, \bar{I}_t, \rho_{зп}, \beta$
$I_{sc} = 1340$
$I_{0n\,t} = I_{sc}\left(1 + 0{,}033\cos\frac{360° \cdot d_t}{365}\right)$
$I_{0t} = I_{0nt}\cos\left(90° - h_{\odot t}\right)$
$\bar{I}_{0t} = \frac{12}{\pi} I_{0nt}\left[\cos\varphi\cos\delta_{\odot t}\left(\sin t_{\odot t} - \sin t_{\odot 1(t-1)}\right) + \frac{\pi}{180°}\sin\varphi\sin\delta_{\odot t}\right]$
$k_{ясн\,t} = \frac{\bar{I}_t}{\bar{I}_{0t}}$
$k_{ясн\,t} \le 0{,}2$
так
ні
$\bar{I}_{диф t} = \left(1 - 0{,}009 k_{ясн t}\right)\bar{I}_t$
$k_{ясн\,t} > 0{,}8$
так
ні
$\bar{I}_{диф t} = 0{,}165\bar{I}_t$
$\bar{I}_{диф t} = \left(0{,}9511 - 0{,}1604 k_{ясн\,t} + 4{,}388 k_{ясн\,t}^2 - 16{,}638 k_{ясн t}^3 + 12{,}336 k_{ясн t}^4\right)\bar{I}_t$
$\bar{I}_{пр t} = \bar{I}_t - \bar{I}_{диф t}$
1

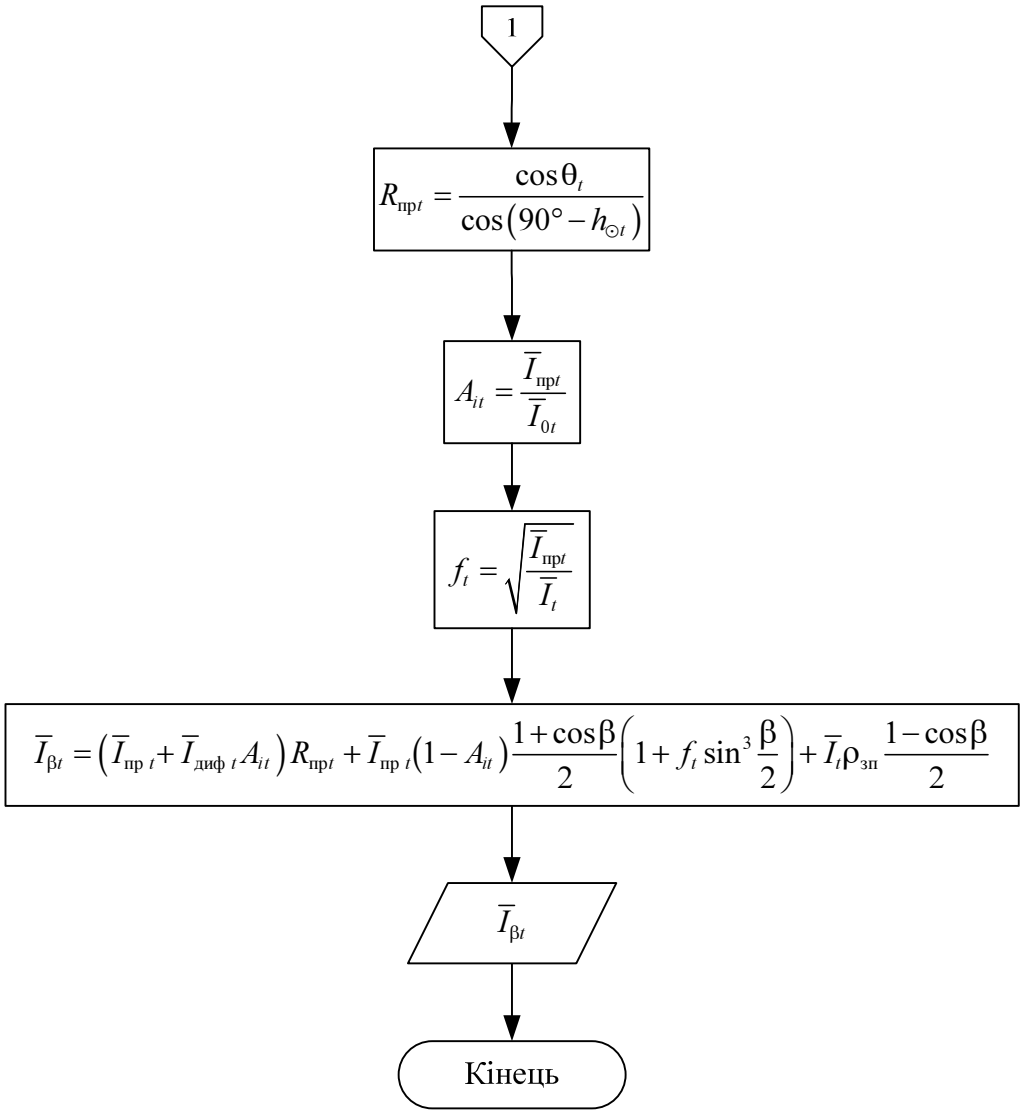


Рисунок 5 — Алгоритм визначення середнього значення густини потоку повної сонячної радіації на похилу поверхню за 1 годину

Висновки. В статті шляхом використання методів сферичної астрономії та векторного аналізу для визначення погодинного надходження енергії від Сонця був отриманий аналітичний вираз знаходження горизонтальних координат Сонця за значеннями дня року та часу доби.

Отримана зручна аналітична залежність кута падіння сонячних променів на довільно орієнтовану світлосприймаючу поверхню в функції часу доби, дня року та орієнтації поверхні.

Розроблено алгоритм визначення координат Сонця та кута падіння сонячних променів на довільно орієнтовану поверхню.

Розроблено алгоритм розрахунку погодинної орієнтації світлосприймаючої поверхні для систем слідкування за Сонцем.

Список літератури

1. Справочник по климату СССР. Выпуск 10. Украинская ССР. Часть I. Солнечная радиация, радиационный баланс и солнечное сияние. — Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1967. — 126 с.
2. Справочник по климату СССР. Выпуск 10. Украинская ССР. Часть III. Ветер. — Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1967. — 690 с.
3. Кубкін М.В. До питання оцінки енергетичних ресурсів сонця та вітру в Кіровоградській області / М.В. Кубкін, П.Г. Плєшков, Т.Г. Сабірзянов, В.П. Солдатенко // Вісник ХНТУСГ ім. П.Василенка. Техн. науки. Випуск 102. «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України» — Харків: ХНТУСГ, 2010. — С. 50—51.
4. Cooper P. I. The Absorption of Solar Radiation in Solar Still // Solar Energy 12, 3 — 1968
5. Spenser J.W. Search 2 (5), 172 (1971) “Fourier Series Representation of the Position of the Sun”
6. Белова Н.А. Курс сферической астрономии. — М.: Наука, 1971 — 183 с.
7. Erbs D.G. Estimation of the diffuse radiation fraction for hourly, daily, and monthly-average global radiation / D.G. Erbs, S.A. Klein, J.A. Duffie, Solar Energy, 28, 293 — 1982
8. Duffie J. Solar engineering of thermal processes / J. Duffie, W. Beckman. — John Wiley & Sons, Inc, New York — 1980.

Т. Сабирзянов, О. Сириков, М. Кубкин, В. Солдатенко

Алгоритм определения плотности потока солнечного излучения на произвольно ориентированную поверхность

В статье с помощью методов сферической астрономии и векторного анализа для определения почасового поступления энергии от Солнца было получено аналитическое выражение нахождения горизонтальных координат Солнца по значению дня года и времени суток, а также получена удобная аналитическая зависимость угла падения солнечных лучей на произвольно-ориентированную поверхность в функции времени суток, дня года и ориентации поверхности; разработан алгоритм расчета почасовой ориентации светлопринимающей поверхности для систем слежения за Солнцем.

T. Sabirzanov, O. Sirikov, M. Kubkin, V. Soldatenko

Algorithm of determination of closeness of stream of sun radiation on the arbitrarily oriented surface

In the article by the use of methods of spherical astronomy and vectorial analysis for determination of sentinel receipt of energy from a Sun analytical expression of finding of horizontal co-ordinates of a Sun was got after the values of day of year and time of days and also comfortable analytical dependence of angle of incidence of sunbeams is got on the arbitrarily oriented surface in the function of time of days, day of year and orientation of surface; the algorithm of calculation of sentinel orientation of surface is developed for the systems of surveillance on a sun.

Одержано 07.12.11

УДК 681.518.52

В.Ф. Гамалій, проф., д-р фіз.-мат. наук, С.І. Осадчий, доц., канд. техн. наук, М.В. Якорева, асп.
Кіровоградський національний технічний університет

Дослідження макету автоматизованої лазерної системи контролю малих концентрацій домішок в газових середовищах

Проведено дослідження достовірності результатів вимірювання малих концентрацій домішок у газах.

лазерна спектроскопія, контур лінії поглинання, малі концентрації домішок

Добре відомий в даний час метод внутрішньорезонаторної лазерної спектроскопії (ВРЛС) полягає в тому, що досліджувана речовина, яка має вузькі лінії поглинання, поміщається всередину резонатора широкосмугового лазера з великою шириною однорідного контуру підсилення активного середовища [1]. У тих поздовжніх модах, частоти яких співпадають з лініями поглинання досліджуваної речовини, інтенсивність генерації поступово згасає. При цьому в спектрі генерації з'являються провали, які повторюють спектр поглинання досліджуваної речовини. За рамки таких уявлень виходить, однак, цілий ряд явищ, експериментально виявлених в останній час. Одне з них - збільшення спектральної щільності випромінювання лазера поблизу ліній поглинання (так званий ефект «конденсації» випромінювання). Для пояснення ефекту конденсації були запропоновані різні механізми: поява дисперсійної лінзи через насичення поглинання на осі гауссового пучка [2], когерентні ефекти поляризації поглинаючих атомів [3], утворення решітки поглинання через насичення [4] і т. д. Важливо, що у всіх перерахованих роботах випромінювання лазера або взагалі не розкладалося по модам резонатора, або до уваги приймалися лише інтенсивності (числа фотонів), а фази коливання в окремих модах не враховувалися. В [5] було висловлено допущення, що ефект конденсації може бути пов'язаний з синхронізацією фаз поздовжніх мод резонатора. В [6] доведено експериментально, що періодична модуляція коефіцієнта посилення активного середовища призводить до конденсації випромінювання поблизу сильних ліній поглинання речовини, поміщеної всередину резонатора. В даній роботі отримані нові експериментальні результати, що дозволяють зрозуміти механізм конденсації та явищ, які її супроводжують. Пропонується модель, що пояснює ефект конденсації і інші явища, що відбуваються при наявності зовнішнього джерела періодичної модуляції коефіцієнта посилення.

Наша ціль – створення лазерної системи, яка дозволить вести контроль й ідентифікацію газових домішок в технологічних атмосферах і в повітрі в режимі реального часу. Тому використовуємо електронну реєстрацію спектрів генерації лазера.

Досліджувався спектр поглинання атмосферного повітря при кімнатній температурі і атмосферному тиску. Спектр поглинання в області 940-942 нм обумовлений присутністю парів води. Щоб засвідчитися, що ці лінії є лініями поглинання саме води, реєструвався спектр поглинання парів води при різних тисках. Для цієї цілі з кювети для дослідної речовини відкачували повітря, а потім в середину

© В.Ф. Гамалій, С.І. Осадчий, М.В. Якорева, 2012

напускали пари води.

При даній тривалості неперервної генерації, яка складала приблизно 1 мкс, мінімальний реєструє мий коефіцієнт поглинання дорівнює к=1/ст.≈$3*10^{-5}$ $см^{-1}$.

Методика дослідження достовірності значень довжин хвиль та концентрацій газів, які визначає експериментальний зразок лазерної системи контролю малих газових домішок в газових середовищах включає:

1. Визначення газового середовища з добре відомими значеннями довжин хвиль ліній поглинання, які потрапляють в спектральну область генерації багатомодового лазера на кристалі *LiF* з F_2^+-центрами забарвлення 905-975 нм (9050…9750Å)(газове середовище повинно бути безпечним для дослідника в умовах роботи в лабораторії).
2. Створення технічних умов для контролюємих змін концентрацій газових компонент.
3. Реєстрування спектру генерації багатомодового лазера по розробленому алгоритму.
4. Обчислення концентрації газів згідно з математичною моделлю взаємодії внутрішньорезонаторного випромінювання багатомодового лазера з дослідною речовиною в його резонаторі по глибині провалів ліній поглинання. Для зменшення похибок вимірів визначити відносні значення концентрацій.
5. Порівняння отриманих значень центрів ліній поглинання та концентрацій речовини з відомими значеннями.
6. Визначення рівня шумів системи, які накладаються на спектр генерації багатомодового лазера.
7. Врахування величини відносної похибки значень параметрів, які вимірює лазерна система контролю малих газових домішок в газових середовищах.

У методі саме і важливо, щоб однорідна ширина лінії посилення була більше ширини лінії поглинання, тому що взаємодія з великим числом мод у межах однорідного контуру посилення приводить до вигоряння активних часток, обумовленому тільки сумарною потужністю генерації в цьому контурі, і слабко залежному від спектрального розподілу інтенсивності генерації. Тому зменшення щільності фотонів з частотою відповідної лінії поглинання практично не позначиться ні на концентрації активних часток, ні на коефіцієнті підсилення на цій частоті.

Первинна реєстрація спектрального розподілу випромінювання багатомодового лазера у фокальній площині спектрографа (камери УФ-90) виконується за допомогою ПЗЗ- лінійки.

Основним елементом системи є блок обробки відеозображень. Блок призначений для перетворення аналогового відеосигналу, що надходить від ПЗЗ-датчика в масив цифрових даних, доступний для обробки центральним процесором комп'ютера. Крім того, блок виконує функції керування ПЗЗ- датчиком і містить власний мікроконтролер, що керує режимами вузлів плати. До блоку обробки відеозображень підключається ПЗЗ- датчик, який складається з ПЗЗ- лінійки, формувача напруги живлення 5 і 9 В для ПЗЗ, підсилювача відеосигналу і приймачі керуючих сигналів.

Алгоритм роботи пристрою (рис. 1) включає в себе функції, реалізовані як програмно, так і апаратно.

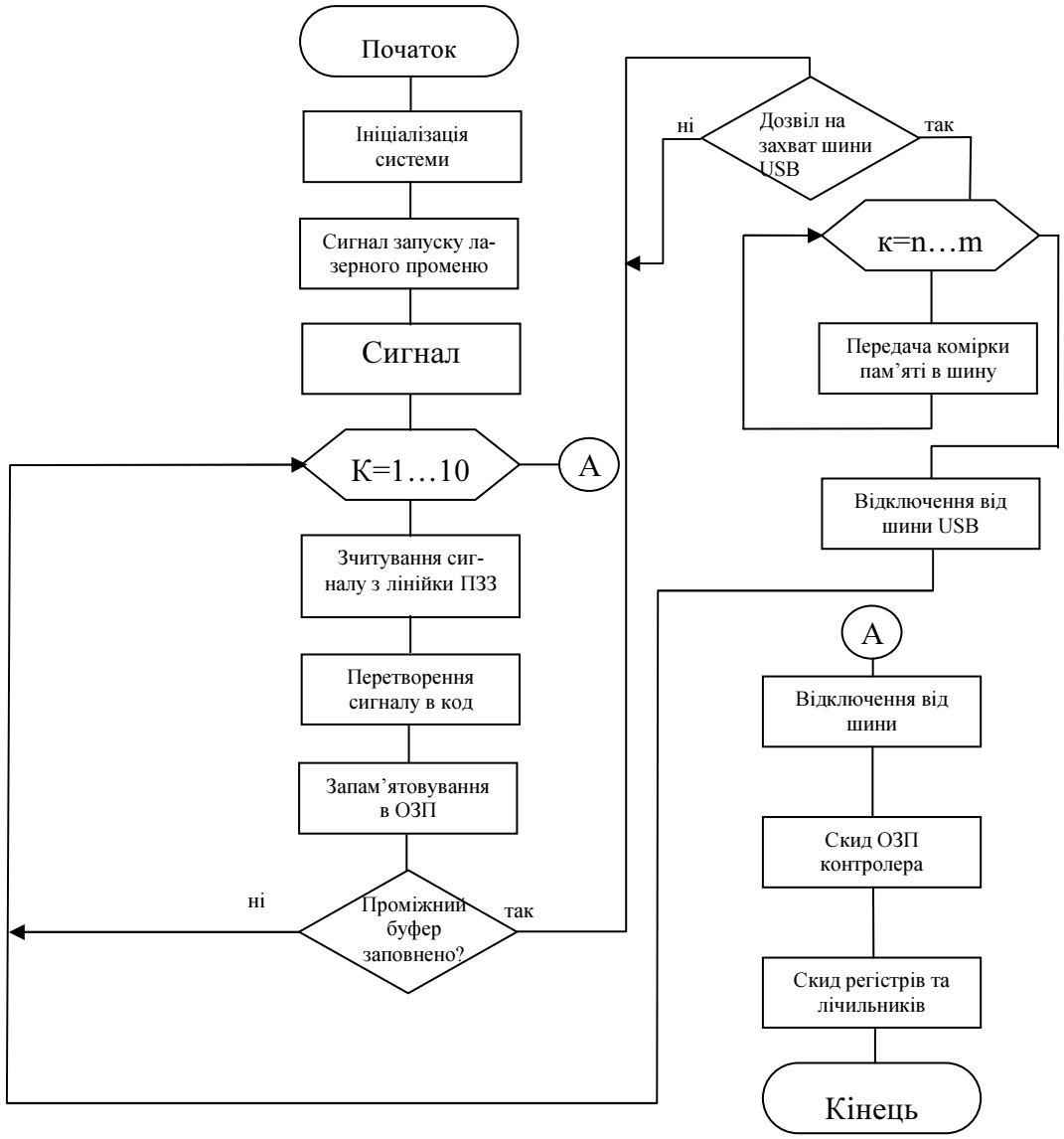


Рисунок 1 - Алгоритм функціонування пристрою реєстрації випромінювання багатомодового лазера

Для відпрацювання роботи лазерної системи контролю малих газових домішок в газових середовищах необхідно було обрати газову речовину, яка б була добре вивчена, мала багато відомих ліній поглинання, які попадають в наш спектральний діапазон. Виходячи з цих вимог було вирішено в якості дослідної речовини використовувати пари води H_2O. Є змога легко міняти концентрацію парів, і для цієї молекули існують складені таблиці спектрів поглинання для різних спектральних діапазонів (табл. 1).

Дослідження проводилося в області $\lambda=9423 \div 9435$Å. В цю область попадає дві лінії поглинання з центрами $\lambda=9428{,}20$ Å та $\lambda=9430{,}62$ Å. Обраний спектральний інтервал обумовлений характеристикою ПЗЗ-лінійки, яка при даній величині дисперсії дає змогу приймати лазерне випромінювання і реєструвати спектральний діапазон в межах до 10 Å (1 нм).

Для обчислення значень довжини хвилі, які відповідають номерам каналів ПЗЗ-лінійки, використовувалася відповідність спектра до довжин хвиль по лініям неонової безелектродної лампи.

Дослідження проводилися для різних положень дифракційної решітки. При цьому найсильніші лінії поглинання парів води спостерігали в різних місцях фокальної площини спектрального приладу.

Таблиця 1 - Спектр поглинання H_2O в діапазоні 9377-9483 Å

№	λ, Å	Коливальні переходи		Відносна інтенсивність
		$\nu_1\ \nu_2\ \nu_3$	$I'_{K'} - I'_{K'}$	
1	9377,65	201	20-11	203:196
2	9379,72	300	4_{-1}-4_{-2}	96
3	9381,19	201	2_{-2}-1_{-1}	197
4	9382,19	300	4_1-4_{-1}	55
5	9383,62	300	5_{-3}-5_{-5}	34
6	9386,72	201	2_{-1}-1_0	170
7	9387,06	300	2_{-1}-1_{-1}	155
8	9387,84	201	4_{-2}-4_{-3}	52
9	9391,76	300	2_{-1}-2_{-1}	67
10	9399,02	201	1_{-1}-0	153
11	9400,10	201	3_{-1}-3_{-2}	71
12	9401,62	300	1_0-0	98
13	9409,02	300	3_1-3_{-1}	94
14	9410,42	201	2_0-2_{-1}	196
15	9417,67	201	1_1-1_0	190
16	9421,82	201	4_0-4_{-1}	172
17	9426,83	201	1_0-1_1	206
18	9428,20	201	2_2-2_1	206
19	9430,62	201	2_1-2_2	198:210
20	9437,68	201	3_0-3_1	210
21	9438,03	201	2_{-1}-2_0	126
22	9440,62	201	0-1_{-1}	215
23	9441,03	201	3_2-3_3	215
24	9442,38	201	6_0-6_{-1}	65
25	9443,30	201	4_2-4_1	200
26	9444,40	201	5_1-5_0	71
27	9446,02	201	4_1-4_2	149
28	9449,19	300	1_{-1}-1_1	84
29	9450,33	201	4_{-1}-4_0	104
30	9454,06	201	5_0-5_1	160
31	9454,63	201	3_{-2}-3_{-1}	172
32	9456,10	201	4_4-4_3	206:200
34	9460,80	201	5_3-5_2	65
35	9461,32	201	1_{-1}-2_{-2}	201
36	9464,83	300	0-1_0	53
37	9465,47	201	6_2-6_1	94
38	9467,78	201	6_1-6_2	42
40	9469,42	201	1_1-2_0	185
41	9474,46	201	5_4-5_5	145
42	9475,29	300	2_2-3_{-1}	72
43	9480,23	201	2_{-1}-3_{-2}	201
44	9481,64	201	2_{-2}-3_{-3}	211:213
45	9482,41	300	1_{-1}-2_{-1}	84

Врахування нелінійності дисперсії спектрографа в програмі обчислення довжин хвиль спектральних ліній парів води дозволило досягнути точності спектральних вимірів 0,03 Å (відносна похибка ~10^{-4} %).

Після обробки отриманих результатів за формулою $E = \sqrt{\sum_{i=1}^{N} \Delta H_i^2 \Big/ (N+1)}$ можна зробити висновок, що рівень шуму складає 3%, що задовольняє необхідній точності роботи системи. Наявна величина шуму обумовлена неконтролюємими частотнозалежними втратами, які вносяться інтерференційними ефектами за рахунок відбиття і розсіювання світла на дзеркалах, вікнах, частинках пилу. Інтерференція світла відбитого від різних оптичних елементів в середині і зовні резонатора призводить до частотної селекції втрат завдяки високої чутливості спектрального розподілу випромінювання до частотно-залежних втрат в структурі спектру випромінювання.

Для виконання пунктів 2, 3, 4, 5, та 7 методики дослідження достовірності вимірів лазерної системи контролю малих газових домішок в газових середовищах, запропоновано дослідити спектри поглинання парів води, які при різних концентраціях знаходяться в середині резонатора багатомодового лазера на кристалі *LiF* з F_2^+центрами забарвлення. На рис. 2 наведено спектри поглинання парів води при різних тисках (концентраціях), які зареєстровано на експериментальному зразку лазерної системи контролю малих газових домішок в газових середовищах.

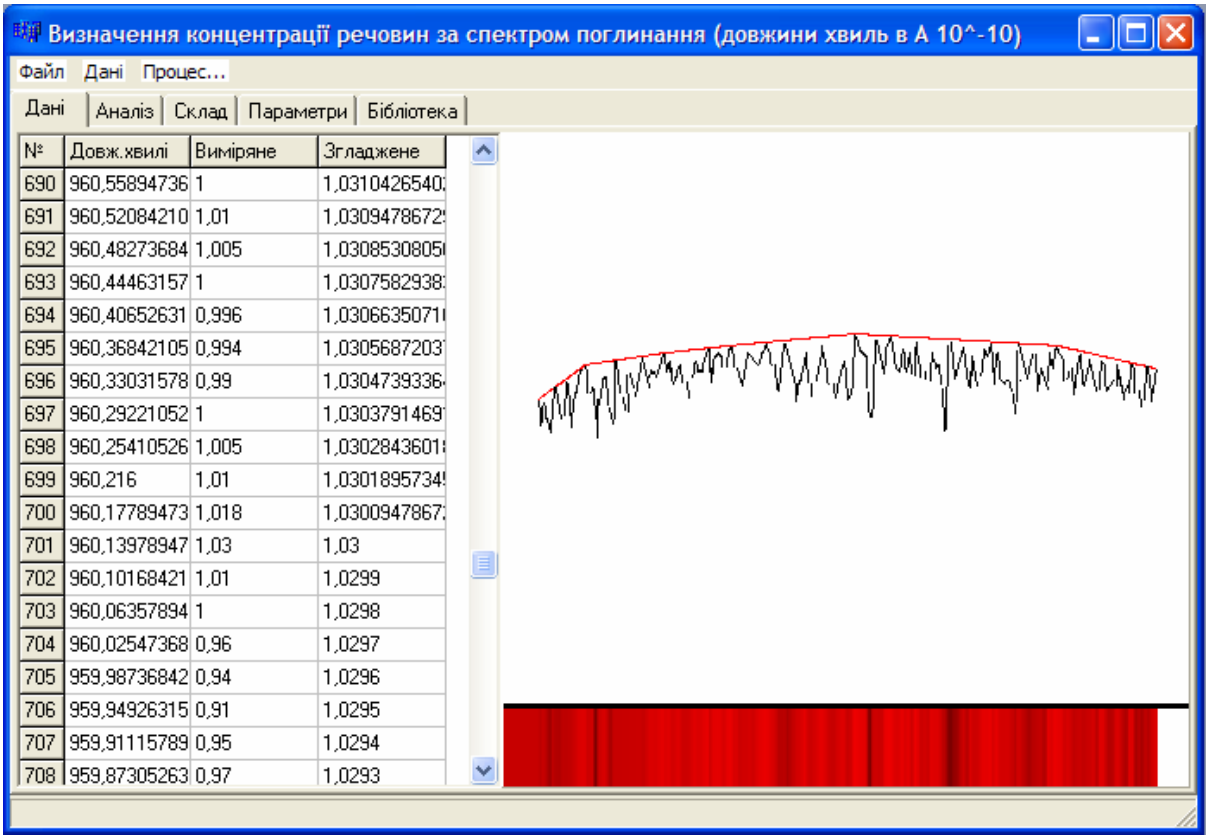
При дослідженні спектрів поглинання парів H_2O були виміряні абсолютні значення коефіцієнтів поглинання для двох ліній (канал 430 та канал 969) по зареєстрованим спектрам поглинання і визначені концентрації $n_1 = \dfrac{0.45}{\sigma_1 \cdot c \cdot T}$ та $n_1' = \dfrac{0.68}{\sigma_1 \cdot c \cdot T}$ при незмінному значенні тривалості генерації T, перерізі поглинання σ на даній довжині хвилі, с- швидкість світла. Тиск зріс в 1,5 рази з 0,1 мм рт. ст. до 0,15 мм рт. ст. і відповідно обчислена для двох ліній поглинання концентрація парів змінилася в $\dfrac{n_1'}{n_1} = 1{,}51$; $\dfrac{n_2'}{n_2} = 1{,}52$ разів.

Виміри повторювали 10 разів. Після обробки всіх результатів знайдена похибка визначення концентрацій досліджуваного газового середовища ε=1%. Але це похибка при визначенні відносних концентрацій.

При врахуванні похибок знаходження коефіцієнта поглинання та часу T неперервної генерації багатомодового лазера на кристалі *LiF* в кожному імпульсі генерації загальна похибка визначення концентрації досліджуваної газової складової досягає 20%.Можна розробити шляхи удосконалення методики для зниження відносної похибки до 10%.

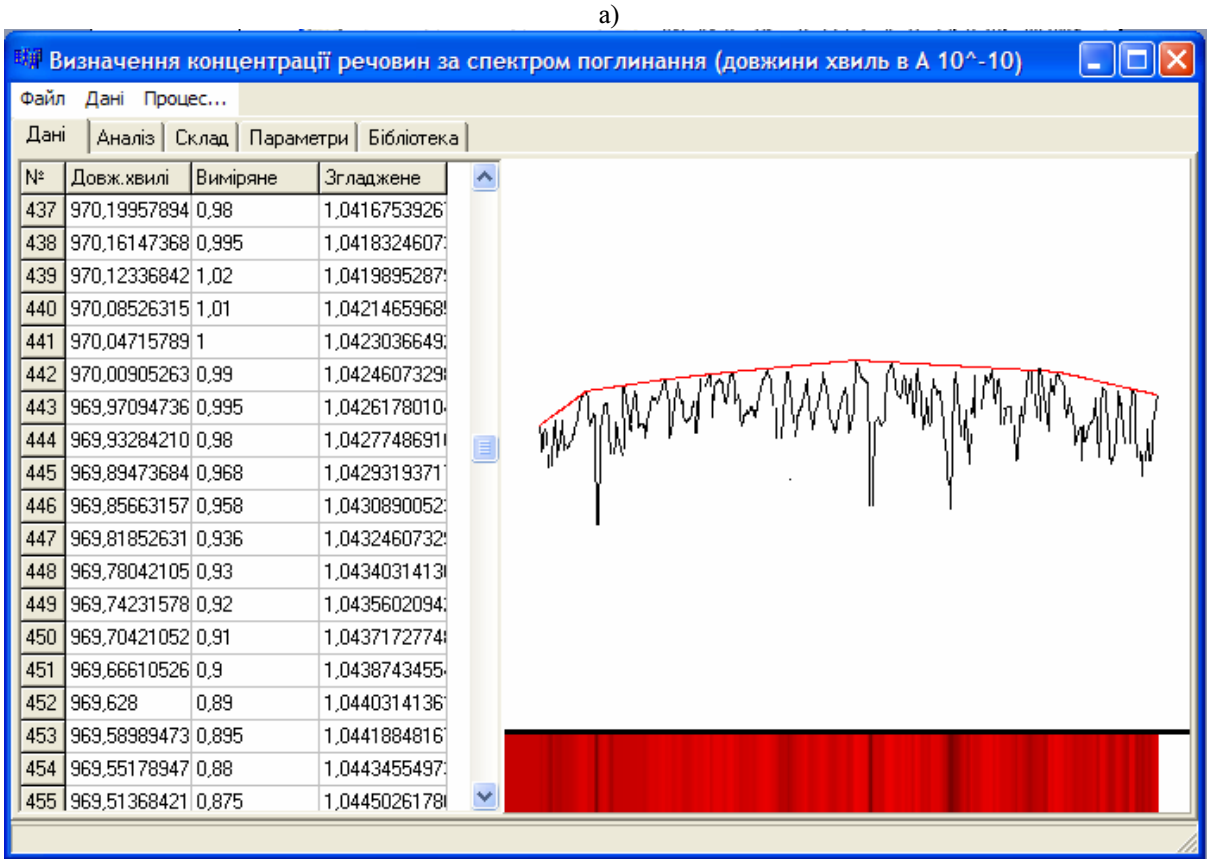
На рис. 3 наведено теоретичні і експериментальні залежності глибини провалу у центрі лінії поглинання від концентрації n речовини в газовому середовищі. Проведені дослідження експериментального зразка лазерної системи контролю малих концентрацій газових домішок в газових середовищах підтверджують перспективність використання таких систем в технологічних процесах, пов’язаних з газовими домішками.

Систему характеризує висока швидкість аналізу, достовірність визначення типу та концентрації газових складових.



№	Довж.хвилі	Виміряне	Згладжене
690	960,55894736	1	1,0310426540
691	960,52084210	1,01	1,0309478672
692	960,48273684	1,005	1,0308530805
693	960,44463157	1	1,0307582938
694	960,40652631	0,996	1,0306635071
695	960,36842105	0,994	1,0305687203
696	960,33031578	0,99	1,0304739336
697	960,29221052	1	1,0303791469
698	960,25410526	1,005	1,0302843601
699	960,216	1,01	1,0301895734
700	960,17789473	1,018	1,0300947867
701	960,13978947	1,03	1,03
702	960,10168421	1,01	1,0299
703	960,06357894	1	1,0298
704	960,02547368	0,96	1,0297
705	959,98736842	0,94	1,0296
706	959,94926315	0,91	1,0295
707	959,91115789	0,95	1,0294
708	959,87305263	0,97	1,0293

а)



№	Довж.хвилі	Виміряне	Згладжене
437	970,19957894	0,98	1,0416753926
438	970,16147368	0,995	1,0418324607
439	970,12336842	1,02	1,0419895287
440	970,08526315	1,01	1,0421465968
441	970,04715789	1	1,0423036649
442	970,00905263	0,99	1,0424607329
443	969,97094736	0,995	1,0426178010
444	969,93284210	0,98	1,0427748691
445	969,89473684	0,968	1,0429319371
446	969,85663157	0,958	1,0430890052
447	969,81852631	0,936	1,0432460732
448	969,78042105	0,93	1,0434031413
449	969,74231578	0,92	1,0435602094
450	969,70421052	0,91	1,0437172774
451	969,66610526	0,9	1,0438743455
452	969,628	0,89	1,0440314136
453	969,58989473	0,895	1,0441884816
454	969,55178947	0,88	1,0443455497
455	969,51368421	0,875	1,0445026178

б)

Рисунок 2 - Спектр поглинання парів води при тисках: а) 0,1 мм рт. ст.; б) 0,15 мм рт. ст.

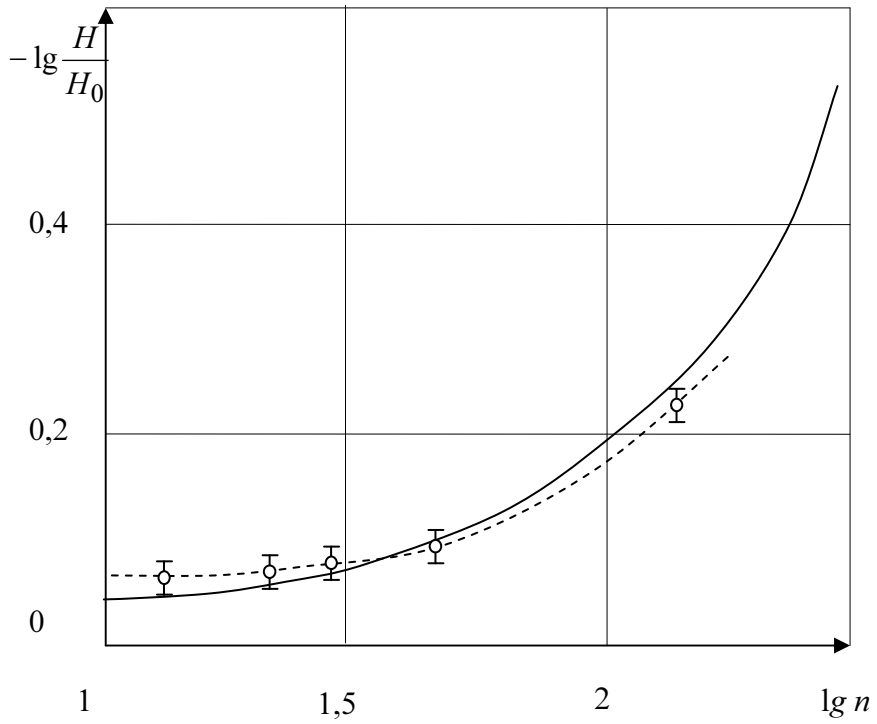


Рисунок 3 - Теоретична (_____) та експериментальна (- - - -) залежність відносної експозиції від концентрації n речовини в газовому середовищі

Для пояснення ефекту конденсації автори більшості робіт вводять в модель нелінійність взаємодії випромінювання з речовиною [2-4]. Суттєво, що для пояснення ефекту конденсації при наявності зовнішнього джерела періодичної модуляції коефіцієнта посилення введення нелінійності в модель не потрібно. Тому в даній роботі буде використуватися лінійна модель.

Найбільш просто отримати рівняння моделі для кільцевого однонаправленого резонатора з тонким активним середовищем, зосередженої в одному місці. Нехай координата *z* відраховується від тонкого активного середовища в напрямку руху випромінювання. Поле випромінювання всередині резонатора можна вважати плоскою хвилею *E (t, z)* (поперечна структура випромінювання не враховується). Поле випромінювання на вході і виході активного середовища буде відповідно *E (t, L)* і *E (t, 0)*, де *L* - повна довжина резонатора. Як це прийнято робити в методі ВРЛС, будемо вважати, що контур посилення активного середовища набагато ширше спектра генерації і всю взаємодію випромінювання з тонким активним середовищем можна описати коефіцієнтом посилення *A (t)* інтенсивності *EE** на один прохід:

$$E(t,0)\,E^*(t,0) = A(t)\,E(t,L)E^*(t,L). \qquad (1)$$

В коефіцієнт посилення *A (t)* включені всі втрати на оптичних поверхнях системи. Замість коефіцієнта посилення інтенсивності *A (t)* зручно ввести коефіцієнт посилення напруженості поля $a(t) = \sqrt{A(t)}$, такий, що

$$E(t,0) = a(t)\,E(t,L). \qquad (2)$$

Рівняння руху для повільних комплексних амплітуд:

$$\frac{\partial \varepsilon_q(t)}{\partial t} = \left(\left. \frac{\partial k(\omega)}{\partial \omega} \right|_{\omega=\omega_q} \right)^{-1} \left\{ \left(\frac{a_o - 1}{L} - I\, m\, k_q \right) \varepsilon_q(t) + \right.$$
$$\left. + \sum_{n \neq 0} \frac{a_n}{L} \varepsilon_{q-n}(t) \exp\left[i \left(\omega_q - \omega_{q-n} - n\Omega \right) t \right] \right\} \qquad (3)$$

дозволяє дослідити поведінку генерації, що і буде зроблено нижче.

При чисельному моделюванні ефекту конденсації була обрана форма контуру σ(ω), яка відповідає умовам експериментального спостерігання конденсації в [5, 6] і в цій роботі. Роль поглинаючої речовини виконували пари калію в кюветі, вставленій в резонатор лазера на розчині барвника ДОТС в диметилсульфоксиді. Лінії резонансного дублета калію (λ_1 =766,5 нм, λ_2 = 770 нм) потрапляли в область генерації лазера. Оскільки відстань між лініями дублету істотно перевищує масштаби тієї спектральної області, в якій відбувається конденсація, при моделюванні розглядалася тільки одна лінія, а вплив сусідньої не враховувалося. Розширення лінії поглинання обумовлено як тепловим рухом, так і зіткненнями з молекулами буферного газу гелію (тиск ~ 10 мм рт. ст.). Незважаючи на те, що лоренцевське уширення (10^9 c^{-1}) було менше доплерівського ($6{,}2\text{-}10^9$ c^{-1}), ми не можемо вважати контур σ(ω) чисто доплерівським, оскільки явища, які нас цікавлять, відбуваються в далекому крилі лінії.

Спектри <H(ω)>, обчислені для різних співвідношень між частотами Ω / Δ ω_∞, наведені на рис. 4. Видно, що при Q Ω / Δ $\omega_\infty \geq 1$ спектр генерації мало відрізняється від того, що відбувається в разі відсутності модуляції. Коли відношення Ω / Δ ω_∞ стає трохи менше одиниці, спостерігається збільшення інтенсивності генерації поблизу лінії на декілька порядків. Нарешті, при подальшому зменшенні Ω / Δ ω_∞ , пік конденсації наближається до лінії і поступово зникає.

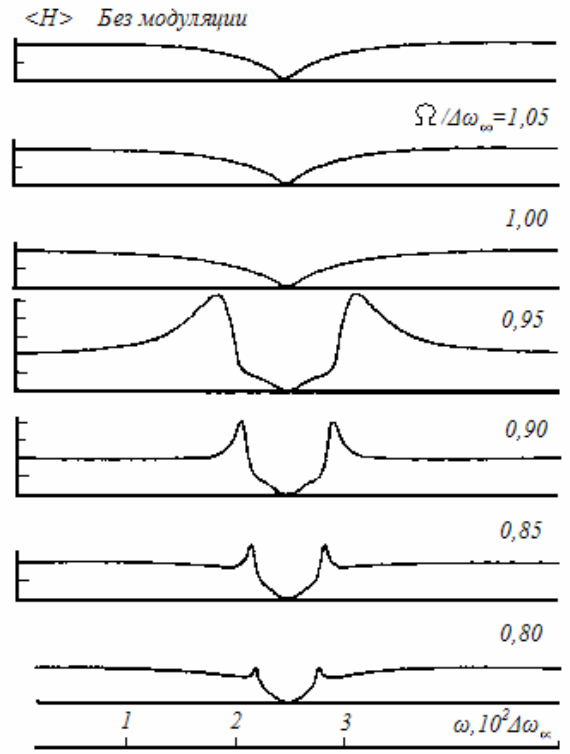


Рисунок 4 - Інтегральні спектри генерації <H(w)> , отримані чисельним розв'язанням рівнянь моделі (3).

Масштаб по вертикалі - логарифмічний, одна маленька поділка відповідає зміні інтенсивності на порядок. У зв'язку з великою щільністю частоти окремих поздовжніх мод ω_q на графіку не показані.

Істотно, що спектральне положення піків конденсації не залежить від характеру уширення спектральної лінії. Це дозволяє визначити інтегральний перетин Σ для лінії з невідомим профілем без інтегрування по контуру. Останнє особливо істотно для вузьких спектральних ліній, ширина яких менше спектрального розділення використовуваної апаратури.

Ширина спектральної лінії практично не впливає на положення піку конденсації, але визначає можливість виникнення останньої. Якщо поглинання на частоті $\omega_{конд}$ буде занадто великим, ефект збільшення спектральної інтенсивності спостерігатися не буде. Саме цим пояснюється існування нижньої границі відношень $\Omega/\Delta\omega_\infty$, для якого явище ще спостерігається.

Вплив ширини лінії експериментально досліджувався в даній роботі. Ширина лінії змінювалася шляхом зміни тиску буферного газу гелію. При підвищенні тиску гелію пік конденсації зникав спочатку з однієї, а при подальшому збільшенні тиску – з обох сторін від лінії поглинання. Неодночасність зникнення піків говорить про асиметрію ударного уширення.

При достатній тривалості імпульсу генерації відбувається повна концентрація спектральної інтенсивності в області піків конденсації. Це дозволяє створити лазер, що перенастроюється, причому перебудова може здійснюватися зміною як відношення $\Omega/\Delta\omega_\infty$, так і концентрації поглинаючих молекул N. Генерацію безперервного лазера можна перебудовувати в межах всього контуру посилення, змінюючи частоту модуляції Ω, якщо в резонатор цього лазера вставити скло для створення хоча б невеликий дисперсії (дисперсія поблизу лінії поглинання значно сильніше).

В роботі доведено:

1) розроблена лазерна система контролю малих концентрацій газових домішок в газових атмосфера перспективна для управління технологічними процесами. Систему характеризує висока швидкість ідентифікації складу газових сумішей, достовірність визначення типу та концентрації газових складових;

2) так званий ефект «конденсації спектра», який впливає на контур лінії поглинання та похибку обчислення концентрації газових домішок, залежить від часової модуляції коефіцієнта підсилення багатомодового лазера. Дію цього ефекту можна зменшити, якщо ретельно обмежити умови виникнення модуляції.

Список літератури

1. Беликова Т.П. ЖЭТФ / Т.П. Беликова, Э.А. Свириденков, А.Ф. Сучков, Л.В. Титова, С.С. Чурилов. – 1972. – № 62 (2060).
2. Ануфрик С.С. Квантовая электроника / С.С. Ануфрик, Н.С. Зейликович, В.Г. Кукушкин, С.А. Пулькин. – 1983. – № 10 (2053).
3. Егоров В.С. Оптика и спектроскопия / В.С. Егоров, И.А. Чехонин – 1982. – № 52 (591).
4. Рубинов А.Н. Квантовая электроника / А.Н. Рубинов, М.В. Белоконь, А.В. Адамушко – 1979. – № 6 (723).
5. Баев В.М. Письма в ЖЭТФ / В.М. Баев, Т.П. Беликова, О.П. Варнавский, В.Ф. Гамалий, С.А. Коваленко, Э.А. Свириденков. – 1985. – № 42 (416).
6. Баев М.В. Кр. сообщ. по физике / М.В. Баев, В.Ф. Гамалий, З.А. Свириденков, Д.Д. Топтыгин. - ФИАН, – 1986. – № 8 (6).
7. Беликова Т.П Квантовая электроника / Т.П. Беликова, Э.А. Свириденков, А.Ф. Сучков. – 1974. – № 1 (830).
8. McDuff O.P. IEEE J. / O.P. McDuff, S.E.Harris. –1967. – № QE-3 (101).
9. G.H.C. New. Rep. Prog. Phys. – 1983. – № 46 (877).

В.Ф.Гамалий, С.И.Осадчий, М.В.Якорева

Исследование макета автоматизированной лазерной системы контроля малых концентраций примесей в газовых средах

Проведено исследование достоверности результатов измерения малых концентраций примесей в газах.

V.Gamaliy, S.Osadchiy, M.Yakoreva

The research prototype automated laser control system of small concentrations of impurities in the gas

A study of the reliability of the results of measurement of low concentrations of impurities in gases.

Одержано 20.03.12

УДК 622.788: 622.7.09.002

В.О. Кондратець, проф., канд. техн. наук, А.М. Мацуй, канд. техн. наук, В.О. Шалімов, доц., канд. техн. наук, О.А. Лисенко, магістр
Кіровоградський національний технічний університет

Розробка та дослідження САК струмовим режимом при вимірюванні вмісту магнітного заліза в пробах

У статті обґрунтована принципова схема і вимоги до якості системи автоматичного керування струмовим режимом приладу для вимірювання вмісту магнітного заліза у сипких здрібнених матеріалах. Показано, що її доцільно реалізувати як систему змінного струму, яка може бути побудованою з уніфікованих елементів. Визначено тип і параметри коректуючого пристрою змінного струму, який забезпечує необхідні показники якості керування.

струмовий режим, вміст магнітного заліза, коректуючий пристрій, перехідні процеси, якість керування

Зважаючи на те, що більш багата на залізо металургійна сировина ефективніше переробляється, а вміст корисного компонента в рудах все більше зменшується, виникає необхідність в збагаченні руд, які добувають як відкритим, так і підземним способом. При цьому виникає необхідність у визначенні вмісту магнітного заліза в рудах, що направляються на збагачення з кар'єрів і шахт. Така ж задача стоїть при відлагодженні та контролі за ходом технологічного процесу на магнітозбагачувальних фабриках. Відсутність ефективних засобів вимірювання вмісту магнітного заліза приводить до значного перевитрачання на транспортування, подрібнення та збагачення руд, що не відповідає вимогам законодавства України про ресурсозберігаючі технології в промисловості та основним положенням Державної науково-технічної програми "Ресурсозберігаючі технології нового покоління в гірничо-металургійному комплексі". Тема даної статті є актуальною, оскільки вона спрямована на розв'язання задачі ресурсозбереження в металургійній галузі. Матеріали даної публікації отримані в результаті виконання науково-дослідної роботи "Система комп'ютерної ідентифікації співвідношення тверде/рідке при подрібненні пісків класифікатора" (державний реєстраційний номер 0107U005470).

© В.О. Кондратець, А.М. Мацуй, В.О. Шалімов, О.А. Лисенко, 2012

В.Ф.Гамалий, С.И.Осадчий, М.В.Якорева

Исследование макета автоматизированной лазерной системы контроля малых концентраций примесей в газовых средах

Проведено исследование достоверности результатов измерения малых концентраций примесей в газах.

V.Gamaliy, S.Osadchiy, M.Yakoreva

The research prototype automated laser control system of small concentrations of impurities in the gas

A study of the reliability of the results of measurement of low concentrations of impurities in gases.

Одержано 20.03.12

УДК 622.788: 622.7.09.002

В.О. Кондратець, проф., канд. техн. наук, А.М. Мацуй, канд. техн. наук, В.О. Шалімов, доц., канд. техн. наук, О.А. Лисенко, магістр
Кіровоградський національний технічний університет

Розробка та дослідження САК струмовим режимом при вимірюванні вмісту магнітного заліза в пробах

У статті обґрунтована принципова схема і вимоги до якості системи автоматичного керування струмовим режимом приладу для вимірювання вмісту магнітного заліза у сипких здрібнених матеріалах. Показано, що її доцільно реалізувати як систему змінного струму, яка може бути побудованою з уніфікованих елементів. Визначено тип і параметри коректуючого пристрою змінного струму, який забезпечує необхідні показники якості керування.

струмовий режим, вміст магнітного заліза, коректуючий пристрій, перехідні процеси, якість керування

Зважаючи на те, що більш багата на залізо металургійна сировина ефективніше переробляється, а вміст корисного компонента в рудах все більше зменшується, виникає необхідність в збагаченні руд, які добувають як відкритим, так і підземним способом. При цьому виникає необхідність у визначенні вмісту магнітного заліза в рудах, що направляються на збагачення з кар'єрів і шахт. Така ж задача стоїть при відлагодженні та контролі за ходом технологічного процесу на магнітозбагачувальних фабриках. Відсутність ефективних засобів вимірювання вмісту магнітного заліза приводить до значного перевитрачання на транспортування, подрібнення та збагачення руд, що не відповідає вимогам законодавства України про ресурсозберігаючі технології в промисловості та основним положенням Державної науково-технічної програми "Ресурсозберігаючі технології нового покоління в гірничо-металургійному комплексі". Тема даної статті є актуальною, оскільки вона спрямована на розв'язання задачі ресурсозбереження в металургійній галузі. Матеріали даної публікації отримані в результаті виконання науково-дослідної роботи "Система комп'ютерної ідентифікації співвідношення тверде/рідке при подрібненні пісків класифікатора" (державний реєстраційний номер 0107U005470).

© В.О. Кондратець, А.М. Мацуй, В.О. Шалімов, О.А. Лисенко, 2012

Розв'язанням задачі вимірювання вмісту магнітного заліза тривалий час займаються і вітчизняні, і зарубіжні вчені. В різні роки дану задачу розв'язують А.І. Батанов, В.О. Бунько, М.А. Васютинський, А.К. Вейнберг, А.Я. Власов, С.А. Волотковський, С.К. Гребнєв, Т.І. Гуленко, А.С. Давидкович, Б.І. Кауль, Г.В. Коваленко, В.О. Кондратець, В.Г. Лисов, О.М. Марюта, І.П. Мильніков, Т. Нагата, Г.С. Нестеров, Н.А. Нестерова, В.І. Новохатько, М.А. Рочняк, А.Е. Сафонов та інші. Аналіз стану розв'язання даної задачі показав, що найбільше розповсюдження отримав прилад ВМФ – вимірювач магнітної фракції, який широко застосовують у лабораторіях гірничозбагачувальних підприємств для експрес-аналізу хвостів магнітної сепарації [1]. Однак в ньому використовують порівняно невелику масу дози матеріалу і він не забезпечує необхідної точності при зростанні вмісту магнітного заліза. Кращі результати забезпечує пристрій для визначення вмісту феромагнітного матеріалу відповідно авторському свідоцтву [2]. Він достатньо ефективно визначає вміст магнітної фракції, але в умовах тривалої роботи і коливань напруги в мережі живлення допускає значну додаткову похибку. Авторами цієї публікації запропоновано підхід ліквідації додаткової похибки, однак такі задачі у згаданих процесах ніхто не розв'язував.

Метою даної роботи є розробка та дослідження системи автоматичного керування струмовим режимом електромагнітної обмотки, що створює у пристрої для вимірювання вмісту магнітного заліза магнітне поле значної напруженості з незмінним градієнтом напруженості .

Пристрій для вимірювання вмісту магнітного заліза в пробі сипкого матеріалу [2] містить обмотку з магнітопроводом, по якій протікає постійний електричний струм, що створює в її порожнині магнітне поле значної напруженості з незмінним градієнтом. Якщо в порожнину обмотки помістити кювету з пробою, де міститься феромагнітний матеріал, то на неї буде діяти сила

$$F = k\chi PHgradH\,, \qquad (1)$$

де k – незмінний коефіцієнт;

χ – питома магнітна сприйнятливість суміші в пробі, яка залежить від вмісту магнітного матеріалу;

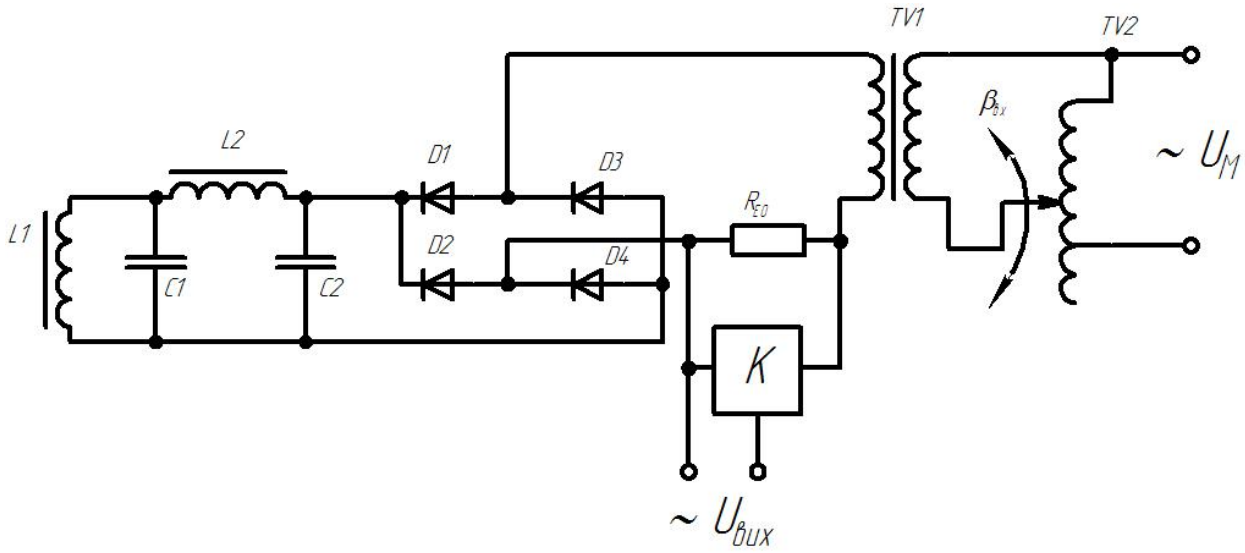
P – вага матеріалу в пробі;

H – напруженість магнітного поля в порожнині обмотки;

$gradH$ - градієнт магнітного поля, що являє собою вектор напруженості магнітного поля H, який направлений вздовж осі порожнини обмотки X і чисельно дорівнює швидкості зміни напруженості поля за цим напрямком dH/dX.

При постійній вазі проби сила, що на неї діє, буде пропорційна χ, тобто вмісту магнітного заліза. Оскільки напруженість магнітного поля H пропорційна ампер-виткам, то при відхиленні сили струму в обмотці від приписаного значення напруженість магнітного поля в її порожнині не буде залишатись незмінною, що стане результатом додаткової похибки вимірювань. Сила струму не залишається заданою в наслідок значного зростання активного опору обмотки при нагріванні та коливань напруги в мережі живлення. Використання феррорезонансного стабілізатора напруги змінного струму не дає позитивних результатів навіть при спробі зменшення впливу другого фактора, оскільки, в наслідок спотворення форми кривої при регулюванні, струм не залишається незмінним [3, 4]. Стала часу нагріву складає 55 хв., а активний опір обмотки може змінюватись в межах 0…33%. За таких умов можуть виникати значні неконтрольовані додаткові похибки вимірювання.

Позбавитись від додаткової похибки вимірювання, зменшити витрати електричної енергії, досягти миттєвої готовності пристрою до роботи можливо



$\beta_{вх}$ – вхідна величина – кут повороту рухомого контакту автотрансформатора; $U_{вих}$ – вихідна величина – змінна напруга, що відповідає силі змінного струму; $R_{ЕО}$ – еталонний опір; K – підсилювач змінного струму з передаточним коефіцієнтом k

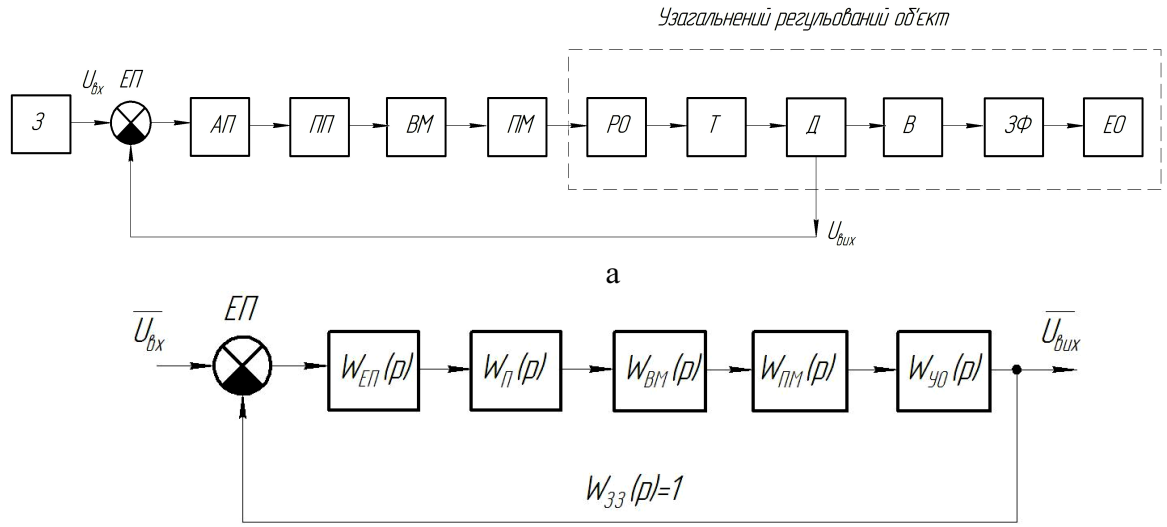
Рисунок 1 - Принципова схема узагальненого регульованого об'єкта

застосуванням системи автоматичного керування силою струму в електромагнітній обмотці.

Аналіз показав, що узагальнений регульований об'єкт можливо подати у вигляді схеми, що зображена на рис.1. Тут *L1* являє собою обмотку, в порожнині якої розміщують кювету з матеріалом при вимірюванні й у якій стабілізують силу постійного струму. Вихідною величиною тут є напруга змінного струму $U_{вих}$, яка створюється падінням напруги на $R_{ео}$ з наступним її підсиленням з коефіцієнтом k при протіканні змінного струму. Змінний струм випрямляється випрямлячем *D1…D4*, фільтрується *П* – подібним *LC*-фільтром і обтікає обмотку *L1*. Вхідною величиною є кут $\beta_{вх}$ повороту рухомого контакту автотрансформатора *TV2*. Зміною положення рухомого контакту автотрансформатора можливо компенсувати будь-які відхилення сили струму в обмотці *L1*.

Особливістю даного регульованого об'єкта є те, що в ньому навантаження на об'єкт – сила струму і фізична регульована величина співпадають. Сила струму залежить від активного опору електромагнітної обмотки, який в процесі нагрівання змінюється повільно, і стрімких кидків напруги живлення. Поступова зміна активного опору електромагнітної обмотки вимагає високої статичної точності системи автоматичного керування (статична похибка повинна дорівнювати нулю), а компенсація швидкої зміни напруги живлення – високої швидкодії САК. Аналіз показує, що час регулювання системи повинен не перевищувати 0,04 с. При такій швидкодії системи в електромагнітній обмотці при коливаннях напруги живлення струм змінюватися практично не буде і не будуть виникати додаткові похибки визначення магнітної фракції в пробі. Запаси стійкості даної САК можуть знаходитися в межах вимог до систем, що працюють в промисловості.

Прийнявши принцип автоматичного регулювання за відхиленням, зобразимо функціональну схему системи автоматичного регулювання (рис.2,а), в якій узагальнений регульований об'єкт представлено регулювальним органом РО (автотрансформатор), трансформатором Т, випрямлячем В, згладжувальним фільтром Ф, електромагнітною обмоткою ЕО і датчиком вихідної величини Д (еталонний опір з підсилювачем). Автоматичний регулятор включає задавач сили струму З, елемент порівняння ЕП, амплітудний підсилювач АП, підсилювач потужності ПП, виконавчий



а

б

З – задавач; *АП* – амплітудний підсилювач; *ПП* – підсилювач потужності; *ВМ* – виконавчий механізм; *ПМ* – перетворювальний механізм; *РО* – регулювальний орган; *Т* – трансформатор; *Д* – датчик; *В* – випрямляч; *ЗФ* – згладжувальний фільтр; *ЕО* – електромагнітна обмотка; *W(p)* – передавальні функції

Рисунок 2 - Функціональна (а) та структурна (б) схеми системи автоматичного керування струмовим режимом електромагнітної обмотки

механізм ВМ, перетворювальний механізм ПМ. Як видно з рис.2,а, зворотний зв'язок не охоплює випрямляч, згладжувальний фільтр і електромагнітну обмотку, однак у даних елементах відхилень від приписаного режиму відбуватись не може.

Розглядаючи функціональну схему САК, помічаємо, що до складу узагальненого регульованого об'єкта системи в даному його варіанті інерційні елементи не входять і він являє собою безінерційну ланку з передавальним коефіцієнтом k_0. Тому його передавальна функція дорівнює $W_{УО}(p)=k_О$. Вихідною величиною узагальненого об'єкта є напруга змінного струму $U_{вих}$, а вхідною – кут повороту рухомого контакту автотрансформатора $\beta_{вх}$ (рис.1). У зв'язку з цим перетворювальний механізм ПМ необхідно вибрати обертового типу, а виконавчий механізм ВМ – у вигляді електродвигуна. Оскільки САК є швидкодіючою, вихідний сигнал узагальненого регульованого об'єкта $U_{вих}$ не можливо перетворювати у сигнал постійного струму. Тому САК необхідно реалізувати як систему змінного струму. В якості виконавчого механізму доцільно прийняти типовий реверсивний асинхронний електродвигун РД-09, оскільки момент на переставлення рухомого контакту автотрансформатора незначний. Функції перетворювального механізму може виконати його редуктор, у якому можливо встановити коефіцієнт редукції 15,62; 39,06; 75,56; 137. Передавальна функція перетворювального механізму $W_{ПМ}(p)=k_{ПМ}$. Реверсивний асинхронний двофазний двигун наближено можна розглядати як дві послідовно з'єднані динамічні ланки – інтегруючу та аперіодичну, якщо вихідною величиною є кут повороту ротора [5]. Його передавальна функція буде дорівнювати

$$W_{ВМ}(p)=\frac{k_{ВМ}}{p(T_{ВМ}p+1)}, \qquad (2)$$

де $k_{ВМ}$, $T_{ВМ}$ – відповідно передавальний коефіцієнт та стала часу виконавчого механізму;

p – оператор Лапласа.

Так подають сталу часу реверсивного асинхронного двофазного електродвигуна тому, що електромагнітна стала часу (залежить від колової частоти, активного та

індуктивного опору обмотки управління) значно менша електромеханічної сталої часу $T_{ВМ}$, яка визначається моментом інерції ротора, коловою частотою обертання вала при холостому ході і номінальній напрузі управління та пусковим моментом двигуна при номінальній напрузі на обмотці управління. Електромеханічна стала часу електродвигуна РД-09 складає $T_{ВМ}$=0,02с. Стала часу інтегруючої ланки в (2) T_i=1с.

Виконавчий механізм приводиться в дію від підсилювача, який живить керуючі обмотки електродвигуна. Підсилювач складається з п'яти каскадів підсилення. Перші три є каскадами попереднього підсилення, четвертий – кінцевий. П'ятий каскад є вихідним, його виконано за двотактною схемою. Перші три каскади (амплітудний підсилювач) виконано на транзисторах з загальним емітером, оскільки таке ввімкнення транзистора може забезпечувати значні коефіцієнти підсилення не лише по напрузі, але і по струму. Четвертий каскад є кінцевим. Він також виконаний на транзисторі, навантаженням якого є первинна обмотка трансформатора, вторинні обмотки якого організують вхід вихідного каскаду, що містить два транзистори, ввімкнені за двотактною схемою. Регулювання коефіцієнта підсилення здійснюється змінним опором, який ввімкнено у навантаженні третього каскаду. Напруга з нього подається на вхід четвертого каскаду.

Для отримання найбільшої чутливості підсилювача необхідно, щоб фаза вихідної напруги сигналу співпадала з фазою напруги живлення. Регулювання фази вихідної напруги здійснюється підбором ємності конденсатора, що шунтує первинну обмотку трансформатора, яка є навантаженням четвертого каскаду. Підключення обмотки управління електродвигуна до підсилювача здійснюється через вихідний трансформатор, первинні обмотки якого є навантаженням вихідного каскаду. У динамічному відношенні напівпровідникові підсилювачі на частоті 50 Гц розглядаються як пропорційні динамічні ланки, тому $W_{П}(p)=k_{П}$ [6].

На вході підсилювача встановлено трансформатор, на одну з первинних обмоток якого подається змінна напруга задаючого діяння, а на іншу у протифазі – змінна напруга вихідного сигналу регульованого об'єкта. Вторинна обмотка з'єднана з входом підсилювача. Даний трансформатор реалізує функцію елемента порівняння. Задавач разом з елементом порівняння також складають підсилювальну динамічну ланку з передавальною функцією $W_{ЕП}(p)=k_{ЕП}$. У відповідності з сказаним, структурна схема САК прийме вигляд, що показано на рис. 2,б.

Передавальна функція розімкнутої системи буде дорівнювати

$$W_{Р}(p)=W_{ЕП}(p)\cdot W_{П}(p)\cdot W_{ВМ}(p)\cdot W_{ПМ}(p)\cdot W_{УО}(p). \qquad (3)$$

З врахуванням значень передавальних функцій динамічних елементів вона прийме вигляд

$$W_{Р}(p)=\frac{k_{ЕП}\cdot k_{П}\cdot k_{ВМ}\cdot k_{ПМ}\cdot k_{УО}}{T_i p(T_{ВМ}p+1)}=\frac{\overline{U}_{вих}}{\overline{U}_{вх}} \qquad (4)$$

або

$$W_{Р}(p)=\frac{k_{Р}}{T_i p(T_{ВМ}p+1)}=\frac{\overline{U}_{вих}}{\overline{U}_{вх}}, \qquad (5)$$

де $k_{Р}=k_{ЕП}\cdot k_{П}\cdot k_{ВМ}\cdot k_{ПМ}\cdot k_{УО}$ - коефіцієнт підсилення розімкнутої системи.

Передавальна функція замкненої системи дорівнює

$$W_{З}(p)=\frac{\overline{U}_{вих}}{\overline{U}_{вх}}=\frac{k_{Р}}{T_i p(T_{ВМ}p+1)+k_{Р}}=\frac{k_{Р}}{T_i T_{ВМ}p^2+T_i p+k_{Р}}, \qquad (6)$$

звідки рівняння динаміки замкненої системи у лапласівській формі

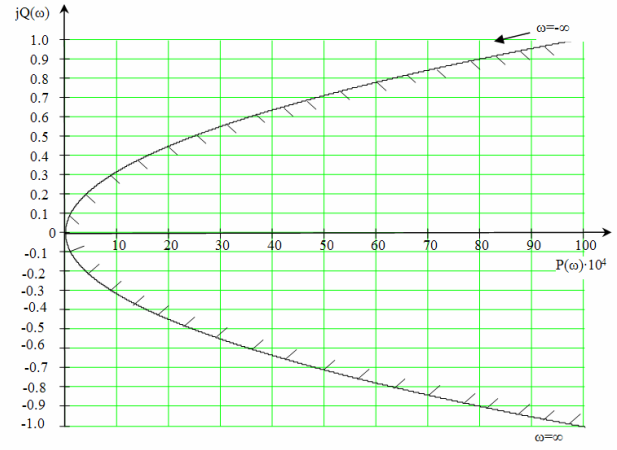
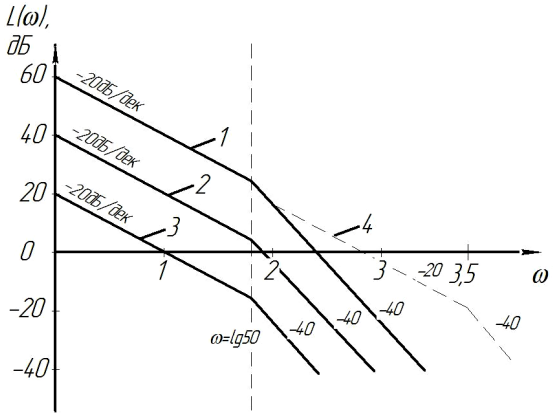
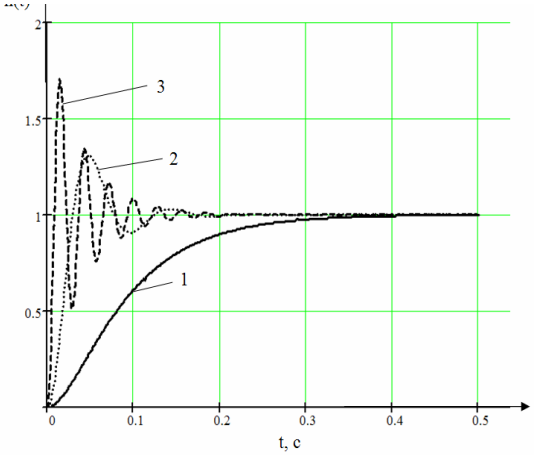


Рисунок 3 - Виділення області стійкості за коефіцієнтом підсилення розімкнутої системи



1 – k_P=1000; 2 – k_P=100; 3 – k_P=10; 4 – k_P=1000 з корекцією

Рисунок 4 - Асимптотичні логарифмічні амплітудні частотні характеристики розімкнутої системи з різними коефіцієнтами підсилення



1 – k_P=10; 2 – k_P=100; 3 – k_P=1000

Рисунок 5 - Перехідні характеристики САК при різних значеннях коефіцієнта підсилення розімкнутої системи

$$\left|T_i T_{BM} p^2 + T_i p + k_P\right|\overline{U}_{вих} = k_P \overline{U}_{вх}.$$

САК містить інтегруючу ланку, що гарантує високу статичну точність і підтримання заданої сили струму в умовах зміни активного опору обмотки при її нагріванні. Відповідно залежностям (6) і (7) запишемо характеристичне рівняння замкнутої системи

$$T_i T_{BM} p^2 + T_i p + k_P = 0.$$

Прирівнявши у (8) $p=j\omega$, отримаємо

$$k_P = T_i T_{BM} \omega^2 - jT_i \omega,$$

де $P(\omega) = T_i T_{BM} \omega^2$, $Q(\omega) = -T_i \omega$ - відповідно дійсна і уявна частини виразу.

Відповідно залежності (9) визначимо область стійкості за коефіцієнтом підсилення розімкнутої системи (рис.3), змінюючи ω від -∞ до ∞. З рис.3 видно, що САК буде стійкою при будь-яких значеннях коефіцієнта підсилення розімкнутої системи.

Відповідно структурній схемі САК (рис.2,б) і виразу (5) побудуємо асимптотичні логарифмічні частотні характеристики розімкнутої системи при $k_P = 10$, $k_P = 100$, $k_P = 1000$ (рис.4). З графіків рис.4 видно, що при малих коефіцієнтах підсилення розімкнутої системи середньочастотна асимптота має нахил -20дБ/дек, що відповідає оптимальній швидкодії системи [7]. При k_P більших 100, середньочастотні асимптоти мають нахил -40дБ/дек. Такі системи не відповідають оптимальній швидкодії і мають значні пере регулювання [7].

Перехідні характеристики *h(t)*, побудовані для даної САК при різних значеннях коефіцієнта підсилення k_P, показані на рис.5. З графіків рис.5 видно, що при малих коефіцієнтах підсилення розімкнутої системи k_P перехідні процеси будуть монотонними (крива 1). Вони характеризуються значним часом регулювання, що наближено дорівнює 0,4с. З підвищенням коефіцієнта підсилення розімкнутої системи до $k_P = 100$ перехідний процес стає коливальним і скорочується

час регулювання до 0,22с (крива 2). Подальше підвищення коефіцієнта підсилення до $k_P = 1000$ коливальність перехідного процесу зберігає, зростає частота коливань (крива 3), однак час регулювання не зменшується. Отже, зміною коефіцієнта підсилення в основному від 10 до 100 можливо впливати на тривалість перехідного процесу системи, змінюючи її в певних межах, однак показник якості (час регулювання) залишається значним і не відповідає пред'явленим вимогам.

Враховуючи, що в даній системі не можуть виникати високочастотні перешкоди і вони не пройдуть через електромагнітну обмотку, яка має великий індуктивний опір, та залежність часу регулювання від частоти зрізу $\omega_з$ при коливальних перехідних процесах відповідно співвідношенню $t_p \cong (1...2)\frac{2\pi}{\omega_з}$ [7], час регулювання можливо зменшити збільшенням частоти зрізу $\omega_з$. Частоту зрізу можливо збільшити корекцією системи. При цьому необхідно розмістити середньочастотну асимптоту логарифмічної амплітудної частотної характеристики праворуч (ломана 1, рис.4), одночасно надавши їй нахил -20дБ/дек для забезпечення оптимальної швидкодії системи. Тобто, необхідно отримати ломану 4 на рис.4. Це можливо здійснити зміною нахилу асимптоти, наприклад при спрягаючій частоті ω=100с$^{-1}$ в додатному напрямі. Дана операція потребує введення до чисельника передавальної функції розімкнутої системи множника (T_1p+1) при T_1=0,01с. Високочастотну асимптоту логарифмічної амплітудної частотної характеристики можливо провести з відносним нахилом -40дБ/дек, здійснивши спряження при частоті ω=3160с$^{-1}$, що відповідає введенню множника (T_2p+1) до знаменника передатної функції розімкнутої системи при T_2=0,00032с. Таку корекцію слід здійснювати без зміни коефіцієнта підсилення розімкнутої системи. Коректуючий пристрій повинен бути змінного струму. Серед коректуючих пристроїв змінного струму [6], які не відрізняються різноманітністю, такий пристрій є. Його передавальна функція має вигляд

$$W_K(p) = k\frac{(T_1p+1)}{(T_2p+1)}, \tag{10}$$

а принципова схема зображена на рис.6 [6].

Для реалізації коректуючого пристрою за відомими для нього аналітичними залежностями і сталими часу T_1 і T_2 необхідно визначити номінальні значення – C, R, R_1 і R_2. З залежності

$$T_2 = \frac{RC}{2} \tag{11}$$

знаходимо RC=0,000633с. Задаючись значенням C=10000ммФ, знаходимо R=63кОм.

З залежності

$$T_1 = T_2\frac{R_1+R_2}{R_2} \tag{12}$$

отримуємо співвідношення

$$R_2 = \frac{T_2}{T_1-T_2}R_1 \tag{13}$$

або з врахуванням конкретних значень сталих часу R_2=0,033R_1. Задаючись значенням R_1=100кОМ, знаходимо R_2=3,3кОм.

Передаточний коефіцієнт коректуючого пристрою

$$k = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 0{,}032. \qquad (14)$$

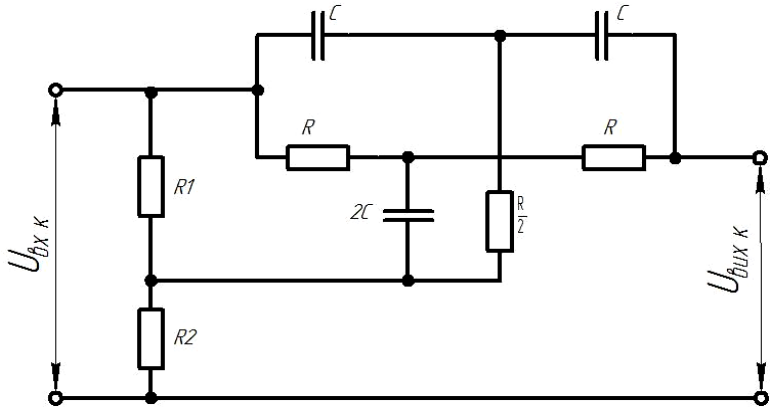
Коректуючий пристрій сильно ослаблює сигнал і має значний вихідний опір, тому перед ним необхідно встановити попередній підсилювач з коефіцієнтом передачі близько 30, а після нього – емітерний повторювач. При цьому буде вводитися корегування, а коефіцієнт підсилення розімкнутої системи змінюватися не буде.

З врахуванням коректуючого пристрою передатна функція замкнутої системи буде описуватися рівнянням

$$W_3(p) = \frac{\overline{X}_{вих}}{\overline{X}_{вх}} = \frac{k_P(T_1 p + 1)}{T_i T_{BM} T_2 p^3 + T_i(T_2 + T_{BM})p^2 + (T_i + k_P T_1)p + k_P}. \qquad (15)$$

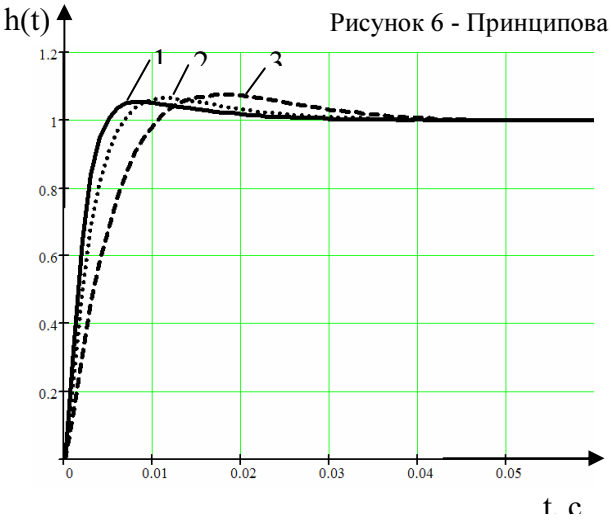
Перехідні процеси, що відповідають передатній функції (15) при різних значеннях коефіцієнта підсилення розімкнутої системи, приведені на рис.7.

З рис.7 видно, що час регулювання скоректованої системи значно зменшився і відповідає пред'явленим вимогам. Система може працювати при різних заданих значеннях коефіцієнта підсилення розімкнутої системи в межах від 400 до 1000. У скоректованої системи (рис.7) перехідні процеси аперіодичні і мають незначне перерегулювання, що не перевищує 10%. Чим більше значення коефіцієнта підсилення розімкнутої системи, тим менше перерегулювання.



R, C, R1, R2 – номінальні позначення опорів і ємностей

Рисунок 6 - Принципова схема коректуючого пристрою



1 – k_p=1000; 2 – k_p=700; 3 – k_p=400

Рисунок 7 - Перехідні характеристики скорегованої системи при різних значеннях коефіцієнта підсилення розімкнутої

Аналіз логарифмічних частотних характеристик розімкнутої скоректованої системи показує, що її запаси стійкості складають в розглянутому діапазоні зміни коефіцієнта підсилення не менше 100° і 100дБ, що дозволяє її надійно експлуатувати в промислових умовах.

Отже, дослідження розробленої системи автоматичного керування струмовим режимом електромагнітної обмотки при вимірюванні вмісту магнітного заліза в пробах сипкого матеріалу довели можливість створення такої САК. Вона має високу статичну точність, аперіодичний перехідний процес, час регулювання, що не перевищує 0,04с, максимальне відносне

перерегулювання до 10% і запаси стійкості за модулем більше 100дБ та фазою більше 100º. Це дозволяє надійно використовувати її в промислових умовах і значно підвищити точність вимірювання вмісту магнітного заліза в сипких подрібнених матеріалах.

На підставі проведених досліджень відкривається перспектива розробки такої системи автоматичного керування і значного підвищення точності вимірювання магнетиту в здрібнених матеріалах збагачувальних і дробильних фабрик, кар'єрів і шахт. Дану САК можливо виготовляти в умовах підприємств, що спрощує використання удосконалених пристроїв для вимірювання вмісту магнетиту в рудах і проміжних продуктах збагачувальних фабрик.

Список літератури

1. Прибор для экспресс-анализа хвостов обогатительных фабрик / М.Т. Азаренко, Б.И. Кауль, А.Ф. Лепеха [и др.] // Автоматика и приборостроение.- 1965.- №3.- С.12-15.
2. А.с. 327398 СССР, МКИ G 01 n 15/00. Устройство для определения содержания ферромагнитного материала / В.И. Новохатько, Т.И. Гуленко, В.А. Кондратец, В.Г. Лысов (СССР). – №1338190/26-25; заявл. 10.06.69; опубл. 26.01.72, Бюл. № 5.
3. Основы электроизмерительной техники / [Левин М.И., Прытков В.Т., Демидова-Панферова Р.М., Кутяшова Е.М.]; под ред. М.И. Левина.- М.: Энергия, 1972.- 544с.
4. Бриндли К. Электронные контрольно-измерительные приборы / Бориндли К.; пер. с англ. Ю.Ф. Архипцева; под ред. А.П. Фомина.- М.: Энергоатомиздат, 1989.- 128с.
5. Автоматика и автоматизация мобильных сельскохозяйственных машин / [Носов Г.Р., Кондратец В.А., Сакало Л.Г., Середа Л.И.].- К.: Вища школа, 1984.- 248с.
6. Танатар А.И. Элементы промышленной автоматики и их динамические свойства / Танатар А.И.- К.: Техніка, 1975.- 232с.
7. Попович М.Г. Теорія автоматичного керування: [підруч. [для студ. вищ. техн. закл. освіти] /М.Г. Попович, О.В. Ковальчук.- К.: Либідь, 1997.- 544с.

В. Кондратец, А. Мацуй, В. Шалимов, О. Лысенко

Разработка и исследование САУ токовым режимом при измерении содержания магнитного железа в пробах

В статье обоснована принципиальная схема и требования к качеству системы автоматического управления токовым режимом прибора для измерения содержания магнитного железа в сыпучих дробленых материалах. Показано, что её целесообразно реализовать как систему переменного тока, которая может быть построена на унифицированных элементах. Определен тип и параметры корректирующего устройства переменного тока, которое обеспечивает необходимые показатели качества управления.

V. Kondratec, A. Macuy , V. Shalimov, O. Lysenko

Development and research of SAC by the current mode at measuring of maintenance of magnetic iron in tests

In the article an of principle chart is grounded and requirement to quality of the system of automatic control the current mode of device for measuring of maintenance of magnetic iron in the friable shredded materials. It is rotined that it is expedient to realize it as a system of alternating current, which can be built from compatible elements. A type and parameters of correcting device of alternating current, which provides the necessary indexes of management quality, is certain.

Одержано 20.01.12

УДК 620.91

Т.Г. Сабірзянов, проф., д-р техн. наук, М.В. Кубкін, асист., В.П. Солдатенко, асист., О. А. Козловський, асист.
Кіровоградський національний технічний університет

Математична модель фотобатареї як джерела електричної енергії

В статті розробляється математична модель фотоелектричної батареї як джерела електричної енергії, що дозволяє враховує вплив температури навколишнього середовища та самого фотоелектричного модуля, а також струм навантаження на вихідну потужність установки.
математична модель, фотоелектрична батарея, стандартні умови, вплив температури

В сучасних умовах все ширше застосовуються установки, які перетворюють енергію Сонця в електричну енергію постійного струму. При цьому фотоелектрична батарея представляється спрощеною математичною моделлю з деяким сталим коефіцієнтом корисної дії.

Насправді ж вихідна потужність сонячної установки буде залежати від багатьох чинників, зокрема від температури оточуючого середовища, температури фото панелі, струму навантаження батареї [1].

Метою статті є розробка математичної моделі фотоелектричної батареї, яка б дозволила визначити її електричну потужність у залежності від густини потоку сонячного випромінювання, температури оточуючого середовища та фото панелі.

Розрахунок вихідної потужності фотоелектричної батареї виконується за наступною формулою [2]

$$P_{\text{ФЕБ}}(t) = P_{\text{ФЕБном}} k_{\text{з.е.}} \frac{\bar{I}_{\beta}(t)}{I_{\text{СУ}}}\left[1 + \alpha_P(\vartheta_{\text{ФЕБ}}(t) - \vartheta_{\text{СУ}})\right], \quad (1)$$

де $P_{\text{ФЕБ}}(t)$ — вихідна потужність ФЕБ, кВт;

$P_{\text{ФЕБном}}$ — номінальна потужність ФЕБ при СУ, кВт;

$k_{\text{з.е.}}$ — коефіцієнт зниження ефективності ФЕБ;

$\bar{I}_{\beta}(t)$ — середнє значення густини потоку сонячного випромінювання, яке потрапляє на поверхню ФЕБ за годинний інтервал, Вт/м^2;

$I_{\text{СУ}}$ — густина потоку сонячного випромінювання, яке потрапляє на поверхню ФЕБ при СУ, кВт/м^2;

α_P — температурний коефіцієнт потужності ФЕБ, ºС$^{-1}$ (як правило величина α_P від'ємна, що означає зменшення ефективності ФЕБ з підвищенням температури);

$\vartheta_{\text{ФЕБ}}(t)$ — поточна температура ФЕБ, ºС;

$\vartheta_{\text{СУ}}$ — температура ФЕБ при СУ, ºС.

Під стандартними умовами розуміють наступні: густина потоку сонячного випромінювання $I_{\text{СУ}} = 1$ кВт/м^2, температуру поверхні ФЕБ $\vartheta_{\text{ФЕБ}} = 25$ °С. Параметри, які отримуються при цих умовах називаються номінальними параметрами ФЕБ.

© Т.Г. Сабірзянов, М.В. Кубкін, В.П. Солдатенко, О. А. Козловський, 2012

Якщо зміну потужності ФЕБ при зміні температури не враховувати, то формула (1) спрощується:

$$P_{\text{ФЕБ}}(t) = P_{\text{ФЕБ ном}} k_{\text{з.е.}} \frac{\bar{I}_{\beta}(t)}{I_{\text{СУ}}}; \tag{2}$$

Температура ФЕБ – це температура її поверхні. В нічний час доби температура поверхні батареї дорівнює температурі оточуючого середовища, а при освітленні сонячними променями може перевищувати температуру оточуючого середовища понад 30ºС.

Температуру ФЕБ можна знайти з рівняння балансу потужностей [3], яке відображає баланс між сонячною енергією, що падає на ФЕБ, електричною потужністю і тепловіддачею в оточуюче середовище:

$$\tau\alpha I_{\beta}(t) = \eta_{\text{ФЕБ}} I_{\beta}(t) + \alpha_{\text{ФЕБ}} \left[\vartheta_{\text{ФЕБ}}(t) - \vartheta_0(t)\right]; \tag{3}$$

де τ — коефіцієнт пропускання ФЕБ;

α — коефіцієнт поглинання ФЕБ;

$I_{\beta}(t)$ — густина потоку сонячного випромінювання, яке потрапляє на поверхню ФЕБ, кВт/м^2;

$\eta_{\text{ФЕБ}}$ — ККД ФЕБ;

$\alpha_{\text{ФЕБ}}$ — коефіцієнт тепловіддачі від ФЕБ в оточуюче середовище, кВт/(м^2·ºС);

$\vartheta_0(t)$ — температура оточуючого середовища, ºС.

Розв’язавши (3) відносно $\vartheta_{\text{ФЕБ}}$, отримаємо:

$$\vartheta_{\text{ФЕБ}}(t) = \vartheta_0(t) + I_{\beta}(t) \frac{\tau\alpha}{\alpha_{\text{ФЕБ}}} \left(1 - \frac{\eta_{\text{ФЕБ}}}{\tau\alpha}\right); \tag{4}$$

Так як величину $\frac{\tau\alpha}{\alpha_{\text{ФЕБ}}}$ практично виміряти дуже важко, тому використовують технічні дані виробників. В режимі роботи без навантаження (4) матиме вигляд:

$$\frac{\tau\alpha}{\alpha_{\text{ФЕБ}}} = \frac{\vartheta_{\text{ФЕБ ном}} - \vartheta_{0\,\text{ном}}}{I_{\text{ном}}}, \tag{5}$$

де $\vartheta_{\text{ФЕБ ном}}$ — номінальна робоча температура ФЕБ при випробуваннях, ºС;

$\vartheta_{0\,\text{ном}}$ — температура оточуючого середовища, при якій проводяться випробування і визначається $\vartheta_{\text{ФЕБ ном}}$, ºС, (як правило $\vartheta_{0\,\text{ном}} = 20\ ^{\circ}\text{C}$);

$I_{\text{ном}}$ — густина потоку сонячного випромінювання, яке потрапляє на поверхню ФЕБ при проведенні випробувань, кВт/м^2, (як правило $I_{\text{ном}} = 800$ Вт/м^2).

Для спрощення будемо вважати, що величина $\frac{\tau\alpha}{\alpha_{\text{ФЕБ}}}$ постійна, тоді рівняння (4) можна представити у вигляді:

$$\vartheta_{\text{ФЕБ}}(t) = \vartheta_0(t) + I_\beta(t)\frac{\vartheta_{\text{ФЕБ ном}} - \vartheta_{0\text{ ном}}}{I_{\text{ном}}}\left(1 - \frac{\eta_{\text{ФЕБ}}}{\tau\alpha}\right); \quad (6)$$

Приймемо, що величина $\tau\alpha = 0{,}9$ [3]. Оскільки величина відношення $\frac{\eta_{\text{ФЕБ}}}{\tau\alpha}$ значно менша одиниці, то попереднє допущення не вносить значної похибки.

Вважатимемо також, що система керування ФЕБ автоматично підтримує режим роботи в точці відбору максимальної потужності. Це означає, що ККД ФЕБ завжди має максимальне значення:

$$\eta_{\text{ФЕБ}} = \eta_{\text{ФЕБ max}}, \quad (7)$$

де $\eta_{\text{ФЕБ max}}$ — ККД ФЕБ в точці відбору максимальної потужності.

Враховуючи (7) рівняння (6) набуває вигляду:

$$\vartheta_{\text{ФЕБ}}(t) = \vartheta_0(t) + (\vartheta_{\text{ФЕБ ном}} - \vartheta_{0\text{ ном}})\frac{I_\beta(t)}{I_{\text{ном}}}\left(1 - \frac{\eta_{\text{ФЕБ max}}(t)}{\tau\alpha}\right); \quad (8)$$

Величина $\eta_{\text{ФЕБ max}}$ залежить від температури. Вважатимемо, що ККД змінюється за лінійним законом згідно рівняння:

$$\eta_{\text{ФЕБ max}}(t) = \eta_{\text{ФЕБ max СУ}}\left[1 + \alpha_P(\vartheta_{\text{ФЕБ}}(t) - \vartheta_{\text{СУ}})\right]; \quad (9)$$

де $\eta_{\text{ФЕБ max СУ}}$ — ККД ФЕБ в точці максимальної потужності при СУ.

Підставивши вираз (9) у (8) отримаємо рівняння для визначення поточної температури ФЕБ:

$$\vartheta_{\text{ФЕБ}}(t) = \vartheta_0(t) + (\vartheta_{\text{ФЕБ ном}} - \vartheta_{0\text{ ном}})\frac{I_\beta(t)}{I_{\text{ном}}}\left(1 - \frac{\eta_{\text{ФЕБ max СУ}}\left[1 + \alpha_P(\vartheta_{\text{ФЕБ}}(t) - \vartheta_{\text{СУ}})\right]}{\tau\alpha}\right); \quad (10)$$

Виконавши еквівалентні перетворення у формулі (10) визначимо температуру ФЕБ у момент часу t:

$$\vartheta_{\text{ФЕБ}}(t) = \frac{\vartheta_0(t) + (\vartheta_{\text{ФЕБ ном}} - \vartheta_{0\text{ ном}})\frac{I_\beta(t)}{I_{\text{ном}}}\left(1 - \frac{\eta_{\text{ФЕБ max СУ}}\left(1 - \alpha_P\vartheta_{\text{СУ}}\right)}{\tau\alpha}\right)}{1 + (\vartheta_{\text{ФЕБ ном}} - \vartheta_{0\text{ ном}})\frac{I_\beta(t)}{I_{\text{ном}}}\frac{\eta_{\text{ФЕБ max СУ}}\alpha_P}{\tau\alpha}}; \quad (11)$$

Якщо значення $\eta_{\text{ФЕБ max СУ}}$ не зазначено в документації, то воно визначається із із наступного рівняння:

$$\eta_{\text{ФЕБ, max СУ}} = \frac{P_{\text{ФЕБном}}}{F_{\text{ФЕБ}} I_{\text{СУ}}}; \quad (12)$$

де $F_{\text{ФЕБ}}$ — площа ФЕБ, м^2.

Алгоритм визначення вихідної потужності фотоелектричної батареї приведений на рис. 1.

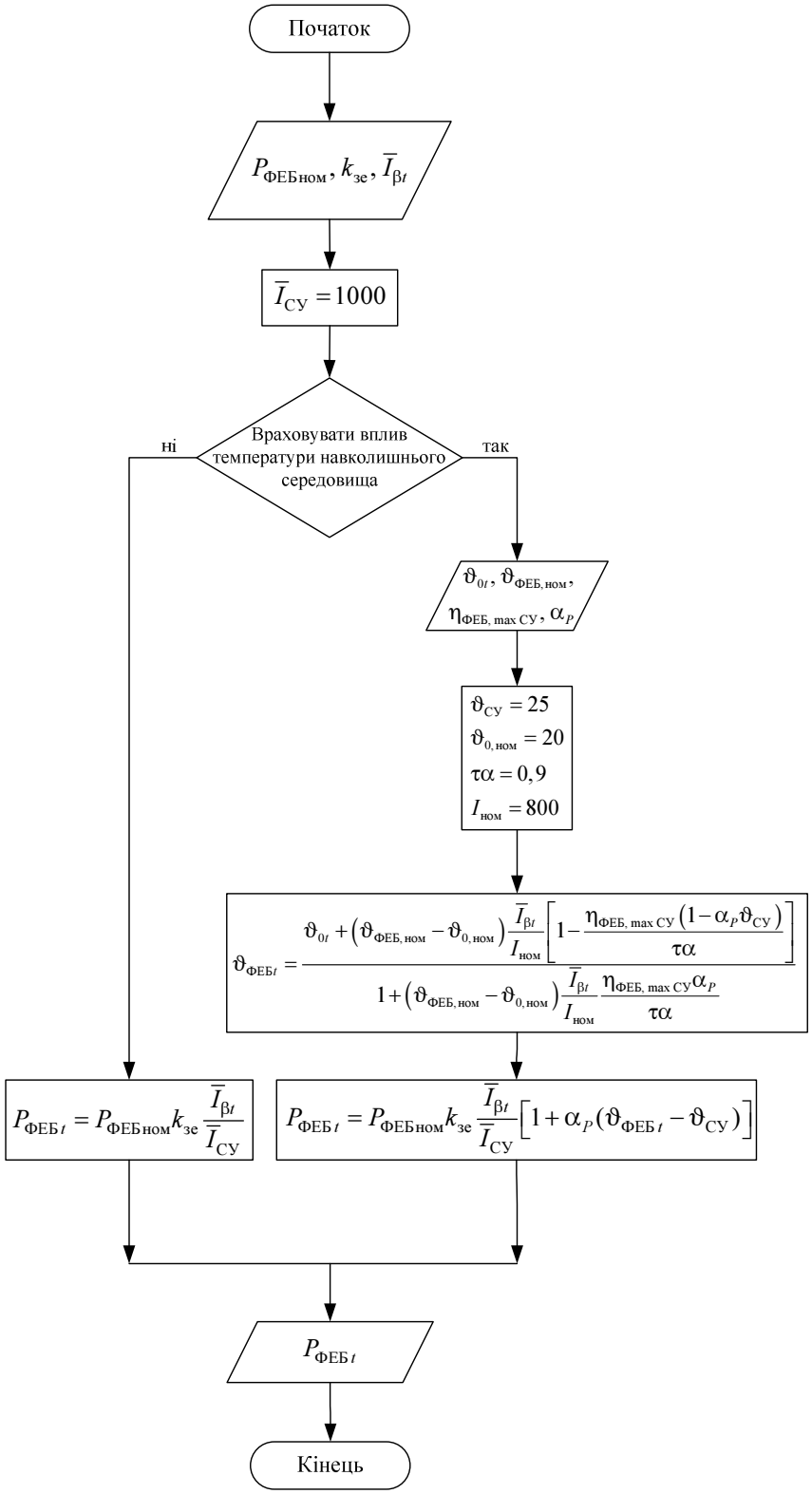


Рисунок 1 — Алгоритм визначення вихідної потужності фотоелектричної батареї

Висновки. Таким чином була запропонована математична модель фотоелектричної батареї як джерела електричної енергії, яка дозволяє:

— враховувати вплив температури оточуючого середовища;

— враховувати вплив температури фотоелектричного модуля;

— струм навантаження;

— підвищити точність імітаційного моделювання енергетичних установок з використанням сонячних фотоелектричних батарей.

Запропоновану математичну модель можна використовувати при розробці імітаційних моделей фотоелектричних модулів як складових елементів енергетичних систем з відновлюваними джерелами енергії.

Список літератури

1. Twidell J. Renewable energy resources / J. Twidell, A. Wair. — 2nd ed. — Taylor & Francis, 2006.— 626 p.
2. Bedescu V. Modeling Solar Radiation at the Earth's Surface Recent Advances. — Springer, Bucharest, 2008 — 580 p.
3. Duffie J. Solar engineering of thermal processes / J. Duffie, W. Beckman. — John Wiley & Sons, Inc, New York — 1980.

Т. Сабирзянов, М. Кубкин, В. Солдатенко,О.Козловский

Математическая модель фотобатареи как источника электрической энергии

В статье разрабатывается математическая модель фотоэлектрической батареи как источника электрической энергии, которая позволяет учитывать влияние температуры окружающей среды и самого фотоэлектрического модуля, а также ток нагрузки на выходную мощность установки.

T. Sabirzanov, M. Kubkin, V. Soldatenko, O.Kozlovskyi

Mathematical model of photovoltaic as an electric energy source

In the article the mathematical model of photovoltaic battery is developed as an electric energy, which allows to take into account influence of ambient and most photovoltaic module temperature, and also current of loading on launch power of setting, source.

Одержано 07.12.11

УДК 621.3.016.3

Ю.И. Казанцев, доц., канд. техн. наук, А.Г. Младаховская
Кировоградский национальный технический университет

Метод расчета электрических нагрузок предприятий с массовым выпуском однородной продукции

В статье показан метод расчета электрических нагрузок по удельным нормам расхода электроэнергии с использованием нестационарной модели графиков электрических нагрузок.
электрические нагрузки, однородная продукция, предприятие

Растущее общественное производство предъявляет в настоящее время повышенные требования к точности оценок эффективности вариантов народно-хозяйственного плана, что, в частности, требует повышенной точности прогнозирования ожидаемых электрических нагрузок и расхода электроэнергии для проектируемых предприятий.

Исследования в этой области заложены в работах Каялова Г.М., Волобринского С.Д., Гофмана И.В., Ястребова П.П., Авилова-Карнаухова Б.Н., и др.

Ныне существующий метод упорядоченных диаграмм Г.М. Каялова основан на учете и исследовании характеристик отдельных электроприемников.

$$P_P = K_И \cdot K_M \cdot P_H = K_M \cdot P_{CP}, \quad (1)$$

где $K_И$ – коэффициент использования;

K_M – коэффициент максимума;

P_H – номинальная мощность электроприемников;

P_{CP} – средняя мощность электроприемников.

Однако в «Указаниях» по расчёту нагрузок рекомендуется определять расчётные нагрузки по удельной плотности нагрузок на м^2 площади цеха или по удельному расходу электроэнергии и только потом по методу упорядоченных диаграмм. Но эти методы до сих пор не разработаны. Поэтому целесообразно, там где это возможно, производить определение расчетных нагрузок по прогнозируемому удельному расходу электроэнергии, так как в начальной стадии проектирования известна, как правило, лишь планируемая производительность предприятия.

В настоящей работе предлагается метод расчета электрических нагрузок предприятий с массовым выпуском продукции, для которых получены научно-обоснованные удельные нормы расхода электроэнергии [1, 2, 3].

Удельные нормы расхода электроэнергии можно получить, например, с помощью основной электрической характеристики впервые предложенной проф. Б.Н. Авиловым-Карнауховым для угольных шахт.

$$\frac{\omega}{\rho_У} = f(\alpha), \quad (2)$$

© Ю.И. Казанцев, А.Г. Младаховская, 2012

где ω – удельный расход электроенергии;

$\rho_y = \frac{P_y}{A_0}$ – удельная устанавливаемая мощность;

A_0 – проектная производительность;

$\alpha = \frac{A}{A_0}$ – производительность в относительных единицах;

A – выпуск продукции.

В общем виде уравнение (2) имеет вид гиперболического полинома:

$$y = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2 + ... + a_p \cdot x^p ,$$

где $y = \frac{\omega}{\rho_y}$, $x = \frac{1}{A}$.

Располагая удельными нормами, можно производить оценку расхода электрической энергии или средней мощности за расчетный период. Для рассматриваемых потребителей таким периодом могут быть сутки, месяц или год. Как показали исследования нагрузок комбината строительных материалов (КСМ) и его отдельных цехов, два из которых имеют трьохсменный, а один двухсменный режимы работы, процесс изменения нагрузок на суточных и тем более месячных интервалах времени является нестационарным.

Для определения расчётной нагрузки по пику перегрева нет необходимости учитывать свойства нагрузок в отдельные моменты времени, а достаточно лишь выявить результат суммарного воздействия нагрузок на электрическую сеть (например, максимальный нагрев проводников) за расчётный цикл времени. В связи с этим для решения поставленной задачи целесообразно ввести некоторые средние по времени на расчетном интервале Т характеристики нестационарных случайных процессов изменения нагрузок [4]:

1.Среднее на интервале Т значение нагрузки (аналог оценки математического ожидания для стационарных процессов):

$$m_{PT} = \frac{1}{T}\int_0^T P(t)dt , \qquad (3)$$

где $P(t)$ – реализация нестационарного случайного процесса изменения активной мощности за время Т.

Среднее значение нагрузки за период Т в условиях эксплуатации определяется по показаниям счетчиков электроэнергии; в условиях же проектирования или прогнозирования – по удельным нормам и планируемой производительности.

2. Средняя на интервале Т дисперсия графика нагрузки (аналог независимой от времени дисперсии стационарного процесса):

$$Д_{PT} = \frac{1}{T}\int_0^T P^2(t)dt - m_{PT}^2 . \qquad (4)$$

3. Осреднённая на интервале Т одномерная плотность распределения или гистограмма графика нагрузки:

$$f_T(P) = \frac{1}{T}\int_0^T f(P,t)dt\,, \tag{5}$$

где $f(P,t)$ – одномерная плотность распределения, зависящая для нестационарных процессов от параметра *t*.

Необходимо отметить, что указанные характеристики нестационарных процессов изменения нагрузок определяются по одной реализации, поэтому они зависят от Т и являются случайными величинами *(m_{PT}, $Д_{PT}$)* или случайными функциями $f_T(P)$.

В этом случае важным является вопрос о соответствии этих, определенных по одной реализации, характеристик истинным характеристикам, определённым по ансамблю реализаций, т.е. вопрос об эргодических свойствах нестационарных процессов изменения нагрузок.

Для решения этого вопроса можно использовать эргодические теоремы Н.А. Железнова [5] сформулированные и доказанные для одного класса нестационарных процессов.

Сущность теорем состоит в том, что при выполнении некоторых условий, налагающих ограничения на свойства изучаемых нестационарных процессов, средние по времени характеристики (3), (4) при больших Т сходятся с вероятностью единица к соответствующим характеристикам нагрузок, т.е. к неслучайным величинам. Первое условие, необходимое для существования этих эргодических теорем, заключается в ограниченности дисперсии и непрерывности в среднеквадратичном рассматриваемых случайных процессов, что всегда выполняется для графиков электрических нагрузок. Второе условие относится к затуханию корреляционных связей во времени и состоит в том, что период осреднения Т должен значительно превышать интервал корреляции, т.е. интервал существенного ослабления корреляционных связей.

Исследования показали, что в корреляционных функциях графиков нагрузки различных потребителей, помимо затухающей апериодической, имеются периодические слагающие, обусловленные суточной, недельной и сезонной цикличностью электропотребления. Поэтому для эффективного использования эргодических теорем Н.А. Железнова при анализе нагрузок дополнительно к условию $T >> \tau_0$ (τ_0 – интервал затухания апериодической слагающей) необходимо выполнение условия кратности интервала Т периодам периодических слагающих. В корреляционных функциях графиков нагрузки комбината строительных материалов помимо апериодической слагающей, затухающей за интервал, равный нескольким часам, имеются две периодические слагающие с восьмичасовым и суточным периодами (рис. 1). Первая обусловлена сменной, вторая суточной цикличностью электропотребления. Сезонная цикличность оказалась незначительной.

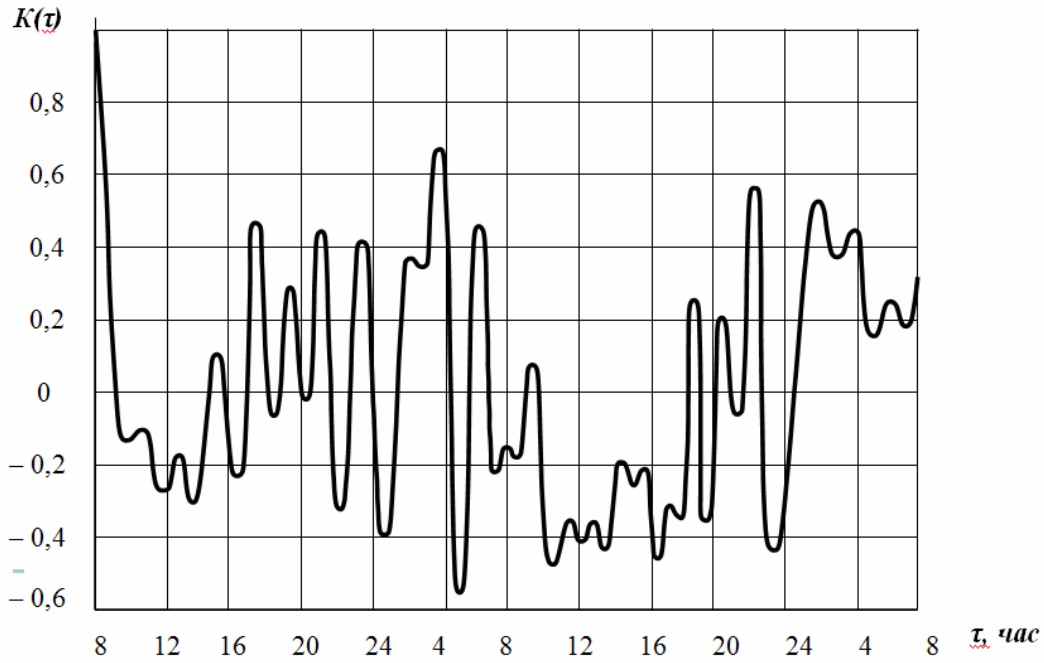


Рисунок 1 – Корреляционная функция изменения получасовых нагрузок цеха №1

Таким образом, можно считать, что для данного потребителя месячный интервал удовлетворяет необходимым условиям эргодических теорем. Полученные с помощью теорем Н.А. Железнова выводы об эргодических свойствах нестационарных процессов изменения нагрузок относительно характеристик (3), (4) распространимы, очевидно, и на характеристику (5). Действительно, если период Т удовлетворяет вышеуказанным условиям и все возможные свойства процесса формирования нагрузок проявились за этот период неоднократно, то можно ожидать, что всегда найдется такое Т, для которого гистограмма графика нагрузки при дальнейшем увеличении Т изменится незначительно. Другими словами, последовательность случайных функций $f_T(P)$, которая имеет место для различных значений Т, сходится с вероятностью единица к пределу $\bar{f}_T(P)$, т.е. для любых $\xi > 0$ и $\upsilon > 0$ всегда найдется такое Т, что при любых t вероятность совместного осуществления К неравенств:

$$\left| f_{T+t_k}(P) - \bar{f}(P) \right| < \xi, \; t_k = t_1, t_2 \ldots t_k;$$

будет больше, чем 1 – υ. При этом

$$\lim_{T\to\infty}(P) = \lim_{T\to\infty} \frac{1}{T} \int_0^T f(P,t)dt = \overline{f}(P).$$

С помощью осредненных по времени статистических характеристик (3), (4), (5) вычисляемых по одной реализации, нестационарные нагрузки можно сопоставить с эквивалентными в среднем однородными по времени стационарными случайными процессами. Это позволяет моделировать нагрузки на длительных интервалах времени случайными величинами, статистические характеристики и законы распределения которых имеют смысл осредненных по времени характеристик нестационарных случайных процессов. Зная эти характеристики и законы распределения, отнесенные к расчетному периоду времени нетрудно определить расчетную максимальную нагрузку с оценкой её доверительной вероятности. Очевидно, что при этом главным является

отыскание осредненных на интервале Т одномерных законов распределения графиков нагрузки (5).

Характерной особенностью этих осредненных на интервале Т одномерных законов распределения (гистограмм) является наличие двух вершин. Это объясняется наложением на установившейся режим нормальной работы (правая часть гистограммы) режима с пониженным электропотреблением, обусловленного влиянием различного рода неслучайных и случайных факторов (снижение нагрузки в ночное время, выходные и праздничные дни, перебои в работе по различным случайным причинам). Другими словами режим изменения электрических нагрузок в течении длительного времени Т можно считать состоящим из двух более однородных режимов – установившегося режима наиболее загруженных смен и режима с пониженным электропотреблением что и обусловливает наличие двух вершин в гистограммах графиков нагрузки. Гистограммы цехов 1, 2, 3 и комбината в целом здесь не приводятся. Двухмодальные распределения присущи всем цехам и комбинату в целом. Наиболее выражена двухмодальность для гистограммы цеха №1 т.к. этот цех работает в 2,5 смены (технологическая линия по формовке продукции работает в 2 смены, а сушка и обжиг в 3 смены).

Следовательно можно сделать заключение, что одномерный закон распределения нагрузки на достаточно большом интервале Т зависит в первую очередь не столько от отраслевого характера, сколько от режима работы потребителя.

Полученные гистограммы аппроксимируются кривой $f_T(P)$ представляющей сумму двух плотностей распределения:

$$f_T(P) = f_{T1}(P) + f_{T2}(P), \tag{6}$$

где $f_{T1}(P)$, $f_{T2}(P)$ – осредненные на исследуемом интервале времени одномерные плотности распределения нагрузки в режиме пониженного электропотребления и режиме наиболее загруженных смен, соответственно.

Как показал анализ плотности распределения $f_{T1}(P)$ и $f_{T2}(P)$ для рассматриваемых гистограмм достаточно точно выравниваются кривыми нормальной (Гауссовской) плотности, за исключением цеха №1 с двухсменным режимом работы для которого $f_{T2}(P)$ выравнивается A – рядом Грама-Шарлье.

Для цеха №1

$$f_T(P) = f_{T1}(P) + f_{T2}(P) = f_{T1}(P) + f_{TH}(P) - \frac{r_3}{6}\cdot f_{TH}^{(3)}(P) + \frac{r_4 - 3}{24}\cdot f_{TH}^{(4)}(P); \tag{7}$$

где $f_{T1}(P) = \frac{1}{\sqrt{2\cdot\pi}\cdot\sigma_{PT1}}\cdot e^{-\frac{(P-m_{PT1})^2}{2\cdot\sigma_{PT1}^2}}$, $f_{TH}(P) = \frac{1}{\sqrt{2\cdot\pi}\cdot\sigma_{PT2}}\cdot e^{-\frac{(P-m_{PT2})^2}{2\cdot\sigma_{PT2}^2}}$,

$f_{TH}^{(3)}(P)$, $f_{TH}^{(4)}(P)$ – третья и четвертая производные $f_{TH}(P)$, соответственно,

$r_3 = -0{,}03$ – третий основной момент;

$r_4 = 4{,}73$ – четвертый основной момент.

Для цехов №2 и №3, а также в целом по комбинату:

$$f_T(P) = \frac{1}{\sqrt{2\cdot\pi}\cdot\sigma_{PT1}}\cdot e^{-\frac{(P-m_{PT1})^2}{2\cdot\sigma_{PT1}^2}} + \frac{1}{\sqrt{2\cdot\pi}\cdot\sigma_{PT2}}\cdot e^{-\frac{(P-m_{PT2})^2}{2\cdot\sigma_{PT2}^2}}. \tag{8}$$

Параметры исследуемых гистограмм приведены в таблице 1

Таблица 1 – Статистические характеристики гистограмм КСМ

№ п/п	Наименование	$f_{T1}(P)$		$f_{T2}(P)$		$f_T(P)$		λ	K_{PM}	$K_{св}$
		P_{T1}	P_{T1}	P_{T2}	σ_{PT2}	m_{PT}	σ_{PT}			
1	Цех № 1	239	17	331	50	296	62	0,9	1,3	1,12
2	Цех № 2	240	52	328	22	293	57	1,0	1,2	1,12
3	Цех № 3	270	54	368	20	315	64	0,3	1,2	1,16
4	По КСМ	810	40	930	60	912	82	0,6	1,15	1,02

Правомерность принятой гипотезы о виде распределений подтверждена количественной оценкой с помощью критериев согласия Колмогорова (λ), значения которых также приведены в таблице 1.

На основании полученных законов распределения можно вычислить максимальную 30 – минутную нагрузку P_M при заданной доверительной вероятности, которая обычно принимается равной 0,95. С использованием (6), (7), (8) для исследуемого потребителя вычислены коэффициенты расчетного максимума K_{PM}.

$$K_{PM} = \frac{P_M}{m_{PT}}.$$

Их значения приведены в таблице 1.

Полученные значения $K_{рм}$ с учетом эргодических свойств нагрузки можно считать типовыми для предприятий данной отрасли промышленности.

Таким образом предлагаемый метод определения расчетных нагрузок сводятся к следующему. Средняя нагрузка определяется по удельному расходу электроэнергии ω, определяемому с помощью энергетических характеристик (2), а коэффициент расчетного максимума K_{PM} с помощью нестационарной модели графиков электрических нагрузок:

$$P_P = K_{PM} \cdot P_{CP} = K_{PM} \cdot м_{PT} = K_{PM} \cdot \frac{\omega \cdot A_0}{T}, \text{кВт} \qquad (9)$$

Важное значение имеет связь между предлагаемым методом и методом упорядоченных диаграмм. Для выявления этой связи необходимо найти отношение средней мощности за длительный цикл времени m_{PT} и средней мощности за наиболее загруженную смену m_{PT2}. Отношение $\frac{m_{PT2}}{m_{PT}} = K_{св}$ для исследуемых потребителей приведены в таблице 1.

Полученные значения коэффициентов связи $K_{св}$ позволяют использовать при определении расчетных нагрузок по удельному расходу метод упорядоченных диаграмм. В этом случае по удельным нормам электропотребления находится значение средней нагрузки m_{PT}, определяется с помощью $K_{св}$ среднесменная нагрузка $P_{CM} = K_{св} \cdot m_{PT}$ и вычисляется коэффициент использования:

$$K_u = \frac{P_{CM}}{P_y},$$

где P_y – суммарная установленная мощность электроприемников по цеху или предприятию.

Далее известными способами с помощью метода упорядоченных диаграмм определяется коэффициент максимума K_M.

Выводы

1. Полученные с помощью нестационарной модели типовые значения коэффициента расчетного максимума позволяют производить оценку расчетной нагрузки для предприятий данной отрасли промышленности и метод их вывода для дальнейших исследований.

2. В отличие от метода упорядоченных диаграмм, положенного в основу указаний по расчету электрических нагрузок для указанных предприятий предлагается статистический метод, не требующий рассмотрения и учета характеристик режимов работы индивидуальных электроприемников. Расчетная нагрузка при этом определяется по данным о проектной производительности, удельным нормам электропотребления и типовым значениям коэффициента расчетного максимума для отдельных цехов и предприятия в целом.

Список литературы

1. Б.Н. Авилов–Карнаухов Нормирование электроэнергии для удельных шахт. Углетехиздат, М, 1963.
2. П.П. Ястребов. Использование и нормирование электроэнергии с процессах переработки хлебных культур. М, Колос, 1973.
3. Ю.И. Казанцев. Основная электрическая характеристика промышленных предприятий с массовым выпуском однородной продукции. Известия СОАН СССР, 1970 №3.
4. Ольховский В.Я. Нестационарная модель и статистические характеристики электрических нагрузок. Сб. трудов Новосибирского электротехнического института. 1971.
5. Железнов Н.А. Некоторые вопросы теории информационных электрических систем. ЛКВВИА им. А.Ф.Можайского.1960.

Ю. Казанцев, А. Младаховская

Метод расчета электрических нагрузок предприятий с массовым выпуском однородной продукции.

В статье показан метод расчета электрических нагрузок по удельным нормам расхода электроэнергии с использованием нестационарной модели графиков электрических нагрузок.

Yu. Kazancev, A.Mladakhovskaya

Method of calculation of the electric loadings of enterprises with the mass issue of homogeneous products.

From the article shows how to calculate electrical loads in terms of specific energy consumption norms using time-dependent model diagrams of electrical loads.

Получено 27.02.12

УДК 669.782

Е.И. Зубко, асп.
Запорожская государственная инженерная академия

Моделирование электрических свойств процесса изготовления пористого кремния методом электролитического анодирования

Разработан комплекс математического имитационного моделирования, которое описывает динамические изменения электрических свойств кремниевых пластин с разной структурой и уровнем легирования при изготовление пористого кремния методом электролитического анодирования.
модель, пористый кремний, емкость, сопротивление

Введение. Моделирование и исследование свойств пористого кремния является важным и актуальным вопросом выбора материала с необходимыми электрическими свойствами для применения в приборах микроэлектроники. На сегодня существуют несколько моделей, которые связаны со структурными свойствами пористых материалов. Эти работы объясняют закономерности порообразования на основе теории клеточных автоматов [1, 2], метода Монте-Карло [3], молекулярной динамики [4] и метода частиц [5]. Однако разработок по моделированию электрических свойств, кроме морфологических, в литературе не освещено.

Целью работы была разработка комплекса математического имитационного моделирования и программного обеспечения моделирования электрических свойств пористого кремния (ПК) в процессе электролитического анодирования (ЭА) монокристаллического кремния (МК).

Для достижения поставленной цели были решены следующие *задачи*:

- представить математические модели зависимостей удельного электрического сопротивления, поверхностной плотности заряда, удельной электрической проводимости, удельной электрической емкости, диэлектрической проницаемости, абсолютной магнитной проницаемости от технологических параметров (ТП) изготовления ПК;

- разработать программное обеспечение для получения зависимостей удельного электрического сопротивления, поверхностной плотности заряда, удельной электрической проводимости, удельной электрической емкости, диэлектрической проницаемости, абсолютной магнитной проницаемости от ТП изготовления ПК на кремниевых пластинах с различной структурой и уровнем легирования исходного материала.

Основной материал и методика исследования. В работе использовались пластины МК p- и n- типа проводимости с разной легирующей примесью (p-тип проводимости - марка КДБ-0,2, n- тип проводимости - КЕС-0,01) и различным уровнем легирования с ориентацией (100) и (111), толщиной 300 мкм. Третий, пятый (с одной стороны), шестой (с обеих сторон) образцы МК p- типа проводимости подвергалась операции ионной имплантации при 30 кЭв бором с дозой $D_p = 5*10^{14}$ см$^{-3}$. 7 образец - стандартная пластина МК n- типа проводимости, которая подвергалась операции ионной имплантации при 30 кЭв фосфором с дозой $D_p = 10^{15}$ см$^{-3}$. Все образцы после

© Е.И. Зубко, 2012

ионной имплантации были отожжены при Т = 900 ºС в течении 30 минут.

Пластины проходили операцию ЭА в смеси $HF:H_2O:C_2H_5OH=1:1:1$. Освещение использовалось естественное. Пористость ПК была определена гравиметрическим методом.

Для сбора электрических параметров: напряжения и плотности тока была разработана автоматизированная система в среде LabView.

В работе использовалось математическое моделирование по теореме Букингема. Где функциональные соотношения, если они однородные, можно выразить через безразмерные комбинации величин. Имитационное моделирование проводили в среде Matlab.

Построение и функционирования модели. На основе полученных данных электрических параметров ЭА: напряжения и плотности тока для образцов n-, n-p-, p-, p^+-, p^+-p-, p-p^+-, p^+-p-p^+- типа проводимости получена модель удельного электрического сопротивления (рис. 1) с учетом формулы $R_s = \frac{U \cdot S}{I \cdot l}$ [6] и влияния ТП образования ПК:

$$R_s = \frac{U}{hJ}, \quad (1)$$

где J – плотность тока, мкА/см^2;

h – толщина слоя полученного ПК, мкм;

U – напряжение, В.

На рис. 1, а представлены зависимости удельного поверхностного сопротивления от времени ЭА для образцов 4, 7, 2, 1, 3, 5, 6 соответственно с n-, n-p-, p-, p^+-, p^+-p-, p-p^+-, p^+-p-p^+- типа проводимости. Где область выделения водорода находилась в пределах от 0 до 20 секунд, формирование ПК наблюдалось от 20 секунд. Для p+ - типа проводимости формирование ПК происходило в промежутке времени от 20 до 70 секунд. От 70 секунд для 1 образца в течении времени наблюдался процес электрополирования. На рис. 4, б изображена структуры p и p - p^+ типа проводимости на которых область выделения водорода длилась от 5 до 10 секунд, формирование ПК – 10 - 27,5 секунд, электрополирование - 27,6 - 33 секунд.

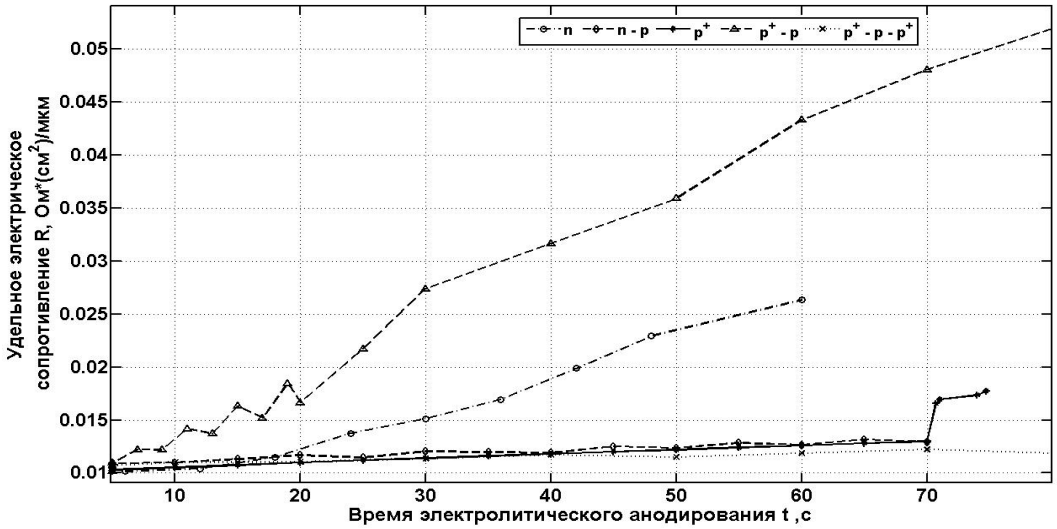
Большие поверхностные сопротивления наблюдаются для нелегированных пластин p- типа проводимости, меньшие - для структур p^+- p-p^+-, n- p-, p^+ - типа проводимости. В области выделения водорода видим резкое увеличение удельного поверхностного сопротивления для всех образцов. При переходе в область формирования ПК наблюдаем снижение удельного поверхностного сопротивления для образцов p и p- p+- типа проводимости.

Следующим параметром электрических свойств поверхности ПК рассмотрим расчет поверхностной плотности заряда, который был получен по формуле $\sigma = \frac{q}{S}$ [7] с учетом влияния ТП формирования ПК на пластинах МК:

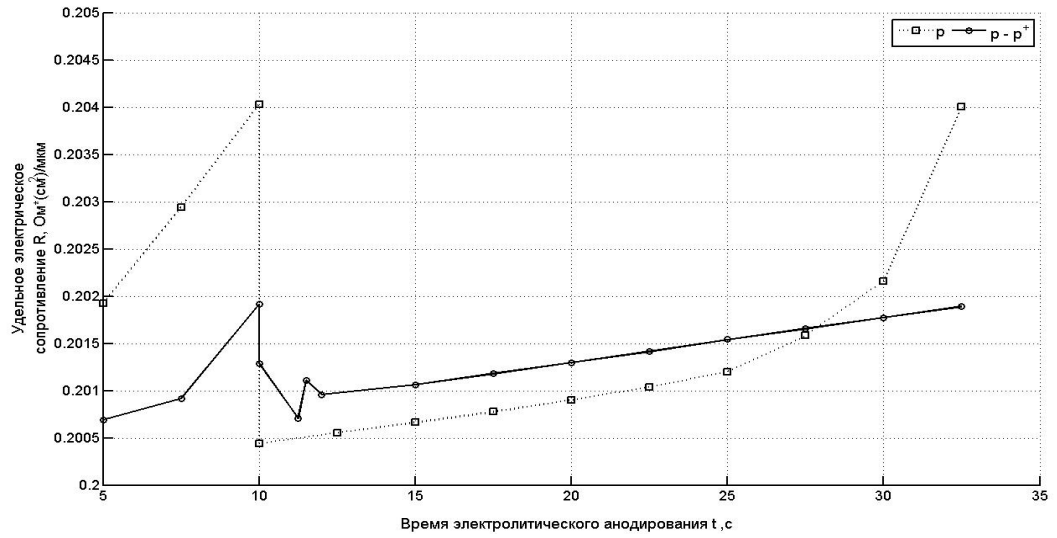
$$\sigma = J \cdot t, \quad (2)$$

где t - время ЭА пластины кремния, с;

J - плотность тока, мкА/см^2.



а



б

Рисунок 1 - Зависимость удельного поверхностного сопротивления от времени ЭА для образцов:
а – для пластин n-, n-p-, p^+-, p^+-p-, p^+-p-p^+-типа проводимости;
б – для пластин p-, p-p^+- типа проводимости

Зависимости поверхностной плотности заряда от времени ЭА приведены на рис. 2 для образцов 4, 7, 2, 1, 3, 5, 6.

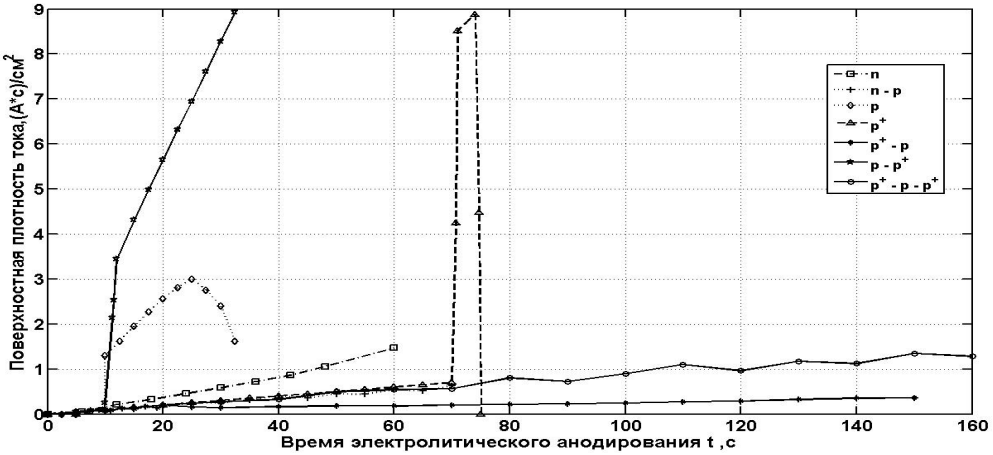


Рисунок 2 - Зависимость поверхностной плотности заряда от времени ЭА для образцов 4, 7, 2, 1, 3, 5, 6 соответственно n-, n-p-, p-, p^+-, p^+-p-, p-p^+-, p^+-p-p^+-типа проводимости

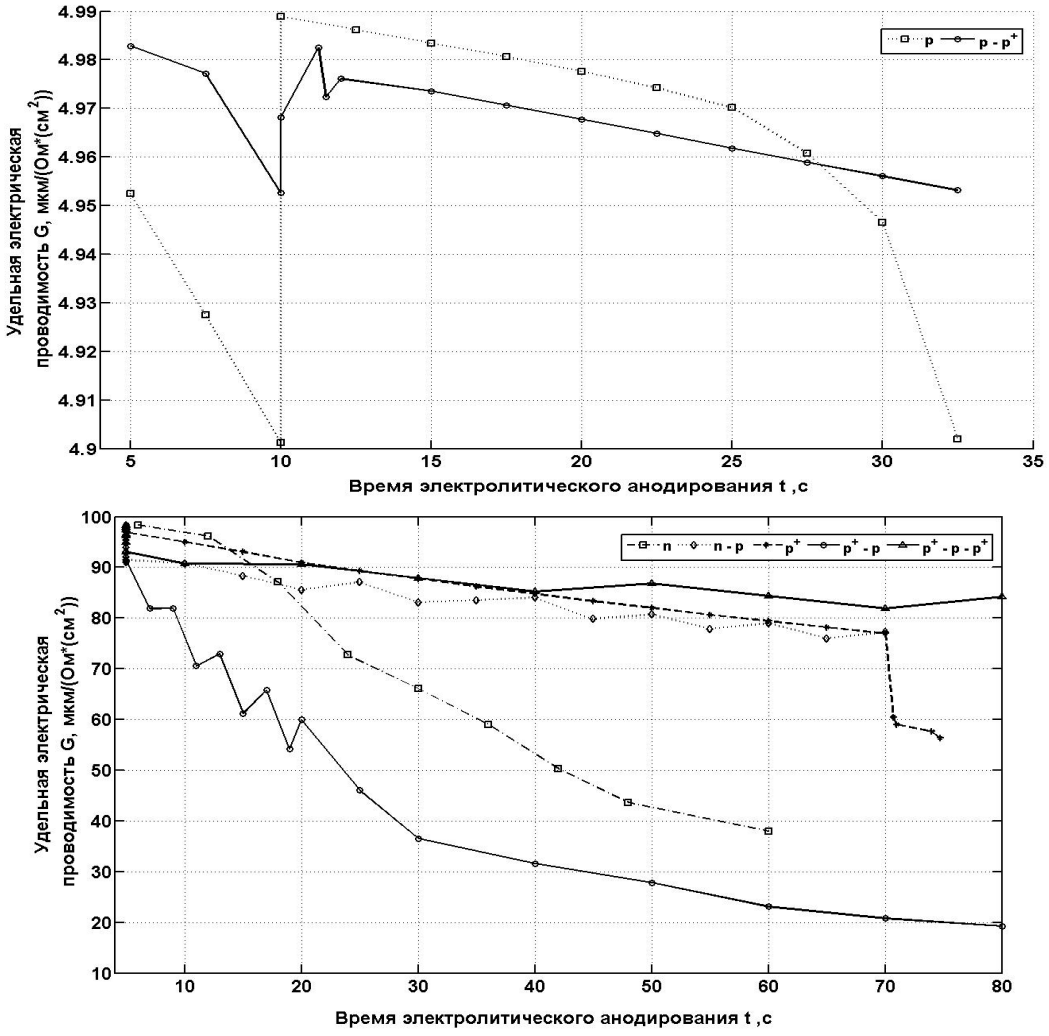
Анализ рис. 2 показывает, что при увеличении заряда q пропорционально возрастает поверхностная плотность заряда в соответствии с ростом площади поверхности в любой точке на каждом образце. Более всего ее рост определен для образцов p - p+ и p+- типа проводимости.

Величина удельной электрической проводимости, согласно формуле $G = \frac{1}{R}$ [7] при учете влияния электрических параметров U и J для пластин МК имеет вид:

$$G = \frac{hJ}{U}, \tag{3}$$

где J – плотность тока, мкА/см^2;
h – толщина слоя формирования ПК, мкм;
U – напряжение, В.

На рис. 3 представлены зависимости удельной электрической проводимости от времени ЭА для образцов n, n-p, p, p^+, p^+-p, p-p^+, p^+-p-p^+ типа проводимости.



а – для пластин n-, n-p-, p^+-, p^+-p-, p^+-p-p^+-типа проводимости и б – для пластин p-, p-p^+- типа проводимости

Рисунок 3 - Зависимость удельной электрической проводимости от времени ЭА

Общий характер зависимостей показывает, что на поверхности МК образовывается ПК. Это подтверждается тем, что в течении времени ЭА наблюдается снижение удельной электрической проводимости. Это характерно для свойств ПК. Области проведения реакции совпадают с удельным поверхностным сопротивлением.

По формуле $C = \frac{q}{U} = \frac{I \cdot t}{U}$ [7] получено удельную электрическую емкость при учете влияния ТП формирование ПК на пластинах МК:

$$C = \frac{t \cdot J \cdot h^3}{U}, \tag{4}$$

где t - время ЭА пластины МК, с;
J - плотность тока, мкА/см^2;
h – толщина слоя ПК, мкм;
U – напряжения, В.

На рис. 4 показана зависимости удельной электрической емкости от времени ЭА для образцов 4, 7, 2, 1, 3, 5, 6 соответственно n-, n-p-, p-, p^+-, p^+-p-, p-p^+-, p^+-p-p^+- типа проводимости.

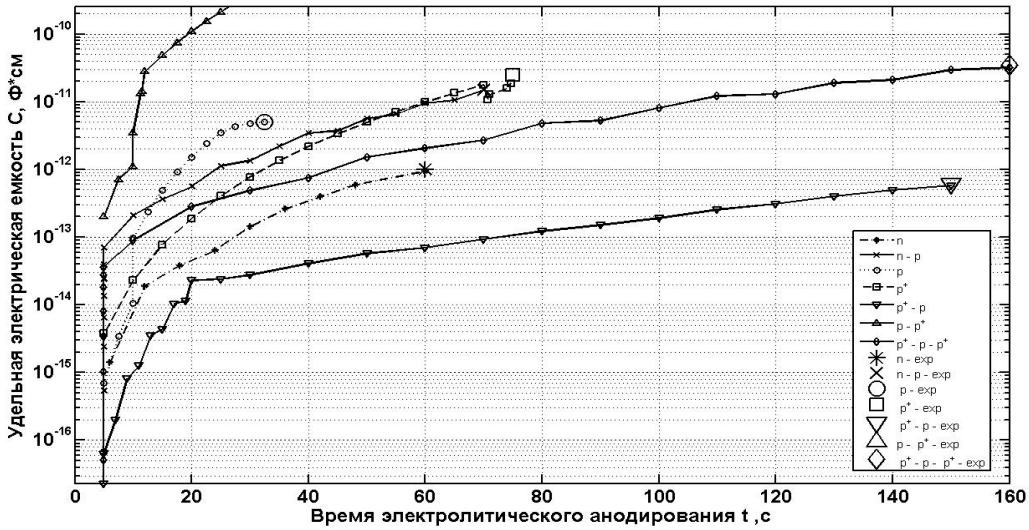


Рисунок 4 - Зависимость удельной электрической емкости от времени ЭА для образцов 4, 7, 2, 1, 3, 5, 6 соответственно n-, n-p-, p-, p^+-, p^+-p-, p-p^+-, p^+-p-p^+-типа проводимости

Экспериментально полученные значения электрической емкости методом Хола для разных структур совпадают с полученными теоретическими значениями электрической емкости (рис. 4) и подтверждаются работой С. П. Зимина [8].

Рассчитаем абсолютную диэлектрическую проницаемость по формуле [7] $\varepsilon_0 = \frac{D}{U}$ с учетом влияния ТП формирование ПК на пластинах МК:

$$\varepsilon_0 = \frac{hJt}{U}, \tag{5}$$

где t - время ЭА пластины кремния, с;
J - плотность тока, мкА/см^2;
h – толщина слоя формирования ПК, мкм;

U - напряжение, В.

На рис. 5 представленные зависимости абсолютной диэлектрической проницаемости от времени ЭА для образцов 4, 7, 2, 1, 3, 5, 6 соответственно n-, n-p-, p-, p^+-, p^+-p-, p-p^+-, p^+-p-p^+- типа проводимости.

Исходя из рис. 5 при влиянии плотности тока и напряжения на пластины МК в среде HF наблюдается увеличение абсолютной диэлектрической проницаемости. Это подтверждает образование на поверхности МК структуры ПК с диэлектрическими свойствами, для которой характерным является повышение поверхностного сопротивления.

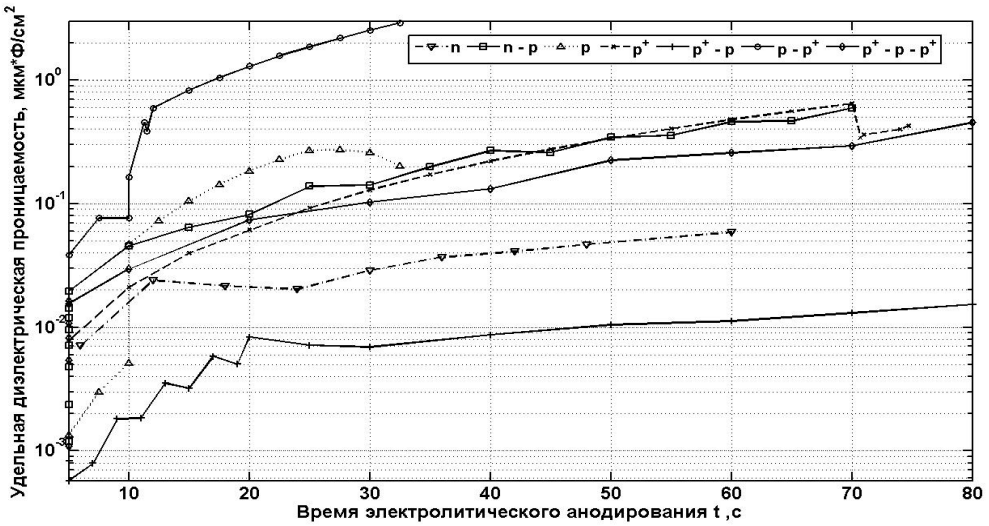


Рисунок 5 - Зависимость абсолютной диэлектрической проницаемости от времени ЭА для образцов 4, 7, 2, 1, 3, 5, 6 соответственно n-, n-p-, p-, p^+-, p^+-p-, p-p^+-, p^+-p-p^+-типа проводимости

Абсолютная магнитная проницаемость определена по формуле $\mu_0 = \frac{1}{\varepsilon_0 c^2}$ [7] с учетом влияния ТП при ЭА МК (рис. 6):

$$\mu_0 = \frac{U}{h \cdot J \cdot t \cdot c^2}, \qquad (6)$$

где *t* -время ЭА пластины МК, с;
J - плотность тока, мкА/см^2;
h – толщина слоя формирования ПК, мкм;
U - напряжение, В.

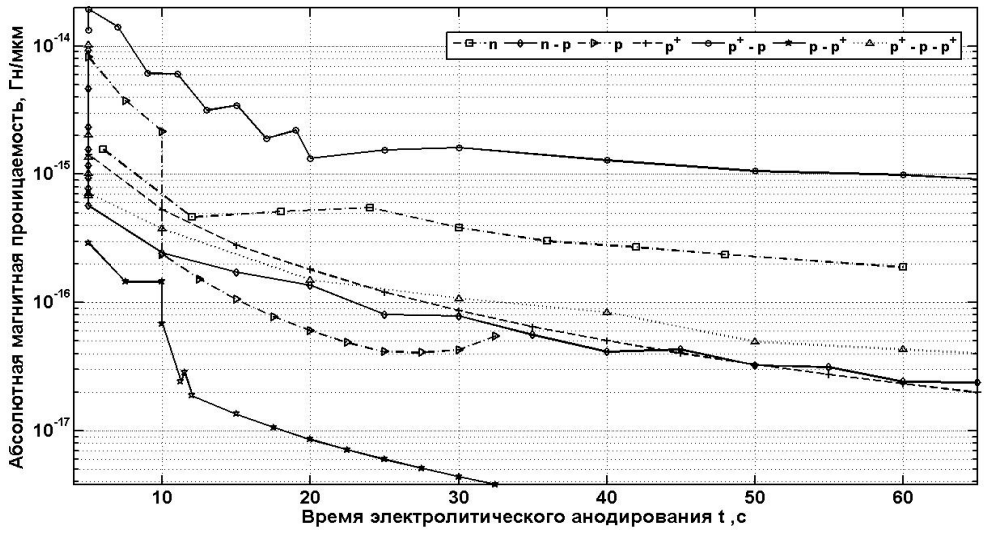


Рисунок 6 - Зависимость абсолютной магнитной проницаемости от времени ЭА для образцов 4, 7, 2, 1, 3, 5, 6 соответственно n-, n-p-, p-, p^+-, p^+-p-, p-p^+-, p^+-p-p^+-типа проводимости

На рис. 6 приведены зависимости абсолютной магнитной проницаемости от времени ЭА для образцов 4, 7, 2, 1, 3, 5, 6 соответственно n-, n-p-, p-, p^+-, p^+-p-, p-p^+-, p^+-p-p^+- типа проводимости.

Анализируя рис. 6 можно сделать вывод, что наибольшую абсолютную магнитную проницаемость имеет структура p^+-p типа проводимости.

Выводы. В ходе проведения работы получены математические модели в среде Matlab для определения влияния глубины ПК на электрические свойства структуры: удельное электрическое сопротивление, поверхностную плотность заряда, удельную электрическую проводимость, удельную электрическую емкость, абсолютную диэлектрическую проницаемость, абсолютную магнитную проницаемость. Данные модели учитывают, что в силу неоднородности процессов ЭА возможно появление в ПК локальных областей с различными электрическими свойствами по толщине полученного ПК на пластинах МК. Результаты данной программы адекватно описывают литературные и экспериментальные данные.

Список литературы

1. Можаев А. В., Проказников А. В., Тимофеев В. В. Динамическая дискретная трехмерная модель порообразования в кремнии // Электронный научный журнал «Исследовано в России». – 2006. - http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2006/069.pdf. - С. 687 – 694.
2. Головко Н. Ф., Хрипко С. Л. Комп"ютерне моделювання кластерного росту поруватих структур // Технологія, обладнання та виробництво електронної техніки. – 2009. – **1**. – № 23. – С. 69 – 72.
3. Александров Л. Н., Новиков П. Л. Моделирование образования структур пористого кремния// Письма в ЖЭТФ. – 1997. – 65. – № 9. – С. 685 – 690.
4. Картузов В. В., Крикля А. А. Компьютерная имитация и анализ стуктуры нанопористого углерода // Математичні методи та обчислювальний експеримент в матеріалознавстві. Праці Інституту проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України. – 2008. – вип. 10. – С. 113 – 119.
5. Городецкий А. Е., Тарасов И. Л. Компьютерное моделирование процесса формирования пористого кремния // Математическое моделирование. – 2008. - 20. - № 2. – С. 105 – 112.
6. Кошкин Н. И., Ширкевич М. Г. Справочник по элементарной физике. Изд. 6, стереотипное. – 1975. - «Наука». – Москва. – С. 254.
7. Яворский Б. М., Детлаф А. А. Справочник по физике. Изд. 7. - испр. – 1977. - «Наука». – Москва. – С. 942.
8. Зимин С.П., Комаров Е.П. Емкость структур с толстым слоем пористого кремния // Письма в ЖТФ.- 1996.- 22. - № 19.- С.69 - 73.

Є.Зубко

Моделювання електричних властивостей процесу виготовлення пористого кремнію методом електролітичного анодування

Розроблено комплекс математичного імітаційного моделювання, що описує динамічні зміни електричних властивостей кремнієвих підкладок з різною структурою й рівнем легування при виготовленні пористого кремнію методом електролітичного анодування.

E.Zubko

Design of electric properties of process of making of porous silicon the method of electrolytic anodization

The complex of mathematical imitating modelling which describes dynamic changes of electric properties of silicon substrates with different structure and level doping at manufacturing of porous silicon by a method electrolytic anodizings is developed.

Получено 28.10.11

УДК 621.316.1

В. В. Зінзура, асист.
Кіровоградський національний технічний університет

Методи розв'язку задачі багатокритеріальної оптимізації регулювання напруги в електричних мережах

В статті проведено аналіз існуючих методів розв'язків задач багатокритеріальної оптимізації, здійснено вибір методу розв'язку задачі багатокритеріальної оптимізації регулювання напруги в електричних мережах, який найбільш повно враховує вимоги ГОСТ 13109-97 стосовно нормально допустимих значень показників якості електричної енергії. Даний метод розв'язку може бути покладений в основу законів регулювання автоматичних систем управління силовим трансформатором з безконтактним пристроєм РПН, що працює в мережі з ізольованою нейтраллю або зі схемою з'єднання обмоток Δ/Z («трикутник»/«зустрічний зигзаг»)

відхилення напруги, несиметрія напруги, багатокритеріальна оптимізація, парето-оптимальна множина, утопічна точка

В сучасних системах електропостачання нерідко спостерігаються перевищення допустимих показників якості електричної енергії. Це призводить до ряду негативних наслідків: збільшення втрат електричної енергії в електричних мережах, передчасне зношення електричної ізоляції електроприймачів та вихід їх з ладу, поява похибок в системах обліку електричної енергії та ін.

Найбільш дієвим та поширеним способом зниження рівнів показників якості електричної енергії до допустимих меж є застосування спеціальних технічних засобів.

Для зниження рівнів несиметрії напруги зазвичай застосовують різноманітні симетрувальні установки (несиметричні батареї конденсаторів, симетрувальні трансформатори, компенсатори струму нейтралі тощо). Основним недоліком, притаманним всім симетрувальним установкам, що стримує їх широке

© В. В. Зінзура, 2012

Є.Зубко

Моделювання електричних властивостей процесу виготовлення пористого кремнію методом електролітичного анодування

Розроблено комплекс математичного імітаційного моделювання, що описує динамічні зміни електричних властивостей кремнієвих підкладок з різною структурою й рівнем легування при виготовленні пористого кремнію методом електролітичного анодування.

E.Zubko

Design of electric properties of process of making of porous silicon the method of electrolytic anodization

The complex of mathematical imitating modelling which describes dynamic changes of electric properties of silicon substrates with different structure and level doping at manufacturing of porous silicon by a method electrolytic anodizings is developed.

Получено 28.10.11

УДК 621.316.1

В. В. Зінзура, асист.
Кіровоградський національний технічний університет

Методи розв'язку задачі багатокритеріальної оптимізації регулювання напруги в електричних мережах

В статті проведено аналіз існуючих методів розв'язків задач багатокритеріальної оптимізації, здійснено вибір методу розв'язку задачі багатокритеріальної оптимізації регулювання напруги в електричних мережах, який найбільш повно враховує вимоги ГОСТ 13109-97 стосовно нормально допустимих значень показників якості електричної енергії. Даний метод розв'язку може бути покладений в основу законів регулювання автоматичних систем управління силовим трансформатором з безконтактним пристроєм РПН, що працює в мережі з ізольованою нейтраллю або зі схемою з'єднання обмоток Δ/Z («трикутник»/«зустрічний зигзаг»)

відхилення напруги, несиметрія напруги, багатокритеріальна оптимізація, парето-оптимальна множина, утопічна точка

В сучасних системах електропостачання нерідко спостерігаються перевищення допустимих показників якості електричної енергії. Це призводить до ряду негативних наслідків: збільшення втрат електричної енергії в електричних мережах, передчасне зношення електричної ізоляції електроприймачів та вихід їх з ладу, поява похибок в системах обліку електричної енергії та ін.

Найбільш дієвим та поширеним способом зниження рівнів показників якості електричної енергії до допустимих меж є застосування спеціальних технічних засобів.

Для зниження рівнів несиметрії напруги зазвичай застосовують різноманітні симетрувальні установки (несиметричні батареї конденсаторів, симетрувальні трансформатори, компенсатори струму нейтралі тощо). Основним недоліком, притаманним всім симетрувальним установкам, що стримує їх широке

© В. В. Зінзура, 2012

розповсюдження, є їх висока вартість.

Для зниження рівнів усталеного відхилення напруги застосовують пристрої регулювання напруги. Найпоширенішим технічним засобом регулювання напруги в електричних мережах є силовий трансформатор з механічним пристроєм регулювання під навантаженням (РПН). Проте даний спосіб регулювання напруги має ряд недоліків, найголовнішими з яких є: велика вартість трансформаторів з РПН; низька швидкодія механічного регулятора РПН; обмежена кількість перемикань, що пов'язано з комутуванням номінального струму механічними контактами за рахунок чого знижується якість регулювання і, як наслідок, − якість електричної енергії та ін.

Більш досконалими пристроями РПН, які позбавлені всіх вищеперерахованих недоліків, є так звані безконтактні пристрої РПН. В якості комутуючих елементів в них використовуються потужні напівпровідникові (транзисторні або тиристорні) ключі. Окрім високої швидкодії, набагато більшого ресурсу перемикань, кращої ремонтопридатності такі пристрої РПН мають ще одну − можливість змінювати коефіцієнт трансформації трансформатора в кожній фазі окремо, не залежно від інших. Це дозволяє впливати не лише на усталене відхилення напруги, а й одночасно знижувати рівні несиметрії напруг по зворотній та нульовій послідовностях. Тому досить актуальною є задача розробки законів управління силовим трансформатором з безконтактним пристроєм РПН, які б забезпечували одночасне зниження рівнів відхилення та несиметрії напруги. Найдоцільніше розглядати таку задачу, як задачу багатокритеріальної (векторної) оптимізації.

Питання одночасного зниження рівнів усталеного відхилення та несиметрії напруг розглядалося в роботах [1, 2]. Робота [2] присвячена розробці закону управління симетрувальним трансформатором, в основу якого покладено математичний апарат багатокритеріальної оптимізації. Недоліком запропонованого способу регулювання напруги є те, що необхідно використовувати спеціальний технічний пристрій − симетрувальний трансформатор, що призводить до підвищення капіталовкладень в електричну мережу. В роботах [3] і [4] пропонується для вирішення задачі векторної оптимізації регулювання режиму роботи силового трансформатора з безконтактним пристроєм РПН використовувати метод наближення до утопічної точки в просторі критеріїв. Проте в даних роботах відсутнє обґрунтування вибору методу розв'язку задачі векторної оптимізації.

Метою даної статті є вибір та обґрунтування методу розв'язку задачі багатокритеріальної оптимізації регулювання напруги в електричних мережах, що містять трансформатор з безконтактним пристроєм РПН.

Задачу багатокритеріальної оптимізації регулювання режиму роботи силового трансформатора з безконтактним пристроєм РПН, що працює в мережі з ізольованою нейтраллю або зі схемою з'єднання обмоток Δ/Z («трикутник»/«зустрічний зигзаг») можна записати у вигляді [3]:

$$\begin{cases} Q_1(\mathbf{K}) = \left|\Delta U_1(\mathbf{K})\right| \to \min; \\ Q_2(\mathbf{K}) = U_2(\mathbf{K}) \to \min; \\ \mathbf{K} \in \Omega; \end{cases} \qquad (1)$$

де $\mathbf{Q}(\mathbf{K}) = \left(Q_1(\mathbf{K}),\ Q_2(\mathbf{K}), Q_3(\mathbf{K})\right)$ – *вектор критеріїв* управління;

$\mathbf{K} = (k_a, k_b, k_c)$ – вектор коефіцієнтів трансформації трансформатора у фазах А, В, С (*вектор управління*);

$\Delta U_1(\mathbf{K})$ – різниця значень модуля напруги прямої послідовності та номінальної напруги (пропорційний відхиленню напруги);

$U_2(\mathbf{K})$ – напруга зворотної послідовності;

$\Omega = \left\{ \mathbf{K} \in \mathbb{R}^3 \middle| k_{i\min} \le k_i \le k_{i\max},\ i = a, b, c \right\}$ – область допустимих значень вектора коефіцієнтів трансформації трансформатора, яка визначається глибиною регулювання коефіцієнта трансформації (допустимий простір управління);

$k_{i\min}, k_{i\max},\ i = a, b, c$ – відповідно мінімальне та максимальне значення коефіцієнту трансформації трансформатора для кожної з фаз.

З формальної точки зору, розв'язком задачі багатокритеріальної оптимізації є множина точок, що характеризуються тим, що кожна точка цієї множини, поступаючись іншим точкам по декількох критеріях, переважає їх хоча б по одному з критеріїв [5]. Така множина точок називається множиною ефективних, або парето-оптимальних розв'язків. Але такий розв'язок не може задовольнити через те, що для більшості задач необхідно знайти єдиний розв'язок (очевидно, що він буде належати множині парето-оптимальних розв'язків). Для остаточного розв'язку задачі багатокритеріальної оптимізації завжди необхідно ввести додаткову інформацію, за допомогою якої проводиться вибір кінцевого розв'язку із множини ефективних розв'язків [6].

Існує декілька груп методів розв'язку задачі багатокритеріальної оптимізації [7]:

- методи, засновані на накладенні обмежень на критерії;
- методи, засновані на лінійному згортанні критеріїв;
- методи, засновані на пошуку компромісного розв'язку;
- методи інтерактивного програмування;
- методи цільового програмування.

Розглянемо найбільш поширені методи розв'язку задачі багатокритеріальної оптимізації на прикладі задачі (1).

1. Метод головного критерію [8] належить до методів, заснованих на накладанні обмежень на критерії. Він полягає в тому, що в якості цільової функції обирається один з критеріїв, а всі інші вводяться як обмеження. Таким чином, задача векторної оптимізації зводиться до задачі умовної скалярної оптимізації. Обравши в якості головного критерію, наприклад, $\left|\Delta U_1(\mathbf{K})\right|$, задачу (1) можна записати у вигляді:

$$\begin{cases} \left|\Delta U_1(\mathbf{K})\right| \to \min; \\ U_2(\mathbf{K}) \le U_{2\max}; \\ \mathbf{K} \in \Omega; \end{cases} \qquad (2)$$

де $U_{2\max}$ – верхні межі обмеження критерію $U_2(\mathbf{K})$.

Основним недоліком такого методу є складність вибору головного критерію серед багатьох критеріїв, що знаходяться в протиріччі одні з одними [6]. Також в точці оптимуму нерідко спостерігається невиправдано вдале значення головного критерію, в порівнянні з іншими. Крім того, при виборі занадто вимогливого обмеження $U_{2\max}$ може спостерігатися пустий розв'язок.

2. Метод лінійного згортання [8] застосовується у випадку, якщо відома відносна важливість кожного з критеріїв. Даний метод полягає в лінійному об'єднанні всіх критеріїв шляхом введення вагових коефіцієнтів. Для задачі (1) маємо:

$$\begin{cases} F_1(\mathbf{K}) = \sum_{i=1}^{m} \alpha_i Q_i(\mathbf{K}) \to \min; \\ \mathbf{K} \in \Omega; \end{cases} \quad (3)$$

де $F_1(\mathbf{K})$ − скалярний критерій, що являє собою лінійну комбінацію критеріїв;

α_i − вагові коефіцієнти.

m – кількість критеріїв.

Вагові коефіцієнти α_i при цьому можуть розглядатися як показники відносної значимості окремих критеріїв. Чим більший пріоритет надається, наприклад, критерію $Q_1(\mathbf{K})$, тим більший вклад в суму (3) він повинен давати, і, як наслідок, тим більше значення α_1 повинне бути прийняте. Зазвичай вагові коефіцієнти використовуються у нормованому вигляді, тобто задовольняють рівності $\sum_{i=1}^{m} \alpha_i = 1,\ \alpha_i \geq 0$ [7].

Основним недоліком даного методу є те, що при наявності досить різнохарактерних критеріїв задача вибору значень набору коефіцієнтів α_i є досить складною. До того ж, апріорі невідомо, в яких співвідношеннях між собою повинні знаходитись вагові коефіцієнти α_i для отримання бажаного співвідношення між критеріями $Q_i(\mathbf{K})$ в оптимальній точці. Також часто спостерігається велика чутливість отриманого розв'язку, тобто коли малим приростам вагових коефіцієнтів α_i відповідають великі прирости критеріїв $Q_i(\mathbf{K})$.

3. Максимінні (мінімаксні) методи [8] належать до методів, заснованих на пошуку компромісного розв'язку. Для задачі (1) мінімаксний метод можна сформулювати у вигляді:

$$\begin{cases} F_2(\mathbf{K}) = \max_{i=1,\ldots,m} Q_i(\mathbf{K}) \to \min \\ \mathbf{K} \in \Omega; \end{cases} \quad (4)$$

де $F_2(\mathbf{K})$ − скалярний критерій (цільовий функціонал).

Тут, на відміну від методу лінійного згортання, на цільовий функціонал впливає лише той критерій, якому в даній точці $\mathbf{K}$ відповідає найбільше значення відповідної функції $Q_i(\mathbf{K})$. Якщо у випадку лінійного згортання можливі невиправдано невдалі значення деяких $Q_i(\mathbf{K})$ за рахунок досить вдалих значень інших критеріїв, то у випадку мінімаксного згортання шляхом мінімізації $F_2(\mathbf{K})$ можна отримати гарантовану нижню оцінку для всіх критеріїв $Q_i(\mathbf{K})$.

Недоліком даного методу розв'язку є неможливість отримання в точці оптимуму бажаного співвідношення між критеріями $Q_i(\mathbf{K})$ (якщо воно відоме).

4. Адаптивний метод [6] належить до методів інтерактивного програмування. Він засновується на використанні експертних розв'язків в процесі вирішення задачі багатокритеріальної оптимізації. Суть його полягає в наступному. Експерту надається певна точка $\mathbf{K}_j$ на парето-оптимальній множині розв'язків, і вказуються числові значення всіх критеріїв $Q_i(\mathbf{K})$ в цій точці. Експерт приймає рішення, по якому з *i* критеріїв необхідно виконати мінімізацію. В отриманій точці $\mathbf{K}_{j+1}$ визначаються

числові значення всіх критеріїв $Q_i(\mathbf{K})$ і знову надаються експерту і так далі до тих пір, доки експерт не зупиниться на розв'язку $\mathbf{K}_*$, який він визнає оптимальним.

Даний метод застосовується для вирішення задач, які складно піддаються формалізації і для вирішення яких необхідні знання експерта. Зрозуміло, що даний метод не може бути покладений в основу роботи автоматичних систем регулювання.

5. Лексикографічна оптимізація [8] належить до методів цільової оптимізації. Застосовується у випадку, якщо можна провести ранжування критеріїв за ступенем важливості. Суть методу полягає в наступному. Спочатку проводиться мінімізація критерію, що має найбільший пріоритет, наприклад $Q_1(\mathbf{K})$. У випадку існування декількох розв'язків цієї задачі, проводиться мінімізація другого критерію $Q_2(\mathbf{K})$, а оптимальне значення першого вводиться як обмеження і т. д.

Застосування даного методу для розв'язку задачі багатокритеріальної оптимізації якості електричної енергії пропонується в [2, 9, 10].

Недоліком цього методу є складність проведення ранжування критеріїв, що знаходяться в протиріччі одні з одними. До того ж в точці оптимуму спостерігаються невиправдано вдалі значення критеріїв, що мають більший пріоритет. Даний метод неможливо використовувати при наявності рівнозначних критеріїв.

Загальним недоліком для всіх вище перерахованих методів розв'язку задачі багатокритеріальної оптимізації є невизначеність в обґрунтуванні важливості критеріїв $Q_i(\mathbf{K})$.

6. Метод наближення до утопічної (ідеальної) точки в просторі критеріїв в понятті деякої міри [5] також належить до методів цільової оптимізації. Застосування даного методу є одним із способів подолання невизначеності в обґрунтуванні важливості критеріїв $Q_i(\mathbf{K})$.

Під утопічною точкою слід розуміти точку $Q_{\text{ут}} = (Q_{1\min}, Q_{2\min}, ..., Q_{m\min})$, координатами якої є оптимальні значення по кожному з критеріїв $Q_i(\mathbf{K})$.

Розв'язок задачі багатокритеріальної оптимізації шляхом наближення до утопічної точки визначається в два етапи:

1 етап. Оптимізацією окремих критеріїв визначаються координати утопічної точки $Q_{\text{ут}} = (Q_{\text{ут}1}, Q_{\text{ут}2}, ..., Q_{\text{ут}i})$ в просторі критеріїв $\{\mathbf{Q}\} \subset \mathbb{R}^m$.

2 етап. Шляхом розв'язку задачі скалярної оптимізації відстані ρ від утопічної точки до парето-оптимальної множини розв'язків в просторі критеріїв знаходяться координати розв'язку задачі багатокритеріальної оптимізації $\mathbf{K}^*$ в просторі управління $\Omega \subset \mathbb{R}^k$.

Спосіб вимірювання відстані ρ обирається одним з наступних [11]:

$$\rho_{L^p} = \left(\sum_{i=1}^{m} \left| Q_i(\mathbf{K}) - Q_{\text{ут}i} \right|^p \right)^{\frac{1}{p}}. \qquad (5)$$

Всі співвідношення (5) задовольняють аксіомам відстані. Відстань ρ_{L^1} ($p = 1$) називається архімедовою відстанню, ρ_{L^2} ($p = 2$) − евклідовою. При $p \to \infty$ вираз (5) набуває вигляду:

$$\rho_C = \max_{i=1,\,...,\,m} \left\{ \left| Q_i(\mathbf{K}) - Q_{\text{ут}i} \right| \right\}. \qquad (6)$$

Відстань (6) називається чебишевською. В залежності від вибору відстані вигляд поверхонь рівновіддаленості $\rho = \text{const}$ отримується різним, внаслідок чого різнитись будуть і розв'язки, що виділяються із множини ефективних розв'язків.

Розглянемо детальніше другий етап розв'язку задачі для відстаней ρ_{L^2} і ρ_C.

1. Мінімізація евклідової відстані ρ_{L^2} (або квадрату відстані $\rho^2_{L^2}$) від утопічної точки до множини парето-оптимальних розв'язків [5]:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{m} \mu_i \dfrac{\left(Q_i(\mathbf{K}) - Q_{\text{ут}i}\right)^2}{\beta_i} \to \min; \\ \mathbf{K} \in \Omega, \end{cases} \tag{7}$$

де β_i – коефіцієнти, що враховують різнорідність критеріїв (зазвичай приймаються рівними максимальному відхиленню відповідного критерію);

μ_i – вагові коефіцієнти, що враховують важливість кожного з критеріїв.

Геометрична інтерпретація даного методу на прикладі задачі (1) приведена на рис. 1 (точка Q_{E}).

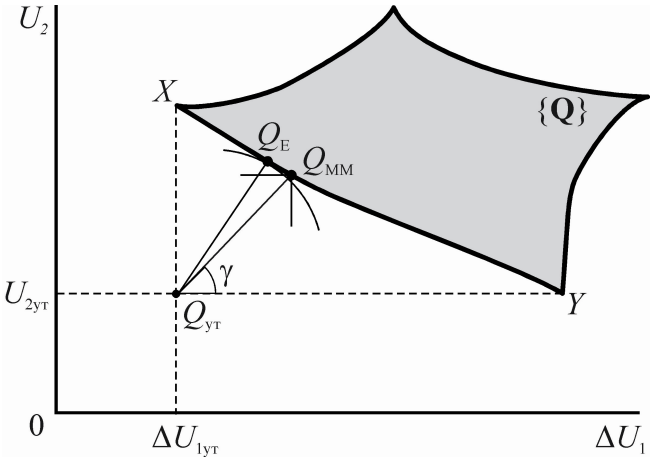


Рисунок 1 – Геометрична інтерпретація розв'язків задачі багатокритеріальної оптимізації для ρ_{L^2} і ρ_C.

2. Мінімізація чебишевської відстані ρ_C від утопічної точки до парето-оптимальної множини розв'язків дає більш «справедливий» результат по відношенню до кожного з критеріїв [5]. Для задачі (1) маємо:

$$\begin{cases} \max\limits_{i=1,2} \left\{ \mu_i \left| \dfrac{Q_i(\mathbf{K}) - Q_{\text{ут}i}}{\beta_i} \right| \right\} \to \min; \\ \mathbf{K} \in \Omega. \end{cases} \tag{8}$$

Геометрична інтерпретація такого мінімаксного методу наближення до утопічної точки на прикладі задачі (1) приведена на рис. 1 (точка Q_{MM}). Як видно з рис. 1, розв'язком задачі (8) є точка, яка знаходиться на перетині кривої *XY* та променя, що

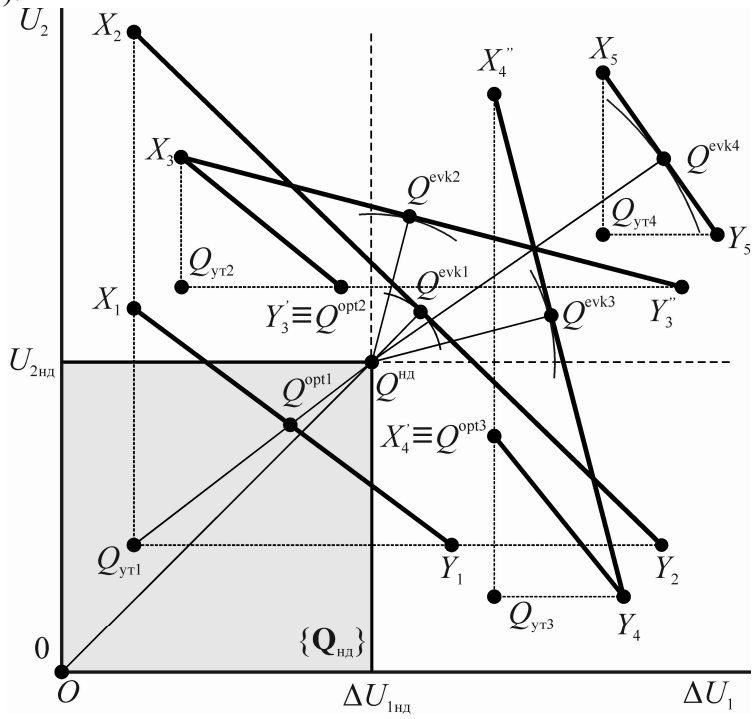
виходить з утопічної точки $Q_{\text{ут}}$ під кутом γ. У випадку нормування критеріїв $Q_i(\mathbf{K})$ $\gamma = 45°$.

Мінімізація найбільшого з відхилень від утопічної точки дає більш «економічний» розв'язок, такий, при якому сума всіх відносних втрат (під втратами слід розуміти віддалення від утопічної точки) буде мінімальною.

Згідно ГОСТ 13109-97, для кількісної характеристики якості електричної енергії застосовуються нормально допустимі та гранично допустимі значення показників якості електричної енергії. Значення показників якості електричної енергії на затискачах електроприймачів за встановлений період часу не повинно перевищувати нормально допустимі з інтегральною ймовірністю 95 % [12]. Тому підхід до розв'язку задачі (1) повинен максимально враховувати вимоги ГОСТ 13109-97 стосовно нормально допустимих значень показників якості електроенергії. Зважаючи на це, найдоцільнішим видається підхід до розв'язку задачі, заснований на наближенні до утопічної точки в просторі критеріїв.

Аналітичні вирази для знаходження координат утопічної точки для задачі (1) опубліковані в [3], тому розглянемо лише другий етап розв'язку.

Шляхом математичного моделювання було встановлено, що парето-оптимальна множина розв'язків в просторі критеріїв для задачі (1) має вигляд близький до лінійного (рис. 2).



Жирними лініями виділені множини ефективних розв'язків $\{\mathbf{Q}_{\text{ef}}\}$

Рисунок 2 – Геометрична інтерпретація розв'язку задачі багатокритеріальної оптимізації (1) шляхом наближення до утопічної точки

Для якомога кращого забезпечення вимог ГОСТ 13109-97 стосовно інтегральної ймовірності нормально допустимих значень показників якості електричної енергії, в основу пропонованого методу розв'язку задачі покладено наступні міркування:

1. У випадку, коли множина ефективних розв'язків $\{\mathbf{Q}_{\text{ef}}\}$ та множина нормально допустимих значень $\{\mathbf{Q}_{\text{нд}}\}$ перетинаються, тобто $\{\mathbf{Q}_{\text{ef}}\} \cap \{\mathbf{Q}_{\text{нд}}\} \neq \varnothing$, розв'язок слід

шукати як мінімаксне наближення до утопічної точки у вигляді (8) при значеннях вагових коефіцієнтів:

$$\mu_i = \frac{\alpha_i}{\sum_{i=1}^{m} \alpha_i}, \tag{9}$$

де α – коефіцієнт, що визначається за формулою:

$$\alpha_i = \frac{\beta_i}{\beta_i - Q_{\text{ут}i}}, \tag{10}$$

де $\beta = \{\Delta U_{1\text{нд}}, U_{2\text{нд}}\}$ – множина нормально допустимих значень показників якості електричної енергії.

Такий підхід дозволить завжди обирати із множини парето-оптимальних розв'язків $\{\mathbf{Q}_{\text{ef}}\}$ такий, який з одного боку, завжди буде належати множині нормально допустимих значень $\{\mathbf{Q}_{\text{нд}}\}$, а з іншого – забезпечувати співвідношення критеріїв в точці оптимуму близьке до бажаного (рівномірного). Геометричною інтерпретацією розв'язку даної задачі (рис. 2) є точка Q^{opt1}, що лежить на перетині кривої X_1Y_1 та променя, що виходить із утопічної точки $Q_{\text{ут1}}$ та проходить через точку $Q^{\text{нд}}(\Delta U_{1\text{нд}}, U_{2\text{нд}})$.

2. У випадку, коли $\{\mathbf{Q}_{\text{ef}}\} \cap \{\mathbf{Q}_{\text{нд}}\} = \varnothing$, з множини ефективних розв'язків слід обирати розв'язок, який має найменшу евклідову відстань до множини $\{\mathbf{Q}_{\text{нд}}\}$. Це дозволить забезпечити мінімальні відхилення критеріїв від множини нормально допустимих розв'язків $\{\mathbf{Q}_{\text{нд}}\}$ в точці оптимуму.

Даний метод можна записати наступним чином:

$$\mathbf{K}^{\text{opt}} = \begin{cases} \mathbf{K}^{\text{opt1}}, \left(\Delta U_{1\text{ут}} \le \Delta U_{1\text{нд}}\right) \wedge \left(U_{2\text{ут}} \le U_{2\text{нд}}\right) \wedge \left(\Delta U_1^{\text{opt1}} \le \Delta U_{1\text{нд}}\right) \wedge \left(U_2^{\text{opt1}} \le U_{2\text{нд}}\right); \\ \mathbf{K}^{\text{opt2}}, \left(\Delta U_{1\text{ут}} \le \Delta U_{1\text{нд}}\right) \wedge \left(U_{2\text{ут}} > U_{2\text{нд}}\right) \wedge \left(\Delta U_1^{\text{opt2}} \le \Delta U_{1\text{нд}}\right); \\ \mathbf{K}^{\text{opt3}}, \left(\Delta U_{1\text{ут}} > \Delta U_{1\text{нд}}\right) \wedge \left(U_{2\text{ут}} \le U_{2\text{нд}}\right) \wedge \left(U_2^{\text{opt3}} \le U_{2\text{нд}}\right); \\ \mathbf{K}^{\text{evk}}, \left[\left(\Delta U_{1\text{ут}} \le \Delta U_{1\text{нд}}\right) \wedge \left(U_{2\text{ут}} \le U_{2\text{нд}}\right) \wedge \left(\Delta U_1^{\text{opt1}} > \Delta U_{1\text{нд}}\right) \wedge \left(U_2^{\text{opt1}} > U_{2\text{нд}}\right)\right] \vee \\ \vee \left[\left(\Delta U_{1\text{ут}} \le \Delta U_{1\text{нд}}\right) \wedge \left(U_{2\text{ут}} > U_{2\text{нд}}\right) \wedge \left(\Delta U_1^{\text{opt2}} > \Delta U_{1\text{нд}}\right)\right] \vee \\ \vee \left[\left(\Delta U_{1\text{ут}} > \Delta U_{1\text{нд}}\right) \wedge \left(U_{2\text{ут}} \le U_{2\text{нд}}\right) \wedge \left(U_2^{\text{opt3}} > U_{2\text{нд}}\right)\right] \vee \\ \vee \left[\left(\Delta U_{1\text{ут}} > \Delta U_{1\text{нд}}\right) \wedge \left(U_{2\text{ут}} > U_{2\text{нд}}\right)\right]. \end{cases} \tag{11}$$

де $\mathbf{K}^{\text{opt}}$ – розв'язок задачі (11);

$\mathbf{K}^{\text{opt}j}$ – розв'язок задачі

$$\begin{cases} \max\left\{\mu_1^{(j)}\left|\dfrac{\Delta U_1(\mathbf{K})-\Delta U_{\text{ут}}}{\Delta U_{1\text{нд}}}\right|,\ \mu_2^{(j)}\left|\dfrac{U_2(\mathbf{K})-U_{2\text{ут}}}{U_{2\text{нд}}}\right|\right\}\to\min; \\ \mathbf{K}\in\Omega, \end{cases} \qquad (12)$$

при $j=1:\ \mu_1^{(1)}=\dfrac{\alpha_1}{\alpha_1+\alpha_2};\ \mu_2^{(1)}=\dfrac{\alpha_1}{\alpha_1+\alpha_2};$

$j=2:\ \mu_1^{(2)}=0;\ \mu_2^{(2)}=1;$

$j=3:\ \mu_1^{(3)}=1;\ \mu_2^{(3)}=0;$

де $\alpha_1=\dfrac{\Delta U_{\text{нд}}}{\Delta U_{\text{нд}}-\Delta U_{\text{ут}}},\ \alpha_2=\dfrac{U_{2\text{нд}}}{U_{2\text{нд}}-U_{2\text{ут}}};$

$Q^{\text{opt}i}\left(\Delta U_1^{\text{opt}i}, U_2^{\text{opt}i}\right)$ – значення критеріїв в точці $\mathbf{K}^{\text{opt}i}$;

$\mathbf{K}^{\text{evk}}$ – розв'язок задачі

$$\begin{cases} \sqrt{\left(\dfrac{\Delta U_1(\mathbf{K})-\Delta U_{\text{ут}}}{\Delta U_{1\text{нд}}}\right)^2+\left(\dfrac{U_2(\mathbf{K})-U_{2\text{ут}}}{U_{2\text{нд}}}\right)^2}\to\min; \\ \mathbf{K}\in\Omega. \end{cases} \qquad (13)$$

На рис. 3. приведено графічну ілюстрацію розв'язку задачі багатокритеріальної оптимізації (1) методами, описаними вище.

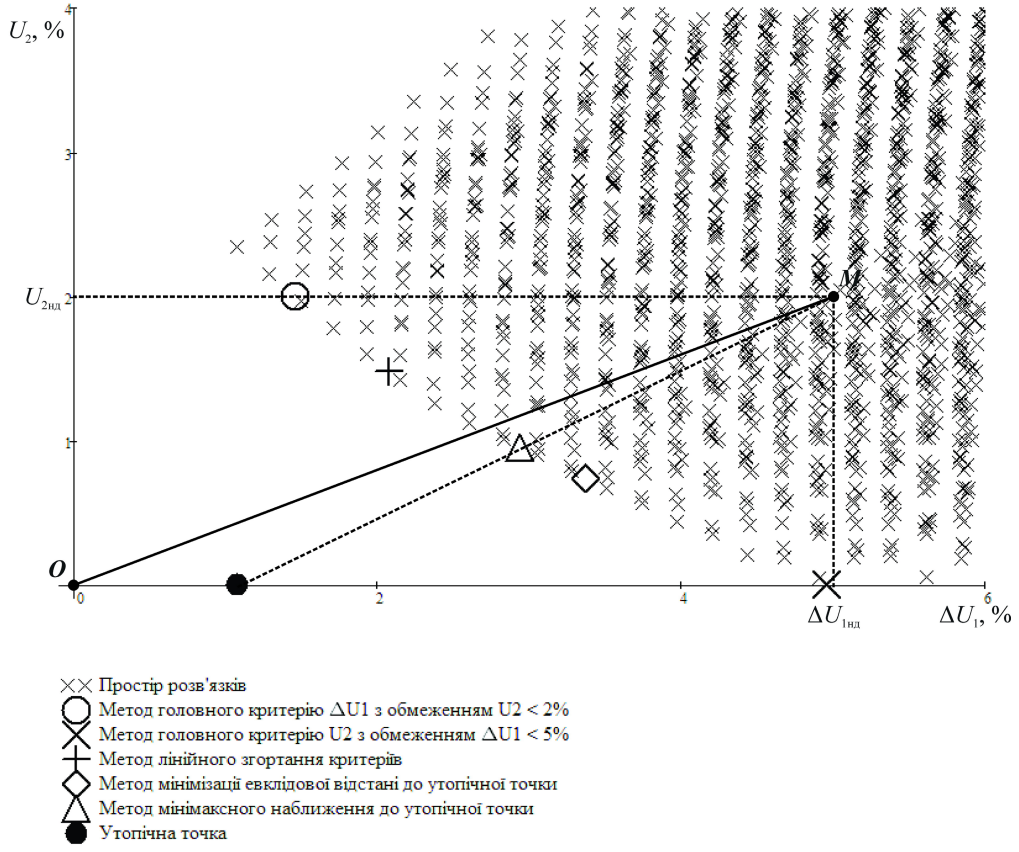


Рисунок 3 – Графічна ілюстрація числового прикладу розв'язку задачі (1)

Як видно з рис. 3 найбільш близьким до бажаного є розв'язок, отриманий в результаті мінімаксного наближення до утопічної точки. Непоганий результат показує також мінімізація евклідової відстані. Всі інші методи дають невиправдано завищені значення одного з критеріїв над іншим в точці оптимуму.

Таким чином, в результаті проведеного дослідження:

1. Проаналізовано існуючі методи розв'язку задач багатокритеріальної оптимізації, які можуть бути покладені в основу роботи автоматичних систем регулювання.

2. Запропоновано метод розв'язку задачі багатокритеріальної оптимізації регулювання напруги, заснованого на наближенні до утопічної точки в просторі критеріїв. Даний метод якомога краще враховує вимоги ГОСТ 13109-97 до значень показників якості електричної енергії. Він може бути покладений в основу законів регулювання автоматичних систем управління силовим трансформатором з безконтактним пристроєм РПН, що працює в мережі з ізольованою нейтраллю або зі схемою з'єднання обмоток Δ/Z («трикутник»/«зустрічний зигзаг»).

Список літератури

1. Бурбело М. Й. Формування математичних моделей вимірювальних систем установок симетрування / М. Й. Бурбело, О. В. Бабенко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2007. − № 6. – С. 242 – 251.
2. Бурбело М. Й. Застосування багатоцільової оптимізації для симетрування та зменшення відхилень напруг в електричних мережах / М. Й. Бурбело, А. М. Волоцький, О. В. Бабенко, О. В. Салій // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2005. − № 6. – С. 76 – 79.
3. Плєшков П. Г. Теоретичні засади оптимального керування пристроєм РПН силового трансформатора за векторним критерієм / П. Г. Плєшков, В. В. Зінзура, М. В. Кубкін // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету / техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. / Вип. 24, ч. 2. – Кіровоград: КНТУ, 2011. – С. 164-173.
4. Плєшков П. Г. Оптимальне керування пристроєм РПН силового трансформатора, що працює в мережі з глухозаземленою нейтраллю / П. Г. Плєшков, В. В. Зінзура, М. В. Кубкін // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. Випуск 117 «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – Харків: ХНТУСГ, 2011. – С. 97−99.
5. Нетушил А. В., Балтрушевич А.В., Бурляев В.В. и др. Теория автоматического управления: нелинейные системы, управление при случайных воздействиях: учебник для вузов / Под ред. Нетушила А.В. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 1983 – 432 с.
6. Растригин Л. А. Современные принципы управления сложными объектами. – М.: Сов. радио, 1980. – 232 с.
7. Машунин Ю. К. Методы и модели векторной оптимизации. – М.: Наука, 1986. – 141 с.
8. Черноруцкий И. Г. Методы принятия решений. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 416 с.
9. Аввакумов В. Г. Об одной лексикографической задаче многоцелевой оптимизации качества электроэнергии / В. Г. Аввакумов, А. М. Волоцкий // Изв. ВУЗов Энергетика. – 1977. − № 7. – С. 8−12.
10. Зорин В. В. Об одном правиле предпочтения частных целей в задачах многоцелевой оптимизации качества электроэнергии / В. В. Зорин, А. М. Волоцкий // Электрические сети и системы. Республиканский межведомственный науч.-техн. Сб. – 1987. – Вып. 23. – С. 43−46.
11. Токарев В. В. Методы оптимальных решений. В 2 т. Т.2. Многокритериальность. Динамика. Неопределенность. – 2-е изд., испр. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011. – 420 с.
12. Жежеленко И. В., Саенко Ю. Л. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях. – 3-е изд., перераб. И доп. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 252 с.

В. Зинзура

Методы решения задачи многокритериальной оптимизации регулирования напряжения в электрических сетях

В статье проведен анализ существующих методов решения задач многокритериальной оптимизации, произведен выбор метода решения задачи многокритериальной оптимизации регулирования напряжения в электрических сетях, который как можно лучше учитывает требования ГОСТ 13109-97 касательно нормально допустимых значений показателей качества электроэнергии. Данный метод решения может быть положен в основу законов регулирования автоматических систем управления силовым трансформатором с бесконтактным устройством РПН, который работает в сети с изолированной нейтраллю или со схемой соединения обмоток Δ/Z («треугольник»/«встречный зигзаг»).

V. Zinzura

The justification of the solution of the problem of multicriteria optimization of voltage control in power networks

The article analyzes the existing methods for solving problems of multiobjective optimization, selection method for solving the problem of the multiobjective optimization of the voltage control in networks, which allows for as much as possible about the requirements of GOST 13109-97 normally allowable values of quality of electric power. This solution method can be used as a basis control laws automated control systems with contactless voltage transformer load tap-changer, who work in networks with isolated neutral.

Одержано 06.04.12

УДК 620.4+658.22

Ю.И.Казанцев, доц., канд. техн. наук, Р.В.Мотрой, магистр
Кировоградский национальный технический университет

Исследование электропотребления и оптимальное размещение компенсирующих устройств в системе электроснабжения ремонтно-механического завода

В статье показаны вывод энергетических характеристик, являющихся основой нормирования расходов электроэнергии и её рационального использования, а также экономия электроэнергии за счёт оптимального размещения компенсирующих устройств.
энергетические характеристики, корреляционный анализ, методы оптимизации

Рост электропотребления в промышленности предъявляет новые требования к точности и обоснованности решений различных технико-экономических и оптимизационных задач, решаемых в энергетике и связанных, в конечном итоге, с рациональным использованием электрической энергии.

Исследования в этой области заложены в работах Вейца В.И., Авилова-Карнаухова Б.Н., Ястребова П.П., Гофмана И.В., Каялова Г.М., Константинова Б.А., Волобринского С.Д. и др.

Рациональное использование электроэнергии не является конъюктурной задачей. Эта задача повседневной работы инженерного корпуса предприятия по экономии энергоресурсов.

© Ю.И.Казанцев, Р.В.Мотрой, 2012

В. Зинзура

Методы решения задачи многокритериальной оптимизации регулирования напряжения в электрических сетях

В статье проведен анализ существующих методов решения задач многокритериальной оптимизации, произведен выбор метода решения задачи многокритериальной оптимизации регулирования напряжения в электрических сетях, который как можно лучше учитывает требования ГОСТ 13109-97 касательно нормально допустимых значений показателей качества электроэнергии. Данный метод решения может быть положен в основу законов регулирования автоматических систем управления силовым трансформатором с бесконтактным устройством РПН, который работает в сети с изолированной нейтраллю или со схемой соединения обмоток Δ/Z («треугольник»/«встречный зигзаг»).

V. Zinzura

The justification of the solution of the problem of multicriteria optimization of voltage control in power networks

The article analyzes the existing methods for solving problems of multiobjective optimization, selection method for solving the problem of the multiobjective optimization of the voltage control in networks, which allows for as much as possible about the requirements of GOST 13109-97 normally allowable values of quality of electric power. This solution method can be used as a basis control laws automated control systems with contactless voltage transformer load tap-changer, who work in networks with isolated neutral.

Одержано 06.04.12

УДК 620.4+658.22

Ю.И.Казанцев, доц., канд. техн. наук, Р.В.Мотрой, магистр
Кировоградский национальный технический университет

Исследование электропотребления и оптимальное размещение компенсирующих устройств в системе электроснабжения ремонтно-механического завода

В статье показаны вывод энергетических характеристик, являющихся основой нормирования расходов электроэнергии и её рационального использования, а также экономия электроэнергии за счёт оптимального размещения компенсирующих устройств.
энергетические характеристики, корреляционный анализ, методы оптимизации

Рост электропотребления в промышленности предъявляет новые требования к точности и обоснованности решений различных технико-экономических и оптимизационных задач, решаемых в энергетике и связанных, в конечном итоге, с рациональным использованием электрической энергии.

Исследования в этой области заложены в работах Вейца В.И., Авилова-Карнаухова Б.Н., Ястребова П.П., Гофмана И.В., Каялова Г.М., Константинова Б.А., Волобринского С.Д. и др.

Рациональное использование электроэнергии не является конъюктурной задачей. Эта задача повседневной работы инженерного корпуса предприятия по экономии энергоресурсов.

© Ю.И.Казанцев, Р.В.Мотрой, 2012

В данной статье рассматриваются мероприятия по экономии электроэнергии и её рациональному использованию за счёт нормирования электропотребления и оптимального размещения компенсирующих устройств по минимуму потерь (затрат) электроэнергии.

Известно, что основой нормирования электропотребления являются энергетические балансы и энергетические характеристики. В основу вывода расчетно-опытных связей положена энергетическая характеристика вида

$$w = f(A), \quad (1)$$

где w- удельный расход электроэнергии;

A - выпуск продукции.

Для учета влияния случайных факторов на основные электроэнергетические показатели целесообразно применить аппарат математической статистики, в частности, корреляционный анализ.

В качестве показателя нормирования в связи со значительной номенклатурой выпускаемой продукции принята 1000 грн. валовой продукции.

Информация по выпуску продукции и расходу электроэнергии за 57 суток получена на основе данных планово-производственного отдела и отдела главного энергетика предприятия.

Исходные данные сгруппированы в форме двойной корреляционной таблицы, которая является основной для вывода связи (1) методами математической статистики.

Таблица 1 – Двойная корреляционная таблица к выводу связи $w = f(A)$

A_h, тыс. грн / ω_i, тыс. кВт.час	11.5	16.5	21.5	26.5	31.5	36.5	41.5	54.5	59.5	64.5	n_i
0.29						1	1	5	4	8	19
0.47			1	1	8	2	3	3	1	3	22
0.65			1	2	2	1					6
0.83		3	1								4
1.01		1									1
1.19		1									2
1.37		1									1
1.55											-
1.73		1									1
1.91	1										1
n_h	1	7	3	4	10	4	4	8	5	11	57
$\overline{w_h}$	1.91	1.11	0.65	0.74	0.51	0.47	0.47	0.38	0.33	0.34	

Для определения реальности существования и формы связи (1) находим по методике, указанной например, в [1,3] показатели статистической связи.

1. Полные средние

$$\overline{A} = \frac{1}{n}\sum n_h \cdot A_h = 38{,}1667$$

$$\overline{w} = \frac{1}{n}\sum n_i \cdot w_i = 0{,}5521 .$$

2. Стандарты

$$\sigma_A = \sqrt{\frac{1}{n}\sum n_h \cdot A_h^2 - \overline{A^2}} = 15,902$$

$$\sigma_w = \sqrt{\frac{1}{n}\sum n_i \cdot w_i^2 - \overline{w^2}} = 0,344$$

3. Ковариация (cov)

$$\mu_{11} = \frac{1}{n}\sum n_{h,i} \cdot A'_h \cdot w'_i - \overline{A} \cdot \overline{w} = -3,5788$$

4. Коэффициент корреляции

$$r = \frac{\mu_{11}}{\sigma_A \cdot \sigma_w} = -0,7484$$

.

Коэффициент корреляции оценивается по соотношению

$|r| \cdot \sqrt{n-1} = 0,7484 \cdot \sqrt{57-1} = 5,6 > 3$, чем определяется его значимость и реальность существования искомой связи.

5. Корреляционное отношение

$$\eta = \frac{\sigma_{\overline{w}}}{\sigma_w} = 0,8936$$

Так как $\eta > r$, то это указывает на наличие нелинейной связи между удельным расходом электроэнергии и выпускаемой продукцией. Однако необходимо доказать, что это различие существенное, а не случайное.

Для этого находим вспомогательный критерий.

$$T_\eta = \frac{(S-2)\cdot(1-\eta^2)}{(n-S)\cdot(\eta^2-r^2)} = \frac{(10-2)\cdot(1-0,8936^2)}{(57-10)\cdot(0,8936^2-0,7484^2)} = 6,956$$

где S – число строёв корреляционной таблицы.

Кроме того степени свободы равны

$$K_1 = S \cdot 2 = 10 - 2 = 8$$
$$K_2 = n - S = 57 - 10 = 47$$

По таблице F – распределения находим с доверительной вероятностью равной 0,95

Ттабл = 2,18

Так как $T\eta >$ Ттабл, то это указывает на существенное различие между η и r и, следовательно, на наличие нелинейной корреляционной связи между удельным расходом электроэнергии w и выпускаемой продукцией A.

Теоретические исследования и практические данные позволяют предположить, что нелинейная связь (1) имеет в первом приближении форму гиперболы, а для более

широкого диапазона изменения производительности – форму гиперболического полинома вида

$$y = a_0 + a_1 x + a_2 x + ... + a_p x^p \quad , \tag{2}$$

где $y = w$; $x = \frac{1}{A}$.

Далее с применением вычислительной техники решались полиномы вида (2) вплоть до десятой степени относительно $x = \frac{1}{A}$.

Минимальную среднеквадратичную погрешность на единицу веса искомой связи имеет уравнение второй степени:

$$w = 0,193 + 4,79A^{-1} + 169,72A^{-2} \tag{3}$$

Это уравнение и принимается для дальнейшего использования по нормированию электропотребления на предприятии и его рациональному использованию.

Одним из мероприятий по экономии электроэнергии является оптимальное размещение в электрической сети компенсирующих устройств (КУ) таким образом, чтобы в заводской электрической сети наблюдался минимум потерь электроэнергии (затрат).

Математическая формулировка задачи в этом случае примет вид :

Определить численные значения мощностей батарей конденсаторов (БК) в узлах схемы электроснабжения (управляющих переменных) , обеспечивающих минимум годовых расчетных затрат (потерь электроэнергии) при учёте ограничений, накладываемых на переменные.

$$\left.\begin{array}{l} З(\overline{Q}) \to \min \\ B_i \ge Q_{бкi} \ge A_i, i = 1,2,...n \\ \sum_{i=1}^{n} Q_{бкi} = Q_{бк\sum} \end{array}\right\} . \tag{4}$$

где $\overline{Q}$ - вектор управляющих переменных

B, A - соответственно нижнее и верхнее ограничения переменных в рассматриваемом узле схемы.

$Q_{бкi}$ - мощность БК в i-ом узле схемы.

В такой постановке задача оптимальной компенсации реактивной мощности является типичной задачей нелинейного математического программирования, а её целевой функцией служит функция годовых расчетных затрат $З(\overline{Q})$.

$$З(\overline{Q}) = p\sum_{i=1}^{n} \Delta K_i \cdot Q_{бкi} + C_0[\sum_{i=1}^{n} (\Delta P_{кi} \cdot Q_{бкi} + a_i Q_i +$$

$$+b_i Q_i) + a_c Q_c^2 + b_c Q_c + \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} \frac{(Q_{ni} - Q_i)\cdot(Q_{nj} - Q_j)}{U^2 \cdot 10^3} \cdot R_{ij}] \ , \qquad (5)$$

где n - число узлов схемы электроснабжения в которых предполагается установка БК.

i, j - индексы переменных, значения которых соответствует номерам узлов.

$$p = p_н + p_a + p_э \ , \qquad (6)$$

где $p_н$ - нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений;

$p_a, p_э$ - коэффициенты амортизационных отчислений и эксплуатационных расходов, соответственно.

ΔK_i - удельная стоимость БК в рассматриваемом узле схемы;

$Q_{бкі}$ - мощность БК в рассматриваемом узле;

C_0 - удельная стоимость активной мощности для данного района энергосистемы;

$\Delta P_{кі}$ - удельные потери активной мощности в БК рассматриваемого узла;

a_c, b_c - постоянные коэффициенты функции дополнительных потерь активной мощности в энергосистеме при замене её эквивалентным источником реактивной мощности;

a_i, b_i - коэффициенты аппроксимации кривой потерь активной мощности в синхронных двигателях рассматриваемого узла;

$Q_{n,i}$ - реактивная мощность в рассматриваемом узле схемы;

$R_{i,j}$ - собственные и взаимные сопротивления узлов схемы, приведенные к среднему напряжению высоковольтной сети.

Оценка экономической эффективности внедрения оптимального режима реактивных нагрузок производиться сравнением годовых расчетных затрат при существующем и оптимальном режимах компенсации:

$$Э = З_{сущ} - З_{опт} \ . \qquad (7)$$

Решая с помощью вычислительной техники целевую функцию (5) градиентным методом получаем экономический эффект в размере 61905 кВт·час/год.

При стоимости электроэнергии в сетях до 27,5 кВ (II класс) в размере 90,76 коп/кВт·час экономический эффект в денежном выражении составляет 56185 гривен в год.

Выводы:

1. Доказаны значимость и реальность существования связи между удельным расходом электроэнергии и выпускном продукции.
2. Объединяя определения показателей статистической связи, вывод энергетических характеристик и их погрешности на ЭВМ получаем полностью автоматизированный метод исследования и нормирования электропотребления.
3. Полученная энергетическая характеристика с погрешностью не превышающей 7% может быть положена в основу нормирования электропотребления на предприятии.
4. Рациональное размещение источников реактивной мощности (БК) в системе электроснабжения ведёт к существенному уменьшению потерь активной мощности в элементах электрической сети завода.

Список литературы

1. Казанцев Ю.И. Основная энергетическая характеристика промышленных предприятий с массовым выпуском однородной продукции. Известия СО АН СССР, № 3, 1970.
2. Казанцев Ю.И. Экономия электроэнергии в электрической сети ВАТ «ВТОРЧЕРМЕТ» за счет оптимального размещения компенсирующих устройств методом сопряженного градиента. В збірнике наукових праць КНТУ, выпуск 19, Кіровоград , 2007.
3. Г.А. Соколов, И.М. Гладких. Математическая статистика. Изд. «екзамен», Москва, 2007.
4. Оптимальное распределение компенсирующих устройств в электрической сети Кировоградского ремонтного завода с целью экономии электроэнергии. Отчет по НИР, № гос. рег. 01860131009. КНТУ, Кировоград.

Ю.Казанцев, Р.Мотрой

Дослідження електровжитку і оптимальне розміщення компенсуючих пристроїв в системі електропостачання ремонтно-механічного заводу

В статті показані вивід енергетичних характеристик, які являються основою нормування витрат електроенергії і її раціонального використання, а також економіяя електричної енергії за рахунок оптимального розміщення компенсуючих пристроїв.

Yu.Kzancev, R.Motroy

Research of electro-consumption and optimum placing of compensating devices in the system of power supply of repair-mechanical factory

In article it is show remove enegge characteristics and economy electrical energy on the way optimization place of compensation arrangements.

Получено 24.02.12

УДК 6П2.1-081

Ю.О. Єрмолаєв, доц., канд. техн. наук, Т.Г. Руденко, спец.
Кіровоградський національний технічний університет

Обґрунтування впровадження системи плавного пуску для привода фрез верстата СФ-АСТРА-РК8

В статті описано моделювання і дослідження пускових процесів привода ріжучого інструмента деревообробного верстата СФ-АСТРА-РК8. Визначені витрати енергії при прямому і плавному пусках, побудовані електродинамічні характеристики струму та моменту при різних вхідних параметрах ТПН, обґрунтовано доцільність використання тиристорних перетворювачів напруги та надані рекомендації щодо вибору управляючих параметрів тиристорних пускозахисних пристроїв для привода ріжучого інструмента верстата СФ-АСТРА-РК8.

плавний пуск, тиристорний перетворювач напруги, асинхронний електропривод, ТПН-АД, моделювання

В роботах [1, 2] надано опис електроприводів та режимів їх роботи деревообробного верстата СФ-АСТРА-РК8, відмічено, що привод кожної фрези здійснюється від нерегульованих асинхронних двигунів з коротко замкнутим ротором з прямим запуском типу АИР160S2, потужністю Р=15 кВт, n=3000 об/хв. Зазначимо, що кожна фреза знаходиться безпосередньо на валу двигуна, причому момент інерції фрези перевищує момент інерції ротора. Прямий пуск цих двигунів через великий

© Ю.О. Єрмолаєв, Т.Г. Руденко, 2012

Список литературы

1. Казанцев Ю.И. Основная энергетическая характеристика промышленных предприятий с массовым выпуском однородной продукции. Известия СО АН СССР, № 3, 1970.
2. Казанцев Ю.И. Экономия электроэнергии в электрической сети ВАТ «ВТОРЧЕРМЕТ» за счет оптимального размещения компенсирующих устройств методом сопряженного градиента. В збірнике наукових праць КНТУ, выпуск 19, Кіровоград , 2007.
3. Г.А. Соколов, И.М. Гладких. Математическая статистика. Изд. «екзамен», Москва, 2007.
4. Оптимальное распределение компенсирующих устройств в электрической сети Кировоградского ремонтного завода с целью экономии электроэнергии. Отчет по НИР, № гос. рег. 01860131009. КНТУ, Кировоград.

Ю.Казанцев, Р.Мотрой

Дослідження електровжитку і оптимальне розміщення компенсуючих пристроїв в системі електропостачання ремонтно-механічного заводу

В статті показані вивід енергетичних характеристик, які являються основою нормування витрат електроенергії і її раціонального використання, а також економіяя електричної енергії за рахунок оптимального розміщення компенсуючих пристроїв.

Yu.Kzancev, R.Motroy

Research of electro-consumption and optimum placing of compensating devices in the system of power supply of repair-mechanical factory

In article it is show remove enegge characteristics and economy electrical energy on the way optimization place of compensation arrangements.

Получено 24.02.12

УДК 6П2.1-081

Ю.О. Єрмолаєв, доц., канд. техн. наук, Т.Г. Руденко, спец.
Кіровоградський національний технічний університет

Обґрунтування впровадження системи плавного пуску для привода фрез верстата СФ-АСТРА-РК8

В статті описано моделювання і дослідження пускових процесів привода ріжучого інструмента деревообробного верстата СФ-АСТРА-РК8. Визначені витрати енергії при прямому і плавному пусках, побудовані електродинамічні характеристики струму та моменту при різних вхідних параметрах ТПН, обґрунтовано доцільність використання тиристорних перетворювачів напруги та надані рекомендації щодо вибору управляючих параметрів тиристорних пускозахисних пристроїв для привода ріжучого інструмента верстата СФ-АСТРА-РК8.

плавний пуск, тиристорний перетворювач напруги, асинхронний електропривод, ТПН-АД, моделювання

В роботах [1, 2] надано опис електроприводів та режимів їх роботи деревообробного верстата СФ-АСТРА-РК8, відмічено, що привод кожної фрези здійснюється від нерегульованих асинхронних двигунів з коротко замкнутим ротором з прямим запуском типу АИР160S2, потужністю Р=15 кВт, n=3000 об/хв. Зазначимо, що кожна фреза знаходиться безпосередньо на валу двигуна, причому момент інерції фрези перевищує момент інерції ротора. Прямий пуск цих двигунів через великий

© Ю.О. Єрмолаєв, Т.Г. Руденко, 2012

пусковий струм та коливальний затухаючий характер пускового момента двигуна викликає значні просадження напруги мережі живлення, великі електродинамічні перевантаження обмоток двигунів, порушення в роботі механічних вузлів привода.

Покращення динамічних характеристик та енергозбереження в пускових режимах роботи асинхронних двигунів є важливою й актуальною науково-практичною задачею, якій присвячено чимало праць, зокрема роботи Закладного О.М. [3], Браславського І.Я.[4], Петрова Л.П. [5], Чилікіна М.Г. [6], Чорного А.П. [7].

Більшість наукових праць останнього часу пропонують використовувати в асинхронному електроприводі частотні регулятори, але оскільки регулювання частоти обертання фрез за технологічними умовами не потрібне, то використання частотного управління не буде раціональним [3, 4, 7].

Метою статті є аналіз пускових режимів асинхронних двигунів фрез та обґрунтування вживання методів плавного пуску для зменшення динамічних струмів і моментів та зниження енергоспоживання.

Методи вирішення задачі: аналітичні розрахунки втрат електроенергії за експериментальними осцилограмами та моделювання процесів в середовищі Matlab-Simulink з використанням математичних та віртуальних моделей.

Витрати енергії при прямому пускові можна визначити за виразом [6]:

$$W = \int_{s_n}^{1} J \cdot \omega_0{}^2 \cdot \left(1 + \frac{R_s}{R_r'}\right) s \, ds \,, \tag{1}$$

де s_n – номінальне ковзання;

s – поточне значення ковзання;

J – момент інерції на валу двигуна;

ω_0 – синхронна кутова швидкість двигуна;

R_s – активний опір статора;

R_r' – приведений активний опір ротора.

Розраховані за виразом (1) витрати енергії за один пуск, який триває згідно з осцилограмою (рис. 1) 4.6 с, для одного двигуна складають $5.55 \cdot 10^5$ Вт·с, або 0.1543 кВт·год, що при мінімальній кількості пусків за одну зміну q_{min}=16, як показує досвід експлуатації верстата, при включенні двох двигунів складатиме 4.93 кВт·год.

Рисунок 1 – Фрагмент осцилограми прямого пуску асинхронного двигуна АИР160S2 привода інструмента верстата СФ-АСТРА-РК8

Визначити витрати енергії при прямому і плавному пусках можна за виразом [4]:

$$W = 3 \cdot \int_{0}^{t_p} \left(I_s^2 \cdot R_s + I_r^2 \cdot R_r'\right) dt, \tag{2}$$

де t_p – час пуску;

I_s, I_r – струми статора і ротора.

Уникнути негативного впливу прямого пуску асинхронних двигунів дозволяють тиристорні перетворювачі напруги (ТПН), зокрема тиристорні пускозахисні пристрої (ТПЗП) типу ТПЗУ виробництва НПО «ЕТАЛ» м. Александрія. ТПЗП виконані на базі тиристорних перетворювачів напруги з різною конфігурацією силової схеми і широким набором виконуваних функцій. В модифікації ТПЗУ-1Б передбачена реалізація «безударного пуску» та зменшення до 30% споживання електричної енергії за час пуску [10].

Швидкість наростання прикладеної до АД напруги може за допомогою ТПН залишатись постійною або змінюватись за будь-яким законом зміни кута запізнювання відкривання тиристорів α. Практично найпростішим чином реалізується експоненціальний закон зміни величини управління, до якого легко можна привести і режими з постійною швидкістю зміни напруги в початковій стадії процесу. Тому можна прийняти, що прикладена до асинхронного двигуна напруга змінюється за законом [5]:

$$u_s = U_{s\ уст} \cdot [1 - e^{\frac{-t}{T_u}}], \tag{3}$$

де $U_{s\ уст}$ – усталене значення прикладеної напруги;

t – час;

T_u – стала часу, яка визначає швидкість наростання напруги.

Для складання моделі проаналізовані рекомендації [5], де показано, що при $T_u<1$ обмеження ударних моментів не спостерігається, а при $T_u>4$ відбувається помітне збільшення часу розгону через надмірне зниження моменту. В межах $1<T_u<3$ час розгону залишається приблизно таким же, як і при прямому пускові, але при $T_u>1{,}5$ відбувається помітне зменшення піків ударних моментів. Характер впливу значення T_u на процес розгону зберігається для різних АД незалежно від їх потужності та числа пар полюсів.

Другим способом управління є зміна кута α за експонентою:

$$\alpha = \alpha(0) \cdot e^{\frac{-t}{T_\alpha}}, \tag{4}$$

де $\alpha(0)$ – початкове значення кута α;

T_α – стала часу, яка визначає швидкість зменшення кута α.

В [5] показано, що для більшості асинхронних промислових електроприводів динамічні характеристики при зміні кута α по експоненціальному закону (4) практично не відрізняються від характеристик, отриманих при зміні напруги по (3) у випадку рівності постійних часу T_u і T_α.

Дослідження пускових режимів головного привода верстата СФ-АСТРА-РК8 проводилось шляхом моделювання засобами середовища Matlab-Simulink [8, 9], для чого була запропонована віртуальна модель (рис.2, 3).

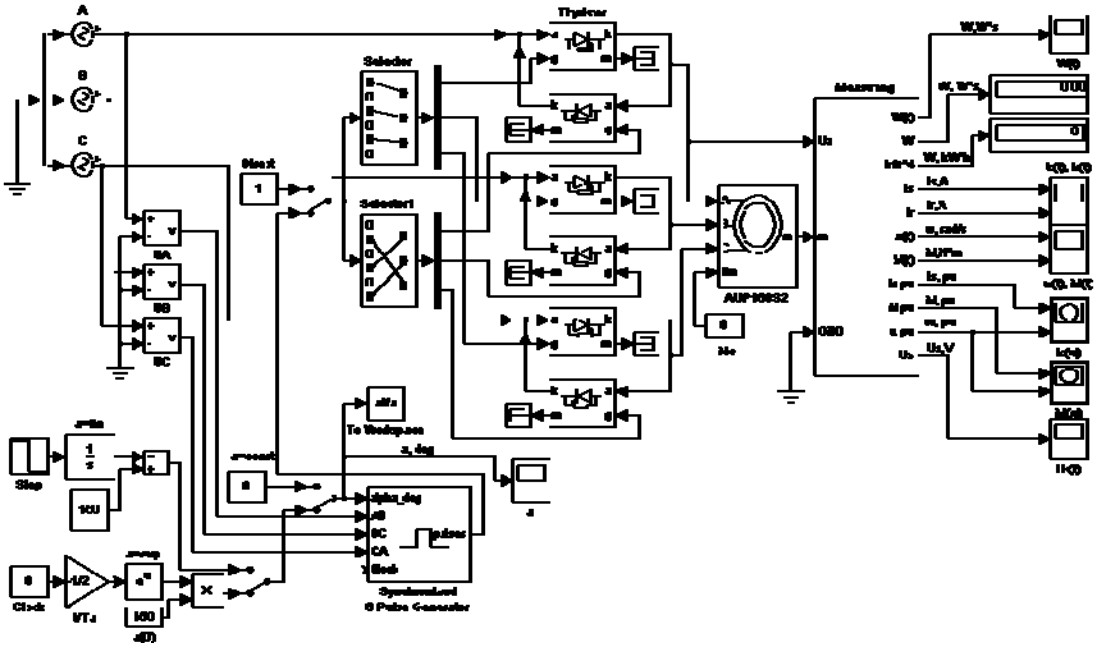


Рисунок 2 – Віртуальна модель системи ТПН-АД в середовищі Matlab-Simulink

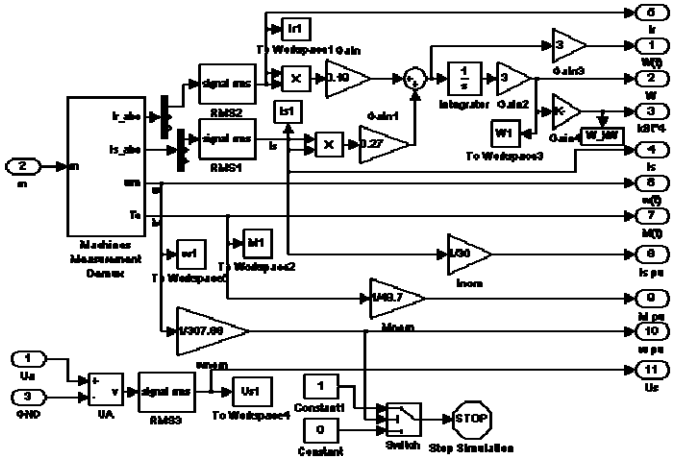
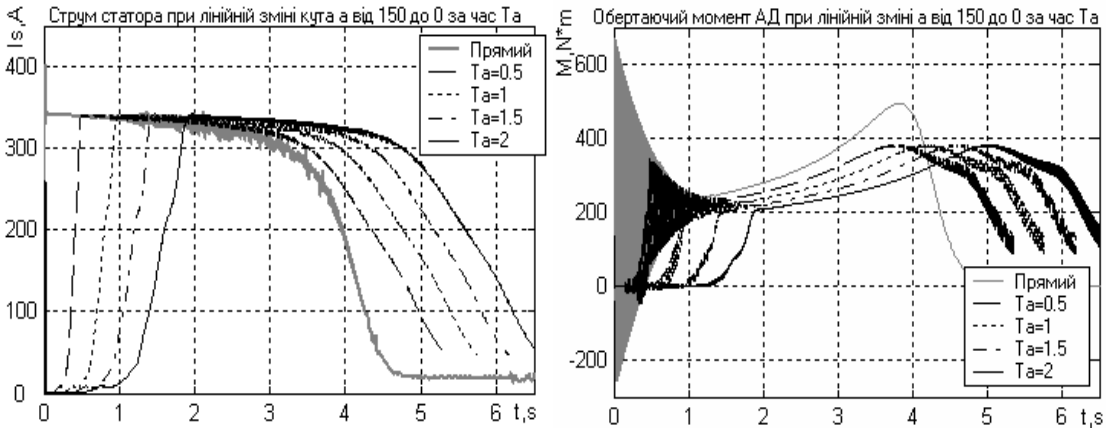
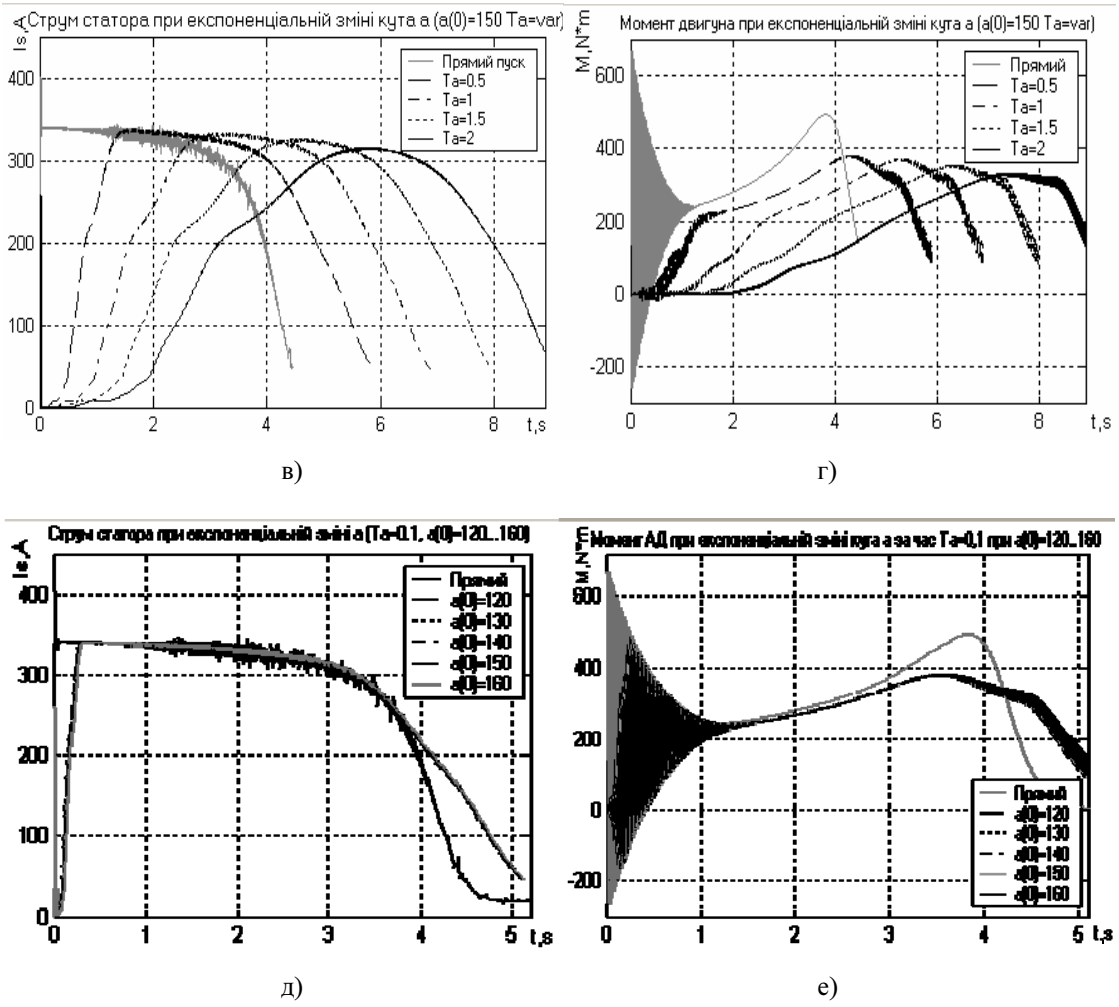


Рисунок 3 – Блок Measuring віртуальної моделі системи ТПН-АД в середовищі Matlab-Simulink



а) б)



а) криві струму статора при прямому та плавному пусках з лінійною зміною кута α; б) криві обертаючого моменту при прямому та плавному пусках з лінійною зміною кута α; в) криві струму статора при прямому та плавному пусках з експоненціальною зміною кута α; г) криві обертаючого моменту при прямому та плавному пусках з експоненціальною зміною кута α; д) криві струму статора при прямому та плавному пусках з експоненціальною зміною кута α з параметрами T_α=0.1, α(0) = 120°…160°; е) криві обертаючого моменту при прямому та плавному пусках з експоненціальною зміною кута α з параметрами T_α=0.1, α(0) = 120°…160°

Рисунок 4 – Пускові характеристики головного привода верстата СФ-АСТРА-РК8, отримані в процесі моделювання

Модель включає блок тиристорів, включених зустрічно-паралельно, формувача імпульсів та блоків формування сигналу управління α, який може бути постійним, або змінюватись за лінійним чи експоненціальним законом (4). Параметри цих блоків задані згідно з рекомендаціями, наданими в [5, 8]. Властивості асинхронної машини AUP160S2 моделі відповідають параметрам головного привода верстата СФ-АСТРА-РК8, які були розраховані раніше [1, 2]. Момент інерції блоку AUP160S2 представляє собою суму усіх моментів, приведених до вала двигуна. Пуск відбувається без навантаження, тому момент M_c на вході AUP160S2 рівний 0. Для моделювання прямого пуску на входи тиристорів подається постійний відпираючий сигнал. Блок Measuring (рис. 3) призначений для вимірювання та обробки параметрів системи ТПН-АД і обчислення витрат електроенергії за формулою (3). Час моделювання обмежений часом пуску і розгону двигуна до величини номінальної частоти обертання.

За результатами дослідження можна зробити наступні висновки:

а) дослідження впливу закону зміни кута α показало, що при експоненціальній зміні кута α, на відміну від лінійної, струм статора наростає плавно, коливання обертаючого моменту значно зменшуються, але збільшується час розгону на 10 – 30% (рис. 4 а-г), на рис. 4 не показані криві при зміні T_α від 2.5 до 4, оскільки при цьому значно збільшується час пуску;

б) найбільший вплив на процес пуску АД має значення T_α, параметр α(0) істотно не вплинув на результати нашого дослідження (рис. 4 д, е), тому ми рекомендуємо при експлуатації ТПЗП встановлювати кут α(0)=150°, що не суперечить дослідженням [5];

в) енергетичні витрати при різних значеннях T_α показані на рис. 5, економія при використанні ТПН склала 0.4 %;

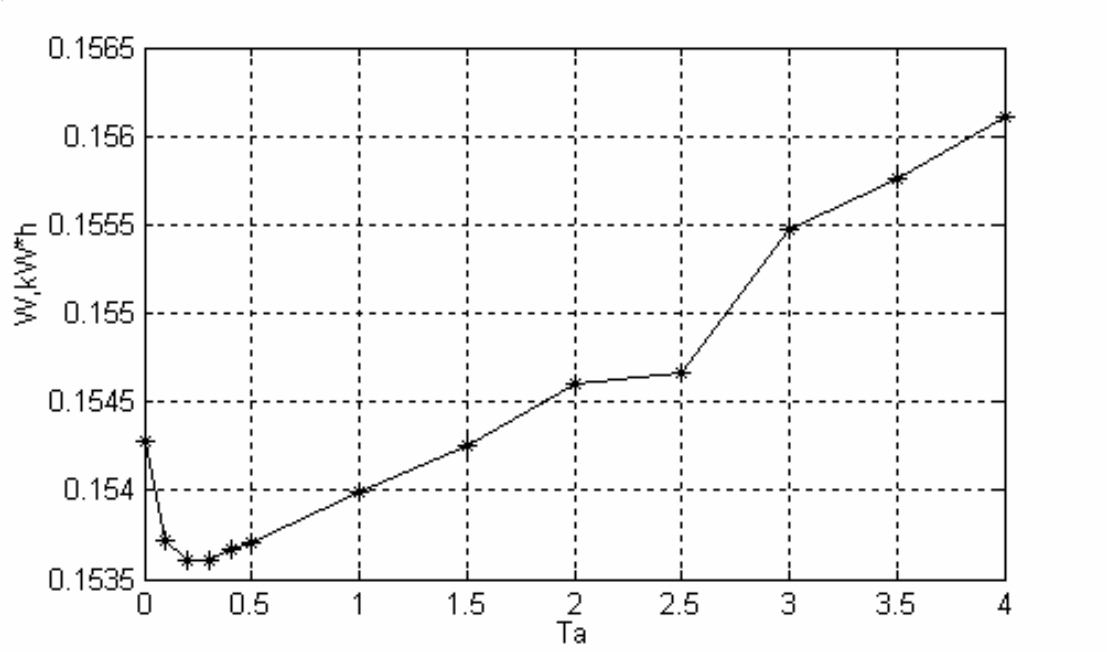


Рисунок 5 – Енергетичні витрати при прямому та плавному пусках електропривода при T_α=0...4

г) використання ТПЗП в приводі головного інструмента деревообробного верстата СФ-АСТРА-РК8 дозволить збільшити строк служби і міжремонтні строки двигунів та механічних вузлів верстата завдяки істотному зменшенню коливань обертаючого моменту в зоні великого ковзання та зекономити електричну енергію в процесі пуску; рекомендованими параметрами для ТПЗП є зміна кута управління α за експоненціальним законом (4), де α(0)=150°, T_α=0.5, розрахована економія електроенергії за час пуску складає 4.82 кВт·год за рік;

д) при роботі в довготривалому режимі холостого ходу або при великих паузах холостого ходу використання ТПЗП дасть значну економію [3, 4, 8].

Список літератури

1. Єрмолаєв Ю.О. Експериментальні дослідження електроприводів верстата СФ-АСТРА-РК8 / Ю.О. Єрмолаєв, Т.Г. Руденко // Техніка в сільськогосподарському машинобудуванні, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць Кіровоград. нац. техн. ун-ту / – 2009. – Вип. 22. – С. 189-192.
2. Єрмолаєв Ю.О. Визначення параметрів асинхронних двигунів з побудовою статичних характеристик для приводів фрезерувального верстата СФ-АСТРА-РК8 / Ю.О. Єрмолаєв, Т.Г. Руденко // Техніка в сільськогосподарському машинобудуванні, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць Кіровоград. нац. техн. ун-ту / – 2010. – Вип. 23. – С. 71-77.
3. Закладний О.М. Енергозбереження засобами промислового електропривода: навчальний посібник / Закладний О.М., Праховник А.В., Соловей О.І. – К.: Кондор, 2005. – 408 с.

4. Браславский И.Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Браславский И.Я., Ишматов З. Ш., Поляков В.Н.; под ред. И.Я. Браславского. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 256 с.
5. Тиристорные преобразователи напряжения для асинхронного электропривода / [Петров Л.П., Андрющенко О.А., Капинос В.И. и др.]. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 200 с.
6. Чиликин М.Г. Общий курс электропривода: учебник для вузов / М.Г. Чиликин, А.С. Сандлер. – [6-е изд.]. – М.: Энергоиздат, 1981. – 576 с.
7. Пусковые системы нерегулируемых электроприводов: Монография / [Черный А.П., Гладырь А.И., Осадчук Ю.Г. и др.]. – Кременчуг: ЧП Щербатых А.В., 2006. – 280 с.
8. Черных И. В. Моделирование тиристорного регулятора напряжения с использованием стандартных блоков SIMPOWERSYSTEM [Електронний ресурс] / Черных И. В. – СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2007. – С.610-612. – (Проектирование инженерных и научных приложений в среде MATLAB) (Труды III научной конференции / Санкт–Петербуржский университет). – Режим доступу: http://matlab.exponenta.ru/conf2007/default.php.
9. Герман-Галкин С.Г. Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК. – СПб.: КОРОНА-Век, 2008. – 368 с.
10. НПО «Этал». Информационный листок. г. Александрия,– - 2000. – 4 с.

Ю. Ермолаев, Т. Руденко

Обоснование внедрения системы плавного пуска для привода фрез станка СФ-АСТРА-РК8

В статье описано моделирование и исследование пусковых процессов привода режущего инструмента деревообрабатывающего станка СФ-АСТРА-РК8. Определены потери энергии при прямом и плавном пуске, построены электродинамические характеристики тока и момента при различных входных параметрах ТПН, обоснована целесообразность использования тиристорных преобразователей напряжения и даны рекомендации по выбору управляющих параметров тиристорных пускозащитных устройств для привода режущего инструмента станка СФ-АСТРА-РК8.

U. Ermolaev, T Rudenko

The basis of the soft starting system's introduction for the cutters drive machine SF-ASTRA-RK8

In the article the modelling and analysis starting processes of cutting tool drive wood-working machine SF-ASTRA-RK8 are described. The losses of energy at the direct and soft starting are defined, the electrodynamic descriptions of current and moment are built at the different entry parameters of TPN, the expedience of the use thyristor tension transformers is justified and the recommendations on the choice of managing parameters of thyristor soft start devices for the cutting tool drive machine tool SF-ASTRA-RK8 are gave.

Одержано 27.03.12

УДК 681.513.2

Н.В. Смирнова, канд. техн. наук, В.В. Смирнов, доц., канд. техн. наук
Кировоградский национальный технический университет

Определение параметров вольт-амперной характеристики дуги при изменении величины межэлектродного промежутка

Приводится описание определения параметров вольт-амперной характеристики дуги при перемещении электрода-инструмента в процессе размерной обработки деталей электрической дугой. Параметры определяются путем проведения измерений и вычисления экстремума выборочного коэффициента взаимной корреляции между током и напряжением дуги в межэлектродном промежутке
вольт-амперная характеристика, рабочая точка, коэффициент нелинейности, электрическая дуга

Размерная обработка дугой (РОД) является процессом, основанным на использовании электрической дуги, в котором обработка деталей осуществляется в поперечном потоке жидкости – диэлектрика [1].

Стабильность рабочего тока дуги является одним из основных показателей качества обработки, поскольку превышение величины заданного тока приводит к увеличению диаметра эрозионных лунок, что снижает класс чистоты обработки детали. Стабильность тока дуги может быть обеспечена постоянством величины межэлектродного промежутка (МЭП) при условии, что рабочая точка дуги находится в середине динамической вольт-амперной характеристики (ВАХ) дуги.

Анализ исследований и публикаций. Исследования ученых института Патона показали, что условие устойчивого горения дуги выполняется, если в течение длительного времени дуговой разряд существует непрерывно при заданных значениях тока $I_д$ и напряжения дуги $U_д$ [2]. Установившийся режим работы системы электрическая дуга - источник питания дуги определяется точкой пересечения внешней ВАХ источника питания дуги и ВАХ дуги. Дуга будет гореть устойчиво в той точке, для которой разность производных функций характеристики дуги и источника питания будет положительной. Коэффициент устойчивости k_y определяется выражением:

$$k_y = \left(\frac{dU_д}{dI_д} - \frac{dU_{ип}}{dI_{ип}} \right) > 0 . \qquad (1)$$

В работе [2] сделан вывод, что для выполнения условия устойчивого горения дуги необходимо, чтобы внешняя характеристика источника питания дуги в рабочей точке имела большую крутизну, чем статическая характеристика дуги. Однако, при перемещении электрода-инструмента происходит изменение тока дуги, вызванное изменением положения рабочей точки дуги на ее ВАХ.

Цель статьи. С целью обеспечения стабильности тока дуги в процессе РОД необходимо определить оптимальные параметры рабочей точки дуги на ее ВАХ и поддерживать их стабильность в процессе обработки. Для решения этой задачи необходимо определить параметры ВАХ дуги путем установления взаимозависимости между током $I_д$ и напряжением дуги $U_д$ при перемещении электрода-инструмента в

© Н.В. Смирнова, В.В. Смирнов, 2012

пределах рабочей области МЭП.

Основная часть. Определение параметров вольт-амперной характеристики дуги осуществлялось на основании измерений тока $I_д$ и напряжения дуги $U_д$ и выборочного коэффициента взаимной корреляции R в процессе перемещении электрода-инструмента от минимального значения (короткое замыкание) до максимального (обрыв дуги) следующим образом:

1. На станке РОД модели "Дуга-8М" с помощью цифрового запоминающего осциллографа "Rigol 1052E" были записаны осциллограммы сигналов тока и напряжения дуги в процессе обработки детали в режимах короткого замыкания, обработки детали, обрыва дуги.

2. На осциллограммах с помощью программы "Signal Explorer" [3] проводились измерения мгновенных значений сигналов тока $I_д$ и напряжения дуги $U_д$. Были определены взаимные коэффициенты изменения значений тока $I_д$ и напряжения дуги $U_д$, необходимые для построения характеристики дуги при изменении величины МЭП. Значение коэффициента нелинейности k_s определяется выражением:

$$k_s = \frac{k_u}{k_I}, \tag{2}$$

где $k_U = \left| \frac{U\ddot{a}_{(t1)}}{U\ddot{a}_{(t2)}} \right|$, $k_I = \left| \frac{I\ddot{a}_{(t1)}}{I\ddot{a}_{(t2)}} \right|$ - отношение значений напряжения $U_д$ и тока дуги $I_д$ измеренных в момент времени t_1 к значениям напряжения $U_д$ и тока дуги $I_д$ измеренных в момент времени t_2.

Измерения значений сигналов тока $I_д$ и напряжения дуги $U_д$, проводились в точке осциллограммы, соответствующей экстремуму выборочного коэффициента корреляции $R \to 1$ и в точках осциллограммы вблизи участков, соответствующих началу развития процесса обрыва дуги или короткого замыкания при $R \to 0$.

Выборочный коэффициент взаимной корреляции R между сигналами тока и напряжения дуги определялся в соответствии с выражением:

$$R = \frac{\frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}(i_k - \bar{i}) \cdot (u_k - \bar{u})}{\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}(i_k - \bar{i})^2 \cdot \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}(u_k - \bar{u})^2}}, \tag{3}$$

В соответствии с выражением (2), изменение напряжения дуги $U_д$ на величину ΔU приводит к пропорциональному изменению тока дуги на величину ΔI, то есть будет соблюдаться равенство: $k_u = k_I$ и $k_s = 1$. Отсюда следует, что всякое нарушение этой пропорциональной зависимости является нарушением линейности ВАХ дуги. То есть, неравенство: $k_s < 1$ соответствует области изгиба характеристики при минимальном токе дуги и началу развития процесса обрыва дуги, а неравенство: $k_s > 1$ соответствует области изгиба характеристики на участке, формируемом внешней ВАХ источника питания при максимальном токе дуги и началу развития процесса короткого замыкания.

Равенство $k_s = 1$ соответствует линейной части ВАХ в окрестностях рабочей точки дуги и экстремуму выборочного коэффициента корреляции R.

На рис. 1 и таблице 1 представлены результаты измерений тока $I_д$ и напряжения дуги $U_д$, а также выборочного коэффициента R корреляции на временном интервале t_1-t_2 для определения коэффициента нелинейности характеристики дуги k_s в процессе развития обрыва дуги. Поскольку ток $I_д$ и напряжение дуги $U_д$ при падающей внешней ВАХ источника питания дуги имеют обратно-пропорциональную зависимость, то значение выборочного коэффициента R корреляции имеет отрицательный знак.

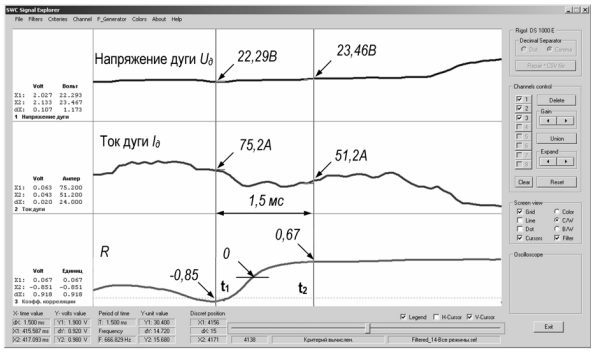


Рисунок 1 - Измерения $I_д$, $U_д$ и R на временном интервале t_1-t_2 в процессе развития процесса обрыва дуги

Таблица 1 - Результаты измерений значений $I_д$, $U_д$ и R на временном интервале t_1-t_2 в процессе развития обрыва дуги

№	Наименования измеряемого значения	Значение	Ед.изм.
1	Интервал измерения t_2 - t_1	1.5	мс
2	Значение R в момент времени t_1	-0.85	Ед.
3	Значение R в момент времени t_2	0.67	Ед.
4	Напряжение дуги $U_д$ в момент времени t_1	22.29	В
5	Напряжение дуги $U_д$ в момент времени t_2	23.46	В
6	Ток дуги $I_д$ в момент времени t_1	75.20	А
7	Ток дуги $I_д$ в момент времени t_2	51.20	А

Коэффициент нелинейности ВАХ дуги k_s составляет: k_s = 0,64, то есть k_s < 1. Значение коэффициента k_s, а так же значения тока $I_д$ и напряжения дуги $U_д$ свидетельствует о нарушении режима горения дуги и начале развития процесса обрыва дуги.

На рис. 2 и таблице 2 представлены результаты измерений $I_д$, $U_д$ и R на временном интервале t_1-t_2 для определения коэффициента нелинейности характеристики дуги k_s в процессе развития короткого замыкания.

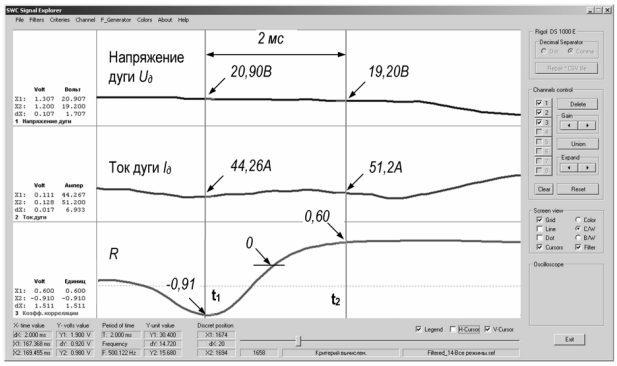


Рисунок 2 - Измерения $I_д$, $U_д$ и R на временном интервале t_1-t_2 в процессе развития короткого замыкания

Таблица 2 - Результаты измерений $I_{д,}$ $U_д$ и R на временном интервале t_1-t_2 в процессе развития короткого замыкания

№	Наименования измеряемого значения	Значение	Ед.изм.
1	Интервал измерения t_1-t_2	2	мс
2	Значение R в момент времени t_1	-0.91	Ед.
3	Значение R в момент времени t_2	0.60	Ед.
4	Напряжение дуги $U_д$ в момент времени t_1	20.90	В
5	Напряжение дуги $U_д$ в момент времени t_2	19.20	В
6	Ток дуги $I_д$ в момент времени t_1	44,26	А
7	Ток дуги $I_д$ в момент времени t_2	51.20	А

Коэффициент нелинейности характеристики дуги k_s составляет: k_s = 1.25 то есть k_s > 1. Значение коэффициента k_s, а так же значения тока $I_д$ и напряжения дуги $U_д$ соответствует изгибу характеристики дуги на участке, формируемом внешней ВАХ источника питания дуги и началу развития процесса обрыва дуги.

На рис. 3 и таблице 3 представлены результаты измерений $I_{д,}$ $U_д$ и R на временном интервале t_1-t_2 для определения закономерности изменения значения выборочного коэффициента взаимной корреляции R от величины МЭП.

Измерения осуществлялись на временном интервале t_1-t_2 на протяжении которого выборочный коэффициент корреляции R изменялся от экстремума до минимального значения. Область наблюдения ограничивалась минимальным значением напряжения горения дуги $U_{д_мин}$ = 15В, при уменьшении которого развивается процесс кроткого замыкания и максимальным значением $U_{д_мах}$ = 30В, при увеличении которого развивается процесс обрыва дуги.

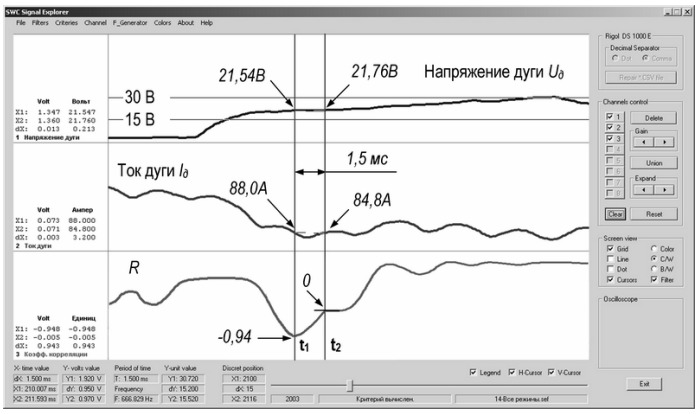


Рисунок 3 - Значения выборочного коэффициента корреляции R для двух независимых выборок тока $I_д$ и напряжения дуги $U_д$

Таблица 3 - Значения выборочного коэффициента корреляции R для двух независимых выборок тока $I_д$ и напряжения дуги $U_д$

№	Наименования измеряемого значения	Значение	Ед.изм.
1	Интервал измерения t_1-t_2	1.5	мс
2	Значение R в момент времени t_1	-0.94	Ед.
3	Значение R в момент времени t_2	0	Ед.
4	Напряжение дуги $U_д$ в момент времени t_1	21.54	В
5	Напряжение дуги $U_д$ в момент времени t_2	21.76	В
6	Ток дуги $I_д$ в момент времени t_1	88.00	А
7	Ток дуги $I_д$ в момент времени t_2	84.80	А

Коэффициент нелинейности характеристики дуги k_s составляет 0.96 ≈ 1. В области наблюдения на интервале t_1-t_2 значение выборочного коэффициента корреляции изменялось от экстремума до минимального значения. При изменении значений тока $I_д$ и напряжения дуги $U_д$ отмечен линейный участок ВАХ дуги с коэффициентом k_s ≈ 1. Из этого следует, что момент времени t_1, при достижении экстремума выборочного коэффициента корреляции R рабочая точка дуги $U_{д_рт}$ находится в середине линейного участка динамической ВАХ дуги. В момент времени t_2 происходит уменьшение значения выборочного коэффициента корреляции до R = 0, что соответствует стабильному режиму горения дуги, неподвижному состоянию электрода-инструмента и отсутствию изменений величины МЭП.

На основании результатов измерений и установленных зависимостей (табл. 1-3) был построен график ВАХ дуги, которая формируется при изменении величины МЭП от минимального до максимального значения (50-250 мкм) при токе дуги $I_д$ = 100А с использованием электрода-инструмента из графита (рис. 4).

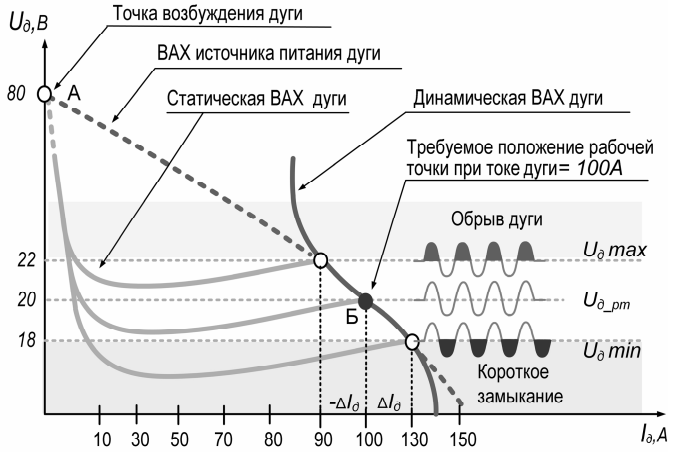


Рисунок 4 - Зависимость тока $I_д$ и напряжения дуги $U_д$ от величины МЭП

На графике (рис. 4) показано, что режиму обрыва дуги предшествует участок характеристики, в котором напряжение горения дуги $U_д$ имеет максимально допустимое значение $U_дmax$, при увеличении которого происходит обрыв дуги.

Участку рабочего режима и оптимального положения рабочей точки дуги $U_{д_рт}$ соответствует участок характеристики, в котором напряжение горения дуги в рабочей точке $U_{д_рт}$ имеет номинальное значение.

Участку короткого замыкания дуги предшествует участок характеристики, в котором напряжение горения дуги в рабочей точке $U_д$ имеет минимально допустимое значение $U_дmin$, при уменьшении которого происходит короткое замыкание.

Выводы. Установленные зависимости показали, что на формирование *S*-образной ВАХ дуги при изменении величины МЭП оказывают влияние два фактора:

1. С одной стороны изгиб характеристики обусловлен неустойчивым участком ВАХ при малых токах дуги.

2. С другой стороны изгиб характеристики обусловлен падающей ВАХ источника питания при больших токах дуги.

Таким образом, установлено, что ВАХ дуги имеет вид *S*-образной кривой при изменении МЭП от минимального до максимального значения при использовании источника питания с падающей внешней характеристикой, а сигналы тока $I_д$ и напряжения дуги $U_д$ связаны взаимной корреляционной зависимостью в окрестностях рабочей точки дуги.

Из этого следует, что для стабилизации тока дуги $I_д$ в процессе РОД необходимо определить оптимальные параметры рабочей точки дуги по экстремуму выборочного коэффициента взаимной корреляции R между сигналами тока $I_д$ и напряжения дуги $U_д$ и поддерживать значение экстремума R в процессе обработки детали.

Список литературы

1. Носуленко В.И. Розмірна обробка металів єлектричною дугою. Автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.03.07 / Кировоградський гос. техн. ун-т – К., 1999.- 36 с.
2. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / [под ред. акад. Б. Е. Патона]. – М.: "Машиностроение", 1974. – 768 с.
3. Сидоренко В. В. Программная система для исследования сигналов и обработки данных вычислительных экспериментов / В. В. Сидоренко, Н. В. Смирнова, В. В. Смирнов // Матеріали 12 Міжнародної науково-технічної конференції SAIT 2010 ["Системний аналіз та інформаційні технології"], (Київ, 25-29 травня 2010 р.). – К.: УНК "ІПСА" НТУУ "КПІ", 2010. – С. 488.

Н. Смірнова, В. Смірнов

Визначення параметрів вольт-амперної характеристики дуги при зміні величини міжелектродного проміжку

Наводиться опис визначення параметрів вольт-амперної характеристики дуги при переміщенні електрода-інструмента в процесі розмірної обробки деталей електричної дугою. Параметри визначаються шляхом проведення курсорних вимірювань та обчислення екстремуму вибіркового коефіцієнта взаємної кореляції між струмом і напругою дуги в міжелектродному проміжку

N. Smirnova, V. Smirnov

The arc current-voltage characteristics parameters defining to the extent that the electrode gap

The parameters determining the arc current-voltage characteristics when the tool-electrode moving in the dimensional machining arc process description. The parameters are defined by means of cursor measurements the sample cross-correlation between current and voltage of the arc in the interelectrode gap extremal coefficient calculation.

Получено 30.03.12

УДК 004.772

В.В. Сидоренко, проф., д-р техн. наук, В.Ю. Малаховський, студент
Кіровоградський національний технічний університет

Основи побудови просторових інтерфейсів введення-виведення інформації обчислювальних систем

Статтю присвячено розробці просторового інтерфейсу на базі стандарту IEEE 802.15.4 з використання мережевих протоколів ZigBee для організації бездротового обміну інформацією та висвітленню перспектив застосування розробленого інтерфейсу для керування периферійними пристроями.
ZigBee, просторовий інтерфейс, алгоритм функціонування

Актуальність теми дослідження. Бездротовий зв'язок дуже щільно увійшов у повсякденне життя людей, диктує подальший напрям розвитку технологій. Такий тип зв'язку має велику кількість переваг у порівнянні зі звичайним дротовим. Крім того, він має значні перспективи розвитку. Ось чому більшість сучасних пристроїв орієнтується саме на управління за допомогою бездротових технологій. У зв'язку з цим, питання розробки інтерфейсу, який би можна було при мінімальних налаштуваннях застосувати у максимальному числі систем, є надзвичайно актуальним.

Постановка проблеми. За існуючих сьогодні значної кількості технологій передачі даних за допомогою дротового зв'язку доводиться констатувати, що переважній більшості з них притаманні суттєві недоліки, до яких, перш за все, слід віднести складність у розробці, низьку надійність зв'язку та швидкість передачі даних, складність у розробці та низький потенціал поліпшення технології.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У останніх публікаціях [1-3], рядом авторів у розділах, що присвячені дослідженню проблем побудови просторових інтересів, містяться загальні положення щодо розробки комутаційних пристроїв, елементних баз. Проте, до сих пір залишаються невирішеними окремі технологічні питання розробки інтерфейсу передачі даних, відчувається дефіцит елементної бази.

Метою статті є розробка простого, дешевого, максимально ефективного інтерфейсу, що придатний до імплементування у вже готові мікросхеми стандарту IEEE 802.15.4 з використання мережевих протоколів ZigBee для організації бездротового обміну інформацією.

Виклад основного матеріалу. Запропонований нами просторовий інтерфейс базується на технології передачі даних з низькою швидкістю, з урахуванням комплексу вимог, що висуваються до кінцевого продукту. Такими вимогами є прийнятна ціна та можливість побудови системи заданої конфігурації, а також типу. Перші кроки у напряму розробки стандарту передачі даних IEEE 802.15.4 було здійснено у 2001 році фахівцями Інституту інженерів електротехніки та електроніки (IEEE) [4, 6]. Його працівники розробили новий стандарт 802.15.4 сімейства бездротових персональних мереж WPAN, що являють собою альтернативу дротовим з'єднанням в розподілених системах моніторингу і управління та відрізняються більш гнучкою архітектурою, вимагають менших витрат при їх установці і експлуатації. Стандарт IEEE 802.15.4

© В.В. Сидоренко, В.Ю. Малаховський, 2012

визначає лише два нижніх рівні стека: рівень доступу до середовища (MAC) та фізичний рівень передачі даних в середовищі поширення (PHY), тобто нижні рівні протоколу бездротової передачі даних. Альянс визначає програмні рівні стека ZigBee (рис. 1) від рівня каналу передачі даних (Data Link Control) до рівня профілів пристроїв (ZigBee Profiles). Прийом і передача даних по радіоканалу здійснюється на фізичному рівні PHY, що визначає робочий частотний діапазон, тип модуляції, максимальну швидкість, кількість каналів [5, 7, 8].

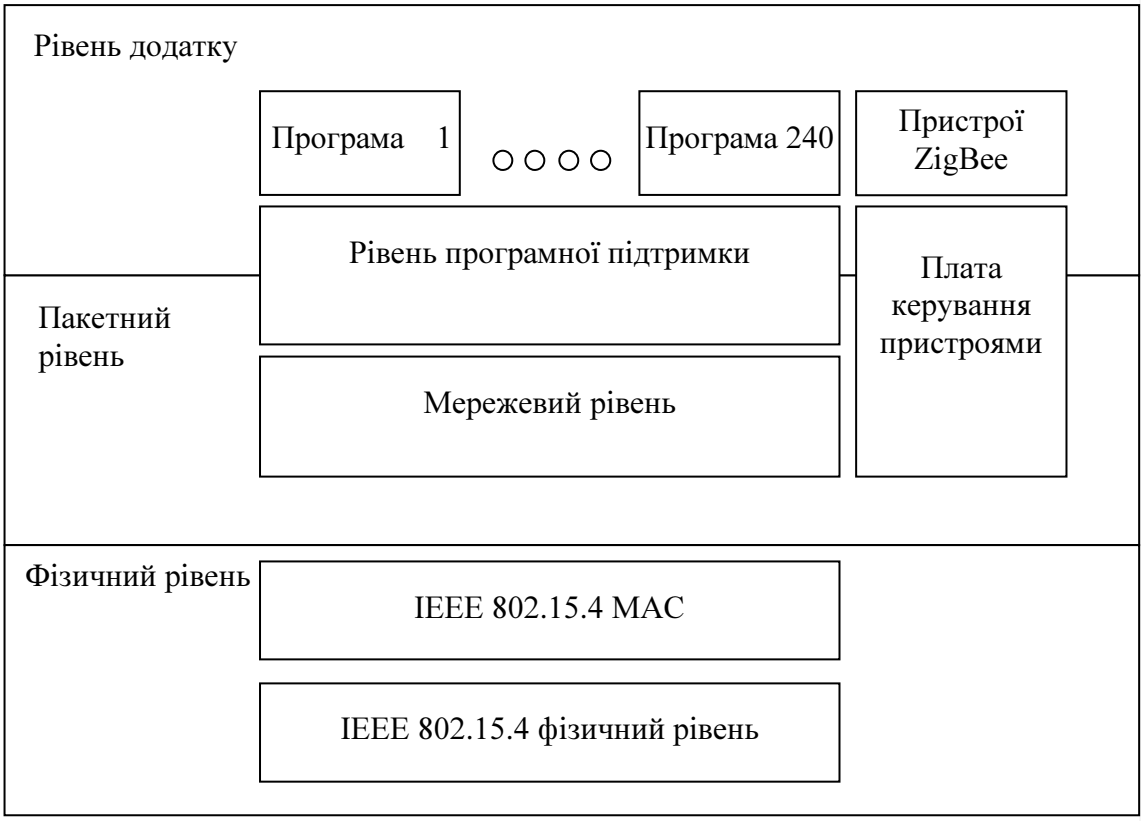


Рисунок 1 – Детальна архітектура ZigBee

Радіомодулі від виробника Freescale Semiconductor працюють на частоті 2,4 ГГц, відповідають рівням MAC / PHY стандарту 802.15.4 (MC13192) і забезпечують швидкість передачі даних до 250 кбіт / с. Мікросхеми є універсальними RF-приймачами, які можуть використовуватися для організації будь-якого радіоінтерфейсу (не тільки ZigBee-сумісного). Для обміну даними можливим є використання двох режимів: пакетного і потокового режиму передавання.

При розробці інтерфейсу, модулі, що задіяні при передачі даних, було розділено нами на 2 умовних типи: прийому та передачі інформації. Взаємодію модулів, що задовольняють заданим вимогам, представимо у вигляді наступної послідовності, що відображатиме модель ситуації передачі даних (рис.2). Згідно задуму та схеми, що його ілюструє:

Модуль-приймач виконує функцію ініціації обміну. Здійснює він це за допомогою посилання запиту до модулю-передавача з метою встановлення з'єднання для подальшого обміну інформацією (читання або запису).

Модуль-передавач у випадку, якщо система, за обмін даними якої він відповідає, вільна (немає запитів від інших більш пріоритетних клієнтів), повідомляє про це приймачеві, що надіслав запит, сигналом підтвердження доступу.

У відповідь на сигнал підтвердження, модуль-передавач починає передавати пакети з інформацією.

У ситуації, коли модуль-приймач отримує неповний пакет, або при пересиланні сталася помилка, у відповідь надсилається спеціально розроблене для таких випадків повідомлення. Реакцією на отримання такого повідомлення є повторна передача зазначеного пакету даних від модуля-передавача.

У разі пересилання останнього пакету, модуль-передавач встановлює в ньому значення “біту останнього пакету” у значенні “1”. За задумом, це є сигнал завершення передачі інформації. Клієнт-передавач, в свою чергу, присвоює адресі цього модуля найнижчий пріоритет у системі пріоритетів.

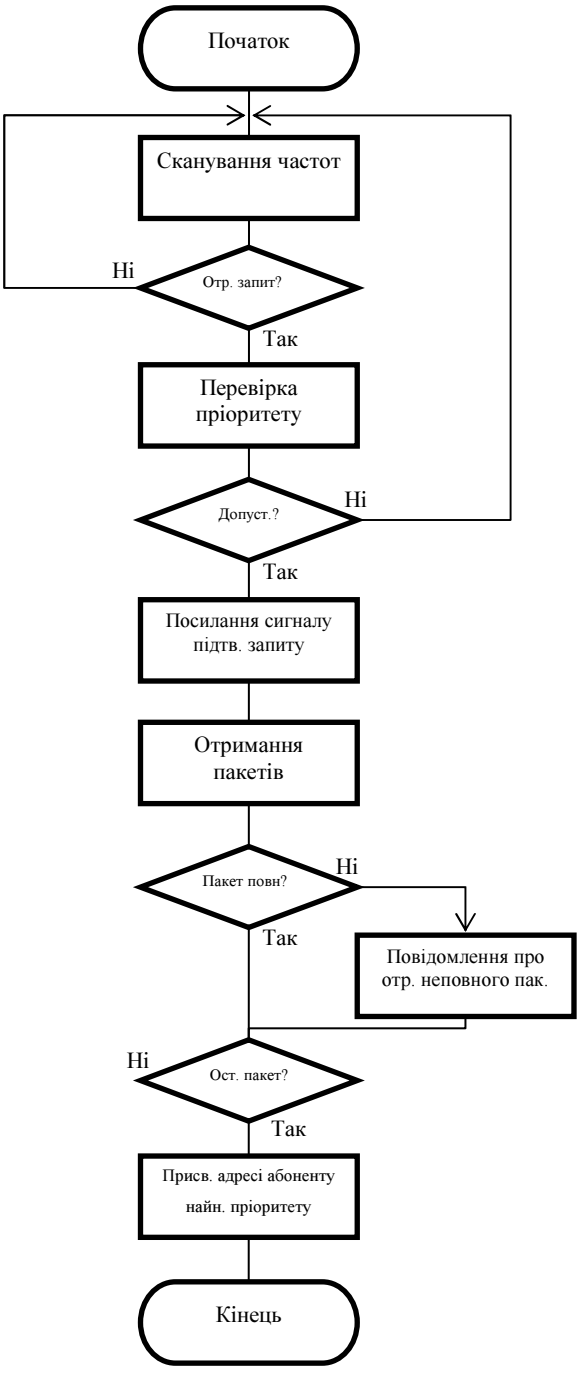


Рисунок 2 – Узагальнений алгоритм функціонування пристрою-приймача

Так як у розробленій мережі може бути більш ніж 2 модулі, запропоновано використання системи пріоритетів. Її призначення: призначення пріоритетів та допуск до обміну інформацією модулям, що надсилають запити до модулю передавача одночасно. Блок-схему роботи системи пріоритетів наведено на рис.3:

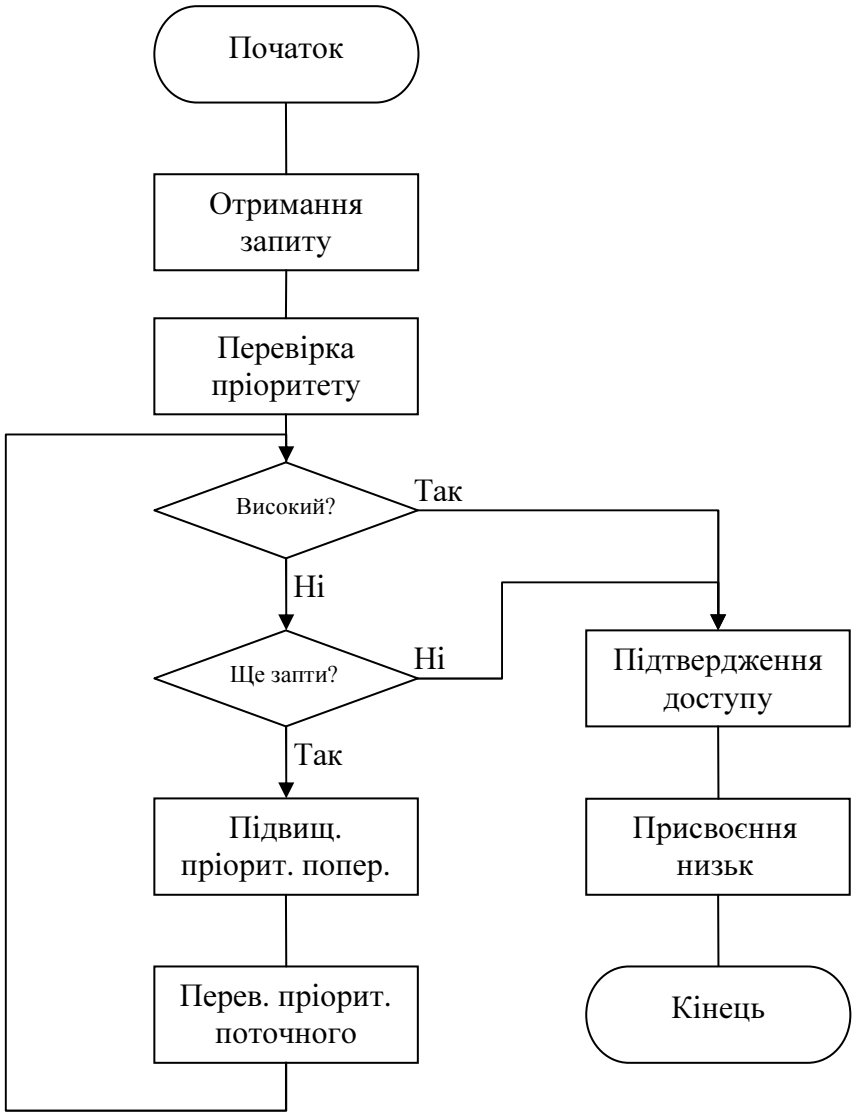


Рисунок 3 – Блок-схема роботи системи пріоритетів

З врахуванням зазначено вище головного недоліку даної технології, а саме невисокої швидкості передачі даних, нами запропоновано формат кадру, що максимально підходить для даного інтерфейсу. До нього включено основні компоненти, що потрібні для організації зв'язку. Ми розділили формат на дві умовні частини - службову та частину, що містить дані.

Службова частина складається з таких компонентів:

– адреса модуля. Кожен пакет, що передається на передавач, повинен містити адресу батьківського модуля. Це організовано для того, щоб модуль-передавач мав змогу занести і опрацювати адресу модуля у системі пріоритетів;

– біт запиту. Встановлюється у випадку, коли приймач надсилає запит на встановлення зв'язку. У разі успішного встановлення зв'язку біт встановлюється у значенні "0";

– біт повтору. Встановлюється, якщо останній пакет отримано не повністю. У випадку, якщо значення встановлено в “0”, це означає, що останній пакет було прийнято повністю;

– біт останнього пакету. У випадку встановлення в “1” означає, що пакет, який надійшов разом з цим бітом є останнім. Після цього адресі модуля присвоюється найнижчий пріоритет в їх системі;

– контрольна сума. Надсилається для контролю за цілісністю пакету. Систему розроблено так, що модуль-передавач спочатку рахує контрольну суму отриманого пакету, а потім здійснює її порівняння на предмет рівності із сумою, що зазначена вказаною в пакеті. У разі розбіжності надсилається повідомлення про неповністю прийнятий пакет;

Частина даних, за задумом, займає 48 біт – оптимальний розмір для такого формату кадрів. Структуру розробленого формату кадру наведено на рис. 4.

<table>
<tr><td rowspan="3">5 біт – адреса модуля</td><td>1 біт – біт запиту</td></tr>
<tr><td>1 біт – біт повтору</td></tr>
<tr><td>1 біт – біт останнього пакету</td></tr>
<tr><td colspan="2">8 біт – контрольна сума</td></tr>
<tr><td colspan="2">48 біт – дані</td></tr>
</table>

Рисунок 4 – Структура пакета, що надходить від модуля-клієнта

Висновки. У статті висвітлено фундаментальні принципи побудови, а також алгоритм роботи розробленого інтерфейсу бездротової передачі даних, формат кадрів, структуру повідомлень. Представлений інтерфейс у змозі виконувати основні функції, що закладаються у ході його розробки – обмін інформацією. Розроблений інтерфейс при мінімальних модифікаціях може бути використано як основна технологія управління периферійними пристроями.

Список літератури

1. Авдєєв В.А. Периферийные устройства, интерфейсы, схемотехника, программирование // М.: ДКМ Пресс, 2009. – 807с.
2. Наумкина Л.Г. Сетевые интерфейсы. Энциклопедия // М.: ДМК, 2000. – 513с.
3. Топильский В.Б. Схемотехника измерительных устройств // М.: Эксмо, 2002. – 201с.
4. ZigBee Alliance. ZigBee Specification. http://www.zigbee.org.
5. Варгаузин В. Радиосети для сбора данных от сенсоров, мониторинга и управления на основе стандарта IEEE 802.15.4. // ТелеМультиМедиа. 2005. № 6.
6. Кривченко Т. Технология ZigBee // Коммунальный комплекс России. 2006. N 4.
7. Еркин А. Разработка распределенных систем контроля датчиков на основе защищенных низкопотребляющих беспроводных ZigBee-сетей на базе микроконтроллеров фирмы Jennic // CHIP NEWS. 2010. № 1.

8. http://www.jennic.com

В.Сидоренко, В.Малаховский

Основы построения пространственных интерйесов ввода-вывода информации вычислительных систем

В статье освещены фундаментальные принципы построения, а также алгоритм работы разработанного интерфейса беспроводной передачи данных, формат кадров, структура сообщений. Представленный интерфейс в состоянии выполнять основные функции, которые закладываются в ходе его разработки - обмен информацией. Разработанный интерфейс при минимальных модификациях может быть использован как основная технология управления периферийными устройствами.

V.Sidorenko, V.Malakvovskyii

Fundamentals of spatial interfaces of input-output computing

The article highlights the fundamental principles and the algorithm developed wireless data interface format, personnel, structure messages. Submitted interface is able to perform basic functions, which are laid in the course of its development - the exchange of information. Designed interface with minimal modifications can be used as the main technology of data exchanging between peripheral devices.

Одержано 03.02.12

УДК 621.315.175

О. А. Козловський, асист., О. І. Сіріков, доц., канд. техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет

Автоматизована система технічної діагностики проводів повітряних ліній електропередачі 6-10 кВ

Запропоновано автоматизовану систему технічної діагностики повітряних ліній електропередачі розподільчих мереж 6-10 кВ з підвищеною точністю прогнозування ожеледоутворення. Розроблена система дозволяє на основі зробленого прогнозу завчасно збирати схеми для плавки ожеледі, а отже своєчасно проводити захисні заходи, з мінімальними витратами електроенергії.
обледеніння проводів, повітряна лінія електропередачі, система технічної діагности повітряних ліній електропередачі

Вступ. Причини аварійних відключень повітряні лінії електропередачі (ПЛЕ) можливо розділити на дві складові: перша викликана зносом та старінням конструктивних елементів ліній, а друга – випадковими наднормативними навантаженнями: від ожеледей, поривів вітру і т.д. Для запобігання першим причинам при проектуванні ПЛЕ враховують коефіцієнт запасу міцності, другі – враховуються виходячи із заданого середнього періоду повторюваності найбільш несприятливих сполучень погодних умов для даної місцевості на основі карт кліматичного районування. При цьому згідно [1], з ростом класу напруги повітряних ліній електропередачі збільшується тривалість заданого середнього періоду повторюваності. Тому розподільчі мережі 6-10 кВ виявляються найбільш вразливими від дії екстремальних атмосферних навантажень. Проте тривалість наднормативних ожеледних навантажень складає 0,03-0,5% від повного терміну служби лінії. Якщо,

© О. А. Козловський, О. І. Сіріков, 2012

8. http://www.jennic.com

В.Сидоренко, В.Малаховский

Основы построения пространственных интерйесов ввода-вывода информации вычислительных систем

В статье освещены фундаментальные принципы построения, а также алгоритм работы разработанного интерфейса беспроводной передачи данных, формат кадров, структура сообщений. Представленный интерфейс в состоянии выполнять основные функции, которые закладываются в ходе его разработки - обмен информацией. Разработанный интерфейс при минимальных модификациях может быть использован как основная технология управления периферийными устройствами.

V.Sidorenko, V.Malakvovskyii

Fundamentals of spatial interfaces of input-output computing

The article highlights the fundamental principles and the algorithm developed wireless data interface format, personnel, structure messages. Submitted interface is able to perform basic functions, which are laid in the course of its development - the exchange of information. Designed interface with minimal modifications can be used as the main technology of data exchanging between peripheral devices.

Одержано 03.02.12

УДК 621.315.175

О. А. Козловський, асист., О. І. Сіріков, доц., канд. техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет

Автоматизована система технічної діагностики проводів повітряних ліній електропередачі 6-10 кВ

Запропоновано автоматизовану систему технічної діагностики повітряних ліній електропередачі розподільчих мереж 6-10 кВ з підвищеною точністю прогнозування ожеледоутворення. Розроблена система дозволяє на основі зробленого прогнозу завчасно збирати схеми для плавки ожеледі, а отже своєчасно проводити захисні заходи, з мінімальними витратами електроенергії.
обледеніння проводів, повітряна лінія електропередачі, система технічної діагности повітряних ліній електропередачі

Вступ. Причини аварійних відключень повітряні лінії електропередачі (ПЛЕ) можливо розділити на дві складові: перша викликана зносом та старінням конструктивних елементів ліній, а друга – випадковими наднормативними навантаженнями: від ожеледей, поривів вітру і т.д. Для запобігання першим причинам при проектуванні ПЛЕ враховують коефіцієнт запасу міцності, другі – враховуються виходячи із заданого середнього періоду повторюваності найбільш несприятливих сполучень погодних умов для даної місцевості на основі карт кліматичного районування. При цьому згідно [1], з ростом класу напруги повітряних ліній електропередачі збільшується тривалість заданого середнього періоду повторюваності. Тому розподільчі мережі 6-10 кВ виявляються найбільш вразливими від дії екстремальних атмосферних навантажень. Проте тривалість наднормативних ожеледних навантажень складає 0,03-0,5% від повного терміну служби лінії. Якщо,

© О. А. Козловський, О. І. Сіріков, 2012

усунути ці навантаження протягом такого короткочасного періоду, то можливо забезпечити надійну роботу ПЛЕ при зниженні капітальних витрат на них.

Для захисту ПЛЕ від наднормативних ожеледно-вітрових навантажень найбільше розповсюдження отримала плавка ожеледі змінним або постійним струмом, що перевищує тривало допустимі значення і дозволяє швидко звільняти проводи та троси від ожеледно-паморозевих відкладень (ОПВ). Проте, успішність таких заходів значно залежить від своєчасності їх проведення, так як несвоєчасна плавка не запобігає руйнуванню ПЛЕ і призводить до значної перевитрати електричної енергії.

Постановка задачі. Для підвищення ефективності електричних методів усунення ожеледі розроблено значну кількість систем технічної діагностики проводів (СТДП) ПЛЕ при ожеледоутворенні. Однак, вони мають ряд суттєвих недоліків: відмінні параметри поверхні, геометричні розміри, матеріали первинних вимірювальних перетворювачів (ПВП) від проводів ПЛЕ; недосконалі алгоритми прогнозування часу можливої появи ожеледі на проводі; відсутність можливості підключення цих систем до системи вищого рівню – інформаційної системи контролю обледеніння проводів. Ці недоліки призводять до неточних прогнозів, а отже і до прийняття хибних рішень, щодо завчасного проведення того чи іншого заходу по захисту ПЛЕ від обледеніння.

Для усунення вказаних недоліків актуальним є удосконалення системи технічної діагностики проводів ПЛЕ 6–10 кВ.

Аналіз публікацій. Головним елементом СТДП проводів повітряних ліній електропередачі є пристрої прогнозування ожеледоутворення [2-7].

У пристроях [2-4] короткостроковий прогноз ожеледі базувався на таких метеопараметрах: температурі повітря на рівні підвісу проводів ПЛЕ t_a, відносній вологості повітря φ і швидкості вітру, що давало можливість визначити ожеледну ситуацію за 3-6 годин до початку процесу ожеледоутворення. Проведені дослідження показали, що з ймовірністю 0,85 діапазон контрольованих метеорологічних параметрів лежить у межах, [5]:

$$\begin{aligned} -6 \le t_a \le 0^{\circ}\mathrm{C}; \\ 85 \le \varphi \le 100\%. \end{aligned} \qquad (1)$$

Це дозволило вибрати уставки параметрів спрацювання пристрою.

Головним недоліком такого алгоритму прогнозування ожеледоутворення є низька достовірність, крім того, у заданому діапазоні метеопараметрів можуть утворюватися відкладення, що безпечні для ПЛЕ, наприклад, голкоподібна паморозь [6]. Визначення початку ожеледоутворення і подальший контроль виконувався первинним вимірювальним перетворювачем з відмінними від проводу геометричними і фізичними характеристиками.

У пристрої [7], алгоритм прогнозу часу початку утворення ожеледі залишився попереднім (1), лише були змінені принцип дії та конструкція вимірювального перетворювача ожеледі.

Більш досконалим є мікропроцесорний сигналізатор ожеледі [8]. Цей пристрій вимірює наступні параметри: температури повітря і проводу t_s, відносну вологість повітря. Сигналізатор видає три види повідомлень: "можлива ожеледь через 0,5…2,0 год"; "ожеледь"; "плавку закінчено". При попаданні температури і відносної вологості у діапазон (1) пристрій проводить розрахунок точки льоду t_f, яку порівнює з виміряною температурою t_s пристрою-аналогу проводу ПЛЕ [9]. Якщо умова

$$t_s \le t_f , \qquad (2)$$

виконується, то пристрій видає сигнал ″ожеледь″. Якщо ж умова (2) не виконується, то сигналізатор проводить розрахунок часу, через який вона виконається.

На території України найбільш потужними та небезпечними є фронтальні ожеледі, які можуть спостерігається і при невеликих позитивних температурах повітря. Зазвичай, обледеніння починається при дефіциті точки роси до 3°С (на рівні 2 м від поверхні землі), значення ж відносної вологості повітря лежить у широких межах – 80…100%, при цьому температура повітря залишається сталою протягом кількох годин до моменту початку переохолодженого дощу. Стала температури нагріву/охолодження для найбільш розповсюджених проводів ПЛЕ 10 кВ АС-50 навіть при відсутньому дощу і швидкості вітру $v > 0$ знаходиться у межах 30…130 с, тобто провід увійде в термодинамічну рівновагу з навколишнім середовищем значно раніше, ніж почнеться його обледеніння. Тому, умова (2) у цьому випадку буде виконуватися із запізненням.

ПВП ожеледі цього пристрою, із-за своїх конструктивних особливостей, має теплопровідність відмінну від теплопровідності проводу ПЛЕ. В результаті момент утворення льоду на ньому і на реальному проводі будуть відрізнятися.

Мета статті. Метою публікації є висвітлення результатів розробки системи технічної діагностики проводів повітряних ліній електропередачі 6-10 кВ.

Основна частина. З урахуванням вимог та недоліків нами розроблено макетний зразок СТДП на основі алгоритму запропонованого в [10]. Для його технічної реалізації необхідне виконання двох головних вимог:

1) періодичне штучне охолодження контрольованої поверхні;

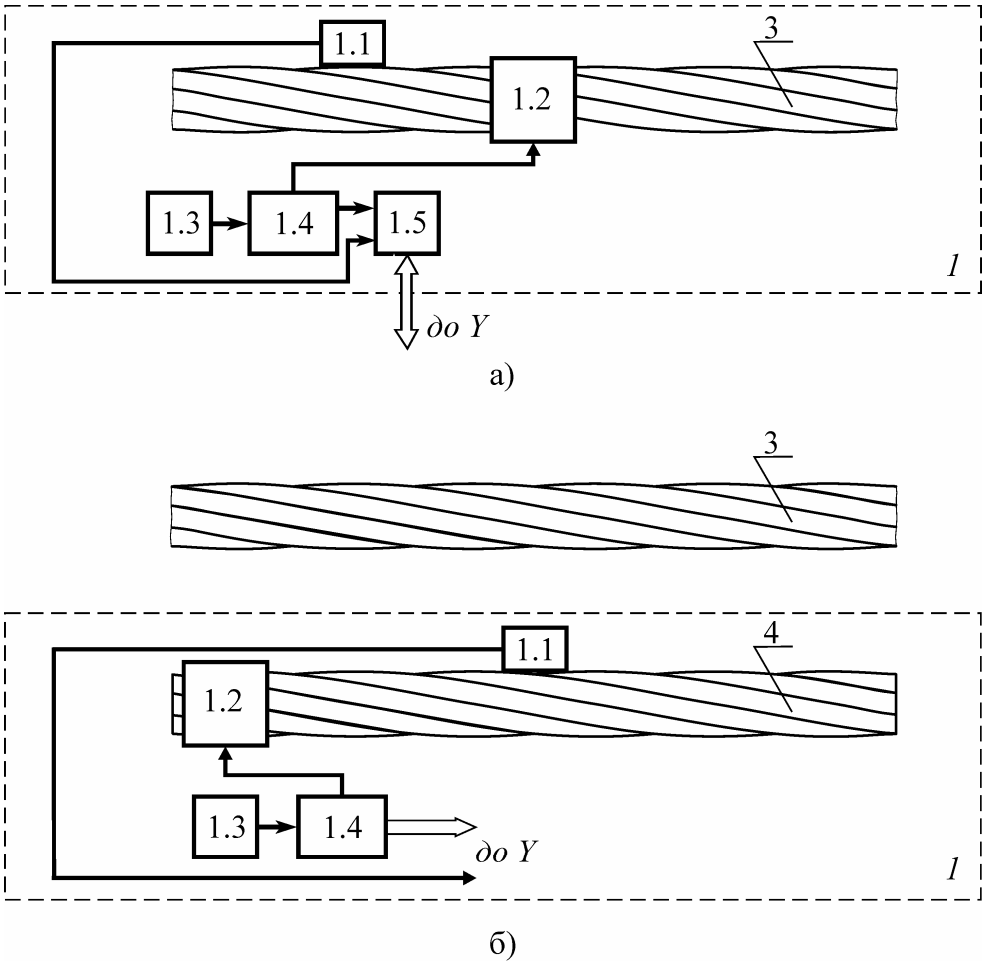
2) фіксація початку утворення на ній шару ОПВ.

Згідно цих вимог можливі наступні варіанти конструкції вимірювального перетворювача (рис. 1):

- з безпосереднім охолодженням проводу діючої ПЛЕ;

- з охолодженням первинного вимірювального перетворювача обледеніння у вигляді аналогу проводу ПЛЕ.

У першому випадку (рис. 1, *а*), безпосередньо на проводі ПЛЕ 3 встановлюється: вимірювальний блок 1, що містить первинний вимірювальний перетворювач ожеледі 1.1, холодильник 1.2, блок живлення 1.3, блок вимірювальних перетворювачів струму та напруги 1.4, блок кодування/декодування інформації 1.5. Зв'язок вимірювального блоку 1 з блоком обробки інформації, що встановлюється на електроопорі, здійснюється по каналу зв’язку 2.



а) при безпосередньому охолодженні проводу діючої ПЛЕ;
б) при охолодженні ВП у вигляді аналогу проводу ПЛЕ

Рисунок 1 – Варіанти реалізації структури ВП обледеніння

У другому випадку (рис. 1, *б*), проводиться охолодження відрізку проводу 4, тієї ж марки, що і провід контрольованої ПЛЕ 3, розміщеному на мінімально безпечній відстані від нього. При цьому, у вимірювальному блоці 1, відсутній блок кодування/декодування інформації та канал зв'язку, оскільки, датчики підключаються прямо до обчислювального блоку *Y* СДТП.

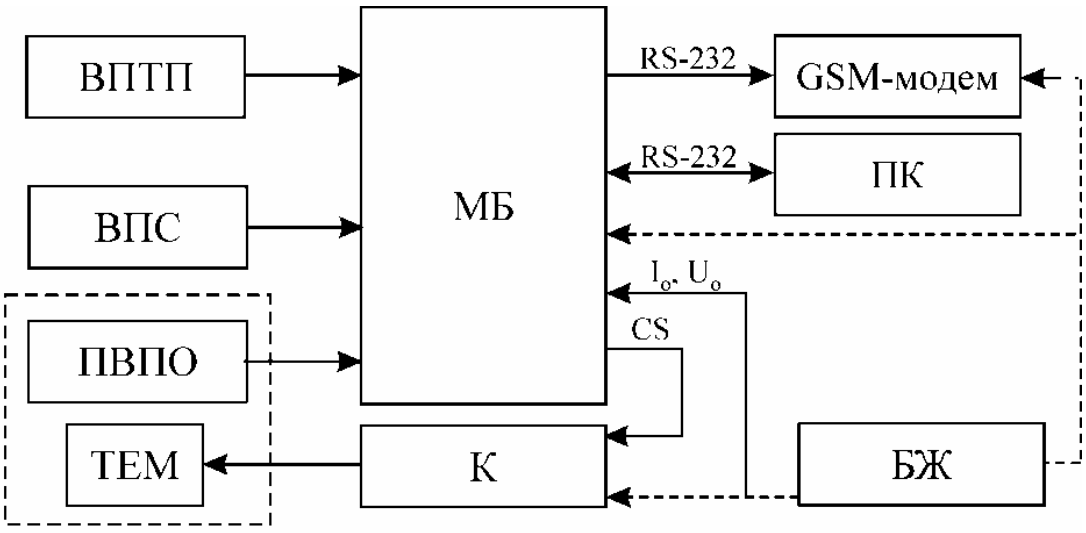
Безпосереднє охолодження проводу ПЛЕ пов'язане з рядом значних труднощів: підвищеною небезпекою обслуговування вимірювального блоку, що знаходиться під потенціалом ПЛЕ; підвищеною потужністю холодильника; необхідністю використання гальванічної розв'язки каналу зв'язку. Тому перший варіант технічної реалізації алгоритму прогнозування обледеніння проводів ПЛЕ розподільчої мережі неприйнятний.

Реалізація другого варіанту (рис. 1, *б*) не враховує тепло Джоуля, що виділяється у проводі ПЛЕ. Однак, це не є істотним недоліком, оскільки, по проводах повітряних ліній розподільчих мереж 6-10 кВ протікають струми, значно менші від проектних що не чинять істотного впливу на їх температуру [11].

Забезпечити необхідний тепловий режим ВП при мінімальних розмірах всієї підсистеми прогнозування обледеніння проводів ПЛЕ, на сьогодні, можливо лише за допомогою напівпровідникових електронних холодильників – термоелектричних модулів (ТЕМ), в основу роботи яких покладено ефект Пельтьє.

Для фіксації появи ОПВ на проводах ПЛЕ розроблено ПВП, основою якого є відрізок проводу контрольованої лінії. Одна із дротин відрізку проводу електрично ізолюється від інших, внаслідок чого за значенням електричного опору між утвореними електродами можливо судити про наявність ОПВ [12]. Таке технічне рішення дозволяє відмовитися від окремого первинного вимірювального перетворювача ОПВ (рис. 1, *а*).

Принцип дії пропонованої СТДП (рис. 2) полягає у наступному. У режимі очікування проводиться вимірювання температури повітря t_a поблизу проводу ПЛЕ вимірювальним перетворювачем температури повітря (ВПТП). Якщо вона потрапляє у межі $-6 \le t_a \le +1\,^{\circ}\mathrm{C}$ то мікропроцесорний блок (МБ) вмикає на фіксований час τ_{y1}, через комутатор (К), термоелектричний модуль (ТЕМ) у режим охолодження. ТЕМ примусово охолоджує первинний вимірювальний перетворювач обледеніння (ПВПО) до тих пір, поки не зафіксує утворення на ньому штучних ожеледно-паморозевих відкладень. Внаслідок нелінійності робочих характеристик ТЕМ мікропроцесорний блок визначає еквівалентний час роботи τ_{fr} за кількістю спожитої електроенергії. Потім, ТЕМ переводиться у режим реверсу, до тих пір поки ПВПО не звільниться від штучного обледеніння. Далі у вимірюваннях τ_{fr} витримується 30 хв пауза і цикл вимірювання τ_{fr} повторюється. Якщо наступні значення τ_{fr} менші за попередні то по отриманому динамічному ряду, на основі лінійної моделі, виконується прогнозування часу можливого обледеніння ПВПО τ_o, тобто виконання умови $\tau_{fr} = 0$ [10]. Коли отримане значення τ_o стане менше 120 хв, МБ через GSM-модем передасть сигнал на GPS OPC-сервер енергопостачальної компанії.



ВПТП – вимірювальний перетворювач температури повітря;
ВПС – вимірювальний перетворювач струму ПЛЕ;
ПВПО – первинний вимірювальний перетворювач обледеніння;
ТЕМ – термоелектричний модуль; К – комутатор;
БЖ – блок живлення; МБ – мікропроцесорний блок

Рисунок 2 – Блок-схема СТДП ПЛЕ

Електрична схема макету СДТП представлена на рис. 3. Пристрій дозволяє проводити вимірювання таких параметрів: температури навколишнього повітря; індукції магнітного поля струму, що протікає по проводу ПЛЕ; опору резистивного первинного перетворювача ожеледі; напругу і струм у колі ТЕМ (рис. 3).

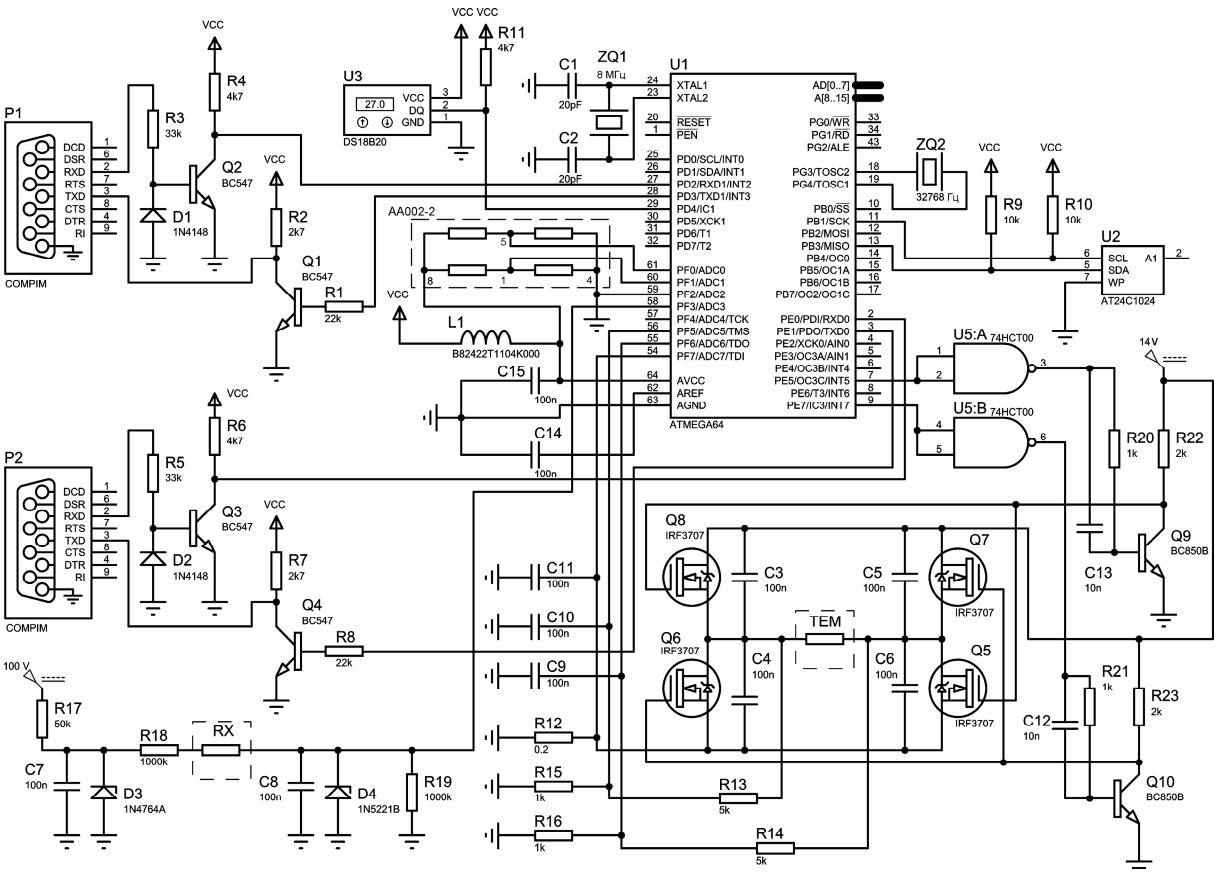


Рисунок 3 – Електрична схема СТДП ПЛЕ

Основним елементом макету пристрою є мікроконтролер (МК) Atmega64. Він має 7 восьмирозрядних універсальних двонаправлених портів вводу-виводу, крім них використані наступні периферійні вузли МК:

- АЦП 10 біт - перетворює у цифрову форму аналогові сигнали з первинних вимірювальних перетворювачів напруги і струму ТЕМ, резистивного ПВП ожеледі та вимірювального перетворювача (ВП) індукції;

- чергуючий таймер у випадку зависання МК забезпечує його перезапуск;

- модуль USART1 використано для обміну інформацією з комп'ютером (швидкість 9600 Бод, вісім інформаційних, один стоповий розряд, без контролю парності), яка включає в себе протоколи вимірювань контрольованих параметрів та конфігурацію порогових рівнів пристрою;

- модуль USART2 використовується для передачі даних до GSM-модему: час можливого обледеніння, коди помилок пристрою;

- таймер/лічильник ТС1 виконує функцію годинника реального часу, частота якого задається кварцовим резонатором ZQ2;

- двонаправлений порт вводу/виводу РЕ використано для керування ТЕМ у прямому та риверсивному напрямках (нагрів/охолодження).

Після подачі живлення записана в МК програма ініціалізує його периферію, дозволяє необхідні переривання і встановлює початкові значення дати і часу. Із EEPROM МК зчитуються необхідні для подальшої роботи програми константи.

Тактова частота МК задається кварцовим резонатором ZQ1 на 8 МГц.

Вимірювання температур здійснюється цифровим ВП U3 DS18B20 з дискретністю 0,1^{o}C. Абсолютна похибка вимірювання ВП температури у діапазоні -10 до +85°C за паспортом складає ±0,5°C. Однак, шляхом додаткового калібрування її

можливо зменшити до 0,1°С, тому у пристрої передбачено введення програмної корекції показів. Вимірювальний перетворювач підключається за трипровідною схемою і обмінюється інформацією з МК за протоколом 1-Wire.

Безконтактне вимірювання струму у проводі ПЛЕ реалізовано за допомогою аналогового GMR магніторезистивного мосту АА002-2 з чутливістю 3 мВ/Гс. Призначення даного датчика є визначення моменту початку плавки ожеледі за суттєвим збільшенням струму лінії.

Напруга, що вимірюється з резистивного датчика опаду подається до диференціального входу ADC3 АЦП МК та дозволяє використовувати підсилення сигналу, що вимірюється на 1х, 10х, 100х.

Струм у колі термоелектричного модуля (ТЕМ) вимірюється за допомогою резистивного шунта R12 з опором 0,2 Ом, падіння напруги з якого подається на вивід ADC7 АЦП МК.

Вимірювання напруги живлення ТЕМ, здійснюється подачею її через резистивний подільник R13, R15 і R14, R16 на входи ADC5, ADC6 АЦП МК.

Використання диференційного входу при вимірюванні напруги прикладеної до ТЕМ дозволяє відлаштуватися від падіння напруги на транзисторах Q5-Q8 мостового ключа ТЕМ.

Через встановлений час вводиться флаг збереження поточних результатів, що виконується у основному циклі. Результати записуються у організований у пам'яті мікросхеми AT24C1024 U2 кільцевий стек, адреси початку і кінця якого зберігаються у EEPROM МК. Цим забезпечується енергонезалежність зберігання накопиченої інформації.

Керування режимами роботи ТЕМ здійснюється за допомогою порту вводу/виводу Е МК, буферної мікросхеми 74HCT00 U5 і транзисторів мостового ключа Q5-Q8. Керування режимами роботи ТЕМ здійснюється наступним чином. Сигнал високого рівня з порту Е (PE7) МК подається на входи 4, 5 буферної мікросхеми U5. Інвертований сигнал з виводу 6 U5 закриває транзисторний ключ Q10, що призводить до появи високого рівня на затворах транзисторів Q6 та Q7 мостового ключа та їх відпирання. У цьому випадку до ТЕМ прикладається пряма напруга, що призводить до охолодження ПВП ожеледі. При подачі високого рівня на виводі порту PE5 відбувається аналогічний процес, що призводить до відпирання транзисторів Q5 та Q8 та нагріванню ВП ожеледі. При низькому рівні на обох виводах PE7 і PE5 МК ТЕМ відключений від живлення.

Зв'язок СТДП з ІСКО здійснюється за допомогою GSM-модему, що підключається по інтерфейсу RS-232. Для діагностики пристрою за допомогою персонального комп'ютера, передбачено другий вихід RS-232.

Висновок. Запропонована удосконалена система технічної діагностики проводів ПЛЕ, за рахунок підвищення точності прогнозу, удосконалення конструкції первинного перетворювача обледеніння, дозволить своєчасно проводити плавки ожеледі у розподільчій мережі 6-10 кВ, а отже, запобігти перевитраті електроенергії на захисні заходи та підвищити надійність електропостачання споживачів.

Список літератури

1. Правила улаштування електроустановок. 2-ге вид., перероб. і доп. – Х.: видавництво «Форт», 2009. – 736 с.
2. А.с. №1115152 СССР, МКИ[4], H02G 7/16. Устройство обнаружения гололёда на воздушной линии электропередачи / И.М. Колмогорова, Б.И. Зубенко, Р.Ш. Сагутдинов. – Опубл. 1984. Бюл. №35.
3. А.с. №1166211 СССР, МКИ[4], H02G 7/16. Устройство обнаружения гололёда на проводах воздушной линии электропередачи / Н.М. Зуль, Б.И. Зубенко - Опубл. 1985. Бюл. №25

4. Колмогорова И.М., Цыбидоржиев М.Ц., Винаров А.З. Прогнозирование образования гололёда // Техника в сельском хозяйстве. – 1987. – №5. – С. 13–15
5. Будзко А.И., Колмогорова И.М. Сигнализация о начале и интенсивности образования гололёда на ВЛ // Энергетик. – 1979. – №2. – С. 19-21.
6. Литвинов И.В. Формирование и преобразование атмосферных осадков на подстилающей поверхности. Л.: Гидрометеоиздат, 1987.-232 с
7. . А.с. №1418839 СССР, МКИ[4] H02G 7/16. Устройство для обнаружения и контроля наличия гололёда на воздушных линиях электропередачи / Н.М. Черемисин, В.И. Козак, В.М. Зубко, П.Г. Бабенко, С.А. Сериков. – Опубл 1988. Бюл. № 31.
8. Колмогорова И.М., М.Ц. Цыбикдоржиев, А.З. Винаров. Экспериментальные исследования для микропроцессорного сигнализатора гололеда // Эксплуатация устройств сельскохозяйственного электроснабжения. – МИИСП, 1988. – С. 39-42.
9. А.с. 1591118 СССР, МКИ5 H02G 7/16, F01K 1/16. Участок линии электропередачи с устройством определения температуры поверхности её проводов / Цыбикдоржиев М.Ц., Селивахин А.И., Орлович А.Е., Винаров А.З., Сагутдинов Р.Ш. – Опубл. 1990. Бюл. 33
10. Пат. 53235 Україна, МПК[7] H02G 7/16. Спосіб прогнозування обледеніння дротів повітряних ліній електропередач / Козловський О.А., Орлович А.Ю.; заявник і патентоутримувач Кіровоградський національний технічний університет – № 2002042886; заявл. 10.04.2002; опубл. 15.01.2003, Бюл. №1.
11. Воротницкий В.Э., Туркина О.В. Оценка погрешностей расчёта переменных потерь электроэнергии в ВЛ из-за неучёта метеоусловий // Электрические станции. – 2008. – №10. – С.42–49.
12. Пат. 49394 Україна, МПК[8] H02G 7/16. Сигналізатор обледеніння дротів повітряних ліній електропередачі / О. А. Козловський, А. Ю. Орлович, І. С. Грищук; заявник і патентоутримувач Кіровоградський національний технічний університет – № u200911992; заявл. 23.11.2009; опубл. 26.04.2010, Бюл. №8.

А. Козловский, А. Сириков

Автоматизированная система технической диагностики проводов воздушных линий электропередачи 6-10 кВ.

Предложена автоматизированная система технической диагностики воздушных линий электропередачи распределённых сетей 6-10 кВ с повышенной точностью прогнозирования гололёдообразования. Разработанная система позволяет на основе сделанного прогноза заблаговременно собирать схемы плавки гололёда, а значит и своевременно проводить защитные мероприятия с минимальными затратами электроэнергии.

O. Kozlovskyi, O Sirikov

Automated system for technical diagnostics of overhead power transmission lines of 6-10 kV.

The article introduces an automated system for technical diagnostics of overhead power transmission lines of 6-10 kV distribution network with particularly accurate icing forecast. Based on the above mentioned forecast the developed system allows collecting de-icing schemes in advance and taking timely protective measures with minimum energy loss.

Одержано 04.03.12

УДК 621.317.32.027.3:621.3.088.2

М. В. Кубкін, асист.
Кіровоградський національний технічний університет

Система вимірювання високої напруги на базі силового трансформатора та її метрологічні характеристики

В статті викладено основи нового способу вимірювання високої напруги на підстанціях енергосистеми який полягає в компенсації спаду напруги в силовому трансформаторі, що дає змогу по значенню вторинної напруги знаходити значення первинної напруги. Визначена передавальна функція вимірювальної системи, на основі якої отримано її частотні характеристики. Визначено частотний діапазон роботи системи.
вимірювання напруги, трансформатор напруги, частотна характеристика

Сучасний стан розвитку електроенергетичних систем характеризується широким впровадженням автоматизованих систем різного призначення як то: контролю та управління електроспоживанням, контролю та обліку електричної енергії, регулювання режимними параметрами (напруги, частоти, коефіцієнта потужності тощо), релейного захисту. Одним з основних елементів таких систем є первинні вимірювальні перетворювачі завдяки яким отримується інформація про параметри режиму. [1]

Важливим параметром режиму роботи електричної системи є напруга. Для вимірювання високої напруги в електричних системах в даний час переважно використовуються вимірювальні перетворювачі напруги, основними типами яких є електромагнітні та ємнісні трансформатори, які мають назву просто трансформатори напруги (ТН). Трансформатори напруги виконують функцію аналогових вимірювальних перетворювачів напруги в напругу. [2]

На сьогодні, для вимірювання напруги 6–35 кВ в сучасних електричних мережах використовують електромагнітні ТН трьох типів [3]:

1) однофазні незаземлені ТН (типу НОМ, НОЛ);
2) однофазні заземлені ТН (типу ЗНОМ, ЗНОЛ);
3) трифазні заземлені ТН (типу НТМИ, НАМИ, НАМИТ).

Однофазні незаземлені ТН вмикаються на лінійну напругу і тому використовуються тільки для обліку електроенергії або релейного захисту, де достатньо інформації про значення лінійної напруги. Однофазні та трифазні заземлені ТН крім основних обмоток, які вмикаються на напругу фаз відносно землі, мають ще додаткові обмотки, які використовуються для контролю ізоляції мережі.

Слід відмітити той факт, що в останній час завдяки універсальності заземлені ТН отримали невиправдано широке розповсюдження в електричних мережах 6–35 кВ. Їх встановлюють навіть на підстанціях, де контроль ізоляції не є необхідним [4]. Електричні мережі 6–35 кВ працюють з ізольованою або компенсованою нейтраллю і характеризуються складними електромагнітними процесами в перехідних режимах роботи (феррорезонансні та комутаційні перенапруги, зміщення нейтралі, автоколивальні процеси), які призводять до пошкоджень заземлених ТН [6]. За даними [7] середній строк служби ТН типів НТМИ–6, НТМИ–10, ЗНОМ–20, ЗНОМ–35 не

© М. В. Кубкін, 2012

перевищує 3–5 років. Особливо висока пошкоджуваність спостерігається у ТН в мережах 35 кВ [8].

На сьогодні у вирішенні проблеми пошкоджуваності заземлених ТН намітилися наступні шляхи.

1) *Зміна режиму роботи нейтралі*, яка полягає в тому, що нейтралі силових трансформаторів в мережі заземлюють через резистори. Недоліком цього способу є суттєві капіталовкладення на реконструкцію обладнання мереж. Виникають додаткові втрати енергії в резисторах. Проте зміна режиму роботи нейтралі не повністю виключає випадки виходу з ладу заземлених ТН [6, 9], тому і не претендує на універсальність.

2) *Створення ТН антирезонансних типів.* Досвід експлуатації таких типів ТН є суперечливим [10]. Внаслідок того, що появу феррорезонансу викликає багато чинників антирезонансні властивості ТН не виключають можливості появи резонансу і виходу ТН з ладу. Окрім цього, вартість таких ТН більша за вартість ТН звичайної конструкції.

3) *Розділення функцій вимірювання напруги та контролю ізоляції* шляхом використання для вимірювання напруги незаземлених ТН, а для контролю ізоляції — неіндукційних датчиків напруги [11, 12].

Останній спосіб є найбільш перспективним, але не усуває недоліків, пов'язаних з експлуатацією ТН, як заземлених так і незаземлених. А саме: установка ТН на підстанціях потребує додаткових капіталовкладень, призводить до ускладнення конструкції розподільчих пристроїв, а, отже, зменшення їх надійності, а також веде до збільшення технологічних втрат електроенергії [5].

Зважаючи на вищенаведене, пошук нових способів вимірювання високої напруги на підстанціях залишається актуальною науково-практичною задачею.

Метою статті є розробка системи вимірювання високої напруги та оцінка її метрологічних характеристик.

Якщо приєднати силовий трансформатор на шини високої напруги, то напруга на вторинних виводах трансформатора буде пропорційна напрузі на його первинних виводах. Метрологічні характеристики силового трансформатора, як вимірювального перетворювача високої напруги, можна охарактеризувати, як і метрологічні характеристики ТН, похибками по напрузі f_U та куту δ [13]:

$$f_U = \frac{K_{\text{ном}} U_2 - U_1}{U_1} \cdot 100\%, \tag{1}$$

$$\delta = \widehat{\underline{U}_1, \underline{U}_2}, \tag{2}$$

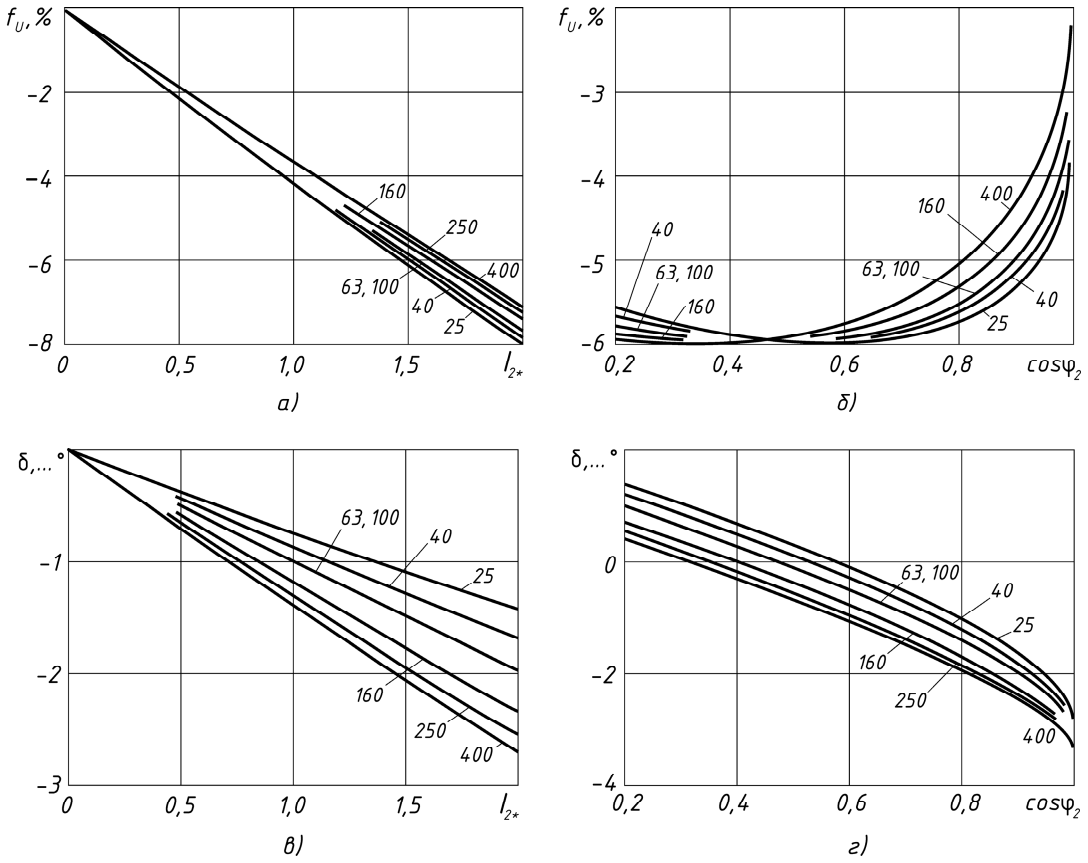
де $K_{\text{ном}}$ — номінальний коефіцієнт трансформації трансформатора;

U_1, U_2 — відповідно первинна та вторинна напруги на виводах трансформатора.

Очевидно, що похибки по напрузі та куту будуть залежати (рис. 1) від струму навантаження трансформатора (вторинного струму I_2) та його характеру (коефіцієнта потужності $\cos\varphi_2$). Як видно з рис. 1, метрологічні характеристики силових трансформаторів відповідають класу точності 6Р для трансформаторів напруги [14]. Якщо компенсувати спад напруги в силовому трансформаторі в залежності від струму його навантаження, можна отримати вимірювальний перетворювач напруги з наперед заданою точністю, як це запропоновано в [15, 16].

Суть запропонованого методу вимірювання напруги полягає в наступному: оскільки силовий трансформатор на підстанції підключається первинними виводами на високу напругу U_1, то приведена напруга на вторинній стороні дорівнюватиме

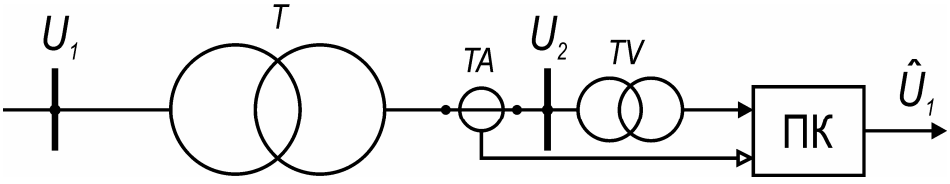
первинній напрузі за вирахуванням спаду напруги в обмотках трансформатора. Отже, додавши до певним чином змаштабованого значення напруги на вторинній стороні U_2 значення спаду напруги в трансформаторі можна отримати значення напруги на первинних виводах, тобто значення шуканої високої напруги $\hat{U}_1$. Спад напруги в трансформаторі визначається розрахунковим шляхом, за даними вторинного струму і параметрів схеми заміщення силового трансформатора.



Цифри біля кривих — номінальна потужність трансформатора, кВ·А.
Для *а, в* — $\cos\varphi_2 = 0,8$; для *б, г* — $I_{2*} = 1,4$.

Рисунок 1 — Похибки по напрузі *(а, б)* та куту *(в, г)* силових трансформаторів серії ТМ ($U_{\text{ном}} = 10$ кВ) в залежності від відносного вторинного струму та коефіцієнта потужності

Функціональна схема запропонованої вимірювальної системи наведена на рис. 2. Пристрій компенсації (ПК), забезпечує підсумовування приведеної вторинної напруги і спаду напруги в трансформаторі, а також їх масштабування.



T — силовий трансформатор; *TA* — вимірювальний перетворювач струму;
TV— вимірювальний перетворювач напруги; *ПК* — пристрій компенсації.

Рисунок 2 — Функціональна схема системи вимірювання високої напруги

Система вимірювання високої напруги повинна забезпечувати неспотворену передачу сигналу як в усталених так і в перехідних режимах роботи електричної мережі, які характеризуються зміною сигналу в широких межах як по рівню так і по частоті. Отже для оцінки метрологічних характеристик системи вимірювання доцільно обрати представлення сигналів в частотній області, тобто дослідити частотні характеристики системи. Для цього необхідно: 1) визначити передавальні функції окремих елементів системи; 2) скласти структурну схему системи вимірювання; 3) визначити її передавальну функцію; 4) за відомою передавальною функцією побудувати амплітудно-частотну (АЧХ) та фазо-частотну (ФЧХ) характеристики.

Передавальні функції силового трансформатору за напругою $W_{TU}(s)$ та струмом $W_{TI}(s)$ [17]:

$$W_{TU}(s)=\frac{U_2(s)}{U_1(s)}=\frac{a_5s^5+a_4s^4+a_3s^3+a_2s^2+a_1s}{b_5s^5+b_4s^4+b_3s^3+b_2s^2+b_1s+b_0}, \tag{3}$$

$$W_{TI}(s)=\frac{I_2(s)}{U_1(s)}=W_{TU}(s)\frac{1}{R_{\text{н}}+sL_{\text{н}}}, \tag{4}$$

де $U_1(s), U_2(s)$ — зображення первинної та приведеної вторинної напруги відповідно;

$a_1,\ldots,a_5$, $b_0,\ldots,b_5$ — коефіцієнти, які визначаються за значеннями параметрів повної Т-подібної схеми заміщення силового трансформатора, із врахуванням власних і взаємних ємностей обмоток [17];

$I_2(s)$ — зображення приведеного вторинного струму;

$R_{\text{н}}$, $L_{\text{н}}$ — відповідно активний опір та індуктивність навантаження, приведені до первинної напруги.

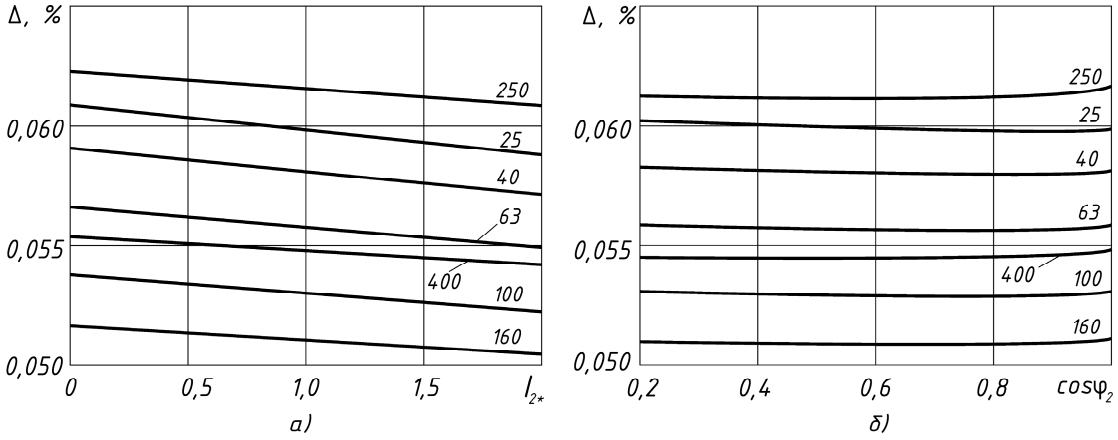
Передавальні функції вимірювальних перетворювачів напруги $W_{TV}(s)$ та струму $W_{TI}(s)$ в загальному випадку визначаються за методикою наведеною у [18]. В першому наближенні можна прийняти, що

$$\begin{aligned} W_{TV}(s)&=K_U=1+f_U;\\ W_{TI}(s)&=K_I=1+f_I; \end{aligned} \tag{5}$$

де f_U, f_I —похибки вимірювальних перетворювачів напруги та струму відповідно (у відносних одиницях).

Пристрій компенсації може мати або аналогове або цифрове виконання. В подальшому будемо розглядати аналогове виконання ПК.

Структурну схему ПК можна визначити із Г-подібної схеми заміщення силового трансформатора. Вибір саме такої схеми заміщення обумовлено, по-перше, легкістю визначення параметрів її елементів за паспортними даними трансформатора, по-друге, досить малою розбіжністю (рис. 3) при розрахунках первинної напруги за відомим значенням вторинної напруги за Г- та Т-подібними схемами заміщення трансформатора.



Цифри біля кривих — номінальна потужність трансформатора, кВ·А.
Для *а* — $\cos\varphi_2 = 0,8$; для *б* — $I_{2*} = 1,4$.

Рисунок 3 — Відносна різниця значень первинної напруги розрахованих за Т- та Г-подібними схемами заміщення силового трансформатора

Виходячи з Г-подібної схеми заміщення (рис. 4) первинна напруга u_1 буде визначатись як

$$u_1(t) = u_2'(t) + \Delta u(t) = u_2'(t) + R_т i(t) + L_т \frac{di(t)}{dt}, \qquad (6)$$

де $u_1(t)$ — миттєве значення первинної напруги;

$u_2'(t)$ — миттєве значення приведеної вторинної напруги;

$\Delta u(t)$ — миттєве значення спаду напруги в трансформаторі;

$i(t)$ — миттєве значення струму трансформатора;

$R_т$, $L_т$ — відповідно активний опір та індуктивність трансформатора.

Для визначення структурної схеми ПК рівняння (6) представимо в операторній формі:

$$U_1(s) = U_2'(s) + \Delta U(s) = U_2'(s) + I(s)\left(R_т + sL_т\right) = U_2'(s) + I(s)W_{ПК}(s). \qquad (7)$$

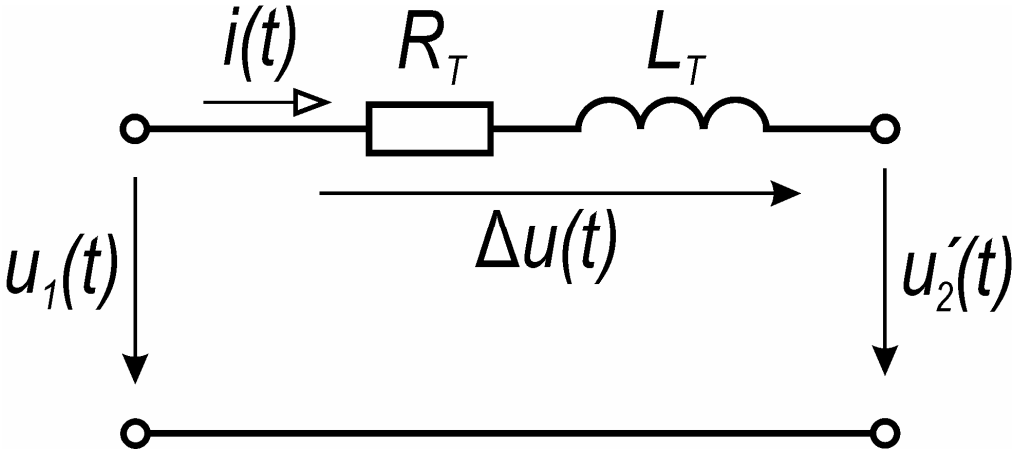


Рисунок 4 — Г-подібна схема заміщення силового трансформатора (гілку намагнічування не показано)

З останнього рівняння видно, що структурна схема ПК буде мати вигляд наведений на рис. 5, ланка розрахунку спаду напруги Δu в силовому трансформаторі за значенням струму i буде мати передавальну функцію, яка відповідає форсованій ланці:

$$W_{\text{ПК}}(s) = \frac{\Delta U(s)}{I(s)} = R_{\text{т}} + sL_{\text{т}}. \tag{8}$$

Загальна структурна схема вимірювальної системи наведена на рис. 6.

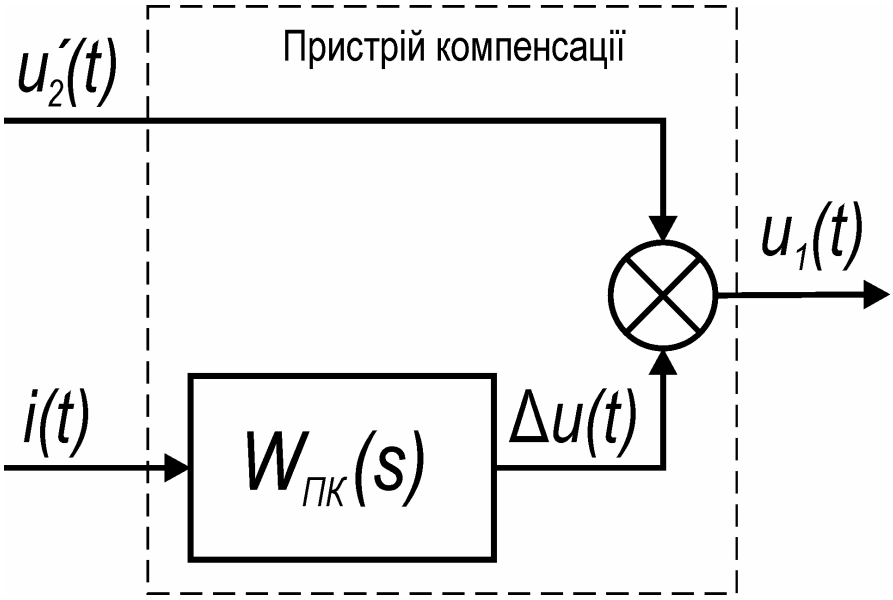


Рисунок 5 — Структурна схема ПК

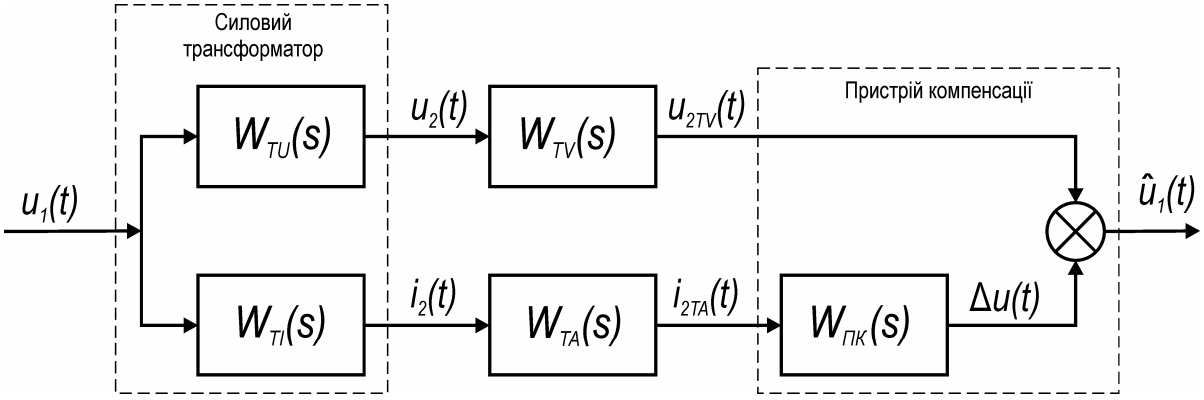


Рисунок 6 — Структурна схема системи вимірювання високої напруги

Передавальна функція вимірювальної системи згідно структурної схеми (масштабні коефіцієнти не враховано, так як вони взаємокомпенсуються):

$$W(s) = \frac{\hat{U}_1(s)}{U_1(s)} = W_{TU}(s)W_{TV}(s) + W_{TI}(s)W_{TA}(s)W_{\text{ПК}}(s). \tag{9}$$

Амплідудно-частотна $A(\omega)$ та фазо-частотна $\varphi(\omega)$ характеристики системи вимірювання визначаються з (9) за відомими виразами [19] шляхом підстановки $s = j\omega$:

$$W(s) = W(j\omega) = M(\omega) + jN(\omega);$$
$$A(\omega) = |W(j\omega)| = \frac{|\hat{U}_1(j\omega)|}{|U_1(j\omega)|} = \sqrt{M^2(\omega) + N^2(\omega)}; \quad \varphi(\omega) = \operatorname{arctg}\frac{N(\omega)}{M(\omega)}. \tag{10}$$

АЧХ та ФЧХ суть похибок системи вимірювання по напрузі та куту відповідно на різних частотах.

В якості прикладу розглянемо частотні характеристики системи вимірювання на базі силового трансформатора ТМ–100/10 $\left(P_2 = 100 \text{ кВт}, \cos\varphi_2 = 1\right)$. Приймемо, що клас точності первинних вимірювальних перетворювачів струму та напруги дорівнює 0,5, тобто $f_U = f_I = 0{,}005$.

Опір та індуктивність навантаження, приведені до напруги 10 кВ:

$$R_{\text{н}} = 1000 \text{ Ом}, \; L_{\text{н}} = 0.$$

Опір та індуктивність трансформатора (визначаються за паспортними даними):

$$R_{\text{т}} = 21{,}2 \text{ Ом}, \; L_{\text{т}} = \frac{X_{\text{т}}}{\omega} = \frac{39{,}7}{314} = 0{,}1264 \text{ Гн}.$$

Передавальні функції силового трансформатора за напругою та струмом (визначаються за методикою наведеною в [17] при наступних параметрах: $r_1 = r_2' = 10{,}6 \text{ Ом}$, $L_1 = L_2' = 0{,}0632 \text{ Гн}$, $r_\mu = 2{,}959 \cdot 10^5 \text{ Ом}$, $L_\mu = 122{,}43 \text{ Гн}$, $C_1 = 2{,}34 \cdot 10^{-10} \text{ Ф}$, $C_2' = = 3{,}4 \cdot 10^{-11} \text{ Ф}$, $C_{12} = 1 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}$):

$$W_{TU}(s) = \frac{4{,}888 \cdot 10^{-10} s^4 + 0{,}004579 s^3 + 0{,}7683 s^2 + 3{,}622 \cdot 10^{10} s}{1{,}711 \cdot 10^{-8} s^4 + 0{,}649 s^3 + 4{,}586 \cdot 10^6 s^2 + 3{,}701 \cdot 10^{10} s + 3{,}169 \cdot 10^9},$$

$$W_{TI}(s) = \frac{4{,}888 \cdot 10^{-13} s^4 + 4{,}579 \cdot 10^{-6} s^3 + 0{,}0007683 s^2 + 3{,}622 \cdot 10^7 s}{1{,}711 \cdot 10^{-8} s^4 + 0{,}649 s^3 + 4{,}586 \cdot 10^6 s^2 + 3{,}701 \cdot 10^{10} s + 3{,}169 \cdot 10^9}.$$

Передавальні функції вимірювальних перетворювачів напруги та струму за (5):

$$W_{TV}(s) = 0{,}995; \; W_{TA}(s) = 0{,}995.$$

Передавальна функція ланки обчислення спаду напруги:

$$W_{\text{ПК}}(s) = 0{,}1264 s + 21{,}2.$$

Передавальна функція системи вимірювання (при скороченні однакових полюсів та нулів):

$$W(s)=\frac{3{,}592\cdot10^{-6}s^5+33{,}68s^4+2{,}776\cdot10^5s^3+2{,}662\cdot10^{14}s^2+2{,}151\cdot10^{18}s}{s^4+3{,}794\cdot10^7s^3+2{,}681\cdot10^{14}s^2+2{,}163\cdot10^{18}s+1{,}853\cdot10^{17}}. \qquad (11)$$

АЧХ і ФЧХ системи вимірювання напруги, побудовані за (11), представлені на рис. 7. Як видно, система володіє стабільними характеристиками в діапазоні частот від 0,1 до 10^4 Гц і має, в даному випадку, клас точності 1,0 в цьому діапазоні частот, що відповідає сучасним вимогам до первинних вимірювальних перетворювачів [20]. Слід підкреслити, що метрологічні характеристики системи залежать від метрологічних характеристик вимірювальних перетворювачів струму та напруги, що є темою подальших досліджень.

Висновки

1) Проведений аналіз сучасних засобів вимірювання високої напруги в електричних мережах виявив, що трансформатори напруги не володіють достатньою надійністю, а шляхи підвищення надійності та якості ТН цілком не вирішують проблеми пошкоджуваності останніх.

2) Силові трансформатори з номінальною напругою 10 кВ володіють класом точності 6Р, а підвищення їх класу точності можна досягти шляхом компенсації спаду напруги в них.

3) Запропонована система вимірювання високої напруги на базі силового трансформатора, дозволяє визначати первинну напругу трансформатора за значенням вторинної напруги з урахуванням спаду напруги в трансформаторі.

4) Аналіз частотних характеристик запропонованої системи показав, що вона воло,

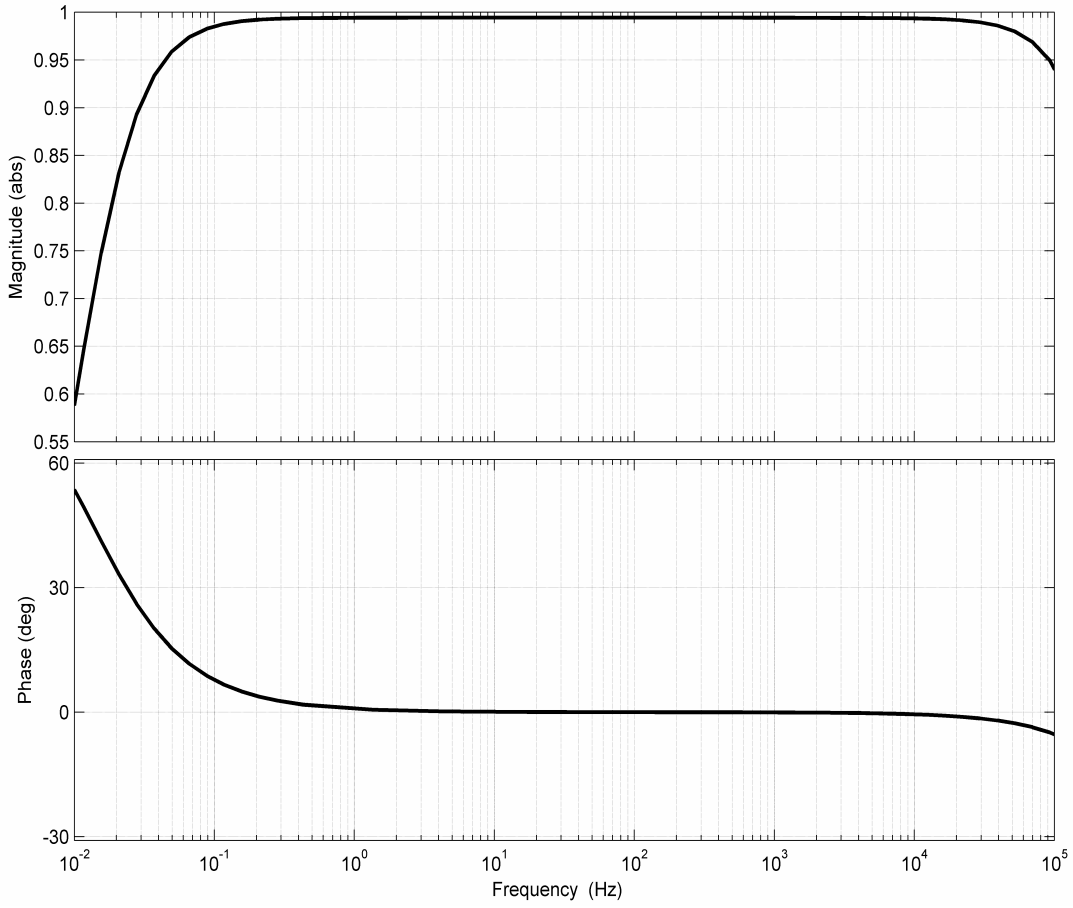


Рисунок 7 — Теоретична частотна характеристики вимірювальної системи на базі трансформатора ТМ–100/10

Список літератури

1. Парахуда Р. Н. Информационно-измерительные системы / Р. Н. Парахуда, Б. Я. Литвинов. — СПб.: СЗТУ, 2002. — 74 с.
2. Федосеев А. М. Релейная защита электроэнергетических систем. Релейная защита сетей / А. М. Федосеев. — М.: Энергоатомиздат, 1984. — 520 с.
3. Раскулов Р. Ф. Трансформаторы напряжения 3–35 кВ. Метрологические функции первичны [Електронний ресурс] / Р. Ф. Раскулов // Новости электротехники. — 2006. — №4. — Режим доступу: www.news.elteh.ru/arh/2006/42/12.php.
4. Зихерман М. Х. Трансформаторы напряжения для сетей 6–10 кВ. Причины повреждаемости. [Електронний ресурс] / М. Х. Зихерман // Новости электротехники. — 2004. — №1. — Режим доступу: www.news.elteh.ru/arh/2004/25/10.php.
5. Железко Ю. С. Потери электроэнергии в оборудовании сетей и подстанций [Електронний ресурс] / Ю. С. Железко // Новости электротехники. — 2003. — №6. — Режим доступу: www.news.elteh.ru/arh/2003/24/10.php.
6. Эткинд Л. Л. Защита трансформаторов напряжения в сетях 3–35 кВ. Необходимо изменить режим заземления нейтрали [Електронний ресурс] / Л. Л. Эткинд // Новости электротехники. — 2003. — №5. — Режим доступу: www.news.elteh.ru/arh/2003/23/06.php.
7. Нагорный П. Д. Измерительные трансформаторы напряжения и контроль изоляции в сетях 6–35 кВ / П. Д. Нагорный, В. В. Назаров // Промышленная энергетика. — 2002. — №3. — С. 22–23.
8. Шаргородский В. Л. Автоколебательный процесс — причина повреждения трансформаторов напряжения / В. Л. Шаргородский // Электрические станции. — 1963. — №5. — С. 59–64.
9. Эткинд Л. Л. Повреждаемость трансформаторов напряжения. Необходимо бороться с причинами, а не с последствиями [Електронний ресурс] / Л. Л. Эткинд, Р. Ф. Раскулов // Новости электротехники. — 2003. — №6. — Режим доступу: www.news.elteh.ru/arh/2003/24/14.php.
10. Зихерман М. Х. Антирезонансные трансформаторы напряжения. Перспективы развития. [Електронний ресурс] / М. Х. Зихерман // Новости электротехники. — 2007. — №2. — Режим доступу: www.news.elteh.ru/arh/2007/44/14.php.
11. Желтиков Е. А. Об опыте предупреждения повреждений трансформаторов напряжения контроля изоляции в сетях 6–10 кВ / Е. А. Желтиков, В. Б. Дынкин, В. Ш. Бунин // Электрические станции. — 1982. — №9. — С. 70–71.
12. Андреев В. А. Контроль изоляции в сетях с изолированной или компенсированной нейтралью без использования трансформаторов напряжения // Изв. вузов. Энергетика. — 1985. — №4. — С. 8–13.
13. Электрическая часть станций и подстанций : [учебн. для вузов] / А. А. Васильев, И. П. Крючков, Е. Ф. Наяшкова, М. Н. Околович; под ред. А. А. Васильева. — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 576 с.
14. Трансформаторы напряжения. Общие технические условия: ГОСТ 1983–2001 — [Действующий от 2003–01–01]. — Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2006. — 32 с.
15. Пат 49575 МПК G01R 19/00. Спосіб вимірювання первинної напруги силового трансформатора на підстанції / Кубкін М.В.; заявник та патентовласник Кіровоградський національний технічний університет. — №u200912030; заявл. 23.11.2009; опубл. 26.04.2010, Бюл. №8.
16. Пат 58303 МПК G01R 19/00. Спосіб вимірювання первинної напруги силового трансформатора на підстанції / Кубкін М.В.; заявник та патентовласник Кіровоградський національний технічний університет. — №u201010950; заявл. 13.09.2010; опубл. 11.04.2011, Бюл. №7.
17. Плєшков П. Г. Частотні характеристики силових трансформаторів/ П. Г. Плєшков, М. В. Кубкін, В. В. Зінзура // Вісник ХДТУСГ ім. П.Василенка. Техн.. науки. Випуск 116. «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України» — Харків: ХНТУСГ, 2011 — С.124–126.
18. Ванин В. К. Релейная защита на элементах вычислительной техники / В. К. Ванин, Г. М. Павлов. — Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1991. — 336 с.
19. Дорф Р. Современные системы управления / Р. Дорф, Р. Бишоп. Пер. с англ. Б. И. Копылова. — М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2002. — 832 с.
20. Булычев А. В. Релейная защита нового поколения. Требования к первичным преобразователям сигналов [Електронний ресурс] / А. В. Булычев // Новости электротехники. — 2010. — №5. — Режим доступу: www.news.elteh.ru/arh/2010/65/07.php.

М. Кубкин
Система измерения высокого напряжения и ее метрологические характеристики

В статье изложены основы нового способа измерения высокого напряжения на подстанциях энергосистемы, который заключается в компенсации падения напряжения в силовом трансформаторе, что дает возможность по значению вторичного напряжения находить первичное напряжение. Определена передаточная функция измерительной системы, на основании которой получены ее частотные характеристики. Определен частотный диапазон работы системы.

M. Kubkin
High voltage measuring system and its metrological performance

The article centers on the analysis of metrological performance of high voltage measuring system. The principle assumed as the basis for system operation is the compensation of voltage drop in power transformer, so that the primary voltage can be calculated through the secondary voltage. Frequency range of the system operation is evaluated.

Одержано 06.04.12

УДК 004.772

В.В. Сидоренко, проф., д-р техн. наук, В.Ю. Малаховський, студент
Кіровоградський національний технічний університет

Програмований просторовий інтерфейс управління принтером

Статтю присвячено розробці програмованого просторового інтерфейсу управління принтером, зв'язок між яким та комп'ютером реалізовано за допомогою набору мережевих протоколів верхнього рівня, що використовують невеликі за розміром, малопотужні цифрові трансивери, що базуються на стандарті IEEE 802.15.4.
програмований просторовий інтерфейс, принтер, ZigBee, функціональна схема

Актуальність теми дослідження. Бездротовий зв'язок, який реалізовано за допомогою стандарту IEEE 802.15.4, дає змогу організувати управління та зв'язок між декількома кінцевими пристроями з одного, головного пристрою управління. Зазначена технологія відрізняється за ощадним енергоспоживанням, дає змогу встановити трансивер на будь-який цифровий пристрій, особливо на такий, що живиться за допомогою акумулятора. Питання розробки спеціалізованого інтерфейсу, яким можна застосувати для управління принтером та іншої периферії, з врахуванням зазначених можливостей, а надзвичайно актуальним.

Постановка проблеми. Головною проблема зазначеної технології є її невисока ступінь розповсюдження, принципова новизна (останню специфікацію було затверджено лише 2007 року), потреба у деталізації окремих положень, висока ціна елементної бази. Існує нагальна потреба у поширенні спеціальної літератури. Відсутні конкретні некомерційні розробки з розкриттям сутності, принципів дії інтерфейсу,

© В.В. Сидоренко, В.Ю. Малаховський, 2012

М. Кубкин
Система измерения высокого напряжения и ее метрологические характеристики

В статье изложены основы нового способа измерения высокого напряжения на подстанциях энергосистемы, который заключается в компенсации падения напряжения в силовом трансформаторе, что дает возможность по значению вторичного напряжения находить первичное напряжение. Определена передаточная функция измерительной системы, на основании которой получены ее частотные характеристики. Определен частотный диапазон работы системы.

M. Kubkin
High voltage measuring system and its metrological performance

The article centers on the analysis of metrological performance of high voltage measuring system. The principle assumed as the basis for system operation is the compensation of voltage drop in power transformer, so that the primary voltage can be calculated through the secondary voltage. Frequency range of the system operation is evaluated.

Одержано 06.04.12

УДК 004.772

В.В. Сидоренко, проф., д-р техн. наук, В.Ю. Малаховський, студент
Кіровоградський національний технічний університет

Програмований просторовий інтерфейс управління принтером

Статтю присвячено розробці програмованого просторового інтерфейсу управління принтером, зв'язок між яким та комп'ютером реалізовано за допомогою набору мережевих протоколів верхнього рівня, що використовують невеликі за розміром, малопотужні цифрові трансивери, що базуються на стандарті IEEE 802.15.4.
програмований просторовий інтерфейс, принтер, ZigBee, функціональна схема

Актуальність теми дослідження. Бездротовий зв'язок, який реалізовано за допомогою стандарту IEEE 802.15.4, дає змогу організувати управління та зв'язок між декількома кінцевими пристроями з одного, головного пристрою управління. Зазначена технологія відрізняється за ощадним енергоспоживанням, дає змогу встановити трансивер на будь-який цифровий пристрій, особливо на такий, що живиться за допомогою акумулятора. Питання розробки спеціалізованого інтерфейсу, яким можна застосувати для управління принтером та іншої периферії, з врахуванням зазначених можливостей, а надзвичайно актуальним.

Постановка проблеми. Головною проблема зазначеної технології є її невисока ступінь розповсюдження, принципова новизна (останню специфікацію було затверджено лише 2007 року), потреба у деталізації окремих положень, висока ціна елементної бази. Існує нагальна потреба у поширенні спеціальної літератури. Відсутні конкретні некомерційні розробки з розкриттям сутності, принципів дії інтерфейсу,

© В.В. Сидоренко, В.Ю. Малаховський, 2012

відповідно, розробки щодо можливості поширення інтерфейсу для проведення прикладних досліджень поза межами фірм-розробників технології.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Єдиним джерелом інформації про об'єкт дослідження є мережа інтернет. Офіційні сайти розробників містять лише рекламну інформацію та окремі загальні положення щодо устрою та технології дії інтерфейсу. У вільному доступі можна знайти бібліотеки для написання програм управління даним інтерфейсом, проте прикладів таких програм мало, у значній мірі тому, що дані розробки є високотехнологічними, з високим грифом нерозповсюдження у вільному доступі, а самі технології використовується, в основному, у комерційних цілях.

Метою статті є розробка просторового програмованого інтерфейсу управління принтером, побудова його функціональної схеми, в якій реалізовано основні функції процесу.

Виклад основного матеріалу. Розроблений просторовий інтерфейс базується на технології мережевого стандарту передачі даних IEEE 802.15.4. Для організації його роботи нами запропоновано створити мережу, що складається 3 різних типів пристроїв:

– координатор (ZC). Формує шляхи дерева мережі з іншими мережами. Створений вузол ініціалізує мережу. Опціонально придатне для зберігання інформації про мережу;

– маршрутизатор (ZR). Окрім основних функцій, може виступати в ролі проміжної ланки, передаючи дані з інших пристроїв;

– кінцевий пристрій (ZED). Його функціональна завантаженість дозволяє обмінюватись інформацією з материнських вузлом (а також координатором, маршрутизатором), але не передавати дані з інших пристроїв. Такий принцип функціонування дозволяє більшу частину часу залишатись в "режимі сну", що дозволяє економити енергію батареї.

Функціональну схему мережі для випадку з застосуванням просторового інтерфейсу управління принтером наведено на рис.1.

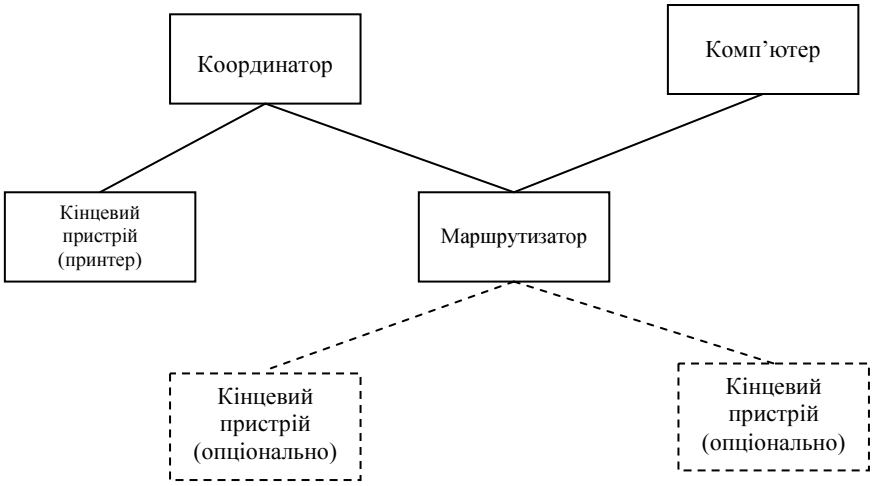


Рисунок 1 – Функціональна схема мережі

В стандарті, на якому базується інтерфейс, зазначається, що модуль має 27 робочих радіочастот. Це означає, що не більше 27 клієнтів в мережі можуть обмінюватись інформацією з одним блоком. Опираючись на систему пріоритетів, описану раніше, нами представлено систему пріоритетів саме для роботи з принтером (рис. 2).

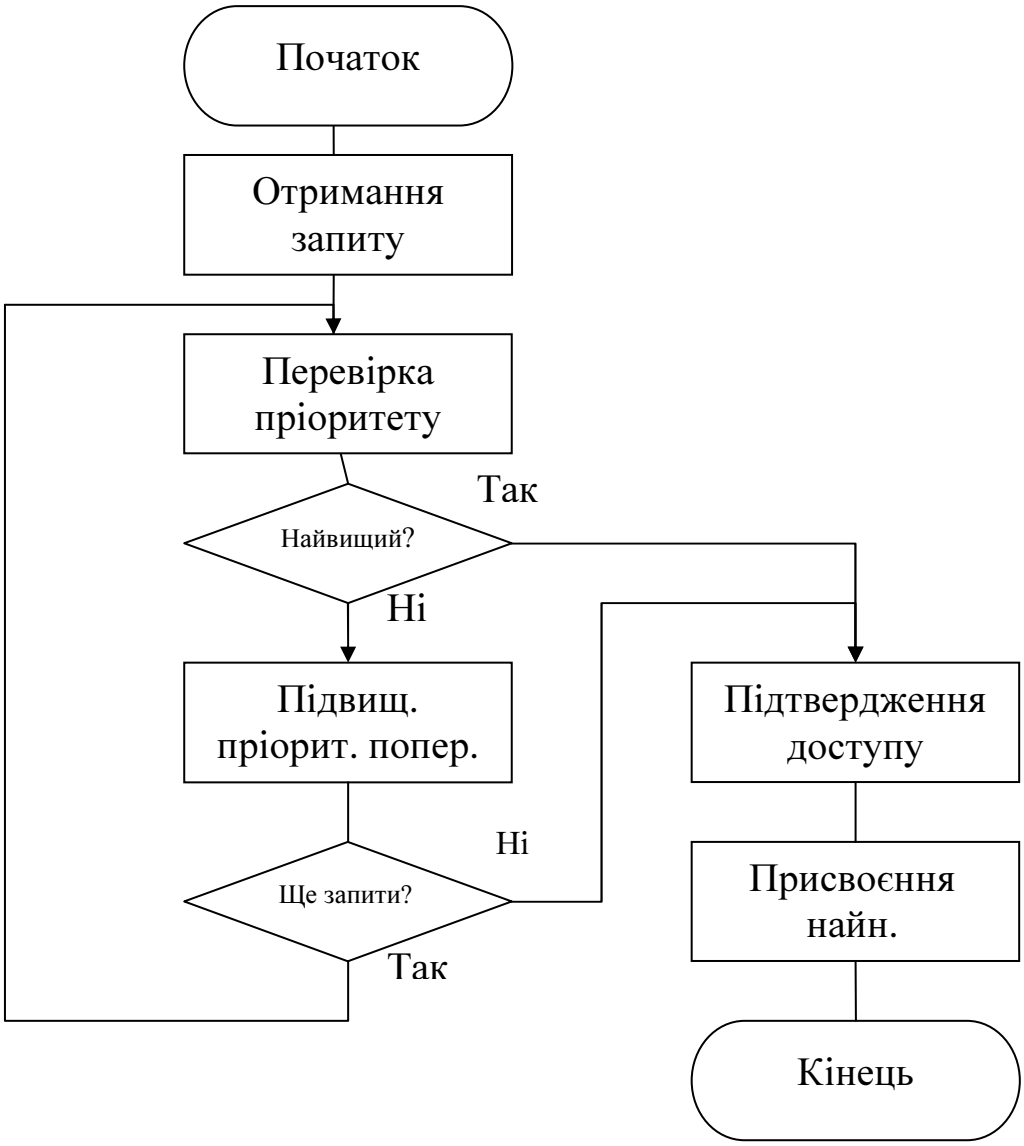


Рисунок 2 – Структурна схема системи пріоритетів

Основна відмінність полягає у розбитті пріоритетів на 27 положень, замість двох, як це було раніше [1-3]. Це дозволяє організувати одночасну обробку запитів від більшою кількістю приймачів-клієнтів, що можуть відправляти запит на пересилку даних (в нашому випадку - друк). У запропонованій системі пріоритетів використовується таблиця з 27 положень. Положення займаються у послідовному порядку, по мірі ідентифікації модулю-приймача принтера [4-5]. Одночасно, здійснюється сканування радіочастот, і по мірі знаходження окремих модулів, вони займаються свої місця в таблиці.

Схему функціонування розробленого інтерфейсу представимо у вигляді послідовності (рис.3).

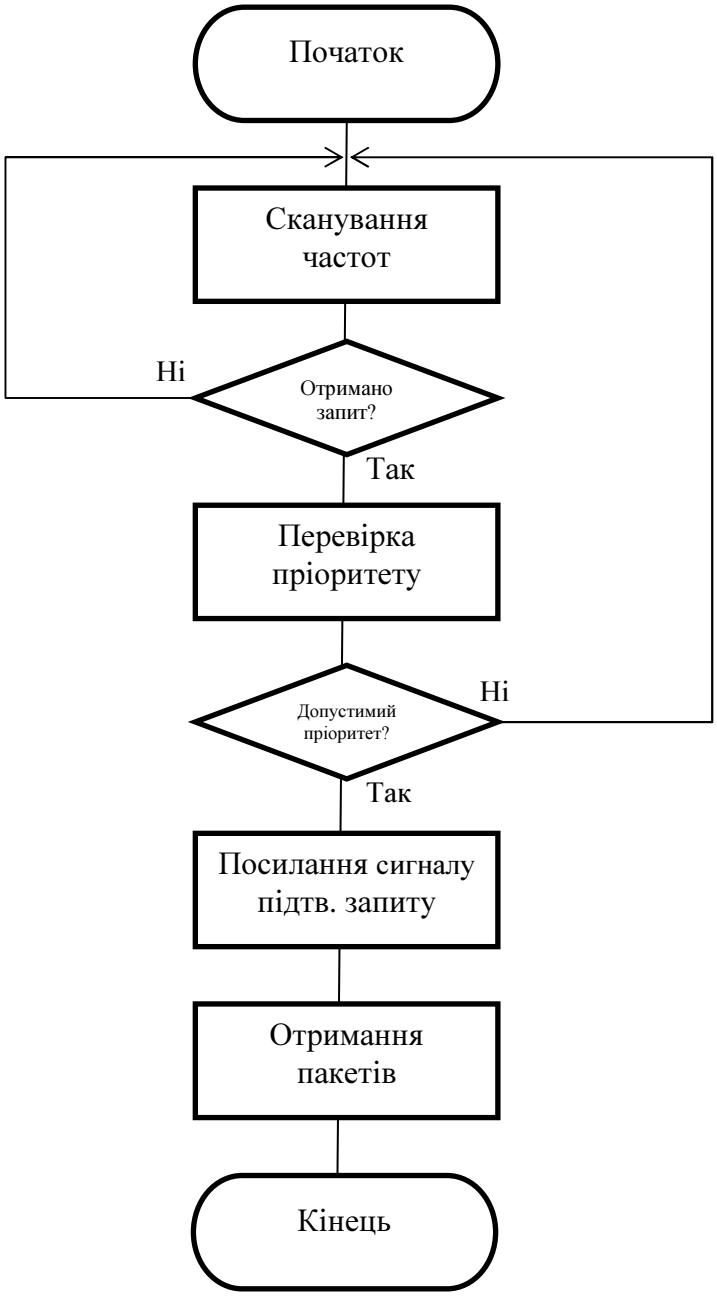


Рисунок 3 – Функціональна схема модуля-приймача

Особливістю розробленого інтерфейсу є застосування у якості модуля-приймача плати від компанії-розробника Jennic, основними особливостями якої є: можливість підключення до кінцевого пристрою через порт USB, а також живлення від батарейок АА. Такі переваги дозволяють залишати внутрішній устрій принтера недоторканим, та віднести даний прилад до класу мобільних.

У зв’язку з орієнтуванням інтерфейсу на принтер, у схемі функціонування пристрою, та форматі кадрів було зроблено значні спрощення, що сприятливо позначилися на швидкості та надійності інтерфейсу. Розроблена схема складається з 3-х елементів:

- запит модуля-клієнта на друк;
- у разі сприятливого пріоритету, допуск до передачі даних;
- передача пакетів даних із вмістом для друку.

Формат кадру представлено у вигляді 3 складових частин:

Адреса модуля (5 біт). Містить адресу модуля клієнта – основну одиницю ідентифікації, що заноситься у таблицю пріоритетів, де і опрацьовується;

Біт останнього пакету (1 біт). За аналогією, встановлюється значення в “1”, якщо пакет є останнім для передачі.

Дані (58 біт). Містять ASCII-код видимих та невидимих символів для друку.

Висновки. В статті описано основи побудови просторового інтерфейсу для управління принтером. Дослідження містить опис архітектури модуля, дає уявлення про роботу модуля з нюансами, надає формат кадру, за яким будуються повідомлення, що надходять з ком’ютера на принтер. Описано мінімальну структур мережі, що необхідна для функціонування інтерфейсу.

Список літератури

1. Авдєєв В.А. Периферийные устройства, интерфейсы, схемотехника, программирование // М.: ДКМ Пресс, 2009. – 807с.
2. 2 Наумкина Л.Г. Сетевые интерфейсы. Энциклопедия // М.: ДМК, 2000. – 513с.
3. 3 Топильский В.Б. Схемотехника измерительных устройств // М.: Эксмо, 2002. – 201с.
4. 4 Магда Ю.С. Микроконтроллеры PIC 24. Архитектура и программирование // М.: ДМК Пресс, 2001 – 456с.
5. Приходькин Б.Ф. Схемотехника, интерфейсы // М.: Эксмо, 2004 – 320с.

В. Сидоренко, В. Малаховский

Программируемый пространственный интерфейс управления принтером

В статье описывается основы построения пространственного интерфейса для управления принтером. Исследование содержит описание архитектуры модуля, дает представление о работе модуля со всеми нюансами, предоставляет формат кадра, по которому строятся сообщения, поступающие с компьютера на принтер. Описана минимальная структура сети, необходимая для функционирования интерфейса.

V.Sidorenko, V. Malakvovskyii

Programmable spatial interface for managing the printer

The article describes the basics of building a spatial interface for printer management. The study describes the architecture of the module provides an overview of the nuances of the module, provides a frame format, which built the message coming from PC to the printer. We describe a minimal network structure that is necessary for the functioning of the interface.

Одержано 10.02.12

УДК 629.7.07

Г.С. Тимошенко, асп.
Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету

Моделювання системи планування завантаження повітряного судна

У статті розглянуто авіаційні події, пов'язані з неправильним завантаженням повітряного судна, проаналізовано існуючи системи завантаження. Визначено вимоги, яким повинна задовольняти система планування завантаження повітряного судна та розроблена нова структурна схема цієї системи
завантаження повітряного судна, передпольотна підготовка, автоматизована система планування завантаження повітряного судна

Вступ. Забезпечення безпеки, економічності та ефективності є основними принципами діяльності цивільної авіації. Важливою задачею забезпечення безпеки повітряних перевезень є правильне завантаження повітряного судна(ПС)[1]. На основі бази даних авіаційних подій (АП), пов'язаних з питаннями неправильного завантаження та центрування в період з 1970 по 2005 роки виявлено 82 АП, 34 з яких призвели до людських жертв на борту ПС (досліджувалися цивільні ПС зі злітною масою більше 5500кг)[2].

Оскільки перевантажене ПС є виключно небезпечним, та його неправильне завантаження призводить до серйозних АП, метою кожної авіакомпанії є максимально ефективне використання свого парку ПС та отримання більшого доходу, притримуючись при цьому правил безпеки польотів.

Основними обов'язками співробітника із забезпечення польотів (FOO/FD) є: здійснювати допомогу командиру повітряного судна (КПС) в підготовці до польоту та забезпечувати відповідною необхідною інформацією; здійснювати допомогу КПС в підготовці робочого плану польоту та плану для ОПР; за допомогою відповідних засобів забезпечувати КПС в польоті інформацією, яка може бути необхідною для безпечного виконання польоту тощо[3]. Оскільки КПС та FOO/FD несуть спільну відповідальність за передпольотне планування та безпечне виконання польотів, актуальною є задача інформаційної підтримки авіаційного оператора передпольотного інформаційного забезпечення на етапі підготовки та забезпечення польоту.

Аналіз основних досягнень і публікацій. В джерелі [1] розглянуто методи та принципи розрахунку правильної загрузки ПС. В праці Нагорного О.Ф. [4] розглянуто масові та центрувальні характеристики літака, а також вимоги документів, регламентуючих повітряні перевезення, але не враховується вплив зміни моментів інерції на характеристики ПС, як об'єкта керування. В таблиці 1 надається аналіз існуючих систем та засобів завантаження ПС, які використовуються на вітчизняних ПС[5,6,7,8,9,10]. На рисунку 1 представлена схема причинно-наслідкових зв'язків недоліків існуючих систем завантаження ПС.

© Г.С. Тимошенко, 2012

Таблиця 1 - Аналіз систем завантаження ПС

№п п	Назва засобу/ системи	Опис	Використання
1	2	3	4
1	Система «Центровка»[5]	Використовується для автоматизації функції розрахунку завантаження та центрування	Іл-76, Ту-204,214, Ан-12,22,26, Ан - 124,225,Боїнг-737,747,757, А-310, 319, 320, 321, DC-10,8 тощо
2	СВМЦ – система вимірювання маси та центрування ПС[6]	Для визначення зупиночного значення маси та положення центра мас перед вильотом літака, розраховує зміни положення центру мас в польоті та видає необхідну інформацію та системам бортового обладнання	Іл-76, Ту-204,214, Ан-12,22,26, Ан - 124,225,Боїнг-737,747,757, А-310, 319, 320, 321, DC-10,8 тощо
3	Ваги авіаційні ДВАЦ-С[7]	Використовуються для визначення маси літака та контролю за центруванням	Іл-76, Ту-204,214, Ан-12,22,26, Ан - 124,225,Боїнг-737,747,757, А-310, 319, 320, 321, DC-10,8 тощо
4	Ваги МЕРА-ВТП[8], Ваги платформні «Дельта» та «Став»[9]	Ваги МЕРА-ВТП – для статичного зважування та визначення положення центру мас літальних апаратів Ваги «Дельта» - для зважування упакованих вантажів, піддонів та інших упакованих вантажів до 5 тон Ваги «Став» - для зважування важких вантажів, упакованого металопрокату, контейнерів різної вантажопідйомності	Зважування вантажів в різній тарі і без тари
5	СЗВ[10]	Наповнення та розрахунок СЗВ, вивід на роздрукування (з попереднім переглядом)	Для аеропортів та авіакомпаній
6	WB-Гарантія[11]	Потужна система розрахунку центрувальних параметрів ПС, оптимізації розподілу завантаження на ПС, підготовки супровідної документації, формування телеграм, ведення БД по ПС та архіву рейсів	Іл-76, Ту-204,214, Ан-12,22,26, Ан - 124,225, Боїнг-737,747,757, А-310, 319, 320, 321, DC-10,8 тощо

Рисунок 1 - Причинно-наслідкові зв'язки системи планування ПС

Постановка завдання. Для визначення значущості передпольотної підготовки та впливу неправильного завантаження ПС на безпеку виконання польоту провести аналіз задач передпольотної підготовки КПС та АП, пов'язаних з неправильним завантаженням ПС. Визначити вимоги, яким повинна задовольняти система планування завантаження ПС. Розробити нову структурну схему системи планування завантаження ПС.

Виклад основного матеріалу дослідження. На будь-якому аеродромі, що використовується для виконання міжнародних польотів, персоналу, пов'язаному із виконанням польотів, включаючи льотні екіпажі та служби, відповідальні за передпольотну інформацію, представляється аеронавігаційна інформація, необхідна для забезпечення безпеки, регулярності та ефективності аеронавігації та інформація, що стосується етапів маршрутів, які починаються з даного аеродрому[1]. Декомпозиція задач передпольотної підготовки екіпажа ПС представлена в таблиці 2.

Таблиця 2 – Декомпозиція задач, що вирішуються під час аналізу можливості виконання польоту

Задачі, які вирішуються під час аналізу можливості виконання польоту	**Підзадачі вирішуваних задач**
Аналіз злітної та посадкової маси ПС	Аналіз маси ПС для фактичних умов зльоту
	Аналіз маси ПС для фактичних умов посадки
Аналіз метеорологічних умов(МУ) на аеродромі(АД) вильоту	Аналіз висоти нижньої границі хмарності та дальності видимості на злітно-посадковій смузі (ЗПС)
	Аналіз бічної складової вітру на ЗПС
Аналіз МУ по маршруту	Аналіз присутності небезпечних метеорологічних явищ (НМЯ)по маршруту
Аналіз фактичних МУ по АД призначення	Аналіз фактичної висоти нижньої границі хмарності та дальності видимості на ЗПС
	Аналіз фактичної бокової складової вітру на ЗПС
Аналіз прогнозованих МУ по АД призначення	Аналіз прогнозованої висоти нижньої границі хмарності та дальності видимості на ЗПС
	Аналіз прогнозованої бокової складової вітру на ЗПС
Аналіз наявності прийнятого плану польоту (FPL)	Аналіз інформації від системи IFPS про прийняття (повідомлення ACK) FPL або неприйняття (повідомлення REJ)
Аналіз стану АД вильоту, призначення та повітряної обстановки	Аналіз стану ЗПС та аеродромних засобів АД вильоту
	Аналіз обмежень по маршруту польоту
	Аналіз стану ЗПС та аеродромних засобів АД призначення
Аналіз стану ПС	Аналіз інформації про технічний стан ПС
Аналіз готовності екіпажу ПС (ЕПС)	Аналіз інформації про готовність ЕПС до польоту
Аналіз вибору запасного АД	Аналіз інформації про обраний запасний АД

Однією з важливих задач передпольотної підготовки є правильне завантаження ПС, в аеропортах України ключову роль в передпольотному інформаційному обслуговуванні відіграють брифінг-офіси (відділи передпольотного інформаційного обслуговування в складі служби аеронавігаційної інформації (САІ) та авіаційні метеорологічні служби (МЕТ), основне призначення яких - це забезпечення пілотів інформацією, необхідною для виконання польотів. Проте, кожний експлуатант може використовувати свою систему підготовки до польотів.

За даними сайту «Авіаційних подій, інцидентів та авіаційних катастроф в СРСР та країнах СНД» в період з 2000-2010 рік сталося 90 АП, з яких 16 сталися з причин неправильного завантаження та центрування ПС[12].

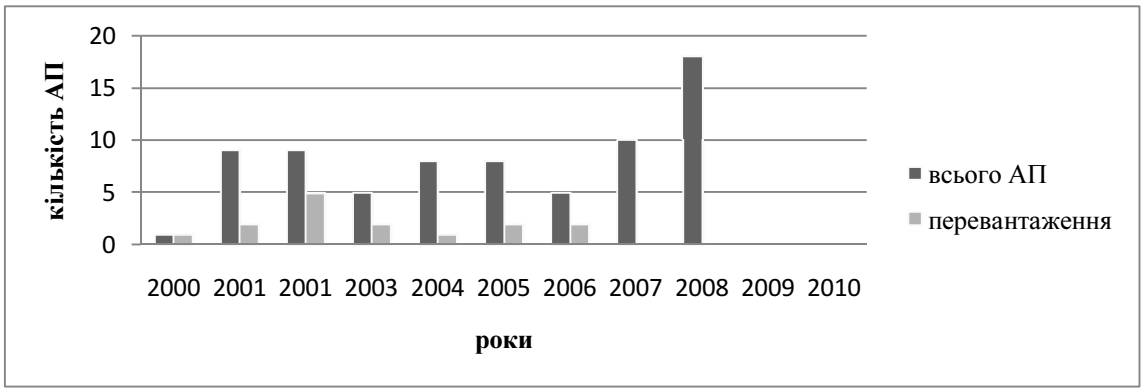


Рисунок 2 – Кількість АП, пов'язаних з перевантаженням ПС за даними сайту «Авіаційних подій, інцидентів і катастроф в СРСР та країнах СНД»

За даними сайту Aviation Safety Network в період з 2000-2009 роки сталося 85 АП, пов'язаних з перевантаженням та зміщенням центру мас ПС.

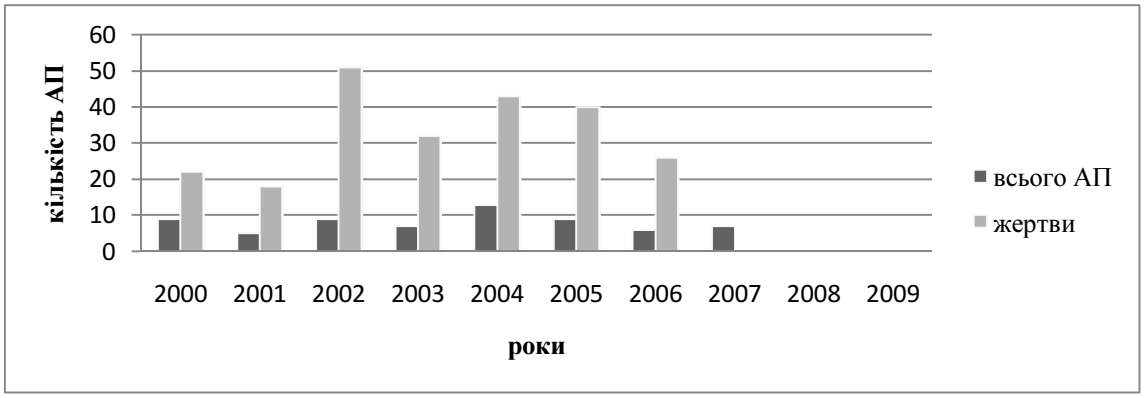


Рисунок 3 – Кількість АП, пов'язаних з перевантаженням ПС за даними сайту Aviation Safety Network

Досліджуючи АП, з'ясувалося, що причиною багатьох з них стала незадовільна передпольотна підготовка, навмисне і усвідомлене порушення екіпажами ПС існуючих авіаційних законів в ході виконання замовлених та чартерних рейсів в регіони Африки, Близького Сходу, Азії(порушення рекомендованих схем польоту та заходу на посадку), перевищення максимальної злітної маси, порушення центрування, польоти на аеродроми, не включені у збірники аеронавігаційної інформації JEPPESEN, та ін.[13]

Для того, щоб виявити яким вимогам повинна задовольняти система планування завантаження ПС, проведено експертне опитування спеціалістів по завантаженню ПС. Також для виявлення впливу завантаження ПС та правильного розміщення вантажів на ньому, на зміни моментів інерції ПС відносно пов'язаної з ним системи координат, розглянуто три літаки різної маси та вантажопідйомності(Ан – 26, Ан – 124, Боїнг- 767-300Т). Використовуючи матеріали джерела[14] розраховано моменти інерції для цих літаків. В нашому дослідженні літаки було замінено на еквівалентні ним циліндри та розраховані для них моменти інерції порожнього та повного циліндру. Використовуючи таблицю орієнтованих значень коефіцієнтів рівнянь бокового руху важкого, середнього та легкого літака для двох режимів польоту[15], визначено, що при збільшенні моменту інерції літака, всі коефіцієнти зменшуються обернено

пропорційно, що призводить до погіршення керованості літака та аварійної ситуації на борту ПС.

За допомогою методу експертного оцінювання визначили критерії, яким повинна задовольняти система планування завантаження ПС. Результати розрахунків представлено в таблиці 3.

Таблиця 3 – Розрахунок коефіцієнтів узгодженості групи експертів щодо вимог до системи планування завантаження ПС

№ пп	Критерій	Позначення	Параметри					
			Думка групи експертів $R_{гр}$	Дисперсія D_i	Середнє квадратичне відхилення σ_i	Коеф. варіації υ_i,%	Коеф. конкордації W	Ваговий коеф. α,%
1	Повнофункціональне виконання завдань прямого призначення, тобто обчислення центрування ПС з урахуванням впливу всіх компонентів службового та комерційного завантаження	w_1	1,9	0,3222	0,56765	29,88		20
2	Наявність у системі засобів (функцій) ефективного контролю всіх параметрів і характеристик завантаження	w_2	2,45	0,91389	0,95598	39,02		18
3	Відповідність вимогам та обмеженням, визначеним для конкретних типів и модифікацій ПС, визначених Посібниками по завантаженню та центруванню ПС	w_3	2,15	1,00278	1,00139	46,58		19
4	Універсальність побудови алгоритмів і баз даних щодо типів ПС	w_4	4,8	0,6222	0,7881	16,43		12
5	Вписування системи в діючу традиційну технологію роботи підприємств галузі	w_5	6,2	1,06667	1,03279	16,66		8
6	Вираховування вимог та рекомендацій міжнародних стандартів IATA/IKAO в даній області, в т.ч. у частині технології та супровідної документації	w_6	3,9	1,43333	1,19722	30,7		14
7	Обов'язкове пред'явлення системи відповідним літакобудівним корпораціям (ОКБ, АНТК), спільні випробування	w_7	7,2	0,6222	0,7881	10,96		5
8	Наявність розробленого комплексу заходів, що забезпечують промисловий режим функціонування системи для масового користування	w_8	7,4	0,2667	0,5164	6,98		4
							0,8633	100

За для визначення вагомості критеріїв до системи планування завантаження ПС за допомогою вагових коефіцієнтів побудовано систему пріоритетів критеріїв системи планування завантаження ПС (рис.4).

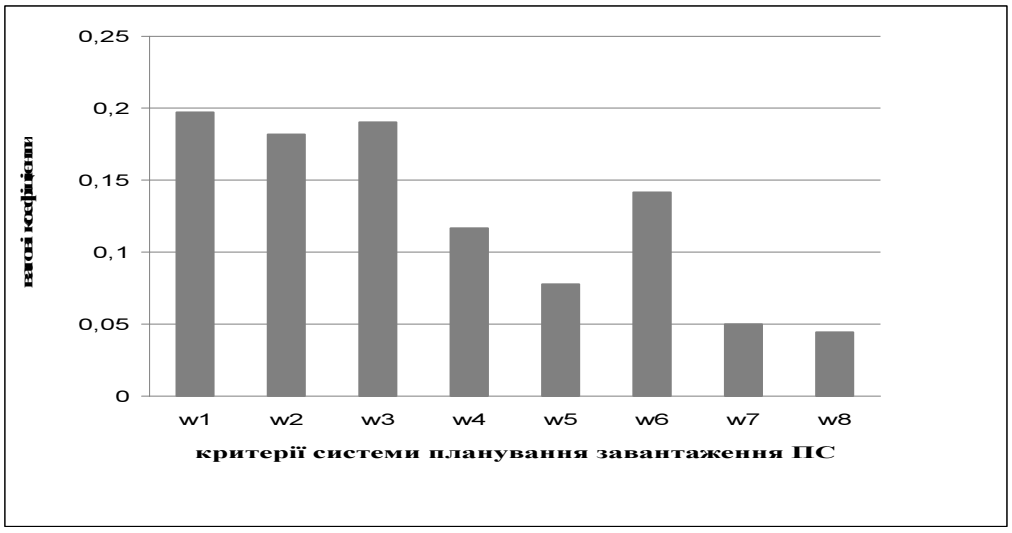


Рисунок 4 – Система пріоритетів критеріїв системи планування та завантаження ПС

Аналіз опитування експертів щодо пріоритетності вимог, які пред'являються до системи планування завантаження ПС показав, всі вимоги повинні бути, безумовно виконані, але при наявності декількох систем з подібними функціями, перевага буде за тою системою, яка буде в межах допустимих похибок визначати параметри завантаження та центрування, а також в якій буде присутня ефективна система контролю цих параметрів.

У сучасних автоматизованих системах керування (АСК) реального часу в типових ситуаціях керування процесом може здійснюватися автоматично, без участі оперативного персоналу. Оперативний персонал здійснює неперервний контроль і активно включається в керування тільки при виникненні проблемних або конфліктних ситуацій. Основне призначення системи підтримки прийняття рішень в АСК реального часу полягає в наданні допомоги оператору при прийнятті рішень у конфліктних ситуаціях. Під конфліктною ситуацією розуміють таку ситуацію, яка виникає в процесі керування, не можу бути вирішена без участі оперативного персоналу і пов'язана з необхідністю вибору конкретної альтернативи керування при наявності інформації про стан об'єкта чи системи керування, критеріїв, вирішальних правил а власної системи переваг[16].

Використовуючи узагальнену структурну схему системи підтримки прийняття рішень (СППР)[16], нами була розроблена структурна схема системи планування завантаження ПС, яка враховує критерії завантаження ПС (рис.5).

Основними елементами є база знань (БЗ), банк даних (БД) і блок навчання. БЗ містить моделі розпізнавання вантажу за його маркуванням (RL); розпізнавання запакованого вантажу за його габаритами (RP); формування схеми та порядку його завантаження на борт ПС, враховуючи зміни моментів інерції літака відносно пов'язаної з ним системи координат (LP); врахування вимог до центрування ПС (RC) . БД містить інформацію про характеристики та ознаки ситуацій, зокрема про ознаки появи, можливі причини виникнення, важливість, директивний час і т. і. Блок навчання складається із субблоків навчання розпізнавання вантажу (LL), формування порядку

завантаження ПС (LP), формування моделі перевірки завантаження та центрування ПС (LLC).

Система дозволяє визначити порядок розміщення вантажу на ПС, забезпечуючи максимальне наближення маси вантажу до вантажопідйомності літака. А також система враховує умови виконання вимог до центрування, з мінімальним відхиленням моментів інерції літака відносно пов'язаної з ним системи координат.

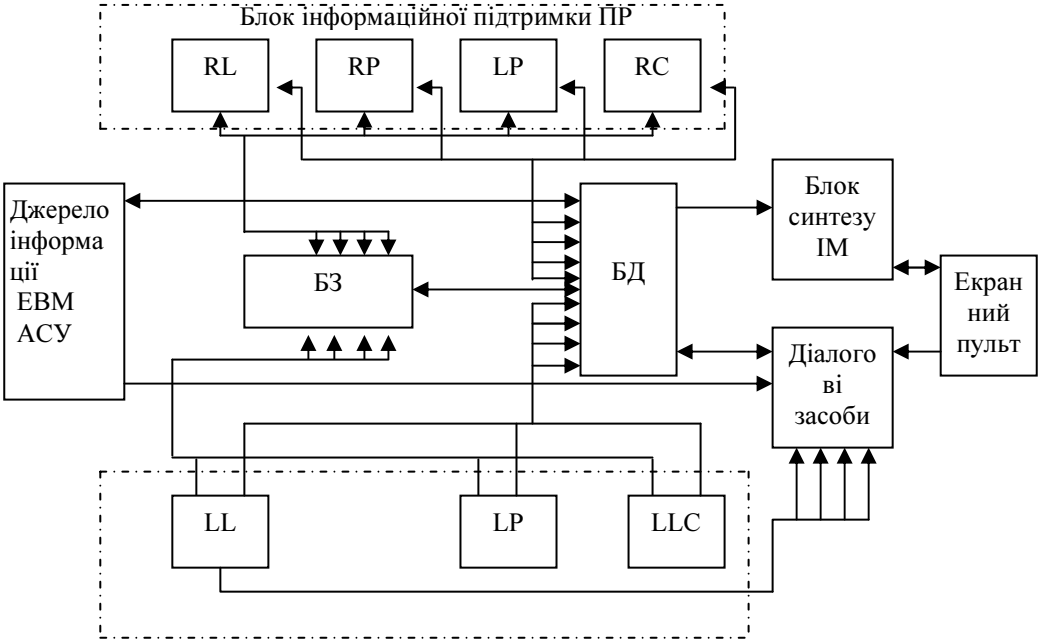


Рисунок 5 – Структурна схема системи планування завантаження ПС

Висновки. Проведено аналіз передпольотної підготовки КПС та АП, пов'язаних з неправильним завантаженням ПС та визначено, що існує потреба в інформаційній підтримці співробітника із забезпечення польотів, шляхом створення системи підтримки прийняття рішень, яка б допомагала правильно розмістити вантаж на борту ПС, враховуючи вимоги до центрування ПС, незмінності моментів інерції відносно пов'язаної з ПС системи координат та правил перевезення вантажів. За допомогою методу експертного оцінювання визначено, що найбільш впливовими критеріями, яким повинна задовольняти система планування завантаження ПС, є: наявність у системі засобів/функцій ефективного контролю всіх параметрів і характеристик завантаження; відповідність вимогам та обмеженням, визначеним для конкретних типів і модифікацій ПС; повнофункціональне виконання завдань прямого призначення, тобто обчислення центрування ПС з урахуванням впливу всіх компонентів службового та комерційного завантаження. Розроблено нову структурну схему системи планування завантаження ПС, яка дозволяє керувати завантаженням літака та відрізняється від відомих урахуванням зміни моментів інерції літака відносно пов'язаної з ним системи координат.

Список літератури

1. Лебедев С.Б. Основы теоретической подготовки диспетчеров по обеспечению полетов: Учебное пособие. / С.Б. Лебедев. – К.: 2005. – 796с.
2. Расследование авиационных происшествий и инцидентов. - Приложение 13 к конвенции о международной гражданской авиации. – Издание 10. - Канада, Монреаль, ICAO, 2010. – 76с.

3. Єксплуатация воздушных судов. Часть 1. Международный коммерческий воздушный транспорт. Самолеты. – Приложение 6 к конвенции о международной гражданской авиации. – Издание 9. – Канада, Монреаль, ICAO, 2010. – 272с.
4. Нагорный А.Ф. Воздушные перевозки: Учебное пособие./ А.Ф. Нагорный, А.П. Максимов - Кировоград: ГЛАУ , 2006. – 220с.
5. http://www.iatvt.ru/index.cgi?doc=5_2
6. http://www.arms-expo.ru/049049056048124049049050050056.html
7. http://www.diskret.com.ua/vae/vae.html
8. http://arviol.ru/index.php?page=szv
9. http://ww.scaletech.ru/pves/pv_delta/
10. Руководство по загрузке и центровке
11. http://www.aviaconsulting.ru/index.phtml?H=00010000001000000&i=36
12. Сайт «Авиационных происшествий, инцидентов и авиационных катастроф в СССР и странах СНГ»
13. Михайлик Н.Ф. Проблема эксплуатации воздушных судов в экстремальных условиях. Постановка задачи. Труды общества расследователей авиационных происшествий (Вып. 16) / Н.Ф. Михайлик, Р.М. Джафарзаде, А.В. Малишевский – М.: Полиграф, 2004. – 416с.
14. Павловський М.А. Теоретична механіка: Підручник./ М.А. Павловський – К.: Техніка, 2002. – 512с.
15. Боднер В.А. Теория автоматического управления полетом. / В.А. Боднер. – М.: Наука, 1964. –700с.
16. Герасимов Б.М. Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень: Навчальний посібник./ Б.М. Герасимов, В.М. Локазюк, О.Г. Оксіюк, О.В. Поморова – К.: Вид-во Європ. ун-ту, 2007. – 335с.

А.Тимошенко

Моделирование системы планирования загрузки воздушного судна

В статье рассмотрены авиационные происшествия, связанные с неправильной загрузкой воздушного судна. Проанализированы существующие системы загрузки. Определены требования, которым должна удовлетворять система планирования загрузки воздушного судна и представлена структурная схема этой системы.

A.Tymoshenko

Simulation system of planning load of the aircraft

The article deals with accidents related to improper loading of aircraft. Analyzed the existing charging system. The requirements to be satisfied by the system capacity planning of aircraft and is a block diagram of this system.

Одержано 29.03.12

УДК 629.7.07

І.Л. Якуніна, асп.
Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету

Алгоритм побудови детермінованої моделі прийняття рішень людиною-оператором при парируванні особливих випадків в польоті

Наведено алгоритми отримання детермінованої моделі – мережевого графіка парирування особливого випадку в польоті авіаційним спеціалістом, та алгоритм розрахунку мережевого графіка. За допомогою спрощеного олгоритму проведено аналіз діяльності авіадиспетчера при виникненні особливого випадку в польоті «Зіткнення ПС з птахом».
детермінована модель, алгоритм, людина-оператор

Вступ Діяльність авіаційних спеціалістів характеризується насамперед жорстким лімітом часу, оскільки в авіації кожна ситуація змінюється з дуже великою швидкістю. Також діяльність авіаційного фахівця являється строго регламентованою нормативними документами в авіаційній галузі, як при нормальних умовах виконання польоту, так і у випадку ускладнень. Це дозволяє для моделювання вищевказаної діяльності застосовувати детерміновані моделі, які допомогають наочно аналізувати послідовність операційних процедур, спрямованих на парирування особливого випадку в польоті; визначати максимальний та мінімальний час, який необхідний для повного виконання комплексу операційних процедур. Найбільш точно цим критеріям відповідають мережеві графіки.

Аналіз досліджень і публікацій Детально описано спосіб побудови мережевих графіків у Вентцель Є.С. [1]. Там же наводено формальний запис завдання мережевого планування, на прикладі показано оптимізацію плану комплексу робіт.

Ігнатьєва А.В. та Максимцев М.М. в своїй роботі [2] наводять аналіз мережевих графіків з теоретичної точки зору на прикладі складних організаційних систем.

В роботі Сікірди Ю.В. [3] побудовано автоматизовану систему з елементами інформаційної підтримки авіаційного диспетчера при відмові авіаційного двигуна в крейсерському польоті. Недоліком цієї системи є відсутність врахування часу необхідного на парирування авіаційним диспетчером даного особливого випадку в польоті.

Автоматизацією вирішення складноформалізованих задач в своїх роботах займалися Охоцимський Д.Е., Поспєлов Г.С.[4], Соломенцев Ю.М.[5], Шмельова Т. Ф.[6,7].

Постановка завдання Метою даної роботи є визначення алгоритму побудови моделі прийняття рішень людиною-оператором при парируванні особливих випадків в польоті, з детермінованою стуктурою. А також узагальнення застосування мережевих графіків для аналізу авіаційних подій, як представника детермінованих моделей, визначення основних етапів побудови мережевих графіків. Побудова мережевого графіка виконання операційних процедур авіадиспетчером при виникненні ОВП «Зіткнення ПС з птахом».

© І.Л. Якуніна, 2012

Виклад основного матеріалу Мережевий графік виконання операційних процедур авіаційним спеціалістом при виникненні аварійних чи непередбачуваних подій — це орієнтований граф без контурів, який має «вузли» і «дуги». «Вузли» графу позначають події на початку (кінці) операційної процедури авіаспеціаліста при виникненні ОВП. «Дуги» - відповідають змісту операційних процедур відповідно до технології (інструкції, керівництва з льотної експлуатації даного типу ПС).

Раніше було проведено аналіз діяльності авіадиспетчера та екіпажу повітряного судна (ПС) у випадку відмови авіаційного двигуна на зльоті [8, 9], де наочно подано послідовність операційних процедур, спрямованих на парирування особливого випадку в польоті (ОВП), та визначено критичний час необхідний для виконання повного комплексу вищезазначених операційних процедур.

Мережевий аналіз ОВП можна умовно розділити на дві складових:

1. побудова мережевого графіка виконання операційних процедур;

2. розрахунок мережевого графіка (визначення ранніх ті пізніх строків виконання операційної процедури, визначення резервів часу на виконання тієї чи іншої операційної процедури, визначення критичного часу, необхідного для парирування даного ОВП, та відповідного йому критичного шляху).

Наведемо алгоритм побудови мережевого графіка парирування конкретного ОВП:

1. визначення технології парирування даного ОВП з нормативних документів, якими керується авіаційний спеціаліст у своїй діяльності;

2. розклад технології парирування на операційні процедури;

3. надання кожній операційній процедурі шифру a_i ;

4. перевірка впорядкованості операційних процедур та побудова структурної таблиці;

5. визначення часу, необхідного для виконання кожної операційної процедури a_i;

6. побудова мережевого графіка виконання всього комплексу операційних процедур.

Час, необхідний для виконання кожної операційної процедури, можна визначити за допомогою:

а) статистичних даних;

б) експерименту на тренажерах;

в) експертного опитування.

На основі отриманих даних та побудованого мережевого графіка можна провести розрахунок мережевого графіка за наступним алгоритмом:

1. Розрахунок ранніх термінів закінчення виконання операційної процедури $t_{рзij}$. визначається як сума раннього терміну виникнення події T_{pi} та часу виконання операційної процедури t_{ij}:

$t_{рзij} = T_{pi} + t_{ij}$,

$T_o=0$.

2. Розрахунок ранніх термінів початку виконання операційної процедури T_{pj}:

$$T_{pj} = \begin{cases} t_{рзij} - \textit{якщо, до події підходить одна операційна процедура;} \\ \max\limits_{\{i\}}\{t_{рзij}\} - \textit{якщо, до події підходить декілька операційних процедур.} \end{cases}$$

3. Розрахунок пізніх термінів виникнення операційних процедур $t_{пнij}$ визначається як різниця між пізнім терміном появи події $T_{пj}$ та часу виконання операційної процедури t_{ij}:

$t_{рзij} = T_{пj} - t_{ij}$.

4. Розрахунок пізніх термінів появи події $T_{пj}$:

$$T_{пj} = \begin{cases} t_{пніj} \; - \; якщо, від\ події\ відходить\ \ одна\ \ операційна\ \ процедура; \\ \min\limits_{\{j\}}\{t_{пніj}\} - якщо, від\ події\ відходить\ \ декілька\ \ операційних\ \ процедур. \end{cases}$$

5.*Розрахунок резервного часу події* R_i визначається як різниця між подією, що є найбільш пізньою $T_{пі}$, та найбільш раннім $T_{рі}$ терміном закінчення події:

$R_i = T_{пі} - T_{рі}$

6.*Розрахунок повного резерву операції* $R_{пij}$. Повний резерв операційної процедури - максимальний час, на який можна збільшити чи зменшити тривалість операційної процедури (i-j), не змінюючи терміну початку події, що завершується:

$R_{пij} = T_{пj} - t_{рзij} = T_{пj} - T_{рі} - t_{ij}$.

7.*Розрахунок вільного резерву* $R_{вij}$. Розрахунок вільного резерву – максимальний час, на який можна збільшити тривалість операційної процедури (i-j):

$R_{вij} = T_{рі} - t_{рзij} = T_{рj} - T_{рі} - t_{ij}$

8.*Визначення критичних $L_к$ та підкритичних шляхів $L_{кр}$.*

Критичний шлях – шлях, тривалість якого дорівнює критичному часу виконання операційних процедур людиною-оператором (Л-О) при виникненні ОВП - $L_к$.

Критичний час – мінімальний час, за який виконується весь алгоритм операційних процедур Л-О при виникненні ОВП - $T_{кр}$.

Підкритичні шляхи - шляхи, в яких повний резерв часу відрізняється не більш ніж задану величину - $L_{кр}$.

Критичним шляхом на мережевому графіку є шлях з найменшим повним резервом. Саме операції, що знаходяться на критичному шляху, дуже важливі і вимагають негайного втручання. Повний резерв часу шляху $R[L_i]$ шляху L_i визначається як різниця між довжиною критичного шляху $t[L_к]$ та довжиною любого повного шляху $t[L_i]$ дорівнює $R[L_i] = t[L_к] - t[Li]$.

Аналізувати авіаційну подію можна також за спрощеним алгоритмом побудови мережевого графіку [9]:

1. Розробити алгоритм - порядок виконання операційних процедур авіадиспетчером при виникненні ОВП або при ускладненні умов виконання польоту.

2. Розробити блок-схему за алгоритмом виконання операційних процедур авіадиспетчером в ОВП.

3. Визначити час на виконання операційних процедур (метод експертних оцінок, експеримент).

4. Розробити структурно-часову таблицю переліку операційних процедур авіадиспетчером в ОВП.

5. Побудувати мережевий графік виконання операційних процедур авіадиспетчером в ОВП.

6. Визначити критичний час виконання комплексу авіаційних процедур авіадиспетчером в ОВП і основні етапи прийняття рішення з парирування ситуації, що виникла.

За допомогою спрощеного алгоритму, проаналізуємо ОВП «Зіткнення ПС з птахом».

1. Розробка алгоритму - порядку виконання операційних процедур авіадиспетчером,, використовуючи нормативні документи, наприклад [10].

Таблиця 1 – Операційні процедури при виникненні ОВП «зіткнення ПС з птахом»

№ з/п	Операційні процедури диспетчера при виникненні особливого випадку в польоті (зіткнення ПС з птахом)
1	Одержати від командира ПС повідомлення про зіткнення з птахом
2	Повідомити екіпажу місцезнаходження, зафіксувати час
3	Сигнал «Лихо»
4	Доповісти керівнику польотів про виникнення особливого випадку на борту ПС
5	Ввести режим радіомовчання
6	Прийняти інформацію від командира ПС, щодо подальших намірів
7	Сформувати зону зливу палива й направити в неї ПС (за необхідності)
8	Передати інформацію про аварійне ПС диспетчерові АДВ (аеродромної диспетчерської вишки)
9	Зробити запит погоди для посадки
10	Одержати доповідь від командира ПС про завершення процедури зливу палива
11	Видати вказівки командиру ПС для заходу на посадку
12	Передати ПС диспетчерові АДВ

2. Побудова блок-схеми алгоритму виконання операційних процедур диспетчером при виникненні ОВП – «зіткнення ПС з птахом» (рис. 1)

3. Визначення часу, необхідного для виконання кожної операційної процедури було проведено за допомогою методу експертного опитування.

4. Побудова структурно-часової таблиці виконання операційних процедур диспетчером при виникненні ОВП «зіткнення ПС з птахом» (табл. 3)

Таблиця 3 –Структурно-часова таблиця виконання операційних процедур диспетчером при виникненні ОВП «зіткнення ПС з птахом»

№ з/п	Робота	Опис роботи	Час виконання роботи,$t_{сер}$, сек.
1	a_1	Одержати від командира ПС повідомлення про зіткнення з птахом	5
2	a_2	Повідомити екіпажу місцезнаходження, зафіксувати час	10
3	a_3	Сигнал «Лихо»	5
4	a_4	Доповісти керівнику польотів про виникнення особливого випадку на борту ПС	10
5	a_5	Ввести режим радіомовчання	10
6	a_6	Прийняти інформацію від командира ПС, щодо подальших намірів	10
7	a_7	Сформувати зону зливу палива й направити в неї ПС (за необхідності)	15
8	a_8	Передати інформацію про аварійне ПС диспетчерові АДВ (аеродромної диспетчерської вишки)	5
9	a_9	Зробити запит погоди для посадки	10
10	a_{10}	Одержати доповідь від командира ПС про завершення процедури зливу палива	5
11	a_{11}	Видати вказівки командиру ПС для заходу на посадку	10

12	a_{12}	Передати ПС диспетчерові АДВ	5
13	a_{13}	Одержати від командира ПС повідомлення про зіткнення з птахом	5
14	a_{14}	Повідомити екіпажу місцезнаходження, зафіксувати час	10
		$T_{кр}$	100

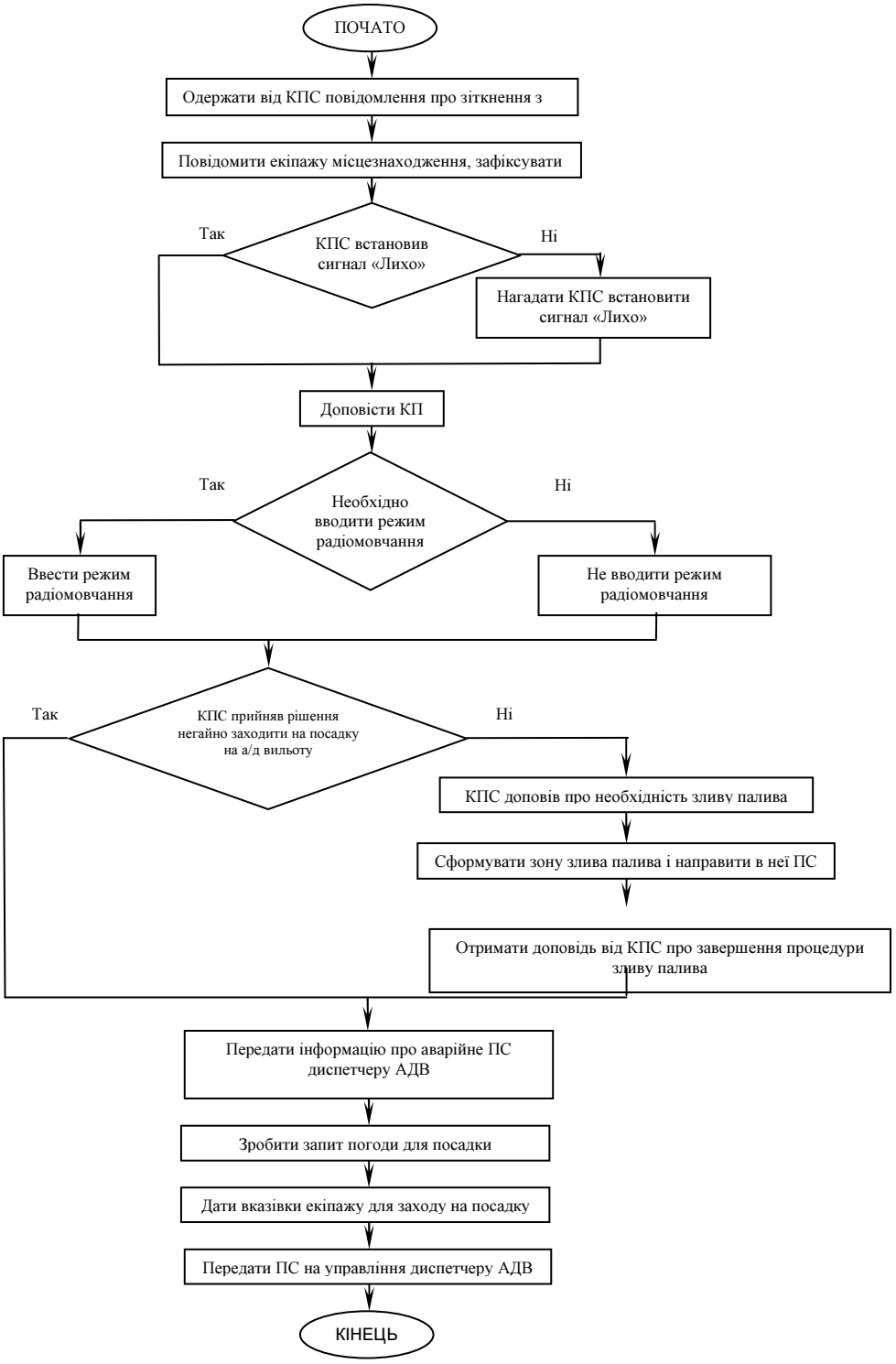


Рисунок 1 - Блок-схема алгоритму виконання операційних процедур диспетчером при виникненні ОВП – «зіткнення ПС з птахом»

5. Побудова мережевого графіку виконання операційних процедур диспетчером, направлених на пабрирування особливого випадку в польоті «зіткнення ПС з птахом»

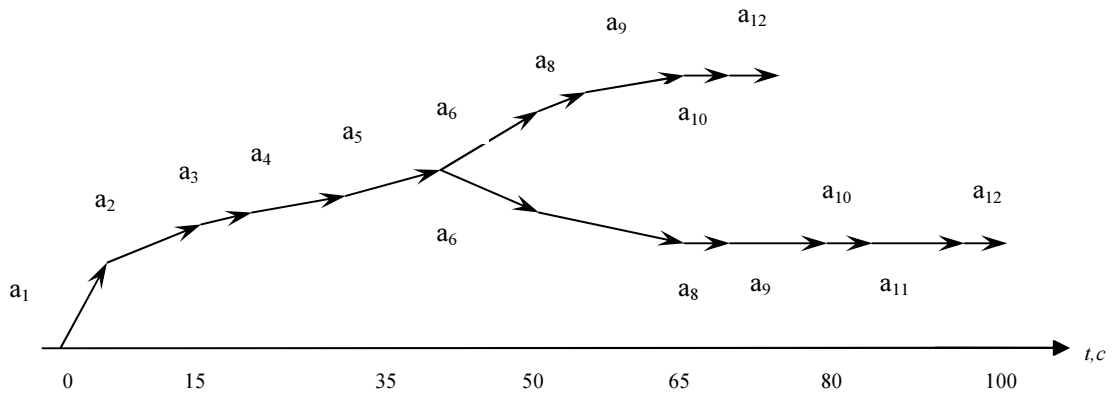


Рисунок 2 – Мережевий графік парирування ОВП «зіткнення ПС з птахом»

В результаті побудови мережевого графіка для ОВП «Зіткнення ПС з птахом» отримали, що критичний час, необхідний для парирування даного особливого випадку в польоті $T_{кр}$ складає 100с.

Висновки Застосування апарату теорії мережевого планування дає можливість якісно та кількісно аналізувати діяльність авіаспеціалістів про виникненні ОВП, зокрема визначати мінімальний та максимальний час, необхідний для парирування особливого випадку в польоті, а також визначати відповідні резерви часу на виконання тієї чи іншої операційної процедури.

Список літератури

1. Вентцель Е. С. Исследование операций. - М.: «Советское радио», 1972, 552 с.
2. Игнатьева А.В., Максимцов М.М. Исследование систем управления: Учеб. пособие для вузов. - М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2000. - 157 с.
3. Сікірда Ю. В. Моделювання системи підтримки прийняття рішень авіадиспетчера в позаштатних польотних ситуаціях: Дис. канд. техн. наук: 05.13.06 ; - Захищена 09.06.2004. - К., 2004. – 184 с.: іл.-Бібліогр.:с.83-85.
4. Поспелов Д.А. Моделирование рассуждений. Опыт анализа вычислительных актов. – М.: Радио и связь, 1989. – 184 с.
5. Соломенцев Ю. М., Митрофанов В. Г., Павлов В. В, Рыбаков А. В. Информационно-вычислительные системы в машиностроении. - М.: Наука, 2003. - 292 с.
6. Бєляєв Ю.Б., Шмельова Т.Ф., Сікірда Ю.В. Моделі та алгоритми формування рішень в системі підтримки прийняття рішень авіадиспетчера в позаштатних польотних ситуаціях // Автоматизація виробничих процесів. – 2004. – №2 (19). – С. 42–49.
7. Шмельова Т. Ф. Моделювання процесу прийняття рішень людиною-оператором авіаційної ергатичної системи з урахуванням впливу психофізіологічних та суспільно-психологічних факторів / Т. Ф. Шмельова, Ю. В. Сікірда // Наукові праці академії: зб. наук. пр. – Кіровоград: ДЛАУ, 2007.– Вип. XII. – С. 342-355.
8. Шмельова Т. Ф. Аналіз особливого випадку в польоті за допомогою мережевого графіка / Т.Ф.Шмельова, О.П.Бондар І.Л.Якуніна - Вісник НАУ. - К.: НАУ, 2011. - №2. – С. 50-54.
9. Якуніна І .Л. Мережевий аналіз особливого випадку в польоті / І.Л.Якуніна, Т.Ф.Шмельова, О.П.Бондар – Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету / Техніка в с/г виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація / Вип.24, Ч. ІІ - Кіровоград: КНТУ, 2011. - С. 214-218.
10. Положення про організацію роботи об’єктів обслуговування повітряного руху Украероруху; Затверд. 12.03.08

И.Якунина

Алгоритм построения детерминированной модели принятия решений человеком-оператором при парировании особенных случаев в полете

Приведены алгоритмы получения детерминированной модели – сетевого графика парирования особенного случая в полете авиационным специалистом, и алгоритм расчета сетевого графика. С помощью упрощенного алгоритма проведен анализ деятельности авиадиспетчера при возникновении особенного случая в полете «Столкновения ПС с птицей».

I.Yakunina

Algorithm of construction of the determined model of making decision a man-operator at the parry of the special cases the algorithms of receipt of the determined model are on wing

Resulted – network chart of parry of the special case on wing by an aviation specialist, and algorithm of calculation of network chart. By the simplified algorithm the analysis of activity of air traffic controller is conducted in case of occurring of the special case on wing «Stolknoveniya PS with a bird».

Одержано 18.04.12

УДК 621.396

О.М. Дрєєв, викл.
Кіровоградський національний технічний університет

Метод розвантаження телекомунікаційного сервера за рахунок кешування зображень

Робота містить аналіз проміжного зберігання перепакованих зображень для зменшення трафіку в телекомунікаційній мережі та підвищення оперативності передачі даних. В результаті дослідження виявлені ключові фактори, які впливають на якість роботи системи та розглянуто засоби відшукання їх оптимального значення.
телекомунікаційна мережа, підвищення оперативності, кешування

Вступ. В наш час телекомунікаційні системи розвилися в складну неструктуровану мережу, в якій відбувається передача інформації за допомогою комутаторів та маршрутизаторів між серверами та клієнтами. Терміном «трафік» позначають кількість переданої інформації, кількість пакетів за одиницю часу. Це характеризує інтенсивність використання сегменту мережі. В залежності від програмного та апаратного забезпечення на ділянці телекомунікаційної мережі є обмеження на трафік, яке називають пропускною спроможністю. При інтенсивному використанні мережі, для забезпечення доставки інформації використовують алгоритми перенаправлення потоків інформації по іншим більш довгим маршрутам для розвантаження даного сегменту. Це призводить до пониження оперативності доставки інформації, тому вводять алгоритми сортування трафіку для виділення критичних до часу доставки пакетів, з метою передачі їх в першу чергу по більш швидкому каналу. Менш важливі пакети або передаються перенаправленням по більш повільним шляхам, або ці пакети втрачаються. Аналіз вимог до доставки даних, показав, що необхідно

© О.М. Дрєєв, 2012

И.Якунина

Алгоритм построения детерминированной модели принятия решений человеком-оператором при парировании особенных случаев в полете

Приведены алгоритмы получения детерминированной модели – сетевого графика парирования особенного случая в полете авиационным специалистом, и алгоритм расчета сетевого графика. С помощью упрощенного алгоритма проведен анализ деятельности авиадиспетчера при возникновении особенного случая в полете «Столкновения ПС с птицей».

I.Yakunina

Algorithm of construction of the determined model of making decision a man-operator at the parry of the special cases the algorithms of receipt of the determined model are on wing

Resulted – network chart of parry of the special case on wing by an aviation specialist, and algorithm of calculation of network chart. By the simplified algorithm the analysis of activity of air traffic controller is conducted in case of occurring of the special case on wing «Stolknoveniya PS with a bird».

Одержано 18.04.12

УДК 621.396

О.М. Дрєєв, викл.
Кіровоградський національний технічний університет

Метод розвантаження телекомунікаційного сервера за рахунок кешування зображень

Робота містить аналіз проміжного зберігання перепакованих зображень для зменшення трафіку в телекомунікаційній мережі та підвищення оперативності передачі даних. В результаті дослідження виявлені ключові фактори, які впливають на якість роботи системи та розглянуто засоби відшукання їх оптимального значення.
телекомунікаційна мережа, підвищення оперативності, кешування

Вступ. В наш час телекомунікаційні системи розвилися в складну неструктуровану мережу, в якій відбувається передача інформації за допомогою комутаторів та маршрутизаторів між серверами та клієнтами. Терміном «трафік» позначають кількість переданої інформації, кількість пакетів за одиницю часу. Це характеризує інтенсивність використання сегменту мережі. В залежності від програмного та апаратного забезпечення на ділянці телекомунікаційної мережі є обмеження на трафік, яке називають пропускною спроможністю. При інтенсивному використанні мережі, для забезпечення доставки інформації використовують алгоритми перенаправлення потоків інформації по іншим більш довгим маршрутам для розвантаження даного сегменту. Це призводить до пониження оперативності доставки інформації, тому вводять алгоритми сортування трафіку для виділення критичних до часу доставки пакетів, з метою передачі їх в першу чергу по більш швидкому каналу. Менш важливі пакети або передаються перенаправленням по більш повільним шляхам, або ці пакети втрачаються. Аналіз вимог до доставки даних, показав, що необхідно

© О.М. Дрєєв, 2012

забезпечити не лише оперативність, але й надійність передачі даних. Але методи підвищення оперативності передачі даних в телекомунікаційних мережах з сучасними протоколами доступу і управління, критеріями і обмеженнями, враховуючих особливості передачі різного роду даних досліджені недостатньо.

Одним з методів підвищення оперативності передачі інформації у телекомунікаційній мережі є зменшення навантаження на сервери, за рахунок використання проміжних серверів, до яких відносяться системи зберігання інформації що проходить повз них, з подальшим повтором її видачі без звертання до основних серверів. Це зменшить навантаження на сервери телекомунікаційних мереж. При цьому, якщо проміжний сервер проводить додаткове стиснення інформації, обсяг трафіку стає значно меншим і завдяки цьому також підвищується оперативність обслуговування користувачів. В переважній більшості робіт по якості обслуговування в мережі [7,8,9], лише розглянуто аспекти гарантованого та оперативного доставлення інформації за рахунок відмов у доставках менш важливого контенту.

В цій роботі розглянуто та проаналізовано методику зменшення графічного трафіку в глобальній мережі, з метою виявлення основних параметрів, які впливають на оперативність і обсяг трафіку, та на основі зміни цих параметрів обрані засоби покращення системи.

Більшість користувачів отримують інформацію повністю, без врахування її важливості та актуальності. Натомість пропонується значно зменшити обсяг прийнятої інформації за рахунок втрати якості графічного вмісту. Проблемою є впровадження нового прогресивного формату кодування зображення, коли користувач має можливість переглянути зображення в поганій якості, а при потребі, дозавантажити зображення в максимально допустимій якості. Однак, це може допомогти лише при створенні нових документів, вже сформований контент буде доступний лише в старому форматі. Також наявні для вільного користування формати прогресивного завантаження зображення GIF та JPEG мають обмеження по застосуванню по властивостям зображення, також малоефективні при великих коефіцієнтах стиснення. Вирішенням є використання прогресивного кодування зображень на основі вейвлет перетворення SPIHT [1]. Підтримку формату можна забезпечити плагінами до вже існуючих програм, що дозволить користуватися вже створеними клієнтами телекомунікаційної мережі без змін та оновлень.

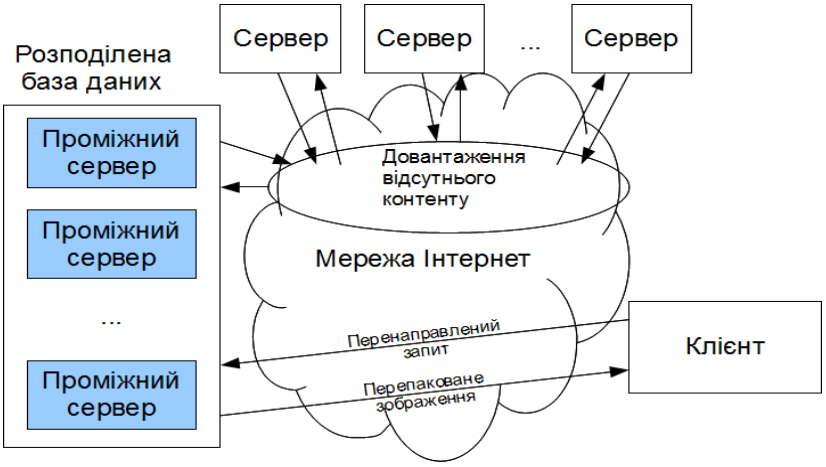


Рисунок 1 – Діаграма потоків інформації в системі кешування зображень

Забезпечення роботи з новим форматом проводиться за допомогою проміжного сервера. При отриманні посилання до графічного контенту, система звертається до проміжних серверів, на яких зображення вже зберігається в переформатованому

вигляді. В разі відсутності зображення в базі даних, проміжним сервером завантажується з оригінального джерела, перестискається у новий формат, і передається користувачу в перестисненому вигляді.

Постанова задачі. Метод не набув широкого використання, бо має певні недоліки наслідком яких є відсутність прискорення завантаження графічного контенту – виграш спостерігається лише в обсягу прийнятої інформації. Моделювання часових затримок та інформаційних потоків в залежності від кількості користувачів, дозволить виявити недоліки системи та розробити засоби їх подолання.

Побудова математичної моделі. Для системи розроблено модель для оцінювання максимальної та теперішньої оперативності та зміни оперативності в часі, в залежності від кількості користувачів. Визначення кількості користувачів системи проведено моделюванням розповсюдження чуток [2]. Використаємо умовні позначення:

T_1 – час на пряме завантаження зображення з серверів;

T_2 – час на завантаження перестисненого зображення;

T_3 – час на дозавантаження малюнка до проміжного серверу та його перепакування;

k – доля графічного контенту, що знаходиться вже в проміжних серверах кешування;

S – загальна кількість малюнків;

S_k – кількість малюнків занесених до серверів кешування ($k=S_k/S$);

L(t) – кількість користувачів системи, а L є їх максимальне значення.

Для оцінювання зміни кількості користувачів використано модель розповсюдження чуток. Загальна кількість малюнків в Інтернеті прийнято сталим числом, бо більшу частину часу малюнки становляться застарілими зі швидкістю рівною додаванням нових малюнків. В час збільшення швидкості додавання нових фото в Інтернет модель повинна коригуватися (поява доступної моделі цифрових фотоапаратів, резонансні події та інше). Результатом є математична модель зміни кількості кешованих зображень:

$$\frac{dk(t)}{dt} = \frac{\dfrac{\beta L(1-k(t))}{1+e^{-\alpha Lt+C}} - k(t)\upsilon_n}{S}, \tag{1}$$

де α, β, C – коефіцієнти моделі;

υ_n – швидкість появи нових зображень в телекомунікаційній мережі.

Середній час очікування завантаження зображення буде:

$$T(k)=(T_3+T_2)(1-k)+T_2k. \tag{2}$$

З останньої формули випливає, що оперативність системи залежить від долі кешованих зображень. Максимальну долю кешованих зображень при потенційній кількості користувачів L можна оцінити з (1) при $t\to\infty$ та $dk=0$.

$$k = \frac{\beta L}{\beta L + \upsilon_n}. \tag{3}$$

Аналіз параметрів системи. В результаті, на оперативність системи впливає кількість користувачів системи, в разі їх малості система втрачає оперативність при $T_1<T_2+T_3$ і спроможна лише зменшити обсяг трафіку за рахунок збільшення часу доставлення графічного контенту (початковий стан системи на рис. 2).

За допомогою чисельного розв'язання (1) та переходу до характеристики часу доставки інформації (2) можна побудувати динамічну характеристику оперативності обслуговування, рис. 2.

Основними параметрами, які впливають на оперативність системи, з співвідношень (2) та (3), є:

а) відношення об'єму між оригінальним зображенням та його перестисненою копією;

б) швидкість додавання нових зображень до бази, ця величина пропорційна активності користувачів, бо малюнок додається до бази при першому звернені до нього одного з користувачів.

Вплив кодеку графічного контенту на якість системи. На сьогодні для кодування зображення в телекомунікаційних мережах використовується в основному jpeg, хоч на сьогодні існують більш якісні алгоритми стиснення зображення засновані на вейвлет перетворенні. Для подібних систем можна віддати перевагу прогресивним методам стиснення, а саме формату збереження зображення заснованого на SPIHT кодуванні. При сумірній якості зображення вказаний алгоритм кодування є більш ефективним. Несумісність браузерів з новим форматом передачі зображення вирішується додаванням зовнішньої бібліотеки-плагіну. Прогресивне кодування дозволить не перезавантажувати відповідне зображення повністю, якщо користувач вирішить отримати зображення в повній якості, то достатньо лише дозавантажити його. На сьогодні ці проблеми залишаються відкритими.

Якість кодування зображення впливає на $T_2=T_1/g$, де g є відношенням початкового розміру зображення до його перестисненої копії. З (2) маємо:

$$T(k,g)= T_1 (1-k+1/g). \quad (4)$$

Практично, оперативність системи є максимальною при максимальних значеннях *k* та g. Тому кодування зображення повинне мати максимальну ефективність для забезпечення мінімізації не лише часу завантаження, але й оперативності системи.

Для підвищення ступеня стиснення зображення для зниженої якості попереднього перегляду автором пропонується вдосконалене SPIHT кодування, в якому проводиться відкладене уточнення величин значущих коефіцієнтів [10]. Це забезпечує першочергову передачу інформації про наявність деталей, і лише потім уточнюється їх контрастність. Цей захід дає можливість, при рівній кількості деталей, додатково зменшити обсяг даних на 5-50%.

Рисунок 2 – Зміна оперативності системи зі збільшенням кількості користувачів ($T_1=T_3$, $T_2=T_1/4$)

Залежність оперативності системи від кількості користувачів. З рис. 2, при малій кількості користувачів та швидкому під'єднанню до Інтернету, оперативність системи є низькою. Це може уповільнити завантаження графічного контенту. Тому швидкість додавання малюнків до бази даних потрібно підвищувати активним

пошуком на популярних ресурсах. Також для переходу системи до більш оперативного режиму, можна застосовувати рекламу для залучення більшої кількості користувачів.

Відказостійкість системи. На етапі активного використання системи можуть виникати відмови у обслуговуванні користувачів з причини не встигання обробки великої кількості запитів. За допомогою системи екстраполяції квазіперіодичних стаціонарних процесів [3], система надає інформацію клієнтам, і частина запитів проходить повз систему кешування, тим самим проводиться профілактика отримання відмови в обслуговуванні користувачів системи.

Висновки. Проведені дослідження показали, що головними характеристиками, які впливають на якість передачі даних у телекомунікаційній мережі, є достовірність, своєчасність та оперативність. Для вирішення задачі потрібно вирішити оптимізаційну задачу спрямовуванням часу доставки інформації T до мінімуму, при забезпеченні допустимої межі ймовірності втрати пакету інформації $Q_{доп}$. Визначено, що задачу можна вирішити шляхом зміни алгоритму доставки графічної інформації додаванням додаткової компресії, за рахунок чого з'являється можливість звільнення додаткових ресурсів, які можна використати для передачі інших повідомлень, котрі в іншому випадку були б перенаправлені по повільному каналу, або вилучені з черги.

Проведено аналіз системи проміжного перестискання графічного контенту телекомунікаційної мережі на основі математичного моделювання. Отримано математичні залежності між основними параметрами, на основі яких можна визначити:

1. Встановлено залежність оперативності систем і зменшення загального трафіку, від якості кодування графічного контенту та кількості активних користувачів системи.

2. Підвищення оперативності системи зменшення загального трафіку шляхом проміжного перепакування графічного контенту, гарантується використанням більш якісного кодеку зображення та підвищенням кількості користувачів. За допомогою (3) можна оцінити максимальне значення долі перепакованого графічного контенту; за формулою (4) можна оцінити зміну оперативності передачі даних.

3. При недостатній кількості активних користувачів система не дає підвищення оперативності і лише дозволяє зменшити обсяг трафіку графічного контенту.

Список літератури

1. Д.Сэломон. Сжатие данных, изображений и звука/ Сэломон Д. – М.: Техносфера, 2004.– 368 с.
2. Л. Клейнрок Теория Массового Обслуживания./ Клейнрок Л. М.: «Машиностроение». 1979.
3. Дрєєв О.М. Спектральний аналіз майже періодичних сигналів/ О.М. Дрєєв, З.Ю. Філер // Теорія та методика навчання математики, фізики, інформатики. Збірник наукових праць. Випуск 4. Том 3. - Кривий Ріг: Видавничий відділ НМетАУ, 2004. – С.64-68.
4. Смирнов А.А. Анализ и сравнительное исследование перспективных направлений развития цифровых и телекомуникационных систем и сетей. / А.А. Смирнов, В.В. Босько, Е.В. Мелешко // Системи обробки інформації. – Вип. 7 (74). – Х.: ХУПС, 2008. – С. 120-123.
5. Смирнов А.А. Разработка методики оценки среднего времени обслуживания информационных пакетов в телекоммуникационной сети / А.А. Смирнов, В.В. Босько, Е.В. Мелешко // Системи управління, навігації та зв'язку. – Вип. 2(10). – К.: ДП «ЦНДІНУ», 2009. – С.162-165
6. Мелешко Е.В. Математическая модель подсистемы управления и обслуживания в многопротокольном узле святи / Е.В. Мелешко // Збірник наукових праць Харківського університету повітряних сил. – Вип. 4(26). – Х.: ХУПС, 2010. – С.124-128.
7. Лемешко А.В. Вероятностно-временная модель QoS маршрутизации с предвычислением путей в условиях неидеальной надежности элементов телекомму-никационной сети // Радиотехника: Всеукр. межведомств. науч.-техн. сб. 2005. Вып. 142. С. 11-20.
8. Лемешко А.В., Евсеева О.Ю., Беленков А.Г. Обеспечение гарантированного качества связи при решении задач сетевого уровня ЭМВОС // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2003. Вып. 6 (6). С. 30-33.

9. Гольдштейн Б. С, Маршак М. А., Мишин Е. Д., Соколов Н. А., Тум А. В. Контроль показателей качества обслуживания с учетом перехода к сети связи следующего поколения // Техника Связи. - 2009. - № 1.
10. Дрєєва Г.М. Підвищення візуальної якості SPIHT кодування при сильному стисненні зображень / Г.М. Дрєєва, О.М. Дрєєв // Матеріали Дванадцятого Міжвузівського науково-практичного семінару Комбінаторні конфігурації та їх застосування. 14-15 жовтня 2011 року – Кіровоград 2011. – С. 27-29.

А. Дреев

Метод снижения нагрузки телекоммуникационного сервера за счет кэширования изображений

Работа содержит анализ промежуточного хранения перепакованных изображений для уменьшения трафика в телекоммуникационной сети и повышения оперативности передачи данных. В результате исследования выявлены факторы, которые влияют на качество работы системы и предложены средства их улучшения.

A. Dreyev

The method of unloading the telecommunication server by caching images

The paper contains an analysis of the intermediate storage of images. Images repacked to reduce traffic in telecommunication networks. This increased efficiency of data transmission. The analysis identified factors that affect the quality of the system and the proposed means of improving them.

Одержано 30.03.12

Зміст

М.И.Черновол, И.В.Шепеленко
Способы формирования антифрикционных покрытий на металлические поверхности трения……..3

І.І. Павленко, В.А. Мажара, В.І.Носуленко, М.О. Годунко
Дослідження продуктивності РТК з використанням промислових роботів встановлених на обладнанні……9

О.Р.Лузан, В.М.Сало, П.Г.Лузан, С.Я. Гончарова
Визначення умови руху неперервного потоку рослинних решток по стеблевідводу сошника……..15

С.А. Родимцев, Н.А. Потапов
Технические решения проблемы травмирования семян при обмолоте…….21

А.С. Лімонт
Технічне забезпечення збирання льонотрести ……...26

В.А. Дейкун, О.М. Васильковський, Г.Б. Філімоніхін
До визначення зони розсіву туків при відбитті від стержневого розсіювача ……..35

Д.Ю. Артеменко
Математична модель роботи удосконалених щік сошника просапної сівалки……41

Д.П. Журавель
Прогнозирование ресурса плунжерных пар топливных насосов ……..46

О.В. Нестеренко, О.М. Васильковський,
С.М. Лещенко, Д.І. Петренко, Д.В. Богатирьов
Перспективний напрямок інтенсифікації повітряної сепарації зерна……...49

О.В. Оришака, В.В. Гончаров, В.О. Оришака, А.О. Кравцов
Теоретичне дослідження установки безперервної дії для завантаження сипких матеріалів……...54

А.А. Панков, А.В. Щеглов
Анализ динамики удельного тягового сопротивления рядковых сеялок……...61

С.М. Лещенко, В.М. Сало, О.М. Васильковський, Д.В. Богатирьов, , В.В. Отт
Аналітична оцінка якості пневмосепарації на основі алгоритму функціонування зерноочисних машин…….68

Ю.О. Ковальчук, В.В. Дідур, В.В. Кравченко
Застосування лазерного зміцнення сталі 65Г для підвищення зносостійкості робочих органів ґрунтообробних знарядь……..74

І.Ф. Василенко, І.В. Шепеленко, М.В. Красота
Електричний опір порошкового дроту при формуванні покриття контактним наварюванням……81

К.М. Деркач
Розробка методу оцінки якості змішування розсипного комбікорму
з рідкою жировою добавкою ……85

М.А. Зиновик, Е.В. Зиновик
О форме петли магнитного гистерезиса тороидальных ферритовых элементов ……91

В.В. Аулін, В.В. Слонь, О.В. Кузик
Зміна фізико-хімічних показників моторної оливи дизелів автосамоскидів
в процесі експлуатації……98

В.А.Павлюк-Мороз, О.В. Крилов,В.М.Морозов
Застосування металофторопластових підшипників ковзання
у вузлах тертя шестеренних насосів……...104

Н.В. Ковальчук
Програма для визначення характеристики відцентрового насоса після
обточки робочого колеса……..108

М.А. Зиновик, Е.В. Зиновик
Влияние низкотемпературного отжига на структуру и свойства ферритов
системы Mg-Mn-Zn-Ca-Fe-O……112

І.І. Павленко, Д.В. Вахніченко
Аналіз робочого простору верстата з паралельною кінематикою……...117

В.М. Пестунов, В.М. Бабич
Вирішення проблем глибокого свердління нетрадиційними методами……..124

Я.І. Проць, П.С. Федорів, Ю.О. Цяпута
Дослідження струменевих пристроїв з множиною круглих отворів
для відділення листових заготовок……135

В.І.Носуленко, В.М.Шмельов
Електрична дуга як інструмент для розмірної обробки спряжених пар
робочих деталей розділових штампів……140

Т. Г. Сабірзянов, М. В. Кубкін, В. П. Солдатенко, В. В. Мартиненко
Узагальнена математична модель накопичувача енергії……...145

М.М. Підгаєцький, К.К.Щербина, Л.В. Копосова
Хонінгування отворів великих діаметрів……...151

В.М. Боков, О. Ф. Сіса, М.І. Попова
Гідродинаміка процесу біполярної обробки електричною дугою двох
твердосплавних валків……..155

Т.Г. Сабірзянов, П.Г. Плєшков, М.В. Кубкін, В.П. Солдатенко, В.В. Мартиненко
Шляхи удосконалення систем енергопостачання……..…161

І.І. Павленко, Д.В. Вахніченко
Визначення параметрів ВПК при виконанні свердлильних операцій…….166

Б.М. Гевко, А.Є. Дячун, Р.Р. Івасечко
Відпрацювання гвинтових робочих органів машин на технологічність конструкцій...173

В.М. Пестунов, М.В. Ткаченко, В.Ю. Шапошник
Підвищення точності обробки на металорізальних верстатах…….....178

І.*І. Павленко, М.О. Годунко*
Обгрунтування узгодження характеристик промислових роботів та їх захватних пристроїв……..188

Я.І. Проць, П.С. Федорів, Ю.О. Цяпута
Дослідження струменевих багатощілинних приводів захоплюючих пристроїв ……...193

В.М. Пестунов, В.В. Свяцький, С.В. Придворова
Оптимізація процесу обробки глибоких отворів……...200

В.П. Пукалов, В.В. Пукалов, Ф.И.Златопольский
Расчет напряжений при осадке полых осесимметричных тел……..210

В.І. Носуленко, О.В. Шелепко
Технологічні характеристики розмірної обробки електричною дугою непрофільованим електродом-інструментом…….213

В.М. Пестунов, В.В. Свяцький, С.В. Придворова
Механізми розвантаження інструменту при свердленні глибоких отворів……219

Ю.А. Невдаха, В.В. Пукалов, А. Ю. Невдаха
До руйнування зубців зубчастих коліс……...224

А.А. Калашник, Н.А. Ковришкин
Исследование микротрещиноватости частиц граната из концентрата Завальевского месторождения……...230

О.І. Скібінський, В.І. Гуцул, А.А. Гнатюк
Дослідження умов існування робочого профілю деталей позацентроїдних епіциклоїдальних цівкових передач внутрішнього зачеплення…….238

В.П. Пукалов, В.В.Пукалов, Н.Н.Петренко
Напряжённо-деформированное состояние метала при деформации осесимметричных тел с переменной площадью поперечного сечения…….242

М.М. Підгаєцький, Т.Г. Сабірзянов, К.К.Щербина, О.В. Лобода
Продукційний хонінгувальний верстат з адаптивно-програмним керуванням……..246

О.В. Лисенко, Є.С. Ігнатьєв
Розробка інструментальних систем з адаптивним управлінням
процесом обробки методом морфологічного аналізу……...252

О. Ф. Сіса
Засоби формування біполярного струму для
обробки дугою твердосплавних валків……...257

О.В. Артеменко
Информационная модель автоматизированной системы подготовки
предполетной информации……..264

А.А. Кузнецов, А.А. Смирнов, Е.В.Мелешко
Математическая модель и структурная схема стеганографической системы……....273

О.М. Сербул, В.О. Кондратець
Розробка та дослідження блока ідентифікації розрідження пульпи
в млинах з циркулюючим навантаженням…….282

А.П. Ладанюк, Д.А. Шумигай, Р.О. Бойко
Системна задача координації в технологічних комплексах неперервного типу……288

К.Г. Петрова, С.В. Серебренніков
Управління добовими графіками електричного навантаження
промислових споживачів техніко-технологічними методами……..294

Т. Г. Сабірзянов, О. І. Сіріков, М. В. Кубкін, В. П. Солдатенко
Алгоритм визначення густини потоку
сонячного випромінювання на довільно-орієнтовану поверхню……..303

В.Ф. Гамалій, С.І. Осадчий, М.В. Якорева
Дослідження макету автоматизованої лазерної системи контролю малих
концентрацій домішок в газових середовищах……..313

В.О. Кондратець, А.М. Мацуй, В.О. Шалімов, О.А. Лисенко
Розробка та дослідження САК струмовим режимом при вимірюванні
вмісту магнітного заліза в пробах……...322

Т.Г. Сабірзянов, М.В. Кубкін, В.П. Солдатенко, О. А. Козловський
Математична модель фотобатареї як
джерела електричної енергії……....331

Ю.И. Казанцев, А.Г. Младаховская
Метод расчета электрических нагрузок предприятий с массовым выпуском
однородной продукции…….336

Е.И. Зубко
Моделирование электрических свойств процесса изготовления
пористого кремния методом электролитического анодирования……343

В. В. Зінзура
Методи розв'язку задачі багатокритеріальної
оптимізації регулювання напруги в електричних мережах……..…350

Ю.И.Казанцев, Р.В.Мотрой
Исследование электропотребления и оптимальное размещение
компенсирующих устройств в системе электроснабжения
ремонтно-механического завода…….360

Ю.О. Єрмолаєв, Т.Г. Руденко
Обгрунтування впровадження системи плавного пуску для привода
фрез верстата СФ-АСТРА-РК8……365

Н.В. Смирнова, В.В. Смирнов
Определение параметров вольт-амперной характеристики дуги при
изменении величины межэлектродного промежутка …….. 372

В.В. Сидоренко, В.Ю. Малаховський
Основи побудови просторових інтерфейсів
введення-виведення інформації обчислювальних систем……378

О. А. Козловський, О. І. Сіріков
Автоматизована система технічної
діагностики проводів повітряних ліній електропередачі 6-10 кВ……383

М. В. Кубкін
Система вимірювання високої напруги на базі
силового трансформатора та її метрологічні характеристики……. 391

В.В. Сидоренко, В.Ю. Малаховський
Програмований просторовий інтерфейс управління принтером…….400

Г.С. Тимошенко
Моделювання системи планування завантаження повітряного судна……405

І.Л. Якуніна
Алгоритм побудови детермінованої моделі прийняття рішень
людиною-оператором при парируванні особливих випадків в польоті……..413

О.М. Дрєєв
Метод розвантаження телекомунікаційного сервера за рахунок
кешування зображень……..…….419

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ
КІРОВОГРАДСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

ТЕХНІКА В СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОМУ ВИРОБНИЦТВІ, ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ, АВТОМАТИЗАЦІЯ

Випуск 25

Частина І

Відповідальний за випуск І.В. Шепеленко

Комп'ютерна верстка І.М. Каліч

Тиражування О. Г. Каліч

Приватне підприємство «Ексклюзив-Систем»
Свідоцтво про реєстрацію № 05720-ПП-1 від 10.12.1996.
25006, м. Кіровоград, вул. Шевченка, 25
тел./факс 24-35-53

Здано в набір 20.04 .2012 Підписано до друку 23.04. 2012. Формат 60х84 1/8.
Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman Умов. друк. арк.53,75
Обл. вид. арк. 37,7. Наклад 300 прим. Замовлення №00052.