

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ 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 28

Кіровоград • 2015

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. 28. – Кіровоград: КНТУ, 2015. – 332 с.

У збірнику представлені статті, присвячені проблемам проектування та експлуатації сільськогосподарської техніки, технології виробництва, енергозбереження, автоматизації в промисловості та сільському господарстві. Наведені практичні рекомендації до використання 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 №9 від 8 червня 2015 року.

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

Редакційна колегія: Белоцерковський М.А., д-р техн. наук, проф. (Білорусь); Варума Аріфа, Dr PhD (Нігер); Віхрова Л.Г., канд. техн. наук, проф. (науковий редактор за напрямком “Автоматизація”); Гамалій В.Ф., д-р ф.-м. наук, проф.; Жорнік В.І., д-р техн. наук (Білорусь); Кириченко А.М., д-р техн. наук, доц.; Кропівний В.М., канд. техн. наук, проф. (заступник головного редактора); Осадчий С.І., д-р техн. наук, проф.; Осіпов І.М., канд. техн. наук, доц. (науковий редактор за напрямком “Техніка в сільськогосподарському виробництві”); Павленко І.І., д-р техн. наук, проф. (науковий редактор за напрямком “Галузеве машинобудування”); Петренюк А.Я., д-р ф.-м. наук, проф.; Сабірзянов Т.Г., д-р техн. наук, проф.; Сафонов В.В., д-р техн. наук, проф. (РФ); Смірнов О.А., д-р техн. наук, проф.; Філімоніхін Г.Б., д-р техн. наук, проф.; Шепеленко І.В., канд. техн. наук, доц. (відповідальний секретар).

Адреса редакційної колегії: 25030, 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 рішенням Атестаційної колегії Міністерства освіти і науки України в перелік наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватись результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук. Затверджений наказом Міносвіти і науки України № 1528 від 29.12.14р.

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

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 62-231:621.9.04

А.М. Кириченко, проф., д-р техн. наук, О.В. Шелепко, здобувач

Кіровоградський національний технічний університет, andrew.kirichenko@gmail.com

Вибір компоновки багатокординатного верстата паралельної структури з ланками змінної довжини

В статті розглянуті сучасні тенденції розвитку верстатів з паралельною структурою у машинобудуванні та металообробці. Проведено дослідження по вибору раціональнішого варіанту компоновки верстата «пентапод» за параметрами робочого простору і жорсткості.
верстат паралельної структури, пентапод, ланка змінної довжини, жорсткість, робочий простір

А. М. Кириченко, проф., д-р техн. наук, О. В. Шелепко, соискатель

Кировоградский национальный технический университет

Выбор компоновки многокоординатного станка параллельной структуры с штангами переменной длины

В статье рассмотрены современные тенденции развития станков с параллельной структурой в машиностроении и металлообработке. Проведено исследование по выбору рационального варианта компоновки станка «пентапод» за параметрами рабочего пространства и жесткости.
станки параллельной структуры, пентапод, штанга переменной длины, жесткость, рабочее пространство

Постановка проблеми. В умовах жорсткої конкуренції у машинобудівній галузі набуває особливого значення підвищення продуктивності і точності обробки. Для досягнення потрібної конкурентної спроможності продукції при використанні мінімальної кількості ресурсів і часу необхідно впроваджувати у виробництво новітнє технологічне обладнання, до якого в першу чергу відносяться верстати паралельної структури [1].

Обладнання з паралельною структурою можна розділити на верстати з ланками постійної і змінної довжини. Верстати з ланками змінної довжини мають ряд переваг: компактність, відсутність напрямних, проста конструкція станини, що не вимагає високої точності виготовлення [2].

На сьогоднішній день у провідних країнах світу ведеться розробка і впровадження у виробництво багатокординатного обладнання паралельної структури з ланками змінної довжини. Серед країн-виробників лідируючі позиції займають Німеччина, США, Японія. Інтенсивний розвиток виробництва даного обладнання спостерігається також в Італії, Франції, Швеції, Росії, Австрії.

Компанія Mikrolar (США) [3] розробляє і випускає обладнання паралельної структури, зокрема ряд моделей з ланками змінної довжини: верстат-гексапод Р3000 (рис. 1), який може здійснювати п'ятикоординатну гідроабразивну обробку, гексапод Р2100 (рис. 2), що може застосовуватися в якості поворотного столу або обробного модуля. Компанія Motoman Robotics планує використовувати модулі Р2100 для розширення технологічних можливостей роботизованих складальних ліній, що дозволить проводити механічну обробку.



Рисунок 1 – Верстат гексапод P3000 фірми Mikrolar (США)



Рисунок 2 – Обробний модуль P2100 фірми Mikrolar (США)

Японська фірма OKUMA займає провідне місце в світі по об'ємам виготовлення верстатів з ЧПУ. Одним з рішучих кроків фірми в розробці вертикальних обробних центрів є створення верстата PM600 (рис. 3) на основі паралельної структури з шістьма штангами змінної довжини [4]. Дана конструкція дозволяє забезпечити повний доступ до деталі, що обробляється при використанні більш ніж 20 типів інструментів. За допомогою цього верстата стає можливим обробка складних поверхонь і отворів під різними кутами.

Німецька фірма Metrom займається розробкою багатокординатних верстатів на основі механізму пентапод [5]. Вони забезпечують п'ять ступенів вільності робочого органу, а шоста співпадає з віссю обертання шпинделя. В порівнянні з гексаподами відсутня проблема зайвої ступені вільності робочого органу, що потребує окремого приводу і системи управління. Наприклад, п'ятикоординатний фрезерний верстат P1000 (рис. 4) [5] на якому можна здійснювати точіння, фрезерування, обробку фрезеруванням поверхонь обертання, некругле точіння, обробку фрезеруванням некруглих поверхонь обертання.

У порівнянні з верстатами традиційної компоновки, у верстатах паралельної структури за рахунок переміщення лише шпинделя, спостерігається висока динаміка і економія електроенергії (приблизно 40%) [5]. Завдяки невеликій кількості механічних складових спрощується обслуговування і технічний догляд, стає можливим комбінування на одному верстаті різних методів обробки (фрезерування, токарної обробки, лазерної обробки).

Основною проблемою конструювання при виготовленні верстатів паралельної структури з ланками змінної довжини є вибір найкращого варіанта компоновки. Оскільки дане обладнання, на відміну від традиційного, має складну форму робочого простору яку не можливо прорахувати знаючи лише граничні значення переміщення робочого органу по координатним осям, а параметри жорсткості системи верстата визначаються за рахунок математичних залежностей механізму. Тому для досягнення необхідних технічних характеристик верстата, слід опрацьовувати різні можливі варіанти компоновок, ще на етапі конструювання за допомогою розрахункових модулів і графічних програм.



Рисунок 3 – Верстат PM600 фірми OKUMA (Японія)



Рисунок 4 – Верстат P1000 фірми Metrom (Німеччина)

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Історія розвитку механізмів паралельної структури, різні види компонок і методи їх дослідження розглянуті у роботі [1]. Тенденції розвитку обладнання з механізмами паралельної структури були проаналізовані у роботі [2].

Для визначення робочого простору верстатів паралельної структури з ланками змінної довжини можна застосовувати метод геометричної побудови в середовищі SolidWorks [6, 7].

Кінематика пентапода розглянута в [8,9]. Спрощена схема механізму «пентапод» зображена на рис. 5 [7]. Розрахункова схема верстата «пентапод» для визначення жорсткості механізму зображена на рис. 6 [10]. Центри шарнірів основи розміщені в точках A_i , центри шарнірів рухомої платформи (робочого органа) – в точках B_i .

Загальна матриця жорсткості для просторового механізму паралельної структури типу «пентапод» визначається наступним чином [10]:

$$K = \sum_{i=5}^n k_n \cdot \begin{bmatrix} n_i \\ r_B \times n_i \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} n_i \\ r_B \times n_i \end{bmatrix}^T + k_x \cdot \begin{bmatrix} n_5 \\ r_B \times n_5 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} n_5 \\ r_B \times n_5 \end{bmatrix}^T, \quad (1)$$

де n_i - одиничний вектор осі штанги:

$$n_i = \frac{\left(R \cdot \left(z_{B_i} - \frac{(z_{A_i} - z_{B_i}) \cdot r_B}{\sqrt{x_{A_i}^2 + y_{A_i}^2 - r_B^2}} \right) + r_0 \right) - r a_i}{\left| \left(R \cdot \left(z_{B_i} - \frac{(z_{A_i} - z_{B_i}) \cdot r_B}{\sqrt{x_{A_i}^2 + y_{A_i}^2 - r_B^2}} \right) + r_0 \right) - r a_i \right|}, \quad (2)$$

де R – матриця повороту системи координат робочого органа відносно системи координат основи;

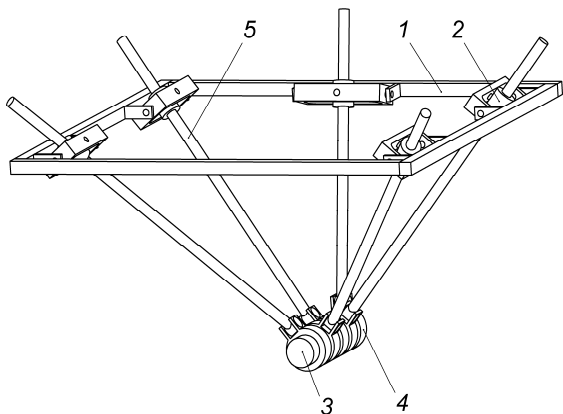
$x_{A_i}, y_{A_i}, z_{A_i}$ - координати точки A_i ;

z_{B_i} – координати точки B_i ;

r_B – радіус-вектор точки B_i в абсолютній системі координат основи;

r_0 – радіус-вектор початку координат робочого органа в системі координат основи;

ra_i – радіус-вектор точки A_i в абсолютній системі координат основи.



1 – основа; 2 – шарнір; 3 – робочий орган;
4 – шарнір; 5 – штанга змінної довжини

Рисунок 5 – Конструкція механізму «пентапод»

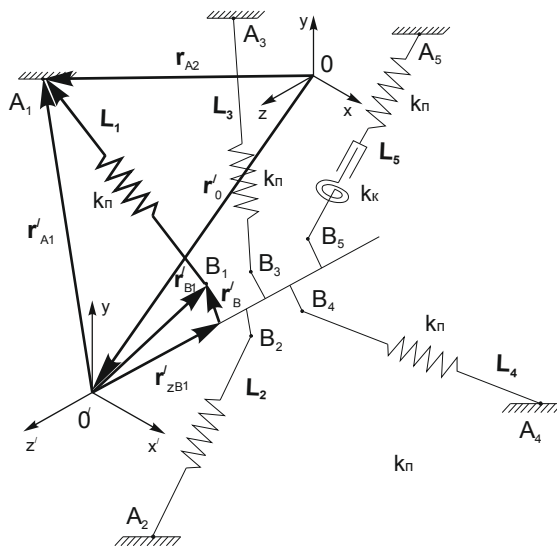


Рисунок 6 – Схема визначення матриці жорсткості

Об'єкт та методика дослідження. Для дослідження оптимального вибору конструктивних параметрів був обраний механізм паралельної структури типу «пентапод». Адже в порівнянні з іншими багатокоординатними верстатами на основі паралельної структури він має ряд переваг, одна з яких, розширені можливості орієнтації робочого органа.

При проектуванні верстатів в першу чергу приділяються увага величині робочого простору і жорсткості, так як вона безпосередньо впливає на точність обробки деталей. Для встановлення кращого варіанту по проектуванню верстатів паралельної структури типу «пентапод» було розглянуто кілька компоновок з різним розташуванням шарнірів на нерухомій платформі.

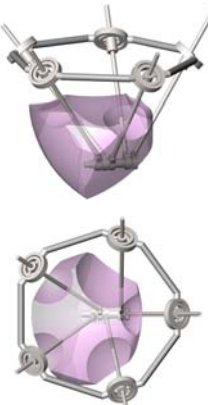

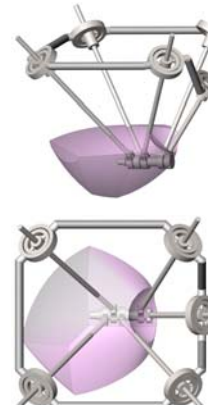
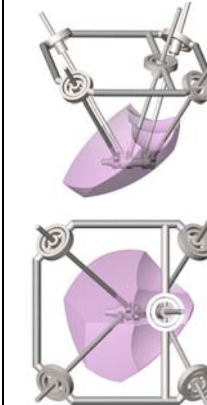
Діаметри окружностей розміщення шарнірів основи складають 1 м, кути які обмежують повороти верхніх карданних шарнірів складають 60° і 90° , діапазон зміни довжини штанг – 0,6 м.

Результати дослідження. Порівняльні результати розрахунків робочого простору і жорсткості різних видів конструкцій верстата на основі паралельної структури «пентапод» зведені в таблицю 1.

З таблиці видно, що робочий простір кожної конструкції має складну геометричну форму і в залежності від положення карданного шарніру п'ятої штанги змінної довжини змінюється не лише об'єм робочого простору, але зазнає суттєвих перетворень його форма, що в свою чергу вплине на вихідні технічні характеристики верстата і на спроможність обробки деталей різних розмірів.

Завдяки даному аналізу стає можливим вибір оптимальної компоновки верстата посилаючись на отримане технічне завдання від споживача без витрати коштів на виготовлення дослідного зразка.

Таблиця 1 – Характеристики робочого простору і жорсткості компоновок верстата паралельної структури «пентапод»

Порівняльні характеристики		№ конструкції			
		1	2	3	4
Графічне зображення робочого простору					
Робочий простір, м ³		0,1228	0,1217	0,0548	0,0460
Ранг матриці жорсткості		6	6	6	6
Визначник матриці жорсткості, $\times 10^{41}$		2,35	6,298	29,6	1,56
Середня жорсткість, $\times 10^6$ Н/м	x	85,9	86,2	86,2	76,8
	y	57,2	54,2	54	52,5
	z	356,8	359,7	359,5	370,6
Загальна середня жорсткість, $\times 10^6$ Н/м		166,6	166,7	166,6	166,6

Аналіз приведених результатів показує, що за величиною робочого простору кращими є конструкції 1 і 2, що в порівнянні з конструкціями 3 і 4 дозволить обробку більш габаритних деталей.

Загальна середня жорсткість для всіх конструкцій майже однакова, але для конструкції 2 середня жорсткість по осях має більш рівномірний характер розподілу в порівнянні з іншими конструкціями.

Таким чином, для виготовлення дослідного зразка багатокоординатного верстата паралельної структури доцільно використовувати варіант компоновки 2, що має кращі характеристики робочого простору та жорсткості.

Висновки. Розробка та дослідження верстатів на основі механізмів паралельної структури є важливим кроком у напрямку вдосконалення сучасного машинобудування, оскільки таке обладнання спроможне досягти високих показників продуктивності і гнучкості виробництва за рахунок особливостей своєї будови.

Завдяки приведеному аналізу розрахунків робочого простору і жорсткості обрано раціональний варіант компоновки дослідного зразка багатокоординатного верстата паралельної структури типу «пентапод».

Подальші дослідження потрібно спрямувати на підвищення вихідних характеристик верстатів паралельної структури з ланками змінної довжини, зокрема точності та просторової жорсткості.

Список літератури

1. Merlet J.-P. Parallel Robots. – Springer-Verlag New York Inc., 2006. – 394 p.
2. Гутьря С. С. Механізми паралельної структури в сучасному машинобудівному виробництві / С. С. Гутьря, В. П. Яглинський // Технологічні комплекси. – Луцьк : Вид-во ЛНТУ, 2010. – № 2. – С. 25-35.
3. Mikrolar [Електронний ресурс] // Офіційний сайт виробника. – Режим доступу до ресурсу: <http://mikrolar.com>.
4. Okuma [Електронний ресурс] // Офіційний сайт виробника. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.okuma.com>.
5. Metrom mechatronische maschinen [Електронний ресурс] // Офіційний сайт виробника. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.metrom.com>.
6. Кириченко А.М. Геометрична побудова робочого простору обладнання з механізмами паралельної структури / А.М. Кириченко, В.Б. Струтинський // Збірник наукових праць КНТУ. Техніка в с/г виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Вип. 24, ч.І. – Кіровоград: КНТУ, 2011. – С. 216-222.
7. Пономаренко О.В. Робочий простір п'ятикоординатного верстата з паралельною структурою / О.В. Пономаренко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин / Вип. 41, ч. II – Кіровоград: КНТУ, 2011. - С. 232-236.
8. Bär G. F. Kinematic Analysis of a Pentapod Robot / Gert F. Bär, Gunter Weiß // Journal for Geometry and Graphics 10 (2006). – No. 2. – P. 173-182.
9. Кириченко А.М. Кінематика п'ятикоординатного верстата з паралельною структурою / А.М. Кириченко, О.В. Шелепко, С.П. Сапон // Вісник ЧДТУ. Серія ТН. – Чернігів, 2013. - №67 (3). – С. 100-104.
10. Кириченко А.М. Просторова жорсткість верстата з механізмом паралельної структури «пентапод» / А.М. Кириченко, О.В. Шелепко, М.І. Черновол // Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Вип. 42, ч. II. – Кіровоград: КНТУ, 2012. – С. 187-190.

Andriy Kyrychenko, Olha Shelepko

Kirovograd National Technical University

A choice of arrangement of multicoordinate machine tool of parallel structure with variable length links

The aim of the article is to choose the layout of pentapod parallel kinematic machine after the criteria of workspace and spatial rigidity.

Several configurations with different arrangement of joints on a stationary platform are considered. The geometrical method is used to determine the workspace, and spatial rigidity is calculated using machine kinematics. It's proved that the workspace of each configuration has a complex geometric shape. Workspace volume and shape significantly depend on the arrangement of joints, which also affects the output specifications of the machine and its ability to process certain parts.

The conducted analysis made it possible to choose the layout of the machine according to customer requirements on stiffness and workspace.

parallel kinematic machines, pentapod, variable length link, stiffness, working space

Одержано 13.05.15

УДК 621.644:621.833.15

Ю.В. Кулешков, проф., д-р техн. наук, Т.В. Руденко, доц., канд. техн. наук, М.В. Красота, доц., канд. техн. наук, О.О. Матвиенко, доц., канд. техн. наук, Р.А. Осин, доц., канд. техн. наук

Кировоградский национальный технический университет, krasotamv@ukr.net

Экспериментальные исследования спектров шума шестеренного насоса с косозубым зацеплением

В статье приведены результаты испытаний шумовых характеристик экспериментального шестеренного насоса с косозубым зацеплением. Исследованы уровни звука, спектры шума экспериментального насоса с косозубым зацеплением, а также серийного насоса аналогичного типоразмера при разных режимах их работы. Выполнен сравнительный анализ шумовых характеристик насосов при разных нагрузках с целью оценки эффективности использования косозубых зацеплений в шестеренных насосах с точки зрения снижения шума.
зубчатое зацепление, шестеренный насос, шум

Ю.В. Кулешков, проф., д-р техн. наук, Т.В. Руденко, доц., канд. техн. наук, М.В. Красота, доц., канд. техн. наук, О.О. Матвиенко, доц., канд. техн. наук, Р.А. Осин, доц., канд. техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет

Експериментальні дослідження спектрів шуму шестеренного насосу з косозубим зацепленням

В статті наведені результати випробовувань шумових характеристик експериментального шестеренного насоса з косозубим зацепленням. Досліджено рівні звуку, спектри шуму експериментального шестеренного з косозубим зацепленням, а також серийного насоса аналогічного типорозміру при різних режимах їх роботи. Виконано порівняльний аналіз шумових характеристик насосів при різних навантаженнях з метою оцінки ефективності використання косозубих зацеплень в шестеренних насосах з точки зору зниження шуму.
зубчасте зацеплення, шестеренний насос, шум

Актуальность. Широкое применение шестеренных насосов (НШ) в гидравлических системах машин объясняется простотой и компактностью их конструкции, надежностью, малой трудоемкостью изготовления, удобством обслуживания, а также, в отличие от других типов объемных насосов, возможностью непосредственного их соединения с приводными механизмами. Однако, наряду с достоинствами, НШ обладают рядом существенных недостатков, одним из которых является высокий уровень шума, обуславливающий повышенную утомляемость оператора промышленного оборудования или транспортной системы, в которой используется насос.

Высокая виброакустическая нагруженность элементов НШ также является одной из основных причин снижения ресурса насосного агрегата. А потому, данная работа, посвященная экспериментальному исследованию шума в НШ и разработке мероприятий по его снижению, несомненно является актуальной.

Постановка проблемы. Шум в НШ является следствием гидродинамических процессов и механического взаимодействия его деталей насоса [1-5].

Шум в НШ шум в значительной мере обусловлен соударением зубьев шестерен, находящихся в зацеплении, и вибрацией самих зубьев. С увеличением нормального люфта в зацеплении уровень шума повышается. Частотная составляющая этих

колебаний, кратная числу рабочих органов НШ и числу его оборотов, является основной в спектре НШ. На эту частоту накладываются высокочастотные гармоники, а также частоты, вызываемые колебательным процессом в гидросистеме, и частоты, обусловленные прочими факторами (кавитацией рабочей жидкости колебаниями подшипников и пр.). В результате развивается сложный колебательный процесс и, соответственно, сложный звуковой спектр с широким диапазоном звуковых составляющих, многие из которых в несколько (15...20) раз превышают периодичность работы рабочих органов НШ.

Механический шум связан не только с точностью изготовления деталей зубчатого зацепления и корпуса НШ, но и с динамическими процессами, происходящими в процессе работы НШ. К этим процессам следует отнести деформации зацепления под нагрузкой, соотношением собственной частоты колебаний шестерни и частоты зацепления зубьев, контактированием зубьев шестерен и корпуса НШ, вследствие прижатия шестерен в направлении от зоны нагнетания к зоне всасывания.

Колебания давления рабочей жидкости в НШ, в основном, вызываются пульсацией потока жидкости, обусловленной законом перемещения рабочих органов (вытеснителей) насоса, а также особенностями рабочего процесса. Пульсации потока в результате гидравлического сопротивления выходной магистрали и сил инерции заполняющей ее упругой жидкости сопровождаются колебаниями давления, вызывающими вибрации (колебания) узлов самого насоса и элементов гидросистемы, которые, в свою очередь, сопровождаются звуковыми колебаниями.

Частотный спектр гидродинамического шума в НШ обуславливается колебаниями (пульсацией) потока рабочей жидкости и явлением «запирания» рабочей жидкости в отсеченной полости НШ.

Методами снижения механического шума являются повышение точности изготовления зубьев шестерен, введение дополнительных финишных операций, изменение формы зуба, профильная модификация зуба шестерни, замена прямозубого зацепления на косозубое, изменение характера нагрузки элементов зубчатого зацепления, замена материала одной из шестерен.

Для снижения пульсаций давления и подачи рабочей жидкости принимают меры по устранению запирания рабочей жидкости в отсеченной полости путем отвода избыточного давления в камеру нагнетания, замена прямозубого зацепления на косозубое, подбор рациональных параметров зубчатого зацепления (число зубьев, коэффициент перекрытия и т.п.) [1-5].

В настоящее время разработаны различные ППП и методики расчета зубчатого зацепления, которые позволяют автоматизировать моделирование косозубых и прямозубых цилиндрических зубчатых передач для автомобилей, наземных транспортных средств, а также общего машиностроения с целью оптимизации тех или иных характеристик. Эти методики дают возможность прогнозировать динамические характеристики системы зубчатых передач и нагрузки на ее компоненты, также проектировать зубчатые зацепления с заданными характеристиками.

Нами была разработана программа [7-9] ориентированная на оптимизацию параметров зубчатого зацепления по наперед заданному критерию оптимальности: удельному объему рабочей камеры НШ, удельной мощности, давлению и т. д.

С использованием упомянутого программного обеспечения было спроектировано ряд зубчатых зацеплений со сниженными шумовыми характеристиками. При проектировании усилия были направлены на снижение взаимодействия зубьев шестерен в момент начала зацепления и в момент выхода зубьев шестерен из зацепления.

Одним из полученных решений были рекомендации использования косозубого зубчатого зацепления для снижения шума в НШ.

Для подтверждения теоретических расчетов в данной работе были проведены исследования шумовых характеристик экспериментального насоса с косозубым зацеплением при различных режимах его работы.

Определение цели и задач исследований. Целью исследований является экспериментальные исследования уровня звука по линиям спектра экспериментального НШ с косозубым зацеплением и его сравнение с уровнем звука серийного насоса.

Методика исследований. Базируясь на теоретических и поисковых экспериментальных исследованиях, была разработана конструкция НШ с косозубым зацеплением с улучшенными функциональными и шумовыми характеристиками.

Для проведения сравнительного анализа использовали серийный насос, близкий по параметрам к экспериментальному по объему рабочей камеры и давлению. Для сравнения функциональных характеристик насоса с косозубым зацеплением в качестве базового насоса использовали НШ – 20М. Выбор этого насоса обоснован минимальными конструктивными отличиями от экспериментального.

В процессе экспериментальных исследований проверяли работоспособность экспериментального насоса путем определения его основных технических характеристик, а также исследовали влияния предложенных конструктивных изменений на шумовые характеристики экспериментального насоса.

В соответствии с разработанной программой экспериментальных исследований были определены акустические характеристик экспериментальных и серийного насосов и произведено их сравнение с характеристиками серийного насоса.

В частности, экспериментальные исследования акустических характеристик насосов включали следующие этапы:

а) определение уровня звука, излучаемого насосом в присутствии помех (шум привода стенда), на разных нагрузочных и скоростных режимах;

б) определение уровней звукового давления и звуковой мощности в октавных полосах частот, излучаемых экспериментальными насосами в присутствии помех (шум привода стенда) на разных нагрузочных и скоростных режимах;

в) определение уровня звука стенда, как характеристики помех на разных скоростных режимах;

г) определение уровней звукового давления и звуковой мощности стенда в октавных полосах частот на разных скоростных режимах;

д) определение уровней звука насосов и сравнение их с допустимыми значениями;

е) определение уровней звуковой мощности, излучаемой насосами по октавным полосам частот;

ж) анализ спектров полученных сигналов с целью оценки эффективности разных конструктивных решений по снижению шума.

Из приведенных этапов п. в и г являются промежуточными и необходимы для вычисления уровней звука насоса и уровней звуковой мощности насоса в октавных полосах.

Испытания проводились по стандартной методике в соответствии с ГОСТ 12.1.026-80.

Экспериментальные исследования проводились техническим методом [11] на испытательном участке после рабочего дня без дополнительной звукоизоляции объекта при постоянной температуре воздуха в слышимом диапазоне. Измерение частот проводилось в интервале от 63 Гц до 8 кГц.

При испытании изделий применяли стенд НШ ККД - 6 (DS 1036-4/N),

обеспечивающий привод НШ, его нагружение и определение основных технических характеристик НШ.

Измерительная часть стенда содержит шумомер ВШВ-003М2 1 класса точности по ГОСТ 17187-81 для точных лабораторных и натуральных экспериментов, предназначенный для измерения уровня шума по частотным характеристикам АВС (СТ СЭВ 1351 - 78), с пределом измерений 25-140 дБА

Полученные характеристики сравнивались с аналогичными характеристиками серийного насоса, а также с требованиями ГСТУ 3-25-180-97.

Изложение материала с полным обоснованием полученных научных результатов. Насос является основным возбудителем шума в гидравлических системах [1-6].

Частотный спектр возбуждаемого шума состоит из негармонических составляющих, вызванных колебаниями жидкости и механическими колебаниями (вибрациями) деталей насоса.

Анализ литературных источников, а также результаты собственных теоретических исследований показал, что одним из перспективных направлений снижения уровня шума в НШ является использование косозубого зацепления.

Результаты расчета косозубого зубчатого зацепления представлены в табл. 1.

Таблица 1 - Основные геометрические параметры косозубого зубчатого зацепления и серийного НШ

Наименования технического параметра	Геометрические параметры	
	Серийного НШ-20М «Master»	Экспериментальный насос с косозубым зацеплением
1. Модуль зубчатого зацепления, m , мм	4	4
2. Количество зубьев шестерен, z	11	11
3. Боковой зазор - Δs , мм	0	0
4 Угол наклона зубьев по делительной окружности, β , град	0	19
5. Межцентровое расстояние a_w , мм	45	45
6. Диаметр делительной окружности, d , мм	44	46,53
7. Диаметр основной окружности, d_b , мм	41,35	43,43
9. Коэффициент высоты головки зуба, h_a	1,15	1,162
10. Диаметр вершин шестерен, d_a , мм	54,12	54,1
11. Угол вершины эвольвенты - α_a , град	40,18	36,61
12. Диаметр впадин, d_f , мм	33,88	33,9
13. Толщина зуба у вершины шестерни, s_{na} , мм	1,27	2,27
14. Коэффициент перекрытия зубчатого зацепления ϵ_α	1,45	1,651
15. Шаг зацепления	11,81	11,81
18. Длина общей нормали	18,70	17,98
19. Ширина шестерни, b , мм	20	20
20. Рабочий объем насоса, V_0 , см ³	29,436	24,03
21. Длина большей оси НШ G , мм	99,12	99,12

Схема зубчатого зацепления экспериментального насоса представлена на рис. 1.

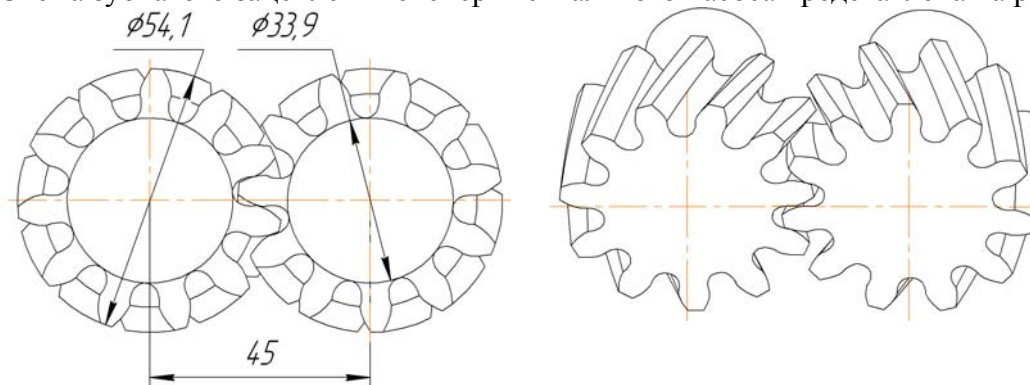


Рисунок 1 – Схема косоугольного зубчатого зацепления и торцевого сечения экспериментального насоса

Следует отметить, что проектирование экспериментального насоса с косоугольным зацеплением выполнялось с учетом минимальных изменений в конструкции в сравнении с серийным.

Исследование зависимости уровня звука от давления рабочей жидкости. Результаты экспериментальных исследований уровней звука насоса с косоугольным зацеплением в зависимости от давления на разных скоростных режимах представлены на рис. 2, серийного насоса на рис. 3.

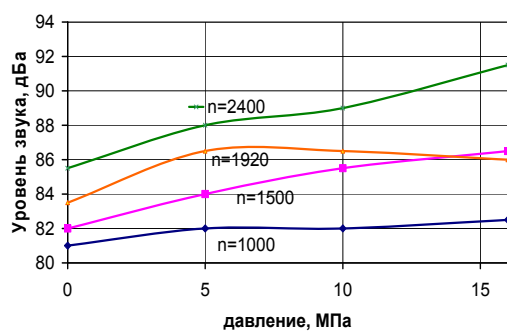


Рисунок 2 – Зависимость уровня звука экспериментального насоса от давления при разных оборотах

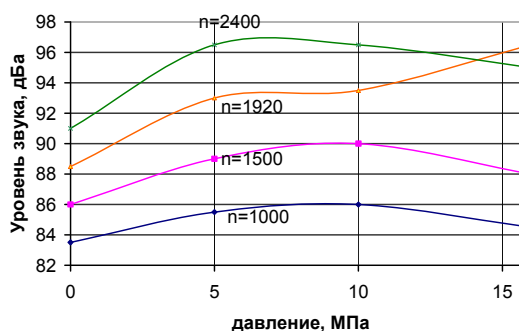


Рисунок 3 – Зависимость уровня звука серийного насоса от давления рабочей жидкости на разных скоростных режимах

Исследования уровня звука насоса с косоугольным зацеплением показывают, что с увеличением давления рабочей жидкости шумность насоса плавно возрастает на величину от 1,5 до 6 дБ в зависимости от скоростного режима. Наибольший прирост уровня звука происходит на частоте вращения 2400 об/мин (рис. 2).

Исследования уровня звука серийного насоса НШ в зависимости от давления рабочей жидкости показывают, что на скоростных режимах 1000, 1500 и 2400 об/мин уровень звука возрастает до достижения давления 10,0 МПа (рис. 3), далее происходит его плавное снижение. Только на частоте вращения 1920 об/мин наблюдается дальнейшее повышение уровня звука при увеличении давления до 16,0 МПа.

Исследование зависимости уровня звука от частоты вращения. При возрастании частоты вращения уровень звука насоса с косоугольным зацеплением возрастает от 4,5 дБ до 9 дБ в зависимости от давления. Наибольшие перепады уровня звука характерны для давления $P=16$ МПа (рис. 4).

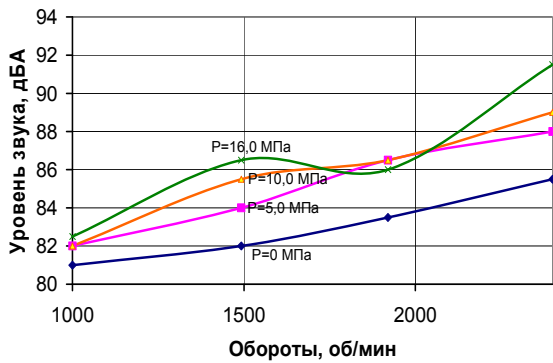


Рисунок 4 – Зависимость уровня звука насоса от частоты вращения НШ при разном давлении

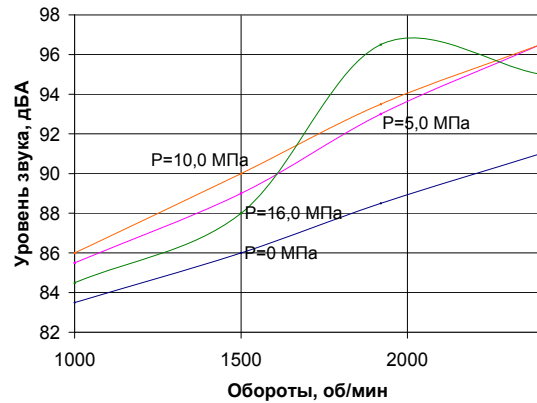


Рисунок 5 – Зависимость уровня звука серийного насоса от частоты вращения НШ при разном давлении

Результаты экспериментальных данных исследования уровня звука серийного насоса в зависимости от частоты его вращения представлены на рис. 5.

Анализ графиков представленных на рис. 4 и рис. 5 показал, что при давлениях 0, 5,0 и 10,0 МПа зависимость уровня звука от частоты вращения практически линейная, с увеличением частоты вращения от 1000 до 2400 об/мин уровень звука увеличивается на 7-11 дБА.

Спектральный анализ шума насоса. Анализ спектров шума насоса с косозубым зацеплением показывает наличие пиковых значений в области низких частот 250...300 Гц при частоте вращения $n=1000$ об/мин (рис. 6).

Зубцовые частоты для скоростных режимов насоса с косозубым зацеплением с числом зубьев шестерни $z=11$ составит соответственно при $n=1000$ об/мин $f_{зубц} = 183$ Гц, при $n=1500$ об/мин $f_{зубц} = 275$ Гц, при $n=1920$ об/мин $f_{зубц} = 352$ Гц.

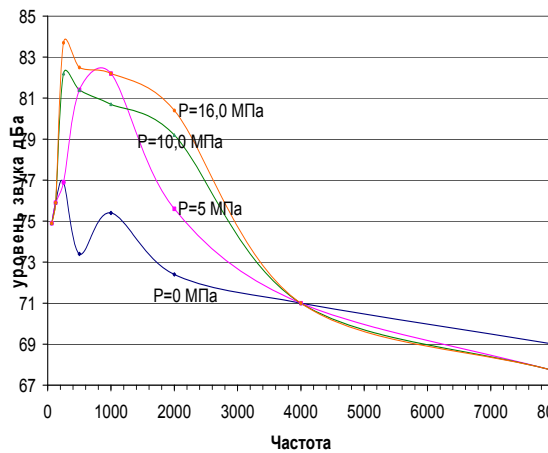


Рисунок 6 - Спектры шума насоса с косозубым зацеплением для разных давлений при частоте вращения $n=1000$ об/мин.

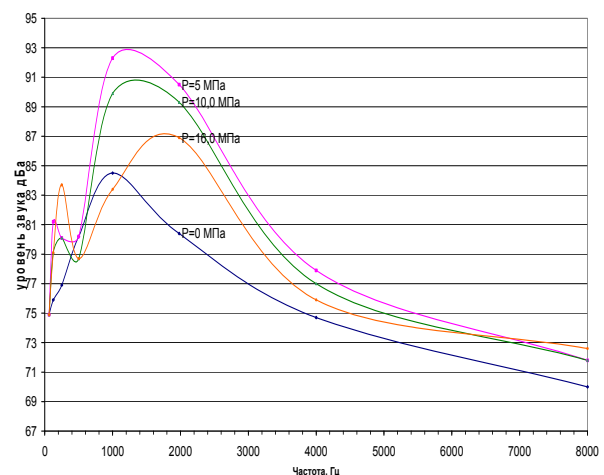


Рисунок 7 - Спектры шума серийного насоса для разных давлений при частоте вращения $n=1000$ об/мин.

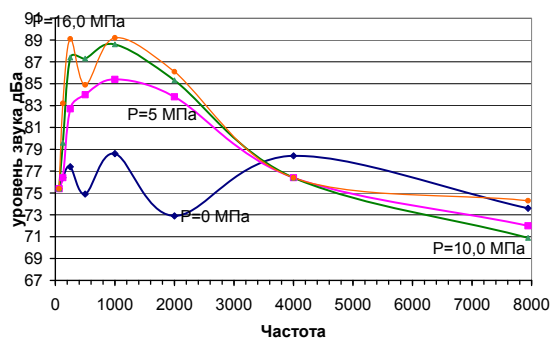


Рисунок 8 – Спектры шума насоса с косозубым зацеплением для разных давлений при частоте вращения $n=1500$ об/мин.

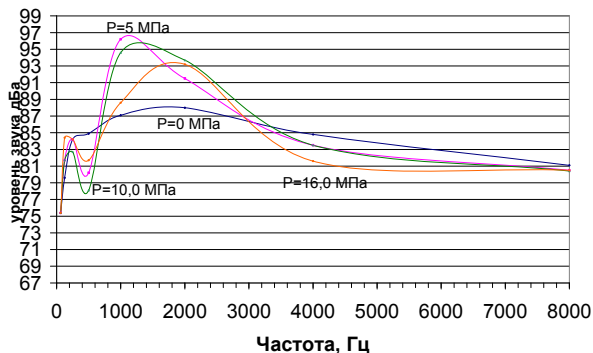


Рисунок 9 – Спектры шума серийного насоса для разных давлений при частоте вращения $n=1500$ об/мин.

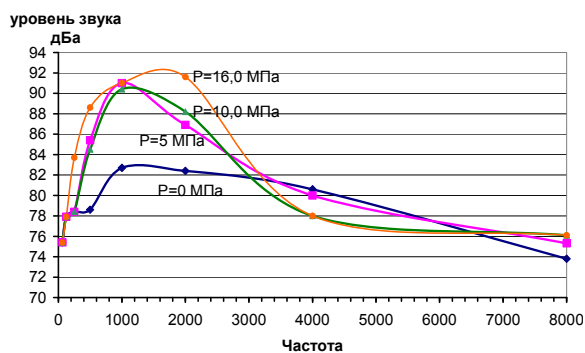


Рисунок 10 – Спектры шума насоса с косозубым зацеплением для разных давлений при частоте вращения $n=1920$ об/мин.

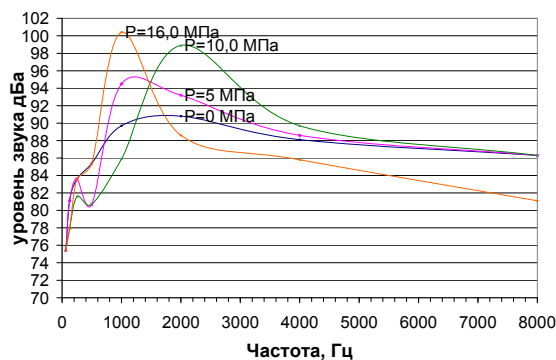


Рисунок 11 – Спектры шума серийного насоса для разных давлений при частоте вращения $n=1920$ об/мин.

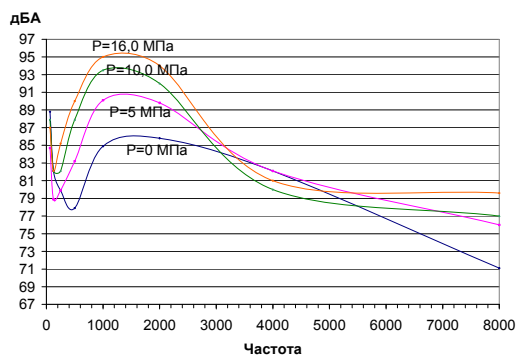


Рисунок 12 – Спектры шума насоса с косозубым зацеплением для разных давлений при частоте вращения $n=2400$ об/мин.

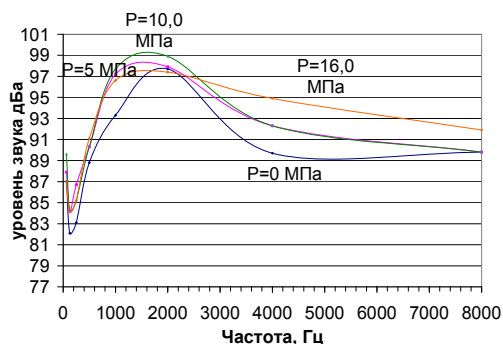


Рисунок 13 – Спектры шума серийного насоса для разных давлений при частоте вращения $n=2400$ об/мин.

Таким образом, максимальные значения уровня звука при частоте вращения $n=1000$ об/мин близки к зубцовой частоте, т.е можно предположить, что основным источником шума на данном скоростном режиме является зубчатое зацепление.

Однако, по мере увеличения частоты вращения (рис. 8, 10, 12) наблюдается

смещение пиковых значений в область 1200-1300 Гц, что указывает на наличие других источников шума, кроме зубчатого зацепления.

Спектры шума серийного насоса при разных давлениях и частотах вращения представлены на рис. 7, 9, 11, 13.

Анализируя спектры шума, полученные при частоте вращения $n=1000$ об/мин (рис. 7) можно заметить наличие двух пиков – на частотах 200-300 Гц и на частотах 1000...1100 Гц. Такой вид спектра шума характерен для всех давлений, на которых производились измерения.

Зубцовые частоты при числе зубьев $z=12$ для данного насоса имеют следующие значения при $n=1000$ об/мин $f_{зубц}=200$ Гц, при $n=1500$ об/мин $f_{зубц}=300$ Гц, при $n=1920$ об/мин $f_{зубц}=384$ Гц; при $n=2400$ об/мин $f_{зубц}=480$ Гц.

Первые пики совпадают или близки к зубцовым частотам, поэтому их появление характеризуется контактом эвольвент зубьев насоса. Вторые пики – большие по значению являются результатом излучения шума от другого источника (на данный момент происхождение не исследовано). Аналогичная картина наблюдается и на частотах вращения 1500, 1920 об/мин (рис. 9 и рис. 11), разница лишь в некотором смещении пиков в сторону больших частот. При частоте $n=2400$ об/мин (рис. 13) пики уровней звука сливаются в один.

Сравнение шумовых характеристик насосов при разной нагрузке. Результаты испытаний шумовых характеристик экспериментального насоса в зависимости от давления и его сравнительный анализ с данными серийного насоса представлены на рис. 14. Сравнения проводим на номинальных частотах вращения насоса.

Судя по графикам (рис. 14), при любом давлении рабочей жидкости уровень звука экспериментального насоса ниже, чем серийного.

При максимальном давлении рабочей жидкости (16,0 МПа) разница в уровне шума составляет порядка 3,5...4 дБ.

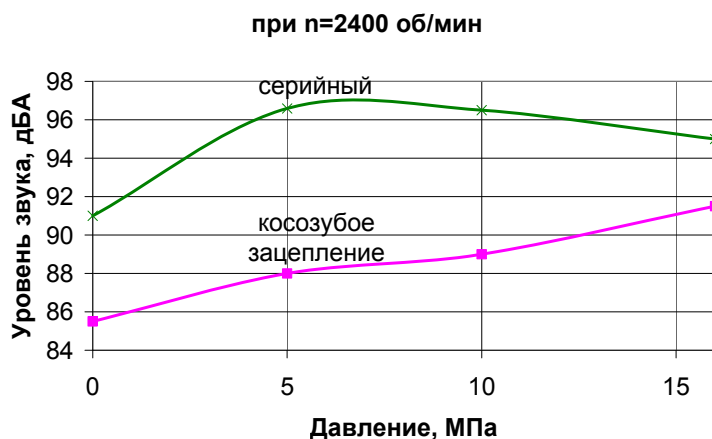


Рисунок 14 – Зависимость уровня звука от давления рабочей жидкости (при $n=2400$ об/мин)

Выводы.

1. Исследования уровня звука насоса с косозубым зацеплением показывают, что с увеличением давления уровень звука насоса плавно возрастает на величину от 1,5 до 6 дБ в зависимости от скоростного режима. Наибольший прирост уровня звука происходит на частоте вращения $n=2400$ об/мин. При возрастании частоты вращения уровень звука насоса с косозубым зацеплением возрастает от 4,5 дБ до 9 дБ в зависимости от давления.

Наибольшие значения уровня звука насоса с косозубым зацеплением (91,5 дБА) наблюдаются при давлении 16,0 МПа и частоте вращения $n=2400$ об/мин.

Анализ спектров шума насоса с косозубым зацеплением показывает наличие пиковых значений в области низких частот 250...300 Гц при частоте вращения $n=1000$ об/мин и плавное смещение пиковых значений в область частот 1200...1300 Гц.

2. Исследования уровней звука серийного насоса НШ-20М показывают, что максимальные значения уровня звука 96,5 дБА характерны для частоты вращения 2400 об/мин и давлений 5,0 и 10,0 МПа. При достижении давления 16,0 МПа наблюдается некоторое снижение уровня звука на большинстве скоростных режимов. Графики зависимости уровня звука серийного насоса от частоты вращения показывают практически прямолинейную зависимость шума от частоты вращения на большинстве нагрузочных режимах. Спектральный анализ шума серийного насоса, полученный при частоте вращения $n=1000$ об/мин показал наличие двух пиков – на частотах 200-300 Гц и на частотах 1000...1100 Гц. При частоте 2400 об/мин пики уровней звука сливаются в один. Такой вид спектра шума характерен для всех давлений, на которых производились измерения.

3. Сравнительный анализ экспериментального и серийного насосов позволяет утверждать, что уровень шума экспериментального насоса ниже на всех режимах в сравнении с серийным.

4. При испытаниях было отмечено, что уровень шума стенда, который является помехой, и при выполнении вычислений учитывался согласно рекомендаций ГОСТ 12.1.026-80, является достаточно высоким и на некоторых режимах по своему значению приближается к уровню испытуемого на стенде насоса. Согласно указанного ГОСТ если разница уровня помех и стенда не отличается больше 3 дБА, установить истинное значение уровня звука насоса невозможно.

5. Исследования спектров позволяет предположить, что в насосах с различным зацеплением имеют место другие источники шума кроме зубчатого зацепления, которые являются достаточно значимыми и вносят значительный вклад в общий уровень звука, излучаемого насосом. Выявление и исследование дополнительных источников шума в насосе может быть следующим этапом в исследованиях по снижению шума.

Список литературы

1. Башта Т.М. Машиностроительная гидравлика: [справочное пособие] / Башта Т.М. – М.: Машиностроение, 1977. – 672 с.
2. Рыбкин Е.А. Шестеренные насосы для металлорежущих станков/ Рыбкин Е.А., Усов А.А. – Г.: Машгиз, 1960. – 189 с.
3. Леонов А.Е. Насосы гидравлических систем и машин / Леонов А.Е. – М.-К.: Машгиз, 1960 – 226 с.
4. Юдин Е.М. Шестеренные насосы. Основные параметры и их расчет / Юдин Е.М. – [2-е изд. перераб. и доп.]. – М.: Машиностроение, 1964. – 236 с.
5. Рыбкин Е.А. Исследование и разработка конструкций шестеренных насосов/ Рыбкин Е.А., Усов А.А. – ЭНИМС, 1956. –178 с.
6. Борьба с шумом на производстве: Справочник под. ред Е.Я. Юдина М.: Машиностроение 1985. - 400 с.
7. Кулешков Ю.В. Шестеренные насосы с асимметричной линией зацепления шестерен / [Кулешков Ю.В., Черновол М.И., Без О.В., Титов Ю.А.] //Теория, конструкция и расчет.- Монография – Кировоград: «КОД», 2009. – 243 с.
8. Кулешков Ю.В. Усовершенствование математической модели мгновенной подачи шестеренного насоса / Кулешков Ю.В., Осин Р.А., Руденко Т.В., Матвиенко О.О. // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету «Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація». – Кіровоград, КНТУ. – 2008. – № 21. – С. 253 – 262.

9. Кулешков Ю.В. Исследование закономерностей изменения геометрических параметров зубчатого зацепления шестеренного насоса./ Кулешков Ю.В., М.И. Черновол, Т.В. Руденко, М.В. Красота С.О. Магопечь, К.Ю. Кулешкова. //Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин.– Кіровоград: КНТУ. – 2014. – вип. 44. – С. 31-41.
10. Скворчевский Е.А. Проектирование и изготовление гидроприводов машин с учётом обеспечения минимального уровня шума / Е.А. Скворчевский, Ю.И. Пеккер. – М.: Мосстанкин, 1979. – 120 с.
11. ГОСТ 12.1.026-80. Шум. Определение шумовых характеристик источников шума в свободном звуковом поле над звукоотражающей плоскостью. Технический метод.

Yuriy Kuleshkov, Tymofiy Rudenko, Mykhailo Krasota, Oleksander Matvienko, Ruslan Osin
Kirovohrad National Technical University

Experimental Research of the Noise Spectrums of a Gear Pump with Helical Toothing

The objective of the work is the experimental testing of the noise level by the lines of spectrum of the experimental gear pump with helical toothing and the comparison with the noise level of a serial pump.

The article presents the results of tests of noise characteristics of the experimental gear pump with helical toothing. The levels of noise, noise spectrums of the experimental gear pump with helical toothing and a serial pump of the analogical size with straight toothing were investigated using different operating modes. The comparative analysis of noise characteristics of the pumps under different load was carried out in order to estimate the efficiency of using helical toothing in gear pumps from the point of view of noise reduction.

Experiments of the noise level of a gear pump with helical toothing showed that with the increase of pressure of hydraulic fluid the level of noise slowly increases from 1,5 to 6 dB depending on speed mode. The highest noise level of a pump with helical toothing (91,5 dB дБА) is noticed under the pressure of 16,0 MPa and rotation frequency $n=2400$ revolutions per minute.

The comparative analysis of the experimental pump and a serial pump enables to state that the noise level of the experimental pump is lower in all operating modes compared to the serial pump.

During tests it was marked that the noise level of the stand which is a barrier is quite high and under some operating modes it is close to the noise level of the experimental pump on the stand.

toothing, gear pump, noise

Одержано 08.04.15

УДК 621.891.539.375.6

Mykhailo Chernovol, Prof., DSc., Igor Shepelenko, PhD, Budar Mohamed R.F., post-graduate

Kirovohrad National Technical University, ivsepelenko@mail.ru

Selection of a processing medium for the finishing antifriction nonabrasive treatment

The article includes the systematized information on processing mediums used for FANT. The role of processing medium components for producing antifriction coatings with the complex of tribotechnical properties has been shown. On the basis of well-known compositions, conditions for coating formation as well as the functional and technological requirements for FANT processing mediums, the procedure has been proposed for developing and choosing the composition of processing medium for laying the coatings by applying FANT method.

finishing antifriction nonabrasive treatment, processing medium, composition, coating

© Mykhailo Chernovol, Igor Shepelenko, Budar Mohamed R.F., 2015

М.И. Черновол, проф., д-р техн. наук, И.В. Шепеленко, доц., канд. техн. наук, Будар Мохамед Р.Ф., асп.

Кировоградский национальный технический университет

Выбор состава технологической среды для ФАБО

В статье систематизированы имеющиеся сведения о технологических средах, используемых при ФАБО. Показана роль компонентов технологических сред для получения антифрикционных покрытий с комплексом триботехнических свойств. На основе анализа известных составов, условий формирования покрытий, а также функциональных и технологических требований, предъявляемых к технологическим средам для ФАБО, предложен порядок разработки и выбора состава технологической среды для нанесения покрытий методом ФАБО.

финишная антифрикционная безабразивная обработка, технологическая среда, состав, покрытие

Problem description. One of the methods for laying the copper-bearing antifriction coatings on friction surfaces of workpieces is the finishing antifriction nonabrasive treatment (FANT) carried out by laying the friction coating of plastic metals. The condition required for carrying out FANT successfully is the introduction of special technological liquid into the contact area -processing medium that moistens the surface being machined, loosens the oxide layer, plasticizes the surface and creates the conditions for fastening the metals together. The processing medium mainly defines the quality of surface obtained and the efficiency of FANT process. However, the widespread use of FANT is slowed down because of lack of efficient processing mediums for the friction coating. The improvement of FANT methods and development of new technological devices for performance of the said methods will become possible only in case of systematizing the approaches to the creation of processing mediums [1].

Today there is no theory for creating the processing mediums, and the majority of their compositions is worked out on the basis of component selection as a result of tests. Despite the availability of various processing mediums for FANM, there is no single composition that would enable the machining of a wide spectrum of metals. It is apparently connected with the complex technical, physical and chemical requirements for the processing medium compositions.

In this connection, there has risen the necessity in systematizing the available information on processing mediums as well as recommendations for choosing their composition. It will allow choosing the most effective components from the whole variety of compositions and, therefore, obtain the high quality coatings and increase FANT efficiency.

Objective of the task. The objective of this task is the development of algorithm for choosing the composition components for FANT processing mediums.

Results of research. The structural and technological peculiarities of the workpiece being machined, as a rule, define the method of FANT performance [2] as well as the selection of a processing medium composition (Table 1).

Taking into account that while carrying out FANT through frictional and mechanical method, the coatings are laid without significant changes in composition and structure of the laid coating (the material of a tool is transferred to the steel or iron surface of a workpiece), the role of processing mediums is in cleaning the workpiece surface from oxides.

While using the frictional and chemical method, the structure of coating mainly depends on processing medium compositions such as metal plaque processing mediums (MPM), including the film-forming material as one of the components (copper salts are recommended), and also the components ensuring the removal of oxides (acids, glycerine, etc) from the workpiece surface, the transfer and adhesion of ions of film-forming material while mechanical activation of the tool surface. Physical, mechanical and antifriction properties of these coatings are defined by the ingredients included into the composition of MPM.

Table 1 — Peculiarities of methods for FANT coating

Method of FANT coating	Main area of application	Method of coating	Mechanism of coating formation	Requirements for processing medium composition
Frictional and mechanical	The revolution surfaces of simple forms such as cylinders, tores (cylindrical rings), bodies (cases), etc.	Machining the rotating workpieces by a rotating tool in the processing medium	Laying the coating by using the friction of a metal tool against the workpiece in the processing medium	The ability to get softened and dissolve the oxide films, and not to interact with deposited metal; not to change its composition while machining, and very good wettability
Frictional and chemical	Not large parts of irregular shapes such as balls, bearing assemblies, etc. Polysurfaces of large parts such as sliding guides, sheet materials, etc.	Placing in the processing medium; treatment with a brush, etc.	Laying the coating by using the friction of a non-metal tool against the workpiece in the processing medium	The availability of polar groups in molecules affecting the surface activity of compositions
Chemical	The revolution surfaces of simple and irregular shapes	The treatment of rotating parts (workpieces) with a felted cloth, rubber in the processing medium	Self-formation (without external power) of metal coating on the surface of a workpiece and placed into the processing medium	The content of ions of metal coated

The experience of carrying out FANT in MPM, containing inorganic copper compounds and superficially active substances, allow obtaining the antifriction coatings of copper, stannic, bismuth and other materials with the controlled thickness 1...25 microns [3]. As MPM, the authors of works [4, 5 and others] use the metal plaque additives.

The processing medium composition is worked out on the basis of component selection according to the results of tests which are performed in two stages [6]:

- technological tests for the selection of component composition;
- tear and wear tests for defining the technical efficiency of processing mediums.

It should be noted that the majority of processing mediums used for FANT includes glycerine which is applied as a model processing medium and which performs the function of selective transfer while pair bronze-steel friction much easier than others.

However, the use of pure glycerine as the processing medium has the following shortcomings such as:

- low efficiency of the process as a result of necessary significant efforts for pressing against the rubbing tool [1];
- low quality of coating laid [7];
- the composition of material transferred from the rubbing tool does not differ from the reference one;
- insufficient extreme pressure and antiwear properties.

So, as a result of experimental researches, for increasing the coating quality the various components are additionally put into the processing medium composition.

Thus, depending on FANT method and the device for its performance, the authors of work [8] have recommended the processing medium compositions to be used for laying the copper-bearing coatings.

The quantitative content of glycerine ensures the optimal viscosity and required concentration of superficially active substances as a result of tribodestruction of glycerine while friction.

In case the content of metal salts is lower than 1,5%, the formation of thickness uniform coating can't be ensured, while the extreme pressure and antiwear properties of the machined workpiece are getting lower. In case the content of metal salts is over 1,5%, the intensive corrosion of the machined surface and coating can be observed.

The hydrochloric acid ensures the rapid destruction of oxide films on the surface being machined.

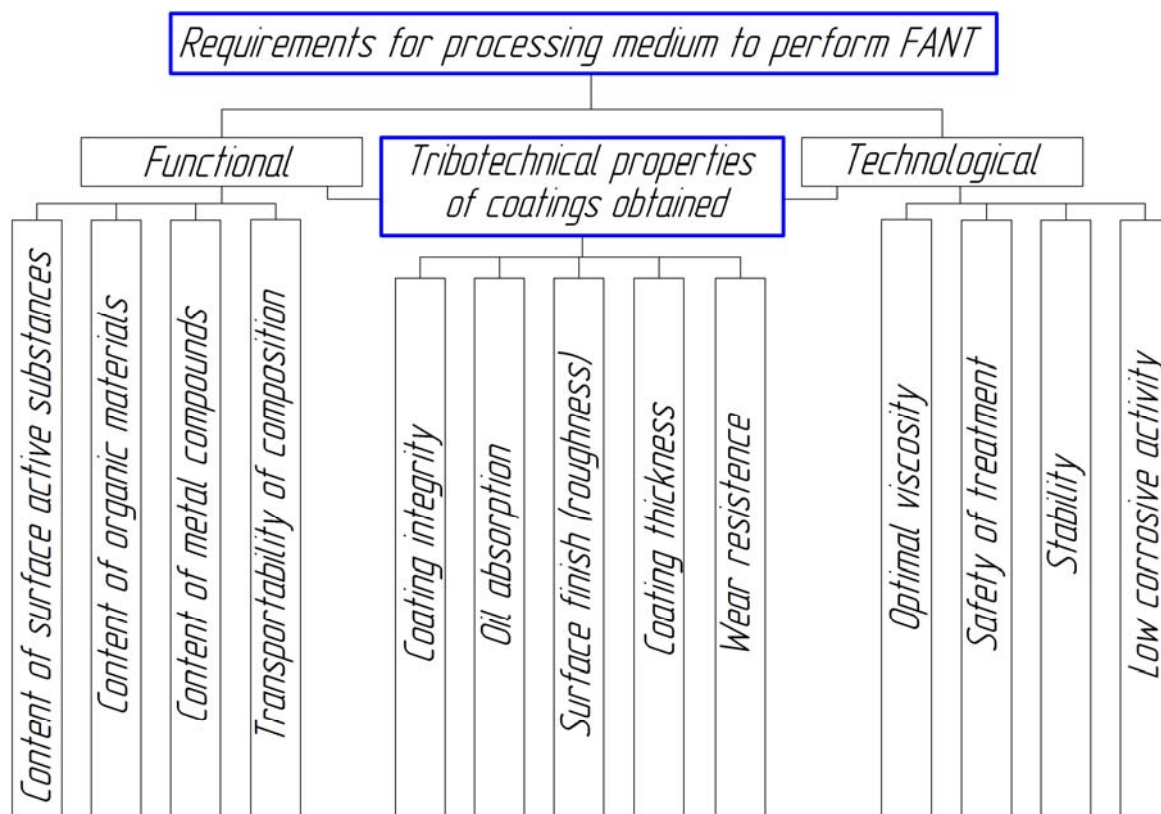
The water produces the cooling effect and has a very good dissolving power in relation to the other components of composition, and allows controlling the composition viscosity.

Introducing the other components into the processing medium composition for FANT is intended for increasing the efficiency (Trilon B) [9], coating thickness (oleinic acid, isopropyl alcohol) [10], quality of machining the alloy steel (ortho-phosphoric acid) [7], for removing the oxide films from the surface being treated (oxide of silicon) [11], and other properties.

The processing medium composition for FANT, as a rule, is laid with the brush or sponge on previously cleaned and defatted surface of the workpiece fixed in the chuck. The high viscosity of the composition requires the development of special devices for its feeding to the surface being machined as a result of high viscosity. Therefore, the processing medium composition for FANT should be performed as water solution that does not include active deoxidants. It will allow feeding it to the working zone through the standard cooling system of the machine tool (lathe).

The work [1] covers the main functional and technological requirements imposed on the processing medium regardless of the method of FANT and aimed at obtaining the complex of tribotechnical properties received as a result of its use (fig. 1).

The main criterion of processing medium quality is the complex of tribotechnical properties of coatings that should be assessed according to the following indices: coating integrity, oil absorption, surface finish (roughness), thickness of coating, wear resistance.



Figures 1 — Requirements for the processing mediums to carry out FANT

The final stage of processing medium development is carrying out the tests to define the technical efficiency of FANT technology with the processing medium proposed.

Conclusion. The analysis of compositions and requirements imposed on the processing mediums for FANT, and also the conditions for antifriction coating formation, has allowed considering the issue of creation and selection of the processing mediums consistently. The following procedure (algorithm) is proposed for working out (selection) of the processing medium composition for FANT:

1. The analysis of design and technological features of the workpiece (material, solidness, surface finish, working conditions).
2. Selection of FANT method (frictional and mechanical; frictional and chemical; chemical).
3. Development of FANT technology (selection of tool design and materials, coating, and method for inputting the processing medium).
4. The selection of component composition on the basis of functional and technological criteria alongside with obtaining the complex of tribotechnical properties (see Fig.1)
5. Approval of processing medium.

References

1. Балабанов В.И. Повышение долговечности двигателей внутреннего сгорания сельскохозяйственной техники реализацией избирательного переноса при трении: дис. ...докт. тех. наук / В. И. Балабанов. – М., 1999. – 342 с.
2. Гаркунов Д.Н. Финишная антифрикционная безабразивная обработка (ФАБО) поверхностей трения деталей / Д.Н. Гаркунов // РВМ (Ремонт. Восстановление. Модернизация). – 2009. – № 3. – С. 36-41.

3. Некрасов С.С., Паршин И.П., Приходько И.Л. Антифрикционные покрытия деталей и эффективность их применения: Обзорн. информ.// Госагропром СССР. – М.: АгроНИИТЭИИТО, 1988. – 26 с.
4. Челюбеев В.В. Разработка и оптимизация режимов фрикционного латунирования для улучшения приработки гильз цилиндров двигателей в условиях ремонтного производства: дис. ...канд. тех. наук / В. В. Челюбеев. – М., 1998. – 108 с.
5. Соколенко И.Н. Технология поверхностного упрочнения гильз цилиндров двигателей раскатыванием с одновременным нанесением медного покрытия при их восстановлении: дис. ...канд. тех. наук / И.Н. Соколенко. - Саратов: 1990. – 150 с.
6. Быстров В.Н. Повышение экологической надежности бензиновых двигателей фрикционным нанесением покрытия/ В.Н. Быстров, В.А. Титов// РВМ (Ремонт. Восстановление. Модернизация). – 2010. – №3. – С.30-35.
7. 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.
8. Емелин В.И. Быстров В.Н. и др. Рекомендации по применению металлоплакирующих присадок и технологии нанесения медьсодержащих приработочных и антифрикционных покрытий при ремонте и эксплуатации машин/ Красноярский ПромстройНИИпроект – Красноярск, 1990. – 34 с.
9. А.с. №831861 СССР кл. С23с17/00. Устройство для фрикционно – механического нанесения покрытий на внутренние поверхности. Цветков С.В., Чекулаев О.В., Агеенко В.Н., Терешкин С.А. Бюл.№19, 1981.
10. Прокопенко А.К. Повышение срока службы трущихся деталей и инструмента машин легкой промышленности и бытового назначения в процессе эксплуатации: автореф. дисс. . докт. техн. наук/ А.К. Прокопенко. - М., 2000. – 51 с.
11. А.с. №1203126 СССР кл. С23с26/00. Состав для нанесения покрытий. Прокопенко А.К., Гаркунов Д.Н., Бурумкулов Ф.Х. и др. Бюл.№1, 1986.

М.І. Черновол, проф., д-р техн. наук, І.В. Шепеленко, доц., канд. техн. наук, Будар Мохамед Р.Ф., асп. Кіровоградський національний технічний університет
Вибір складу технологічного середовища для ФАБО

Метою даної роботи є розробка алгоритму вибору компонентів складу технологічного середовища для ФАБО. Це дозволить із усього різноманіття вибрати найбільш ефективний склад технологічного середовища, тим самим одержати якісні покриття й підвищити продуктивність ФАБО.

Для цього в статті систематизовані відомості про технологічні середовища, що використовуються при ФАБО. Показана роль компонентів технологічних середовищ для одержання антифрикційних покриттів із комплексом триботехнічних властивостей. Проаналізовані основні функціональні й технологічні вимоги до технологічних середовищ, що застосовуються при ФАБО, спрямовані на досягнення комплексу триботехнічних властивостей.

На основі аналізу відомих складів, умов формування покриттів, а також функціональних і технологічних вимог, що висувують до технологічних середовищ, запропонований порядок розробки й вибору складу технологічного середовища для нанесення покриттів методом ФАБО.

фінішна антифрикційна безабразивна обробка, технологічне середовище, склад, покриття

Одержано 01.04.15

УДК.521.787.044

Є.К.Солових, проф., д-р техн. наук, В.В.Аулін, проф., канд. фіз.-мат. наук, А.Є.Солових, доц., канд. техн. наук, С.Є.Катеринич, доц., канд. техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет, Кіровоград, katerinichs@ukr.net

Підвищення функціональних властивостей гальванічних полімерометалевих покриттів на основі міді при проточному нарощуванні зношених поверхонь

В статті наведені результати досліджень на зносостійкість, тривалість припрацювання спряжених поверхонь, стійкість до захоплювання композиційних гальванічних покриттів, які містять фенілон і дисульфід молибдену, а також оптимальні концентрації полімерних частинок в електроліті – суспензії для формування покриттів з підвищеними фізико-механічними характеристиками.
композиційні електролітичні покриття, твердозмашувальна плівка, крайовий кут змочування, поверхнево-активні речовини, дисперсна фаза, механодеструкція полімера, електроліт-суспензія

Е.К. Соловых, проф., д-р техн. наук, В.В. Аулин, проф., канд. физ.-мат. наук, А.Е. Соловых, доц., канд. техн. наук, С.Е. Катеринич, доц., канд. техн. наук
Кировоградский национальный технический университет, Кировоград
Повышение функциональных свойств гальванических полимерометаллических покрытий на основе меди при проточном наращивании изношенных поверхностей

В статье приведены результаты исследований износостойкости, длительности приработки сопряжений, стойкости к схватыванию композиционных гальванических покрытий, содержащих дисульфид молибдена и фенилон, а также оптимальные концентрации полимерных частиц в электролите – суспензии для формирования покрытий с повышенными физико-механическими свойствами.
композиционные электролитические покрытия, твердосмазывающая пленка, краевой угол смачивания, поверхностно-активные вещества, дисперсная фаза, механодеструкция полимера, электролит-суспензия

Постановка проблеми. В світовому машинобудуванні сформувався пріоритетний напрямок – технології поверхневого зміцнення і нанесення функціональних покриттів.

Можливість створення виробів з унікальним поєднанням властивостей основного матеріалу і поверхневого шару обумовлює зростаючий інтерес підприємств машинобудування та інших галузей промисловості до більш широкого використання цього потенціалу [1].

Одним із перспективних шляхів підвищення функціональних властивостей поверхонь деталей є створення композиційних матеріалів на основі конгломератів металів і полімерів, які здатні поєднувати в собі найкращі властивості згаданих речовин [4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При відновленні та зміцненні поверхонь деталей широке застосування знаходять композиційні електролітичні покриття (КЕП), які являють собою металеву матрицю з відносно рівномірно розподіленими в ній дисперсними частинками наповнювача. Композиціями різноманітних матеріалів матриці і дисперсної фази (ДФ) можливо не тільки отримувати велику кількість різноманітних видів КЕП, але і цілеспрямовано змінювати покриття згідно заданих умов експлуатації [2, 3, 4].

Особливий інтерес викликають КЕП триботехнічного призначення, тобто зносостійкі і антифрикційні покриття. З цієї точки зору найбільш раціональним є нанесення КЕП проточним електролізом і діаксильним подаванням електроліту – суспензії [7], матрицею у яких є мідь яка володіє високою теплопровідністю, а в якості другої фази використовуються мілко дисперсні порошкові матеріали з високими антифрикційними властивостями [4, 5]. Ефективним способом підвищення надійності і довговічності вузлів тертя машин і механізмів є забезпечення повного розділювання поверхонь тертя деталей мастильною плівкою. Підвищення мастилоутворюючої здатності поверхонь забезпечує надійність їх змащення [5, 6]. Тому викликає велику практичну цікавість дослідження впливу плівок дисульфіда молібдену і фенілону на змащуваність поверхонь тертя мінеральним мастилом.

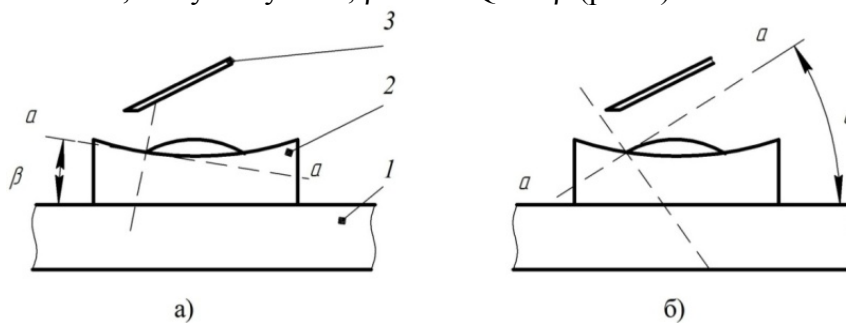
Постановка завдання. В роботі поставлені і вирішувалися наступні завдання:

- вивчення впливу антифрикційних частинок, при різному їх вмісті в покритті, на тривалість припрацювання спряжень і стійкості до зчеплювання;
- порівняльні дослідження зносостійкості КЕП на основі міді та електролітичних шарів «чистої» міді в умовах граничного і сухого тертя.

Методика досліджень. Дослідження проводили на машині тертя СМЦ-2 за схемою «ролик-колодочка» при постійній швидкості ковзання 1 м/с., покриття наносили на зразки із бронзи ОЦС-5-5-5. Із бронзи нарізали колодочки з площею внутрішньої поверхні 1×10^{-4} м². В якості контртіла використовували ролики, виготовлені зі сталі 45 ГОСТ 1050-88 із твердістю 40-45 HRC₃. Температуру поблизу зони тертя фіксували за допомогою термопари типу «ХК» і потенціометра ПСМГ-0,1. Величину зносу при вивченні зносостійкості визначали зважуванням на аналітичних вагах ВЛА-200М з точністю до 10^{-7} кг. через кожні 5×10^3 м. шляху тертя.

Випробування на зносостійкість проводили при постійному навантаженні $P=2,5$ МПа. Визначення критичних навантажень зчеплювання здійснювали ступеневим навантаженням зразків. Вихідне питоме навантаження у всіх випадках – 1,0 МПа. Інтервал навантаження 0,5 МПа. Перехід із одного питомого навантаження до наступного проводився після стабілізації моменту і температури тертя. Такий же порядок навантаження зберігався при визначенні тривалості припрацювання.

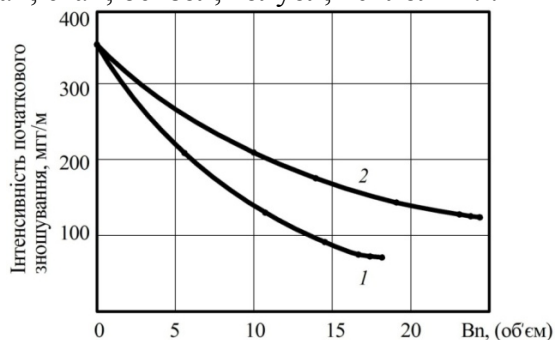
Оцінювання змащування поверхонь мінеральним мастилом «чистих» мідних покриттів, плівками дисульфіда молібдену і фенілону проводилося за крайовим кутом змащування Q за допомогою інструментального мікроскопу ММУ. Перед визначенням Q зразки обезжирювалися бензином, спиртом і ацетоном. У якості мінерального мастила використовували мастило М-8Б, яке наносили шприцем, закріпленим під кутом 45° до поверхні зразка. Відстань між скосом голки шприця і зразком вибиралася такою, щоб капля не плющилась а протікала на зразок. Крайовий кут змащування зразків Q визначався, як сума кутів α ; β тобто $Q=\alpha+\beta$ (рис.1).



а – кут β ; б – кут α ; 1 – підставка; 2 – зразок; 3 – голка шприця

Рисунок 1 – Визначення крайового кута змочування поверхонь відривів

Результати досліджень. Проведені дослідження показали, що тривалість припрацювання спряження «покриття-сталь» зменшується при введенні в покриття антифрикційних дисперсних частинок (рис.2). Час припрацювання скорочується зі збільшенням насиченості осадків частинками дисперсної фази, а отже, зони тертя високомолекулярними сполученнями (при використанні фенілону). Інтенсивне скорочення періоду припрацювання спостерігається, завдяки високій молекулярній вазі полімера та малій енергії активації механодеструкції. Продуктами деструкції для фенілона є CO_2 , O_2 , метан, етан, бензол, толуол, ксилол і т.і.

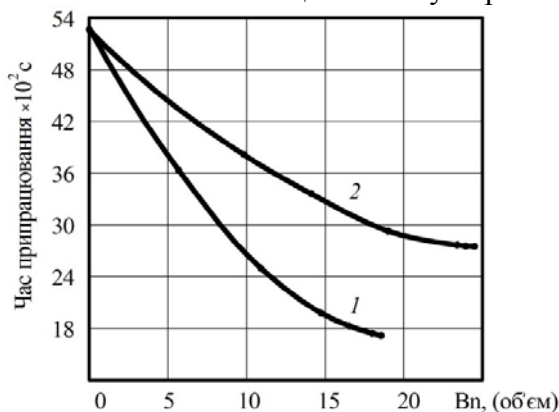


1 – дисульфід молибдену; 2 – фенілон

Рисунок 2 – Залежність початкового зношування спряження КЕП – сталь від вмісту ДФ в покритті (V_p)

При збільшенні вмісту в покритті фенілону більш 24% (об'ємн.) інтенсивність зношування практично не змінюється (рис.3).

При введенні у покриття дисульфїда молибдену останній діє подібно поверхнево-активним речовинам (ПАР), що є одним із найважливіших факторів, що полегшують припрацювання, при цьому спостерігається адсорбційне пластифікування поверхневого шару, а також збільшення площі контакту спряжених поверхонь.



1 – дисульфід молибдену; 2 – фенілон

Рисунок 3 – Залежність початкового зношення спряження КЕП – сталь від вмісту ДФ в покритті (V_p)

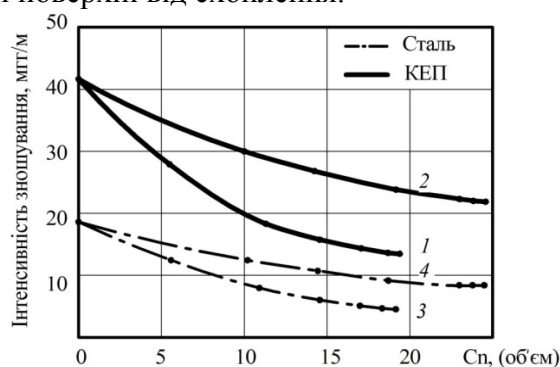
В основі механізму фрикційного переносу при терті полімерометалевих композиційних покриттів має місце їх здатність утворювати змащувальні шари (вторинні структури) на контактуючих поверхнях, які зберігають матеріал контртіла від підвищеного зносу, задирів на контактуючих поверхнях, глибоких виривів і зчоплення, які характерні при терті. Утворення вторинних структур супроводжується механокрекингом полімерів і поступовим переносом продуктів фрикційної взаємодії на контактуючу поверхню завдяки силам адгезії, що визначають час припрацювання пари тертя.

Інтенсивність зношування КЕП на основі міді з включеннями фенілону і сталевим контртілом при випробуванні без змащування (рис.4), коли особливо посилюються деструкційні процеси, різко зменшуються при збільшенні кількості полімеру в покритті до 24% (об'ємн.), а при подальшому підвищенні кількості полімеру в покритті настає стабілізація інтенсивності зношування.

Змащувальна здатність твердих неорганічних мастил (графіт, дисульфід молібдену і т.і.) визначається деякими значними факторами, одним із яких є наявність сприятливої структури.

Для твердих мастил характерна пошарова будова, коли атоми розташовуються у вигляді площинних шарів чи гофрованих паралельних пакетів, які складаються із декількох шарів. Кристалічна структура дисульфиду молібдену складається із пакетів з трьома шарами (шар атомів молібдену розташовується між двома шарами сірки). Зв'язок сірки з металом ковалентний, а зв'язок із сіркою – ван – дер – ваальсовий, який значно слабше ковалентного. Наявність слабких ван – дер – ваальсових сил між шарами – пакетами є одним із головних факторів, що визначають змащувальну дію твердих мастил, а саме, дисульфиду молібдену. Якісне зчеплення півки з поверхнею металу і легке ковзання пластин забезпечує дисульфиду молібдена високі антифрикційні властивості.

Виявлено, що зносостійкість до схоплення і зносостійкість покриттів з фенілоном і дисульфідом молібдену при граничному терті вище ніж «чистої» електролітичної міді. Результати досліджень свідчать, що найбільш інтенсивно підвищуються антифрикційні властивості КЕП при вмісті 24% (об'ємн.) полімера і 17,5% (об'ємн.) MoS_2 . При подальшому підвищенні об'єму дисперсної фази антифрикційні властивості КЕП підвищуються у незначній мірі. Підвищення стійкості до схоплення і зносостійкості КЕП з полімерними добавками в умовах «сухого» і «граничного» можливо пояснити наступним. Під дією деформаційних і температурних полів, що виникають у процесі тертя, на поверхні покриття з фенілоном генерується тонка полімерна півка. Поєднання високої теплопроводності мідної матриці і малий супротив зсуву полімерної півки сприяє зниженню температури у зоні тертя (рис.5) і коефіцієнту тертя (рис.6). Окрім того, внаслідок взаємодії продуктів механодеструкції полімера з поверхнею металу утворюються полімерометалеві з'єднання, які також уберігають контактуючі поверхні від схоплення.



1, 3 – дисульфід молібдену; фенілон – 2

Рисунок 4 – Залежність зношування КЕП (1, 2) і сталевих контртіл (3, 4) від вмісту ДФ в покритті (V_n)

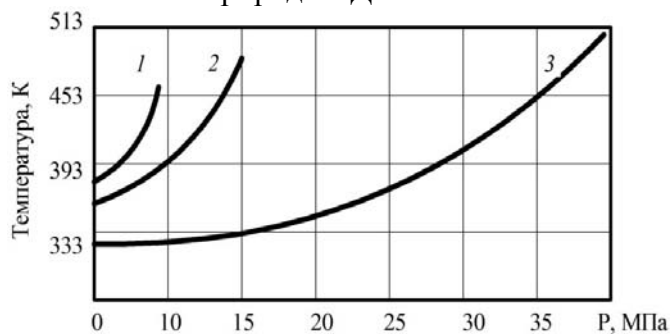
При використанні в КЕП дисульфиду молібдену навіть при невисоких навантаженнях і швидкостях ковзання на металевих поверхнях в місцях фактичного контакту утворюється суцільна півка [4]. Прямий металевий контакт запобігається завдяки здатності MoS_2 видержувати великі навантаження (вище межі текучості) без

руйнування і в умовах легкого ковзання шарів – пакетів відносно один одного. Температура тертя і коефіцієнт тертя також значно зменшується (рис.5, 6).

Про наявність антифрикційних плівок судили по зміні крайових кутів змочування (рис.1), а також по морфології поверхні тертя «чистої» електролітичної міді. У КЕП з фенілоном і покритті з включеннями дисульфиду молібдену, швидкість розтікання мастила по поверхні КЕП після шліфування, а також і після процесу тертя, вище ніж у «чистої» міді, що свідчить про кращу їх змочуваність, а також напевне говорить про наявність твердозмащувальної плівки.

Дослідження топографії поверхонь тертя покрить які вивчалися показали, що навіть при меншому об'ємі вмісту в покритті дисульфиду молібдену плівка займає більшу площу, ніж полімерна.

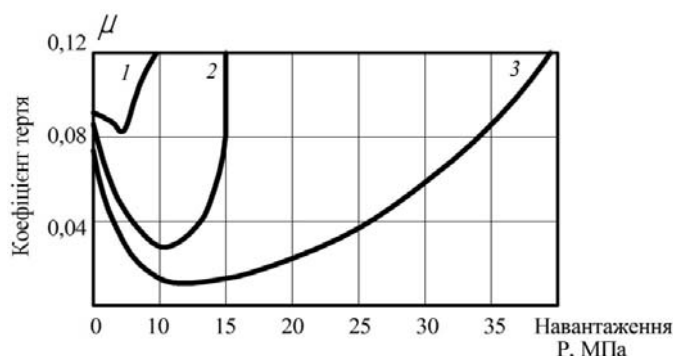
Таким чином встановлено, що зносостійкість КЕП з фенілоном у 2,0...2,2 рази, а з дисульфідом молібдену у 2,9...3,5 рази вище, ніж «чистої» електролітичної міді, це пов'язане з утворенням на поверхні тертя твердозмащувальних плівок, які мають низький супротив зрізанню і забезпечують позитивний градієнт механічних властивостей. Найкраще припрацювання КЕП обумовлене більш швидким пластифікуванням шорсткостей поверхні під впливом продуктів деструкції м'яких включень. Ступінь впливу різноманітних частинок дисперсної фази на антифрикційні властивості покрить визначається природою ДФ.



1 – мідь «чиста»; 2 – мідь – фенілон 24,0% об'ємн.; 3 – мідь – дисульфід молібдену 17,5% об'ємн

Рисунок 5 – Залежність температури у зоні тертя (К) від навантаження (Р) МПа

Дослідження комплексу основних властивостей, що характеризують якість відновлення деталей машин та механізмів антифрикційними електролітичними покриттями на основі міді, що отримані проточним способом з діаксильним подаванням електроліту – суспензії (ЕС), показали, що оптимальною концентрацією полімерних частинок у ЕС є 20...30 кг/м³ (швидкість подавання ЕС 0,5...0,8 м/с; $C_p \approx 24,5\%$ об'ємн.), а дисульфиду молібдену – 80...90 кг/м³ (відповідно $V=0,6...1,0$ м/с; $C_p \approx 17,5\%$ об'ємн.).



1 – мідь «чиста»; 2 – мідь – фенілон 24% об'ємн.; 3 – дисульфід молібдену – 17,5 % об'ємн

Рисунок 6 – Залежність коефіцієнту тертя (μ) від навантаження (Р)

При такому вмісті частинок другої фази в електроліті створюються композиційні покриття, які утворюють конгломерати що забезпечують найбільшу механічну міцність і високі антифрикційні властивості. Подальше підвищення концентрації ДФ у ЕС здається малоефективним, тому що збільшується собівартість відновлення деталей, а поліпшення основних властивостей покриттів є незначним, чи можливо вони можуть погіршуватися.

Висновки:

1. Тривалість припрацювання спряження «КЕП – сталь» зменшується у 2...3 рази, при цьому дисульфід молібдену діє як ПАВ.

2. Інтенсивність зношування КЕП на основі міді з включеннями фенілому і сталевим контртілом при випробуваннях без змащування різко зменшується при підвищенні кількості полімеру в покритті до 24 об'ємн.%, а при подальшому підвищенні його кількості настає стабілізація інтенсивності зношування.

3. Зносостійкість та стійкість до схоплення КЕП з фенілоном у 2,0...2,2 рази, а з дисульфідом молібдену у 2,9...3,5 рази вище ніж «чистої» електролітичної міді.

Список літератури

1. Соловых Е.К. Тенденции развития технологий поверхностного упрочнения в машиностроении. / Е.К.Соловых. – Кировоград: КОД, 2012. – 91с.
2. Ющенко К.А. Инженерия поверхности / К.А.Ющенко, Ю.С.Борисов, В.Д.Кузнецов, В.М.Корж. – К.: НВП Издательство «Наукова думка України», 2007. – 557 с.
3. Харламов Ю.А. Основы технологии восстановления и упрочнения деталей машин / Ю.А.Харламов, И.А.Будагьянц. – Луганск: СУНУ ім.Володимира Дала, 2003. – т.1. – 495 с.
4. Терхунов А.Г. Комбинированные металлополимерные покрытия и материалы / А.Г.Терхунов, М.И.Черновол, В.М.Тиунов и др. – К.: Техника, 1983.– 168 с.
5. Сайфулин Р.С. Композиционные покрытия и материалы /Р.С.Сайфулин //М.: Химия. – 1977.– 270 с.
6. Гаркунов Д.Н. Триботехника /Д.Н.Гаркунов. – М.: Машиностроение, 1989.– 327 с.
7. Наливайко В.Н. Установка для проточного нанесения композиционных электролитических покрытий /В.Н.Наливайко, Е.К.Соловых, А.Е.Соловых // Труды Таврической государственной агротехнической академии. – Мелитополь: ТГАТА, 1999, вип.3. – С.50-54.

Yevgen Solovykh, Viktor Aulin, Andriy Solovyh, Stanislav Katerynych

Kirovograd national technical university

Functional properties increase of galvanic polymetallic copper – based coatings at a flow capacity of worn surfaces

The article contains the results of experiments on the proof to wear, the time of work of connections, the standibility to prasp of compositional electrolytic coverings, which contains the molybdenum disulphide and phenyl, and the optimal concentration of polymeric particles in electrolyte-suspension to form the improve physical-mechanical characteristics.

Undertaken comparative studies of wearproofness of composition electrodeposits on the basis of copper and electrolytic layers of "clean" copper in the conditions of maximum and dry friction. Influence of antifriction particles is studied, at anything their content in coverage on his property.

Shown possibility to get plenty of various types of composition electrodeposits compositions of various materials of matrix and dispersible phase with the purposeful change of their properties in obedience to the set external environments.

composition electrodeposits, solid lubricant tape, regional corner of moistening, surface active substances, dispersible phase, mechanodestruction of polymer, electrolyte-suspension

Одержано 24.04.15

УДК 621.91.02

С.М. Анастасенко, канд. техн. наук, І.О. Григурко, доц. НУК, В.Я. Ошовський, доц., канд. техн. наук, В.Л. Будуров, викл.

Первомайський політехнічний інститут Миколаївського національного університету кораблебудування ім. адм. Макарова, oshovskyvik@mail.ru

Модернізація вузлів обладнання для механічної обробки гільзи циліндрів двигуна на токарних верстатах застарілої конструкції

У статті представлена модернізація токарних верстатів застарілої конструкції з реконструкцією гідрокопіювальних супортів для механічної обробки гільзи циліндра двигуна та улаштування для автоматизованого завантаження, закріплення і зняття заготовок.

При конструкторській розробці на заводі можливо враховувати виробничі можливості ремонтних і інструментальних цехів, на котрі покладається задача переобладнання верстатів і ретельного розрахунку економічних показників, які визначають рентабельність реконструкції і степені автоматизації. В більшості випадків при автоматизації верстатів для роботи за замкнутим циклом виготовлення простих деталей можемо рекомендувати пневмомеханічні улаштування, комбінуючи механічний барабанний привід супорту з пневматичними затискними улаштуваннями.

обробка, модернізація, автоматизація, робочі подачі, токарний верстат, виробничі процеси, різець, технічний рівень, гідравлічний копіювальний супорт, технічні умови

С.Н. Анастасенко, канд. техн. наук, І.А. Григурко, доц. НУК, В.Я. Ошовський, доц., канд. техн. наук, В.Л. Будуров, препод.

Первомайский политехнический институт Николаевского национального университета кораблестроения им. адм. Макарова

Модернизация узлов оборудования для механической обработки гильзы цилиндров двигателя на токарных станках устаревшей конструкции

В статье предоставлена модернизация токарных станков устаревшей конструкции с реконструкцией гидрокopиpовальных суппортов для механической обработки гильзы цилиндра двигателя и устройства для автоматизированной загрузки, крепления и снятия заготовок.

При конструкторской разработке на заводе можно учитывать производственные возможности ремонтных и инструментальных цехов, на которые возложена задача переоборудования станков и тщательного расчета экономических показателей, которые определяют рентабельность реконструкции и степени автоматизации. Во многих случаях при автоматизации станков для работы за замкнутым циклом изготовление простых деталей рекомендуется пневмомеханические устройства, комбинирующие механический барабанный привод суппорта с пневматическими прижимными устройствами.

обработка, модернизация, автоматизация, рабочие подачи, токарный станок, производственные процессы, резец, технический уровень, гидравлический копиpовальный суппорт, технический условия

Постановка проблеми. Механічні дільниці з парком універсальних токарних верстатів застарілої конструкції, працездатних по своєму технічному складу, але конструктивно застарілих і частина ручної праці при роботі на таких верстатах особливо велика, що перешкоджає безпосередньому збільшенню продуктивності цих верстатів нарівні із загальними темпами росту продуктивності, так як при цьому зростає фізичне навантаження на верстатника. В процесі виготовлення деталей на токарних верстатах застарілої конструкції, складною задачею є автоматизація завантаження,

затиску заготовки і зняття готових деталей. Розміщення деталі на верстаті і її закріплення повинно відповідати технологічним вимогам залежно від простоти конструкції деталі та зручності розміщення затискного улаштування і приводу до нього. Тому питанню щодо автоматизації процесів завантаження, установки та закріплення заготовки на токарних верстатах старої конструкції надають велике значення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Із особистого досвіду виявлено, що дуже ефективним є використання пневматичних затискних улаштувань. Ті, що є в наявності типові конструкції затискних пневмоциліндрів придатні для використання на автоматизованому верстаті у випадку установки деталі на оправці або в патроні.

Ефективно можуть бути використані і затискні улаштування на гідравлічній основі. Проте установка гідроприводу для окремого верстата може привести до здороження витрат на реконструкцію. Ми рекомендуємо установку однієї гідросилової станції для обслуговування декількох поруч розміщених верстатів. Такі витрати можуть окупитися в короткий термін, що дає значну економію електроенергії на кожному заводі. Отже, підвищення продуктивності верстатів застарілої конструкції є надзвичайно актуальною задачею для кожного заводу.

Досвід, накопичений в машинобудівних заводах, показує, що в багатьох випадках і старі верстати володіють суттєвими запасами міцності та жорсткості, при роботі з великими числами обертів, потужністю і подачами, ніж ті котрими вони розпоряджаються номінально або при котрих використовуються. Це і дозволяє в багатьох випадках підвищити інтенсивність машинної роботи, інколи без великої модернізації верстата.

Постановка завдання. В зв'язку зі скрутним кризовим фінансовим становищем на машинобудівних заводах України необхідно широко впроваджувати реконструкцію вузлів і улаштувань токарних верстатів застарілої конструкції, автоматизацію завантажувальних і затискних робіт при механічній обробці деталі. Широко впроваджувати наукові розробки інженерів та токарів-новаторів, які досягли великих успіхів на основі розвитку швидкісного та силового методів різання, застосовуючи прогресивні методи механічної обробки деталей.

Виклад основного матеріалу. Випущений заводом "Красный пролетарий" механізм АГ-1 дозволяє автоматизувати виготовлення гільзи циліндрів двигуна. Є дані щодо ефективного використання, на токарних верстатах застарілої конструкції моделі 1А62, 1К62, копірних лінійок, упорів для виключення поздовжньої і поперечної подач тощо. Гідравлічні копіювальні супорти, є достатньо універсальними щодо швидкого переналагодження на іншу операцію, для цього застосовують установлений в барабан трьох секторний копір (рис.1), при цьому два сектори копіра використовують для обробки однієї деталі з двох сторін, а третій сектор використовують для обробки іншої деталі (рис.3). Для отримання точного профілю деталі радіус копіювального щупа повинен точно відповідати радіусу при вершині різця. На (рис.2) приведені креслення копіра для обробки гільзи циліндра двигуна і показана установка його на верстаті.

На (рис.3) показана оригінальна наладка модернізованого токарного верстата з гідрокопіювальним супортом моделі 1К62 для обробки гільзи циліндра двигуна із застосуванням багатоінструментальної наладки на верхньому копіювальному супорті з використанням різців з механічним кріпленням твердосплавних пластин. При точному виготовленні державок різців підналагодження інструмента після повороту пластин не вимагається. А також слід застережити, що нижній підрізний супорт в наладці працює раніше копірного, тим самим створені сприятливі умови для врізання декількох різців,

які використовуються на копіювальному супорті із застосуванням спеціальної державки.

Ми рекомендуємо застосовувати декілька способів вирішення задачі модернізації токарних верстатів і одним із способів є, вирішення питання щодо застосування типових конструкцій гідрокопіювальних супортів для деталі типу гільза циліндра двигуна, до яких застосовуються більш складні цикли, доповнюючи улаштування механізмами швидкого повернення супорту у вихідне положення. При конструкторській розробці на заводі можливо враховувати виробничі можливості ремонтних і інструментальних цехів, на котрі покладається задача переобладнання верстатів і ретельного розрахунку економічних показників, які визначають рентабельність реконструкції і ступені автоматизації.

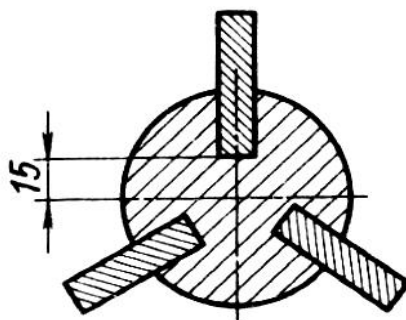


Рисунок 1 – Схема установки копирів в барабані

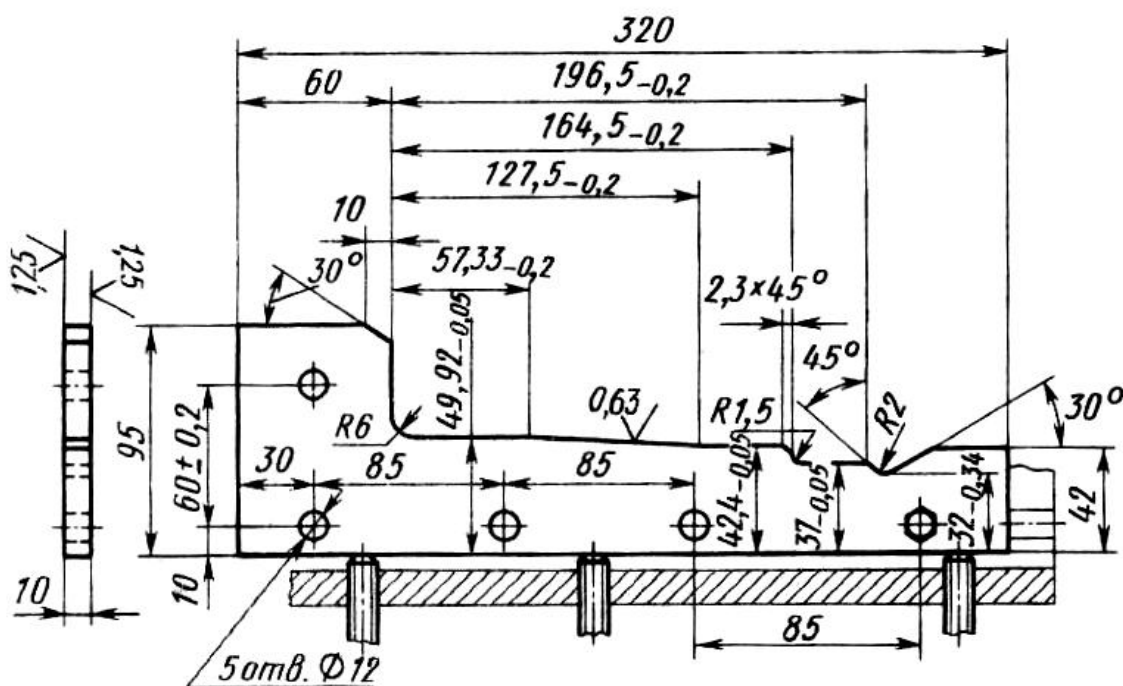


Рисунок 2 – Креслення копіра з установкою його на верстаті

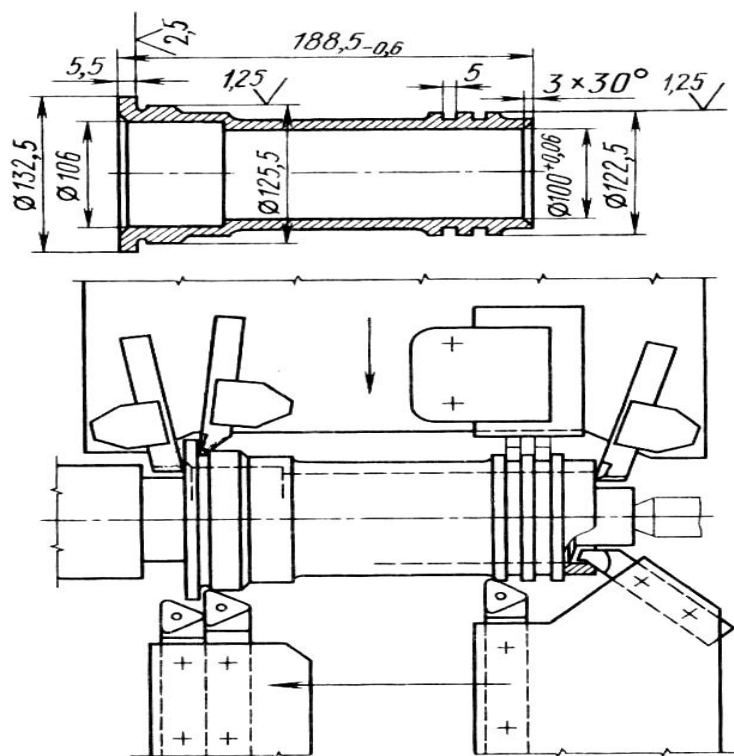


Рисунок 3 – Наладка напівавтомата 1A730 для обробки гільзи циліндрів двигуна

Якщо в процесі різання знаходиться одночасно декілька інструментів, тоді сумарне окружне зусилля P буде:

$$P = \sum_{i=1}^{i=n} P_1 \frac{r_i}{r} + \frac{M}{r},$$

де $\sum_{i=1}^{i=n} P_1 \frac{r_i}{r}$ - сума зусиль різання, приведена до діаметра деталі гільза;

r_i - радіус дії зусилля різання P , мм;

r - радіус деталі гільза, мм;

M – крутний момент осьового інструмента, кг мм;

n – кількість різців.

При цьому необхідна сила затиску деталі гільза, яка розподілена по поверхні затиску:

$$W \geq \frac{n}{f_1} \sqrt{\left(\sum_{i=1}^{i=n} P_1 \frac{r_i}{r} + \frac{M}{r} \right)^2 + P_0^2},$$

де P_0 – сумарне осьове зусилля, яке діє на деталь від різців;

f_1 – коефіцієнт тертя між матеріалом і оправкою;

$n = 1,2 - 1,5$ – коефіцієнт запаса.

Другий спосіб (обробка торців гільзи) ми пропонуємо для одночасної обробки з двох сторін. Для цього деталь затискається в установлених на саночках супорта пневматичних лещатах, губки котрих трішки менше за довжиною деталі. Задня бабка має обертовий шпиндель з індивідуальним електродвигуном, який передає обертання шпинделя через ремінну передачу. На шпинделях обох бабок розміщуються різцеві головки з кількістю чотирьох різців: по одному для зовнішніх і внутрішніх фасок і два для обробки торця.

Симетричне розміщення різців і одночасна обробка обох торців дозволяє зрівнювати навантаження на деталь і полегшити умови її затиску в лещатах. Видалення стружки полегшене шляхом установки стружколомачів, не показаних на кресленні головки. Барабан подачі, кронштейн котрого закріплюється на станині, отримує обертання від ходового валика верстата і забезпечує переміщення супорту вперед і назад поздовж станини. Зі збоку задньої бабки до супорту закріплений кронштейн, який несе камінь куліси, закріпленої шарнірно на нерухомому корпусі задньої бабки. Верхній кінець куліси сконструйований у вигляді вилки, яка охоплює виточку пінолі (рис.4), так що при русі супорту переміщується і піноль задньої бабки, завдяки чому здійснюється подача задньої різцевої головки до торця оброблюючої гільзи, передній кінець котрий оброблюється при подачі самого супорту на передню бабку. Передаточне відношення куліси (важеля другого роду) рівне 1:2, завдяки чому при русі супорта до передньої бабки піноль задньої бабки наздоганяє супорт з деталлю і величина подачі при обробці обох торців стає однаковою. Таким чином, два рухи (супорта і пінолі) утворюються одним барабаном подачі. Обробка здійснюється при русі в один бік. Зворотній хід-прискорений (забезпечується побудовою відводящої ділянки кривої барабана). Під час зворотного ходу здійснюється перезарядка деталей в лещатах (рис.5). Для повної автоматизації верстата необхідно ускладнити затискні лещата (механізувати їх), вводячи в їх конструкцію механізми установки гільзи в робочу позицію і додати до них подаючий і відводящий лотки; останній (у вигляді сковзал) простий за конструкцією у виготовленні.

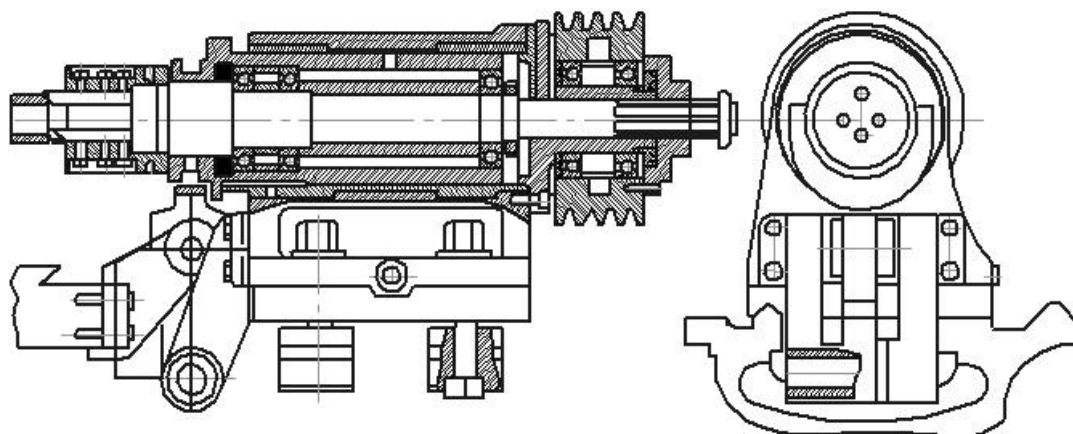


Рисунок 4 – Задня бабка, переобладнана для механічної обробки торця гільзи

При автоматичній роботі затискного улаштування послідовно здійснюється видалення готової деталі (рис.5) при розтисканні лещат, завантаження заготовки, орієнтація її в осьовому напрямленні. Ці функції забезпечуються так: верхні сторони призматичних губок лещат довше нижніх, тому при їх відкритті готова деталь падає вниз, в той час як чергова заготовка лежить на губках зверху. При відкритті лещат (за рахунок руху одних губок G_a ; інші губки G_n – нерухомі) важільна система використовує два плунжера Π із отворів в призматичній частині лещат, на котрі і падає заготовка. Одночасно справа і зліва губок спускаються зверху вниз направляючі H , які орієнтують деталь в осьовому напрямленні. Один із направляючих (які знаходяться під дією пружини) відтискує деталь до другої жорсткої направляючої. При зближенні губок підтримуючі плунжери знову входять в тіло губки, а направителі переміщуються вверх, таким чином, в затисненому стані деталь має вільні для обробки торці. При своєму русі рухома губка лещат діє також і на відсікач O , який замикає гирло підходящої лотка при перезарядці так, що при затиску чергової заготовки в лещатах із

лотка опускається і лягає на верхню площину лещат тільки одна заготовка. Підводящий лоток установлений нерухомо із задньої сторони верстата. Описані для цієї операції улаштування спроектовані для токарного верстата 1К62.

Перевірочні розрахунки показали, що механізми верстата цілком пригодні для роботи при навантаженні, необхідних для виконання операції. Підшипники шпинделя допускають обертання зі швидкістю 600 хв-1. Ступінчастий конус коробки подач верстата може бути використаний для регулювання величини подачі 0,05 використовується середня ступінь. Наладка верстата і підналадка різців передбачена шляхом висування різців із головок по еталонній втулці, яка затискається в лещатах. Приведена на (рис.5) конструкція закріплення головки обумовлена прагненням використовувати головки. При змінній конструкції правої головки, за рахунок кріплення її усередині шпинделя задньої бабки шпиндель може мати більш короткий виліт консольної частини. Крім того, можливо спростити і здешевити вузол кріплення шківів, насаджуючи його безпосередньо на шпиндель: при малому ході пінолі і при достатньо великій довжині ременів буде мати місце допустимий перекис ременів.

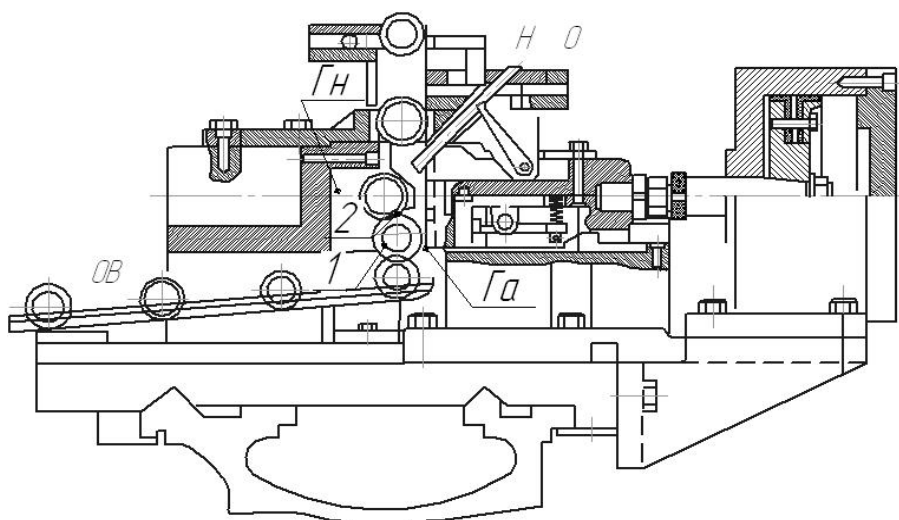


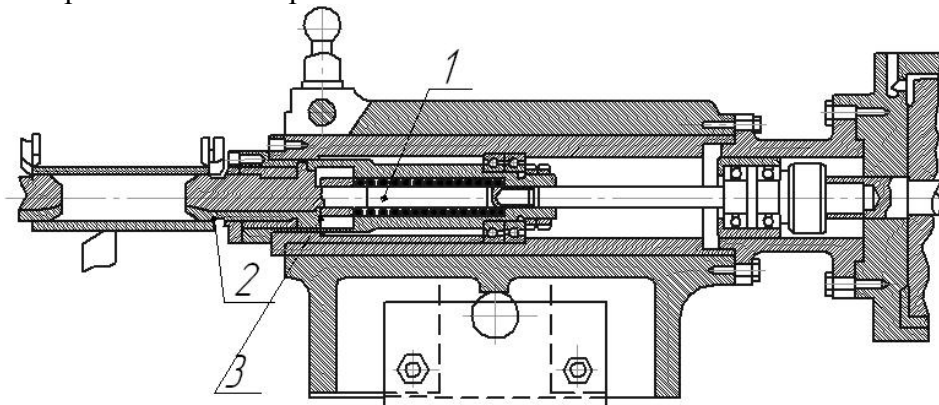
Рисунок 5 – Автоматичні лещата з пневмозатискачем, установлені на супорті верстата для одночасної обробки торців гільзи циліндрів двигуна

В результаті такої автоматизації верстата 1К62 штучний час обробки торців гільзи знижується до 6 сек, продуктивність збільшується в 13 раз.

Модернізація верстата в повний автомат вигідно також для більш доцільного використання сучасних верстатів, зайятих на виконанні простих операцій. Так, наприклад для виконання обробки гільзи більшого діаметра ($\varnothing 135\text{мм}$, довжиною до 200мм) був вибраний багато різцевий верстат моделі 1А730, конструкція якого дозволяє одночасно обточувати, підрізати і знімати фаски з обох сторін гільзи. Установка деталі здійснюється на двох однакових центруючих розтискувальних оправках, закріплених в шпинделях передньої і задньої бабок, ліва оправка-ведуча. На кришці передньої бабки установлений магазин, пневмоподавач якого спускає чергову заготовку на лінію центрів. В кінці ходу подавач діє через штовхач на пневмокран, який пропускає повітря до затискних пневмоциліндрів передньої і задньої бабок. Штоки цих циліндрів з'єднані зі штоками оправок (рис.6) котрі, просуваючись вперед, входять в заготовку на задану глибину, визначаючи тим, що розтискні сковзаючі шпонки 2 оправок в кінці свого ходу впираються хвостовими виступами у внутрішній торець корпусу 3 оправки. Подальший рух штоків здійснюється відносно шпонок, конічні кінці штоків розтискають шпонки, котрі і закріплюють заготовку. В кінці цього руху шток задньої бабки перемикає кран,

який пропускає повітря у пневмодавач і подавач відходить вверх. В свою чергу в кінці свого ходу вверх, пневмодавач вмикає повітря, яке надходить в циліндр вмикання автоматики верстата. Цим здійснюється пуск верстата, і супорти здійснюють повний цикл рухів, залишаючись після цього у вихідних позиціях. В кінці робочого ходу передній супорт перемикає на вихід в атмосферу крани, пропускаючи повітря в затискувальні циліндри, і пружини розводять штоки оправок у вихідне положення. Оброблена деталь падає на відводящий лоток.

В кінці ходу назад шток задньої бабки знову вмикає повітря у пневмоподавач, і здійснюється новий цикл. Таким чином, автоматизація здійснюється на базі пневматики зі шляховим управлінням і використанням автоматичних улаштувань самого верстата. Переобладнання верстата зводиться до установки затискних циліндрів, виготовленню оправок і обертового шпинделя задньої бабки, циліндрів і кранів управління і магазину. Продуктивність значно зростає, а витрати окупляться приблизно в трьохмісячний строк



1-шток пневмоциліндра; 2-шпонки, які затискують деталь; 3-корпус оправки центрів

Рисунок 6 – Установка гільзи на розтискних оправках

Висновок. Слідє відмітити, що подібне використання модернізованих верстатів застарілої конструкції цілком раціонально не тільки внаслідок відсутності на заводах сучасних автоматів, але і згідно техніко-економічних показників.

Таким чином, автоматизація токарних верстатів здійснюється на базі пневматики із шляховим управлінням і використанням автоматичних улаштувань самого верстата. Переобладнання верстата зводиться до установки затискних циліндрів, виготовленню оправок і обертового шпинделя задньої бабки. Циліндрів і кранів управління і магазинів. Продуктивність токарного верстата з гідрокопіювальним супортом і завантажувальним улаштуванням збільшиться в 10 раз зрівнюючи його з продуктивністю при ручному обслуговуванні, а витрати окупляться приблизно за три місяці.

Список літератури

1. Гавриш А.П. Автоматизация технологической подготовки машиностроительного производства / А.П. Гавриш, А.И. Ефремов. – К.: Техника, 1982. – 215с.
2. Егоров М.Е. Технология машиностроения. / Егоров М.Е. – М.: Высшая школа, 1965. – 530 с.
3. Рабинович А.Н. Автоматизация технологических процессов в машиностроении. Киев.: Государственное издательство технической литературы УССР, 1959. – 635 с.
4. Руденко П.А. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні: Підручник / П.А. Руденко. – Київ: "Вища школа". – 1998. – 414 с.
5. Справочник технолога-машиностроителя : Т.1, 2. / Под ред. А.Г.Косиловой, Р.К.Мешерякова. – М.: Машиностроение, 1985. – Т. 1. – 656 с.; Т. 2. – 496 с.
6. Чернов Н.Н. Металлорежущие станки / Н.Н. Чернов. – М.: Машиностроение, 1978. – 389 с.

7. Цветков В.Д. Система автоматизации проектирования технологических процессов / В.Д. Цветков. - М.: Машиностроение, 1972. – 240 с.

Sergey Anastasenko, Ivan Grigyrko, Victor Ohsovsrsy, Vasily Bydyrov

Pervomayskiy politehniczny institut Mikolaiivskogo natsionalnogo universitetu korablebuduvannya IM. adm. Makarova.

Modernization of knots of the equipment for machining of a sleeve of cylinders of the engine on lathes of an obsolete design

In article modernization of lathes of an outdated design with reconstruction of hydrocopy calipers is provided for machining of a cylinder liner of the engine and the device for the automated loading, fastening and removal of preparations.

At design development at plant it is possible to consider production capabilities of maintenance and tool shops to which the problem of re-equipment of machines and careful calculation of economic indicators which define profitability of reconstruction and extent of automation is assigned. In many cases at automation of machines for work behind the closed cycle production of simple details is recommended the pneumomechanical devices combining a mechanical drum drive gear of a caliper with air clamping devices.

Re-equipment of the machine is reduced to installation of tightening cylinders, to production of mandrels and the rotating spindle of the rear grandpa. Cylinders and cranes of steering and shops. Lathe productivity with a hydrocopy caliper and loading organization will increase by 10 times equalizing it with a productivity at manual service, and expenses will pay off approximately in three months.

processing, modernization, automation, working giving, lathe, productions, cutting tool, technological level, hydraulic copy caliper, technical conditions

Одержано 08.04.15

УДК 375.3

М.С. Когут, проф., д-р техн. наук, Р.В. Гуменюк, канд. техн. наук, Я.В. Шолудько, канд. техн. наук

Львівський національний аграрний університет, grv.lnau@gmail.com

Спосіб виготовлення кільцевого шва в циліндрі та оцінка його і термонапруженої арматури за тріщиностійкістю

Запропоновано спосіб виготовлення кільцевого шва в циліндрі на модернізованому зварювальному автоматі А-825М за умови його вертикального базування у пристрої і методику визначення тріщиностійкості кільцевого шва і термонапруженої арматури.

На прикладі досліджень стикових зварних з'єднань із термонапружених арматурних прутків Ø14 мм сталей 35ГС і 25Г2С встановлено зниження до 30% тріщиностійкості (K_{IC}) металу шва порівняно з тріщиностійкістю (K_{IC}) вихідного металу цих сталей відповідно за рахунок впливу залишкових напружень в результаті нагріву після зварювання.

заплавка, стиковий шов, зварне з'єднання, тріщиностійкість

М.С. Когут, проф., д-р техн. наук, Р.В. Гуменюк, канд. техн. наук, Я.В. Шолудько, канд. техн. наук
Львовский национальный аграрный университет

Способ изготовления кольцевого шва в цилиндре та оценка его и термонапряженной арматуры за трещиностойкостью

© М.С. Когут, Р.В. Гуменюк, Я.В. Шолудько, 2015

Предложен способ изготовления кольцевого шва в цилиндре на модернизируемом сварочном автомате А-825М при условии его вертикального базирования в устройстве и методику определения трещиностойкости кольцевого шва и термонапряженной арматуры.

На примере исследований стыковых сварных соединений из термонапряженных арматурных прутков Ø14 мм сталей 35ГС и 25Г2С установлено снижение до 30% трещиностойкости (K_{IC}) металла шва по сравнению с трещиностойкостью (K_{IC}) исходного металла этих сталей соответственно за счет влияния остаточных напряжений в результате нагрева после сварки.

заплавка, стыковый шов, сварное соединение, трещиностойкость

Постановка проблеми. На коректність визначення характеристики K_{IC} кільцевих швів для зварних з'єднань впливають: розміри канавки, співвідношення відносного розміру кільцевої тріщини $\varepsilon=d/D$, а також чистота металу самого шва. Для забезпечення вище перелічених чинників впливу немалу роль в цьому плані відіграє спосіб одержання якісного (без включень і мікропор) кільцевого шва, шляхом кругового заплавлення кільцевої канавки в циліндрі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для визначення фундаментальної характеристики тріщиностійкості (K_{IC}) зварних з'єднань [1] застосовують різні типи лабораторних зразків (типу пластин, зварених встик прямокутними косими чи шевронними прошарками) [2, 3], які по бокових гранях мають V-подібні надрізи заданої гостроти дна ($\rho \leq 0,1$ мм) і деформують, як правило, на осьовий розтяг.

В той же час ці зразки не завжди забезпечують коректного визначення K_{IC} для більш вязких стикових швів зварних з'єднань через відсутність умов автотемпературності зони передруйнування (розмірів пластичних смуг і тріщини спереду її фронту) у співвідношенні з розмірами випробувального зразка [4].

Більш ефективним, із вищенаведених типів зразків, є циліндричний зразок з поверхневою осесиметричною кільцевою тріщиною, ініційованою за методикою кругового згину при жорстко фіксованому прогині [5], який успішно використовують для визначення K_{IC} крихких і квазікрихких матеріалів при відповідних значеннях діаметрів і розмірах кільцевої тріщини в глиб матеріалу циліндра.

Постановка завдання. Мета роботи – модифікувати циліндричний зразок на аналогічний циліндричний зразок з кільцевою тріщиною в матеріалі кільцевої заплавки, виготовленої шляхом автоматичного заплавлення кільцевої канавки на зварювальному автоматі А-825М, а тріщиностійкість K_{IC} шва та термонапруженої арматури визначити при відповідно розрахованих розмірах канавки (ширини, глибини) при заданих діаметрі та глибині тріщини в циліндрі відповідно.

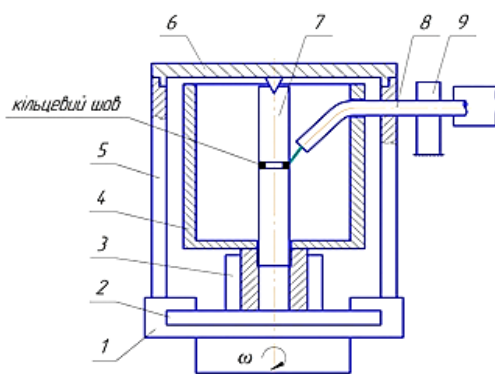
Для виготовлення якісного кільцевого шва операція зварювання потребує спеціальних пристроїв, а процес заплавлення пропонується реалізовувати на зварювальному автоматі А-825М. Основна відмінність від відомого способу [6] полягає в тому, що в якості основи циліндричного зразка використано термічно-зміцнені арматурні сталі 35ГС і 25Г2С, де виточену кільцеву канавку в прутках заплавливали матеріалом дроту із сталі Св08Г2С, взятого із каталога [7, 8], який за хімічним складом близький до цих сталей.

Виклад основного матеріалу. Пристрій вертикального базування та закріплення циліндричного зразка-заготовки для кругового заплавлення кільцевого шва у кільцеву канавку на зварювальному автоматі А-825М показано на рис. 1.

Маршрут виготовлення кільцевого шва у циліндричному зразку наступний:

- закріпити зразок-заготовку із кільцевою канавкою у вертикальному положенні та затиснути у трюхкулачковому патроні; заправити касету порошковим дротом, марки Св08Г2С Ø 1,6 мм і підвести мундштук в зону кільцевої канавки; включити привід зварювального автомата А-825М для кругового обертання заготовки та заплавити

кільцеву канавку глибиною 5 мм і висотою 2 мм за оптимально встановленими режимами зварювання:

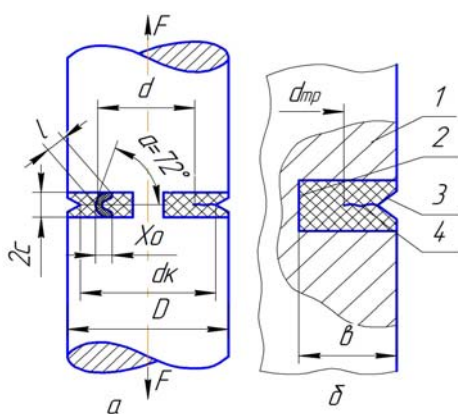


1 – стояк приводу; 2 – поворотний столик; 3 – трьохкулачковий патрон; 4 – кожух захисний; 5 – циліндричний стакан; 6 – кришка; 7 – заготовка під наплавлення; 8 – мундштук зі шлангом автомата; 9 – стійка для закріплення мундштука

Рисунок 1 - Пристрій для вертикального базування та закріплення зразка-заготовки для кругового заплавлення кільцевого шва в кільцевій канавці на автоматі А-825М

200 мм при частотах обертання стола автомата $\omega = 5 \dots 60 \text{ с}^{-1}$.

Якщо задатися висотою канавки $2c=2\text{мм}$ і відносним розміром кільцевої тріщини $\varepsilon = d/D = 0,6$, для якого довжину пластичних смуг (ізоклін у її вершині), тобто $2c = l^* \cdot \text{tg}72^\circ \leq 0,035d$, можна підрахувати зовнішній діаметр циліндричного зразка за такою нерівністю:



1 – основа; 2 – кільцева канавка; 3 – кільцевий концентратор; 4 – кільцева тріщина у заправці

Рисунок 2 – Схема осевого розтягу циліндричного зразка з кільцевою тріщиною і форма пластичних смуг у вершині кільцевої тріщини d заправки (а) та його конструктивні елементи (б): $\alpha=72^\circ$ - кут пелюстків смуг (ізоклін); l, X_0 – довжина і товщина смуг (ізоклін); v – глибина канавки

- струм постійний, величина струму, 650...700 А, робоча напруга, 30...32 В, виліт електрода, 20 мм, полярність обернена;

- зачистити заплавлений метал від шлаку та бризок, перевірити візуально якість кільцевого шва і зняти зразок заготовку з базувальної позиції для подальшого точіння та шліфування зовнішнього діаметра та нарізання кільцевого концентратора по середині висоти кільцевої заправки.

За описаною послідовністю повторюють маршрут заплавлення кільцевої канавки у наступному циліндричному зразку – заготовці.

Для запобігання попадання частинок зварювального матеріалу на інші вузли зварювального автомата під час заплавлення кільцевої канавки служить захисний мідний кожух 4 з оглядовим вікном.

Пристрій (рис. 2) дозволяє закріплювати циліндричні заготовки діаметром від 8 до

$$C \leq \text{tg}72^\circ \cdot 0,035 \cdot 0,6D \quad (1)$$

Звідки $D \leq 15\text{мм}$, для якого нерівність $2c \leq l^*$ буде достатнім діаметром циліндричного зразка для коректного визначення K_{IC} заплавленого матеріалу стикового зварного з'єднання із термонапружених сталей.

Оскільки матеріал основи циліндра має більшу міцність і твердість ніж заправка, то пластичні смуги, які виникають у вершині замкнутого контуру кільцевої тріщини в процесі його осевого розтягу обмежуються висотою заправки, а тому моделювання роботи більш вязкого матеріалу в обоймі твердішого та міцнішого – забезпечує крихке руйнування заплавленого матеріалу, тобто коректне визначення шва за тріщиностійкістю K_{IC} .

Розміри випробувальних циліндричних зразків, виготовлених із термонапружених прутків $\text{Ø}16\text{мм}$ двох марок сталей 35ГС і 25Г2С наступні: $D=14 \text{ мм}$, $d_k=12 \text{ мм}$, $d_{mp}=10 \pm 0,2 \text{ мм}$, $2c=2 \text{ мм}$, $v=5 \text{ мм}$, $L=140 \text{ мм}$ (рис. 2). Вихідні кільцеві тріщини в заправці циліндричних зразків ініціювали за

методикою [5]. Матеріал заправки зварювальний дрiт $\varnothing=1,6$ мм марки Св08Г2С.

Експерименти на осьовий розтяг циліндричних зразків з кільцевою тріщиною в заправці виконали на розривній машині (фірми Instron) зі швидкістю переміщення рухомого захоплювача $v=2$ мм/хв, де записували діаграму руйнування в координатах сила - деформація ($F-\varepsilon$). Маючи для кожного конкретно розірваного зразка значення $P=P^*$ та вимірявши геометричні параметри циліндричного зразка D , d_{mp} ; $\varepsilon = d_{tr}/D$ тріщиностійкість заправок для сталей 35ГС і 25Г2С підраховували за формулами [9]:

$$K_1 = K_{1C} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{\pi}} \cdot \frac{P^* \sqrt{1-\varepsilon}}{d \sqrt{d} \cdot f(\varepsilon)}, \quad (2)$$

$$\text{де } f(\varepsilon) = \frac{1}{\sqrt{1-\varepsilon}} (0.5000\varepsilon - 0.1250\varepsilon^2 + 0.2757\varepsilon^3 - 0.2082\varepsilon^4 + 0.0663\varepsilon^5 + 0.0048\varepsilon^6 + 0.0130\varepsilon^7 + 0.0160\varepsilon^8 + 0.0260\varepsilon^9); \quad \varepsilon = d/D; \quad (3)$$

$f(\varepsilon)$ - безрозмірна функція, яка враховує відносний розмір кільцевої тріщини в циліндричному зразку.

Для порівняння аналогічні експерименти проведено на циліндричних зразках $D=20$ мм з кільцевою тріщиною $\varepsilon = d_{mp}/D = 0,6$ мм в матеріалі основи цих сталей.

Одержані значення K_{1C} зведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Значення K_{1C} заправок і термонапружених сталей 35ГС і 25Г2С

№ п/п	Зварне з'єднання сталей із заправкою Св08Г2С	Температура нагріву T , °С	Межа міцності термонапружених сталей σ_B , МПа	Середня тріщиностійкість K_{1C} , МПа $\sqrt{м}$	
				заправок	сталей
1	35ГС	307	1030	108,2	185,7
2	25Г2С	310	1335	198,3	293,1

Із даних табл.1 видно зменшення до 30% тріщиностійкості (K_{1C}) заправок порівняно з основою досліджуваних сталей, що можна пояснити недосконалістю структури швів зварних з'єднань, (пори включення) та їх схильністю до крихкого руйнування, особливо для 35ГС з більшим вмістом вуглецю ніж у 25Г2С.

Перевагу за тріщиностійкістю (K_{1C}) заправки і сталі 25Г2С порівняно із заправкою і сталлю 35ГС можна пояснити підвищеною міцністю сталі 25Г2С (див. табл. 1).

Висновки. Запропоновано пристрій вертикального базування та закріплення циліндра для кругового заправлення кільцевої канавки, на зварювальному автоматі А-825М, що дозволило виготовити кільцевий шов з більш однорідною структурою для стикового зварного з'єднання в термонапруженій арматурі, а також схему осьового розтягу циліндричного зразка з кільцевою тріщиною, ініційованою у кільцевій заправці для ранжування за тріщиностійкістю (K_{1C}) стикових швів та термонапруженої арматури. Встановлено зниження до 30% тріщиностійкості (K_{1C}) шва порівняно з тріщиностійкістю (K_{1C}) сталей 35ГС і 25Г2С. Перевагу з точки зору тріщиностійкості (K_{1C}) шва і основи сталі 25Г2С порівняно зі швом і основою сталі 35ГС можна також пояснити її підвищеною міцністю та пластичністю.

Список літератури

1. Когут Н. С. Несущая способность сварных соединений / Н. С. Когут, М. В. Шахматов, В. В. Ерофеев. – Львов : Свит, 1991. – 184 с.
2. Шахматов М. В. Несущая способность сварных соединений с дефектами в твердых и мягких швах / М. В. Шахматов // Автоматическая сварка. – 1988. – № 6. – С. 14 – 16.

3. Шахматов М. В. Об оценке чувствительности механически неоднородных стыковых сварных соединений к щелевидному дефекту при вязком разрушении / М. В. Шахматов, В. В. Ерофеев, В. Н. Михайлов и др. // Сварочное производство. – 1985. – № 4. – С. 34 – 35.
4. Когут М. С. Тріщиностійкість конструкційних матеріалів та їх зварних з'єднань із наплавками / М. С. Когут, Н. М. Лебідь. – Львів : Арал, 2008. – 287 с.
5. Панасюк В. В. Об одном способе образования поверхностных осесимметричных трещин в цилиндрических образцах / В. В. Панасюк, С. Е. Ковчик, Н. С. Когут // Физико-химическая механика материалов. – 1972. – № 2. – С. 95 – 97.
6. Лучко Й. Й. Тріщиностійкість однорідних і неоднорідних стикових зварних з'єднань / Й. Й. Лучко, М. С. Когут, Я. А. Громко // Діагностика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій. – Львів : Каменяр, 2005. – Вип. 7. – С. 121 – 133.
7. Наплавочные материалы стран членов СЭВ : каталог. – К. : М., 1979. – 618 с.
8. Сварочная проволока марки Св-08Х20Н9Г7Т производства ОАО „Днепроспецсталь” / [К. А. Ющенко, Л. В. Чекотило, В. Г. Гордонный и др.] // Сварщик. – 2000. – С. 8 – 10.
9. Андрейкив А.Е. Пространственные задачи теории трещин / А.Е. Андрейкив, К. : Наук. думка, 1982. – 348 с.

Nikolai Kohut, Ruslan Humenyuk, Yaroslav Sholudko

Lviv National Agrarian University

Method of manufacturing ring seam cylinder and evaluation of its thermostressed and fittings by crack

A method of making an annular cylindrical sample seam welding machine modernized A-825M subject to vertical-based device and method for determining fracture toughness weld ring.

For example, studies of butt weld joints of steel reinforcing thermostressed 35HS and 25H2S on such samples is set to 30% reduction in fracture toughness (K_{1C}) weld metal in comparison with crack (K_{1C}) source of metal steel respectively due to the influence of residual stresses due to heating after welding.

Besides the advantage in terms of fracture toughness (K_{1C}) and weld steel bases 25H2S with respect to the basis and seam steel 35HS can be explained by its high strength and ductility.

surfacing, butt weld, weld, crack

Одержано 20.04.15

УДК 629.54

А.Ю. Лисих, канд. техн. наук

*Первомайський політехнічний інститут НУК ім. адмірала Макарова, Україна,
kobmargarita@mail.ru*

Механіка елементів хвильового рушія

Розглянуто метод числового розв'язання задачі коливання гнучкої пластини, що є складовою частиною рушія підводного робота. Для розв'язання задачі побудована система звичайних диференціальних рівнянь з нелінійними початковими умовами, порядок якої за допомогою перших інтегралів зменшений до дванадцяти. Розв'язки отримані модифікованим методом Коші із застосуванням методу продовження розв'язання за параметром. Наведено результати числових розрахунків.

рушій, гнучкий елемент, метод продовження за параметром, числове інтегрування

А.Ю. Лысых, канд. техн. наук

Первомайський політехнічний інститут НУК ім. адмірала Макарова, Україна

Механика элементов волнового движителя

© А.Ю. Лисих, 2015

Рассмотрен метод численного решения задачи колебания гибкой пластины, которая является составляющей частью движителя подводного робота. Для решения задачи построена система обыкновенных дифференциальных уравнений с нелинейными начальными условиями, порядок которой уменьшен до двенадцати с помощью первых интегралов. Решения получены модифицированным методом Коши с применением метода продолжения по параметру. Наведены результаты численных расчетов.

двигатель, гибкий элемент, метод продолжения по параметру, численное интегрирование

Вступ. Останнім часом у всьому світі відзначається зростання інтересу до робіт, які проводяться на континентальному шельфі та великих глибинах Світового океану з метою видобутку сировини для промисловості, харчових ресурсів, що нерозривно пов'язано з розробкою та створенням нових типів підводних технологічних машин. В Україні роботам у цьому напрямку приділяють особливо валику увагу в зв'язку з гострою необхідністю пошуку власних джерел енергії, що добуваються на морському шельфі. Зараз проводяться інтенсивні дослідження та експлуатація шельфів Чорного й Азовського морів.

Постановка проблеми. Використання підводних технологічних роботів часто є єдиним можливим засобом вирішення поставлених завдань. Одним з найважливіших їх елементів є рушії різних конструкцій і типів. Останнім часом до рушіїв підводних рухомих машин висувається багато вимог як технологічного, так і екологічного характеру. Традиційні гвинтові рушії завдають багато пошкоджень підводному середовищу, окрім того вони, як правило, характеризуються високим рівнем шуму. Це спонукає до створення нових типів рушіїв, що не мають таких недоліків, або значно їх зменшують. Одним з них є рушій хвильового типу. В ньому рушійна сила виникає за рахунок складного хвильового руху гнучкого елемента. При цьому рушійний елемент здійснює великі переміщення, які збігаються за розмірами з самим елементом. Знання механіки таких елементів являє собою досить складну науково-технічну задачу, розв'язання якої неможливе без використання сучасних методів диференціальної геометрії та обчислювальної математики.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Методи теоретичного дослідження гнучких елементів морського призначення й розв'язання поставлених для них задач все ще є недостатньо розвиненими. Це пояснюється істотною складністю розв'язуваних рівнянь, зумовленою їх високим порядком (не менше дванадцятого), змінністю коефіцієнтів, наявністю перших інтегралів і геометричною нелінійністю, спричиненою значним деформуванням у процесі навантаження [1]. У багатьох роботах розглядаються задачі тільки в лінійній постановці. До цього часу вище зазначені дослідження не отримали необхідного розвитку через відсутність достовірних математичних моделей, які досить просто та ефективно реалізуються у вигляді алгоритмів і програм для числового розв'язування задач, що розглядаються.

Постановка завдання. Рушійний елемент може являти собою гнучкий плоский елемент будь-якої конфігурації, що здатний деформуватися або коливатися зі змінними напруженнями. Розглянемо найпростіший випадок такого елемента – плоска прямокутна пластина постійної жорсткості. Схема навантаження такої пластини може бути такою, як показано на рис. 1. Сила P у загальному випадку може бути прикладена в часі де завгодно за всією довжиною пластини. При цьому деформування пластини може бути статичним, квазістатичним або динамічним, залежно від різних технологічних параметрів рушія. Складні й важкі режими експлуатації таких елементів пов'язані, як правило, з необхідністю спеціального вивчення та визначення сил, що діють на них урахуванням сильної нелінійності розв'язуваних рівнянь і можливості втрати стійкості рівноваги, а також з вимогою дослідження поведінки системи в закритичних станах. Диференціальні рівняння, що описують їх деформування, мають

високий порядок і містять нелінійності складного вигляду. Пошук їх розв'язку аналітично стає неможливим, що зумовлює необхідність широкого використання методів обчислювальної математики. Розв'язування таких задач виявляється можливим тільки сучасними методами нелінійного аналізу, застосування яких спонукає до вибору модифікації розв'язуваних рівнянь, що забезпечували б алгоритмічність та ефективність використаних підходів.

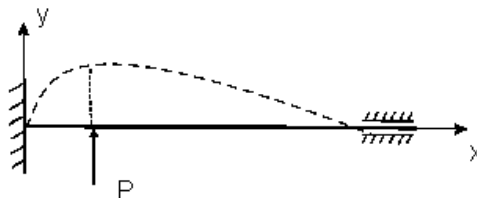


Рисунок 1 – Форма деформованої пластини

Виклад основного матеріалу дослідження. Для опису рівноваги та деформування слід розрізнити зовнішню й внутрішню геометрію, прийнявши для їх визначення відповідно підходи Лагранжа та Ейлера. Внутрішня геометрія, яка внаслідок незмінності довжини залишається постійною, задається координатою s , що вимірюється відстанню вздовж осевої лінії від початкової точки до поточної, і пересувною системою координат u, v, w , жорстко пов'язаною з поперечним перерізом, що розглядається,

Зовнішня геометрія визначає положення кожної точки та всієї пружної лінії в системі координат $Oxyz$. Введемо також природний тригранник пружної лінії з одиничними ортами головної нормалі \bar{n} , бінормалі \bar{b} і дотичної $\bar{\tau}$ [1]. Рівняння рівноваги елемента ds під дією розподіленого навантаження $\bar{f}(s)$, внутрішніх пружних сил \bar{F} і моментів \bar{M} в поперечних перерізах запишемо у вигляді:

$$\begin{aligned} \frac{\tilde{d}\bar{F}}{ds} + \bar{\omega} \cdot \bar{F} &= \lambda g, \quad \bar{\omega} \cdot \bar{F} + \bar{f} = 0; \\ \frac{\tilde{d}\bar{M}}{ds} + \bar{\omega} \cdot \bar{M} + \tau \cdot \bar{F} &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

де \tilde{d}/ds – локальна похідна;

λ – параметр навантаження;

$\bar{\omega}$ – вектор кутової швидкості рухомої системи координат під час руху її початку вздовж пружної лінії з одиничною лінійною швидкістю.

Спроектувавши векторні співвідношення (1) на осі u, v, w , одержимо систему шести звичайних диференціальних рівнянь відносно невідомих $F_u, F_v, F_w, M_u, M_v, M_w$.

Проекції M_u, M_v, M_w момента \bar{M} на відповідні осі визначаються формулами:

$$M_u = A(p - p'); \quad M_v = B(q - q'); \quad M_w = C(r - r'), \quad (2)$$

де A, B – жорсткості при згинанні;

C – жорсткість при крутінні;

p, q – кривина проекцій елемента ds на площини, відповідно, (v, w) , (u, w) ;

r – крутіння осі елемента (штрихом помічені значення кривини для недеформованого стану).

Систему рівнянь (1), (2) доповнимо кінематичними рівняннями Френе:

$$\frac{d\bar{\tau}}{ds} = \frac{\bar{n}}{\rho}; \quad \frac{d\bar{n}}{ds} = -\frac{\bar{\tau}}{\rho} + \frac{\bar{b}}{T}; \quad \frac{d\bar{b}}{ds} = -\frac{\bar{n}}{T}, \quad (3)$$

яким відповідає система дев'яти скалярних звичайних диференціальних рівнянь відносно змінних $\tau_x, \tau_y, \tau_z, n_x, n_y, n_z, b_x, b_y, b_z$. Тут ρ і T – радіуси кривини та крутіння відповідно. Вектор кутової швидкості знайдемо з формули $\bar{\omega} = \bar{b}/\rho + r\bar{\tau}$. Запишемо також такі рівняння:

$$\frac{dx}{ds} = \tau_x; \quad \frac{dy}{ds} = \tau_y; \quad \frac{dz}{ds} = \tau_z. \quad (4)$$

Зауважимо, що рівняння (1) формулюються в системі координат uvw , а рівняння (3), (4) – у системі координат $Oxyz$.

Зведені рівняння пружної рівноваги та кінематичні співвідношення зводяться в систему звичайних диференціальних рівнянь вісімнадцятого порядку з шістьма першими інтегралами. Тому для повної постановки двоточкової крайової задачі про вигин криволінійного елемента заданими силами необхідно задати дванадцять незалежних граничних рівнянь, які виходять з відповідних статичних або кінематичних умов опору країв.

Для розв'язання нелінійної крайової задачі, що описується системою звичайних диференціальних рівнянь, скористаємося методом продовження розв'язку за параметром. На краю $s = 0$ інтервалу $0 < s < S$ зміни змінної s задаються шість незалежних крайових умов і шість рівнянь зв'язку, що впливають з перших інтегралів. Для замкнення системи розв'язувальних рівнянь досить на краю $s = S$ задати шість крайових умов, що залежать від параметра навантаження λ . Нехай при деякому значенні параметра $\lambda = \lambda^{(n)}$ відомий розв'язок $\bar{x}^{(n)}(S)$ поставленої задачі. Задамо також малий приріст $\delta\lambda^{(n)}$ параметра λ . Тоді відповідну варіацію $\delta\bar{x}^{(n)}(S)$ розв'язку $x^{(n)}(S)$ можна знайти з лінійного рівняння:

$$\frac{d\delta\bar{x}^{(n)}}{ds} = \frac{\partial \bar{f}}{\partial \bar{x}} \delta\bar{x}^{(n)} + \frac{\partial \bar{f}}{\partial \lambda} \delta\lambda^{(n)}, \quad (5)$$

отриманого числовою лінеаризацією вихідних рівнянь. Крайові рівняння для функції $\delta(x)^{(n)}$ формуються також лінеаризацією вихідних рівнянь:

$$\frac{\partial \bar{\varphi}}{\partial \bar{x}} \delta\bar{x}^{(n)}(0); \quad \frac{\partial \bar{\theta}}{\partial \bar{x}} \delta\bar{x}^{(n)}(0); \quad \frac{\partial \bar{\psi}}{\partial \bar{x}} \delta\bar{x}^{(n)}(S) + \frac{\partial \bar{\psi}}{\partial \lambda} \delta\lambda^{(n)}. \quad (6)$$

Для побудови $\delta\bar{x}^{(n)}(S)$ виберемо серед $\delta\bar{x}_i^{(n)}(S)$ ($i = 1, 2, 3, \dots, 18$) такі шість компонент $\delta\bar{x}^{(n)}(S)$, значення яких $\delta_j^{(n)}(0)$ не порушує перші два векторні рівняння системи (6). Перенумерувавши невідомі $\delta\bar{x}_i^{(n)}(s)$ ($i = 1, 2, 3, \dots, 18$) так, щоб індекс j одержував значення $j = 1, 2, \dots, 6$, розв'язок задачі (5), (6) представимо у вигляді:

$$\delta\bar{x}^{(n)}(s) = \bar{y}_\lambda \delta\lambda^{(n)} + Y(s) \delta\bar{c}^{(n)}, \quad (7)$$

де $\bar{y}_\lambda(s)$ – розв’язок задачі Коші для системи

$$\frac{d\bar{y}_\lambda}{ds} = \frac{\partial f}{\partial x} \bar{y}_\lambda + \frac{\partial f}{\partial \lambda} \quad (8)$$

при нульових початкових умовах;

$Y(s)$ – матриця розміру 12×6 розв’язків системи

$$\frac{dv}{ds} = \frac{\partial f}{\partial x} y \quad (9)$$

з початковими умовами $y_j(0) = (\delta_1^j, \delta_2^j, \dots, \delta_6^j)$ ($j = 1, 2, \dots, 6$) для незалежно варійованих змінних із початковими умовами, що підбираються з перших двох рівнянь (6), для решти змінних – $y_i(0)$ ($i = 7, 8, \dots, 18$).

Висновки. Вказані положення реалізуються обчислювальними методами шляхом підставлення необхідних значень жорсткості при числовому інтегруванні. При числовому розв’язанні задачі як незалежний параметр навантаження λ був прийнятий параметр сили P (рис. 1), початкові значення якої дорівнювали нулю. Внаслідок реалізації описаного методу при послідовному збільшенні λ була побудована одна з форм деформованої пластини (рис. 1, пунктирна лінія) та один з факторів напружено-деформованого стану (рис. 2.).

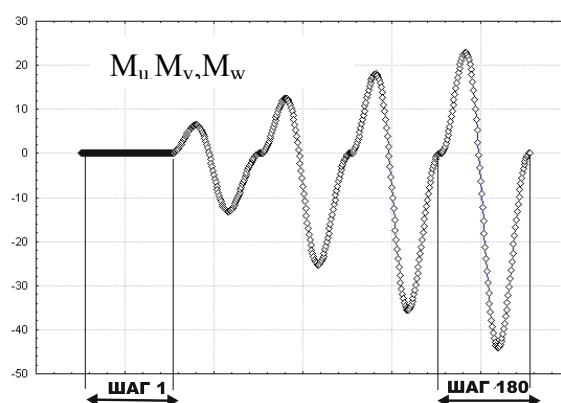


Рисунок 2 – Напружено-деформований стан пластини

Слід зазначити, що за даною методикою можна одержувати будь-які фактори напружено-деформованого стану при навантаженні довільного вектора навантажень як статичного, так і динамічного, з деякими перетвореннями, характеру, оптимізувати форму рушія тощо. Адекватність одержаних розв’язків перевірена обчислювальними та натурними експериментами [2]. У реальній роботі гнучких рушіїв можуть виникати, звичайно, значно складніші типи деформувань, ніж розглянуті в даній статті, однак їх розгляд потребує більш детального опису.

Список літератури

1. Кравцов В.І. Механіка гнучких морських конструкцій / В.І. Кравцов. – К.: Наукова думка, 1999. – 132 с.
2. Пат. UA 20808 Україна, МПК В63Н 1/37. Електромагнітний індукційний хвильовий підводний рушія / Кравцов В.І., Кравцов А.В., Лисих А.Ю., Недбайло О.М.; власник Херсонський національний технічний університет. – № у 2006 08806; заяв. 07.08.2006; опубл. 15.02.2007, Бюл. № 2.

Alla Lisikh

Pervomasky polytechnic institute of the Mykolaiv university of shipbuilding of the name of admiral Makarov, Ukraine

Mechanics of elements of dvigitelya

Resilient deformation of flexible flat element of the marine setting is considered in the article, it is indicated on actuality of decision of this question.

The method of numerical decision of task of oscillation is offered with variable tensions of technological submarine robot which allows to get necessary descriptions of the tensely-deformed state of flexible object. For the decision of nonlinear regional task the method of continuation is used on a parameter. Such approach allows effectively to use computational algorithms for the timely change of problem specification depending on technological necessities. By means of this methods it is possible to get any factors of the tensely-deformed state at loading of arbitrary vector of loading of both static and dynamic character, to optimize the form of dvigitelya and others like that. Examples of decision of such tasks which allow to draw conclusion about authenticity and efficiency of the used methods are made in the article.

The results of decision given in the article as computer graphics underline their authenticity, as one of signs of rightness of the got numerical decisions is convergence of differential equalizations. The worked out methods and algorithms can be useful at development of new constructions of submarine technological robots.

flexible element, method of continuation on a parameter, numerical integration

Одержано 12.10.14

УДК 621.98.04

В. Я. Мірзак, ст. викл., В. М. Боков, проф., канд. техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет, bokov_vm@mail.ru

Засоби динамічного моніторингу якості тонколистового розділового штампування в системі «прес-штамп»

Стаття присвячена засобам динамічного моніторингу якості тонколистового розділового штампування в системі «прес-штамп». Наведено технічні характеристики пристрою контролю точності для пресів номінальним зусиллям 0,4...0,63 МН, його схему, опис роботи й методику розрахунку основних параметрів. Запропоновано пристрій для динамічного моніторингу деформаційного стану штампа в процесі виконання технологічної операції.

динамічний моніторинг якості, точність преса під навантаженням, компенсатор, деформаційний стан штампа

В.Я. Мирзак, ст. препод., В.М. Боков, проф., канд. техн. наук

Кировоградский национальный технический университет

Средства динамического мониторинга качества тонколистовой разделительной штамповки в системе «прес-штамп»

Статья посвящается средствам динамического мониторинга качества тонколистовой разделительной штамповки в системе «прес-штамп». Приведены технические характеристики устройства контроля точности для прессов номинальным усилием 0,4...0,63 МН, его схему, описание работы и методику расчета основных параметров. Предложено устройство для динамического мониторинга деформационного состояния штампа в процессе выполнения технологической операции.

динамический мониторинг качества, точность преса под нагрузкой, компенсатор, деформационное состояние штампа

© В. Я. Мірзак, В. М. Боков, 2015

Актуальність. Існуючі норми точності на преси передбачають геометричний контроль основних його деталей і вузлів та їх взаємоположення в процесі переміщення робочих органів, але виконується такий контроль, як правило, в статичному стані при виготовленні пресу й, інколи, в динамічному стані (в процесі експлуатації), без врахування дії технологічного навантаження [1, 2, 3]. В роботах [4, 5, 6] показано, що під час виконання розділових операції відбуваються інтенсивні деформаційні процеси в системі «прес-штамп», внаслідок чого такий параметр пресу, як неперпендикулярність ходу повзуна площині стола, значно виходить за встановлені норми. Жорсткість напрямних елементів штампного оснащення не є достатньою для забезпечення потрібної співвідносності робочих деталей (пуансона відносно матриці), що приводить до порушення рівномірності технологічного зазору між ними по контуру і, як наслідок, підвищенню їх зносу та зниженню показників точності та якості штампованих виробів. Треба також враховувати зміну жорсткості штампного блоку в момент занурення пуансона в матеріал заготовки, коли до жорсткості напрямних колонок додається жорсткість робочих деталей штампного блоку, що значно змінює загальну деформаційну картину.

В умовах виробництва точність преса та штампа поступово знижуються, що приводить до збільшення амплітуди зміщення верхньої половини штампа відносно нижньої, зростання нерівномірності зазору між пуансоном та матрицею, збільшення розкиду розмірів деталей, зростання нерівномірності величини задирки по контуру деталі, а отже втрати якості штампування.

Актуальною задачею тонколистового розділового штампування є контроль стану системи «прес-штамп» в процесі технологічного навантаження. Даний контроль, за думкою авторів, доцільно виконувати в режимі динамічного моніторингу.

Мета дослідження – розробка засобів динамічного моніторингу якості тонколистового розділового штампування в системі «прес-штамп».

Методика дослідження. Для підвищення кількості годних деталей в партії при тонколистовому розділовому штампуванні пропонується забезпечити:

- норми точності преса (наприклад, геометричну точність) з урахуванням технологічного навантаження;
- норми точності штампа при експлуатації на компенсаторі похибок системи «прес-штамп» (розробка авторів [7, 8]) або без нього.

Виконання цих умов дозволить зменшити амплітуду зміщення верхньої половини штампа відносно нижньої і тим самим створить кращі умови його експлуатації.

Адаптивний контроль параметрів точності та якості в системі «прес-штамп» під навантаженням має певні ускладнення. Це пов'язано з коротким часом виконання технологічної операції та складністю розміщення засобів контролю в робочій зоні пресового обладнання. Проблему можна вирішити таким чином:

- проведенням відповідних досліджень на пресобудівних заводах з включенням показників точності пресу під навантаженням в паспортні дані та інструкції по експлуатації;
- здійсненням контролю деформаційного стану системи «прес-штамп» в виробничих умовах на конкретному штампному оснащенні, що дає можливість отримати об'єктивну інформацію за ходом технологічного процесу, вносити в нього корективи і прогнозувати тенденції змін показників якості.

Відмічені вище особливості контролю системи «прес-штамп» під навантаженням накладають певні вимоги до конструкції відповідних пристроїв. Основні з них наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Особливості застосування пристроїв контролю

Місце застосування пристроїв контролю	Параметри, що контролюються				Наявність обов'язкових модулів	
	геометричні параметри		хід повзуна	перебіг повзуна	модуль технологічного навантаження	модуль штампового блоку
	горизонтальне зміщення повзуна	кутове переміщення повзуна				
Пресобудівні заводи	+	+	+	+	+	+
Штампувальні цехи	+	+	+	+	-	-

До другорядних показників, контроль яких можна здійснювати в подібних пристроях, потрібно віднести вібраційні характеристики преса після «зриву» навантаження при виконанні розділових операцій [9, 10].

Загальною вимогою для пристроїв контролю є універсальність, тобто можливість їх застосування для групи однотипних пресів. Що стосується умов компактності, то пристрої контролю пресів можуть по габаритам займати всю робочу зону преса, а пристрої контролю штампів повинні вписуватися в робочій простір з врахуванням габаритів штампового оснащення.

Результатом впровадження таких пристроїв контролю на пресобудівних заводах може бути графічна інформація в вигляді номограм або залежностей зміщення повзуна пресу в горизонтальному та кутовому напрямках від технологічного навантаження і жорсткості штампового оснащення в межах номінального зусилля пресу, яка додається до його паспортних даних за результатами випробувань разом з даними геометричного контролю точності без навантаження. Така інформація буде корисна тим, що ще на стадії проектування штампового оснащення можна буде оцінити можливість застосування того чи іншого пресу для виконання прецизійних операцій і, вразі невідповідності його цим вимогам, своєчасно прийняти рішення про альтернативні засоби підвищення точності, а саме, застосування відповідних пристроїв компенсації похибок системи “прес-штамп”.

В умовах виробництва на новому обладнанні, або на вже діючому обладнанні, яке подібний контроль не проходило, доцільно застосовувати малогабаритні переносні пристрої контролю, які закріплюються на штамповому оснащенні і дають інформацію щодо його деформаційного стану. Використання таких пристроїв, сумісно з ЕОМ і сучасним програмним забезпеченням статистичної обробки даних, дозволить надійно прогнозувати якість розділового тонколистового штампування.

Результати дослідження. В результаті теоретичного та експериментального дослідження розроблено два пристрої:

- пристрій 1 для динамічного моніторингу деформаційного стану преса під навантаженням;

- пристрій 2 для динамічного моніторингу деформаційного стану штампа (в процесі виконання технологічної операції).

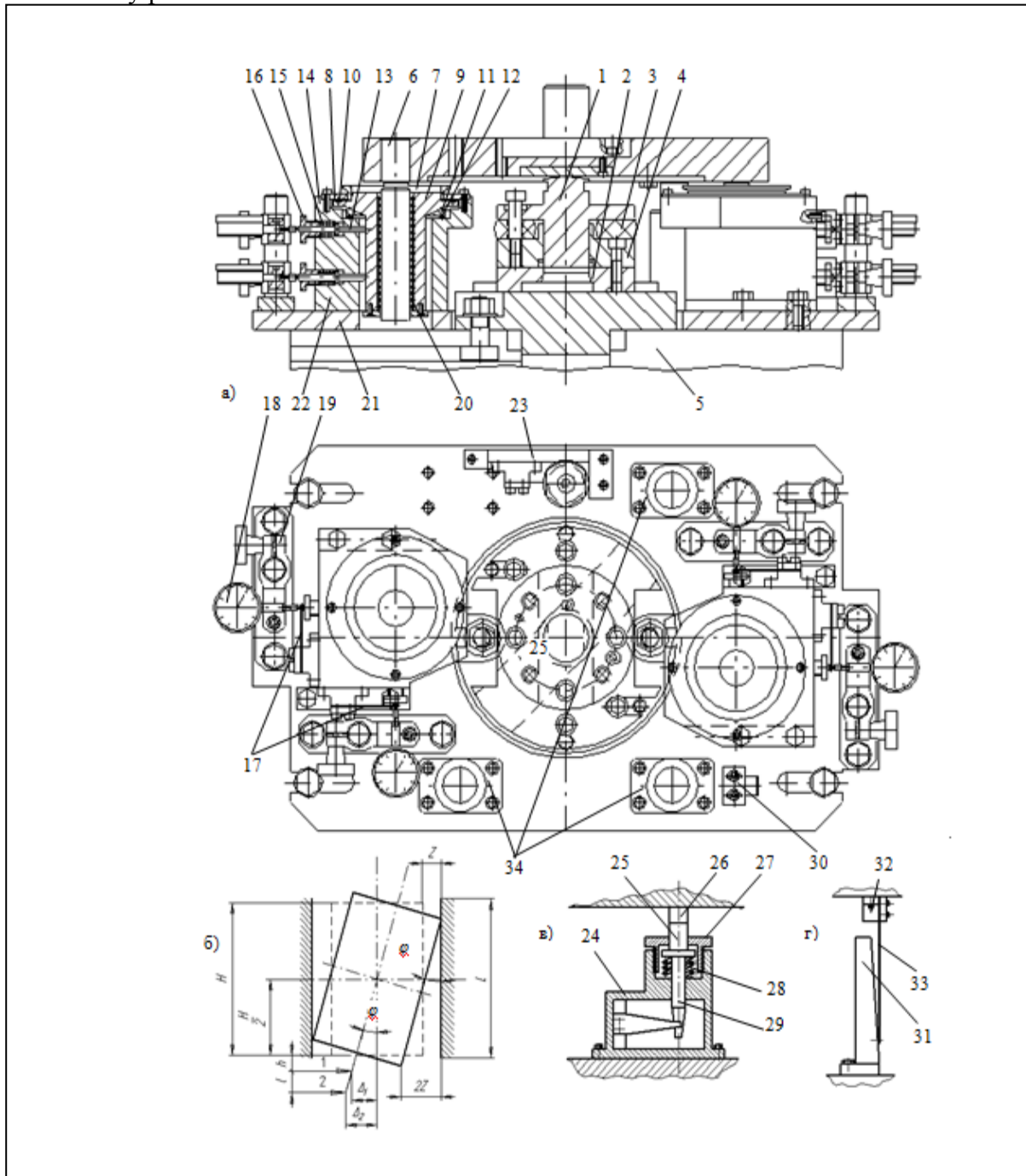
Пристрій 1 [11] входить до складу вимірювального комплексу разом з тензопідсилювачем або безконтактним індукційним вимірювачем малих переміщень, осцилографом або аналого-цифровим перетворювачем та персональним комп'ютером. Конструктивна схема пристрою 1 наведена на рис. 1.

Пристрій 1 динамічного моніторингу деформаційного стану преса під навантаженням призначений для контролю зсувів повзуна вздовж та впоперек фронту пресу при:

– центральному та ексцентричному навантаженням;

- жорсткому та вільному кріпленні пристрою, що навантажує;
- встановлених та знятих напрямних ковзання та кочення;
- діагональному та задньому розташуванні напрямних вузлів;
- жорсткому та плаваючому кріпленні верхньої плити;
- встановленні на підштампову плиту та компенсатор похибок пресу.

Пристрій 1 забезпечує також контроль величини перебігу повзуна при «зриві» навантаження та реєстрацію ходу повзуна пресу. Пристрій працює в динамічному та статичному режимах.



а – конструктивна схема; б – схема положення повзуна в напрямних преса; в – блок контролю вертикальних коливань повзуна преса; г – блок виміру ходу повзуна

Рисунок 1 – Пристрій 1 для динамічного моніторингу деформаційного стану преса під навантаженням

Основні технічні характеристики пристрою 1 наступні:

– діапазон виміру зсуву осі повзуна в горизонтальній площині, мкм	0...1000;
– вимір перебігу повзуна при відокремленні деталі, мкм	0...1000
– діапазон виміру кутів перекосу осі повзуна, град	0...1;
– діапазон реєстрації частоти коливань повзуна, Гц	0...1000;
– вимір ходу повзуна, мм	0...80;
– допустимий діапазон зусилля навантаження, кН	0...630;
– величина можливого зсуву осі тиску, мм	0...20;
– габаритні розміри, мм	770 × 400 × 200;
– маса, кг	60.

Пристрій 1 контролю точності пресів являє собою набір вимірювальних блоків непрямо пов'язаних з блоком навантаження, що дозволяє повністю контролювати положення осі повзуна в просторі протягом всього його ходу за рахунок жорстко зв'язаних з повзуном рухомих частин.

Блок навантаження складається з пуансону 1, матриці 2, пружини 3 та напрямного знімача 4. Блок встановлюється на плиту 5 і працює наступним чином. Верхня плита при ході повзуна преса вниз контактує через опорну шайбу зі сферичною поверхнею пуансона. Пуансон занурюється у заготовку і відбувається вирубування деталі. Можна змінювати технологічне навантаження в межах номінального зусилля преса за рахунок змінних комплектів пуансонів та матриць. Повернення пуансона здійснюється за допомогою пружини. Блок навантаження можна зсувати від осі повзуна в горизонтальній площині. Передбачено варіанти нерухомого кріплення матриці, можливість жорсткого кріплення пуансона до верхньої плити, розташування матриці на сферичній опорі та спільне встановлення пуансона і матриці з ексцентриситетом.

Блок контролю положення повзуна включає в себе: прецизійний напрямний вузол, який складається з напрямної колонки 6, що запресована у верхню плиту; напівкілець 7, що фіксують; кришки 8, яка контактує з втулкою 9 через пружний елемент 10. Втулка сферичною поверхнею опирається на кільце 11, яке через опори кочення 12 контактує з жорстко закріпленим на нижній плиті блока корпусом 22. Зовнішня поверхня втулки контактує з чотирма штовхачами 13, які знаходяться в корпусі 14 у взаємно перпендикулярних площинах і на різних висотах. Таке розташування штовхачів дозволяє одночасно реєструвати лінійні і кутові зміщення повзуна преса як при холостому ході, так і під навантаженням, а також коливальні процеси, які виникають на різних стадіях виконання технологічної операції. Протилежні торці штовхачів контактують з балками рівного опору 17, які можуть взаємодіяти з щупами індикаторів годинникового типу 18, що закріплюються в тримачах 19. Внутрішня поверхня втулки контактує з напрямною колонкою через опори кочення, які вмонтовані в сепаратор 20.

Блок працює наступним чином. Під дією технологічного зусилля повзун пресу зміщується в просторі, що приводить до зсуву напрямної колонки, яка через втулку 9 діє на вимірювальні штовхачі. Штовхачі деформують балки рівного опору, на які наклеюються тензодатчики. Штовхачі також можуть взаємодіяти з іншими вимірювальними приладами (месдозами і тензометрами, безконтактними індукційними або ємнісними датчиками). Для тарування датчиків використовуються індикатори годинникового типу з ціною поділки 0,001 мм, які встановлюються в тримачі, що регулюються.

Блок контролю положення повзуна проводить вимір та реєстрацію зсувів останнього в горизонтальній площині, а також кута його перекосу по різниці показань

вертикально розташованих на відстані l штовхачів 13. Для надійності контакту штовхачів з бічною поверхнею втулки 9 застосовується гайка 16, яка через пружину 15 забезпечує притиск штовхача до втулки навіть при великій частоті пружних коливань повзуна в момент різкого прикладання або зняття навантаження. Високій точності виміру також сприяє відсутність повздовжнього переміщення втулки 9 відносно штовхачів 13 і розташування останніх у взаємно перпендикулярних напрямках. Встановлення на нижній плиті 21 двох вимірювальних блоків контролю положення повзуна, розміщених протилежно, дає змогу реєструвати лінійні та кутові зсуви та коливання повзуна як в статиці, так і в динаміці. Наприклад, якщо в одному з блоків контролю штовхачі 13 навіть при значно стиснених пружинах 15 не встигають притиснутися до бічної поверхні втулки 9, яка швидко віддаляється від них, здійснюючи разом з повзуном коливання з великою частотою, то протилежно розташовані штовхачі в другому блоці реєструють зміщення у їх бік.

Порівняння осцилограм, отриманих за допомогою двох протилежно встановлених блоків, що реєструють, дозволяє отримати всі параметри коливального процесу повзуна в двох взаємно перпендикулярних площинах.

Відстань l між штовхачами 13 визначається наступним чином.

При ході повзуна пресу вниз (рис. 1, б) кут φ його перекоосу в напрямних дорівнює:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{2Z}{L} = \frac{2Z}{H \times \cos \varphi}, \quad (1)$$

де Z – величина однобічного зазору в напрямних;

L – довжина опорної частини напрямних;

H – висота повзуна.

Кут φ вимірюється за допомогою двох штовхачів, розташованих по вертикалі один над одним в блоці контролю положення повзуна

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{l} = \frac{\delta}{l}, \quad (2)$$

де Δ_1 - переміщення верхнього штовхача при перекосі повзуна;

Δ_2 - переміщення нижнього штовхача при перекосі повзуна;

δ - різниця між переміщеннями верхнього та нижнього штовхачів, яка характеризує кут перекоосу повзуна.

Прирівнявши праві частини рівнянь (1) і (2), отримаємо вираз для визначення відстані l між двома штовхачами:

$$l = \frac{\delta}{2Z} \times H \times \cos \varphi. \quad (3)$$

З виразу (3) виходить, що із зменшенням кута φ перекоосу повзуна та збільшенням його висоти H , при певній різниці δ між переміщеннями двох штовхачів, яку можна виміряти за допомогою наявних елементів, що реєструють (датчиків, індикаторів тощо), відстань між штовхачами збільшується. Отже, для підвищення точності виміру кута перекоосу повзуна відстань l між штовхачами повинна бути максимально можливою.

Враховуючи, що при малому куту нахилу повзуна до напрямних, тангенс та синус кута нахилу приблизно рівні, тому співвідношення між відстанню та висотою повзуна H має вигляд:

$$\frac{l}{H} = \frac{\delta}{2Z}. \quad (4)$$

Так як величина δ залежить від точності пристроїв, що реєструють та тарують, а максимальна величина сумарного зазору $2Z$ в напрямних знаходиться в межах норм точності на пресові установки при перевірці на відхилення від перпендикулярності ходу повзуна до поверхні стола, після відповідних перетворень отримуємо потрібну відстань між вимірювальними штифтами при заданих величинах H та h :

$$l = \frac{H + 2h}{2} \left(\frac{\Delta_2}{\Delta_1} - 1 \right), \quad (5)$$

а найменший кут нахилу φ повзуна до напрямних визначиться за формулою:

$$\varphi = \arctg \frac{\Delta_2 L - Z(H + 2h)}{l \cdot L}. \quad (6)$$

Блоки контролю положення повзуна дозволяють зафіксувати горизонтальні та кутові зсуви повзуна пресу при холостому ході (відсутності блока навантаження) і при робочому ході під навантаженням як в статичі, так і в динаміці.

Блок виміру "перебігу" пуансону 23 (рис. 1, а) наведений на рис.1, в. Блок складається із зварної стійки 24, прокладки 25, контактуючої магнітної шайби 26, гайки 27, пружини 28 та вимірювального штока 29. Блок працює наступним чином. Повзун пресу разом з верхньою плитою опускається вниз. На відстані на 1-2 мм більше товщини матеріалу t відбувається контакт плити з магнітною шайбою і подальше переміщення плити здійснюється спільно з вимірювальним штоком 29, що контактує своїм скосом з балкою рівного опору, на яку наклеюються тензодатчики.

Внаслідок невеликої величини ходу підпружиненого штоку, яка дорівнює $S = t + (2 \dots 4)$ мм, елементи, що реєструють (тензодатчики, індукційні безконтактні датчики малих переміщень і т. ін.) мають високу чутливість.

Таким чином, процес деформації (розділення) заготовки реєструється повністю з записом осцилограм величини вертикальних пружних коливань повзуна при різкому прикладанні та знятті навантаження.

Блок виміру ходу повзуна 30 (рис.1, а) наведений на рис. 1, г. Блок складається із стійки 31, основи 32, та балки рівного опору 33.

Блок виміру ходу повзуна працює при ході повзуна униз та уверх. При цьому балка рівного опору з наклеєними на неї тензодатчиками, контактує зі скосом стійки 31 та деформується, завдяки чому фіксується величина ходу повзуна на всьому діапазоні його переміщення. Це дозволяє пов'язати поперечні коливання повзуна, які реєструються блоком контролю положення повзуна та його вертикальні коливання при навантаженні-розвантаженні, які реєструються блоком реєстрації вертикальних пружних коливань, з ходом повзуна в будь-який момент часу.

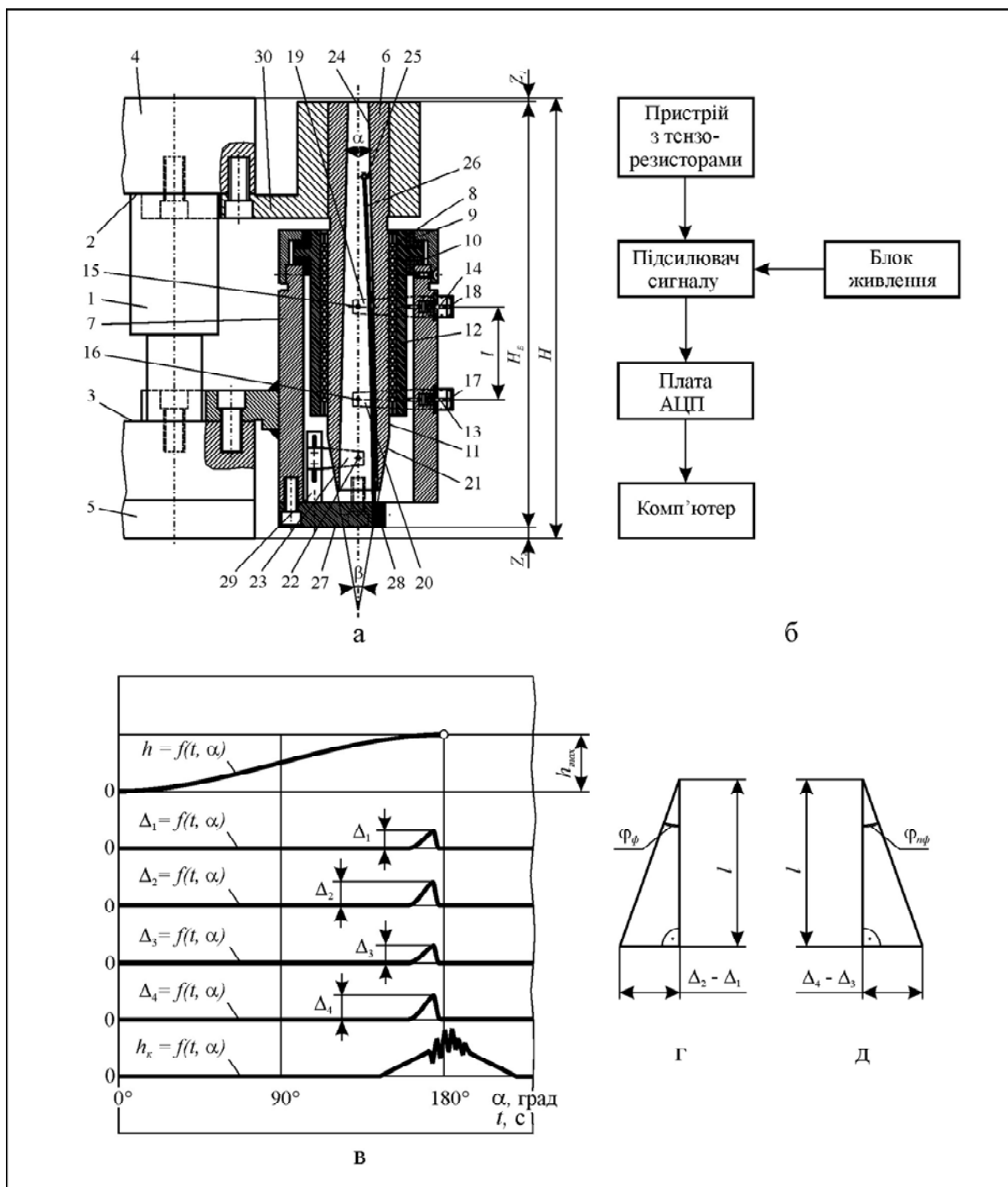
Пристрій контролю точності пресів під навантаженням дозволяє також моделювати вплив жорсткості штампа на точність преса за рахунок знімних напрямних ковзання 34 або кочення.

Дані, що отримані за допомогою вказаного пристрою, рекомендується враховувати при проектуванні штампного оснащення та вирішенні організаційних питань технологічної підготовки штампувального виробництва.

Принципово пристрій 1 також може бути використаний і для моніторингу деформаційного стану штампа в процесі технологічного навантаження. Для чого необхідно замість блоку навантаження повзуна встановити у пристрій реальний штамп, та змінити назви і призначення інших блоків в наступні: блок контролю деформаційного стану штампного інструмента (замість блоку контролю положення повзуна); блок реєстрації пружних коливань інструмента (замість блоку реєстрації пружних коливань повзуна); блок реєстрації переміщення інструмента (замість блоку реєстрації переміщення повзуна). Але пристрій 1 має підвищену закриту висоту, яка складається із закритої висоти штампа, що є об'єктом моніторингу, та товщини верхньої і нижньої плит блоку контролю. Крім того, пристрій 1 має значно більші габарити в плані ніж штамп. За даних причин суттєво зростає маса рухомих частин пристрою та виключається можливість здійснювати моніторинг деформаційного стану штампа на тому пресі, на якому даний штамп повинен працювати. В зв'язку з тим відомий пристрій встановлюють на прес більшого типорозміру, якій, як правило, має меншу кількість ходів у хвилину та інші точності характеристики. Саме тому отримані за допомогою даного пристрою результати, щодо моніторингу деформаційного стану штампа в процесі технологічного навантаження, значно відрізняються від результатів, що відповідають реальним умовам експлуатації штампа. З метою підвищення точності отриманої інформації, запропоновано саме пристрій 2 [12], який здійснює моніторинг деформаційного стану штампа в процесі технологічного навантаження в реальних умовах штампування.

Пристрій 2 також входить до складу вимірювального комплексу разом з тензопідсилювачем або безконтактним індукційним вимірювачем малих переміщень, осцилографом або аналого-цифровим перетворювачем та персональним комп'ютером, Конструктивна схема пристрою 2 наведена на рис. 2.

Суть пристрою 2 для моніторингу деформаційного стану штампа в процесі технологічного навантаження, який включає в себе блок контролю деформаційного стану штампного інструмента, блок реєстрації пружних коливань інструмента, блок реєстрації переміщення інструмента, полягає в тому, що усі блоки виконано в одному швидкозмінному і компактному вузлу, закрита висота якого не перевищує закриту висоту штампа, а сам вузол виконано з можливістю консольного кріплення до внутрішніх поверхонь верхньої та нижньої плит штампа, причому об'єднуючим елементом усіх блоків є колонка, яка пов'язана з корпусом пристрою через кульковий напрямний вузол та еластичні елементи і має: зовнішню циліндричну робочу поверхню, що без зазору взаємодіє через циліндричну втулку з підпружиненими штифтовими упорами, які розташовані у двох взаємно перпендикулярних площинах і передають рух двом парам пружних пластин-балок рівного опору з наклеєними тензорезисторами блоку контролю деформаційного стану штампного інструмента; зовнішню конічну робочу поверхню, з якою взаємодіє упор пружної пластини-балки рівного опору з наклеєними тензорезисторами блоку реєстрації пружних коливань інструмента; внутрішню конічну робочу поверхню, з якою взаємодіє упор пружної пластини-балки рівного опору з наклеєними тензорезисторами блоку реєстрації переміщення інструмента.



а - схема пристрою; б - блок схема осцилографування результатів моніторингу;
 в - фрагмент типової осцилограми; г - розрахункова схема для визначення кута φ_{ϕ} відхилення пуансона від номінального положення в площині фронту преса при технологічному навантаженні;
 д - розрахункова схема для визначення кута $\varphi_{n\phi}$ відхилення пуансона від номінального положення в площині перпендикулярній фронту штамп при технологічному навантаженні

Рисунок 2 – Пристрій для моніторингу деформаційного стану штамп в процесі технологічного навантаження

Пристрій 2 для моніторингу деформаційного стану штамп в процесі технологічного навантаження (рис. 2.) складається із трьох блоків (блоку контролю

деформаційного стану штампового інструмента, блоку реєстрації пружних коливань інструмента; блоку реєстрації переміщення інструмента), які виконано в одному швидкозмінному і компактному вузлу, закрита висота H_B якого менше закритої висоти штампа H на величину, що дорівнює сумі гарантованих зазорів $Z_1 + Z_2$, а сам вузол виконано з можливістю консольного кріплення до верхньої 4 та нижньої 5 плит штампа 1 із встановленням його на шліфовані поверхні 2, 3. Об'єднуючим елементом усіх блоків є колонка 6, яка пов'язана з корпусом 7 пристрою через кульковий напрямний вузол 8 та еластичні елементи 9, 10 і має: зовнішню циліндричну робочу поверхню 11, що без зазору взаємодіє через циліндричну втулку 12 з підпружиненими штифтовими упорами 13, 14, 15, 16, які розташовані у двох взаємно перпендикулярних площинах і передають рух двом парам пружних пластин-балок (17, 18 – за віссю x та 19, 20 – за віссю y в площині штампування) рівного опору з наклеєними тензо-резисторами блоку контролю деформаційного стану штампового інструмента; зовнішню конічну робочу поверхню 21, з якою взаємодіє упор 22 пружної пластини-балки 23 рівного опору з наклеєними тензорезисторами блоку реєстрації пружних коливань інструмента; внутрішню конічну робочу поверхню 24, з якою взаємодіє упор 25 пружної пластини-балки 26 рівного опору з наклеєними тензорезисторами блоку реєстрації переміщення інструмента. Пластина-балка 26 жорстко кріпиться до тримача 27 за допомогою планки 28, а пластина-балка 23 – до стояка 29 з можливістю регулювання в осьовому напрямку. В свою чергу, стояк 29 нерухомо закріплено відносно тримача 27. Колонка 6 запресована в тримач 30. Для підвищення чутливості (амплітуди) реєстрації коливань штампового інструмента кут β зовнішньої конічної поверхні 21 колонки 6 виконують значно більшим кута α її внутрішньої конічної поверхні 24.

Пристрій 2 працює таким чином. Для моніторингу деформаційного стану штампового інструменту в процесі технологічного навантаження штамп 1 встановлюється саме на тому пресі, на якому він в подальшому буде працювати. До штампа 1 кріплять пристрій з базуванням на шліфовані поверхні 2, 3 верхньої 4 та нижньої 5 плити. Налаштування пристрою передбачає: регулювання положення пластини-балки 23 за висотою; підключення апаратури для осцилографування результатів моніторингу деформаційного стану штампового інструмента у відповідності з принциповою блок-схемою; регулювання (обнуління) початкових координат тензорезисторів пластин-балок 17, 18, 19, 20, 26, 29 на осцилограмі. Далі здійснюють штампування та запис результатів осцилографування показників тензорезисторів в пам'ять комп'ютера за допомогою плати АЦП.

Із подальшого аналізу отриманої осцилограми визначають кути відхилення колонки 6:

– кут φ_ϕ відхилення пуансона від номінального положення в площині фронту штампа при технологічному навантаженні за формулою (7)

$$\varphi_\phi = \arctg \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{l}, \quad (7)$$

де Δ_1, Δ_2 – показники відповідних тензорезисторів, що вимірюються за осцилограмою; l – відстань між тензорезисторами;

– кут $\varphi_{n\phi}$ відхилення пуансона від номінального положення в площині, що перпендикулярна фронту штампа при технологічному навантаженні за формулою (8)

$$\varphi_{n\phi} = \arctg \frac{\Delta_4 - \Delta_3}{l}, \quad (8)$$

де Δ_4 , Δ_5 - показники відповідних тензорезисторів, що вимірюються за осцилограмою.

Інформація про амплітуду, частоту та тривалість коливальних процесів інструмента в напрямку штампування зафіксована на осцилограмі на нижній кривій.

Використання пристрою для моніторингу деформаційного стану штампа в процесі технологічного навантаження, що пропонується, порівняно з відомим, дозволяє суттєво підвищити точність отриманої інформації за рахунок здійснення моніторингу в реальних умовах штампування, при підвищенні рівня універсальності та зручності користування, а також при 10...15-кратному зменшенні маси та меншій вартості пристрою.

Висновки. В статті наведений аналіз існуючих засобів контролю точності пресового обладнання та штампового оснащення. Запропоновані заходи щодо застосування пристроїв динамічного моніторингу деформаційного стану преса під навантаженням в умовах пресобудівних заводів та пристроїв для динамічного моніторингу деформаційного стану штампа (в процесі виконання технологічної операції) в умовах штампувального виробництва. Розроблені вимірювальні комплекси для контролю точності пресового обладнання під навантаженням з можливістю застосування на гаму пресів та моніторингу деформаційного стану штампа в процесі технологічного навантаження. Застосування комплексів підвищує точність та якість як виготовлення пресового обладнання, так і технологічних процесів штампування деталей підвищеної та високої точності.

Список літератури

1. Батура А. И. К методике измерения рабочей точности прессов. / А. И. Батура, А. П. Рудницкий. – Воронеж: ЭНИКМАШ, 1976. – 170 с.
2. Титаренко Н.И. Точность системы пресс-штамповый блок. / Н. И. Титаренко. – Киев: Наукова думка, 1980. – 135 с.
3. Мартон Т. и др. Испытание прессов на точность в цеховых условиях. Кузнечно–штамповочное производство, 1986.- № 9.- С.29-30.
4. Кокоулин В. П. Исследование жесткости станин открытых кривошипных прессов: автореф. дис. на соиск. уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.03.05 «Процессы и машины обработки давлением» / В. П. Кокоулин. – 05.03.05 «Процессы и машины обработки давлением». – 1967. – 20 с.
5. Касымкулов С. К. Деформируемость станин открытых прессов, разработка методики расчета и оптимизация конструкции: автореф. дис. на соиск. уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.03.05 «Процессы и машины обработки давлением» / С. К. Касымкулов. – Москва, 1984. – 20 с.
6. Явтушенко А. В. Силовые условия устойчивости ползуна однокривошипного преса / А. В. Явтушенко // Вісник СевНТУ: зб. наук. пр. Вип. 133/2012. Серія: Механіка, енергетика, екологія. – Севастополь, 2012. – С. 260-268.
7. Мірзак В. Я. Моделивання показників міцності механічного компенсатора похибок системи «прес-штамп» із застосуванням метода скінчених елементів / В. Я. Мірзак, В. М. Боков // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету: техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Вип. 27. – Кіровоград: КНТУ, 2014. – С. 3-12.
8. Пат. 70346 Україна, МПК В26 F 1/40. Спосіб тонколистового розділового штампування в системі «прес-штамп» з безззорним напрямком рухомої частини штампа відносно нерухомої / Мірзак В. Я., Боков В. М.; власник Кіровоградський національний технічний університет. – № u201113040; заявл. 07.11.2011; опубл. 11.06.2012, Бюл. № 11.
9. Горбатенко Ю. И. Влияние вибраций, возникающих при работе механических прессов, на окружающее оборудование / Ю. И. Горбатенко // Проектирование и производство крупных электрических машин. – Новосибирск, 1973. – С. 280-283.
10. Крешнянский В. Г. Расчёт амортизатора ползуна кривошипного преса / В. Г. Крешнянский, Н. П. Катков // Кузнечно-штамповочное производство. – 1977. – № 1. – С. 28–30.
11. А. с. 1418064 СССР, МКИ В30 В15/00. Устройство для измерения отклонения перемещения ползуна вертикальной пресовой установки. А. П. Качанов, В. Я. Мирзак, В. С. Запороженко и др. (СССР) №4186495/27. Заявлено 28.01.87; Опубл. 28.08.88, Бюл. № 31.

12. Пат. 32167 Україна, МПК В30 В 15/00. Пристрій для моніторингу деформаційного стану штампа в процесі технологічного навантаження / Мірзак В. Я., Боков В. М.; власник Кіровоградський національний технічний університет. – № u200713773; заявл. 10.12.2007; опубл. 12.05.2008, Бюл. № 9.

Vladimir Mirzak, Viktor Bokov

Kirovohrad National Technical University

Facilities of the dynamic monitoring of quality of thin-sheet dividing stamping in the system “press-stamp”

The aim of the work is the development of facilities of the dynamic monitoring of quality of thin-sheet dividing stamp in the system “press-stamp”.

The analysis of the existent control of precision of press equipment and stamps was carried out. The recommendations on application of the appliances of dynamic monitoring of the deformation state of press on-loading in the conditions of press-construction plants and devices for dynamic monitoring of the deformation state of stamp in the process of implementation of technological operation were made. Measuring complexes for the control of precision of press equipment on-loading with possibility of application of gamma-presses and monitoring of the deformation state of stamp in the process of technological loading were worked out.

Application of the complexes increases the precision and quality of the production of press equipment as well as technological processes of parts stamping of high precision.

dynamic monitoring of quality, precision press-load, compensator, deformation state of stamp

Одержано 04.03.15

УДК 656.132

М.М. Мороз, доц., д-р техн. наук

*Кременчуцький національний університет ім. Михайла Остроградського,
mykolai.moroz@gmail.com*

Шляхи вдосконалення пасажирських перевезень транспортном загального користування

Проведено аналіз моделей транспортної технології перевезення пасажирів та розроблено заходи з вдосконалення та розвитку транспортної мережі міста Кременчук. Розвиток міських пасажирських перевезень полягає у широкому впровадженні засобів логістики пасажирських перевезень, які передбачають цілеспрямоване вирішення науково-прикладних задач та забезпечують ефективність і якість кінцевих результатів діяльності транспорту загального користування.

транспортна мережа, пасажирські перевезення, ефективність, транспорт загального користування

Н.Н. Мороз, доц., д-р техн. наук

Кременчугський національний університет імені Михайла Остроградського

Пути усовершенствования пассажирских перевозок транспортом общего пользования

Проведен анализ моделей транспортной технологии перевозок пассажиров и разработано мероприятия по усовершенствованию и развитию транспортной сети города Кременчуг. Развитие городских пассажирских перевозок состоит в широком внедрении средств логистики пассажирских перевозок, которые предусматривают целенаправленное решение научно-прикладных задач и обеспечивают эффективность и качество конечных результатов деятельности транспорта общего пользования.

транспортная сеть, пассажирские перевозки, эффективность, транспорт общего пользования

© М.М. Мороз, 2015

Постановка проблеми. Сучасна вітчизняна і світова практика свідчать про зростання ролі послуг у конкурентноздатності підприємств на ринках збуту. Споживач фактично здобуває не тільки товар як фізичний об'єкт, але і послуги, які супроводжують його продаж. У цих умовах для більшості споживачів стала важливою не сама пропозиція, а, скоріше, суб'єктивний спосіб її сприйняття. Тому в останні роки прерогативою логістики поряд із управлінням матеріальними потоками є й управління сервісними потоками.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Жорстка конкуренція на ринку змушує переглядати існуючі принципи функціонування підприємств транспортної галузі. Для збереження своїх ринкових позицій підприємствам необхідно докласти зусиль у напрямку знаходження додаткових можливостей зниження рівня витрат, підвищення якості обслуговування споживачів. Накопичені проблеми потребують системного та комплексного підходу до їх вирішення. Як показує світовий досвід одним із дієвих інструментів управління господарською діяльністю та забезпечення адаптивності суб'єктів ринку є логістика [1, 2].

Незважаючи на наукові досягнення, логістичне управління на автотранспортних підприємствах знаходиться в початковому стані свого розвитку. Саме тому завдання вдосконалення системи управління потребує доопрацювання наукових і практичних аспектів діяльності підприємств транспортної галузі, створення відповідних методичних та організаційних інструментів управління, адекватних потребам часу [3, 4].

Формування цілей. Обґрунтувати методичні та практичні рекомендації щодо вдосконалення міських пасажирських перевезень м. Кременчук.

Виклад основного матеріалу. Забезпечення якості та ефективності пасажирських перевезень може бути досягнуто за рахунок системної реалізації заходів передбачених відповідним механізмом (рис. 1).



Рисунок 1 – Схема організаційно-економічного механізму вдосконалення перевезень

Комплексне вирішення заходів вдосконалення пасажирських перевезень, передбачених організаційно-економічним механізмом, забезпечує високу якість і ефективність транспортного обслуговування населення і позитивно впливає на діяльність інших сфер економіки, які користуються послугами пасажирського транспорту.

Важливим аспектом вдосконалення якості і ефективності пасажирських перевезень є широке впровадження засобів логістичного управління перевезеннями пасажирів. Логістичне управління перевезеннями пасажирів значно змінює традиційний характер економічних і організаційних відносин між різними видами транспорту. Найбільш фундаментальною зміною, яку вносить логістика в управління перевезеннями пасажирів є забезпечення ефективності комплексного транспортного обслуговування різними видами транспорту з орієнтацією на високі кінцеві результати діяльності.

Оптимальна взаємодія різних видів транспорту забезпечує високу ефективність пасажирських перевезень. В реальних умовах можуть бути реалізовані і інші альтернативні варіанти взаємодії різних видів транспорту в залежності від обставин, які склалися. Побудова транспортної мережі повинна обґрунтовуватись відповідними критеріями якості і ефективності перевезень. Критерії якості перевезень пасажирів включають: час очікування транспортних засобів у первинному пункті посадки; кількість пересадок у процесі руху від первинного до кінцевого пункту; комфортність поїздки; час поїздки; вартість поїздки.

До критеріїв ефективності перевезень пасажирів відносяться; собівартість перевезень; рентабельність перевезень; фондовіддача основних фондів транспортних підприємств; доходи від перевезень пасажирів; продуктивність праці.

Аналіз моделей транспортної технології перевезення пасажирів свідчить про те, що для забезпечення ефективності роботи рухомого складу необхідно вирішувати такі основні задачі:

- розробка математичної моделі логічного управління перевезеннями пасажирів Z_{01} ;
- розробка критеріїв системної ефективності функціонування логістичної системи управління процесами перевезення пасажирів – Z_{02} ;
- розробка стратегій логічного управління перевезеннями пасажирів – Z_{03} ;
- моніторинг та моделювання процесів перевезення пасажирів з метою ідентифікації основних характеристик їх функціонування, розвитку і адаптації – Z_{04} ;
- оптимізація маршрутів перевезень пасажирів в умовах взаємодії різних видів транспорту – Z_{05} ;
- оптимізація організаційної і функціональної структури логістичного управління процесами перевезення пасажирів – Z_{06} .
- створення необхідних структурних підрозділів логістичного управління – Z_{07} ,
- розробка алгоритмів оптимальної взаємодії різних видів транспорту у процесі перевезень пасажирів – Z_{08} ;
- оптимізація руху транспортних засобів – Z_{09} ;
- оптимізація використання трудових, матеріальних і фінансових ресурсів – Z_{10} .

Кожна з перелічених вище задач, згідно з вимогами системного підходу може бути представлена за такою формулою:

$$Z_{jk} \rightarrow M_{jk} \rightarrow A_{jk} \rightarrow P_{jk} \rightarrow R_{jk}, \quad (1)$$

де Z_{jk} – задача u -го рівня k -го найменування;
 M_{jk} – метод вирішення задачі J -го рівня k -го найменування;
 A_{jk} – алгоритм вирішення задачі у J -го рівня k -го найменування ;
 P_{jk} – програмно-технічні (ресурсні) засоби вирішення задач J -го рівня k -го найменування;

R_{jk} – результат вирішення задачі J -го рівня k -го найменування.

Дослідження процесів логістичного управління пасажирськими перевезеннями свідчить, що в основу побудови відповідних логістичних моделей може бути покладена методологія програмування життєвого циклу (далі - ЖЦ) транспортної послуги.

Під програмуванням ЖЦ транспортної послуги необхідно розуміти процес планування необхідних (заданих) цільових показників послуги в середовищі функціонування шляхом:

- оптимального розподілу ресурсів по всіх етапах ЖЦ;
- досягнення максимальної техніко-економічної ефективності систем і процесів проектування, виготовлення (обслуговування) та забезпечення їх оптимального функціонування.

Сам ЖЦ транспортної послуги розглядається як багаторівнева і багатоетапна техніко-економічна структура, яка упорядковує в часі систему взаємопов'язаних процесів проектування, побудови і цільового використання, в межах якої реалізуються процеси цілеспрямування, цільового планування, логістичного управління, розподілу ресурсів та ціледосягнення.

Ця структура є економічно-обґрунтованою та ефективною для інтеграції логістичної системи управління пасажирськими перевезеннями міста за єдиною цільовою програмою і критеріями максимальної ефективності кінцевої мети.

В традиційній інфраструктурі транспортна технологія перевезень пасажирів повинна доповнюватись інформаційною технологією. Розвиток логістичних систем управління перевезеннями пасажирів базується на інформаційному супроводженні їх в структурах ЖЦ. Системи автоматизованого управління окремими ланцюгами логістики (етапами ЖЦ) входять до складу функціональними підсистемами (системами) до складу інтегрованої автоматизованої логістичної системи (далі - ІАЛС).

У процедурному аспекті програмування ЖЦ транспортної послуги – це комплексно-цільова процедура, яка забезпечує на єдиній логіко-інформаційній основі єдність вимог до якості і ефективності міських пасажирських перевезень, незалежно від відомчого розділення підприємств, організацій і установ, які приймають участь у їх здійсненні. Постановка задач програмування логістичного управління процесами міських пасажирських перевезень забезпечує формування єдиних вимог до потужності та мобільності цільових інформаційних систем, які становлять інформаційне ядро ІАЛС, що реалізує інформаційні технології.

Інтегрована автоматизована логістична система управління процесами пасажирських перевезень включає такі підсистеми:

- автоматизовану систему диспетчерського управління пасажирським транспортом (АСДУПТ);
- автоматизовану систему управління процесами паркування транспортних засобів (АСУПТЗ);
- автоматизовану експертну систему (АЕС);
- автоматизовану систему обробки даних (АСОД);
- автоматизовані системи управління виробництвом на рівні транспортних підприємств (АСУВ).

Функціонування ІАЛС здійснюється за єдиними критеріями системної мети.

Основними напрямками вдосконалення процесів міських пасажирських перевезень м. Кременчук на сучасному етапі є:

1. Створення наукового організаційно-технічного потенціалу, який забезпечив би на єдиній системно-методичній основі вирішення задач підвищення ефективності і якості міських пасажирських перевезень.

2. Розробка і ефективна реалізація моделей і методів логістики пасажирських перевезень на всіх підприємствах, що входять до складу транспортного комплексу, який забезпечує міські пасажирські перевезення.

3. Створення на рівні міста ефективного середовища, з урахуванням усіх аспектів діяльності (економічного, технічного, технологічного, соціального тощо), яке б стимулювало оптимальний розвиток прогресивних форм і методів перевезень пасажирів, значний вклад інвестицій у розвиток виробничо-технічної бази транспортних підприємств.

4. Розробка і реалізація раціональних економічних і фінансових механізмів, які б забезпечили ефективне функціонування і розвиток міських пасажирських перевезень.

5. Розробка і ефективна реалізація кадрового забезпечення процесів пасажирських перевезень на сучасному етапі у м. Кременчук.

Головна мета поступового і ефективного розвитку міських пасажирських перевезень полягає у широкому впровадженні засобів логістики пасажирських перевезень, які передбачають цілеспрямоване вирішення науково-прикладних задач технічного, технологічного, економічного, інформаційного і соціального спрямування та забезпечують ефективність і якість кінцевих результатів діяльності.

Для оцінки динаміки функціонування систем логістичного управління окремими об'єктами і процесами виникає необхідність побудови відповідних моделей, тобто:

$$M_{[IACS]} = M_{[IACS]} \{M_{[ACUDRTZ]}, M_{[ACDUPIT]}, M_{[AES]}, M_{[ACOD]}, M_{[ACUV]}\}, \quad (2)$$

де $M_{[IACS]}$ – модель інтегрованої автоматизованої логістичної системи управління пасажирськими перевезеннями:

$M_{[IACS]}$ – модель автоматизованої системи управління дорожнім рухом транспортних засобів;

$M_{[ACUDRTZ]}$ – модель автоматизованої системи диспетчерського управління пасажирським транспортом;

$M_{[ACDUPIT]}$ – модель автоматизованої експертної системи;

$M_{[AES]}$ – модель автоматизованої системи обробки даних;

$M_{[ACOD]}$ – модель автоматизованої системи управління виробництвом транспортних підприємств.

$M_{[ACUV]}$ – модель автоматизованої системи управління виробництвом транспортних підприємств.

Модель (2) може бути задана на множині задач, вирішення яких є досягненням мети. Логістичне управління міськими пасажирськими перевезеннями потребує прогнозування кількісних показників міських пасажирських перевезень за видами транспорту в залежності від чинників, що їх формують. Проведеними дослідженнями встановлено, що основними чинниками, які впливають на транспортну рухомість населення є: середня заробітна плата та внутрішній валовий продукт. Залежність транспортної рухомості населення від ВВП та середньої заробітної плати описується наступним виразом:

$$y = 85,7 + 0,841x_1 + 0,016x_2, \quad (3)$$

де y – транспортна рухомість населення (одного мешканця);

x_1 – середньомісячна заробітна плата;

x_2 – ВВП.

Із виразу видно, що зростання величин x_1 , та x_2 , обумовлює зростання транспортної рухомості населення. Величина x_1 характеризує виробничу та соціально-економічну ефективність у місті, а величина x_2 - відображає в цілому економічну ефективність функціонування економічної системи міста.

Транспортна рухомість населення залежить від середньої заробітної плати та тарифу на транспортні послуги і визначається за виразом:

$$y=f(z), \quad (4)$$

отже,

$$Z=x_1/T, \quad (5)$$

де z - покупна транспортна спроможність населення;

T -тариф на перевезення.

Залежність транспортної рухомості населення від покупної транспортної спроможності описується виразом:

$$y=96,1 +0,0261 z+0,187 x_2. \quad (6)$$

Отримані моделі дозволяють прогнозувати транспортну рухомість населення для формування відповідних організаційно-економічних рішень та забезпечення на цій основі високої ефективності і якості пасажирських перевезень.

Вихідними даними для розробки заходів з підвищення ефективності роботи окремих маршрутів стали результати обстеження пасажиропотоків та соціологічного транспортного опитування населення міста, а також безпосередні спостереження експертів.

Для вибору перспективних заходів з підвищення ефективності транспортної мережі міста були використані значення характеристичних показників прийняття рішень та інформація, що отримана в результаті обробки пасажиропотоків на міських маршрутах, а саме: машинограми розподілу пасажиропотоків за годинами доби, пікові ранкові та вечірні періоди; обороту зупинок міського транспорту та завантаження перегонів на маршрутах протягом доби; розрахункова кількість транспортних засобів; кількість виконаних фактичних та розрахункових рейсів транспортними засобами за видами транспорту; коефіцієнти наповнення транспортних засобів за періодами доби; максимально завантажених перегонів на кожному маршруті за годинами доби.

Виходячи з матеріалів проведеного комплексного обстеження та результатів обробки пасажиропотоків міського пасажирського транспорту (далі за текстом – МПТ) загального користування на транспортній мережі м. Кременчук (далі – ТММ), а також технічного стану магістральної вулично-дорожньої мережі міста (далі – ВДМ) розраховано пасажировмісність та кількість транспортних засобів на кожному маршруті.

У той же час, за даними проведеного обстеження та відповідної обробки матеріалів з вивчення попиту населення на тролейбусних маршрутах міста Кременчук спостерігається тенденція збереження а на окремих ділянках деяких маршрутів відповідне зростання величини пасажиропотоків, що дозволяє на найближчу перспективу (тривалість 7-10 років) зберегти існуючу мережу без коригувальних змін траси слідування та функціонування тролейбусних маршрутів: тролейбусний маршрут №1: річковий Вокзал - Колісний з-д; тролейбусний маршрут №2: річковий Вокзал - НПЗ; тролейбусний маршрут №3: Дніпровський міст - Маршала Жукова.

Список літератури

1. Логистика: Интегрированная цепь поставок / Бауэрсокс Д. Дж., Олимп-Бизнес, 2001.
2. Гаджинский А. М. Логистика: Учебник для студентов высших учебных заведений. - М.: Издательско-торговая корпорация "Дашков и К°", 2004.
3. Основы логистики: Учеб. пособие / Под ред. Л.Б. Миротина и В.И. Сергеева. – М.: ИНФРА-М., 1999.
4. Основы логистики: Учеб. пособие/ Под ред. Л. Б. Миротина и В. И. Сергеева. - М.: ИНФРА-М., 2000.

Mykola Moroz

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

Ways of passenger transportations improvement by transport of general usage

The purpose of clause to prove the methodical and practical recommendations to improvement of urban Kremenchug passenger transportations.

The analysis of transport technology models of the passengers transportations is carried spent and is developed measures on improvement and development of a transport network of Kremenchug. The development of urban passenger transportations consists in wide introduction of means logistic of passenger transportations, which provide the purposeful decision of scientific-applied tasks and provide efficiency and quality of final results of activity of transport of general usage.

Proceeding from materials of the carried spent research on a transport Kremenchug network, and also technical condition of a main road network of city is designed the passengers capacity and quantity of vehicles on each route. From study of population demand on trolleybus routes the tendency of preservation passengers capacity is observed, that allows on the nearest prospect to save an existing network without adjustment changes of a transit and functioning of trolleybus routes.

transport network, passenger transportations, efficiency, transport of general usage

Одержано 31.10.14

УДК 62-752, 62-755

Ю.А. Невдаха, доц., канд. техн. наук, В.О. Дубовик, доц. канд. техн. наук, А.Ю. Невдаха, канд. техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет, uanevdaha@ukr.net

Теоретичне дослідження методів вдосконалення редукторів

В статті проведений теоретичний аналіз методів дослідження вдосконалення редукторів. Розглянуті технологічні та конструкторські рішення модернізації редукторів. Розглянута необхідність модернізації редукторів, внаслідок підвищення вимог до навантажувальної здатності. Запропоновано використання сучасних матеріалів при виготовленні редукторів.

редуктор, корпус редуктора, вал, зубчасте колесо, зубчасті передачі

Ю.А. Невдаха, доц. канд. техн. наук, В.А. Дубовик, доц. канд. техн. наук, А.Ю. Невдаха, канд. техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет

Теоретическое исследование методов усовершенствования редукторов

© Ю.А. Невдаха, В.О. Дубовик, А.Ю. Невдаха, 2015

В статті проведено теоретичний аналіз методів дослідження удосконалення редукторів. Розглянуті технологічні та конструкторські рішення модернізації редукторів. Розглянута необхідність модернізації редукторів, в зв'язку з збільшення вимог по навантажувальній спроможності. Предложено використання сучасних матеріалів при виготовленні редукторів.

редуктор, корпус редуктора, вал, зубчасте колесо, зубчаті передачі

Вступ. В багатьох галузях народного господарства, а саме в металургійній, нафтодобувній, сільськогосподарській та інших, в приводах машин та агрегатах використовуються зубчаті передачі (редуктори) [1]. Експлуатаційна практика свідчить, що слабким місцем в цих машинах та їх агрегатах є редуктор.

До підвищення надійності і довговічності роботи редукторів, весь час зростають вимогами. А саме до зносостійкості, втомної та контактної міцності, жорсткості, антикорозійних властивостей і опору ударним навантаженням. У зв'язку з цим виникає необхідність модернізації та вдосконалення технології виготовлення окремих деталей редукторів. Особливу увагу при виготовленні деталей необхідно звертати на забезпечення точності розмірів і форми, а також надання поверхневому шару необхідних фізико-механічних властивостей.

1. Технологічні та конструкторські рішення модернізації редукторів

У модернізації стандартних редукторів одним з основних є принцип конструктивної спадкоємності [1]. Це означає, що конструкції модернізованих редукторів побудовані на базі колишніх, які раніше застосовувалися у виробі або передбачають збереження всіх приєднувальних розмірів, що дозволяє споживачам без будь-яких додаткових витрат перейти до використання удосконалених конструкцій замість типових.

Модернізація редукторів - ідея не нова, вона може здійснюватися рядом технологічних та конструкторських рішень [1-4]:

а) підвищення твердості робочих поверхонь зубців для високонавантажених зубчастих коліс (використання зміцнюючої термічної або хіміко-термічної обробки таких як об'ємне гартування, цементация, азотування та інші);

б) точність виготовлення зубчастих коліс методом остаточної обробки зубців шліфуванням на спеціальних зубошліфувальних верстатах;

в) модернізації зубчастих коліс та передач за рахунок підвищення кінематичної точності, плавності роботи, контакту зубців та бічного зазору;

г) виготовлення зубчастих коліс з застосуванням більш якісних матеріалів.

При виготовленні зубчастих коліс з високою твердістю 50...60 HRC створюються деякі труднощі. При високій твердості заготовки, нарізування зубців дуже утруднене або зовсім неможливе, тому термообробку здійснюють після нарізування зубців [1]. Модернізація редукторів залежить від впровадження в виробничий процес нових методів хіміко-термічної та механічної обробки, що надає можливість підвищити несучу здатність зубчастих зацеплень, їх стійкості зносу та надійності зубчастих коліс.

Одним із удосконалених методів хіміко-термічної обробки зубчастих коліс є впровадження в виробництво процесу азотування, іонної цементации і нітроцементации, що забезпечують високі механічні властивості поверхневого шару зубів при зниженні рівня внутрішніх напружень і викривленні деталей.

Відомо, що зубці зубчастих коліс, які мають якісний поверхневий шар мають вищий рівень надійності та довговічності. Якість поверхневого шару повинна бути високою, а саме такою щоб при дії контактних напружень, температур і сил тертя робочі поверхні зубців могли протистояти втомному руйнуванню та пошкодженню робочих поверхонь. Тому в якості фінішної операції залишається операція зубошліфування, оскільки вона не має аналогів при забезпеченні точності виконання

всіх елементів зачеплення. Покращення та удосконалення процесу зубошліфування зумовлено використанням високотемпературних і високопористих шліфувальних кругів, а також з підбором режимів шліфування і оптимального складу мастильно-охолоджуючої рідини. Для покращення експлуатаційних властивостей після хіміко-термічної обробки виконують також притирання зубців коліс. Правильно виконаний процес притирання забезпечує високу якість поверхонь пар і знижує шумові характеристики передачі. Найбільш досконалим процесом притирання зубчастих пар на сьогодні є "турбо-притирання" (розроблено фірмою GLEASON).

Крім того працездатність зубчастих коліс в значній мірі залежить від правильного вибору геометрії зачеплення (форми і величини модифікації робочих поверхонь зубців), точності виготовлення і якості поверхневого шару зубців [2-4]. Тому від стандартних, модернізовані редуктори повинні відрізнятися конструктивними особливостями зубців передач і технологіями їх виготовлення. Наприклад числом заходів черв'яка і числом зубців колеса, розміром і розташуванням початкової плями контакту, твердістю зубців коліс і т.д.

В результаті довговічність модернізованих редукторів при однакових навантаженнях збільшиться в 1,6 - 3 рази [2]. Такі редуктори здатні сприймати підвищені в 1,4 - 2 рази навантаження при одночасному підвищеному опорі зносу і ККД. Здатність сприймати підвищені навантаження запобігає виникненню аварійних ситуацій, пов'язаних з поломками редукторів. А підвищений ресурс експлуатації дає економію, яка у кілька разів може перевищувати вартість самого редуктора.

Раніше в конструкціях типових черв'ячних редукторів згідно з принципом максимальної економії черв'ячних фрез і простоти збирання редукторів було передбачено модифіковане черв'ячне зачеплення, в якому початкова пляма контакту розташовувалась в середній частині зуба колеса. Ця конструктивна особливість була основною причиною зародження задирів на поверхні зубців, інтенсивного виділення тепла, зниженого ККД редуктора і невеликої довговічності черв'ячної передачі. Тепер в модернізованих редукторах використовується рекомендоване вченими оптимальне розташування початкової плями контакту біля торця зуба на виході. Тільки за рахунок цього нововведення ККД підвищується на 5 - 8%, зменшився знос зубців і їх нагрівання, а ресурс редуктора виріс в 1,2 - 1,4 рази [3].

В даний час одним із шляхів модернізації черв'ячних редукторів є застосування черв'ячних передач тороїдного зачеплення (з черв'яком увігнутого профілю). У порівнянні зі стандартними цей вид зачеплення забезпечує ряд переваг. Наприклад, при одному й тому ж навантаженні збільшується термін служби редуктора у 1,5 - 2 рази і передана ним потужність у 1,3 - 1,4 рази, підвищується ККД передачі на 10 - 30% та її міцність [4]. Крім того, така конструкція забезпечує покращені умови змащення в зоні контакту.

У циліндрично-тороїдному зачепленні реалізуються більш високі в порівнянні з відомими видами черв'ячних передач коефіцієнти перекриття, а саме в зачепленні знаходиться більша кількість зубців - до 7 одночасно. А розташування контактних ліній колеса забезпечує кращі умови для створення несучого гідродинамічного масляного шару між робочими поверхнями. Знижується радіальна сила в зачепленні. Відсутнє осьове зусилля на тихохідному валу.

Застосування нітроцементованої зубчастої передачі Новікова зі спеціальним профілем зубців коліс дозволяє відмовитися від таких фінішних операцій, як зубошліфування, зубохонінгування і зубошліфування, які збільшують трудові витрати і, як наслідок, вартість редуктора. Здатність навантаження зубчастої передачі Новікова 1,3 - 1,5 разів вища в порівнянні з евольвентним аналогом [2-4]. Допустиме

радіальне консольне навантаження, прикладене в середині посадочної частини в даному випадку менше ніж при евольвентному зачепленні. Тому модернізовані редуктори із передачами Новікова перевершують за технічними характеристиками редуктори з евольвентним зачепленням.

Також, одним із методів підвищення якості при виготовленні зубчастих передач є забезпечення необхідного контролю якості. Складність геометричної форми поверхонь зубців і вимога високої точності її забезпечення у виробництві визначає складність методів вимірювання параметрів зубчастих коліс. Вузькоспеціалізовані прилади поступилися місцем високоточним багатокординатним вимірювальним машинам (спеціалізованим і універсальним). Із спеціалізованих вимірювальних машин слід в першу чергу відзначити вимірювальні центри фірми KLINGELNBERG. За допомогою таких вимірювальних центрів, використовуючи відповідне програмне забезпечення, можна контролювати: циліндричні зубчасті колеса зовнішнього і внутрішнього зачеплення з прямими і косими зубцями; конічні зубчасті колеса з прямою та круговою формою зубців; черв'ячні фрези, шевери та зубонарізні долбляки; черв'яки і черв'ячні колеса. Таким чином, дотримання всіх умов технологічного процесу виробництва і багаторівневий контроль є однією з умов підвищення якості продукції.

У вітчизняному редукторобудуванні за узагальнений показник технічного рівня редукторів приймається питома матеріаломісткість, що дорівнює відношенню маси редуктора до допустимому обертовому моменту на тихохідному валу, регламентована ГОСТ 16162-78. Тому підвищення навантажувальної здатності, зниження питомої витрати матеріалів - основні шляхи вдосконалення і модернізації редукторів поряд з підвищенням якості, зниженням трудомісткості виготовлення, забезпеченням оптимальної надійності.

2. Підвищення вимог до навантажувальної здатності редукторів, та методика вибору їх габаритних розмірів

В даний час збільшення навантажувальної здатності редукторів йде головним чином за рахунок виготовлення коліс з матеріалів з високими механічними характеристиками, застосування різних видів термічної і хіміко-термічної обробки зубчастих пар, що забезпечують необхідну твердість поверхонь зубців, підвищення їх точності, застосування раціональних конструкцій підшипникових вузлів, а також за рахунок використання в циліндричних редукторах зачеплення Новікова. Все це висуває певні вимоги до корпусів редукторів, а отже також є резервом при модернізації і вдосконаленні редукторів.

Зниження матеріаломісткості редукторів в чималому ступені залежить від зменшення ваги самих корпусних деталей, так як вони складають значну частину ваги редуктора. Корпуси редукторів є базовими несучими конструктивними елементами і являють собою складні просторові конструкції, призначені для забезпечення правильного взаємного розташування деталей відносно один одного, для захисту передач від зовнішнього середовища і створення ефективного змащення. Основним критерієм працездатності корпусів у зв'язку з їх призначенням є жорсткість, міцність, вібростійкість, герметичність.

Жорсткість корпусу впливає на якість зачеплення зубчастих коліс і працездатність підшипників [2]. Пружні деформації корпусних деталей призводять до відхилень від паралельності і перекосів зубчастих коліс, і як наслідок, до великої нерівномірності розподілу навантаження по ширині зубчастого вінця, внаслідок чого фактична довговічність зубчастих коліс виявляється меншою ніж розрахункова. При недостатній жорсткості корпусу прогин стінок від зусиль в зачепленні може призвести

до неприпустимо великих зазорів в підшипниках і як наслідок непаралельність осей і валів може в кілька разів перевищити кут перекошу від прогину валів, що приймається в розрахунок при визначенні коефіцієнту концентрації навантаження в підшипниках.

При недостатній жорсткості фланців за рахунок деформацій корпусу може відбутися розкриття стику, що веде до зниження працездатності різьбових деталей, підшипників і зубчастих передач, а також до витoku масла по стику корпусних деталей.

Недостатня міцність корпусу призводить до того, що відколюються консольно-розташовані лапи, фланці, відбувається поломка корпусу найчастіше в області підшипникових вузлів. Зниження ваги корпусу можна отримати, проектуючи більш досконалі конструкції корпусів, що мають достатню жорсткість і міцність за рахунок раціонального, теоретично обґрунтованого вибору форми, розмірів і розташування конструктивних елементів, а також за рахунок використання нових матеріалів. Традиційним матеріалом для корпусів редукторів є сірий чавун, але останнім часом почали широко застосовуватися більш легкі алюмінієві сплави, що мають відносно низький модуль пружності, високий коефіцієнт лінійного розширення, тобто володіють невисокою твердістю, зносостійкістю, великим температурним видовженням. Це викликає необхідність дослідження жорсткості і міцності конструкцій корпусів з алюмінієвих сплавів.

Корпуси редукторів проектуються відповідно до вимог технологічності, зручності обробки поверхонь, монтажу передач, оглядів та ремонту при експлуатації [1]. Основні розміри і конструктивна форма корпусних деталей на практиці вибираються на підставі вивчення працездатності аналогічних конструкцій, використовуючи емпіричні залежності, що зв'язують розміри корпусу з параметрами редуктора. Зокрема, товщина стінок корпусу визначається забезпеченням необхідної жорсткості і технологічними можливостями отримання виливки. Існуючі методи розрахунку корпусів редукторів на жорсткість і міцність дуже наближено враховують реальні конструктивні форми, розміри, умови навантаження корпусів і забезпечення працездатності зубчастих передач і підшипників. Тому підвищення жорсткості і міцності корпусних деталей редукторів дозволить збільшити навантажувальну здатність передач і як наслідок ресурс всього редуктора.

Редуктори працюють в різних умовах і режимах експлуатації. Методика вибору оптимальних габаритних розмірів редукторів, що запобігає багатьом поломкам і аваріям полягає в наступному:

У визначенні розрахунково-експлуатаційне значення крутного моменту $T_{ВИХ}$ на вихідному валу за виразом:

$$T_{ВИХ} = T_{РОЗР} \cdot K_E ,$$

де K_E - експлуатаційний коефіцієнт, що враховує фактичні умови експлуатації та режим роботи редуктора

$$K_E = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 .$$

Значення коефіцієнтів $K_1 - K_7$ вибираються відповідно до даних наведених у таблицях 1-7, [5] стор. 18 виходячи з фактичних умов та режимів експлуатації редукторів.

За таблицями технічних характеристик, відповідно обраному типу редуктора порівнюється розрахункове значення передаточного відношення з табличним і знаходиться їх найближче менше U_M і найближче більше значення U_B .

Для знайдених передаточних відношень U_M і U_B :

а) порівнюються табличні значення частот обертання валів редуктора n_1 і n_2 з їх вихідними (необхідними) значеннями; порівнюються також табличні значення передаваних моментів T і коефіцієнта корисної дії η ;

б) з двох значень U_M і U_B вибирається передаточне відношення U редуктора залежно від найбільш впливових конструкторсько-експлуатаційних факторів, таких як:

- мінімум відхилення від необхідного значення параметра n_2 ;
- максимум ккд;
- максимум переданого моменту.

в) для вибраного значення U порівнюються табличні значення моментів на вихідних валах T_2 з розрахунковим значенням $T_{ВИХ}$ і знаходяться:

- найменші значення крутного моменту T_{2M} ;
- найбільші значення крутного моменту T_{2B} .

Потім визначається:

- типорозмір редуктора, який відповідає найближчому меншому значенню моменту T_{2M} ;

- типорозмір редуктора, який відповідає найближчому більшому значенням моменту T_{2B} .

Порівнюються техніко-експлуатаційні показники, габарити і маса редукторів і виконується конструктивно-експлуатаційний аналіз з метою визначення можливості вибору редуктора найближчого меншого типорозміру. Для цього переглядається конструкція машини (умови і режими її експлуатації) з метою зменшення значення експлуатаційного коефіцієнта K_E і, відповідно, зменшення розрахунково-експлуатаційного моменту $T_{ВИХ}$ до значення $T_{ВИХ} \leq T_{2M}$.

3. Використання сучасних матеріалів при виготовленні редукторів

Вдосконалення редукторів неможливе без застосування якісних і нових матеріалів. Для покращення якості металічних матеріалів використовують порошкову металургію. Вона включає процеси виробництва металічних порошків і спікання з них виробів. Сучасна порошкова металургія займається, по-перше, створенням матеріалів і виробів з такими характеристиками (склад, структура, властивості), яких досі неможливо досягти відомими методами плавки; по-друге, виготовленням традиційних матеріалів і виробів, але за вигідніших техніко-економічних показників виробництва.

Серед неметалічних матеріалів, які починають застосовувати в сучасному редукторобудуванні, важливого значення набули полімери на основі фенолформальдегідних смол, полівінілхлориду, поліетилену і фторопластів. Ці матеріали, на відміну від металічних, мають високу стійкість до агресивних середовищ, низьку густину, високий опір стиранню, добрі діелектричні і теплоізоляційні властивості. Окрім цього, важливе значення мають каучуки та різні матеріали на їх основі - бутилкаучук, фторкаучук, силіконові каучуки тощо.

Висновки. Розробка нових, вдосконалених і модернізованих існуючих конструкцій редукторів ґрунтується на застосуванні методик розрахунку і оптимізації, нормативно-технічна база яких для розрахунків на втомну міцність базується на дослідженнях 20 - 30 річної давності [1-4]. На основі них створені галузеві стандарти та документи, які практично без змін увійшли і введені в дію керівні нормативні документи Міністерства машинобудівної промисловості України (наприклад, КД 12.10.040-99 і КД 12.10.041-99). Сьогодні в машинобудуванні застосовуються методи

розрахунку на втомну міцність засновані на використанні коефіцієнтів запасу міцності, які визначаються як відношення граничних амплітуд напружень до робочих. При визначенні робочих амплітуд напружень приймається режим роботи машини, відповідний сталого моменту електродвигуна, а також враховується випадковий характер робочих навантажень, який оцінюється коефіцієнтом варіації крутного моменту в трансмісії. Зазначений коефіцієнт визначається розрахунковим шляхом за відповідними методиками, враховує змінність навантаження на виконавчих органах, змінність показників роботи і динамічні властивості машини. Коефіцієнти запасу міцності порівнюються з нормативними значеннями, отриманими на основі досвіду експлуатації машин. Основним недоліком зазначених методів розрахунку є те, що вони не дозволяють отримати показники довговічності редуктора (наприклад, гамма-процентний ресурс) для заданих технічних умов експлуатації машини і не враховують впливу на втомну міцність фактичних режимів роботи машин і максимальних пікових навантажень. Недосконалість існуючого методу особливо наочно проявляється при розрахунку валів і осей на витривалість. Наприклад, число циклів зміни напружень кручення приймається таким же, як і число циклів зміни напружень згину, які в свою чергу визначаються частотою обертання валу. Насправді, процес зміни напружень згину та кручення валів редуктора має складний, неоднаковий характер, причому напруження кручення на всіх валах редуктора змінюються однаково, а напруження згину суттєво по різному. Тому крім конструктивних і технологічних методів вдосконалення редукторів необхідно приділити увагу розробці і впровадженню нових методів розрахунку редукторів.

Список літератури

1. Павлище В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин: Підручник.– К. : Вища шк., 1993.- 556 с.
2. Серенсен С.В., Когаев В.П., Шнейдерович Р.М. Несущая способность и расчеты деталей машин на прочность. - М. : Машиностроение, 1975. - 488 с.
3. Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность / В.П. Когаев, Н.А. Махутов, А.П. Гусенков. - М. : Машиностроение, 1985. - 224 с.
4. Когаев В.П. Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени. - М. : Машиностроение, 1993. - 364 с.
5. В.И.Парубец, А.Е.Кузьмин. Методика підбора червячних редукторів, предотвращающая множество поломок и аварий. Редукторы и приводы. №1 (03) 2007.

Yriy Nevdaha, Vsktor Dubovik, Andrew Nevdaha

Kirovograd national technical university

Theoretical research of methods of improvement of reducers

In article the theoretical analysis of methods of research of improvement of reducers is carried out.

Considered such technological and design solutions reducers modernization as increased hardness of working surfaces of the teeth, making precision gears, gears modernization and transfers by increasing the kinematic precision manufacturing gears using higher quality materials.

The necessity modernization of reducers, due to increased load capacity requirements.

The use of modern materials made with gears.

reducer, reducer case, shaft, cogwheel, tooth gearings

Одержано 30.04.15

УДК 621.9.048.4

В.І. Носуленко, проф., д-р тех. наук, В.В. Юр'єв, асп.*Кіровоградський національний технічний університет, kntu-im13@ukr.net*

Розмірна обробка електричною дугою отворів складного контуру

Розроблено, теоретично та експериментально досліджено і описано технологічні схеми формоутворення розмірної обробки електричної дуги (РОД) листових деталей складного контуру згідно класифікатора та фізико-технологічні характеристики процесу, його гідродинаміка, конструкції електрода-інструмента (ЕІ), як високоефективну альтернативу традиційним технологіям.

електрична дуга, РОД, складний контур, заготовка, формоутворення, схеми

В.И. Носуленко, проф., д-р тех. наук, В.В. Юрьев, асп.*Кировоградский национальный технический университет***Размерная обработка электрической дугой отверстий сложного контура**

Разработано, теоретически и экспериментально исследованы и описаны технологические схемы формообразования размерной обработки электрической дугой (РОД) листовых деталей сложного контура согласно классификатора и физико-технологические характеристики процесса, его гидродинамика, конструкции электрода-инструмента (ЭИ), как высокоэффективную альтернативу традиционным технологиям.

электрическая дуга, РОД, сложный контур, заготовки, формообразование, схемы

Актуальність. В сучасному машинобудуванні широке застосування знаходять листові деталі з отворами. Частіше це отвори з круглим поперечним перерізом, які отримують просто і ефективно з використанням процесів обробки різанням та штампуванням. Проблемою є одержання отворів більш складних форм, особливо в товстолистових деталях. Для цього звичайно застосовують фізико-технічні способи обробки, а саме плазмову обробку, лазерну обробку та різновиди електроерозійної обробки - електроіскрову обробку та розмірну обробку електричною дугою (РОД) [1].

Отвори складного контуру, що отримують в товстолистовому матеріалі плазмовим різанням мають, дещо оплавлену, не перпендикулярну площині деталі поверхню різку. Суттєвий недолік - це також досить велика, при обробці вуглецевих сталей до 1 мм, зона термічного впливу, яка погіршує подальшу механічну обробку. Тому деталь підлягає відпалу. Окрім того при різанні матеріалу товщиною до 2 мм термічні напруження призводять до викривлення деталі [2].

Лазерне різання є високоефективним процесом, але також має недоліки, зокрема обмеження по товщині, десь до 10... 15 мм., наявність зони термічного впливу, високу вартість обладнання [3].

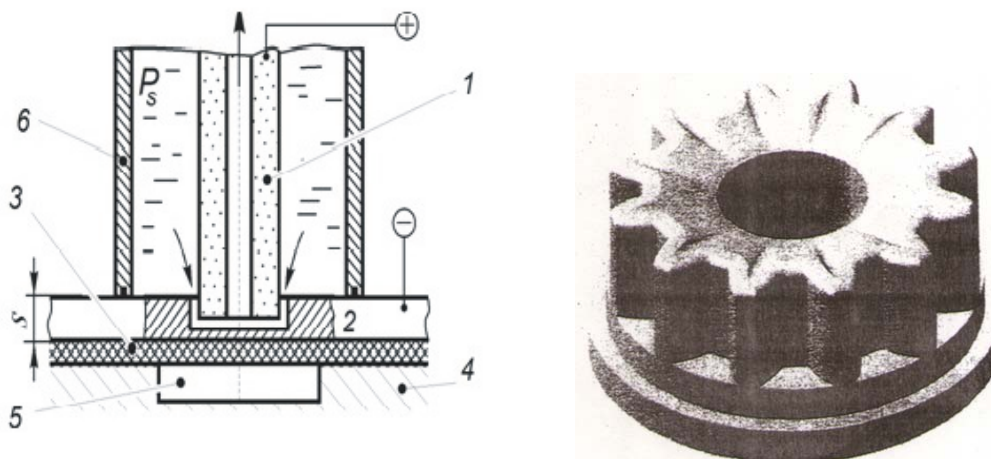
Електроіскрова обробка дозволяє уникнути вищезазначених недоліків плазмового та лазерного різання, але відрізняється низькою продуктивністю. Спосіб РОД порівняно з електроіскровою обробкою забезпечує значно більшу продуктивність, десь на порядок і більше. Отже, за зазначених умов, РОД є найбільш ефективний спосіб обробки. Рішення даної проблеми і обумовлює актуальність роботи.

Мета досліджень – підвищення ефективності процесу РОД отворів складного контуру при прокачуванні робочої рідини через ЕІ та заготовку.

Поставлена мета реалізується шляхом вирішення наступних задач:

- аналіз та обґрунтування технологічних схем формоутворення отворів складного контуру способом РОД;
- розроблено конструкції електродів;
- характеристики ефективності та відносного лінійного зносу ЕІ;

Методика досліджень. Для РОД отворів складного контуру в товстолистових деталях використовують дві технологічні схеми формоутворення. Згідно технологічної схеми формоутворення (рис. 1) робоча рідина прокачується в напрямку від периферії електрода-інструмента (ЕІ) до його центра, надалі відпрацьована рідина із продуктами ерозії видаляється через технологічний отвір в ЕІ, діаметр якого визначають конструктивно за умов забезпечення міцності стінки та можливості підведення максимальної потужності при густині струму до 2 А/мм^2 . При реалізації зазначеної схеми формоутворення, постає проблема в забезпеченні рівномірної течії робочої рідини на поверхні ЕІ, що, власне і забезпечує відповідну якість отвора [4]. Для цього застосовують ЕІ, який виконано у вигляді суцільного монолітного графітового тіла з отвором та плоскою робочою поверхнею, який відрізняється тим, що по зовнішньому робочому контуру передбачається робочий поясок в межах 3-5 мм, а від нього в напрямку отвору передбачається нахил робочої торцевої поверхні в межах $3-5^\circ$.

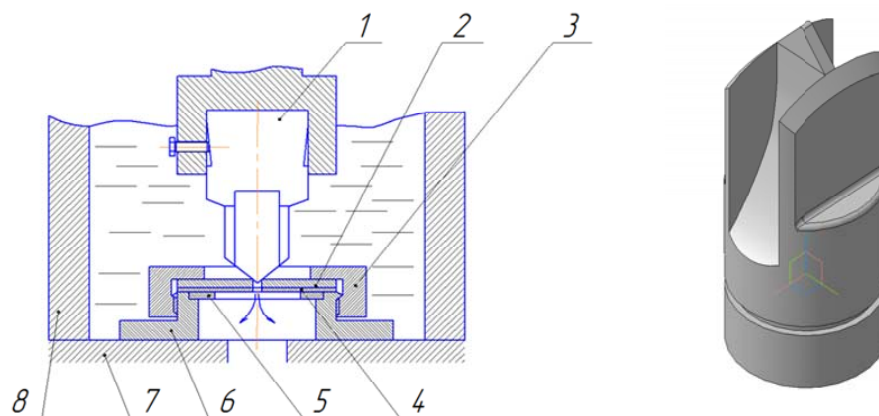


1 - ЕІ; 2-заготовка; 3 - гумова підкладка; 4 - підкладна плита; 5 - камера; 6 - гідрокамера

Рисунок 1 – Схема процесу формоутворення при прокачуванні через електрод

При цьому рівновіддаленість зовнішнього контура робочої поверхні по найбільш короткій нормалі до периметру забезпечує однакову відстань прокачування робочої рідини в міжелектродному зазорі, тобто однаковий гідродинамічний опір, завдяки чому забезпечується рівномірна течія робочої рідини і відповідно забезпечуються якісні характеристики, власне шорсткість і зона термічного впливу на обробленій поверхні деталі. Крім того кут нахилу $3-5^\circ$ від робочого пояса в напрямку руху продуктів ерозії, сприяє руйнуванню відходу видовженими дугами, а отже забезпечує збільшення продуктивності процесу обробки.

Згідно іншої технологічної схеми формоутворення (рис.2) робоча рідина прокачується в напрямку від периферії електрода-інструмента 1 до його центра і надалі відпрацьована рідина із продуктами ерозії видаляється через технологічний отвір 2 в заготовці, діаметр якого визначають конструктивно. Щоб забезпечити якісний вихід ЕІ з отвора необхідно уникнути впливу видовжених дуг на заготовку 2. Для цього передбачено підкладку 3. Заготовка разом з підкладкою за рахунок різьбового з'єднання притискається гайкою 4 до фланця 5. Фланець кріпиться до підкладної плити 6.



1 - ЕІ; 2 - заготовка; 3 - притискна гайка; 4 - підкладка; 5 - герметизуюча прокладка; 6 - фланець;
7 - підкладна плита; 8 – гідрокамера

Рисунок 2 - Схема процесу формоутворення при прокачуванні через заготовку

Обробка починається з технологічного отвору в заготовці, по мірі руху вниз ЕІ його робоча нахилена ділянка “розганяє” отвір до необхідної форми. На завершенні процесу калібруючи ділянка ЕІ забезпечує необхідні розміри отвору.

За умов реалізації зазначеної технологічної схеми формоутворення електрод-інструмент 1 має кут нахилу робочої поверхні електрода від вершини до периметру в межах $45 \dots 60^\circ$, як таку, при якій забезпечується достатня для стабільного процесу течія робочої рідини, а також забезпечується мінімально можлива висота вертикальної робочої ділянки електрода.

Результати досліджень. За результатами виконаних досліджень показано, що розроблена технологія та конструкції ЕІ забезпечують високу продуктивність та необхідну якість обробки.

Важливим показником економічної ефективності процесу є відносний лінійний знос ЕІ в зазначених умовах. На рис. 3 показано ступінь впливу на відносний лінійний знос ЕІ при РОД по внутрішньому контурі: $I = 50 \dots 350$ А, $P_s = 0,8 \dots 1,6$ МПа, $U = 28 \dots 32$ В.

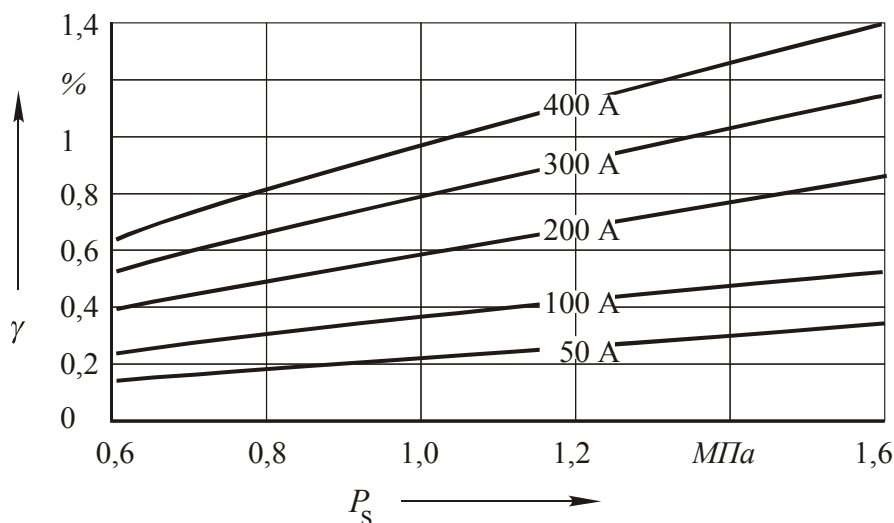


Рисунок 3 – Залежність відносного лінійного зносу ЕІ γ від сили струму I та статичного тиску P_s

Згідно представленого графіка знос ЕІ збільшується зі збільшенням сили струму та статичного тиску робочої рідини.

Висновки. За умов реалізації технологічної схеми формоутворення РОД, коли робоча рідина прокачується в напрямку від периферії ЕІ до його центра, а надалі відпрацьована рідина разом з продуктами ерозії видаляється через технологічний отвір в ЕІ, запропоновано ЕІ, який відрізняється тим, що по зовнішньому робочому контурі передбачається робочий поясок в межах 3-5 мм, а від нього в напрямку отвору передбачається нахил робочої торцевої поверхні в межах 3-5°.

Запропоновано спосіб РОД одержання наскрізних отворів в заготовці, коли в заготовці попередньо передбачається технологічний отвір, а ЕІ відрізняється тим, що робоча поверхня електрода-інструмента сформована під кутом 45-60° від отвору до периметру отриманого контуру деталі.

Список літератури

1. Носуленко В. И. Размерная обработка металлов электрической дугой // Электронная обработка материалов, 2005. №1. – С. 8 – 17.
2. Потапов В. А. Опытэксплуатациилазерных установок для резки на заводах США // Сварщик. - 2000. № 6. - С. 32-36.
3. Быховский Д. Г. Плазменнаярезка // Режущая дуга и энергетическоеоборудование. Л., «Машиностроение», 1972. – С. 168.
4. Носуленко В.И. Электрическая дуга в поперечномпотокесреды – диэлектрикакакаисточник тепла для новыхтехнологий /В.И. Носуленко// Электроннаяобработкаматериалов, – 2005. №2. – С. 26-33.

Viktor Nosulenko, Vitaly Yuriev

KirovogradNationalTechnicalUniversity

Dimensional processing electric arc holes of complex contour

The article is devoted to the development and improvement in dimensional processing electric arc holes of challenging when pumping circuit through the electrode-tool and the workpiece.

In work the analysis of the known methods of processing of complex contour holes and their shortcomings. Substantiated the technological scheme of forming holes of complex contour method dimensional processing electric arc. Were developed the structure of the electrodes and their relative linear wear

A method dimensional processing electric arc for processing sheet metal parts of complex contour and electrode-tool, ensuring high quality treatment.

electricarc, complexcontours, workpiece, forming, schematic

Одержано 28.04.15

УДК 621.865.8

І.І. Павленко, проф., д-р техн. наук, П.В. Попруга, асп.

Кіровоградський національний технічний університет, poprugapavel@gmail.com

Автоматизація структурного та кількісного аналізу кінематичних схем промислових роботів

В статті розглянуто автоматизований структурний та кількісний аналіз кінематичних схем промислових роботів за допомогою створеного програмного модуля в середовищі Delphi. Представлено опис розроблених процедур для проведення запропонованого аналізу. Наведено переваги даного автоматизованого аналізу та програмного модуля.

промисловий робот, кінематична схема, автоматизований структурний аналіз кінематичних схем, програмний модуль, процедура

И.И. Павленко, проф., д-р техн. наук, П.В. Попруга, асп.

Кировоградский национальный технический университет, г. Кировоград

Автоматизация структурного и количественного анализа кинематических схем промышленных роботов

В статье рассмотрено автоматизированный структурный и количественный анализ кинематических схем промышленных роботов с помощью созданного программного модуля в среде Delphi. Представлено описание разработанных процедур для проведения предложенного анализа. Наведено преимущества данного автоматизированного анализа и программного модуля

промышленный робот, кинематическая схема, автоматизированный структурный анализ кинематических схем, программный модуль, процедура

Вступ. Промисловий робот – автоматична машина, стаціонарна чи пересувна, з виконавчим пристроєм у вигляді маніпулятора, який має декілька ступенів рухомості, і перепрограмовуваного пристрою програмного керування для виконання у виробничому процесі рухових і управляючих функцій. Створення якісних конструкцій промислових роботів є важливою проблемою, від її вирішення суттєво залежить ефективність впровадження їх у виробництво.

Мета. Значна кількість можливих варіантів схем, а відповідно і конструкцій промислових роботів ускладнює вибір доцільного варіанту [1]. Для вирішення даного питання створено спеціальний алгоритм [2], який оснований на аналізі кінематичних схем промислових роботів. Аналізуючи кінематичні схеми можна отримати попередню уяву про рухи робота та його конструкцію. Пропонується автоматизувати створений алгоритм аналізу схем. Для автоматизації алгоритму створено спеціальний програмний модуль в середовищі Delphi, який працює за допомогою розроблених процедур та масивів даних.

Дослідження. Загалом створено 5 процедур:

1. Процедура створення списку структурних формул теоретично можливих варіантів.
2. Процедура визначення практично не виконуваних варіантів.
3. Процедура визначення не доцільних варіантів.
4. Процедура визначення малодоцільних варіантів.
5. Процедура визначення доцільних варіантів.

Для роботи процедур створені масиви даних, в яких наведенні умови аналізу кінематичних схем. Загалом створено 5 масивів даних:

1. Масив даних типів кінематичних пар.
2. Масив даних напрямків руху між кінематичними парами.
3. Масив даних з умовами не виконуваних кінематичних схем.
4. Масив даних з умовами не доцільних кінематичних схем.
5. Масив даних з умовами доцільних варіантів.

Далі більш детально розглянемо кожен з створених процедур та масивів даних.

Процедура створення списку структурних формул теоретично можливих варіантів.

Процедура працює на основі двох масивів даних. Перший – типи кінематичних пар: пряма поступальна (П), «вигнута» поступальна (П'), обертова з співпадаючою

віссю обертання (O) та обертова з не співпадаючу (O') віссю обертання. Другий масив даних – напрям руху відносно попередньої кінематичної пари: співвісний (I), паралельний (II), перпендикулярний, які перетинаються (⊥) та перпендикулярні, які не перетинаються (×), тобто схрещуються.

Спочатку процедура визначає кількість теоретично можливих варіантів схем, які складаються із кінематичних пар n -'ятого класу, по формулі:

$$m = 4^n \cdot 4^{(n-1)} = 4^{(2n-1)}$$

де n – кількість ступенів рухомості.

Далі, по запрограмованому шаблону, програма компонує з двох масивів варіанти структурних формул. Шаблон має вигляд:

$$КП_1-ВП_1-КП_2-ВП_2 \dots ВП_{n-1}-КП_n,$$

де КП – кінематична пара;

ВП – напрям руху суміжних кінематичних пар;

n – кількість ступенів рухомості промислового робота.

Також варто зауважити те, що в процесі аналізу вищезгадані масиви записуються не в вигляді раніше перерахованих символів, а в числовому варіанті. Масиви та варіанти їх позначення представлено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Масиви даних типів кінематичних пар та напрямків руху між ними

Дійсне символічне позначення	Тип кінематичної пари				Напрямок руху КП			
	II	II'	O	O'	I	II	⊥	×
Програмне числове позначення	1	2	2	4	6	7	8	9

Для прикладу наведено декілька варіантів формул:

$$II' \parallel O \perp II; \quad 2-7-3-8-1;$$

$$II' \parallel O' \parallel O; \quad 2-7-4-7-3.$$

Всі отримані варіанти компонуються в спеціальний список, після чого переводяться в символічний варіант і виносяться в вікно програми. Кількість варіантів відповідає кількості розрахованій по формулі. Блок-схема побудови структурних формул представлена на рис. 1.

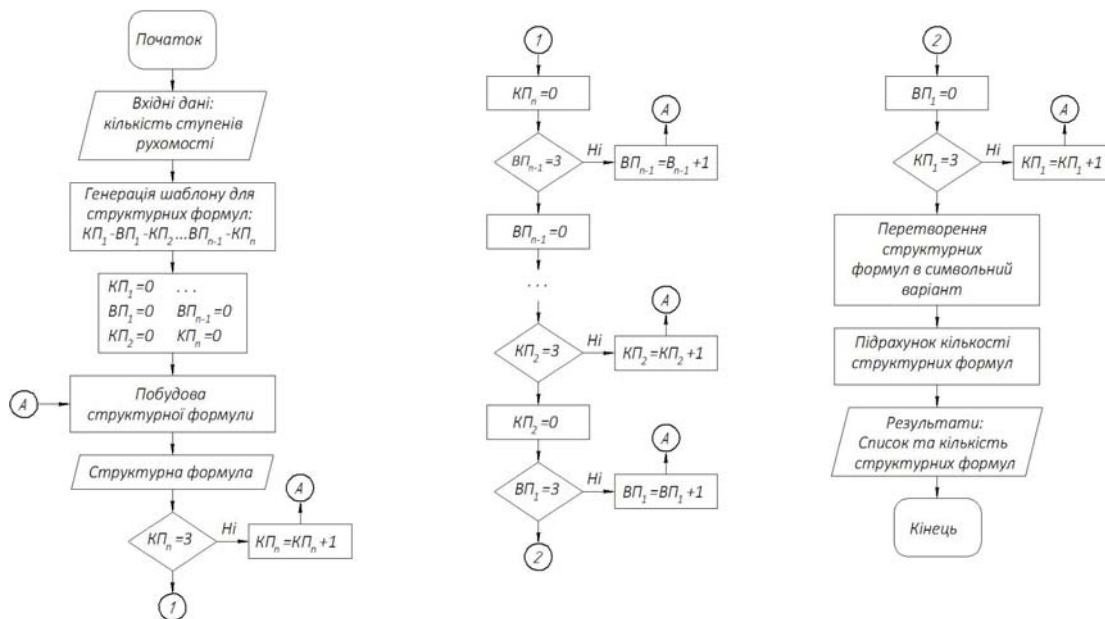


Рисунок 1 – Блок-схема компонування варіантів структурних формул

Таблиця 2 – Масив даних умов не виконуваних варіантів

Дійсне символічне позначення	Умови не виконуваних варіантів					
	П'	О'	П	О	П ×	О ×
Програмне числове позначення	2-6	4-6	1-7	3-7	1-9	3-9

Процедура може працювати в двох режимах. Перший режим аналізує список теоретично можливих варіантів. Знаходить варіанти, в яких присутня хоча б одна з умов масиву даних. Далі видаляє зі списку теоретично можливих варіантів формули, в яких не присутні умови. Тобто, даний режим відображає практично не виконувани варіанти. Другий режим також аналізує список теоретично можливих варіантів та знаходить в ньому формули, в яких присутні умови масиву. Відмінністю даного режиму є те, що зі списку видаляються варіанти, в яких присутні умови не виконуваних варіантів. Другий режим відображає практично виконувани варіанти. Для вибору режиму процедури створена спеціальна змінна «і», яка може приймати два значення: -1 – перший режим; 1 – другий режим. Аналогічно в послідовних процедурах визначення не доцільних та малодоцільних варіантів використовується така ж змінна.

Процедура визначення не доцільних варіантів.

Процедура працює на основі масиву даних, в якому наведені умови не доцільних варіантів кінематичних схем (табл. 3).

Таблиця 3 – Масив даних умови не доцільних варіантів

Дійсне символічне позначення	Програмне числове позначення	Дійсне символічне позначення	Програмне числове позначення
П П	1-6-1	П О' П	1-6-4-7-1
П П'	1-6-2	П О' П'	1-6-4-7-2
П' П	2-7-1	П' О П	2-7-3-6-1
П' П'	2-7-2	П' О П'	2-7-3-6-2
О О	3-6-3	П' О' П	2-7-4-7-1
О О'	3-6-4	П' О' П'	2-7-4-7-2
П О П	1-6-3-6-1	О П О	3-6-1-6-3
П О П'	1-6-3-6-2	О П О'	3-6-1-6-4

Дана процедура також працює в двох режимах. В обох режимах спочатку аналізується список варіантів структурних формул отриманих в попередньому етапі. Знаходить варіанти, в яких присутні умови, що наведені в масиві даних. Далі, при першому режимі, зі списку видаляються варіанти в яких відсутні умови не доцільних варіантів. Тобто, відображає не доцільні варіанти схем. В другому режимі зі списку видаляються варіанти, в яких присутні умови наведені в масиві даних. Другий режим відображає попередньо доцільні варіанти.









Процедура визначення малодоцільних варіантів.

Процедура працює на основі лише однієї умови. Цією умовою є аналіз останньої кінематичної пари в формулі. За основу прийнято, що будова робота поділяється на кінематику основи, кінематику руки і кінематику кисті. Виходячи з того, що аналіз проводиться для руки робота, то малодоцільними варіантами будуть ті, в яких останньою ланкою стоїть обертова ланка O , яка аналогічна до кінематики кисті. Процедура теж працює в двох режимах, які працюють аналогічно до двох попередніх процедур. Тобто, перший режим відображає малодоцільні варіанти, другий – попередньо доцільні варіанти.

Процедура визначення доцільних варіантів.

Остання процедура аналізує кінематичні схеми по робочим зонам, які вони утворюють. Багато кінематичних схем мають різну структуру, але утворюють однакову робочу зону. Тому схеми з однаковими робочими зонами можна видалити, залишивши тільки одну, яка б була найбільш доцільна як по рухових якостях, так і по конструктивній реалізації схеми. Для роботи процедури створено спеціальний масив даних з заданими умовами аналізу робочих зон (табл. 4). В масиві наведено групи суміжних кінематичних пар, які утворюють однакову робочу зону. Перший варіант з групи прийнято за типовий її представник.

Таблиця 4 – Масив даних доцільних варіантів

Робочі зони								
Доцільні варіанти	$P \perp P$ $P \perp P'$ $P' \perp P$ $P' \perp P'$ $P' \times P$ $P' \times P'$	$P' \parallel O'$ $O \perp P'$ $O' \parallel P$ $O' \parallel P'$	$P \perp O'$ $P' \perp O'$ $P' \times O'$	$O \perp P$ $O \perp P'$ $O' \perp P$ $O' \perp P'$ $O' \times P$ $O' \times P'$	$O' \parallel O'$	$O \perp O'$	$O' \perp O'$	$O' \times O'$

Процедура працює наступним чином. Аналізується структурна формула кінематичної схеми, а саме поетапно всі суміжні кінематичні пари. Тобто, якщо аналізується схема з трьома ступенями рухомості, то спочатку аналізуються перша та друга кінематична пари, від основи робота, потім друга та третя. Процедура визначає до якої групи відносяться суміжні кінематичні пари. Далі перевіряється чи відповідають ці кінематичні пари типовому представнику даної групи. Якщо ні, то вони замінюються на вказаний представник. Додатковою умовою процедури є те, що заміну суміжних кінематичних пар можна виконувати тільки в тому випадку, якщо не змінюється робоча зона, утворена попередніми суміжними кінематичними парами. Один з прикладів наведено на рис. 2.

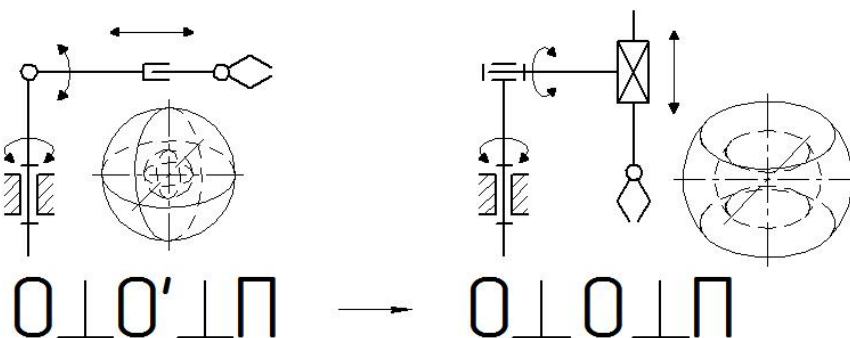


Рисунок 2 – Приклад аналізу робочої зони схеми

Для цього взята схема, яка утворює робочу зону в вигляді сфери з змінним її радіусом (рис.2, а). Дану структурну формулу схеми можна умовно розділити на 2 прості - $O \perp O'$ та $O' \perp P$. Перша з частин структурної формули утворює сферу з постійним радіусом, а друга – коло з змінним радіусом. Якщо використовувати умову спрощення, то другу частину треба було би замінити на $O \perp P$, що призвело до зміни першої частини схеми, і тим самим змінило би всю робочу зону (рис. 2, б). Тому в даному випадку даною умовою необхідно знехтувати. Також ще однією важливою умовою є врахування цільове призначення промислового робота.

В підсумку структурний аналіз можна представити в вигляді блок-схеми (рис.3).

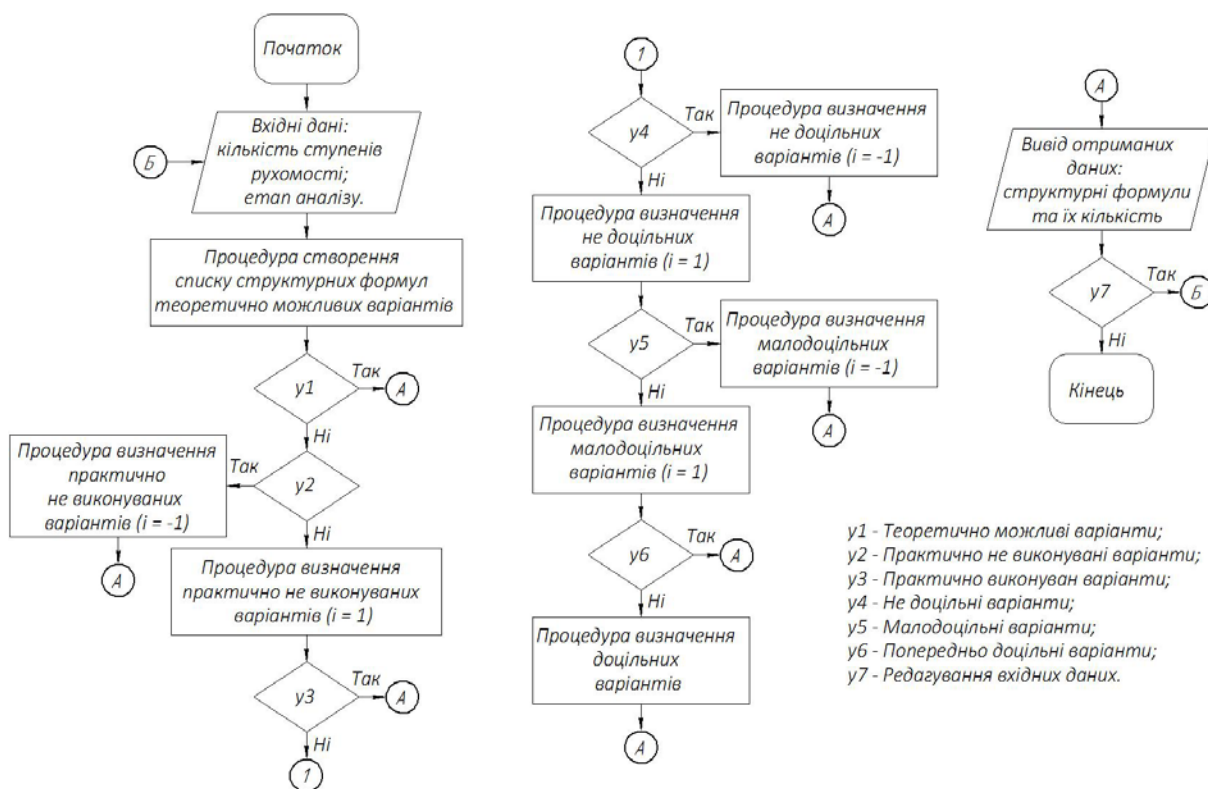


Рисунок 3 – Блок схема структурного аналізу кінематичних схем

Висновки. На основі проведених автоматизованих структурних досліджень кінематичних схем промислових роботів, в якості висновків, слід відзначити:

- розроблено процедури, масиви даних і блок схеми для побудови структурних формул та їх структурних досліджень;
- виконано аналіз різних схем роботів та вирішено питання вибору із них найбільш доцільних варіантів;
- за розробленим програмним забезпеченням виконана побудова кінематичних схем та їх робочих зон згідно отриманих результатів досліджень.

Список літератури

1. Павленко І.І. Промислові роботи: основи розрахунку та проектування / І.І. Павленко – Кіровоград: КНТУ, 2007. – 420 с.
2. Павленко І.І. Комп'ютеризований аналіз кінематичних схем промислових роботів / І.І. Павленко, Т.Г. Сябірзянов, П.В. Попруга. //Зб. «Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин». – Кіровоград: КНТУ. – 2013. – Вип. 42, Ч.1. – 215 с.
3. Павленко І.І. Програмний аналіз варіантів кінематичних схем промислових роботів та їх робочих зон / І.І. Павленко, П.В. Попруга, М.І. Черновол // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація.– Кіровоград: КНТУ.– 2014. – Вип. 27. – 34 с.

Ivan Pavlenko, Pavel Popruga

Kirovograd National Technical University

Automation of the structural and quantitative analysis of kinematic schemes of industrial robots

A significant amount of designs of industrial robots complicates a choice of expedient option. For the solution of the matter the special algorithm which is based on the analysis of kinematic schemes of industrial robots is created. Analyzing kinematic schemes it is possible to receive preliminary information on the movements work and its designs. For automation of algorithm the special program module in the environment of Delphi which works with the help of the developed procedures and data files is created.

In article it is presented the automated structural analysis of kinematic schemes of industrial robots by means of the created program module. The description of the developed procedures for implementation of the considered analysis is submitted. It is induced advantages of this automated analysis and the program module. In a general view it is created such procedures: procedure of creation of the list of structural formulas of versions of schemes; procedure of definition of almost not carried out options; procedure of definition not of expedient options; procedure of definition of expedient options. For work of procedure data files, in which targeting of a condition on which kinematic schemes are analyzed are created.

On the basis of the conducted automated structural researches of kinematic schemes of industrial robots, as conclusions, it should be noted: procedures, data files and flowcharts are developed for creation of structural formulas and their structural researches; the analysis of various versions of schemes of robots is made and the choice issue from them the most expedient options is resolved; on the developed software it is executed creation of kinematic schemes and their working zones according to the received results of researches.

industrial robot, kinematic scheme, automated structural analysis of kinematic schemes, program module, procedure

Одержано 29.04.15

УДК 621.923.5

М.М. Підгаєцький, доц., канд.техн.наук, К.К. Щербина, канд. техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет

Кінематика процесу різання при хонінгуванні отворів пружно-гвинтовим хоном

В статі розглядається процес утворення мікрорельєфу оброблюваної поверхні з врахуванням траєкторії руху алмазно-абразивного зерна. Наведені схеми взаємодії оброблюваної поверхні з алмазно-абразивними брусками як для традиційних конструкцій хонінгувальних головок, так і для пружно-гвинтового хону. Представлено схеми взаємодії пружно-гвинтового хону на етапі попередніх і кінцевих проходів з оброблюваною поверхнею. Були визначені залежності впливу кута нахилу алмазно-абразивного бруска на густину утвореної сітки слідів. Також представлені дослідження впливу кута нахилу алмазно-абразивних брусків на утворення макрорельєфу оброблюваного отвору. Визначено вплив переносу власних геометричних відхилень хонінгувальних головок на оброблювану поверхню.
мікрорельєф, макрорельєф, сітка слідів, геометричні виробні лінії, пружно-гвинтовий хон, траєкторія руху зерна

М.М. Подгаецкий, доц., канд.техн.наук, К.К. Щербина, канд.техн.наук
Кировоградский национальный технический университет

Кинематика процесса резания при хонинговании отверстий упруго-винтовым хоном

В статье рассматривается процесс создания микрорельефа обрабатываемой поверхности с расчетом траектории движения алмазно-абразивного бруска. Представленные схемы взаимодействия обрабатываемой поверхности с алмазно-абразивными брусками, как для традиционных конструкций хонинговальных головок так и для упруго-винтового хона. Также представлены схемы взаимодействия упруго-винтового хона на этапе предварительных и конечных проходов с обрабатываемой поверхностью. Были определены зависимости влияния, угла наклона алмазно-абразивного бруска на плотность получаемой сетки следов. Также представлены исследования влияния угла наклона алмазно-абразивных брусков на создание макрорельефа обрабатываемого отверстия. Определено влияние собственных геометрических отклонений хонинговальных головок на обрабатываемую поверхность.
микрорельеф, макрорельеф сетка следов, геометрические производные линии, упруго-винтовой хон, траектория движения зерна

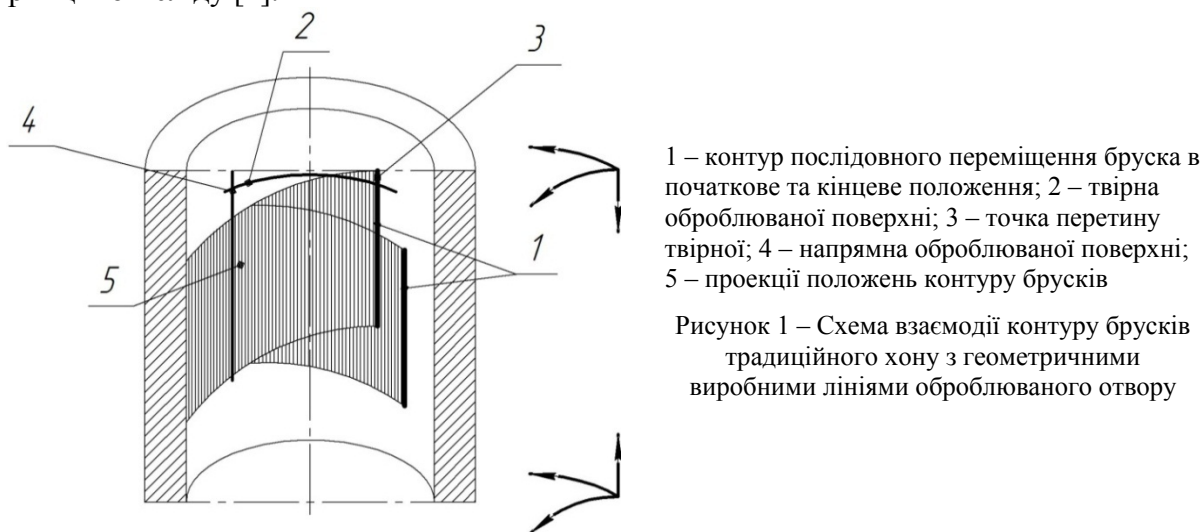
Вступ. Кінематику процесу різання при хонінгуванні отворів необхідно розділити на два етапи:

- утворення макрорельєфу оброблюваної поверхні (метод утворення геометричних виробних ліній);
- утворення мікрорельєфу оброблюваної поверхні (метод утворення сітки слідів).

Макрорельєф або макрогеометрія утворюється при взаємодії контуру бруска з геометричними виробними лініями (ГВЛ) оброблюваного отвору, тобто напрямною та твірною. При цьому визначається ступінь переносу геометричної форми бруска (відхилення форми або зносу) на відповідну ГВЛ [1]. Побудуємо схему взаємодії контакту брусків традиційного хону з геометричними виробними лініями оброблюваного отвору (рис.1).

Постановка проблеми. На підставі схеми рис.1 визначено, що твірна оброблюваного отвору має точковий характер взаємодії з контуром алмазного бруска

традиційного хону, що передбачає відсутність переносу геометричного відхилення або зносу контуру обумовленого бруска [1]. Тобто, метод утворення геометричної виробної лінії, а саме твірної при хонінгуванні отворів традиційним хонем, буде відбуватися за принципом сліду [1].

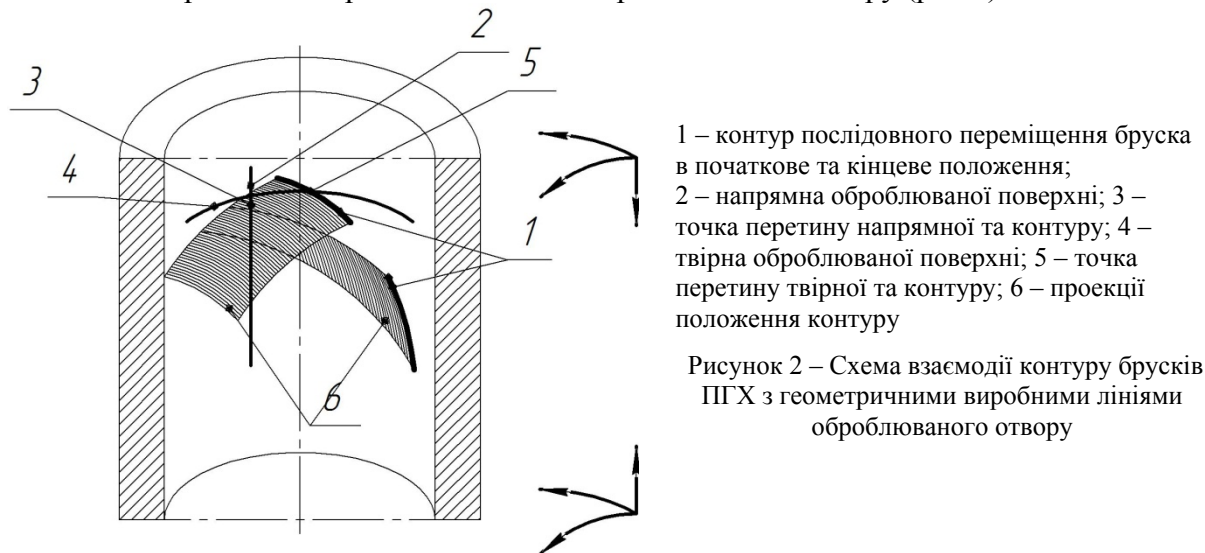


1 – контур послідовного переміщення бруска в початкове та кінцеве положення; 2 – твірна оброблюваної поверхні; 3 – точка перетину твірної; 4 – напрямна оброблюваної поверхні; 5 – проекції положень контуру бруска

Рисунок 1 – Схема взаємодії контуру бруска традиційного хону з геометричними виробними лініями оброблюваного отвору

Напрямна оброблюваного отвору має співпадіння з контуром алмазного бруска традиційного хону і має лінійний характер взаємодії, який передбачає можливість копіювання геометричних відхилень або зносу контуру обумовленого бруска [1, 2]. Тобто, метод утворення геометричної виробної лінії, а саме напрямної при хонінгуванні отворів традиційним хонем, буде відбуватися за принципом копіювання [1]. Обумовлена особливість взаємодії контуру бруска і напрямної геометричної виробної лінії передбачає підвищені вимоги до підготовки традиційного хону та постійний контроль зносу в процесі хонінгування.

Виклад основного матеріалу. Побудуємо схему взаємодії контакту бруска ПГХ з геометричними виробними лініями оброблюваного отвору (рис.2).



1 – контур послідовного переміщення бруска в початкове та кінцеве положення; 2 – напрямна оброблюваної поверхні; 3 – точка перетину напрямної та контуру; 4 – твірна оброблюваної поверхні; 5 – точка перетину твірної та контуру; 6 – проекції положення контуру

Рисунок 2 – Схема взаємодії контуру бруска ПГХ з геометричними виробними лініями оброблюваного отвору

На підставі схеми рис.2 визначено, що твірна оброблюваного отвору має точковий характер взаємодії з контуром алмазного бруска ПГХ, що передбачає лише місцеве значення переносу геометричного відхилення або зносу контуру обумовленого

бруска. Тобто, метод утворення геометричної виробної лінії, а саме твірної, при хонінгуванні отворів ПГХ буде відбуватися за принципом сліду.

Напрямна оброблюваного отвору має точковий характер взаємодії з контуром алмазного бруска ПГХ, що також передбачає лише місцеве значення переносу похибок. Метод утворення геометричної виробної лінії, а саме прямої, при хонінгуванні отворів ПГХ буде відбуватися за принципом сліду.

Отриманий метод утворення геометричних виробних ліній при хонінгуванні отворів ПГХ за принципом сліду став можливий за рахунок розміщення алмазно-абразивного бруска по гвинтовій лінії. Також це дало зменшення впливу ПГХ на макрорельєф оброблюваного отвору.

Похибка пов'язана із зносом бруска частково переноситься на ГВЛ рис. 3 Довжина похибки копіювання на ГВЛ визначається за рівнянням :

$$l_k = l_b * \cos \varphi , \quad (1)$$

де l_k – довжина похибки копіювання;

l_b – довжина бруска;

φ – кут нахилу бруска.

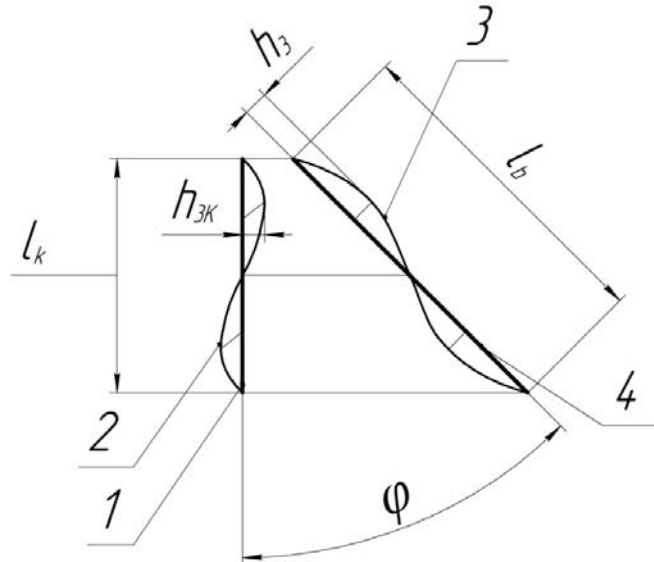
Відхилення контуру від номінального положення визначається по формулі:

$$h_{зк} = h_z * \sin \varphi , \quad (2)$$

де $h_{зк}$ – відхилення контуру від номінального положення;

h_z – похибка зносу.

Мікрорельєф або мікрогеометрія утворюються при взаємодії траєкторії одиничних зерен, які переміщуються по заданим векторам лінійних швидкостей. При цьому визначається ступінь щільності точок перетину траєкторії одиничних зерен.



- 1 – ГВЛ, прямна номінальна;
- 2 – копія контуру зношеної поверхні бруска; 3 – контур реального зносу бруска;
- 4 – номінальний контур бруска;
- l_k – довжина похибки копіювання; l_b – довжина бруска; φ – кут нахилу бруска; $h_{зк}$ – відхилення контуру від номінального положення;
- h_z – похибка зносу

Рисунок 3 – Схема утворення макрорельєфу оброблюваного отвору при взаємодії ПГХ з виробними геометричними лініями

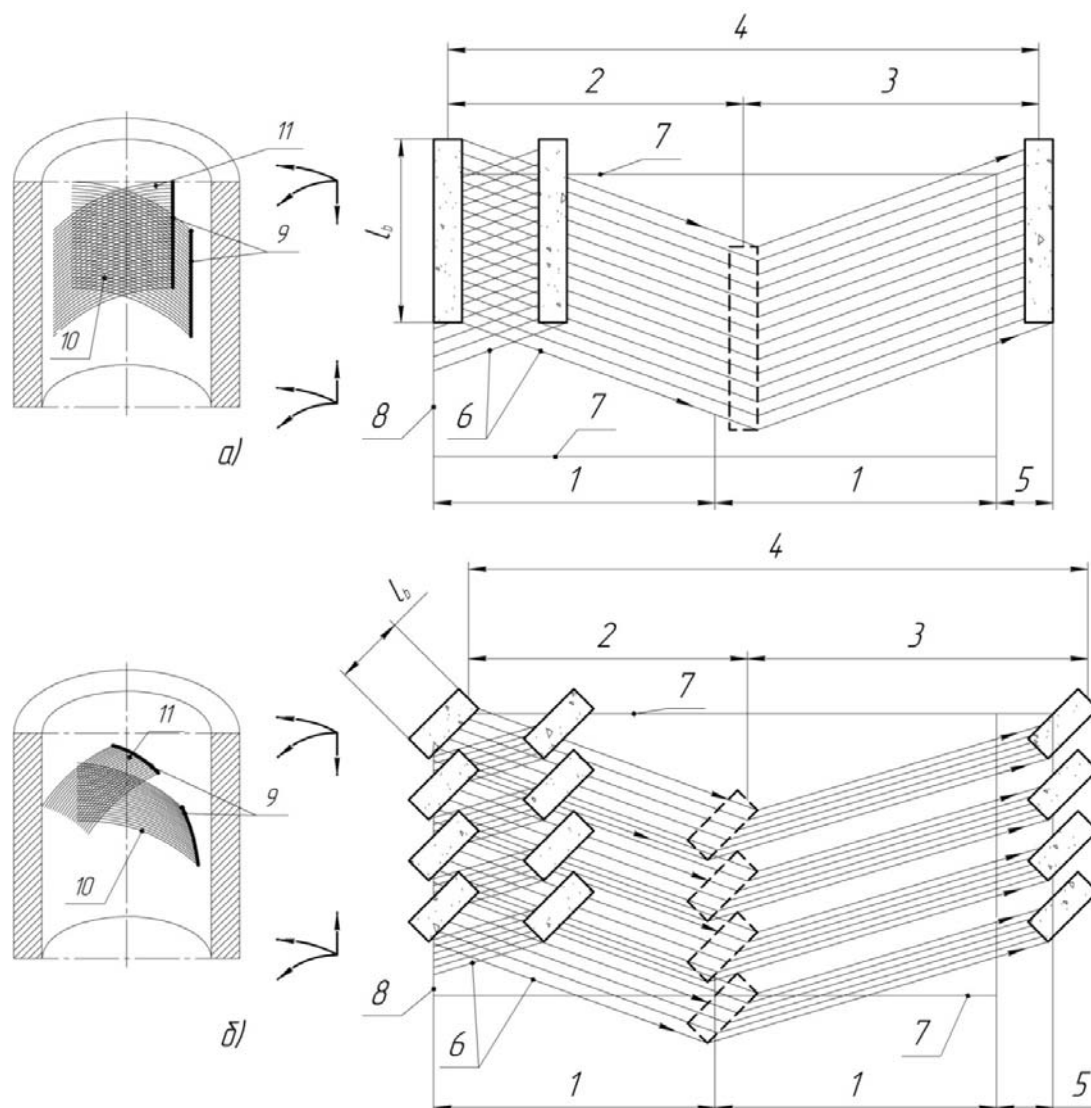
На рис.4 представлені схеми мікрорельєфів, які утворені при хонінгуванні.

На рис. 4а схема характеризується тим, що траєкторія руху одиничних зерен утворює циліндричну поверхню обмежену чітко виділеними виробними геометричними лініями у вигляді прямої та твірної.

Напрямні інструмента взаємодіють з напрямними оброблюваної поверхні методом копіювання, тому переносять на неї власний знос, який впливає на геометрію оброблюваного отвору.

На рис. 4, б схема характеризується тим, що траєкторія руху одичного зерна утворює циліндричну поверхню, обмежену виробними лініями у вигляді твірних.

Твірні взаємодіють з оброблюваною поверхнею методом сліду [1], тому їх фактичний знос в меншій мірі впливає на геометрію оброблюваної поверхні.



1 – відстань за один обертальний рух; 2 – відстань пройдена за поступальний рух; 3 – відстань пройдена за зворотній рух; 4 – відстань пройдена за зворотно-поступальний рух; 5 – додатковий шлях повороту головки за час закінчення подвійного ходу; 6 – траєкторія руху окремих зерен; 7 – геометрична виробна лінія у вигляді твірної; 8 – геометрична виробна лінія у вигляді напрямної; 9 – контур брусків; 10 – траєкторія руху одичного зерна при переміщенні з низу до верху; 11 – траєкторія руху одичного зерна при переміщенні з верху до низу; l_b – довжина бруска

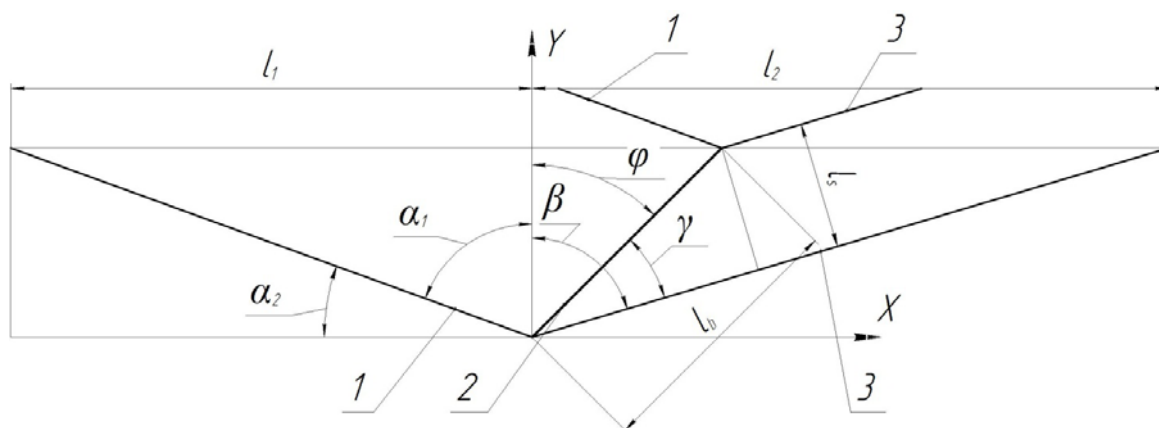
а) розвертка поверхні отвору при обробці хонем традиційної конструкції; б) розвертка поверхні отвору при обробці ПГХ на чорновому проході

Рисунок 4 – Схема утворення мікрорельєфу оброблюваної поверхні

На підставі схеми утворення мікрорельєфу оброблюваної поверхні встановлено, що після традиційного хону (рис.4,а) сітка слідів має більший крок між траєкторіями руху зерна, ніж сітка слідів, яка залишається після ПГХ (рис.4,б). Густина сітки слідів при хонінгуванні традиційним хонем буде характеризуватися кутом схрещення швидкостей обертального та зворотно-поступального руху. А густина сітки слідів при

хонінгуванні ПГХ буде характеризуватися кутом схрещення швидкостей обертального та зворотно-поступального руху, а також кутом розміщення алмазно-абразивного бруска.

Для визначення густини сітки слідів, яка залишається після ПГХ побудуємо розрахункову схему (рис.5).



1 – траєкторія руху зерна при поступальному русі; 2 – алмазно-абразивний брусок; 3 – траєкторія руху зерна при зворотному русі. l_b – довжина бруска (крок сітки слідів при поступальному русі); l_1 – пройдений шлях при поступальному русі; l_2 – пройдений шлях при зворотному русі; l_3 – крок сітки слідів при зворотному русі; α_1 – кут нахилу траєкторії зерна відносно вісі Y при поступальному русі; α_2 – кут нахилу зерна відносно вісі X при поступальному русі; β – кут нахилу зерна відносно вісі Y при зворотному русі; φ – кут нахилу алмазно-абразивного бруска; γ – кут нахилу траєкторії зерна відносно алмазно-абразивного бруска при зворотному русі

Рисунок 5 – Розрахункова схема утворення мікрорельєфу оброблюваної поверхні ПГХ

Для підтвердження даного припущення була отримана математична модель, яка визначає крок сітки слідів при зворотному русі ПГХ:

$$l_3 = l_b * \sin \left(\frac{l_2 * 180}{\sin \left(90 - 0.5 \arctg \frac{v_p}{v_o} \right) * \pi l_1} - \varphi \right), \quad (3)$$

де l_b – довжина бруска (крок сітки слідів при поступальному русі);

γ – кут нахилу траєкторії зерна відносно алмазно-абразивного бруска при зворотному русі.

l_2 – пройдений шлях при зворотному русі;

l_3 – крок сітки слідів при зворотному русі;

v_p – швидкість зворотно-поступального руху;

v_o – швидкість обертального руху;

l_1 – пройдений шлях при поступальному русі;

φ – кут нахилу алмазно-абразивного бруска.

При зміні кута нахилу алмазно-абразивного бруска вдалося збільшити густину утвореного мікрорельєфу і, тим самим підвищити продуктивність обробки та зменшити вплив зносу на геометрію оброблюваного отвору.

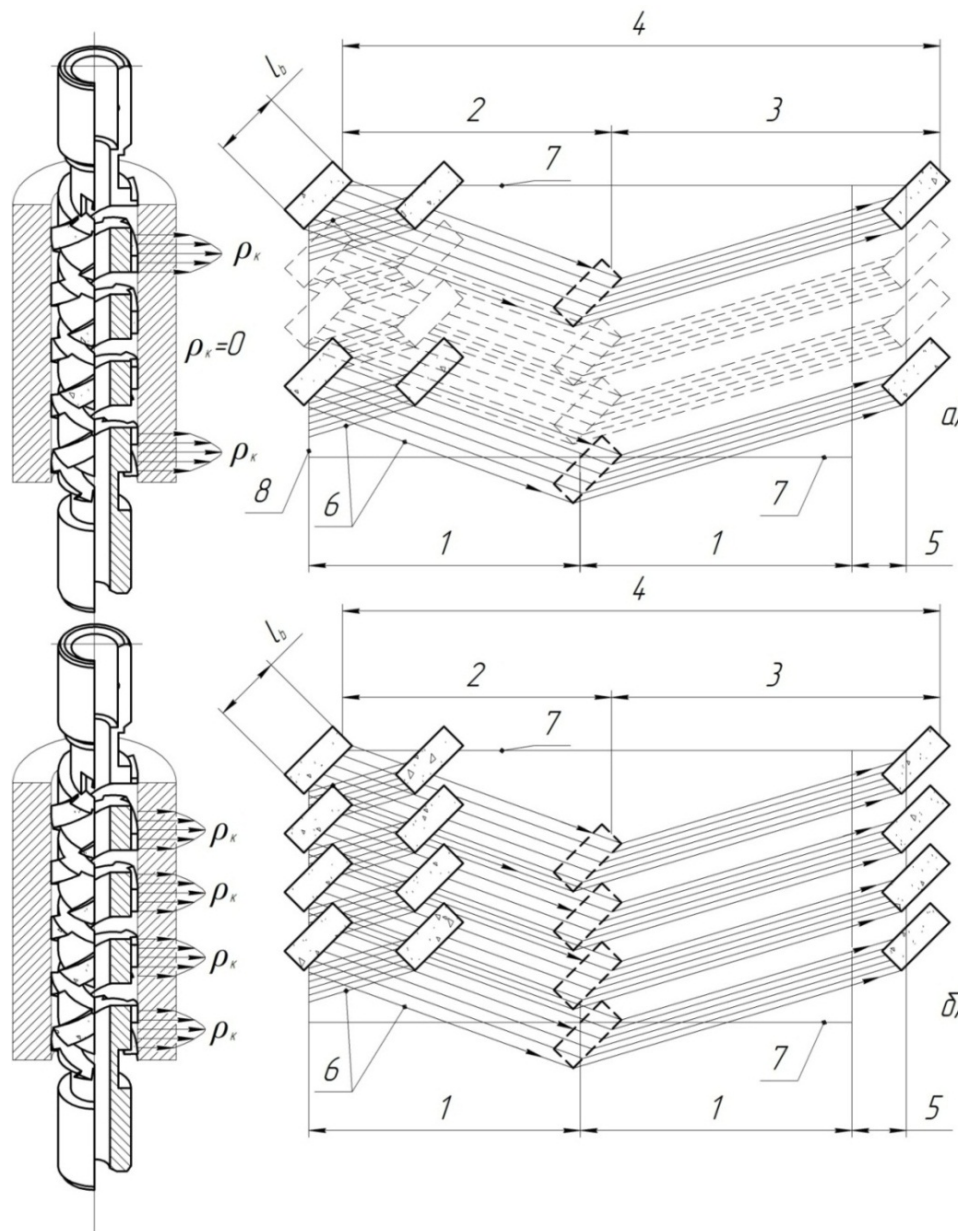
Наступним кроком розглянемо кінематику процесу хонінгування отворів ПГХ при чорновому та чистовому проході (рис. 6).

Утворення макрорельєфу при розміщенні контуру бруска під кутом до напрямної супроводжується переносом частини його похибок в окремих точках напрямної лінії по принципу часткового копіювання.

В обох випадках твірна в якості геометричної виробної лінії взаємодіє з контуром бруска в окремих точках по принципу сліду.

В процесі хонінгування отвору ПГХ в умовах чорнових проходів працюють два бруски.

Утворення макрорельєфу при суміщенні бруска з напрямною в якості геометричної виробної лінії оброблюваного отвору супроводжується переносом похибок контуру бруска, пов'язаних з його зносом в повній мірі за принципом копіювання.



1 – відстань за один обертальний рух; 2 – відстань пройдена за поступальний рух; 3 – відстань пройдена за зворотній рух; 4 – відстань пройдена за зворотно-поступальний рух; 5 – додатковий шлях повороту головки за час закінчення подвійного ходу; 6 – траєкторія руху окремих зерен; 7 – геометрична виробна лінія у вигляді твірної; 8 – геометрична виробна лінія у вигляді напрямної; l_b – довжина бруска; ρ_k – контактний тиск

а) розвертка поверхні отвору при чорновому проході; б) розвертка поверхні отвору чистовому проході

Рисунок 6 – Схема утворення мікрорельєфу оброблюваної поверхні при чорновому та чистовому проході

Висновки. При утворенні мікрорельєфу розміщення контуру бруска під кутом до напрямної оброблюваного отвору дає змогу збільшити густину (сітка слідів) точок перетину, що забезпечує зниження шорсткості оброблюваного отвору.

Оптимальним кутом розміщення алмазно-абразивного бруска є $\varphi=45^\circ$, що дає можливість збільшити густину отриманої сітки слідів в двічі.

Список літератури

1. Беляев Н.М. Сопротивление материалов. Изд-8е. / Н.М. Беляев. – М.: Машиностроение, 1953. – 856 с.
2. Федотенок А.А. Кинематическая структура металлорежущих станков. Изд. 2-е доп. и перераб./ А.А. Федотенок. – М.: Машиностроение, 1970. – 407 с.
3. Інструмент для алмазної або абразивної обробки отворів: пат. 101565 С2, Україна: МПК В23 D 77/00, В24В 33/00/ Підгаецький М.М., Щербина К.К. (Україна); заявник і власник Кіровоградський національний технічний університет. – заявл. 19.12.11.; опубл. 10.04.2013, Бюл. №7. – 4 с.
4. Подгаецкий М.М. Особенности обработки прецизионных отверстий упруго-винтовым хонем// М.М. Подгаецкий, К.К. Щербина// Вестник Пермского Национального Исследовательского Политехнического Университета «Машиностроение, материаловедение». –2013. – Т.15 №2. – С. 30-39.

Michael Podgaetski., Kirill Scherbina

Kirovograd National Technical University

Kinematics of cutting holes in honing spiral spring hone

The study of the formation of micro relief and macro relief treated surface with consideration of the trajectory of the diamond abrasive grain placement and angle of diamond abrasive bar.

Considered the interaction of the treated surface with diamond-abrasive bars for traditional designs honing heads, and for the spiral spring hone the results based schemes and models. The scheme of interaction of spiral spring hone at the stage of preliminary and final passages from the work surface The influence of the angle of inclination of diamond abrasive formation macro relief bar on the work piece. The influence of diamond abrasive bar on the formation of precious geometric lines.

Dependences impact angle of inclination of diamond abrasive bar on the density of the grid formed by the track. Effect of transfer of own geometrical deviations honing heads on the work surface.

micro relief, macro relief, the grid formed by the track, precious geometric lines, spiral spring hone, the trajectory of the diamond abrasive grain

Одержано 20.04.15

УДК 621.7.044

Р.Г. Пузырь, доц., канд.техн.наук

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского,

г. Кременчуг (Украина)

Анализ распределения напряжений при радиально-ротационном профилировании ободьев колес

Вопросы определения поля напряжений при формоизменении ободьев колес из стальных заготовок на первом переходе радиально-ротационного профилирования являются актуальными.

© Р.Г. Пузырь, 2015

Интерес представляет определение напряжений на радиусе закругления профилирующего ролика, так как именно места сопряжений различных элементов профиля обода испытывают во время эксплуатации наибольшие нагрузки. Результаты теоретического исследования позволяют анализировать возникающие в процессе деформирования напряжения и определять совокупность технологических и конструкторских параметров процесса профилирования, которые оказывают значительное влияние на величину и распределение нормальных и касательных напряжений.

обод, профилирование, заготовка, радиус закругления, деформация

Р.Г. Пузир, доц., канд.техн.наук

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, м. Кременчук (Україна)

Аналіз розподілу напружень при радіально-ротаційному профілюванні ободів коліс

Питання визначення поля напружень при формозміні ободів коліс із сталевих заготовок на першому переході радіально-ротаційного профілювання є актуальними. Интерес представляє визначення напружень на радіусі закруглення профілюючого ролика, так як саме місця сполучень різних елементів профілю обода відчують під час експлуатації найбільші навантаження. Результати теоретичного дослідження дозволяють аналізувати виникаючі в процесі деформування напруження і визначити сукупність технологічних і конструкторських параметрів процесу профілювання, які роблять значний вплив на величину і розподіл нормальних і дотичних напружень.

обід, профілювання, заготівля, радіус заокруглення, деформація

Анализ последних исследований и публикаций. Как показывают исследования по теории и эксперименту радиально-ротационного профилирования [1–3], а также расчеты на прочность обода колеса во время эксплуатации [4, 5], наибольший интерес вызывают публикации, направленные на установление поля напряжений и деформаций, действующих на радиусах закругления профиля колеса в процессе радиально-ротационного профилирования и в готовом изделии при его эксплуатации.

Поэтому исследования, связанные с определением компонент тензора напряжений и деформаций на радиусах закругления полуфабриката в процессе деформации являются наиболее актуальными.

Изложение основного материала. Для решения задачи по определению компонент тензора напряжений на радиусах закругления ободьев колес исходили из гипотез и допущений безмоментной технической теории оболочек вращения [6]. Профиль обода рассекали сечениями, перпендикулярными и параллельными к оси заготовки, для получения простых геометрических тел.

При сопряжении цилиндрической оболочки с оболочками другого профиля необходимо выполнение граничных условий: равенство радиальных перемещений или равенство окружных деформаций; равенство углов поворота нормали; равенство моментов; равенство сил распора, т. е. радиальных составляющих внутренних сил.

Рассмотрим верхнюю тороидальную поверхность, которая образована вследствие раздачи части цилиндрической заготовки нижним роликом. Используем для решения задачи общие уравнения равновесия оболочек вращения. Обозначим через a радиус сечения и через R – расстояние от оси до центра сечения. Введем криволинейные координаты θ и φ ; под θ понимается полярный угол в плоскости меридиана, под φ – угол в плоскости параллельного круга. Один из главных радиусов кривизны, соответствующий меридиану, совпадает с радиусом сечения и равен $R_2 = a$;

второй, отвечающий параллельному кругу, по теореме Менье равен $R_1 = \frac{r}{\sin \theta}$, где r –

расстояние от оси симметрии до некоторой точки срединной поверхности [7],

$r = R + a \sin \theta = a \frac{(1 + k \sin \theta)}{k}$, где $k = \frac{a}{R}$.

В общих уравнениях равновесия не учитываем изгибающие и крутящие моменты, и перерезывающие усилия, а также поверхностную нагрузку, тогда они в проекциях на касательные θ и φ примут вид [7]

$$\begin{aligned} a \frac{\partial N_1}{\partial \varphi} + 2a \cos \theta \cdot S + \frac{a}{k} (1 + k \sin \varphi) \frac{\partial S}{\partial \theta} &= 0, \\ a \cos \theta \cdot N_2 + \frac{a}{k} (1 + k \sin \varphi) \frac{\partial N_2}{\partial \theta} + a \frac{\partial S}{\partial \varphi} - a \cos \theta \cdot N_1 &= 0, \\ \frac{k \sin \theta \cdot N_1}{a(1 + k \sin \theta)} + \frac{N_2}{a} &= 0. \end{aligned} \quad (1)$$

Выразим из третьего уравнения системы N_2 и подставим его во второе уравнение равновесия. Проведя не сложные преобразования, получим, возьмем решение уравнений в виде

$$N_1 = T_\theta \cos \varphi \text{ и } S = T_{\varphi\theta} \sin \varphi, \quad (2)$$

где T_θ и $T_{\varphi\theta}$ – функции одного θ .

После подстановки их в уравнения системы (1) получим для определения этих функций обыкновенные дифференциальные уравнения. Складывая и вычитая эти уравнения и вводя обозначения $L_1 = T_{\varphi\theta} + T_\theta$ и $L_2 = T_{\varphi\theta} - T_\theta$, после некоторых преобразований получим два следующих обыкновенных дифференциальных уравнения, каждое из которых содержит одно неизвестное

$$\begin{aligned} \frac{dL_2}{d\theta} \left(\frac{1}{2k} + \sin \theta \right) + L_2 (2 \cos \theta + 1) &= 0, \\ \frac{dL_1}{d\theta} \left(\frac{1}{2k} + \sin \theta \right) + L_1 (2 \cos \theta - 1) &= 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Интегрирование уравнений (3) производим с помощью разделения переменных и подстановки $u = tg \frac{\theta}{2}$, при этом интегралы рационализируются и, опуская не нужные выкладки, окончательно получим

$$\begin{aligned} N_1 &= \left[\left(tg^2 \frac{\theta}{2} + 4ktg \frac{\theta}{2} + 1 \right)^{4k} \left(\frac{e^{-A} C_1}{2} - \frac{e^{-B} C_2}{2} \right) \right] \cos \varphi, \\ S &= \left[\left(tg^2 \frac{\theta}{2} + 4ktg \frac{\theta}{2} + 1 \right)^{4k} \left(\frac{e^{-A} C_1}{2} + \frac{e^{-B} C_2}{2} \right) \right] \sin \varphi. \end{aligned} \quad (4)$$

$$\text{где } A = \frac{4k}{\sqrt{1-4k^2}} \operatorname{arctg} \frac{tg \frac{\theta}{2} + 2k}{\sqrt{1-4k^2}} (4k+1);$$

$$B = \frac{4k}{\sqrt{1-4k^2}} \operatorname{arctg} \frac{tg \frac{\theta}{2} + 2k}{\sqrt{1-4k^2}} (4k+3).$$

Левый конец тороидальной оболочки сопрягается с цилиндром, значит, должны выполняться равенства: $N_1 = N_x, S_y = S_T$, где N_x, S_y - решения для меридиональных и касательных усилий, полученные для цилиндрической заготовки [8]. Граничные условия на левом торце: при $\theta = 0, \varphi = 0, x = 0$

$$N_1 = \sum_m \sum_n \frac{\sigma_s l}{m\pi R_0} \left(\frac{n^2 l^3 \text{Sin}\phi_0 n}{3R_0^2 \pi(1 - \pi m)} + \frac{2hs_n}{3l(1 - k_{\text{разд}})} \right) \text{Sin}\phi_0 n,$$

при $\theta = 0, \varphi = 90^\circ, x = 0$.

$$S = 0.$$

Подставляем данные граничные условия в (4) и получим

$$\begin{aligned} C_1 &= \sum_m \sum_n \frac{2\sigma_s l}{m\pi R_0} \left(\frac{n^2 l^3 \text{Sin}\phi_0 n}{3R_0^2 \pi(1 - \pi m)} + \frac{2hs_n}{3l(1 - k_{\text{разд}})} \right) \frac{\text{Sin}\phi_0 n}{e^{-A_1}} \\ C_2 &= \sum_m \sum_n -\frac{2\sigma_s l}{m\pi R_0} \left(\frac{n^2 l^3 \text{Sin}\phi_0 n}{3R_0^2 \pi(1 - \pi m)} + \frac{2hs_n}{3l(1 - k_{\text{разд}})} \right) \frac{\text{Sin}\phi_0 n}{e^{-B_1}} \end{aligned} \quad (5)$$

Значения усилий будут иметь вид

$$\begin{aligned} N_1 &= \left[\left(\text{tg}^2 \frac{\theta}{2} + 4\text{ktg} \frac{\theta}{2} + 1 \right)^{4k} \left(\frac{e^{-A}}{2e^{-A_1}} + \frac{e^{-B}}{2e^{-B_1}} \right) \times \right. \\ &\quad \left. \times \sum_m \sum_n \frac{2\sigma_s l}{m\pi R_0} \left(\frac{n^2 l^3 \text{Sin}\phi_0 n}{3R_0^2 \pi(1 - \pi m)} + \frac{2hs_n}{3l(1 - k_{\text{разд}})} \right) \text{Sin}\phi_0 n \right] \cos \phi, \\ S &= \left[\left(\text{tg}^2 \frac{\theta}{2} + 4\text{ktg} \frac{\theta}{2} + 1 \right)^{4k} \left(\frac{e^{-A}}{2e^{-A_1}} - \frac{e^{-B} e^{-A_1}}{2e^{-B_1}} \right) \times \right. \\ &\quad \left. \times \sum_m \sum_n \frac{2\sigma_s l}{m\pi R_0} \left(\frac{n^2 l^3 \text{Sin}\phi_0 n}{3R_0^2 \pi(1 - \pi m)} + \frac{2hs_n}{3l(1 - k_{\text{разд}})} \right) \text{Sin}\phi_0 n \right] \sin \phi. \end{aligned} \quad (6)$$

Для определения величины тангенциальных напряжений в очаге деформации используем условия перехода в пластическое состояние по гипотезе максимальных касательных напряжений

$$\sigma_y = \sigma_x - \sqrt{\sigma_s^2 - 4\tau^2}. \quad (7)$$

За пределами очага деформации тангенциальные напряжения находим из третьего уравнения системы (1).

Выводы. Обобщая полученные результаты, можно сказать, что на распределение и величину меридиональных напряжений на закругленных участках профиля обода в процессе деформирования оказывают влияние угол охвата радиуса закругления ролика

материалом заготовки θ и показатель $k = \frac{a}{R}$, который равен отношению радиуса закругления профиля к радиусу заготовки. Поэтому, при радиально-ротационном профилировании для снижения величины меридиональных напряжений на закругленных участках необходимо стремиться к увеличению показателя k и уменьшению угла θ для участка раздачи и обжима заготовки.

Список литературы

1. Потекушин Н.В. Исследование напряжений при радиальном профилировании заготовок на первых переходах / Н.В. Потекушин, Э.З. Сайфулин. – В кн.: Обработка металлов давлением. Свердловск, УПИ.– 1974. – Вып. 2. – С. 111–114.
2. Чигиринский В.В. Современное производство колес автотранспортных средств и сельскохозяйственной техники: [Монография] / В.В. Чигиринский, В.Л. Мазур, С.В. Беликов и др. – Днепропетровск: РИА «Днепр-VAL», 2010. – 309 с.
3. Мосьпан Д.В. Определение потребного крутящего момента при радиально-ротационном профилировании ободьев колес / Д. В. Мосьпан, В.В. Драгобецкий, Р.Г. Пузырь // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського – Кременчук: КДПУ, 2008. – Вип. 6(53), Ч. 2. – С. 64-66.
4. Guo Y.Q. Recent developments on the analysis and optimum design of sheet metal forming parts using a simplified inverse approach / Y.Q. Guo, et al // Comput. Struct. 2000. – 78. – P. 133–148.
5. Балабин И.В. Расчет напряженного состояния ободьев колес / И.В. Балабин, В.Г. Бондарь, Л.Г. Сухомлинов // Тр. НАМИ, 1983. – Вып. 189. – С. 24–43.
6. Тимошенко С. П. Пластинки и оболочки / С. П. Тимошенко, С. Войновский-Кригер. – М.: Наука, 1966. – 635 с.
7. Филин А.П. Элементы теории оболочек / А.П. Филин. – Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1975.– 256 с.
8. Пузырь Р.Г. Установление поля напряжений при радиально-ротационном профилировании цилиндрической заготовки без учета радиусов закругления деформирующего инструмента / Р.Г. Пузырь, Е.Н. Сосенушкин, Е.А. Яновская // Вестник МГТУ «Станкин». Научный рецензируемый журнал. М.: МГТУ «Станкин», 2013. - №4 (27). – С. 42-47.

Ruslan Puzyr,

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

Analysis of stress distribution at the radial rotary profiling rim

The problems of determining the stress field at forming rim of steel billets at the first transition angular rotational profiling. Interest is the determination of the stresses on the radius of curvature of the profiling roller, as it places the coupling of different elements of the rim profile test during operation to maximum loads. The results of theoretical studies allow to analyze the deformation occurring during stress and to determine a set of technological and design parameters of the profiling process, which have a significant influence on the magnitude and distribution of normal and tangential stresses. Obtained according to different view of the blank deformation of the wheel rim as the design and not the sheet metal that can reveal an increasing amount of the profiling process, and keep a more accurate calculation of stresses and strains. It is shown that the radii of curvature of the wheel profile during the tensile deformation occur meridional stress that can lead to a dramatic thinning the blank that are not acceptable.

rim, profiling, blank, radius of curvature, distortion

Одержано 31.10.14

УДК 621.9.048.4

О. Ф. Сіса, канд. техн. наук*Кіровоградський національний технічний університет*

Біполярна обробка електричною дугою твердосплавних прокатних валків

Виконано обґрунтування технологічної схеми формоутворення бічних поверхонь твердосплавних валків способом біполярної розмірної обробки електричною дугою з урахуванням особливостей фізичних механізмів їх утворення та гідродинамічних явищ в міжелектродному проміжку. Встановлені аналітичні зв'язки технологічних характеристик процесу чорнової розмірної обробки електричною дугою сплаву ТС-15 з режимами обробки і геометричними параметрами.

електрична дуга, твердосплавний валок, технологія, технологічні характеристики, обладнання**О. Ф. Сіса, канд. техн. наук***Кіровоградский национальный технический университет***Биполярная обработка электрической дугой твердосплавных прокатных валков**

Выполнено обоснование технологической схемы формообразования боковых поверхностей твердосплавных валков способом биполярной размерной обработки электрической дугой с учетом особенностей физического механизма образования и гидродинамических явлений в межэлектродном промежутке. Установлены аналитические связи технологических характеристик процесса черновой размерной обработки электрической дугой сплава ТС-15 с режимами обработки и геометрическими параметрами.

электрическая дуга, твердосплавный валок, технология, технологические характеристики, оборудование

Постановка проблеми. Проблема ресурсозбереження в металоємких галузях пов'язана з подовженням ресурсу прокатних валків і створенням раціональних конструкцій для забезпечення якості металопродукції. При зносі поверхні робочого калібру, валок стає непридатним до подальшої експлуатації. Крім експлуатаційного зносу, деяка частина валків списується із-за виникнення викришувань, сколів, відшарувань, тріщин розпалу та інших дефектів. Технологічний процес отримання готового прокату є завершальною і найбільш відповідальною частиною металургійного виробництва. Збільшення кількості прокату і підвищення його якості на металургійних виробництвах залежить від роботопридатності твердосплавних валків для прокатування дроту. Валки уявляють собою змінний інструмент, які виконують процес пластичної деформації металу. Профіль і тепловий режим валків впливає на сталість процесу, а шорсткість поверхні валків – на всі явища у вогнищі деформації. В залежності від режимів і умов прокатування залежить механічний знос і витрати валків, а відповідно якість металопродукції і економічні показники прокатування на виробництві.

В металургійній промисловості використовують прокатні валки (шайби), які виготовляють з твердого сплаву ВК-15 (WC 85%, Co 15%), та ТС-15 (WC 85%, Co 7%, Ni 7%, Cr 1%). Працездатність калібруючої частини твердосплавного прокатного валка залежить від зміни розмірів і шорсткості робочої частини – при збільшенні розміру калібру на 0,06 мм, після 600...700 тон катаного дроту, твердосплавні валки

© О. Ф. Сіса, 2015

замінюються і ремонтуються. Проблема чорнової обробки твердосплавного прокатного валка ще більш актуальна при застосуванні технології його виготовлення (спікання) з двох відпрацьованих твердосплавних валків, коли виникає потреба зняття великого об'єму металу (припуск по товщині до 25 мм). Так, за даними ООО «НВФ «Мікросін»», (м. Бровари, Київської обл.), час чорнового шліфування твердосплавного валка (зняття припуску товщиною 20 мм при діаметрі валка $D = 170$ мм, $d = 89$ мм) алмазним кругом на органічній зв'язці (1A1 400-40-6-127 AC2 200 / 160 B2-01) складає 50 годин. При цьому середня продуктивність обробки не перевищує 137 мм³/хв. Це не задовольняє вимоги підприємства і потребує пошуку альтернативних, більш ефективних способів обробки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз сучасних способів чорнової обробки твердосплавних валків дозволяє зробити висновок о продуктивності і машинного часу кожного з способів (рис.1).

Найбільш високопродуктивним, а тому і перспективним способом чорнової обробки валків є розмірна обробка дугою (РОД), в цьому випадку уніполярної [1]. В порівнянні з чорновим алмазним шліфуванням, як основним, дозволяє підвищити продуктивність обробки графітовим електродом-інструментом (рис.2) в 20,7 рази (з 137 мм³/хв. до 2844 мм³/хв.). Найближчим за продуктивністю (до 2058 мм³/хв.) твердосплавних валків після уніполярної РОД, є спосіб точіння різцями з кіборіту, але він потребує значних матеріальних вкладень. Тому застосування його для чорнової обробки валків більш обмежено. В цей час продуктивність способу чорнової РОД валків з застосуванням графітового електрода-інструмента на 38 % вище в порівнянні з точінням різцями з кіборіту.

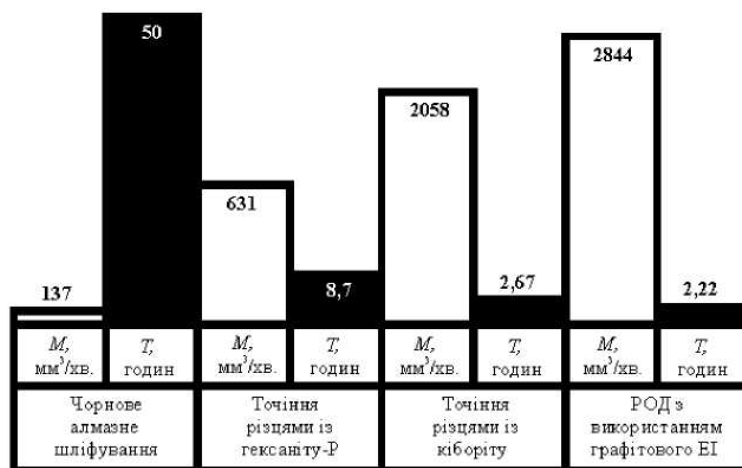
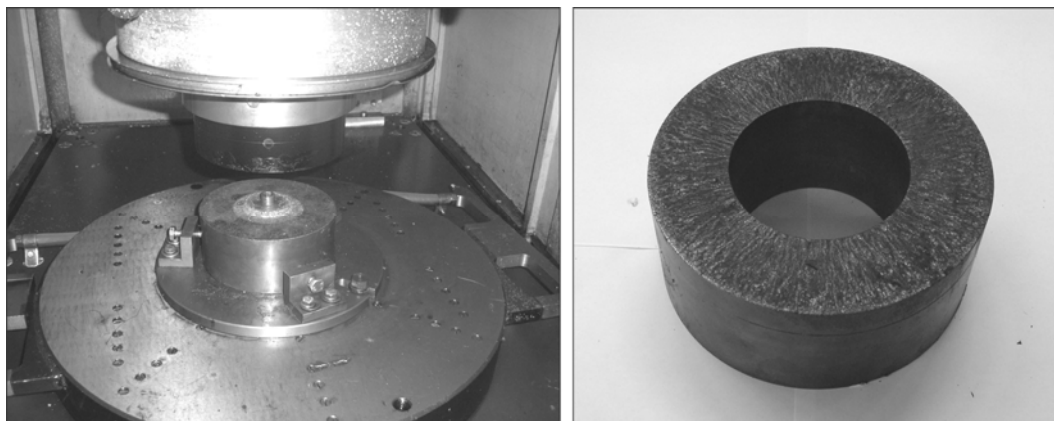


Рисунок 1 – Діаграма впливу способу чорнової обробки твердосплавного прокатного валка на продуктивність M та машинний час обробки T

Постановка завдання. Таким чином, метою досліджень – розробка технології та обладнання способу чорнової РОД твердосплавних валків, як високоефективної альтернативи традиційним способам їх чорнової обробки.

Виклад основного матеріалу. Відомо [2], що у відповідності о трьох джерелах тепла енергії в електричній дуги, розподіляється між анодною і катодною зоною, а також стовпом дуги. При цьому енергія анодної зони руйнує анод, а енергія катодної зони – катод. Доказано, що енергія стовпа дуги в руйнуванні електродів при реалізації процесу РОД участі не приймає, що відповідає за формування міжелектродного зазору [3, 4]. В умовах РОД твердого сплаву з використанням графітового електрода-

інструмента, електрод з'єднується з катодом. При цьому енергія катодної зони витрачається на руйнування графітового електрода-інструмента, а саме не використовується корисно.



а

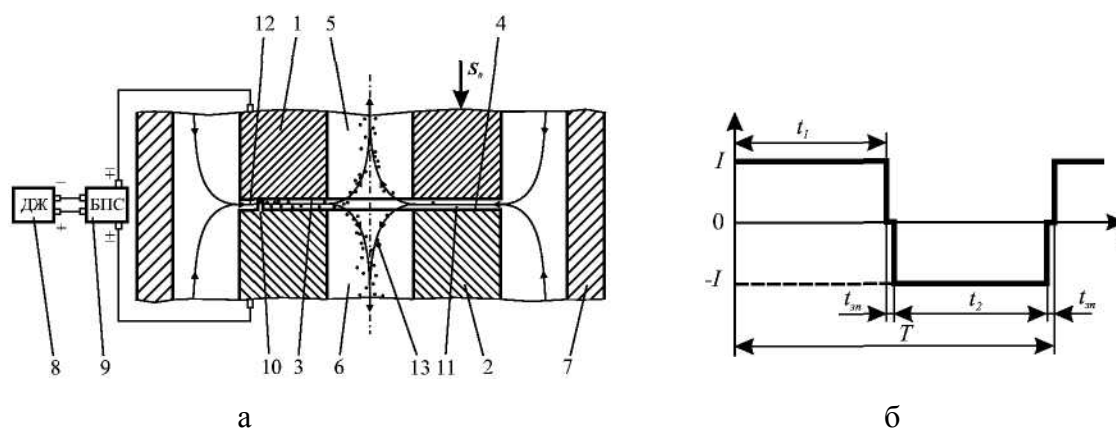
б

а – робоча зона електроерозійного верстата АМ-1; б – валок після РОД торцевої поверхні

Рисунок 2 – Уніполярна чорнова РОД твердосплавного прокатного валка графітовим електродом-інструментом

У роботі [5] запропонована концепція корисного використання енергії катодної зони дуги, шляхом створення відповідних фізичних умов обробки циліндричних і торцевих поверхонь твердосплавних прокатних валків. З цією метою було розроблено новий спосіб чорнкової високопродуктивної обробки, який заснований на збудженні дуги в біполярному режимі між однаковими за формою поверхнями двох валків [6].

Можливості і особливості розробленого способу РОД розглянуті в даній статті на прикладі обробки торцевих поверхонь двох прокатних валків (рис.3).



а

б

а – схема способу; б – графік зміни полярності технологічного струму

Рисунок 3 – Принципова схема реалізації способу біполярної РОД торцевих поверхонь двох твердосплавних прокатних валків

Перед початком роботи (рис.3, а) валок 1 закріплюють на шпинделі верстата, такий же валок 2 – на столі верстата. Кріплення забезпечує дзеркальне розташування торцевих поверхонь 3, 4. Зону обробки обмежують герметичною камерою 7. Подальша послідовність виконання технологічних операцій полягає у наступному:

- вмикання електродвигуна насоса подачі робочої рідини (наприклад, органічного середовища) в камеру 7 під технологічним тиском 0,2 – 4 МПа;

- вмикання джерела живлення постійного струму 8;
- зміна режиму роботи на біполярний за технологічним струмом за допомогою біполярного контактного перетворювача струму 9;
- обробка торцевих поверхонь 3, 4 одночасно двох валків 1, 2 електричною дугою 10 з використанням автоматичної системи слідування за торцевим міжелектродним зазором 11.

В процесі обробки дуга 10 горить між торцевими поверхнями 3, 4 валків 1, 2 в потужному гідродинамічному потоці робочої рідини 12, рівень якого визначається якістю обробки без створення мікротріщин і забезпечує оптимальні умови евакуації продуктів ерозії 13 з зони обробки. За рахунок того, що торцеві поверхні 3, 4 валків 1, 2 розташовані дзеркально і співвісно, гарантується стовідсотковий обхват площини обробки цих поверхонь.

Біполярний за технологічним струмом режим обробки (рис.3, б) забезпечує рівномірне зняття припуску з обох валків. Силу струму змінюють з частотою в межах 0,05-0,5 Гц, що дозволяє виконувати рівномірне зняття металу з кожного валка. Встановлено, що час перехідного процесу біполярної обробки не залежить від режиму обробки і не перевищує 0,21 % від періоду зміни полярності. Це підтверджує той факт, що частота зміни полярності практично не впливає на продуктивність біполярної РОД.

З отриманих математичних моделей технологічних характеристик [5] (рис.5) встановлено, що продуктивність процесу одночасної біполярної РОД торцевих поверхонь двох зразків з твердих сплавів марок ТС-15, а також питома продуктивність значно (в 2,3 – 3,5 рази) перевищує продуктивність і питому продуктивність уніполярної РОД зразка графітовим електродом-інструментом. Фізичний механізм цього явища пов'язано з інверсією (зміною превалюючої полярності) обробки, яка обумовлена перерозподілом теплової енергії між катодною частиною і стовпом дуги на користь катодної зони. При цьому підвищується сумарна напруга анодної і катодної зони U_{a+k} з 19 В до 23 В шляхом підвищення напруги в катодній зоні U_k за рахунок зниження напруги у стовпі дуги U_c з 11 В до 7 В, так як в експериментах які порівнювалися напруга в анодній зоні U_a була однаковою; зменшувалася довжина дуги, що підтверджує зміну бічного міжелектродного зазору з 0,05 мм до 0,03 мм.

Питоми витрати електроенергії знижуються у 2,6 – 4,2 рази, в порівнянні з питомою витратою електроенергії уніполярної РОД графітовим електродом-інструментом.

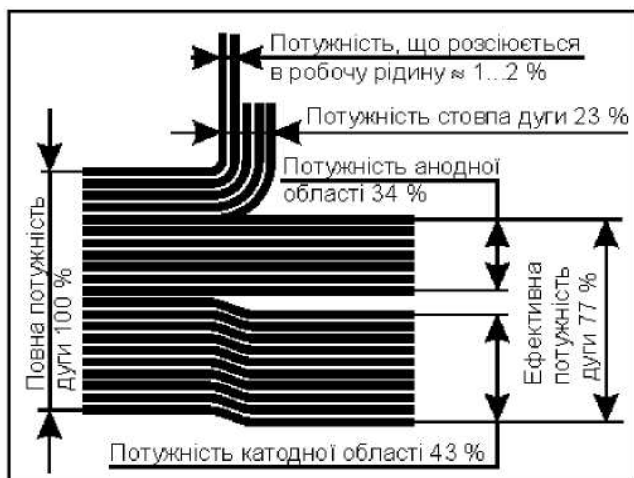
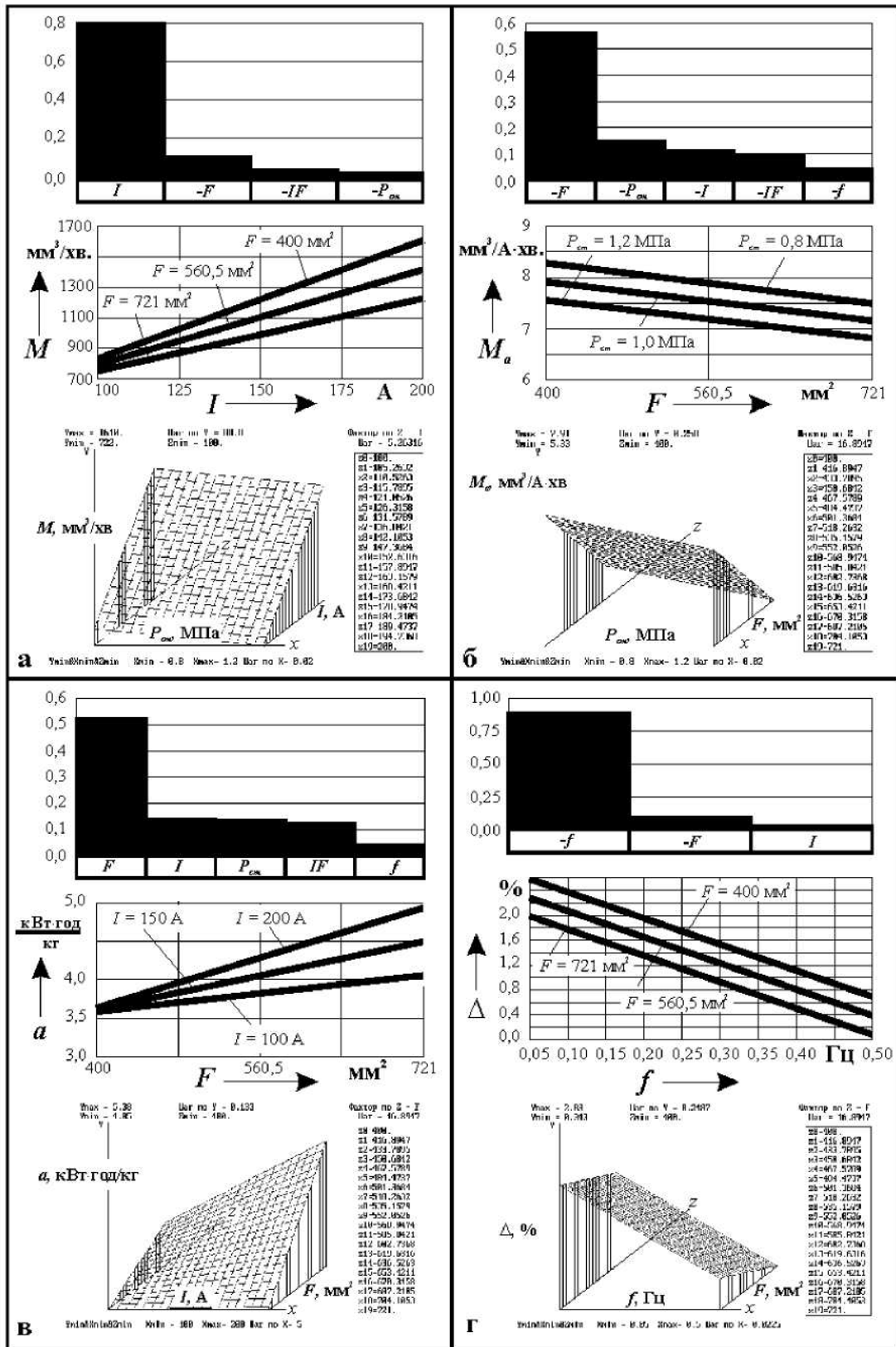


Рисунок 4 – Енергетичний баланс біполярної дуги в умовах РОД

Питоми витрати електроенергії знижуються у 2,6 – 4,2 рази, в порівнянні з питомою витратою електроенергії уніполярної РОД графітовим електродом-інструментом.

Енергетичний баланс біполярної дуги в умовах процесу РОД показано на (рис.4). Встановлено, що коефіцієнт корисної дії (ККД) такої дуги складає 77 %, що 2,3 рази більше в порівнянні з ККД уніполярної дуги в умовах використання графітового електрода-інструмента.



а – продуктивність обробки M ; б – питома продуктивність обробки M_a ; в – питома витрата електроенергії a ; г – нерівномірність обробки Δ

Рисунок 5 – Ступінь впливу факторів на технологічні характеристики процесу одночасної чорнкової РОД торцевих поверхонь двох зразків

Продукти ерозії процесу біполярної РОД твердого сплаву уявляють собою чистий металевий порошок (без забруднень частками графіту) переважно з круглою формою часток (без внутрішніх пор). Це дає уяву о можливості застосування продуктів ерозії в промисловості як сировини для порошкової металургії. В цьому зв'язку процес біполярної РОД твердосплавних валків слід розглядати як безвідхідний.

Виробничі випробування запропонованого процесу РОД прокатного валка з сплаву марки ТС-15 діаметром 170 мм проводили з ООО «НВФ «Мікросін»» на електроерозійному копіювально-прошивному верстаті моделі АМ-1. Результати виробничих випробувань підтвердили ефективність розробленого способу.

Висновки. Таким чином, розроблений спосіб безінструментальної чорнкової біполярної розмірної обробки електричною дугою твердосплавних прокатних валків – високоефективна альтернатива традиційним способам їх чорнкової обробки.

Список літератури

1. Носуленко В. И. Размерная обработка металлов электрической дугой / В.И. Носуленко, Г.М. Мещеряков // Электронная обработка материалов. – 1981. – № 1. – С.19–23.
2. Лесков Г. И. Электрическая дуга / Г. И. Лесков. – М.: Машиностроение, 1970. – 335 с.
3. Носуленко В. И. Розмірна обробка металів електричною дугою: дис. ... доктора техн. наук: 05.03.07 / Носуленко Віктор Іванович. – Кіровоград, 1998. – 389 с.
4. Боков В. М. Розмірне формування поверхонь електричною дугою. – Кіровоград: Поліграфічно-видавничий центр ТОВ «Імекс-ЛТД», 2002. – 300 с.
5. Боков В.М. Оброблюваність матеріалів електричною дугою. Монографія. / В.М. Боков О.Ф. Сіса. – Кіровоград: Поліграфічно-видавничий центр ТОВ «Імекс-ЛТД», 2013. – 172 с.
6. Пат. 45498 Україна, МПК В 23 Н 1/00. Спосіб одночасної розмірної обробки електричною дугою плоских торцевих поверхонь двох деталей / Боков В. М., Сіса О. Ф.

Oleg Sisa

Kirovograd National Technical University

Bipolar processing of hard-alloy forming rolls by electric arc

The article is dedicated to development of technology and equipment of rough machining method by electric arc of hard-alloy forming roll side surface, as high performance alternative to traditional methods of rough machining.

During operation, the damage to the surface of the hard alloys roll caliber occurs by abrasion and chipping of carbide particles. The development of net shaped roll marks occurs by the occurrence of hotbeds of accelerated cluster abrasion and chipping of smaller particles with subsequent growth of these areas and unification in a closed net shaped roll marks. The turned out particles of hard alloy leave the machining marks on the wire, in such a worn the hard alloy roll does not meet the specified dimensions and it is reground to a smaller diameter by grinding of diamond tool on the rough machining stage.

It is proposed on the stage of rough machining to remove the worn-out profile of hard alloy roll side surface with help of dimensional electric arc, which allows you to remove big allowances of material at the lowest treatment costs.

The justification of technical scheme of forming the hard alloy roll side surface by electric arc sizing method is done taking into account features of physical formatting mechanism and hydrodynamic phenomena in the electrode gap. The analytical communication of technological characteristics of rough machining process by electric arc alloy TS-15, with the modes of processing and geometric parameters are established.

the electric arc, hard alloy roller, technology, technological characteristics, equipment

Одержано 14.05.15

УДК 621.9.04

В.Б. Струтинський, проф, д-р техн. наук, І.В. Перфілов, асп.*НТУУ «Київський політехнічний інститут», Київ, kvn_mmi@mail.ru*

Дослідження мікропрофіля поверхні одержаного вібраційною обробкою фрезами малого діаметра

Викладено результати досліджень мікропрофіля поверхні одержаного фрезерувальною обробкою фрезами малого діаметра на спеціально розробленому обладнанні. Показано, що мікропрофіль включає ділянки з ізольованими екстремумами та ділянки квазіперіодичності із чітко визначеним напрямком мікрорисок. Запропоновано опис мікропрофіля аналітичними залежностями. Для ділянки з ізольованими екстремумами опис мікропрофіля проводиться функціями на основі кривих Гауса. Для ділянок квазіперіодичності рекомендований спектральний аналіз мікропрофіля шляхом подання його у вигляді відрізка ряду Фур'є. Виконано аналіз особливостей мікропрофіля по різних ділянках.

мікрорізання, вібрації, спеціальний мікропрофіль, екстремуми, спектри, особливості

В.Б. Струтинский, проф, д-р техн. наук, И.В. Перфилов, асп.*каф. конструирования станков и машин НТУУ «КПИ», Киев, Украина***Исследования микропрофиля поверхности полученного вибрационной обработкой фрезами малого диаметра**

Приведены результаты исследований микропрофиля поверхности полученного фрезерной обработкой фрезами малого диаметра на специально разработанном оборудовании. Показано, что микропрофиль включает участки с изолированными экстремумами и участки квазипериодичности с четко определенным направлением микрорисок. Предложено описание микропрофиля аналитическими зависимостями. Для участка с изолированными экстремумами описание микропрофиля проводится функциями на основе кривых Гаусса. Для участков квазипериодичности рекомендован спектральный анализ микропрофиля путем представления его в виде отрезка ряда Фурье. Выполнен анализ особенностей микропрофиля по разным участкам.

микрорезание, вибрации, специальный микропрофиль, экстремумы, спектры, особенности

Вступ. Одним із напрямків вібраційної обробки поверхонь є формування спеціального рельєфу мікропрофіля. При цьому виникає проблема оцінки параметрів мікропрофіля. Тому дослідження направлені на розробку ефективних методів аналізу мікропрофіля поверхонь є актуальними.

Мікропрофіль поверхні, одержаної в результаті вібраційної обробки, має детерміновані і стохастичні складові. Детерміновані складові як правило є результатом попередньої обробки, а випадкова складова має своєю причиною вібраційну обробку поверхонь. Тому основною проблемою розробки методів аналізу характеристик мікропрофіля є виділення детермінованих складових характеристик на загальному стохастичному фоні зміни параметрів мікропрофіля.

Визначення характеристик мікропрофіля поверхонь одержаних в результаті вібраційної обробки пов'язане із вирішенням важливих задач обробки деталей із формуванням спеціального мікрорельєфу. Дані деталі використовуються в прогресивних конструкціях підшипників, при реалізації малорухомих пар тертя та в якості декоративних та художньо оформлених поверхонь.

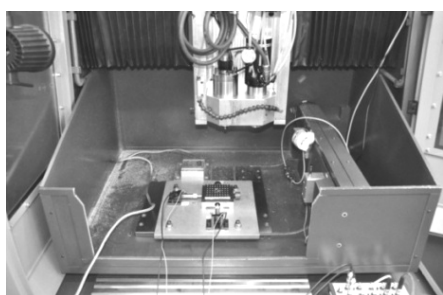
В літературних джерелах наведені результати досліджень обладнання і методів обробки деталей фрезами малого діаметра [1, 2]. В літературних джерелах розглянуті дослідження робочих процесів мікрорізання фрезами малого діаметра [3]. В окремих публікаціях викладені результати досліджень динамічних характеристик обладнання [4]. Значну увагу приділено питання точності обладнання та результатам вимірів параметрів мікропрофіля [5].

В літературних джерелах не виявлено результатів досліджень мікропрофіля поверхні одержаної в результаті вібраційної обробки.

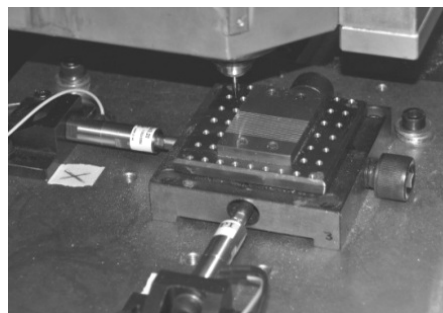
До невирішених раніше частин загальної проблеми відноситься детальне врахування особливостей мікропрофіля поверхонь, зокрема геометричних характеристик мікропрофіля, побудова аналітичних моделей мікропрофіля та його окремих ділянок.

Метою досліджень є розробка методів оцінки параметрів якості мікропрофіля поверхні, обробленого фрезами малого діаметра із накладенням високочастотних вібрацій на заготовку. Задачами досліджень поставлено створення установки для вібраційної обробки поверхонь з утворенням спеціального мікрорельєфу у вигляді протяжних мікровиступів різноманітної конфігурації, дослідна апробація установки та розробка методів оцінки якості мікропрофіля обробленого фрезами малого діаметра.

Виклад основного матеріалу досліджень. Установка для вібраційної обробки поверхонь включає вертикально-фрезерувальний верстат, який укомплектовано столом з вібраційними приводами мікропереміщень та системою керування (рис. 1).



а



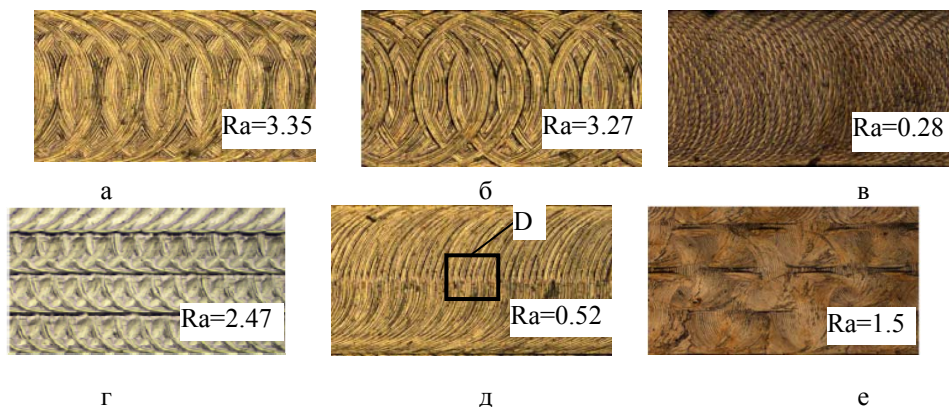
б

а – загальний вигляд установки на верстаті; б – стіл з приводами мікропереміщень

Рисунок 1 – Установка для вібраційної обробки поверхонь

Верстат має високообертівий шпиндельний вузол з частотою обертання 10000-60000 об/хв. При обробці використані консольні (пальцеві) фрези малого діаметра (0,2 – 1,0 мм). Оброблювана деталь встановлюється на двохкоординатному вібраційному столі, оснащеному спеціальними п'єзоприводами переміщення стола в напрямках у і z (рис. 1, б). Частота і амплітуда переміщення стола в двох напрямках регулюється спеціальною мехатронною системою керування, а закон переміщення стола корегується по результатам вимірів його положення лазерними вимірювачами. Полоса робочих частот п'єзоприводів сягає 25 кГц і вище, при амплітудах переміщення стола в двох взаємно перпендикулярних напрямках до 0,03 мм. Забезпечення вказаних динамічних параметрів рухомого стола здійснюється спеціальною системою пружного підвісу.

Вібраційні мікропереміщення стола у поєднанні з рухом подачі забезпечують вібраційний рух деталі встановленої на столі відносно інструменту. В результаті на обробленій поверхні утворюється спеціальний мікрорельєф (рис. 2).



а, б – рельєф циклоїдального виду; в – мікропрофіль з віяльними виступами; г – петлеподібні виступи мікропрофіля; д – зигзагоподібний мікропрофіль; е – мікропрофіль з періодичними концентричними ділянками

Рисунок 2 – Зовнішній вигляд мікрорельєфів оброблених поверхонь (збільшено в 25 разів):

Мікропрофіль має різноманітні локальні екстремуми (максимуми і мінімуми). Як правило екстремуми групуються в ланцюги, що утворюють канавки або виступи мікропрофіля (рис. 3).

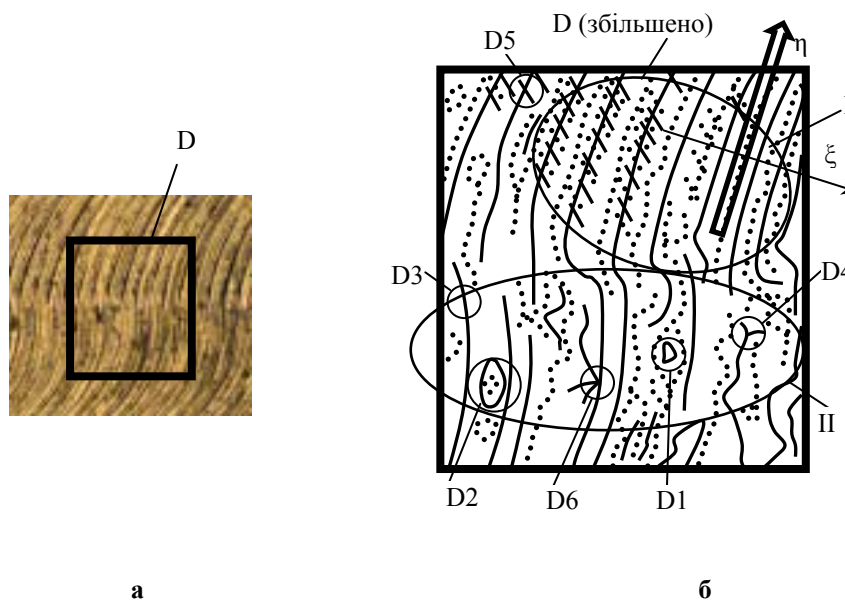
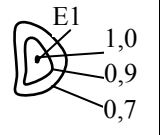
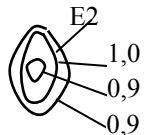
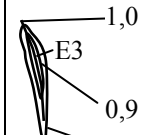
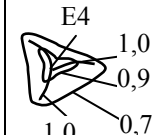
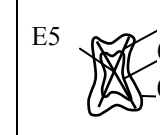
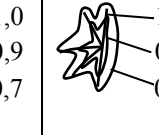


Рисунок 3 – Виділена ділянка мікропрофіля (а), розташування виступів (суцільні лінії) та впадин (пунктирні лінії) на виділеній ділянці (ділянка D) мікропрофіля (б)

Особливістю мікропрофіля є наявність квазірегулярних ділянок I та ділянок хаотично розташованих виступів і впадин II.

На ділянці хаотичного розташування виступів і впадин виділяються окремі характерні екстремуми мікропрофіля. Одиначні екстремуми мають вигляд еліптичних підвищень D1, D2 із чітко ідентифікованою вершиною (табл. 1).

Таблиця 1 - Характерні ізольовані екстремуми мікропрофіля відповідні окремим областям обробленої поверхні

Позначення області	D1	D2	D3	D4	D5	D6
Топограма екстремума						

На мікротопограмі поверхні спостерігаються локальні екстремуми різного виду. Ізольований екстремум у вигляді пагорба (ділянка D1) має чітко виражений максимум (мінімум) E1. Лінії одного рівня (відносно значенням максимуму E1) 0,9; 0,7 є замкнутими. Вони мають вигляд опуклих контурів. Часто екстремуми даного виду мають вигляд площадок паралельних основній площині мікропрофіля. Різновидом даного екстремуму є екстремум у вигляді пагорба з лункою (ділянка D2). Максимальна висота мікропрофіля в даному випадку являє собою замкнену криву E2. Всередині області є пониження висоти мікропрофіля.

Ізольовані екстремуми розглянутого типу не є характерними для мікропрофіля. Частіше зустрічаються екстремуми з хребтовими лініями E3 (ділянка D3). Лінії одного рівня 0,9; 0,7 утворюють витягнуті еліптичні контури. Власне екстремум (точка E3) не є фіксованим. Різновидами екстремумів хребтового типу є вузлові точки в яких перетинаються хребтові лінії. Мають місце екстремуми перехресного типу з трьома (ділянка D4) та чотирма (ділянка D5) гребенями які виходять з однієї точки (E4, E5). Вкрай рідко на профілі простежуються екстремуми перехресного типу які мають п'ять (ділянка D6) або більше гребенів.

Екстремуми знаходяться по експериментально визначеним топограмам профіля.

Математично екстремум визначається диференціальними характеристиками мікропрофіля в околиці екстремума. Диференціальні характеристики подані у вигляді частинних похідних. Локальні екстремуми мікропрофіля мають місце в стаціонарних точках x_{ia} і y_{ia} , в яких похідні дорівнюють нулю:

$$\frac{\partial z(x, y)}{\partial x} = 0, \frac{\partial z(x, y)}{\partial y} = 0. \quad (1)$$

Складені матриці частинних похідних другого порядку в околиці стаціонарних точок:

$$M_i = \begin{bmatrix} m_1 & m_3 \\ m_3 & m_2 \end{bmatrix}, \text{ де } m_1 = \frac{\partial^2 z(x, y)}{\partial x^2}, \quad m_2 = \frac{\partial^2 z(x, y)}{\partial y^2}, \quad m_3 = \frac{\partial^2 z(x, y)}{\partial x \partial y} = \frac{\partial^2 z(x, y)}{\partial y \partial x}. \quad (2)$$

Умовою локального мінімуму мікропрофіля є додатня визначеність матриці M_i . Від'ємна визначеність матриці відповідає максимуму мікропрофіля.

Дані залежності дають можливість визначити екстремуми типу D1 (див. табл. 1). Для екстремумів інших типів (D3-D6) матриця (2) вироджується або є на межі виродження (сингулярності).

Матриця (2) приводиться до головних значень M_1, M_2 , які характеризуються кутом α розташування головної системи координат. Вказані параметри визначено для кожного екстремуму мікропрофіля згідно залежностей:

$$M_i = \begin{bmatrix} M_1 & 0 \\ 0 & M_2 \end{bmatrix}, \text{ де } M_1 = \frac{m_1 + m_2}{2} + \sqrt{\left(\frac{m_1 + m_2}{2}\right)^2 + m_3^2},$$

$$M_2 = \frac{m_1 + m_2}{2} - \sqrt{\left(\frac{m_1 + m_2}{2}\right)^2 + m_3^2} \quad \alpha = -\frac{1}{2} \operatorname{arctg} \frac{2m_3}{m_1 - m_2}. \quad (3)$$

Головні значення характеризують кривизну мікропрофіля в околиці максимуму або мінімуму.

Розглянемо екстремум, який має суттєво відмінні головні значення матриці тобто $M_1 \gg M_2$. Він має вигляд витягнутого деформованого еліпса (ділянка D3 табл.1). Для даного екстремума матриця буде близька до сингулярної. Напрямок відповідний головному значенню M_2 буде відповідати напрямку rischi E3.

Для аналітичного опису мікропрофіля на ділянці екстремума використано характерний контур, що визначає лінію однакової висоти мікропрофіля. Даний контур описується у вигляді кривої визначеної в декартовій прямокутній або полярній системі координат. Для виступів близьких до еліптичної форми доцільно застосувати полярну систему координат. Запропоновано описати мікропрофіль в області екстремума експоненціальною залежністю:

$$z(\varphi, r) = z_m e^{-\alpha c(\varphi) r^2}. \quad (4)$$

де z_m – параметр, який визначає висоту екстремума;

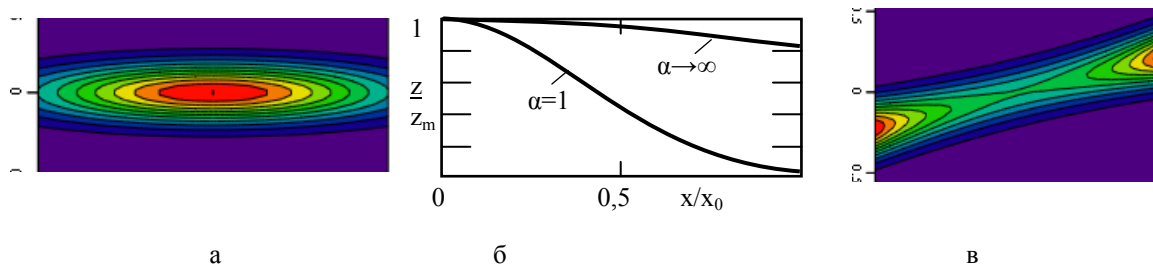
$c(\varphi)$ – контур, що визначає характерну лінію постійної висоти;

r – радіус, який визначає відстань від екстремума до поточної точки; φ – полярний кут.

Для контура $c(\varphi)$ близького до еліпса аналітична залежність контура має вигляд:

$$c(\varphi) = 1 - \varepsilon^2 \cos^2 \varphi. \quad (5)$$

Параметр ε визначає відносну ширину виступа, а параметр α визначає крутизну виступа. Опис виступа з використанням еліптичних ізоліній забезпечує простий аналітичний опис ділянок мікропрофіля у вигляді ізольованих виступів симетричного виду (позиція D2 в табл. 1). Для двох сусідніх виступів описується сідлова точка, яка спостерігається між ізольованими виступами (рис. 4).



а – лінії рівного значення висот мікрориступа; б – перетини мікрориступа в різних радіальних площинах; в – сідлова точка між двома мікрориступами

Рисунок 4 – Результати спрощеного аналітичного опису ізольованих мікрориступів, що допускають ідеалізацію у формі еліпса

Крутизна перетину мікрориступа залежить від параметра α . В граничному випадку $\alpha \rightarrow 0$ маємо контур відповідний гребню профіля (рис. 4, б). Відповідно

задаючи змінне значення параметра $\alpha = \alpha(\varphi)$ можна описати виступи мікропрофіля із гребнями, що відповідають позиціям D3-D6 (табл. 1).

Для опису мікрорельєфу складної форми контур виступа визначається у вигляді полігармонічної функції:

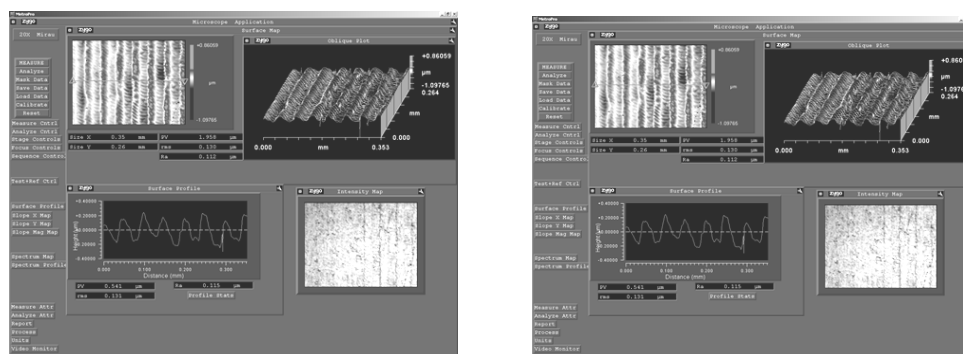
$$c(\varphi) = \sum_{i=1}^N c_i \sin(\omega_i \varphi + \psi_i), \quad (6)$$

де c_i, ω_i, ψ_i - відповідно амплітуди, базові частоти та початкові фази окремих гармонік полі гармонічної функції;

N – число гармонік, достатнє для опису контура ($N=3 \dots 5$).

Аналогічно залежності (6) описується параметр $\alpha(\varphi)$, який входить в формулу (4). З використанням наведених залежностей описуються всі можливі варіанти ізольованих виступів, наведених в табл. 1.

Для квазірегулярних ділянок мікропрофіля I (див. рис. 3, б) його аналітичний опис подається у спрощеному вигляді. Розглядається перетин мікропрофіля в напрямку ξ , який перпендикулярний осередненому напрямку мікрорисок. Для даного напрямку проведено виміри мікропрофіля. Результати вимірів подані у вигляді топограми та характерного перетину мікропрофіля (рис. 5).



а

б

Рисунок 5 – Виміри мікропрофіля обробленої поверхні на квазірегулярних ділянках в двох сусідніх перетинах

Проведено аналіз оцифрованих значень мікропрофіля на ділянках квазіперіодичності. Встановлено, що ділянки мікропрофіля є близька до періодичної, тобто $f(0) \approx f(T)$ (рис. 6).

Періоди сусідніх максимумів мікропрофіля T_1, T_2, T_3 є близькими, а амплітудні значення A_1, A_2, A_3, A_4 відрізняються на 20...30%.

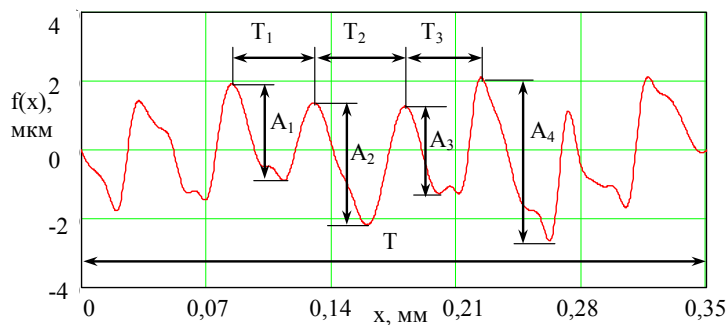


Рисунок 6 – Експериментально визначений мікропрофіль поверхні на квазіперіодичній ділянці відповідній рис. 5, а

Виконано спектральний аналіз мікропрофіля [6]. Для цього оцифрована профілографічна ділянка мікропрофіля, яка близька до періодичної, повторена 3 рази. Одержаний масив згладжено кубічними сплайнами і середня із трьох ділянок мікропрофіля використана для знаходження коефіцієнтів ряду Фур'є по формулам Коші [7]. Знайдені коефіцієнти ряду Фур'є, амплітуди і початкові фази гармонік:

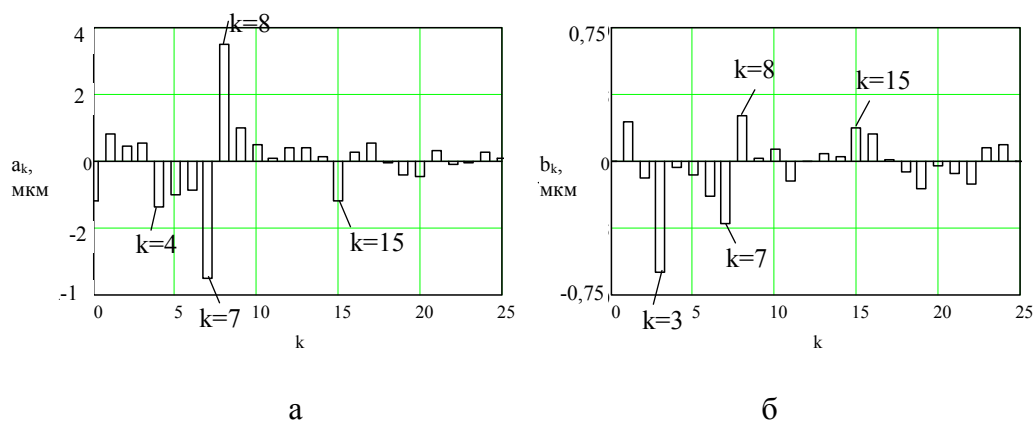
$$a_k = \frac{2}{T} \int_0^T f(\tau) \cdot \cos(k\omega_0\tau) d\tau, \quad b_k = \frac{2}{T} \int_0^T f(\tau) \cdot \sin(k\omega_0\tau) d\tau, \quad A_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2}, \quad \psi_{k0} = \arctg \frac{a_k}{b_k}.$$

Відповідно мікропрофіль подано у вигляді:

$$ff(x) \cong \sum_{k=1}^K a_k \cos\left(\frac{2\pi k}{T} x\right) + b_k \sin\left(\frac{2\pi k}{T} x\right) = \sum_{k=1}^K A_k \sin\left(\frac{2\pi k}{T} x + \psi_k\right).$$

Враховуючи наявність властивості періодичності (квазіперіодичності) профілограми, для спектрального аналізу використані лінійчаті спектри коефіцієнтів ряду Фур'є a_k та b_k і спектри амплітуд A_k складових відрізків ряду Фур'є.

Із аналізу спектрів коефіцієнтів ряду Фур'є (рис. 7) випливає, що мікропрофіль включає суттєві гармоніки з номерами до 20-ї включно.



а – коефіцієнти a_k ; б - коефіцієнти b_k

Рисунок 7 – Спектри коефіцієнтів ряду Фур'є розкладу профілограми мікропрофіля обробленої поверхні на квазіперіодичній ділянці

Головними гармоніками є гармоніки з номерами 4, 7, 8, 15. На основі аналізу спектрів можна зробити висновок про відсутність властивостей парності (симетрії) або непарності (косиметрії) мікропрофіля.

Аналогічні висновки випливають із аналізу спектра амплітуд мікропрофіля (рис. 8).

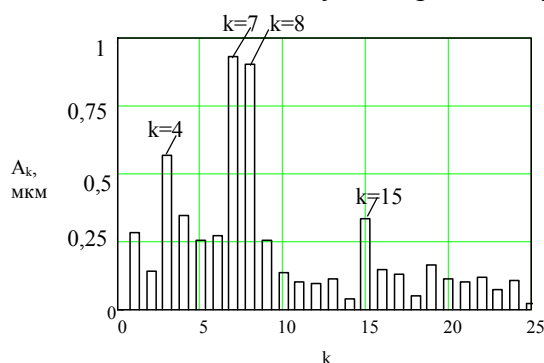


Рисунок 8 – Спектр амплітуд мікропрофіля на квазіперіодичній ділянці

Суттєвими гармоніками прийняті гармоніки амплітуди яких перевищують 25% від амплітуди головної гармоніки (номер 7).

Присутність двох суттєвих гармонік близьких частот (гармоніки 7 і 8) підтверджує наявність властивості «биття» в полігармонічній функції, яка описує перетин мікропрофіля. Властивість «биття» [7] проявляється у наявності особливостей кривої типу перегинів (П1, П2, ...) (рис. 9).

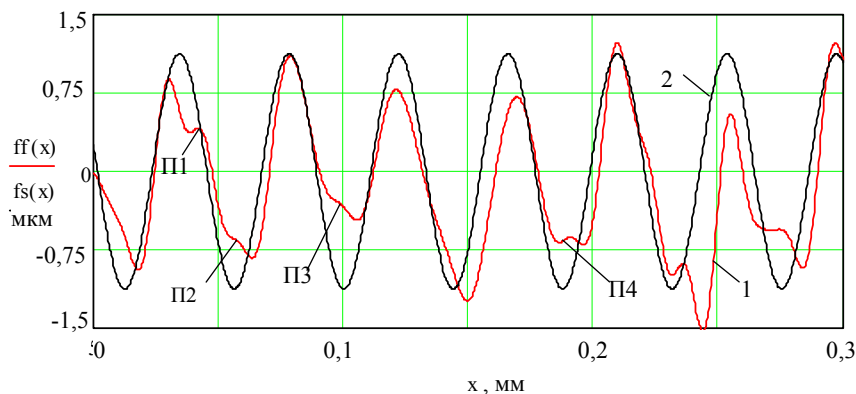


Рисунок 9 – Опис мікропрофіля відрізком ряду Фур'є (крива 1) та порівняння його із синусоїдою (крива 2)

Аналітичний опис перетину мікропрофіля відрізком ряду Фур'є показав, що в цілому перетин мікропрофіля близький до синусоїдальної функції (крива 2). Відмінність періода мікропрофіля на ділянках не перевищує 7%. Зміна амплітуд окремих хвиль мікропрофіля сягає 10%, що пояснюється явищем «биття» полігармонічної функції обумовленого наявністю гармонічних складових близьких частот. Дана особливість мікропрофіля пов'язана із поперечними коливаннями фрези малого діаметра, яка використана при обробці.

Висновки:

1. Розроблена установка для вібраційної обробки поверхонь дозволяє сформувати поверхні із регулярним мікрорельєфом різного виду, що характеризується параметром шорсткості $Ra = 0,3 \dots 4,0$ мкм. Мікропрофіль має ділянки із ізольованими екстремумами та ділянками квазіперіодичності, які характеризуються чергуванням канавок і виступів орієнтованих в одному напрямку.

2. Для оцінки якості мікропрофіля рекомендується диференціальні і інтегральні характеристики. В якості диференціальних характеристик доцільно застосовувати матриці складені із частинних похідних другого порядку. Вони встановлюють наявність екстремумів мікропрофіля та їх особливий характер. Зокрема, вони визначають систему ліній (рисок) розташованих на екстремумах (максимумах і мінімумах) мікропрофіля. Напрямки ліній відповідають головним напрямкам матриць, які описують кривизну мікропрофілю в околиці екстремума при умові наближення матриці до виродження (сингулярності).

3. Для ділянки квазіперіодичності рекомендуються інтегральні характеристики мікропрофіля у вигляді спектрів коефіцієнтів ряду Фур'є, який описує перетин мікропрофіля у напрямку перпендикулярному напрямку мікрорисок. Інтегральні характеристики є основою визначення якісних характеристик мікропрофіля на ділянці квазіперіодичності.

5. Як напрямок подальших досліджень рекомендуються розробити методи синтезу регулярного мікропрофіля із заданими властивостями.

Список літератури

1. Xinhua Long Active vibration control for peripheral milling processes [Text] / Xinhua Long, Hao Jiang, Guahg Meng // Journal of Materials Processing Technology 213 (2013). - pp. 660-670.
2. Wadikhaye, S.P. Design of a compact serial-kinematic scanner for high-speed atomic force microscopy an analytical approach [Text] / Wadikhaye, S.P., Yong, Y.K, Moheimani, S.O.R. // Published in Micro & Nano Letters, 2012. - Vol.7. - pp. 309-313.
3. Gwo-Liang Chern, Yuan-Chin Chang Using two-dimensional vibration cutting for micro-milling [Text] / Gwo-Liang Chern, Yuan-Chin Chang // International Journal of Machine Tools & Manufacture 46 (2006). - pp. 659-666.
4. Elfizy, A.T. Design and control of a dual-stage feed drive [Text] / Elfizy, A.T., Bone, G.M., Elbestawi, M.A. // International Journal of Machine Tools & Manufacture 45 (2005), - pp. 153-165.
5. Shorya Awtar Design of a large range XY nanopositioning system [Text] / Shorya Awtar, Gaurav Parmar // Proceeding of the ASME 2010 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference IDETC/CIE 2010, August 15-18, 2010, Montreal, Quebec, Canada. – pp. 170-175.
6. Струтинський В.Б. Динамічні процеси в металорізальних верстатах: монографія / В.Б. Струтинський, В.М. Дрозденко. – Київ.: Основа-Принт, 2010. – 440 с.
7. Мэнли, Р. Анализ и обработка записей колебаний / Мэнли, Р. // – М.: Машиностроение, 1972. – 368с.
8. Тимофеев, Ю. В. Новая технология скоростной обработки закаленных крупномодульных зубчатых колес специальными дисковыми фрезами / Ю. В. Тимофеев, А. А. Ключко, В. Ф. Шаповалов// Вісник СевНТУ : зб. наук. пр. Серія «Машиноприладобудування та транспорт». – Севастополь, 2011. – Вип. 118. –С. 139–144.

Vasil Strutynsky, Ivan Perfilov

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

Research microprofile resulting surface vibration mills processing small diameter

The results of surface microprofile research obtained with the milling cutters of small diameter on a specially designed equipment are presented. It is shown that the microprofile includes the areas with isolated extremes and the areas of quasiperiodicity with a clear focus of microstrips. A microprofile description with analytical dependencies are suggested. For the areas with isolated extremes the description of microprofile functions is carried out based on the Gaussian curves. For areas with quasiperiodicity the spectral analysis of microprofile by submitting it as a segment of a Fourier series is recommended. The analysis of microprofile in different areas is made.

The research purpose is to develop methods for assessing the quality parameters of obtained microprofile which was processed with small diameter mills with imposing high vibration on the workpiece. The special equipment for forming the microprofile was developed. Methods for estimating the microprofile parameters in areas with isolated extremes and in areas with quasi-periodic statements and valves were suggested. The analytical description of microprofile with the set of Gaussian curves and segments of Fourier rows based on microprofile spectrum analysis. The microprofile features analysis was made.

The conclusion about the microprofile quality parameters obtained with vibration processing with small diameter mills and the methods of this type of microprofile analysis.

microcutting, vibration, special microprofile, extremes, spectrum, features

Одержано 10.03.12

УДК 621.9.04

С.В. Струтинський, канд. техн. наук*НТУУ «Київський політехнічний інститут», Київ, Україна*

Просторові системи пластично-деформованих мехатронних приводів на основі сплавів із пам'яттю форми

Наведено результати досліджень просторових пластично-деформованих мехатронних систем приводів на основі сплавів із пам'яттю форми. Шляхом макетування підтверджено працездатність приводів на основі сплавів з пам'яттю форми та можливість їх використання в просторових механізмах. Запропоновані конструктивні рішення приводів та їх застосування в складі мехатронних просторових систем приводів. Викладено результати теоретичних досліджень просторових систем, що включають приводи на основі сплавів із пам'яттю форми.

пам'ять форми, привід, мехатронна система, конструкція, механізм-гексапод, геометрія, кінематика

С.В. Струтинский, канд. техн. наук*каф. прикладной гидроаэромеханики и мехатроники НТУУ «КПИ», Киев, Украина*

Пространственные системы пластически-деформированных мехатронных приводов на основе сплавов с памятью формы

Приведены результаты исследований пространственных пластически-деформированных мехатронных систем приводов на основе сплавов с памятью формы. Путем макетирования подтверждено работоспособность приводов на основе сплавов с памятью формы и возможность их использования в пространственных механизмах. Предложены конструктивные решения приводов и их применение в составе мехатронных пространственных систем приводов. Изложены результаты теоретических исследований пространственных систем, включающих приводы на основе сплавов с памятью формы.

память формы, привод, мехатронная система, конструкция, механизм-гексапод, геометрия, кинематика

Вступ. Просторові системи приводів є високоефективним і широко функціональним технологічним обладнанням. Тому розробка принципово нових просторових систем приводів є актуальним.

Проблема в загальному вигляді полягає у створенні мехатронних систем приводів із особливими властивостями.

Проблема пов'язана із розробкою ефективного технологічного обладнання на основі просторових систем приводів, зокрема, маніпуляторів для роботи в екстремальних умовах.

В літературних джерелах описані різноманітні просторові системи приводів [1]. Розглянуті застосування приводів різного виду в технологічному обладнанні, зокрема в робототехніці [2]. Вказано на перспективність застосування систем приводів, які використовують нові фізичні явища [3]. В окремих публікаціях розглянуто застосування приводів на основі сплавів із пам'яттю форми в машинобудуванні [4]. Викладено результати досліджень сплавів із пам'яттю форми [5, 6]. В ряді робіт розглянуті феромагнітні приводи із сплавів із пам'яттю форми [7, 8].

© С.В. Струтинський, 2015

Результатів розробок просторових систем приводів типу механізма-гексапода на основі сплавів із пам'яттю форми в літературних джерелах не виявлено.

Метою досліджень викладених в даній статті поставлено розробку просторових пластично-деформованих мехатронних систем приводів на основі сплавів із пам'яттю форми. Задачами досліджень поставлено макетування просторових систем приводів на основі сплавів із пам'яттю форми для перевірки їх працездатності, розробка мехатронних просторових систем приводів на основі сплавів із пам'яттю форми та теоретичні дослідження геометрії і кінематики механізмів гексаподів, що мають привід на основі сплаву з пам'яттю форми.

Виклад основного матеріалу досліджень.

Конструктивна реалізація приводів із пам'яттю форми

Металічні сплави з пам'яттю форми, наприклад нікелід титана, при нагріванні, після попередньої деформації, демонструють явище повернення до початкової форми [5]. Сплави з пам'яттю форми дають можливість реалізувати компактні приводи поступальних переміщень [4]. Привід являє собою стрижень із сплаву, що має пам'ять форми, який може пластично деформуватись зовнішньою силою. У початковому стані в матеріалі стрижня існує певна визначена структура. При деформації (згині) зовнішні шари матеріалу стрижня витягуються, а внутрішні стискаються (середні шари залишаються без змін). Витягнуті шари металу включають мартенситні пластини, орієнтовані відповідним чином. В матеріалах з пам'яттю форми наявний мартенсит має властивості термопружності [6]. При нагріванні починає проявлятися термопружність мартенситних пластин. В них виникає внутрішній напружений стан, який прагне повернути структуру матеріалу в початкове положення – стиснути витягнуті пластини та розтягти стиснені. Оскільки зовнішні витягнуті шари привода стискаються, а внутрішні стиснені розтягуються, матеріал стрижня в цілому проводить автодеформацію в зворотню сторону і привід відновлює свою початкову форму [7].

Пластично деформовані приводи на основі сплавів з пам'яттю форми є принципово новим видом приводів. Тому для перевірки особливостей їх роботи проведено макетування приводів. Типовий базовий макетний варіант привода має вигляд пластично-деформованого стрижня, який змінює відстань між точками свого закріплення (рис. 1).

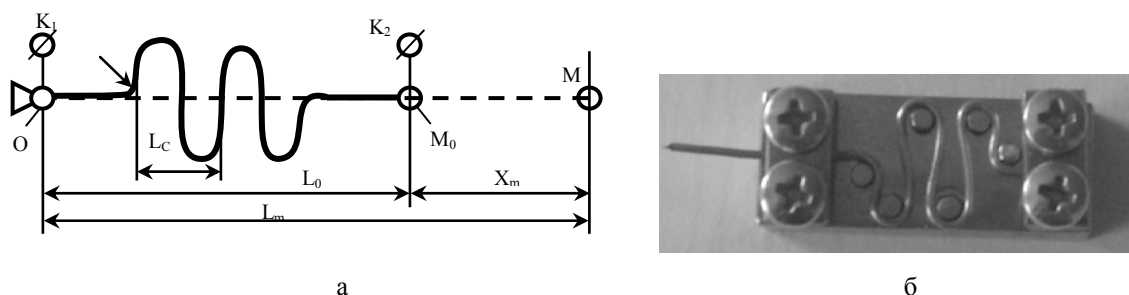


Рисунок 1 – Схема макета привода на основі сплаву із пам'яттю форми (а) та оправка для початкової деформації привода (б)

Початкова пластична деформація привода здійснюється в спеціальній оправці (рис. 1, б). Після деформації стрижень набуває хвилястої форми. В деформованому стані відстань між точками закріплення криволінійного стрижня складає $OM_1 = L_0$. Привід працює при зміні температури стрижня. Нагрівання здійснюється зовнішнім джерелом тепла. При нагріванні стрижень відновлює свою форму і становиться

прямолінійним. Довжина привода після нагрівання складає $OM = L_m$, а приріст довжини x_m залежить від початкової деформації привода.

Розглянутий привід використано в макеті просторової системи приводів побудованої по схемі механізму-гексапода. Просторова система являє собою стрижневу конструкцію типу октаедра W_0, W, U, u, v, w (рис. 2, а).

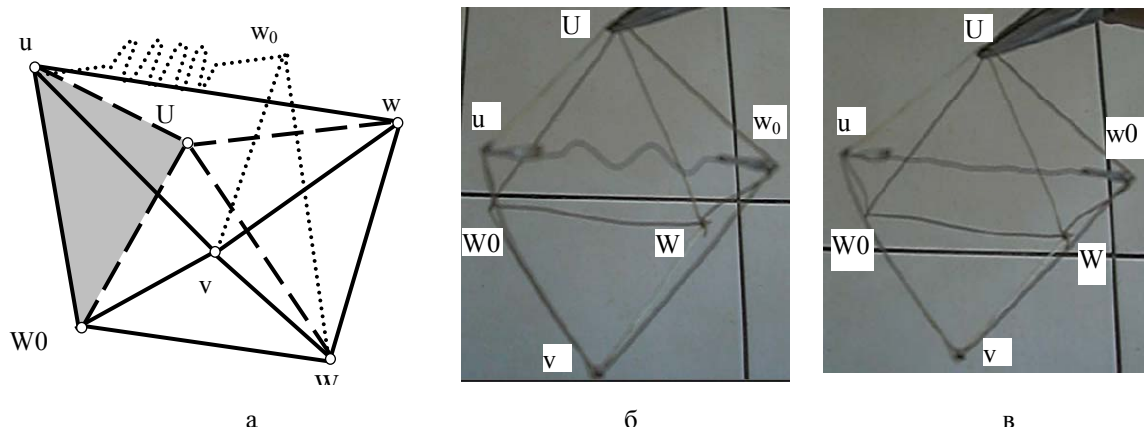
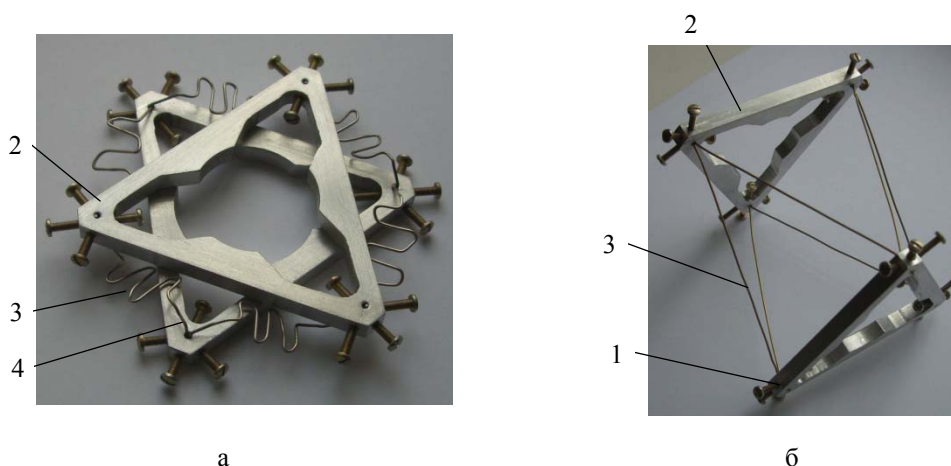


Рисунок 2 – Схема просторової пластично-деформованої системи приводів (а), початкове положення макета системи (б) та система після нагрівання (в)

В системі використано стрижень uw_0 із сплаву із пам'яттю форми. В початковому положенні привід має хвилясту форму (рис. 2, б). При нагріванні привід вирівнюється і конфігурація механізму змінюється (рис. 2, в).

Макетування підтвердило надійну роботу привода. При нагріванні до температури $70...90^{\circ}\text{C}$ привід практично повністю відновлює прямолінійну форму (див. рис. 2, в).

З використанням макетів приводів хвилястої форми (див. рис. 1) розроблено макет механізму гексапода, який має шість приводів виготовлених із сплаву з пам'яттю форми. Механізм має нерухому основу 1 та рухому платформу 2 з'єднану приводами 3 (рис. 3).



а – механізм, в якому всі приводи знаходяться в початковому деформованому стані; б – механізм після нагрівання, в якому всі приводи вирівнялись

Рисунок 3 – Макет механізму-гексапода, який має шість приводів виготовлених із сплаву з пам'яттю форми

При нагріванні всіх шести приводів вони вирівнюються і рухома платформа 2 максимально віддаляється від нерухокої основи 3 (див. рис. 3, б).

При нагріванні одного або кількох приводів платформа встановлюється відповідним чином, займаючи певне положення відносно нерухокої основи (рис. 4).

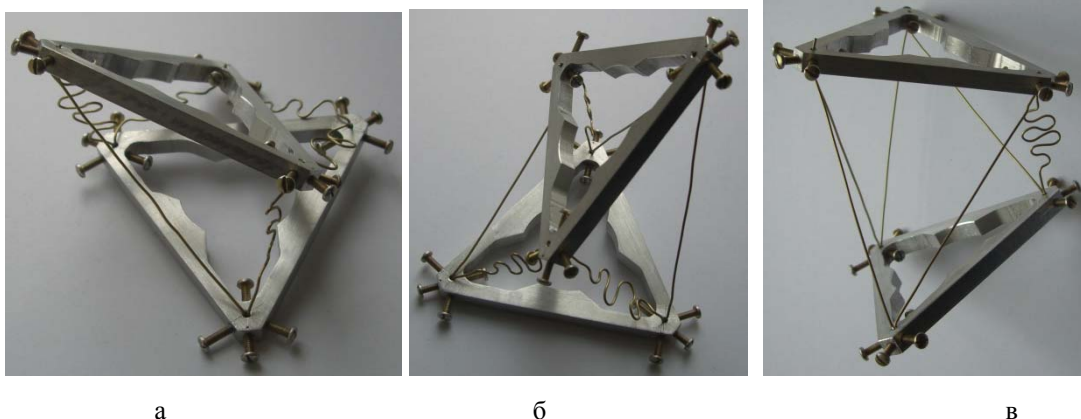


Рисунок 4 – Макет механізма-гексапода, в якому вирівнявся один привод (а), три привода (б) та п'ять приводів (в)

Розроблений механізм із пластично-деформованими приводами забезпечує періодичне переміщення платформи. Нагрівання приводів здійснюється різними методами. В розглянутих макетних зразках нагрівання приводів здійснювалось струменями гарячого повітря.

Більш перспективним є нагрівання приводів пропусканням через привод постійного струму. В літературних джерелах вказано, що пропускання струму приводить до нагрівання і відповідної зміни форми привода [4]. В окремих публікаціях [8] вказано, що процес зміни форми при певних умовах має періодичний характер. Тобто при пропусканні струму привід, що має хвилясту форму вирівнюється збільшуючи свою довжину в певних межах, а при відключенні струму привід скорочується відновлюючи початкову хвилясту форму. Це дає можливість реалізувати ефективні мехатронні системи приводів на основі сплавів з пам'яттю форми.

Для перевірки працездатності систем приводів даного типу розроблено макетні зразки просторових систем приводів із мехатронними системами керування. Система дозволяє змінювати струм і напруження в окремому приводі виготовленому із сплаву із пам'яттю форми і підключеному до системи керування.

Для привода виготовленого із стрижня діаметром 0,5 мм для нагрівання необхідний струм 2-3 А при напрузі 2-2,5 В.

При подачі електричного струму реалізується як безповоротна зміна форми привода, так і періодична зміна форми, яка повторюється при повторному пропусканні електричного струму. Безповоротна зміна форми привода дозволяє в значній мірі (на 50...70%) змінювати довжину привода, а періодичне підведення струму змінює довжину привода на 10...20%, чого також достатньо для реалізації ефективних просторових систем приводів.

Розроблена мехатронна система і проведено макетування приводів із сплаву з пам'яттю форми, побудованих по схемі механізма трипода [9]. Макетний зразок мехатронної просторової системи приводів має нерухоку основу 1 трикутної форми виготовлену із ізоляційного матеріалу (рис 5).

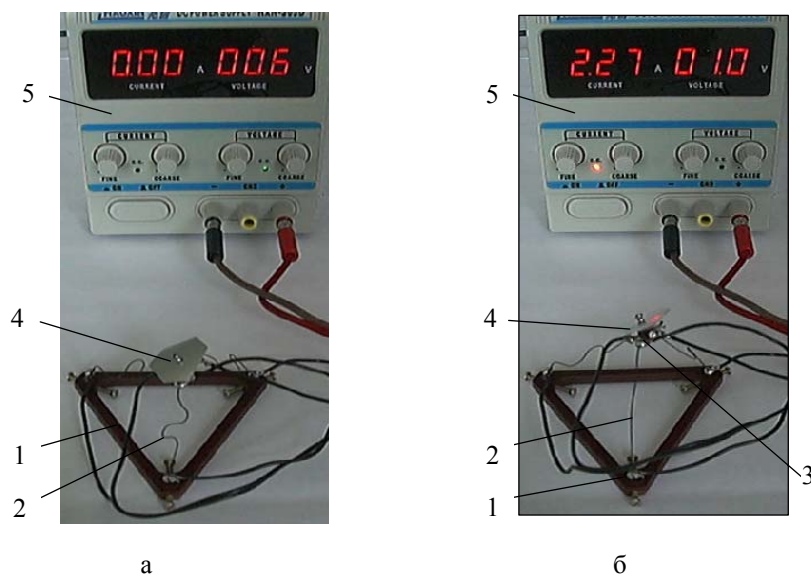
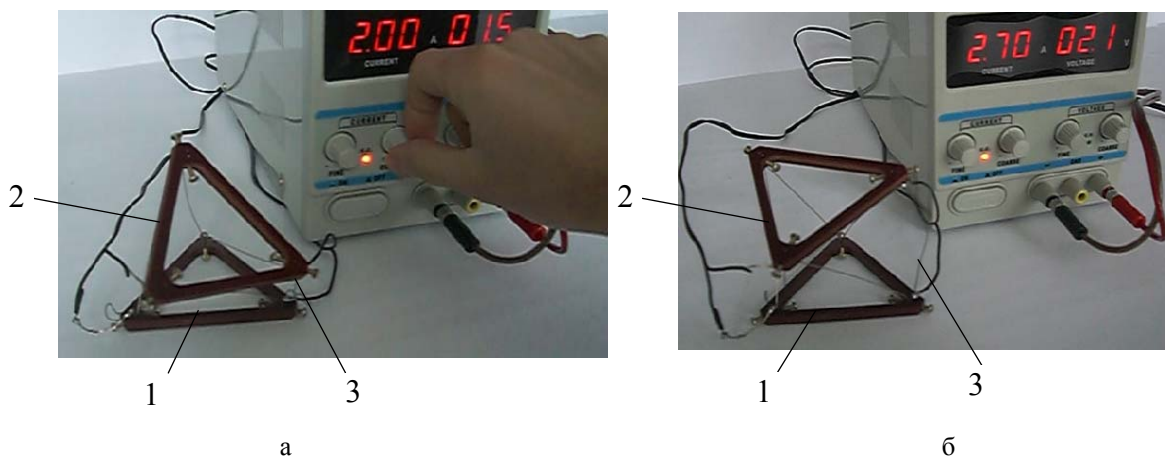


Рисунок 5 – Мехатронна система трьох приводів на основі сплавів із пам'яттю форми, які з'єднані по схемі механізму-трипода: а – приводи у деформованому стані; б – вирівнювання привода 2 при підведенні електричного струму

По краям основи закріплені приводи 2, які мають вигляд стрижнів із сплаву з пам'яттю форми. Початкова пластична деформація стрижнів здійснюється в оправці (див. рис. 1, б). При цьому привод 2 набуває хвилеподібної форми (див. рис. 5, а). Три приводи з'єднуються на сфері 3 на якій закріплена платформа 4. Приводи 2 підключені до регульованого джерела постійного струму 5. Включення струму приводить до зміни форми привода. Макетування системи трьох приводів побудованих по схемі механізму-трипода підтвердило надійність роботи мехатронної системи приводів.

Недоліком системи приводів побудованої по схемі механізму-трипода є низька стабільність поперечно-кутового положення платформи.

Запропонована мехатронна система приводів на основі механізму-гексапода має більш стабільне поперечно-кутове положення платформи. Система приводів має нерухому основу 1 та рухому платформу 2 з'єднану приводами 3 (рис. 6).



а – деформовані приводи; б – вирівнювання приводів

Рисунок 6 – Зміни конфігурації макетного зразка механізму-гексапода при пропусканні постійного струму через приводи з приводами із сплаву із пам'яттю форми

Підведення струму до приводів в широких межах змінює положення рухомої платформи. При розмірах платформи 90 мм, її переміщення сягає 40...60 мм при змінах кутового положення на 20...60°.

Проведене макетування підтвердило ефективність роботи пластично-деформованих систем приводів виготовлених із сплаву з пам'яттю форми.

Також встановлено, що пластично-деформований привід на основі сплаву із пам'яттю форми має ряд недоліків. Один із них - це не зовсім повне відновлення форми привода при нагріванні. Другим недоліком є зниження робочого зусилля привода при його видовженні внаслідок втрати стійкості стрижня привода. Ці недоліки враховані в розробленому приводі застосуванням додаткового обмежувача у вигляді струни або стрижня. Привід із обмежувачем (рис. 7) має деформовану пластину із сплаву із пам'яттю форми 1.

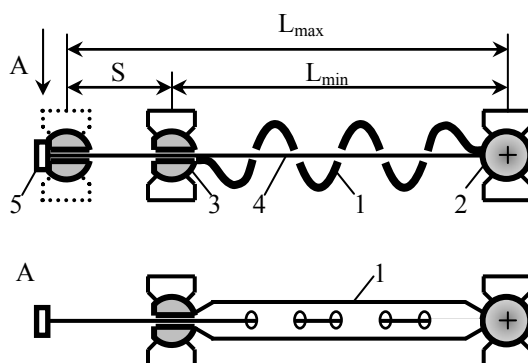


Рисунок 7 – Конструктивна схема привода на основі сплаву із пам'яттю форми, який має обмежувач ходу у вигляді струни

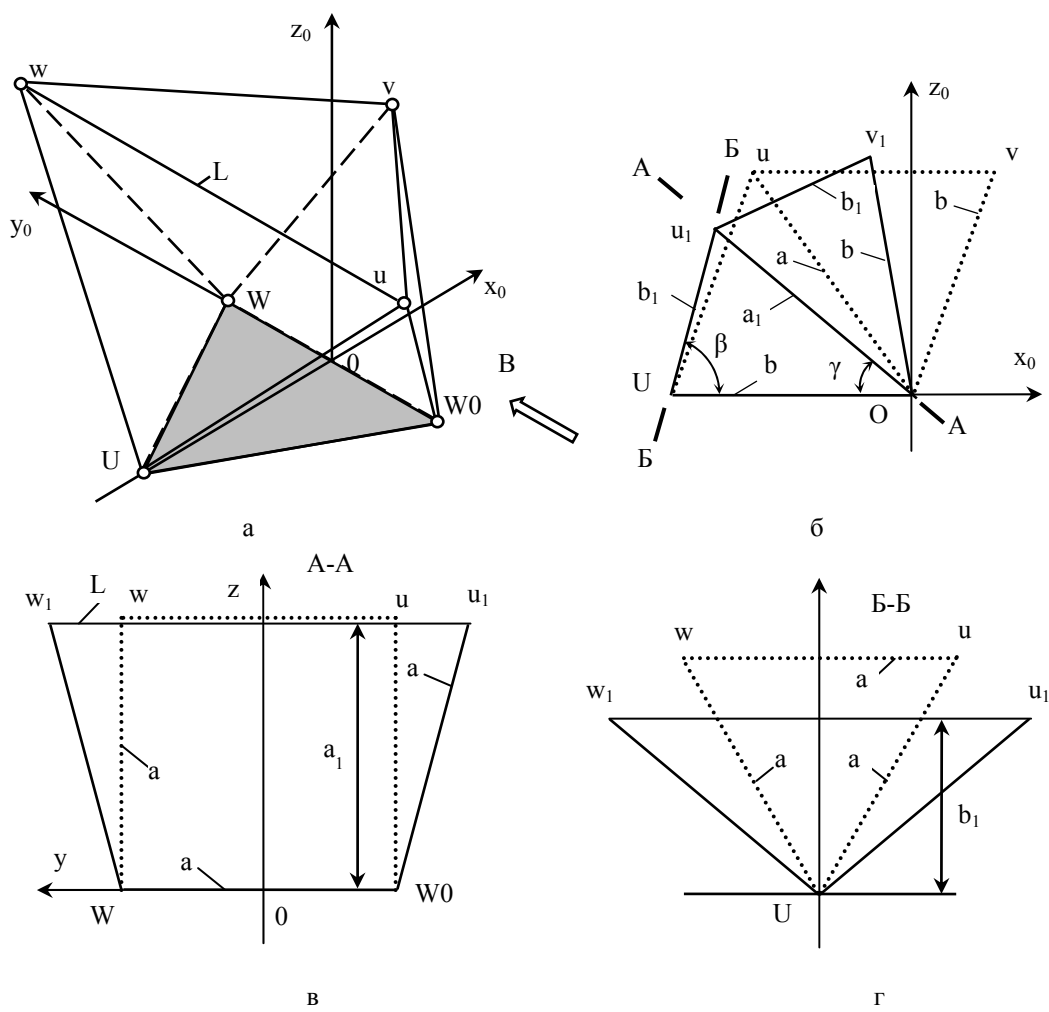
Кінці пластини 1 жорстко зв'язані із опорами у вигляді сфер 2 і 3. Обмежувач у вигляді струни 4 проходить через отвір у сфері 3 та через ряд отворів у пластині 1. Мінімальна довжина привода L_{min} має місце при деформації пластини 1, яка набуває хвилеподібної форми. При нагріванні пластини 1 вона видовжується і випрямляється. Відповідно відстань між сферами 2 і 3 збільшується, досягаючи максимума величини L_{max} . На кінці струни встановлено упор 5, який опирається на сферу 3 при максимальному ході привода. Зусилля, яке розвивається пластиною сприймається струною 4 і вона натягується. При цьому встановлюється точна довжина привода L_{max} . Натягнута струна, яка розміщена в отворах пластини підвищує її стійкість, створюючи стабілізуючі бокові зусилля на пластину в кінці ходу.

Таким чином шляхом макетування підтверджена можливість реалізації просторових систем пластично-деформованих мехатронних приводів на основі сплавів із пам'яттю форми. Приводи відрізняються значним ходом. Тому просторовий механізм суттєво змінює свою конфігурацію. Для розрахунку геометрії і кінематики просторових систем із значною зміною довжини приводів проведені спеціальні теоретичні дослідження.

Теоретичні дослідження геометрії і кінематики механізму-гексапода, який має привід із сплаву із пам'яттю форми

Привід із сплаву із пам'яттю форми в процесі роботи суттєво змінює свою довжину. Тому механізм з таким приводом в широких межах змінює свою конфігурацію та розміри. Застосування відомих методів [9] розрахунку геометрії і кінематики просторових механізмів для даного привода неможливе по причині суттєвої нелінійності задачі. Тому проведені дослідження окремих важливих випадків, зокрема

наявності лише одного привода змінної довжини в механізмі-гексаподі. Розглянуто шарнірний механізм-гексапод, в якому привід $wu=L=var$ змінює свою довжину (рис. 8).



а – ізометричне зображення механізму; б – еквівалентний плоский механізм відповідний проекції механізму по стрілці В; в – перетин механізму площиною W, W0, u, w; г – перетин механізму прощиною U, w, u

Рисунок 7 - Зміна конфігурації шарнірного механізму-гексапода при зміні довжини одного привода $L = iw$

Для встановлення геометричних співвідношень розглянемо проекцію механізму на площину x_0oz_0 (вид по стрілці В). Проекція на площину привода uw при зміні його довжини буде мати вигляд точки u . Аналогічно і проекція привода $W0, W$ буде точкою, що співпадає із початком координат. Проекція відповідає плоскому механізму.

Просторовий механізм, який спроектовано на площину, є симетричним відносно цієї координатної площини x_0oz_0 . Даний плоский механізм має дві ланки постійної довжини $Ov_1 = OU = b = \sqrt{3}a/2$.

Останні три ланки механізму Ou_1, Uu_1 та v_1u_1 змінюють свою довжину. При цьому $Uu_1 = v_1u_1 = b_1$.

При видовженні привода uw він займе положення $L = u_1w_1$ і розташується симетрично відносно вісі z . Визначено проекцію приводів Uu_1 та Uw_1 на площину xoz . Із рис. 7 г випливає:

$$b_1 = \sqrt{a^2 - L^2 / 4} = a\sqrt{1 - \lambda^2 / 4}, \quad (1)$$

де λ - відносна довжина привода $\lambda = L / a$.

При значенні:

$$\lambda = 1, \quad b_1 = \frac{\sqrt{3}}{2} a = b, \quad (2)$$

Вершини механізму $W_0 W W_1 u_1$ утворюють трапецію. Висота даної трапеції:

$$a_1 = \sqrt{a^2 - (L - a)^2 / 4}.$$

У відносних величинах одержимо:

$$a_1 = \frac{a}{2} \sqrt{3 + 2\lambda - \lambda^2}. \quad (3)$$

При $\lambda = 1$ одержимо $a_1 = a$. Залежності (1)-(3) справедливі, як для $\lambda > 1$, так і для $\lambda \leq 1$.

Визначимо геометричні співвідношення в проекції механізму (див. рис. 7 б). По відомим сторонам механізму знаходяться кути між ланками. Із теореми косинусів для трикутника $O U u_1$ знаходимо:

$$\cos \beta = \frac{b_1^2 + b^2 - a_1^2}{2bb_1}, \quad \cos \gamma = \frac{a_1^2 + b^2 - b_1^2}{2a_1b}.$$

Підставивши значення геометричних розмірів згідно (1)-(3) одержимо:

$$\cos \beta = \frac{(1 - \lambda / 2)}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{1 - \lambda^2 / 4}}, \quad \cos \gamma = \frac{1 + \lambda}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{3 + 2\lambda - \lambda^2}}. \quad (4)$$

$$\text{При } \lambda = 1, \quad \cos \beta = \frac{1}{3}, \quad \cos \gamma = \frac{1}{\sqrt{3}}.$$

На основі знайдених залежностей обчислюються координати вершин механізму.

$$x_u = -a_1 \cos \gamma, \quad z_u = a_1 \sin \gamma = a_1 \sqrt{1 - \cos^2 \gamma}, \quad y_u = a\lambda.$$

Після підстановки значення величин із формул (3)-(4) знаходяться вектори координат точок u і w :

$$u = a \cdot \begin{bmatrix} -\frac{(1 + \lambda)}{2\sqrt{3}} \\ -\lambda / 2 \\ \frac{\sqrt{2 + \lambda - \lambda^2}}{\sqrt{3}} \end{bmatrix}, \quad w = \begin{bmatrix} -\frac{(1 + \lambda)}{2\sqrt{3}} \\ \lambda / 2 \\ \frac{\sqrt{2 + \lambda - \lambda^2}}{\sqrt{3}} \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Висота вершин u та w (координата z) має максимум при $\lambda = 0,544$, який складає $z_{u_{\max}} = 0,8657a$. В номінальному положенні механізму ($\lambda = 1$) його висота складає $z_{u_0} = 0,816a$.

Координати точок W_0 , W та U залишаються постійними і складають:

$$W_0 = a \begin{bmatrix} 0 \\ -\frac{1}{2} \\ 0 \end{bmatrix}, \quad W = a \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{2} \\ 0 \end{bmatrix}, \quad U = a \begin{bmatrix} -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Координати точки v_1 змінюються і визначаються через геометричні параметри механізму:

$$x_v = -b \cdot \cos 2\gamma, \quad y_{v1} = 0, \quad z_v = b \cdot \sin 2\gamma.$$

Після тригонометричних перетворень одержимо:

$$x_v = -a \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot (2 \cos^2 \gamma - 1), \quad y_{v1} = 0, \quad z_v = a \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \gamma}.$$

Після підстановки значення косинуса згідно (4) одержимо вектор координат точки v_1 :

$$v = a \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{3}(-5\lambda^2 + 2\lambda + 7)}{6(3 + 2\lambda - \lambda^2)} \\ 0 \\ \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{9 - \left(\frac{5\lambda^2 - 2\lambda - 7}{\lambda^2 + 2\lambda + 3}\right)^2} \end{bmatrix}, \quad \text{при } \lambda = 1 \quad v = a \begin{bmatrix} \frac{1}{2\sqrt{3}} \\ 0 \\ \sqrt{\frac{2}{3}} \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Практично важливим є визначення змін конфігурації механізму при зміні довжини привода, що з'єднує платформу (Wwv) і основу (W_0Uu) механізму (рис. 8)/

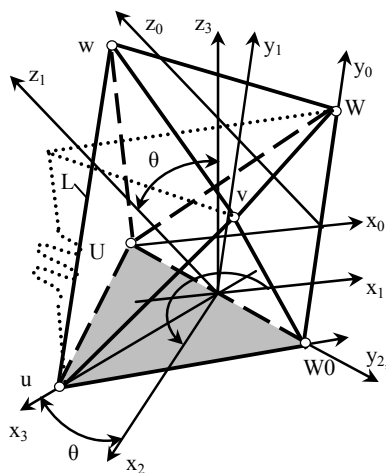


Рисунок 8 - Механізм-гексапод в якому змінюється довжина привода uw , що з'єднує основу W_0Uu і Wwv механізму

Зміни конфігурації механізму визначено на основі попередніх розрахунків шляхом переносу і повороту систем координат.

Розрахунки виконано в системі координат $x_0y_0z_0$. В даній системі координат знайдено вектор функції переміщень всіх шести вершин у функції зміни довжини привода $uw = L = a\lambda$. Координати вершин визначено формулами (5)-(7) в системі координат $x_0y_0z_0$. Позначимо вектори, що визначають положення вершин механізму в системі координат $x_0y_0z_0$, як $u_0(\lambda)$, $W_0(\lambda)$, $U_0(\lambda)$, $WU_0(\lambda)$, $W_0(\lambda)$, $U_0(\lambda)$.

Для переходу від системи координат $x_0y_0z_0$ до системи координат x_3, y_3, z_3 треба здійснити ряд перетворень систем координат у вигляді плоско паралельного переносу та обертання [10].

Перше перетворення полягає в паралельному переносі системи $x_0y_0z_0$ з центром в точці O в положення $x_1y_1z_1$ з центром в точці O_N . При цьому координати вершин будуть визначені у вигляді:

$$u_1(\lambda) = u_0(\lambda) + CN, \quad w_1(\lambda) = w_0(\lambda) + CN, \quad v_1(\lambda) = v_0(\lambda) + CN,$$

$$U_1(\lambda) = U_0(\lambda) + CN, \quad W_1(\lambda) = W_0(\lambda) + CN, \quad WO_1(\lambda) = WO_0(\lambda) + CN.$$

де вектор $CN = a \begin{pmatrix} \frac{\sqrt{3}}{4} \\ \frac{1}{4} \\ \frac{1}{4} \\ 0 \end{pmatrix}$ визначає положення нового центра системи координат.

Друге перетворення системи координат полягає в повороті системи $x_1y_1z_1$ навколо вісі z_1 на кут $\varphi = \frac{2}{3}\pi$. З переходом в систему $x_2y_2z_2$ перетворення визначається матрицею повороту:

$$M_z(\varphi) = \begin{pmatrix} \cos(\varphi) & -\sin(\varphi) & 0 \\ \sin(\varphi) & \cos(\varphi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (9)$$

Відповідно координати вершин механізму в системі координат $x_2y_2z_2$ буде визначено залежностями:

$$u_2(\lambda) = M_z\left(\frac{2\pi}{3}\right) \cdot u_1(\lambda), \quad w_2(\lambda) = M_z\left(\frac{2\pi}{3}\right) \cdot w_1(\lambda), \quad v_2(\lambda) = M_z\left(\frac{2\pi}{3}\right) \cdot v_1(\lambda),$$

$$U_2(\lambda) = M_z\left(\frac{2\pi}{3}\right) \cdot U_1(\lambda), \quad WO_2(\lambda) = M_z\left(\frac{2\pi}{3}\right) \cdot WO_1(\lambda), \quad W_2(\lambda) = M_z\left(\frac{2\pi}{3}\right) \cdot W_1(\lambda).$$

Третє перетворення системи координат полягає в повороті системи $x_2y_2z_2$ навколо вісі y_2 на кут θ , який дорівнює куту між площинами граней утворених вершинами WO, U, u та основою механізму на якій розміщено вершини WO, W, U .

Матриця даного повороту визначена у вигляді:

$$M_y(\theta) = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & 0 & \sin(\theta) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\theta) & 0 & \cos(\theta) \end{pmatrix}. \quad (10)$$

Для визначення кута θ знайдено кут між площиною основи WO, W, U та площиною грані WO, U, u . Рівняння даних площин знайдено у вигляді [10]:

$$A_0x_0 + B_0y_0 + C_0z_0 + D_0 = 0,$$

$$A_1x_0 + B_1y_0 + C_1z_0 + D_1 = 0. \quad (11)$$

де коефіцієнти рівнянь визначено через координати вершин механізму:

$$A_0 = \det \begin{vmatrix} y_{WO} & z_{WO} & 1 \\ y_W & z_W & 1 \\ y_U & z_U & 1 \end{vmatrix}, \quad B_0 = \det \begin{vmatrix} z_{WO} & x_{WO} & 1 \\ z_W & x_W & 1 \\ z_U & x_U & 1 \end{vmatrix},$$

$$C_0 = \det \begin{vmatrix} x_{WO} & y_{WO} & 1 \\ x_W & y_W & 1 \\ x_U & y_U & 1 \end{vmatrix}, \quad D_0 = \det \begin{vmatrix} x_{WO} & y_{WO} & z_{WO} \\ x_W & y_W & z_W \\ x_U & y_U & z_U \end{vmatrix},$$

$$A_1 = \det \begin{vmatrix} y_{wO} & z_{wO} & 1 \\ y_u & z_u & 1 \\ y_U & z_U & 1 \end{vmatrix}, \quad B_1 = \det \begin{vmatrix} z_{wO} & x_{wO} & 1 \\ z_u & x_u & 1 \\ z_U & x_U & 1 \end{vmatrix},$$

$$C_1 = \det \begin{vmatrix} x_{wO} & y_{wO} & 1 \\ x_u & y_u & 1 \\ x_U & y_U & 1 \end{vmatrix}, \quad D_1 = \det \begin{vmatrix} x_{wO} & y_{wO} & z_{wO} \\ x_u & y_u & z_u \\ x_U & y_U & z_U \end{vmatrix}, \quad (12)$$

Кут між площинами визначиться залежністю:

$$\theta = \arccos \frac{A_0 A_1 + B_0 B_1 + C_0 C_1}{\sqrt{A_0^2 + B_0^2 + C_0^2} \cdot \sqrt{A_1^2 + B_1^2 + C_1^2}}. \quad (13)$$

Кут між площинами залежить від довжин приводи uw . Розрахункова залежність має ділянку близьку до лінійної при $\lambda < 1,6$.

На основі визначених залежностей (10) та (13) знаходиться матриця повороту системи координат, а відповідно координати вершин механізму в повернутій системі координат $x_3 y_3 z_3$.

В повернутій системі координат вершини u, wO і U знаходяться в площині $z=0$. Проведені обчислення це підтверджують:

$$u_3(\lambda) = M_y(\theta_1(\lambda)) \cdot u_2(\lambda), \quad wO_3(\lambda) = M_y(\theta_1), \quad U_3(\lambda) = M_y(\theta_1(\lambda)) \cdot U_2(\lambda),$$

$$u_3(\lambda) = \begin{pmatrix} 0,866 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad wO_3(\lambda) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0,5 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad U_3(\lambda) = \begin{pmatrix} 0 \\ -0,5 \\ 0 \end{pmatrix}.$$

Вершини v, w і W змінюють своє положення в просторі. Розрахунок векторів-координат положення вершин здійснено наступними залежностями:

$$W_3(\lambda) = M_y(\theta_1(\lambda)) \cdot W_2(\lambda), \quad v_3(\lambda) = M_y(\theta_1(\lambda)) \cdot v_2(\lambda), \quad w_3(\lambda) = M_y(\theta_1(\lambda)) \cdot w_2(\lambda).$$

В результаті визначено зміни координат вершин механізму при зміні довжини приводу (рис. 9).

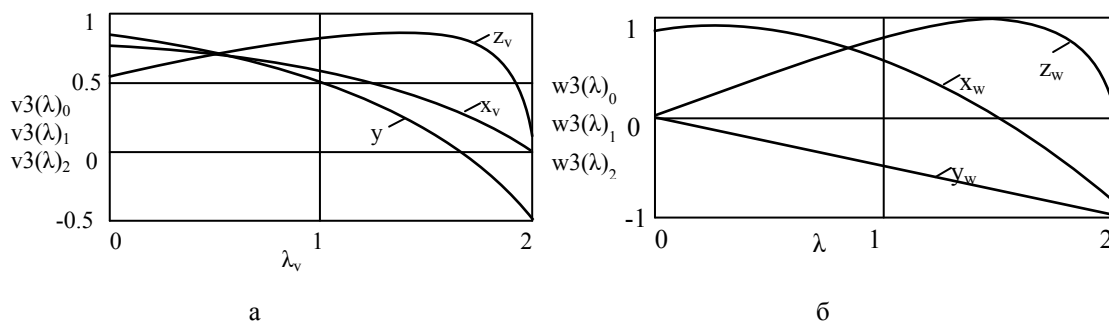


Рисунок 9 – Зміни координат вершин v (а) та w (б) v при зміні довжини приводу uw

Координата z вершини v має максимальне значення при довжині приводу uw $\lambda = 1,5$.

Одержані залежності є основою для повного аналітичного опису геометрії і кінематики просторової системи приводів типу механізму-гексапода при будь-яких змінах довжини одного із приводів.

Висновки.

1. Обґрунтовано, що із сплавів із пам'яттю форми можуть бути створені мехатронні просторові системи приводів відповідні схемі механізму-гексапода. При

нагріванні привода зовнішніми джерелами тепла або електричним струмом привід змінює свою довжину змінюючи конфігурацію механізму.

2. Для підвищення точності позиціонування привода в ньому рекомендується встановити обмежувач ходу у вигляді стрижня або струни. При цьому забезпечується висока точність позиціонування привода при одночасному підвищенні стійкості привода при навантаженнях. Обмежувач ходу при забезпеченні необхідним сервоприводом може бути використаний для початкової деформації привода на основі сплава з пам'яттю форми.

3. Розрахунок геометрії механізму-гексапода, який має один привід із сплаву із пам'яттю форми проводиться на основі запропонованих геометричних співвідношень. Місце розташування привода не є суттєвим, а розрахунок геометрії і кінематики системи здійснюється відповідним переносом та поворотом введених систем координат.

4. Як напрямок подальших досліджень рекомендується дати прикладні застосування розроблених просторових систем приводів та розглянути можливість роботи систем у екстремальних умовах.

Список літератури

1. Сяньвень Кун, Клемент Госселин. Структурный синтез параллельных механизмов. – М.: Физматлит, 2012. – 275 с.
2. Черкашенко, М.В. Синтез минимальных схем гидропневмоагрегатов.– М.: Пневмогидромашины, 2013. – 265 с.
3. Новіков М. Розроблення верстата-гексапода з шестикоординатною системою ЧПК і результати його дослідницького застосування / М. Новіков, В. Струтинський, А. Кириченко // *Машинознавство*. – Львів: ТзОВ «КІНПАТРИ ЛТД», 2011. – №5-6 (167-168). – С. 3-10.
4. Тихонов А.С., Герасимов А.П. Прохорова И.И. Применение эффекта памяти формы в современном машиностроении. – М.: Машиностроение, 1984. – 81 с.
5. Ооцука К., Симидзу К., Судзуки Ю. Сплавы с эффектом памяти формы: Пер. с яп. /Под ред. Х.Фунакубо. М.: Металлургия, 1990. – 224 с.
6. Лихачев В.А., Кузьмин С.Л., Каменцева З.П. Эффект памяти формы. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1987.
7. Бучельников В.Д., Васильев А.Н., Коледов В.В., Таскаев С.В., Ховайло В.В., Шавров В.Г. Магнитные сплавы с памятью формы: фазовые переходы и функциональные свойства // *Успехи физических наук*, 2006, Т. 176. – №8. – С. 900-906.
8. Васильев А.Н., Бучельников В.Д., Такаги Т., Ховайло В.В., Эстрин Э.И. Ферромагнетики с памятью формы // *Успехи физических наук*, 2003, Т. 173. – №6. – С. 577-608.
9. Струтинський С.В. Просторові системи приводів: Монографія / ав. Струтинський С.В., Гуржій А.А. – К.: Педагогічна думка, 2013. – 492 с.
10. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 1973. – 831 с.

Sergiy Strutynskyi

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

Spatial systems plastically deformed mechatronic drives based on shape memory alloys

The purpose of research is the development of spatial plastically deformed mechatronic drive systems on the base of alloys with shape memory.

The spatial drive systems based on shape memory alloys are designed. The developed mechatronic systems prototyping was done and their efficiency was proved. The solutions of drives based on the shape memory alloys were proposed. The theoretical study of geometry and kinematics of mechanism-hexapod which includes the actuators based on alloys with shape memory.

The conclusions about the possibility of implementing the spatial mechatronic drive systems based on shape memory alloys were made.

shape memory, drive mechatronic system design, mechanism-hexapod, geometry, kinematics

Одержано 10.03.15

УДК 621. 9. 048. 4

В.М.Шмельов, канд. техн. наук*Кіровоградський національний технічний університет, м. Кіровоград, lshvm@mail.ru*

Розмірна обробка електричною дугою ступінчастих стержнів

Запропоновано технологію виготовлення ступінчастих стержнів розмірною обробкою електричною дугою (РОД). Визначено вплив технологічних характеристик на показники процесу РОД. Отримані математичні моделі продуктивності процесу РОД ступінчастих стержнів, бічного міжелектродного зазору (МЕЗ), відносного лінійного зносу електрод-інструменту (ЕІ), шорсткості бічної поверхні стержня, відносної шорсткості торцевої поверхні стержнів.

шорсткість поверхні, технологічний струм, статичний тиск потоку робочої рідини, ступінчастий стержень

В.Н.Шмелев, канд. техн. наук*Кіровоградский национальный технический университет, г. Кіровоград***Размерная обработка электрической дугой ступенчатых стержней**

Предложена технология изготовления ступенчатых стержней размерной обработкой электрической дугой (РОД). Определено влияние технологических характеристик на показатели процесса РОД. Полученные математические модели производительности процесса РОД ступенчатых стержней, бокового межэлектродного зазора (МЭЗ), относительного линейного износа электрод-инструмента (ЭИ), шероховатости боковой поверхности стержня, относительной шероховатости торцевой поверхности стержней.

шероховатость поверхности, технологический ток, статическое давление потока рабочей жидкости, ступенчатый стержень

Постановка проблеми. Для виготовлення стержнів, що важко оброблюються різанням матеріалів застосовують методи електроерозійної обробки (ЕЕО). До них відносяться електроіскровий та електроімпульсний методи [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В теперішній час найпоширенішим на виробництві є електроімпульсний метод обробки [2].

При електроімпульсній обробці робочим середовищем є непровідна рідина (гас, мастило, вода та інше), що заповнює міжелектродний зазор (МЕЗ). Коли імпульсна напруга U між анодом та катодом досягає певної величини, відбувається електроерозійний пробій рідини. В останньому виникає плазменний канал розряду, де проходять процеси нагрівання, розпаду та іонізування речовини робочого середовища. Між електродами крізь канал переноситься електричний розряд, в плазмі виділяється джоулева теплота, а перехід зарядів крізь границю між плазмою і електродами супроводжується надходженням імпульсних теплових потоків на анод і катод. Матеріал електрода-заготовки (ЕЗ) із лунки викидається в МЕЗ. Завдяки виділенню джоулевої теплоти, канал розряду оточується газоподібними продуктами розпаду робочого середовища – газовою порожниною. Стінки порожнини, що розширюються виштовхують із МЕР робоче середовище, потік якої зтягує частинки, раніше викинуті з лунки, та виводить їх із проміжку.

Проте процеси електроіскрової та електроімпульсної обробки забезпечують порівняно невисоку продуктивність обробки.

© В.М.Шмельов, 2015

Альтернативою таким процесам є спосіб розмірної обробки електричною дугою (РОД) [3], який, порівняно з електроіскровою обробкою, дозволяє підвищити продуктивність в 5-10 разів, і отримати ступінчасті стержні, зокрема, пуансони з високими показниками економічної ефективності.

Постановка завдання. Особливістю процесу РОД є наявність в МЕЗ потужного гідродинамічного потоку робочої рідини який взаємодіє з електричною дугою підвищуючи її енергетичні параметри та зменшуючи її геометричні параметри. Таким чином чим більше швидкість потоку в зазорі тим більш локальна електрична дуга як джерело тепла.

Спосіб РОД дозволяє якісно оброблять стержні із співвідношенням $D/d < 2$, де D – діаметр заготовки; d – діаметр стержня після РОД, при цьому рівномірність шорсткості, яка характеризується відношенням $Ra_{max}/Ra_{min} < 2$.

З метою зменшення шорсткості обробленої поверхні обробку здійснюють при зменшеній силі технологічного струму. Але при цьому продуктивність обробки зменшується, а час обробки підвищується;

Виклад основного матеріалу. При РОД стержнів із співвідношенням $D/d \geq 2$ спостерігається значне збільшення шорсткості торцевої поверхні. Нерівномірність шорсткості збільшується $Ra_{max}/Ra_{min} \gg 2$. Це пов'язано з різким зниженням швидкості потоку в напрямку вилучення робочої рідини з торцевого МЕЗ з утворенням на периферійній частині так званих довгих (мало стиснутих) дуг, які за своїми параметрами не можуть вести розмірну обробку. При цьому швидкість потоку в торцевому МЕЗ знижується за двома причинами:

- за геометрією торцевого МЕЗ (лінії течії в торцевому МЕЗ при використанні прямого способу прокачування розходяться);
- за рахунок збільшення торцевого МЕЗ в напрямку евакуації продуктів ерозії з нього, що пов'язано з вторинним диспергуванням продуктів ерозії.

При РОД ступінчастих стержнів із співвідношенням $D/d \geq 2$ з використанням зворотного способу комбінованого прокачування проблема значного зниження шорсткості торцевої поверхні стержня в деякій мірі вирішується, але все одно спостерігається нерівномірність шорсткості обробленої поверхні яка лежить в межах від 1 до 2.

Запропонований [4] спосіб розмірної обробки стержнів електричною дугою з однозонним комбінованим зворотним (зустрічним) прокачуванням робочої рідини крізь торцевий МЕЗ під технологічним тиском, який відрізняється тим, що статичні тиски робочої рідини на входах в МЕЗ P_{cm1} , P_{cm2} регулюють із умови досягнення рівності середніх швидкостей потоків на даних ділянках, і визначають із співвідношення.

$$\frac{P_{cm1}}{P_{cm2}} = \frac{\xi_1 \frac{\rho \cdot V^2}{2}}{\xi_2 \frac{\rho \cdot V^2}{2}} = \frac{\xi_1}{\xi_2}, \quad (1)$$

де ξ_1 , ξ_2 – коефіцієнти гідравлічного опору ділянок течії зустрічних (відповідно, внутрішнього та зовнішнього) потоків в МЕЗ;

ρ - густина робочої рідини.

Для реалізації технічного рішення що пропонується відносно обробки стержнів (рис. 1) Е1 1 закріплюють нерухомо на столі електроерозійного верстата, а ЕЗ 2 – на нерухомому шпинделі (на схемі не показано). Поперед обробки робочу зону герметизують. Робочу рідину (наприклад, органічне середовище) від двох автономних насосів, або від одного насосу з використанням спеціального дільника потоку,

одночасно подають в бічний МЕЗ 3 під статичним тиском P_{cm1} та в торцевий МЕЗ 4 під статичним тиском P_{cm2} . Зазначені тиски регулюють із умови досягнення рівності середніх швидкостей потоків V в даних зазорах, тобто пропорційно гідравлічним опорам течії потоків на ділянках, і визначають із співвідношення (1).

Незалежність регулювання швидкості обох потоків за вказаним вище принципом, шляхом зміни статичних тисків на входах в МЕЗ дозволяє наблизити радіус R розташування кільцевого конала в ЕІ безпосередньо по межі торцевого та бічного зазорів і тим самим забезпечити горіння електричної дуги 6 в будь-якій точці торцевого МЕЗ практично в однакових гідродинамічних умовах, а отже забезпечити рівномірну якість (шорсткість) всіх поверхонь що обробляється. При цьому постійна швидкість потоку в радіальному напрямку торцевого МЕЗ досягається за рахунок на постійному площі живого перерізу потоку шляхом звуження ширини каналу в даному зазорі (завдяки геометрії торцевого МЕЗ потік сходиться), з одного боку, та збільшення висоти каналу (тобто зазору) в тому ж напрямку за рахунок вторинного диспергування в ньому продуктів ерозії, з другого боку.

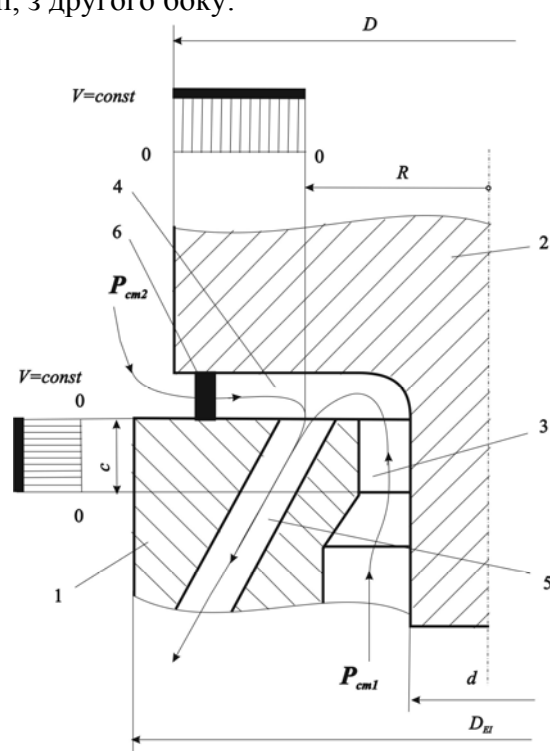


Рисунок 1 – Схема обробки

Використання запропонованого способу розмірної обробки стержнів електричною дугою, порівняно з відомим, суттєво розширює його технологічні можливості, і при застосуванні ЕІ з невеликим робочим пояском, принаймні з боку внутрішнього потоку, дозволяє підвищити верхню межу діапазону обробки стержнів за відносним діаметром D/d з 2 до 10 при забезпеченні рівномірної шорсткості всіх поверхонь, що обробляються.

З метою виявлення закономірностей технологічних характеристик та їх взаємозв'язків з процесу формоутворення стержнів сплановано матрицю планування експерименту.

Вибрані фактори, що впливають на технологічні характеристики процесу РОД стержнів, це:

- фактор, що характеризує електричний режим обробки - сила технологічного

струму I ;

– фактор, що характеризує гідродинамічний режим обробки – статичний тиск робочої рідини P_{cm} ;

– фактори, що характеризують геометричні параметри електродів – довжина лінії течії робочої рідини в торцевому МЕЗ l , та висота пояска на ЕІ c .

Об'єктом дослідження були такі технологічні характеристики процесу РОД стержнів, як:

- продуктивність обробки M ;

- бічний МЕЗ δ_b ;

- відносний лінійний знос ЕІ γ_l ;

- шорсткість бічної поверхні стержня $Ra_{(c)}$;

- відносна шорсткість торцевої поверхні стержня $Ra_{(c)}/Ra_{(m)}$.

Отримано математичну модель продуктивності процесу РОД ступінчастих стержнів M . Показано, що найбільший вплив на M виявляє сила технологічного струму I із підвищенням якої продуктивність збільшується. Виявлено, що з підвищенням довжини лінії течії робочої рідини в торцевому МЕЗ l , продуктивність обробки зменшується. Встановлено, що в діапазоні варіювання факторів в рамках експерименту продуктивність процесу РОД стержнів M змінювалася в межах від 92 до 3847 мм³/хв.

Математична модель продуктивності процесу РОД стержнів M має наступний вигляд, мм³/хв:

$$M = 1,16 \cdot I^{0,367} \cdot P_{cm}^{0,418} \cdot l^{-0,509} \cdot c^{0,249} \quad (2)$$

Отримано математичну модель бічного МЕЗ δ_b . Показано, що головним керуючим фактором, який обумовлює зміну бічного МЕЗ δ_b є висота пояска на ЕІ c , із підвищенням якої δ_b збільшується.

Виявлено, що не менш суттєво, але негативно впливає на бічний МЕЗ δ_b довжина лінії течії робочої рідини в торцевому МЕЗ l . Встановлено, що в діапазоні варіювання факторів в рамках експерименту δ_b змінювався в межах від 0,0325 до 0,1 мм.

Математична модель бічного МЕЗ δ_b має наступний вигляд, мм:

$$\delta_b = 8,6 \cdot I^{0,055} \cdot P_{cm}^{-0,135} \cdot l^{-0,089} \cdot c^{0,227} \quad (3)$$

Отримано математичну модель відносного лінійного зносу ЕІ γ_l . Показано, що найбільш впливовим фактором на відносний лінійний знос ЕІ γ_l є статичний тиск робочої рідини на вході в МЕЗ P_{cm} , який треба розглядати як головний керуючий фактор.

Виявлено, що три фактори (струм I , висота пояска c та довжина лінії течії робочої рідини в торцевому МЕЗ l) з однаковою мірою та досить суттєво визначають відносний лінійний знос ЕІ γ_l при РОД стержнів. Однак з підвищенням фактору I знос збільшується, а з підвищенням факторів c та l – зменшується. Встановлено, що в діапазоні варіювання факторів в рамках експерименту відносний лінійний знос γ_l змінювався в межах від 0,735 до -20 %.

Математична модель відносного лінійного зносу ЕІ γ_l має наступний вигляд, мм:

$$\gamma_l = 9,92 \cdot I^{-0,101} \cdot P_{cm}^{-2,789} \cdot l^{0,301} \cdot c^{0,288} \quad (4)$$

Отримано математичну модель шорсткості бічної поверхні стержня $Ra_{(c)}$. Показано, що найбільш впливовим фактором, що визначає шорсткість обробленої

поверхні стержня $Ra_{(c)}$ є сила технологічного струму I , із підвищенням якої шорсткість збільшується. Саме тому фактор I слід розглядати як головний керуючий. Трохи з меншою силою впливає на $Ra_{(c)}$ висота пояса на ЕІ c із підвищенням якої $Ra_{(c)}$ збільшується. Встановлено, що в діапазоні варіювання факторів в рамках експерименту шорсткість бічної поверхні стержня $Ra_{(c)}$ змінювалася в межах від 2,6 до 25,925 мкм.

Математична модель шорсткості поверхні матриці при обробці на зворотній полярності електродів має наступний вигляд, мкм:

$$Ra_{(c)} = 8,23 \cdot I^{0,162} \cdot P_{cm}^{-1,197} \cdot I^{-0,212} \cdot c^{-0,004} \quad (5)$$

Отримано математичну модель відносної шорсткості торцевої поверхні стержнів $Ra_{(m)}/Ra_{(c)}$. Показано, що найбільш впливовим фактором є довжина лінії течії робочої рідини в торцевому МЕЗ l , з підвищенням якої $Ra_{(m)}/Ra_{(c)}$ збільшується. Таким чином, фактор l слід розглядати як головний керуючий. Виявлено, що з підвищенням сили технологічного струму відносної шорсткості торцевої поверхні процесу РОД стержнів $Ra_{(m)}/Ra_{(c)}$ зменшується. Встановлено, що в діапазоні варіювання факторів в рамках експериментальних досліджень параметр $Ra_{(m)}/Ra_{(c)}$ змінюється в межах від 1,2 до 5.

Математична модель відносної шорсткості торцевої поверхні стержнів $Ra_{(m)}/Ra_{(c)}$ має наступний вигляд:

$$Ra_{(m)}/Ra_{(c)} = 3,8 \cdot I^{-0,272} \cdot P_{cm}^{-0,061} \cdot l^{0,538} \cdot c^{-0,065} \quad (6)$$

Висновки. Використання способу РОД ступінчастих стержнів дозволить виготовлення їх з високою продуктивністю та необхідними показниками якості обробленої поверхні.

Список літератури

1. Фотеев Н. К. Технология электроэрозионной обработки. – М.: Машиностроение, 1980. – 184 с.
2. Артамонов Б.А. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов. Учеб. пособие (в 2-х томах). Т.1. Обработка металлов с применением инструмента / Б.А. Артамонов, Ю.С. Волков, В.И. Дрожалова и др. – М.: Высш. шк.– 1983. – 247 с., ил.
3. 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.
4. Деклар. пат. на винахід № 50415 А Україна, МПК 7 В23Р1/00, В23Р1/02. Спосіб розмірної обробки стрижнів і порожнин електричною дугою. / Боков В. М., Шмельов В. М.; заявник і патентовласник Кіровоградський державний технічний університет. - №2002010119; Заявл. 03.01.2002; Опубл. 15.10.2002. Бюл. №10.

Vitaliy Shmelyov

Kirovograd National Technical University, Kirovograd, Ukraine

Dimensional processing the electric arc of step rods

The paper purpose - the development of manufacturing techniques step rods of dimensional processing the electric arc.

In a paper the analyzes the impact of the technical characteristics on process of dimensional processing the electric arc on its index. Identified the main factors influencing the performance of dimensional processing the electric arc.

The received mathematical models of productivity of the manufacturing process of step rods, side-electrode gap, the relative linear wear of the electrode-tool, the roughness of the side surface of the rod, the relative roughness of the end surface of the rod.

Using the method of dimensional processing the electric arc step rods allow their manufacture with high productivity and quality of the treated surface.

surface roughness, current technology, static pressure the working fluid flow, step rod

Одержано 29.04.15

ТЕХНІКА В СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОМУ ВИРОБНИЦТВІ

УДК 677.312:65.017

Е. Б. Алієв, канд. техн. наук, В. В. Лиходід, канд. техн. наук, В. М. Забудченко, інж.
В. В. Полюсов, асп.¹

Запорізький науково-дослідний центр з механізації тваринництва, Запоріжжя

Дослідження динаміки деформації руна грубої овечої вовни при розтягуванні

Наведено результати лабораторних досліджень динаміки деформації руна грубої овечої вовни при розтягуванні з урахуванням її технологічних властивостей.

вівчарство, груба вовна, руно, процес розтягування, розрив, розривне навантаження, деформаційні властивості, лабораторні дослідження

Э.Б. Алиев, канд. техн. наук, В.В. Лиходед, канд. техн. наук, В.Н. Забудченко, инж., В.В. Ивлев, асп.

Запорожский научно-исследовательский центр по механизации животноводства, Запорожье

Исследования динамики деформации руна грубой овечьей шерсти при растяжении

Приведены результаты лабораторных исследований динамики деформации руна грубой овечьей шерсти при растяжении с учетом её технологических свойств.

овцеводство, грубая шерсть, руно, процесс растяжения, разрыв, разрывная нагрузка, деформационные свойства, лабораторные исследования

Дослідженням пружних властивостей волокнистих матеріалів, зокрема овечої вовни, останнім часом займалися такі вчені, як О.О. Румянцев і А.Б. Брут-Бруляко [1], К.Л. Запорощенко і І.М. Кузнецов [2], П. Енхбаатар і Ю.Г. Фомін і О.В. Демидов [3] та інші дослідники. В їх роботах досліджено поведінку вовни під навантаженням в часі. Аналізуючи результати досліджень цих авторів можна стверджувати, що на сьогодні найменш дослідженими є деформаційні властивості рунної овечої вовни при розтягуванні.

В якості досліджуваного матеріалу використано рунну грубу овечу вовну з технологічними властивостями зазначеними в табл. 1.

Таблиця 1 – Технологічні властивості досліджуваного матеріалу

№ зп	Назва	Вологість, %	Забрудненість, %		Вовняний жир, %	Вихід чистої вовни, %
			рослинні домішки	бруд		
1	Руно грубої вовни	14,16	11,30	1,95	8,74	85,84

Прилади й спеціальне обладнання, використані при проведенні лабораторних досліджень представлено на рис. 1.

© Е. Б. Алієв, В. В. Лиходід, В. М. Забудченко, В. В. Полюсов, 2015

¹ Науковий керівник – Шевченко І. А., член-кор. НААН, д. т. н. (Україна), д. с.-х. н. (Польща), професор.

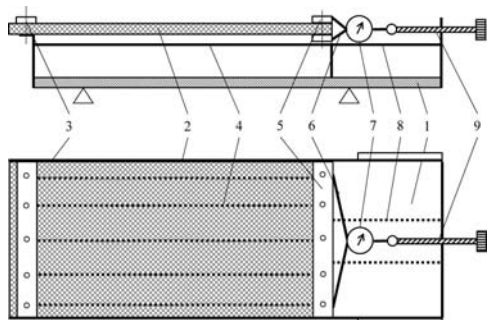


а) вологомір Ultra-X70



б) динамометр ДПУ-0,02-2

Рисунок 1 – Приладове забезпечення лабораторних досліджень



а) конструкційна схема



б) загальний вигляд

1 – основа; 2 – руно вовни; 3 – затискач №1; 4 і 8 – направляючі;
5 – затискач №2; 6 – розтяжка; 7 – динамометр; 9 – натяжний гвинт

Рисунок 2 – Лабораторний стенд

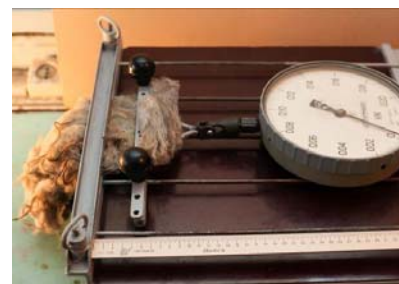
Дослідження процесу розтягування руна грубої вовни здійснено за прийнятою методологічною схемою (рис. 3) шляхом почергового зростаючого фіксованого навантаження P_i на затиснуте руно з відповідною фіксацією етапів розтягування до моменту його розриву при P_{max} на відеоплівку.



а) процес фіксації руна



б) процес промірів руна



в) початок процесу розтягування руна



д) процес розтягування руна



е) початок розриву руна



ж) розрив руна

Рисунок 3 – Методологічна схема дослідження процесу розтягування руна грубої овечої вовни та визначення його розривного навантаження

Графічна інтерпретація результатів лабораторних досліджень динаміки відносної деформації руна грубої овечої вовни при різному навантаженні розтягнення приведена на рис. 4.

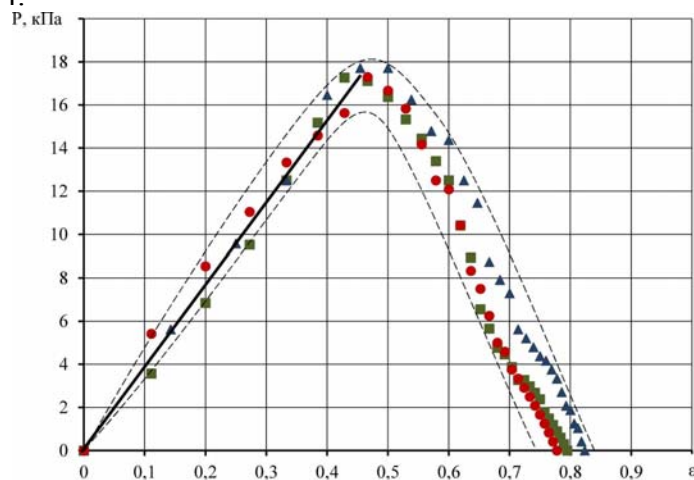


Рисунок 4 – Динаміка відносної деформації руна грубої овечої вовни при різному навантаженні розтягнення

Аналіз рис. 4 показує, що процес деформації розтягнення руна відбувається в два етапи:

– 1-й етап: розтягнення руна до максимального тиску $P_{\max} = 17,2-17,7$ кПа (при відносній деформації $\varepsilon = 0,42-0,46$);

– 2-й етап: розрив цілісності руна й плавний спад до нуля сили натягнення.

В результаті лабораторних досліджень деформаційних характеристик руна грубої вовни при розтягненні встановлено, що максимальний тиск при якому спостерігається початок розриву волокон руна складає $P_{\max} = 17,2-17,7$ кПа (при відносній деформації руна $\varepsilon = 0,42-0,46$).

Подальші дослідження будуть зосереджені на практичному втіленні отриманих результатів при проектуванні та виготовленні робочих органів малогабаритних тріпальних машин.

Список літератури

1. Румянцев А.А. Контактная задача о деформировании волокнистого материала в отжимных валах / А.А. Румянцев, А.Б. Брут-Бруляко // Изв. Вузов. Технология текст. Пром-сти. – 1987. – №4. – С. 92 - 95.
2. Запорощенко К.Л. Теоретическое и экспериментальное исследование упругих свойств натуральной шерсти / К.Л. Запорощенко, И.М. Кузнецов // Изв. Вузов. Технология текст. пром-сти / Костромской государственной технологической университет. – Кострома, 1989. – №2. – С. 25-30.
3. Энхбаатар П. Определение деформационных характеристик слоя шерсти / П. Эхтбаатар, А.В. Демидов, Ю.Г. Фомин // Вестник НПО. – 2002. – Выпуск №5. – С. 29 -32.

Elchin Aliev, Viktor Lykholdid, Viktor Zabudchenko, Vasily Polusov
Zaporozhye research center of Mechanization of animal husbandry, Zaporozhye
Study of the dynamics of deformation rough sheep wool unde tension

Experimentally determine the deformation characteristics runic sheep wool under tension.

The results of laboratory studies of the dynamics of deformation of rough sheep wool under tension taking into account its technological properties. Experimentally found that the process of fleece deformation in tension occurs in two stages: the first stage - to stretch fleece maximum pressure $R_{\max} = 17,2-17,7$ kPa, , where there is the beginning of the gap fibers of the fleece; the second stage - the fleece gap integrity and smooth tension forces decline to zero.

Further research will focus on the practical implementation of the results in the design and manufacture of compact felting machines.

sheep breeding, rough wool, fleece, the process of stretching, breaking, breaking load, deformation characteristics, laboratory studies

Одержано 15.01.15

УДК 629.083

В.В. Аулін, проф., канд. фіз.-мат. наук, А.В. Гриньків, асп

Кіровоградський національний технічний університет, grinkivav@mail.ru

Проблеми підвищення експлуатаційної надійності та можливості удосконалення стратегій технічного обслуговування мобільної сільськогосподарської техніки

Проаналізовано сучасний стан технічного обслуговування мобільної сільськогосподарської техніки (МСГТ) увага зосереджена на транспортних засобах в сільськогосподарському виробництві. З'ясовано передумови переходу з планово-запобіжної стратегії на альтернативні, які забезпечують необхідний рівень експлуатаційної надійності. Сформульовано основні завдання технічної експлуатації, спрямовані на підтримання справного технічного стану МСГТ. Виявлено, що технічна діагностика займає головне місце у встановленні діагнозу і рівня технічно справного стану МСГТ, наведено схему етапів прогнозування її технічного стану. Встановлено, що на базі прогнозної інформації за допомогою діагностики і методів інформаційної теорії стає можливим перехід від планово-запобіжної до адаптивної стратегії, яка найбільше пристосовує до технічний стан МСГТ до умов її функціонування. Така стратегія є гнучкою в управлінні технічним станом МСГТ та забезпечує максимальну роботоздатність МСГТ при мінімальних витратах.

експлуатаційна надійність, технічне обслуговування, діагностика, адаптивна стратегія, технічний стан

В.В. Аулін, проф., канд. фіз.-мат. наук, А. В. Гриньків, асп.

Кіровоградський національний технічний університет, Кіровоград

Проблемы повышения эксплуатационной надежности и возможности усовершенствования стратегий технического обслуживания мобильной сельскохозяйственной техники

Проанализировано современное состояние технического обслуживания мобильной сельскохозяйственной техники (МСГТ) внимание сосредоточено на транспортных средствах в сельскохозяйственном производстве. Выявлены предпосылки перехода из планово-предупредительной стратегии на альтернативные, которые обеспечивают необходимый уровень эксплуатационной надежности. Сформулированы основные задания технической эксплуатации, направленные на поддержание исправного технического состояния МСГТ. Виявлено, что техническая диагностика занимает главное место в установлении диагноза и уровня технически исправного состояния МСГТ, приведена схема этапов прогнозирования ее технического состояния. Установлено, что на базе прогнозной информации с помощью диагностики и методов информационной теории, становится возможным переход от планово-предупредительной к адаптивной стратегии, которая больше всего приспособливает к техническое состояние МСГТ и условиям ее функционирования. Такая стратегия является гибкой в управлении техническим состоянием МСГТ и обеспечивает максимальную работоспособность МСГТ при минимальных расходах.

эксплуатационная надежность, техническое обслуживание, диагностика, адаптивная стратегия, техническое состояние

© В.В. Аулін, А.В.Гриньків, 2015

Постановка проблеми. Статистичний аналіз постачання нової мобільної сільськогосподарської техніки (МСГТ) у господарства агропромислового комплексу (АПК) свідчить, що надходження транспортних засобів (ТЗ) до них становлять порядку 7% від загальної їх кількості, в той час як нормативний показник повинен складати 12%. Виходячи з цих даних є необхідність застосування нових методів і методик для підтримання МСГТ в роботоздатному стані під час експлуатації. Зазначимо, що на утримання автотранспортних засобів у технічно справному стані, із забезпеченням належної ефективності процесів у сільськогосподарському виробництві (СГВ), витрачаються значні ресурси. Нові ТЗ, що використовуються у СГВ є конструктивно більш складнішими, що обумовлює збільшення кількості операцій, які необхідно виконувати під час проведення технічного обслуговування (ТО), а це в свою чергу збільшує витрати як трудових, так і економічних. Підходи щодо підтримання експлуатаційної надійності МСГТ суттєво не змінилися на даний час, вони ґрунтуються на планово-запобіжній стратегії (ПЗС) ТО. Разом з тим потребує розв'язання проблема удосконалення існуючої системи ТО та впровадження альтернативної (адаптивної) стратегії (АС) підтримання в роботоздатному стані МСГТ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В науковій літературі питання забезпечення роботоздатного стану МСГТ, розглядаються переважно на основі теорії експлуатаційної надійності. Забезпечення якісного ТО та встановлення оптимальних періодів обслуговування МСГТ, в тому числі ТЗ у СГВ, відображено в багатьох наукових роботах та нормативно-технічних документах. Даними питаннями займалися Авдонькін Ф.М., Бідняк М.Н., Говорущенко М.Я., Кравченко О.П.[1], Кузнецов Е.С.[2], Гринченко О.С.[3], Крамаренко Г.В., Лудченко А.А. [4], Серов О.В., Шейнін О.М., Міхлін В.М.[5], Сухарев Є.А.[6] Канарчук В.Є., Чигринець А.Д.[7], та інші. Але на сьогоднішній день остаточно не вирішена проблема підвищення експлуатаційної надійності МСГТ, яка б задовольняла вимоги стосовно періодичності ТО, переліку робіт по ТО, діагностування і інформативності показників та критеріїв їх вибору.

Метою даної роботи з'ясування шляхів вирішення проблеми підтримання експлуатаційної надійності ТЗ СГВ та визначення можливостей застосування адаптивної стратегії технічного обслуговування і ремонту (ТОіР) МСГТ.

Виклад основного матеріалу. Сучасний стан МСГТ безпосередньо впливає на організацію технічної експлуатації, підходи щодо контролю і підтримання її парку в роботоздатному стані. При цьому можна виділити наступні особливості[8]:

1. Збільшується кількість і зменшується розмір підприємств АПК, де використовується МСГТ, що значно ускладнює процес контролю технічного стану, організацію та якісне виконання робіт по ТОіР. На малих підприємствах економічно недоцільно виконувати і неможливо технічно забезпечити повний комплекс робіт з підтримання технічно справного стану МСГТ.

2. Інтенсивний розвиток та ускладнення конструкції МСГТ за рахунок електронних систем керування та комп'ютерного керування робочими процесами, а тому підвищення експлуатаційної надійності МСГТ й її підтримання в роботоздатному стані значно загострюють проблему ефективності експлуатації та обслуговування, забезпечення запасними частинами та експлуатаційними матеріалами, а також необхідністю розробки нових існуючих стратегій ТОіР.

3. Значна частина ТЗ парку МСГТ має достатньо велике напрацювання, а отже невизначено малий залишковий ресурс в більшості випадків мало контрольований технічний стан. Організація підтримки МСГТ в технічно справному стані складає деякі труднощі, а застосування ПЗС ТОіР не дає ефективних результатів.

Діюча ПЗС має широке використання і направлена на попередження виникнення відмов або їх усунення в разі потреби. ПЗС має регламентоване виконання ТОіР через певний пробіг часу, незважаючи на індивідуальний технічний стан ТЗ [4]. Визначення

періодичності проведення ТО ґрунтується на техніко-економічному методі, що забезпечує мінімізацію витрат на ТОiP.

ПЗС ТО має ряд недоліків, які з точки зору окремої системи (агрегату) можна звести до двох груп:

1. Під час виконання ТО деякий агрегат може знаходитися в справному технічному стані і не потребувати будь-яких технічних втручань. Навіть при однаковому напрацюванні МСГТ можуть бути в різному технічному стані, що залежить від груп: конструктивних, технологічних та експлуатаційних факторів.

2. Агрегат може потребувати ТО в інтервалі напрацювання між сусідніми ТО, що в разі відсутності втручання може привести до поломки або виведення залежної системи чи МСГТ взагалі, з технічно-справного стану в нероботоздатний.

Перспективою у підтриманні експлуатаційної надійності МСГТ є застосування стратегії з ТО за фактичним станом, або точніше адаптивної стратегії, яка пристосовується до технічного стану МСГТ. Дана стратегія ґрунтується на моніторингу технічного стану, що забезпечують як бортові, так і стаціонарні системи діагностики. Такий підхід дає нові особливості, відсутність фіксованих напрацювань між сусідніми обслуговуваннями і виконаннями профілактичних дій тільки за потребою для кожної окремої системи МСГТ. Для проведення певних груп робіт необхідне безперервне, або періодичне вимірювання значень параметрів технічного стану індивідуальної МСГТ.

Зазначене стає важливим фактором надійного і швидкого визначення реального технічного стану кожного агрегату чи системи, а також дає можливість у прогнозування термінів ТО для максимального забезпечення експлуатаційної надійності та необхідність обов'язкового врахування конструктивних, експлуатаційних особливостей та економічних показників МСГТ.

Для впровадження адаптивної стратегії ТО доцільно керуватися такими обставинами: застосування бортових систем діагностування дає можливість постійного моніторингу технічного стану; інформаційні технології забезпечують оперативними розрахунками і обробкою діагностичну інформацію з великою швидкістю, та контролем в реальному часі; рівень комп'ютеризації дає можливість враховувати сукупність індивідуальних показників стану МСГТ.

Слід також відмітити, що розвиток інформаційних технологій, дає новий напрямок у підтримці роботоздатного стану МСГТ та використання діагностичної інформації про технічний стан. Формується новий підхід для вирішення проблем з підвищення експлуатаційної надійності, який може слугувати показником технологічного рівня проектування МСГТ та її частин із забезпеченням роботоздатністю протягом всього етапу життєвого циклу [9].

Забезпечення максимальної експлуатаційної надійності є важливим пріоритетом в технічній експлуатації, про що свідчить схема (рис.1) із сукупністю завдань, які необхідно вирішувати під час експлуатації і які необхідні для ефективного керування виробничими процесами по підтримці роботоздатного стану МСГТ.

Мета діагностування полягає у визначенні діагностичної інформації, яка необхідна для якісного поставлення діагнозу та визначення рівня технічного стану МСГТ [9]. При технічній діагностиці застосовують переважно функціональне діагностування, особливостями якого є робочі дії агрегату або системи (потужність, тягове зусилля, тиск, частота обертання), що являються вхідними параметрами діагностики. При цьому технічна діагностика ґрунтується на комплексі характеристик, загальних положень, алгоритмах, які відображають об'єктивні закономірності динаміки станів машин і їх складових частин характер інформаційного забезпечення, його оцінка та розподіл інформації про технічний стан під час проведення операцій технічного сервісу МСГТ з використанням діагностики відображено на рис.2.



Рисунок 1 – Сукупність завдань технічної експлуатації МСТГ при підтримці високого рівня експлуатаційної надійності



Рисунок 2 – Схема характеру та оцінки інформаційного забезпечення при діагностиці технічного стану МСТГ

Доцільним при підтриманні надійності МСТГ є прогнозування його технічного стану, ґрунтуючись на діагностичній інформації. Головним завданням при цьому є виявлення оптимальної зміни прогнозних характеристик і параметрів в цілях отримання максимального ефекту за наперед обраному критерієм (економічному, технологічному, технічному). Визначено, що ретроспекція, діагностика і прогноз – три етапи повного циклу прогнозування. Перший етап полягає у дослідженні прогнозного процесу в минулому, виявлення і уточнення характеристик і структурних параметрів процесу з його аналізом, встановлення характеру і зміни цих показників. На етапі діагностики встановлюються початкові і допустимі характеристики параметрів, проводяться їх вимірювання і вибирають методи прогнозування. На третьому етапі здійснюється прогноз. Аналізуючи етап ретроспекції виявлено його спрямованість у минуле, при діагностиці - в теперішнє, а на етапі прогнозу - в майбутнє. Зазначимо, що майбутній стан МСТГ у вигляді прогнозу повертається до теперішнього стану.

Причому перший етап дає можливість вивчити тенденцію розвитку процесу, другий – стан процесу в момент прогнозування, а третій – розвиток цієї тенденції в майбутньому. Схема процесу прогнозування представлена на рисунку 3.

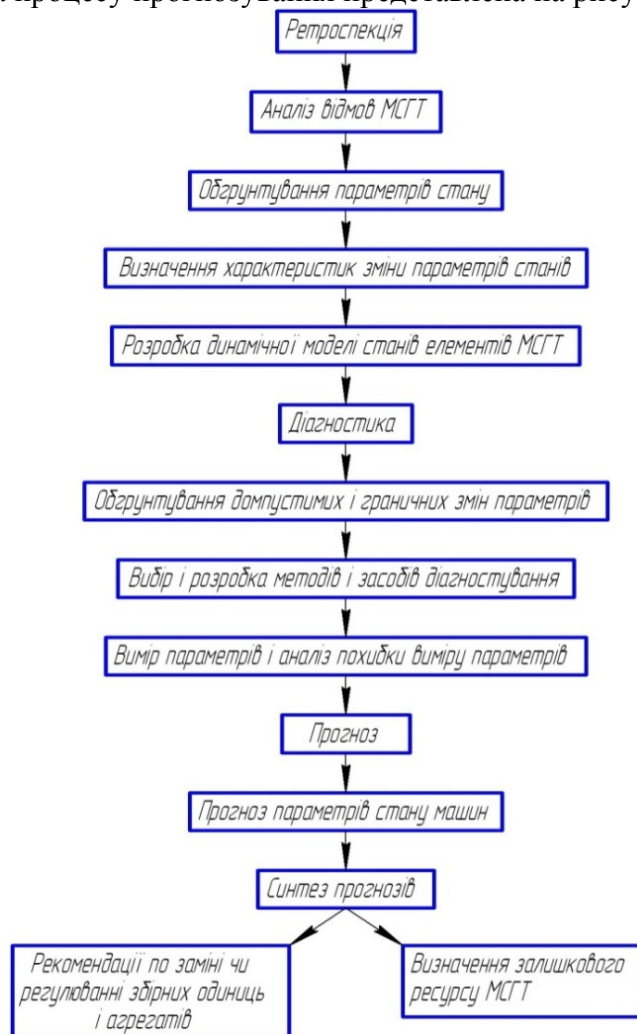


Рисунок 3 – Етапи прогнозування стану МСГТ

Можна бачити, що прогноз технічного стану МСГТ потрібно виконувати в такій послідовності: процеси зміни параметрів стану і відмови елементів – ТО, визначення вартості характеристик відмов, визначення прогнозних показників надійності [10]. Керування станом, надійністю МСГТ здійснюють після діагностування з певною періодичністю для того, щоб визначити залежність функції зміни його технічного стану. Після отримання прогнозної інформації можливе застосування адаптивної стратегії ТОіР, яка буде максимально підтримувати заданий рівень експлуатаційної надійності.

Висновки. Аналіз нових технологічних можливостей технічного обслуговування та підвищення експлуатаційної надійності МСГТ свідчить про актуальність удосконалення підходів щодо стратегій ТОіР. Швидка зміна різних конструктивних факторів, систем і агрегатів МСГТ, розвиток інформаційних технологій на перший план висуває впровадження більш гнучких стратегій, здатних підтримувати МСГТ в технічно справному стані, враховуючи їх індивідуальні особливості та середовище в якому вони експлуатуються. На даний час більш досконалою стратегією технічного обслуговування є адаптивна. Тому актуальним є розробки алгоритмів та удосконалення, процесу прогнозування і прийняття коректних експлуатаційних рішень, які значно впливають на роботу різних підприємств АПК.

Список літератури

1. Кравченко О.П. Наукові основи управління ефективністю експлуатації автомобільних поїздів.: Автореф. дис. ... док. тех. наук: 05.22.20. – Харків, 2007. – 38с.
2. Кузнецов Е.С. Управление техническими системами / Е.А.Кузнецов. – М.: МАДИ(ТУ), 2003. – 247с.
3. Гринченко А.С. Механическая надежность мобильных машин: Оценка, моделирование, контроль [монография] / А.С.Гринченко. – Харьков: Вировець А.П. "Апостроф", 2012. – 259с.
4. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів, організація і управління/ О.А.Лудченко. – К.: Знання, 2004. – 478с.
5. Михлин В.М. Управление надежностью сельскохозяйственной техники / В.М. Михлин. – М.: Колос, 1984. – 335с.
6. Сухарев Э.А. Теория эксплуатационной надежности машин: [Монография] / Сухарев Э.А. – Ровно: УГАВХ. – 2000. – 164 с.
7. Канарчук В.С., Лудченко О.А., Чигринець А.Д. Експлуатаційна надійність автомобілів: Підручник: у 2 ч., 4 кн. – К.: Вища шк., 2000. – Ч.1: кн. 1. – 609с; кн. 2 – 458с; Ч. 2: кн. 3. – 321с., кн. 4. – 552с.
8. Кукурудзяк Ю.Ю. Актуальність і перспективи удосконалення стратегії технічної експлуатації автомобілів та виробничої діяльності технічних служб підприємства автомобільного транспорту/ Ю.Ю. Кукурудзяк, Л.В.Кукурудзяк/Вісник СевНТУ. – Вип.135/ Машиноприладобудування та транспорт. – Севастополь, 2012. – С.149-152.
9. Аулін В.В. Теоретико-фізичний підхід до діагностичної інформації про технічний стан агрегатів мобільної сільськогосподарської техніки / В.В.Аулін, А.В.Гриньків, С.В.Лисенко та ін.// Вісник ХНТУСГ ім.Петра Василенка. – Вип.158. / Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві. – Харків, 2015. – С.252-262.
10. Надійність сільськогосподарської техніки / М.І.Черновол, В.Ю.Черкун, В.В.Аулін та інш., за заг. ред. М.І.Червола. – Кіровоград: КОД, 2010. – 320с.

Viktor Aulin, Andry Hrynkiv

Kirovograd National Technical University, Kirovograd

Problems increase of operational reliability and the possibility of improvement maintenance service strategies the mobile of agricultural machinery

Analyzed the modern state of the maintenance service the mobile of agricultural machinery. Attention basically focused on vehicles in agricultural production. It was found prerequisites of transition from planned-preventive strategies to alternative which provide a given level of operational reliability. This is the first of all adaptive strategy that is based on the monitoring of technical condition diagnostics systems. Formulated tasks of technical operation designed to maintain good technical condition the mobile agricultural machinery. It was found that ensure maximum of operational reliability is a high priority in the technical operation of a modern market economy. For introduction adaptive maintenance strategy must be consider the following: the use of on-board diagnostic systems enables better monitoring of technical condition; Information technologies provide fast calculations of various indicators of diagnostic information, and necessary to consider individual performance technical condition of vehicles.

Found that technical diagnostics occupies the main place in establishing the diagnosis and level of good technical condition the mobile agricultural machinery presented circuit of stages forecasting technical condition, the first phase considers retrospection diagnostic information that has been collected to the latest diagnostic, the second stage diagnosis itself that is needed for determining the real parameters of systems and their mechanisms, the third is projected phase generates recommendations for replacement parts or regulation, and determining the residual life.

It was established that based on the of predictive information using diagnosis and development of information theory becomes possible transition from a planned to a safety adaptive strategy that adapts to actual technical state the mobile agricultural machinery. At the present stage of technological development, this strategy is flexible in managing the technical condition MAM and provides maximum serviceability of the mobile agricultural machinery at minimum cost resources.

operational reliability, maintenance, diagnostics, adaptive strategy, technical condition

Одержано 07.05.15

УДК 677.312:65.017

Е. Б. Алієв, канд. техн. наук, В. В. Лиходід, канд. техн. наук, В. М. Забудченко, інж. В. В. Івлєв, асп.²

Запорізький науково-дослідний центр з механізації тваринництва, Запоріжжя

Дослідження динаміки деформації зволоженої грубої овечої вовни при ущільненні

Наведено результати лабораторних досліджень динаміки деформації зволоженої грубої овечої вовни в процесі стискання та після зняття навантаження в часі з урахуванням її технологічних властивостей. Експериментально встановлено, що шар грубої вовни має певні пружні властивості, а її вологість є основним параметром, який визначає ступінь її деформації. Спостереження за динамікою зміни відносної деформації зволоженої грубої вовни в процесі її навантаження і розвантаження дали змогу прийняти її реологічну модель як пружно-в'язко-пластичне тіло. В результаті розрахунків коефіцієнтів регресії отримано математичну модель впливу вологості грубої вовни і тиску навантаження на її початкову і залишкову деформацію. При дослідженні модуля пружності грубої вовни залежно від її вологості встановлено залежність відносної деформації від тиску навантаження.

вівчарство, груба вовна, вологість, ущільнення, динаміка, деформація, лабораторні дослідження

Э.Б. Алиев, канд. техн. наук, В.В. Лиходед, канд. техн. наук, В.Н. Забудченко, инж., В.В. Ивлев, асп

Запорожский научно-исследовательский центр по механизации животноводства, Запорожье

Исследования динамики деформации увлажненной грубой овечьей шерсти при уплотнении

Приведены результаты лабораторных исследований динамики деформации увлажненной грубой овечьей шерсти в процессе сжатия и после снятия нагрузки во времени с учетом её технологических свойств. Экспериментально установлено, что слой грубой шерсти имеет определённые пружинящие свойства, а её влажность является основным параметром, который определяет степень её деформации. Наблюдения за динамикой изменения относительной деформации увлажнённой грубой шерсти в процессе её нагрузки и разгрузки дали возможность принять её реологическую модель как упруго-вязко-пластичное тело. В результате расчетов коэффициентов регрессии получено математическую модель влияния влажности грубой шерсти и давления нагрузки на её начальную и остаточную деформацию. При исследовании модуля упругости грубой шерсти зависимо от её влажности установлено зависимость относительной деформации от давления нагрузки.

овцеводство, грубая шерсть, влажность, уплотнение, динамика, деформация, лабораторные исследования

Стан проблеми. Вивчення поведінки овечої вовни під навантаженням в часі є предметом дослідження багатьох вчених. Практичне значення цих досліджень пов'язано з поглибленням уяви про протікання технологічних процесів первинної обробки волокнистих матеріалів, особливо грубої вовни, прогнозуванням і оцінкою експлуатаційних характеристик готової товарної продукції. Але незважаючи на проведенні дослідження, наукові знання в цій області ще недостатні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження деформаційних характеристик овечої вовни в останні роки активно займалися такі відомі вчені, як В.О. Кузнецов, С.О. Полумисков і С.Б. Найолова [1], О.О. Румянцев й А.Б. Брут-Бруляко [2], П. Енхбаатар і Ю.Г. Фомін [3], О.В. Демидов [4], Л. Удвал, С.В. Белов, Т.П. Туцька [5, 6]

© Е. Б. Алієв, В. В. Лиходід, В. М. Забудченко, В. В. Івлєв, 2015

² Науковий керівник – Павленко С. І., к. т. н., доцент.

та інші дослідники. Аналізуючи результати останніх досліджень зазначених авторів можна стверджувати, що на сьогодні найменш дослідженими є пружні характеристики зволоженої овечої вовни, зокрема грубої, при ущільненні з урахуванням її технологічних властивостей.

Виклад основного матеріалу. Досліджуваним матеріалом при проведенні експериментів у лабораторних умовах була вовна груба романівської породи овець з технологічними властивостями зазначеними в табл. 1.

Таблиця 1 – Технологічні властивості досліджуваного матеріалу

№ зп	Назва	Вологість, %	Забрудненість, %		Вовняний жир, %	Вихід чистої вовни, %
			рослинні домішки	бруд		
1	Вовна груба (вихідна)	15,30	6,25	13,02	9,82	84,70

В процесі дослідження деформаційних характеристик зволоженої грубої вовни при її ущільненні передбачена зміна факторів (табл. 2), прийнятих на основі аналізу досліджень авторів [1-6].

Таблиця 2 – Рівні та інтервали варіювання факторів

Рівні та інтервали варіювання факторів	Вологість вовни	Тиск стискання (маса вантажу)
	W, %	P, кПа (m, кг)
Верхній рівень	68,8	4,826 (3,26)
Основний рівень	51,1	3,249 (6,59)
Нижній рівень	15,3	1,723 (10,03)

Дослідження деформаційних характеристик зволоженої грубої вовни при її ущільненні проводяться згідно плану, який представлено в табл. 3.

Таблиця 3 – План досліджень

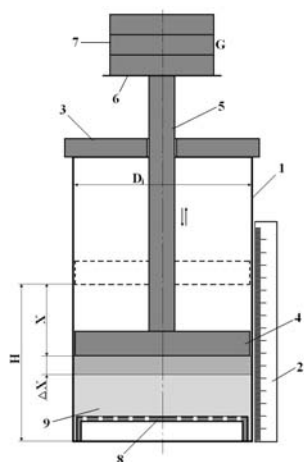
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P, кПа	1,72	3,25	4,83	1,72	3,25	4,83	1,72	3,25	4,83
W, %	15,30	15,30	15,30	51,10	51,10	51,10	68,80	68,80	68,80

Для дослідження в лабораторних умовах динаміки зміни деформації зволоженої грубої овечої вовни при ущільненні розроблено конструкційну схему (рис. 1а) й створено лабораторну установку (рис. 1б).

Дослідження деформаційних характеристик зволоженої грубої вовни при ущільненні проводяться в три етапи. Перший етап – підготовка зразків грубої вовни. Зважування зразків грубої вовни: вихідної та після тріпання ($G_i = 100$ г). Зволоження зважених зразків грубої вовни: вихідної та після тріпання до заданої вологості (W_i). Повторність дослідів-триразова. Другий етап – дослідження динаміки зміни відносної деформації шару зразків вихідної та зволоженої грубої вовни при однократному заданому статичному навантаженні на нього в замкненому об'ємі скляного циліндра ($D_i = 0,164$ м) без можливості бокового розширення. Третій етап досліджень передбачає визначення залежності пружного розширення стисненої грубої овечої вовни в часі (явище релаксації) після зняття навантаження.

Методологічну схему дослідження деформаційних характеристик зволоженої грубої вовни представлено на рис. 2.

Графічна інтерпретація результатів лабораторних досліджень при різному навантаженні й різній вологості вовни приведена на рис. 3-5.



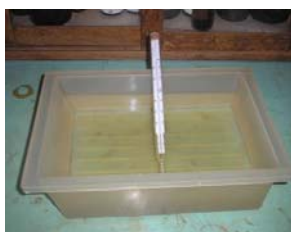
а) конструкційна схема



б) загальний вигляд

1 – скляний циліндр; 2 – міліметрова шкала; 3 – кришка; 4 – плунжер;
5 – шток; 6 – диск; 7 – вантаж; 8 – днище; 9 – зразок вовни

Рисунок 1 – Лабораторна установка



а) приготування розчину ($t=35-40^{\circ}\text{C}$)



б) зважування зразка вовни ($m=100\text{г}$)



в) зволоження зразка вовни (до W_i)



д) завантаження зразка в циліндр



е) встановлення поршня в циліндр



ж) встановлення вантажу (G_i)



з) зняття вантажу



и) зняття поршня

Рисунок 2 – Методологічна схема дослідження деформаційних характеристик зволоженої грубої вовни

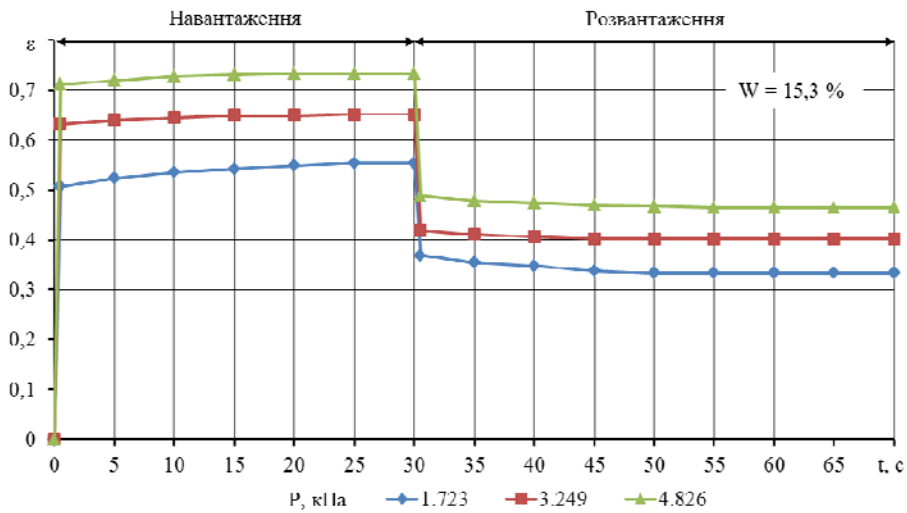


Рисунок 3 – Динаміка відносної деформації ϵ зволоженої грубої вовни ($W = 15,3\%$) в часі t залежно від тиску P

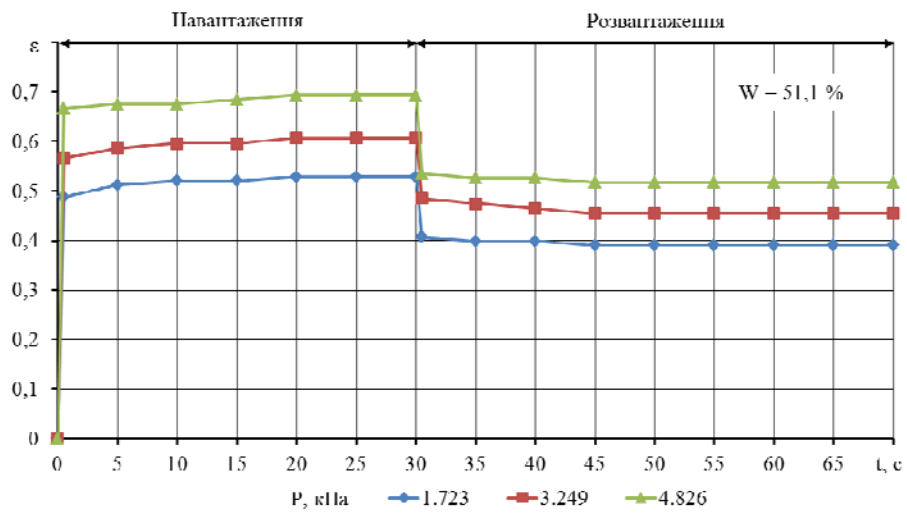


Рисунок 4 – Динаміка відносної деформації ϵ зволоженої грубої вовни ($W = 51,1\%$) в часі t залежно від тиску P

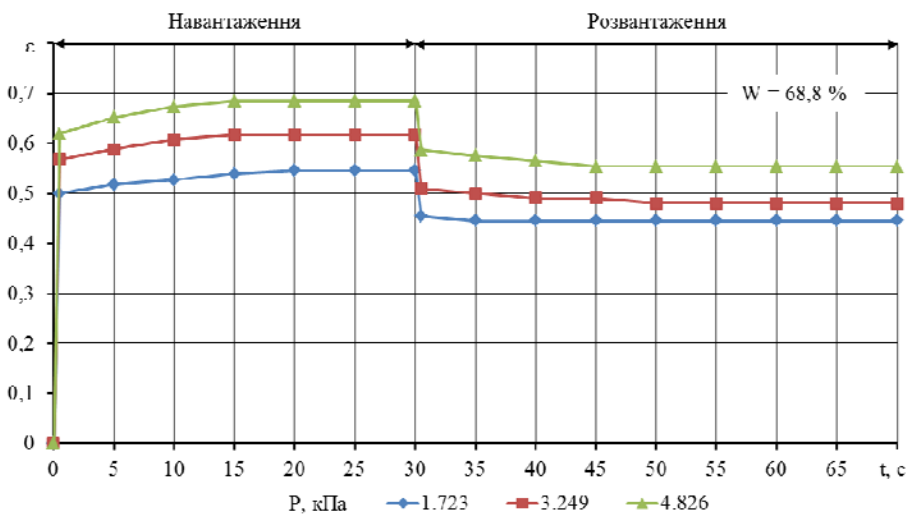


Рисунок 5 – Динаміка відносної деформації ϵ зволоженої грубої вовни ($W = 68,8\%$) в часі залежно від тиску P

Аналіз рис. 3-5 показує, що процес деформації (ущільнення) зволоженої грубої вовни відбувається в два етапи:

– перший етап: в початковий момент навантаження спостерігається явище миттєвої пружної деформації ε_0 ;

– другий етап: подальше поступове стискається зволоженої грубої вовни до певного значення ε_1 .

Аналізуючи хід протікання процесу релаксації ущільненої зволоженої грубої вовни після зняття навантаження за рис. 3-5 можна умовно його розділити на два етапи:

– перший етап: миттєва релаксація ε_2 , яка характеризує пружні властивості зволоженої грубої вовни;

– другий етап: поступова релаксація, яка проходить певний проміжок часу до встановлення стаціонарного значення деформації ε_3 .

Спостереження за деформацією зволоженої грубої вовни, як волокнистого матеріалу, в процесі її навантаження і розвантаження дали змогу прийняти її реологічну модель як пружно-в'язко-пластичне тіло (рис. 6).

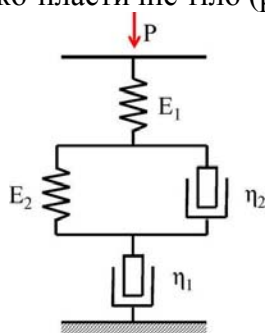


Рисунок 6 – Реологічна модель зволоженої грубої вовни як пружно-в'язко-пластичного тіла

Загальний вигляд рівняння деформації пружно-в'язко-пластичного тіла, виходячи з [7-10] має вигляд:

$$\varepsilon = P \cdot \left(\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \left(1 - e^{-\frac{E_2 t}{\eta_2}} \right) + \frac{t}{\eta_1} \right), \quad (1)$$

де ε – відносна деформація;

P – тиск, Па;

E_1, E_2 – модуль пружності, Па;

η_1, η_2 – динамічна в'язкість, Па·с;

t – час, с.

З рис. 3-5 видно, що початкова і залишкова деформації зволоженої грубої вовни ε_0 та ε_3 залежать від її вологості і тиску навантаження. В результаті розрахунків коефіцієнтів регресії отримана математична модель впливу вологості грубої вовни і тиску навантаження на її початкову і залишкову деформацію:

$$\varepsilon_0 = 0,4179 + 0,0581 P - 0,000658 W, \quad (2)$$

$$\varepsilon_3 = 0,2258 + 0,03968 P + 0,00198 W, \quad (3)$$

де W – вологість грубої вовни, %;

P – тиск навантаження, кПа.

В результаті дослідження модуля пружності грубої вовни залежно від її вологості встановлена залежність відносної деформації від тиску навантаження (рис. 7).

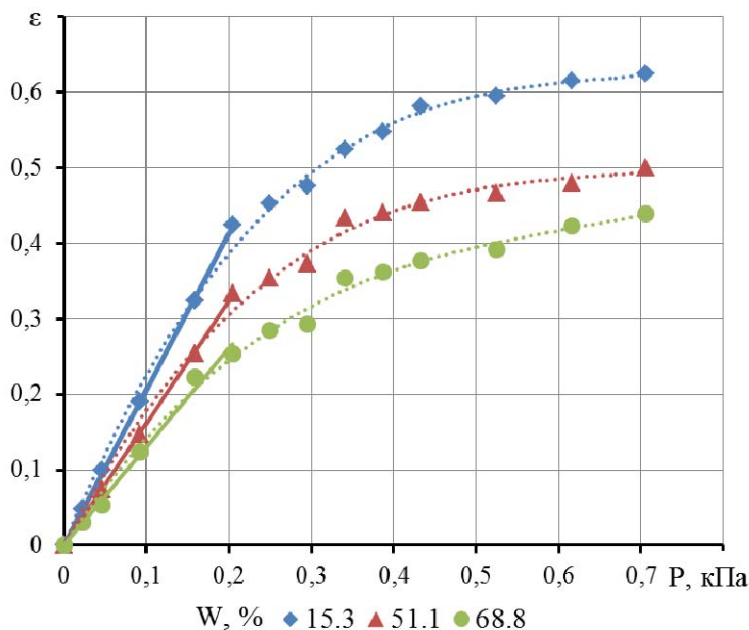


Рисунок 7 – Залежність відносної деформації зволоженої грубої вовни ϵ_0 від її вологості W і тиску навантаження P

З рис. 7 видно, що на початку навантаження спостерігається лінійна залежність, яка вказує на наявність пружної деформації. Рівняння залежності модуля пружності від вологості можна представити у вигляді:

$$E_1 = 5,2208 W + 385,5 \quad (4)$$

В результаті лабораторних досліджень деформаційних характеристик зволоженої грубої вовни експериментально встановлено, що шар грубої вовни має певні пружні властивості, а її вологість є основним параметром, який визначає ступінь її деформації. Спостереження за динамікою зміни відносної деформації зволоженої грубої вовни в процесі її навантаження і розвантаження дали змогу прийняти її реологічну модель як пружно-в'язко-пластичне тіло. В результаті розрахунків коефіцієнтів регресії отримано математичну модель впливу вологості грубої вовни і тиску навантаження на її початкову і залишкову деформацію. При дослідженні модуля пружності грубої вовни залежно від її вологості встановлено залежність відносної деформації від тиску навантаження.

Подальші дослідження будуть зосереджені на практичному втіленні отриманих результатів при проектуванні та виготовленні робочих органів малогабаритних плитно-валяльних машин.

Список літератури

1. Кузнецов В.А. Исследование закономерности сжимаемости плоских текстильных материалов / В.А. Кузнецов, С.А. Полумисков, С.Б. Найолова // Оборудование для ткацкого и красильно-отделочного производства. Экспресс-информация / ЦНИИТЭИЛегпишемаш. – М., 1980. – С. 11 - 16.
2. Румянцев А.А. Контактная задача о деформировании волокнистого материала в отжимных валах / А.А. Румянцев, А.Б. Брут-Бруляко // Изв. Вузов. Технология текст. Пром-сти. – 1987. – №4. – С. 92 - 95.
3. Энхбаатар П. Определение деформационных характеристик слоя шерсти / П. Энхбаатар, А.В. Демидов, Ю.Г. Фомин // Вестник НПО. – 2002. – Вып. №5. – С. 29 -32.

4. Демидов А.В. Исследование деформационных характеристик слоя шерсти / А.В. Демидов // Молодые ученые – развитию текстильной и легкой пром-ти. (Поиск-2003). Тез. Докл. Межвуз. научн.-техн. конф. – Иваново, 2003. – С. 108-110.
5. Удвал Л. Исследование зависимости влажности шерсти после отжима от технологических факторов / Л. Удвал, С.В. Белов, А.В. Демидов, Ю.Г. Фомин // Известия вузов. Технология текст. пром-ти. – 2004. – Вып. №6.
6. Демидов А.В. Исследование зависимости модуля деформации от плотности и влажности шерсти / А.В. Демидов, Т.П. Туцкая, С.В. Белов, Ю.Г. Фомин // Современные наукоемкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой пром-ти (Прогресс-2004). Тез. Докл. Междунар. научн.-техн. конф. – Иваново 2004.
7. Алферов С.А. Закономерности при сжатии соломы / С.А. Алферов // Сельхозмашина. – 1957. – №3. – С.6-10.
8. Батыршин А.Г. Закономерности изменения сопротивления сена при пресовании с вибрацией / А.Г. Батыршин, А.М. Муратов // Вестник сельскохозяйственной науки. – Алма-Ата, 1964. – №10. – С. 90-96.
9. Безухов Н.И. Основы теории упругости, пластичности, ползучести / Н.И. Безухов. – М.: Высшая школа, 1968. – 512 с.
10. Особов В.И. Машины и оборудование для уплотнения сено-соломистых материалов / В.И. Особов, Г.К. Васильев, А.В. Голяновский. – М.: Машиностроение, 1974. – 231 с.

Elchin Aliev, Viktor Lykhodid, Viktor Zabudchenko, Vitalij Ivlev

Zaporozhye research center of Mechanization of animal husbandry, Zaporozhye

The study of the dynamics of change in deformation of rough wool during compaction

Determination of the deformation characteristics of moistened rough wool during compaction taking into account its technological properties.

Given the results of laboratory studies of the dynamics of deformation of moistened rough wool during compression and after unloading time taking into account its technological properties. Experimentally established, that the layer of rough wool has some elastic properties, and its moisture content is the main parameter that determines the degree of deformation. Monitoring the change of dynamics of relative deformation moistened rough wool in the process of loading and unloading allowed to accept its rheological model as elastic-visco-plastic body. As a result of calculation of the regression coefficients is obtained mathematical model of the influence of humidity of rough wool and pressure load on its initial and residual deformation. In the study of elastic modulus of rough wool depending on its moisture found the dependence of relative deformation from the pressure load.

Further research will focus on the practical implementation of the results in the design and manufacture of compact slab-felting machines.

sheep breeding, rough wool, moisture, compaction, dynamics, deformation, laboratory studies

Одержано 15.01.15

УДК 631.363.285

В.В. Братішко, ст. наук. співроб., канд. техн. наук

Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства», смт. Глеваха, vbratishko@gmail.com

Продуктивність та енергоємність процесу гранулювання зерно-стеблової кормосуміші гвинтовим гранулятором

© В.В. Братішко, 2015

В статті наведено результати експериментальних досліджень впливу конструкційно-режимних параметрів гвинтового гранулятора кормів та фізико-механічних властивостей кормосуміші на критерії продуктивності та питомої енергоємності процесу гранулювання. Було отримано адекватні математичні моделі процесу гранулювання у вигляді поліномів другого порядку, побудовано та проаналізовано відповідні поверхні відгуку та отримано залежність, що дозволяє встановити оптимальні значення коефіцієнту зміни геометричних параметрів гвинта гранулятора за критерієм продуктивності процесу гранулювання.

гвинт, гранулятор, енергоємність, канал, матриця, продуктивність

В.В. Братишко, ст. научн. сотр., канд. техн. наук

Національний научний центр «Інститут механізації і електрифікації сільського господарства», м.т. Глеваха

Производительность и энергоёмкость процесса гранулирования зерно-стеблевой кормосмеси винтовым гранулятором

В статье приведены результаты экспериментальных исследований влияния конструкционно-режимных параметров винтового гранулятора кормов и физико-механических свойств кормосмеси на критерии производительности и удельной энергоёмкости процесса гранулирования. Были получены адекватные математические модели процесса гранулирования в виде полиномов второго порядка, построены и проанализированы соответствующие поверхности отклика и найдена зависимость, которая позволяет установить оптимальные значения коэффициента изменения геометрических параметров винта гранулятора по критерию производительности процесса гранулирования.

винт, гранулятор, канал, матрица, производительность, энергоёмкость

Постановка проблеми. Загальні тенденції розвитку тваринництва свідчать про зростання питомої частки комбікормів, що згодуюються у гранульованому вигляді. Серед основних переваг застосування гранульованих кормів можна виділити [1, 2]: краще засвоювання корму; виключення самосортування корму при його транспортуванні; виключення вибіркового поїдання окремих компонентів раціону; зменшення втрат корму; зменшення ризику зараження сальмонелою через теплову обробку; потребу у менших об'ємах для зберігання та транспортування корму; зменшення виділення пилу; можливість автоматизації процесу годівлі; спрощення складання раціонів та скорочення затрат праці.

Наявність у складі кормових гранул грубих кормів, зокрема сіна бобових трав [3, 4], дає можливість підвищити поживну цінність раціону та забезпечити фізіологічність процесів травлення. Одними із поширених технічних засобів для виробництва кормових гранул із вмістом грубих кормів є гранулятори гвинтового типу. Проте, питання впливу параметрів процесу роботи грануляторів такого типу на показники продуктивності та енергоємності гранулювання кормосумішей із значним вмістом грубих кормів (сінної січки) є ще недостатньо вивченими.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомо [5], що виготовлення гранул малого діаметра (менше 5 мм) є дуже енергомістким процесом, при якому різко знижується продуктивність гранулятора, наприклад, при виготовленні гранул діаметром 4,7 мм на 25%, 3,2 мм на 50%, 2,4 мм в 4 рази порівняно з гранулами діаметром 9-10 мм. За даними [6] у гвинтових пресах до 85% енергії витрачається на подолання сил тертя матеріалу об поверхні гвинта та стінки корпусу, що викликає їх інтенсивне зношення та призводить до нагрівання корму до високої температури. Зменшити ці втрати можливо за рахунок зволоження кормосуміші перед гранулюванням. Так, попередніми дослідженнями [7] було встановлено, що при гранулюванні зерно-стеблових кормосумішей найбільший вплив на питому енергоємність процесу гранулювання чинить саме вологість кормосуміші.

Формулювання цілей. Метою досліджень є встановлення впливу конструкційних, режимних та технологічних параметрів процесу роботи гвинтового

гранулятора кормів на показники продуктивності та питомої енергоємності процесу гранулювання.

Виклад основного матеріалу. При проведенні експериментальних досліджень в якості вихідної сировини використовували кормосуміш з подрібненого ячменя та сіна люцерни. Вміст грубих кормів в кожній порції для всіх дослідів становив 25% за масою при початковій вологості.

Для приводу робочих органів використовували мотор-редуктор встановленою потужністю 2,2 кВт (рис.1, а) та електричний двигун з ланцюговою передачею потужністю 3,8 кВт (рис.1, б).



а)



б)

а) з приводом від мотор-редуктора; б) з ланцюговим приводом

Рисунок 1 – Загальний вигляд експериментальної установки

Для керування досліджуванним процесом гранулювання та фіксації витрат енергії було змонтовано стенд (рис. 2), який складався з електронного імпульсного лічильника електричної енергії НК 2301 АП2 (1), пускової та захисної апаратури, а також електронно-механічного таймера (2) з лічильником імпульсів (3). Оберти гвинта гранулятора змінювали за допомогою перетворювача частоти електричного струму DELTA VFD037EL43A 3,7 kW 400V (рис. 2, б).

Витрату енергії визначали, підраховуючи кількість імпульсів за час проведення повторності дослідів. При цьому витраті енергії в одну кіловат-годину відповідало 8 000 імпульсів лічильника.



а)



б)

Рисунок 2 – Загальний вигляд стенду для керування досліджуванним процесом гранулювання та фіксації витрат енергії (а) та перетворювача частоти електричного струму DELTA (б)

В якості досліджуваних факторів виступали (табл. 1): вологість кормосуміші, діаметр отворів матриці, кількість обертів гвинта гранулятора. Для дослідження впливу інтенсивності зміни геометричних параметрів гвинта гранулятора на показники процесу гранулювання в якості фактора було досліджено коефіцієнт k_H зміни глибини каналу гвинта гранулятора за його довжиною, який визначається за залежністю:

$$k_H = (h_0 - h)/l, \quad (1)$$

де h_0 – початкова глибина каналу гвинта гранулятора, м;

h – кінцева глибина каналу гвинта гранулятора, м;

l – довжина гвинта, м.

Таблиця 1 – Досліджувані фактори та рівні їх варіювання

Фактори та їх позначення	Верхній рівень (+)	Основний рівень (0)	Нижній рівень (-)	Інтервал варіювання
Вологість кормосуміші w , %, x_1	35	25	15	10
Коефіцієнт зміни глибини каналу гвинта за його довжиною k_H , x_2	0,072	0,064	0,056	0,008
Діаметр отворів матриці d_m , мм, x_3	12,0	8,5	5,0	3,5
Кількість обертів гвинта гранулятора n , x_4 , x_4^{-1}	100	70	40	30

Після оброблення результатів чотирифакторного експерименту для критерію продуктивності Q , кг/год отримана модель мала вигляд:

$$Q = 58,278 - 4,42935w + 0,0418352w^2 + 38,3826wk_H - 16333,5k_H^2 + 27,2488k_H d_m + 12,3533k_H n - 0,00465103d_m^2, \quad (2)$$

де w – вологість кормосуміші, %;

k_H – коефіцієнт зміни глибини каналу гвинта за його довжиною;

d_m – діаметр отворів матриці, мм; n – кількість обертів гвинта гранулятора, x_4^{-1} .

Для залежності (2), яка є адекватною на 93% рівні довірчої вірогідності, коефіцієнт множинної детермінації становить $D = 0,808023$, коефіцієнт множинної кореляції $R = 0,898901$. Значення критерію Фішера $F = 8,4179$; ймовірність F-критерію $P = 0,999814$. Всі коефіцієнти моделі є значущими на рівні довірчої вірогідності не менше 93%. Графічна інтерпретація залежності (2) наведена на рисунку 3.

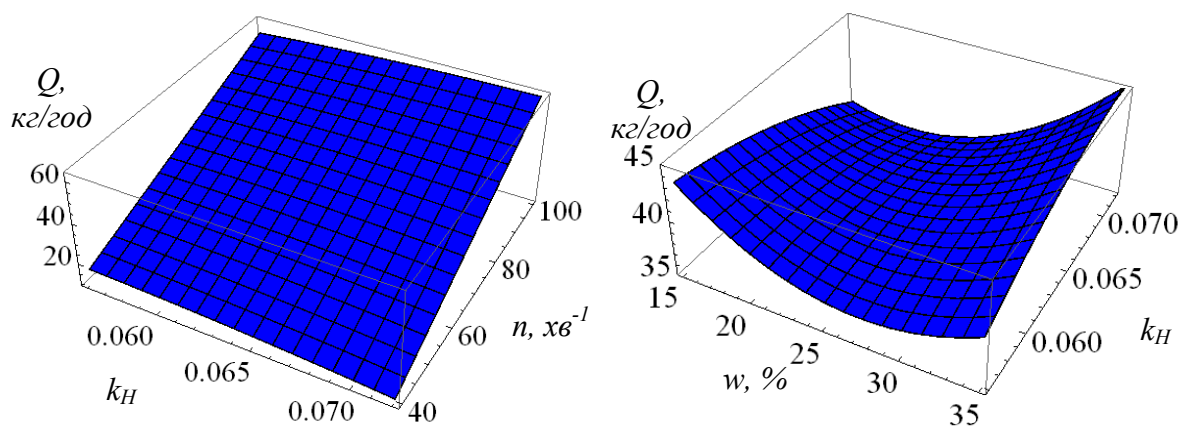


Рисунок 3 – Вплив вологості кормосуміші (w , фактор x_1), коефіцієнту зміни глибини каналу гвинта за його довжиною (k_H , фактор x_2) та кількості обертів гвинта гранулятора (n , фактор x_4) на продуктивність процесу гранулювання Q при фіксації значень інших факторів на нульових рівнях

Як видно з наведеного рисунку 3, залежність продуктивності гранулювання має максимум для деяких значень коефіцієнту зміни глибини каналу гвинта k_H . Побудуємо графік впливу параметра k_H на показник продуктивності гвинтового гранулятора (рис.4).

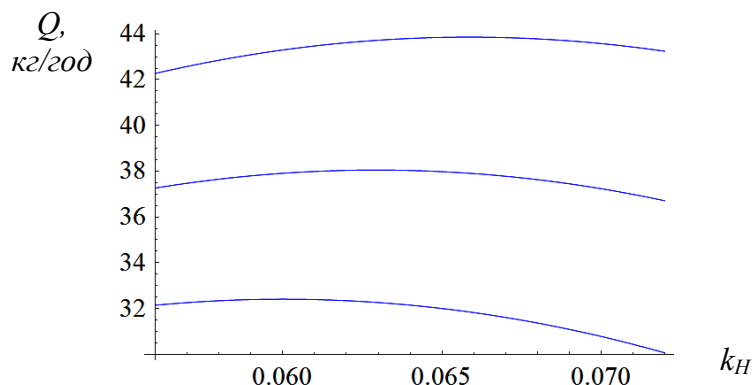


Рисунок 4 – Вплив коефіцієнту зміни глибини каналу гвинта k_H на продуктивність гвинтового гранулятора кормів Q для значень діаметру отворів матриці d_m – 5; 8,5 та 12 мм (відповідно, нижня, середня та верхня криві) при фіксації інших факторів на нульових рівнях

Для оптимізації функції продуктивності за параметром коефіцієнта зміни глибини каналу гвинта k_H прирівнюємо до нуля відповідну похідну від залежності 2:

$$\frac{dQ}{dk_H} = -32667k_H + 38,3826w + 27,2488d_m + 12,3533n = 0. \quad (3)$$

Звідки вираз для визначення оптимальних значень коефіцієнта зміни глибини каналу гвинта k_H (рисунок 5) запишеться як:

$$k_H^{opt} = \frac{1}{32667} (38,3826w + 27,2488d_m + 12,3533n). \quad (4)$$

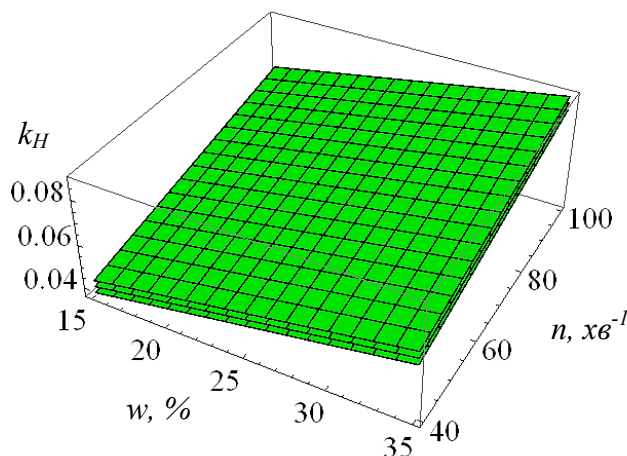


Рисунок 5 – Вплив вологості кормосуміші w та кількості обертів гвинта гранулятора n на коефіцієнт зміни глибини каналу гвинта k_H для значень діаметру отворів матриці d_m – 5; 8,5 та 12 мм (відповідно, нижня, середня та верхня криві) при фіксації інших факторів на нульових рівнях

Як бачимо з рисунку 5, найменший вплив на оптимальні значення коефіцієнта зміни глибини каналу гвинта k_H чинить діаметр отворів матриці d_m , що, на нашу думку, свідчить про доцільність практичного застосування отриманої раніше умови [8] узгодження параметрів матриць грануляторів за тиском та продуктивністю.

З урахуванням особливостей побудови математичної моделі продуктивності виробництва кормових гранул для критерію питомої енергоємності E , $\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{т}$ отримана модель мала вигляд:

$$E = -10,6943 + 15,53w - 0,19099w^2 - 124,409wk_H + 314,811k_H d_m - 1,67264d_m^2. \quad (5)$$

Як видно із залежності (5) фактор кількості обертів гвинта гранулятора не чинить значущого впливу на питому енергоємність процесу гранулювання.

Для залежності (5), яка є адекватною на 90% рівні довірчої вірогідності, коефіцієнт множинної детермінації становить $D = 0,780718$, коефіцієнт множинної кореляції $R = 0,883582$. Значення критерію Фішера $F = 11,3931$; ймовірність F -критерію $P = 0,999911$. Всі коефіцієнти моделі є значущими на рівні довірчої вірогідності не менше 90%. Графічна інтерпретація залежності (5) наведена на рисунку 6.

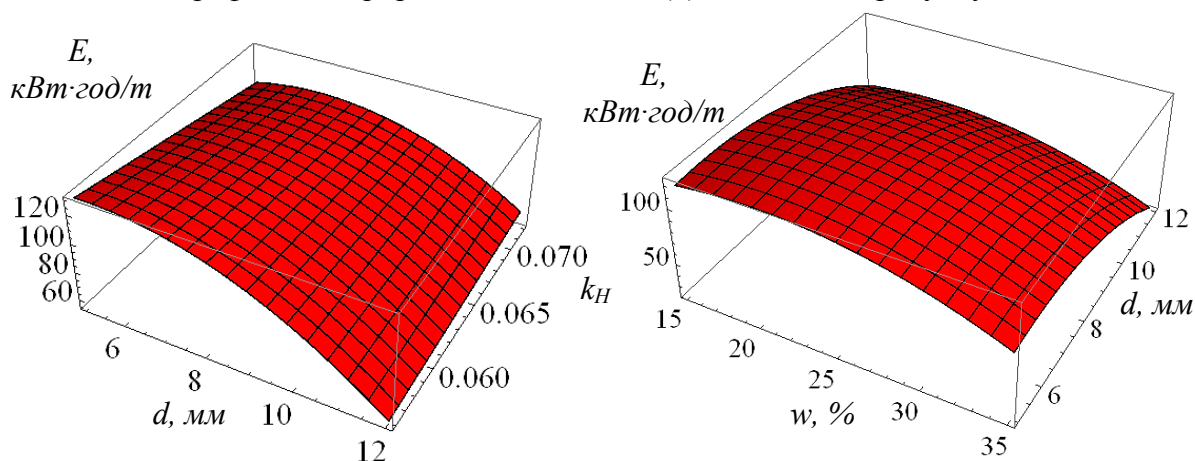


Рисунок 6 – Вплив вологості кормосуміші (w , фактор x_1), коефіцієнту зміни глибини каналу гвинта за його довжиною (k_H , фактор x_2) та діаметру отворів матриці (d_m , фактор x_3) на питому енергоємність процесу гранулювання E при фіксації значень інших факторів на нульових рівнях

Як видно з рисунку 6, поверхні, що відображають вплив досліджуваних факторів на питому енергоємність процесу гранулювання, не мають мінімумів. Отже, раціональні значення факторів відповідатимуть межах їх варіювання.

Висновки. 1. В результаті експериментальних досліджень було отримано адекватні математичні моделі, у вигляді поліномів другого порядку, що описують вплив параметрів вологості зерно-стеблової кормосуміші, коефіцієнту зміни глибини каналу гвинта гранулятора за його довжиною, діаметра отворів матриці гранулятора та кількості обертів гвинта гранулятора на показники продуктивності та питомої енергоємності процесу гранулювання.

2. Встановлено, що функція продуктивності має оптимум (максимум) для деяких значень коефіцієнту зміни глибини каналу гвинта гранулятора за його довжиною, та отримано вираз для встановлення оптимальних значень цього коефіцієнту.

3. Функція питомої енергоємності не має оптимумів, які відповідають її мінімальним значенням, раціональні значення факторів дорівнюють межах їх варіювання.

Список літератури

1. Машины и оборудование для производства комбикормов : [Справочное пособие] / Шаршунов В.А., Червяков А.В., Бортник С.А., Пономаренко Ю.А. – Мн: Экоперспектива, 2005. – 487 с.
2. Мельников С.В., Фарбман Г.Я. Производство травяной муки в гранулах. – Л.: Лениздат, 1975. – 112 с.
3. Ладан П.Е., Густун М.И. Полнорационный корм в гранулах. – М.: Колос, 1974. – 160 с.

4. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных. Справочное пособие. 3-е издание переработанное и дополненное / Под ред. А.П. Калашникова, В.И. Фисинина, В.В. Щеглова, Н.И. Клейменова. – М. 2003. – 456 с.
5. Артюшин А.О., Реневич О.О. Виробництво гранульованих і брикетованих кормів. – К.: Урожай, 1980. – 88 с.
6. Кучинскас З.М. и др. Оборудование для сушки, гранулирования и брикетирования кормов / З.М. Кучинскас, В.И. Особов, Ю.Л. Фрегер. – М. Агропромиздат, 1988. – 208 с.: ил.
7. Братішко В. Результати досліджень процесу гранулювання зерново-стеблової кормосуміші гранулятором гвинтового типу // Техніка і технології АПК. – № 5(56). – Дослідницьке: УкрЦВТ. – 2014. – С. 33-36.
8. Братішко В.В. Узгодження конструкційних параметрів матриць гвинтових грануляторів кормів за тиском та пропускною здатністю // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету / Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Вип. 27. – Кіровоград: КНТ. – 2014. – С. 187-191.

Vyacheslav Bratishko

National scientific center "Institute for agricultural engineering and electrification"

Productivity and power consumption of grain-stem forage mixture pelleting process by screw pellet mill

The aim of research was to establish the influence of structural, operational and technological parameters of the work process of screw feed pellet mill on productivity and specific energy of pelleting process.

The paper presents the results of experimental researches of structurally-operational parameters screw feed pellet mill and physical properties of forage mixture on optimization criteria. As a result, studies have provided adequate mathematical model in the form of a second order polynomial describing the influence of forage mixture moisture parameters, changes coefficient of the depth of the channel screw pellet mill for its length, pellet mill matrix holes diameter and number of turns of pellet mill screw on productivity and specific energy pelleting process. There have been constructed and analyzed relevant surface responses.

It was established that the function has an optimum performance (maximum) for some values of the changes in the depth of the channel screw pellet mill for its length. It was the expression for finding the optimal values of this ratio. The function of specific energy has optima that meet its minimum value. Rational values correspond to factors beyond their variation.

capacity, channel, matrix, pellet mill, productivity, screw

Одержано 22.04.15

УДК 581.63

О.В. Бевз, С.О. Магопечь, О.О. Матвієнко, доценти, кандидаты технических наук
Кіровоградський національний технічний університет

Вплив автомобільного транспорту на повітряний басейн міста Кіровограда

Обґрунтована актуальність проблеми екологічної безпеки автомобільного транспорту, вплив його на довкілля і проаналізовано дві основні транспортні магістралі, які впливають на забруднення атмосферного басейну міста Кіровограда».

автомобільний транспорт, забруднення повітря, екологічна безпека

О.В. Бевз, С.О. Магопечь, О.О. Матвієнко, доценти, кандидаты технических наук
Кіровоградский национальный технический университет

Влияние автомобильного транспорта на воздушный бассейн города Кироваграда

© О.В. Бевз, С.О. Магопечь, О.О. Матвієнко, 2015

В данной работе рассмотрена проблемы экологической безопасности автомобильного транспорта, влияние его на окружающую среду и проанализировано две основных транспортных магистралей, которые влияют на загрязнение атмосферного бассейна города Кировограда.
автомобильный транспорт, загрязнение воздуха, экологическая безопасность

Постановка проблеми. В сучасних умовах автомобільний транспорт стає найбільш значним джерелом забруднення атмосферного повітря, особливо великих міст. Внаслідок розгалуженої мережі магістральних вулиць з інтенсивними транспортними потоками, що проходять через сельбищну територію великих міст, створюються умови для безпосереднього забруднення викидами автотранспорту повітряного середовища зон житлової забудови і несприятливого впливу його на здоров'я населення. Тому проблема зменшення негативного впливу на довкілля автомобільного транспорту на всіх стадіях його життєвого циклу є актуальною.

Джерелами викидів шкідливих речовин є відпрацьовані гази автомобільних двигунів, випаровування з системи живлення, підтікання пального і мастил у процесі роботи та обслуговування автомобілів, а також продукти зносу фрикційних накладок зчеплення, накладок гальмівних колодок, шин [2, 4]. Потрапляючи в атмосферу, водойми, ґрунт шкідливі речовини, що викидаються автомобільним транспортом, негативно впливають на біосферу. Найбільшу небезпеку становить забруднення атмосфери відпрацьованими газами автомобільних двигунів.

Відпрацьовані гази двигунів внутрішнього горіння мають біля 200 складових. Період їх життя продовжується від кількох хвилин до 4–5 років. Автомобілі спалюють величезну кількість цінних нафтопродуктів, завдаючи одночасно відчутної шкоди навколишньому середовищу, головним чином атмосфері. Оскільки основна маса автомобілів сконцентрована в крупних і найбільших містах, повітря цих міст не тільки обідняється киснем, але і забруднюється шкідливими компонентами відпрацьованих газів.

До числа шкідливих компонентів відносяться і тверді викиди, що містять свинець і сажу, на поверхні якої адсорбуються циклічні вуглеводні. Закономірності розповсюдження в навколишньому середовищі твердих викидів відрізняються від закономірностей, характерних для газоутворюючих продуктів [3]. Шкідливі речовини, що містяться у викидах відпрацьованих газів автомобіля, вкрай негативно впливають на здоров'я людини. Оксиди вуглецю та азоту, вуглеводні, сполуки, що містять сірку, – це той небезпечний «коктейль», який ми вживаємо щодня на вулицях нашого міста [1].

Отже, дослідження спрямовані на визначення ступеня завантаженості головних транспортних магістралей міста Кировограда та рівень викидів на них.

Аналіз основних досліджень і публікацій. Аналіз статистичних даних і оцінок негативного впливу автомобільного транспорту на навколишнє середовище і населення показує, що викиди забруднювальних речовин автомобільним транспортом у середньому за рік становлять близько 5,5 млн. т (39 % усього обсягу викидів в Україні). У великих містах забруднення повітря вихлопними газами часом досягає до 90 % загального рівня забруднень. Крім того, більш 20 % АТЗ експлуатується з перевищенням установлених нормативів умісту шкідливих речовин у відпрацьованих газах. У відпрацьованих газах, що викидають автомобілі особливу безпеку становлять канцерогенні бензапірени, оксиди азоту, свинець, ртуть, альдегіди, оксиди вуглецю й сірки, сажа, вуглеводи та інші.

В Україні є програма для зменшення негативного впливу автомобільного транспорту на довкілля, де зазначено, що автотранспорт є одним з найбільших забруднювачів атмосферного повітря і визначені основні заходи щодо реалізації цієї програми протягом десяти років. Ефективність безпечного використання пального для людини і його впливу на довкілля, на сьогодні є основним завданням сучасних досліджень у транспортних технологіях [1].

Формування цілей. В якості об'єктів дослідження були обрані два транспортні потоки міста Кировограда: вулиця Карла Маркса та Преображенської і проспект Правди і

вулиця Жовтневої Революції. На першому етапі роботи було зроблено аналіз існуючих транспортних потоків міста Кіровограда, визначено рівень основних токсичних сполук. Ці спостереження проводили протягом світлого часу доби у всіх напрямках руху. Визначався склад транспортних потоків та їх інтенсивність. Дані спостережень заносилися до спеціальних аркушів кожну годину для легкових автомобілів, вантажних автомобілів та автобусів.

Виклад основного матеріалу. В результаті досліджень була визначена інтенсивність руху на ділянках спостереження взагалі та для кожного типу автомобіля, її зміни протягом доби та в години «пік». Отримані дані наведені на рис. 1-2.

На всіх ділянках має місце висока інтенсивність руху автомобільного транспорту. Разом з цим, майже неможливо виділити «піки» інтенсивності руху. Існує багато емпіричних моделей, які встановлюють зв'язок між забрудненням повітря магістралей окремими токсичними компонентами відпрацьованих газів та параметрами транспортних потоків. Вони мають різну деталізацію, розраховують загальні, середні концентрації токсичних компонентів, враховують різні фактори.

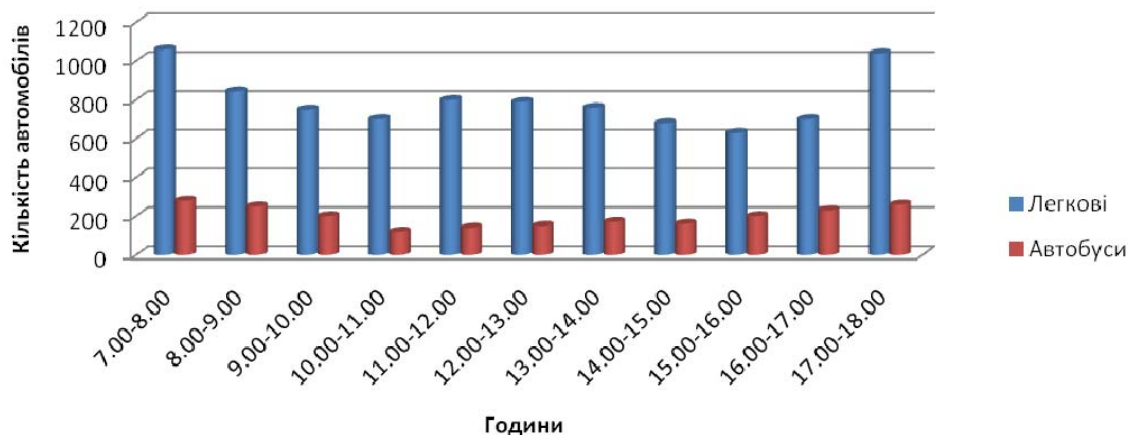


Рисунок 1 – Ступінь завантаженості різних автомобілів та автобусів перехресті вулиць Карла Маркса і Преображенської

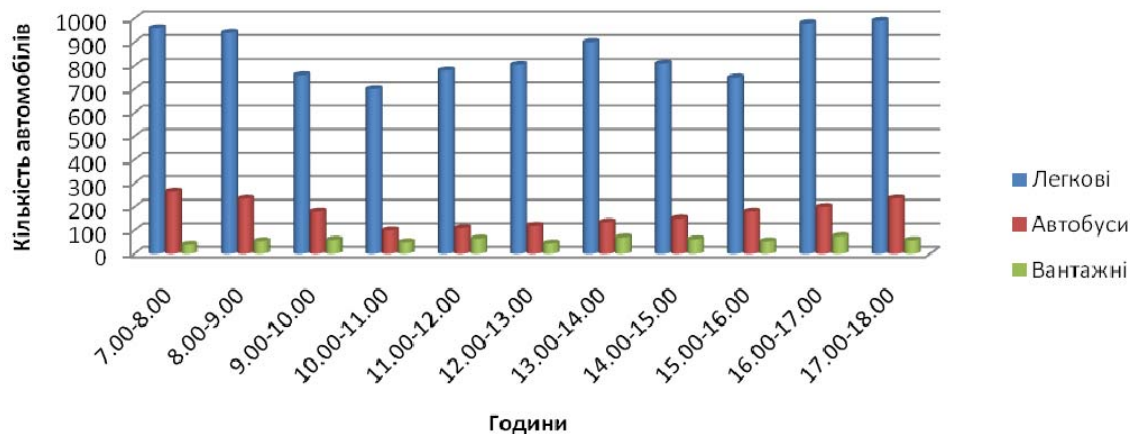


Рисунок 2 – Ступінь завантаженості різних автомобілів на перехресті вулиці Жовтневої Революції в проспекту Правди

Викиди оксиду вуглецю CO за одиницю часу на ділянці магістралі від транспортного потоку, мг/м-с, можна розрахувати за формулою:

$$Q_{CO} = 2,78 \cdot 10^{-4} \sum_{i=1}^2 q_j^{CO} \cdot N_j, \quad (1)$$

де q_j – середнє значення пробігового викиду CO від одного автомобіля j -го типу на ділянці магістралі, мг/(м·с);

N_j – інтенсивність руху автомобілів j -го типу, авт./год.

$$q_j^{CO} = 10^4 (\alpha_j V_{cj} + \beta_j L + \gamma_j + V_{cj} L)^{-1} R_j^{CO}, \tag{2}$$

де $\alpha_j, \beta_j, \gamma_j$ – коефіцієнти, що дорівнюють відповідно 1; 67; 6,2 для легкових автомобілів і 0,575; 16,7; 1,45 для вантажних автомобілів;

V_{cj} – середня швидкість проїзду ділянки магістралі автомобілями j -го типу з урахуванням затримок, км/год;

L – довжина ділянки магістралі, км;

R_j^{CO} – сумарний поправний коефіцієнт, який враховує вплив ряду факторів на зміну кількості CO, що викидається одним автомобілем.

Значення поправних коефіцієнтів розраховуються за формулами:

- для легкових автомобілів $R^{CO} = 2,07 - 0,09(T - 1985)$;

- для вантажних автомобілів $R^{CO} = 2,26 - 0,07(T - 1985)$,

де T – розрахунковий рік визначення викиду CO. Викиди вуглеводнів C_nH_m від транспортного потоку на ділянці магістралі, мг/(м·с):

$$Q_{CH} = 2,78 \cdot 10^{-5} [1,57 - 0,08(T - 1985)] \sum_{i=1}^2 q_j^{CO} \cdot N_j, \tag{3}$$

q_j^{CO} – «умовний» про біговий викид CO автомобілем j -го типу без урахування поправного коефіцієнта, мг/(м·с);

Викиди оксидів азоту NO_x , мг/(м·с):

$$Q_{NO} = 2,78 \cdot 10^{-3} \sum_{i=1}^2 q_j^{NO} \cdot N_j, \tag{4}$$

- для легкових автомобілів: $q^{NO} = 2,3 + 0,1(V_c - 34) - 0,05(T - 1985)$;

- для вантажних автомобілів $q^{NO} = 8 + 0,17(V_c - 34) - 0,15(T - 1985)$.

Розрахунки були проведенні для середніх показників та для години «пік». Дані наведено в табл. 1 та на рис. 3 і 4.

Таблиця 1 – Рівень викидів у місцях спостережень

Місце спостереження	Викиди CO, мг/(м·с)		Викиди C_nH_m , мг/(м·с)		Викиди NO_x , мг/(м·с)	
	середні	максимальні «пік»	середні	максимальні «пік»	середні	максимальні «пік»
Вул. Карла Маркса	245,3±9,3	287,1±6,8	16,21±1,03	19,42±1,24	23,61±10,37	29,11±10,28
Проспект Правди	202,7±9,3	224,4±8,7	11,65±0,64	14,21±0,52	13,33±2,59	17,61±2,68

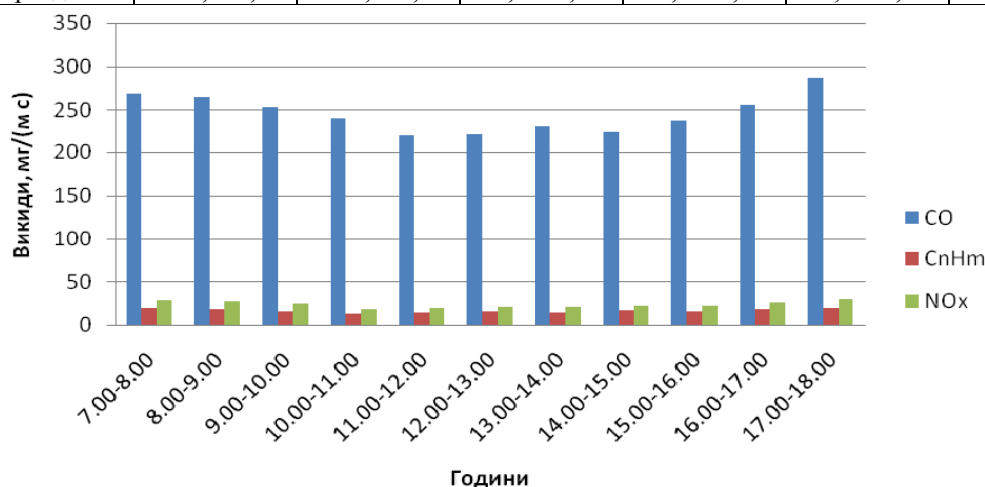


Рисунок 3 – Рівень викидів під час дослідження на перехресті вулиць Карла Маркса і Преображенської

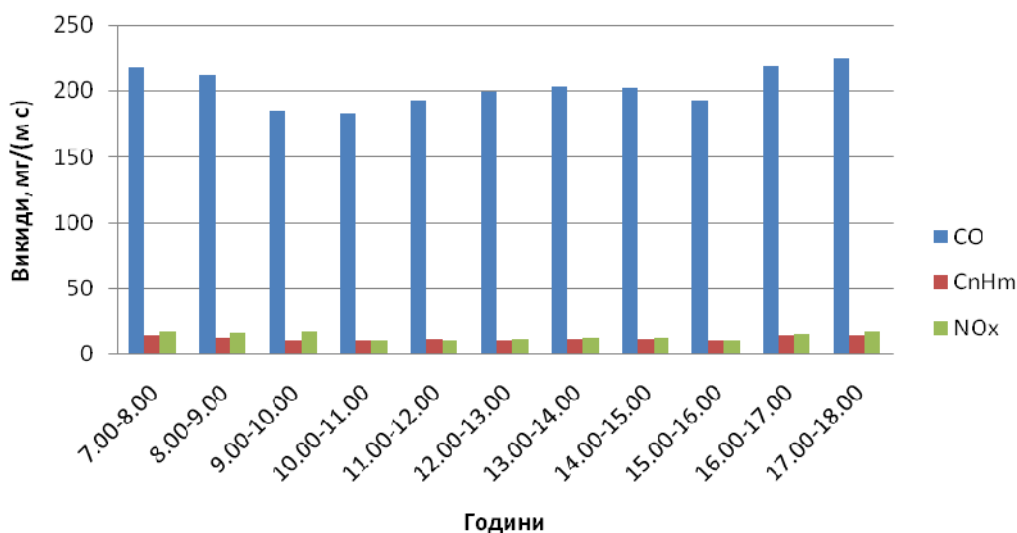


Рисунок 4 – Рівень викидів під час дослідження на перехресті вулиці Жовтневої Революції і проспекту Правди

Допустимі межі викидів токсичних компонентів наведені в табл. 2.

Порівнюючи отримані результати з даними, що наведені у табл. 2, можна констатувати, що викиди транспортного потоку на перехресті вулиці Жовтневої Революції і проспекту Правди середні значення знаходяться у межах допустимих значень, викиди автотранспорту на перехресті вулиць Карла Маркса і Преображенської у години «пік» перевищують допустимі показники щодо CO і C_nH_m.

Таблиця 2 – Допустимі межі викидів токсичних компонентів

Токсичний компонент	Максимально припустимий рівень викидів, мг/(м·с)
CO	204
C _n H _m	14,4
NO _x	35,4

Висновки. Аналіз транспортних потоків вулиці Жовтневої Революції і проспекту Правди та вулиць Карла Маркса і Преображенської свідчить, що найгірше положення з екологічної точки зору склалося на вулиці Жовтневої Революції і проспекту Правди, де викиди CO перевищують норму на 20 % (в години «пік» навіть на 40 %), викиди C_nH_m на 13 % (в години «пік» на 35 %).

Основними напрямками зниження рівня забруднення навколишнього середовища міста Кіровограда від автотранспорту є: модернізація та вдосконалення вулично-дорожньої мережі, будівництво нових транспортних розв'язок, створення окремих смуг для руху пасажирського транспорту, організація раціональної схеми маршрутів руху пасажирських та вантажних потоків магістралями міста; створення оптимальних систем управління рухом транспорту, розширення автоматизованих систем управління дорожнім рухом.

Список літератури

1. Гутаревич Ю.Ф. Екологія та автомобільний транспорт : Нанчальний посібник / Гутаревич Ю.Ф. Зеркалов Д.З., Говорун А.Г. – К.: Арістей, 2006. – 292 с.
2. Козлов Ю.С. Экологическая безопасность автотранспорта / Святкин И.А. – М.: «Агар, Рандеву-Ам», 2000. – 176 с.
3. Джигерей В.С. Екологія та охорона навколишнього природного середовища: навч. Посіб. - 4 - те вид., випр. 1 доп. – К.: Т-во “Знання”, КОО, 2006. – 319 с.
4. Клименко М.О. Моніторинг довкілля: Підручник / Прищеп А.М. – К.: Видавничий центр «Академія», 2006. – 360 с.

Oleg Bevz, Sergiy Magopec, Olexandr Matvienko

Kirovograd national technical university

Influence of motor transport on the air pool of city of Kirovograda

In this work considered problems of ecological safety of motor transport, influence of him on an environment and it is analyses two basic transport highways which influence on contamination of atmospheric pool of city of Kirovograda.

Researches are directed on determination of degree of work-load of a main transport highway of city of Kirovograda and level of extrass on them.

Basic directions of decline of level of contamination of environment of city of Kirovograda from a motor transport is organization of rational chart of routes of motion of passenger and freight streams of city.

motor transport, contamination of air, ecological safety

Одержано 18.05.15

УДК 628.517.2

С.В. Бондарчук, канд. біол. наук

*Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету,
svitlanabon@bigmir.net*

До питання про вплив шуму на людину під час виконання авіаційних хімічних робіт

В статті розглядаються деякі питання про вплив шуму на людину, як шкідливого фактора, що виникає від повітряних суден та інших механізмів, які використовуються в цивільній авіації. Наведено механізм нормування та стандартні значення показників шуму, показано вплив шуму на органи і системи людини. Надані рекомендації щодо зменшення шкідливої дії шуму на людину.

шум, повітряне судно, авіаційно-хімічні роботи, авіаційний транспорт

С.В. Бондарчук, канд. биол.наук

Кировоградская летная академия Национального авиационного университета

К вопросу о влиянии авиационного шума на человека

В статье рассматриваются некоторые вопросы о влиянии шума на человека, как вредного фактора, что возникает от воздушного судна и других механизмов, которые используются в гражданской авиации. Приведен механизм нормирования и стандартные значения показателей шума, показано влияние шума на органы и системы человека. Приведены рекомендации по уменьшению вредного воздействия шума на человека.

шум, воздушное судно, авиационно-химические работы, авиационный транспорт

Постановка проблеми. Сьогодні існування людства неможливе без авіаційного транспорту. Збільшується число пасажиро- та вантажоперевезень, літальна маса повітряних суден (ПС), з'являються нові види авіаційних послуг, у тому числі і в забезпеченні потреб сільськогосподарського виробника. Все це супроводжується загостренням проблеми дії авіаційного шуму на людину. Проблема шуму залишається однією із важливих чинників шкідливого впливу нашої цивілізації на довкілля, вона не менш загрозлива ніж забруднення повітря або води. Шумове забруднення стає причиною різних захворювань, веде до погіршення якості життя і економічних втрат, знижує продуктивність праці всіх хто задіяний у виконанні авіаційно-хімічних робіт (АХР).

© С.В. Бондарчук, 2015

Аналіз останніх досліджень. Проблемою авіаційного шуму займаються широке коло дослідників, серед них: авіаційні конструктори, експлуатанти авіаційної техніки, екологи та інші науковці. Вивченням питання впливу шуму на людину займається досить широке коло організацій та науковців, серед них можна виділити Міжнародну організацію цивільної авіації (ІСАО), де створений комітет з охорони навколишнього середовища, Авіаційний науково-технологічний комплекс ім. Антонова, такі науковці як В.П.Бабак, С.К.Солдатов, М.В.Фокін, А.В.Богомолів, В.М.Зінкін та ін.[2, 3, 5]. Проте постійне вдосконалення авіаційної техніки, обслуговуючої інфраструктури, поява нових технологій та ізоляційних матеріалів актуалізує наукові дослідження в цій сфері, вимагає постійного моніторингу та внесення нових конструктивних пропозицій.

Постановка завдання. Авіація, що використовується хіміобробці полів є однією із галузей, яка характеризується використанням передової технології і новітньої техніки. У ній використовуються різноманітні засоби аеронавігації, механізації, технічного обслуговування ПС і устаткування аеропортів, технологічні процеси із застосуванням найсучаснішої апаратури, заснованої на використанні хімічних і радіоактивних методів, електромагнітного і ультразвукового випромінювання, рентгенівської техніки тощо. У той же час АХР є галуззю, яка негативно впливає на довкілля в цілому і на здоров'я людей зокрема.

У зв'язку з цим, персонал авіапідприємств, працівники агропромислового комплексу і населення, яке проживає у безпосередній близькості від аеродромів підпадає під дію небезпечних і шкідливих виробничих факторів (ОВПФ) фізичного, хімічного, біологічного і психофізіологічного характеру.

Метою роботи було дослідити вплив шуму на людину під час виконання АХР.

Виклад основного матеріалу. Шуми, що виникають під час роботи двигунів і різних аеродинамічних установок, впливають не лише на комфорт та працездатність екіпажу літака, але і на людей, що мешкають в зоні дії цих шумів. Подразлива дія авіаційного шуму пов'язана, в першу чергу, з розміщенням аеропортів на околицях населених пунктів.

Міністерство транспорту України розробило спеціальні правила та затвердило державні стандарти по виконанню авіаційних робіт у сільському та лісовому господарстві [1]. Документами Міжнародної організації цивільної авіації ІСАО (Додаток 16) визначені правила сертифікації літаків за рівнем шуму, що створюються повітряними суднами (ПС). Відомо, що звук характеризується двома основними властивостями - частотою і інтенсивністю. Частота вимірюється в герцах, а інтенсивність - у ватах на квадратний метр[4].

У 1971 році ІСАО розробила перший стандарт, що встановлює вимоги до шуму на місцевості для дозвукових реактивних пасажирських літаків, потім були прийняті стандарти до шуму для інших типів літальних апаратів (гвинтових літаків, гелікоптерів). У СРСР був прийнятий ГОСТ 17228-71, що обмежував шум на місцевості для дозвукових реактивних і гвинтових літаків, у подальші роки цей стандарт був посиленій і були прийняті стандарти до шуму для гелікоптерів і надзвукових літаків.

Мірою оцінки шуму служить ефективний рівень сприйманого шуму EPNL, (англійське - effective perceive noise level), виражений в одиницях EPN дБ, що дає оцінку суб'єктивного сприйняття дії авіаційного шуму на людину. Система оцінки в EPN дБ враховує частотний склад шуму, що розповсюджується, наявність дискретних складових в спектрі і тривалість дії шуму. В якості параметру нормування в усіх стандартах використовується значення максимальної злітної маси літального апарату. Крім того, в нових стандартах для дозвукових реактивних літаків допустимі рівні шуму при зльоті, що залежать від кількості двигунів, встановлених на літаку. Стандарти регламентують і методику проведення сертифікації випробувань шуму літальних

апаратів, вживану апаратуру, систему обробки результатів випробувань і приведення до атмосферних умов: температура 25°C, тиск 1013,25 гПа, відносна вологість повітря 70%. Відповідно до стандартів рівні шуму великих літаків (з масою $m > 5700$ кг) нормуються в трьох контрольних точках на місцевості, розташованих при посадці на відстані 2 км від торця злітно-посадкової смуги (ЗПС), при зльоті – збоку від осі ЗПС на відстані 450 м, при наборі висоти – під траєкторією на відстані 6,5 км від місця старту дивися табл. 1.

Таблиця 1 - Максимальні рівні шуму в точках виміру для ПС залежно від максимально сертифікованої злітної маси

Точка виміру шуму	Максимальний рівень шуму EPNдБ
У точці виміру шуму збоку від ЗПС	Від 108 до 102
У точкеизмерения пролітного шуму	Від 108 до 93
У точці виміру шуму при заході на посадку	Від 108 до 102

Стандарт допускає перевищення рівнів шуму в одній або двох точках (при відповідному зниженні в інших), але не більше 3 EPN дБ в одній точці і сумарне перевищення не більше 4 EPN дБ відповідно до вимог розділу 2 (відповідно 2 і 3 EPN дБ за розділом 3). Такі літаки, як Як-40, Ту-134А, Ту-154Б, Іл-76Т, Іл-86 задовольняють вимогам за шумом на місцевості розділу 2, а Як-42, Ту-154М, Іл-62М – вимогам розділу 3. Норми шуму для важких гвинтових літаків практично співпадають з вимогами розділу 3 для дозвукових реактивних літаків при зльоті і посадці, а при прольоті для гвинтових літаків застосовуються вимоги розділу 3 для літаків з чотирма двигунами. Для нових надзвукових літаків норм шуму поки що немає, але рекомендується орієнтуватися на вимоги розділу 2 стандарту Міжнародної організації цивільної авіації [1].

Шум, що створюється на місцевості невеликими літаками, які й використовуються переважно в АХР (масою $m < 5700$ кг), нормується в одній контрольній точці при горизонтальному прольоті літака на висоті 300 м. За стандартом граничний рівень шуму обмежений 68 дБ(А) для літака масою до 600 кг і 80 дБ(А) з масою $1500 \text{ кг} < m < 5000 \text{ кг}$. При масі літака $600 \text{ кг} < m < 1500 \text{ кг}$ гранично допустимий рівень шуму пропорційний його масі.

Переконалівою одиницею є сприйманий шумовий децибел – PN дБ, що враховує не лише інтенсивність шуму, але і чутливість до нього вуха людини.

У Додатку 16 ІКАО обумовлені рівні шуму в точках ЗПС (табл.2). Контрольна точка при посадці розташовується на відстані 1,85 км від торця ЗПС по її осьовій лінії. При трьох градусній глісаді літак пролітає над цією точкою на висоті близько 113 м. Контрольна точка на злеті розміщена на відстані близько 6,5 км від точки початку розгону по осьовій лінії ЗПС. Бічний шум контролюється в нефіксованій, будь-якій точці на лінії, паралельній ЗПС і що знаходиться від неї на 460 м для літаків, які мають до чотирьох двигунів і на 650 м для літаків, що мають чотири двигуни.

Таблиця 2 - Рівні авіаційного шуму (EPN дБ) у точках контролю

Тип ПС	Набирання висоти		Зниження перед посадкою	
	модель	вимірювання	модель	вимірювання
Ту - 154	99,2	100,1±1,2	105,8	106,0±0,9
Ту - 154 М	98,3	98,4±0,9	100,7	102,1±0,5
Ту - 204	97,0	96,0±2,6	102,2	99,9±2,7
Як - 40	91,2	90,3±3,9	98,7	97,2±3,8
Як - 42	93,8	93,4±0,7	103,7	102,4±1,6
Іл - 62 М	100,2	102,9±2,5	100,0	103,5±3,8
Іл - 86	107,6	107,4±0,6	105,7	105,1±0,3

Аналізуючи результати досліджень можна зробити висновок про дратівливу і шкідливу фізіологічну дію авіаційного шуму на людину. Тому шум не випадково розглядається нині як один з найважливіших експлуатаційних характеристик сучасного літака [2, 3, 4].

Виділяють основні чинники, що є причиною генерування і поширення психологічної дії шуму літака на людину. Їх можна класифікувати за групами:

- зниження на посадку;
- набір висоти;
- ЗПС;
- відстань населених пунктів від аеропорту;
- характеристики шуму літака;
- інтенсивність руху літаків;
- особливості навколишнього середовища (наявність зелених зон тощо).
- випробування авіадвигунів їх прогрівання;
- технологічне устаткування ремонтних і експлуатаційних авіапідприємств цивільної авіації.

Людське вухо має певну особливість, яка полягає в неоднаковій чутливості до різних частот і оцінки шуму не лише по інтенсивності, але й по несподіваності появи, тривалості, повторюваності тощо. Для людини подвоєння інтенсивності звуку не відповідає подвоєнню уявних рівнів, а звуки різної частоти і однакової інтенсивності сприймаються не однаково гучно.

Розглянемо вплив шуму на організм людини. Відомо, що при 40 дБ починається порушення сну; з'являється роздратування, починаючи з 45 дБ; зміна мови, порушення нормальної роботи шлунку – при 60 дБ; погіршення працездатності – при 80 дБ.

Якщо слуховий апарат людини піддати тривалим або повторним діям досить гучного шуму, то настає тимчасова або постійна втрата слуху. У людини, яка знаходиться протягом 6-8 років під дією шуму інтенсивністю 90 дБ, настає помітне зниження слуху, що зникає приблизно через 1 рік після його припинення. Після декількох годин перебування під дією шуму інтенсивністю 115 дБ в осіб льотного і наземного обслуговуючого персоналу настає тимчасова втрата слуху в діапазоні середніх і високих частот, яка продовжується від декількох хвилин до декількох годин. Шум, який перевищує 120 дБ, дуже швидко викликає у людини втому, що настає вже через декілька хвилин і супроводжується помітним зниженням слуху. У кожному окремому випадку ступінь втрати слуху і тривалість періоду відновлення пропорційні рівню інтенсивності й тривалості дії.

Обслуговуючий персонал, що виконує ремонтні роботи в той час, коли працюють двигуни ПС, та працівники агропромислового комплексу часто скаржаться на головні болі, втрату почуття рівноваги. У більшій частині спектру чутних частот рівень шуму ПС із газотурбінними двигунами вищий, ніж з поршневіми. Високий рівень шуму від ПС із газотурбінними двигунами відноситься саме до тихий шумів, які особливо впливають на розбірливість мови, тобто шумів з частотами 300-3000 Гц.

Люди, що знаходяться поблизу працюючої силової реактивної або турбогвинтової установки, зазнають дії шуму, який перевищує допустимий рівень у багато разів.

Для того щоб мати уявлення про рівні шуму у безпосередній близькості від ПС з реактивними двигунами, можна навести такі дані. Максимальні пікові сумарні рівні звукового тиску (злітний режим), виміряні поблизу межі струменів газу на відповідних відстанях від зрізу сопів, складають: для авіадвигунів ПК-8 -157 дБ на відстані 8 м; Д-30 - 156 дБ на відстані 2-8,4 м; Д-2 ОП - 152 дБ на відстані 1-5 м.

За такої великої інтенсивності шум не тільки впливає на слух, але чинить й інші, психофізіологічні дії на людину. Усі частини тіла зазнають при цьому дію постійного тиску або відчуття пориву вітру; у кістках черепа, зубах тощо. Так само і в м'яких

тканинах носа і горла, виникають вібрації. При рівні шуму 140 дБ (поріг больового відчуття) і вище відчуття тиску підсилюється і поширюється по всьому тілу, а грудна клітка, м'язи ніг і рук починають вібрувати.

Коли рівень інтенсивності шуму досягне 160 дБ, може статися розрив барабанної перетинки. При рівні шуму близько 180 дБ починають руйнуватися заклепкові й зварні шви ПС.

При віддаленні працівника від реактивного сопла шуми зменшуються, але навіть на відстані 30 м рівень інтенсивності шуму сучасного літака із реактивними двигунами досягає приблизно 125-135 дБ, а на відстані 100 м – 115-124 дБ.

Вивчення дії шуму, на організм людини необхідне також для безпеки польотів. Наприклад, шум в літаку здатний впливати на центральну нервову систему, в результаті чого можуть спостерігатися зниження уваги, уповільнення реакцій екіпажа. У процесі праці шум негативно відбивається також на такі функції людини, як пам'ять, мислення тощо. Відомо, що шум відвертає увагу людини від виконання точних робіт.

З метою зменшення шумової дії на довкілля при експлуатації ПС застосовуються наступні методи зниження авіаційного шуму:

Використовувати початкові і кінцеві ділянки траєкторій польоту літаків на ЗПС з метою відведення від зон максимального рівня шуму. В цілях зниження шуму може призначатися ЗПС відповідно для зльоту або посадки: це дозволяє літакам обходити уразливі до шуму зони на початковому етапі зльоту і завершальному - заходу на посадку (10-20 км.).

Використовувати пріоритетні за шумом маршрути, щоб літаки при вильоті і прибутті могли обходити зони, чутливі до дії шуму, які знаходяться під звичайними траєкторіями зльоту і заходу на посадку. При встановленні таких маршрутів слід повністю враховувати критерії безпеки стандартних маршрутів вильоту і посадки відносно градієнтів набору висоти при подоланні перешкод та інших чинників.

Використовувати прийоми зниження шуму при зльоті або заході на посадку, що направлені на зведення до мінімуму загальної дії шуму на землі при одночасному дотриманні необхідного рівня безпеки польоту.

Засоби зниження шуму розробляються та вдосконалюються експлуатантом ПС для кожного типу літака. Ці прийоми призначені для зниження авіаційного шуму як в зонах прилеглих до аеропорту (аеродрому), так і в зонах віддалених від нього. Командир ПС має право прийняти рішення не виконувати відповідний засіб зниження шуму, якщо умови перешкоджають його безпечному застосуванню.

Висновки. Таким чином, літакобудування та авіаційна галузь сьогодні збільшують свою частку в структурі надання додаткових авіаційних послуг (АХР). Відтак посилюється проблема впливу авіаційного шуму на довкілля, людину та інфраструктуру. Існуючі нормативи потребують постійного моніторингу та вдосконалення що враховувало б технічну модернізацію авіаційного парку та обслуговуючої інфраструктури, появу нових ізоляційних матеріалів, захисних засобів та прийомів і методів пониження негативного впливу шуму.

Список літератури

1. Про затвердження Правил організації та виконання авіаційних робіт у сільському та лісовому господарстві // Наказ Мінтрансв'язку України Від 22.12.2006 N 1179 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/>
2. Безпека авіації / В.П. Бабак, В.П. Харченко, В.О. Максимов та ін.; За ред. В.П. Бабака. –К.:Техніка, 2004. – 584 с. ISBN 966-575-171-9.
3. Солдатов С.К. Человек и авиационный шум / С.К.Солдатов, В.Н.Зинкин, А.В.Богомолов, Ю.А.Кукушкин. –М.: Новые технологии, 2012. – 24 с. (Приложение к журналу «Безопасность жизнедеятельности». – № 10. – 2012. ISSN 1684-6435.

4. Охрана окужающей среды: Приложение 16 к Конвенции о международной гражданской авиации. Том 1 Авиационный шум/ ICAO. – Монеаль, 2014. – 205 с. ISBN 978-92-9249-600-5.
5. Фокин М.В. Оценка риска для здоровья населения от воздействия авиационного шума / М.В.Фокин [и др.] // Гигиена и санитария. 2009. – № 5. – С. 29–32. ISSN: 0016-9900.

Svitlana Bondarchuk

Kirovohrad Flight Academy of National Aviation University

To the Question of the Influence of Aircraft Noise on a Human

The article deals with the hazard of the influence of aircraft noise on a human. The paper also determines harmful factors which affect the nervous system and discloses mechanisms of determining qualitative and quantitative characteristics of aircraft noise. The article touches upon the issue of analyzing of the consequences that arise while operating of aircraft, assemblies and mechanisms applied in civil aviation, and have a harmful effect not only on aviation personnel but also on people who travel by air and live in settlements near airports.

The importance of the problem highlighted in the article is that people's need for air transport will eventually grow, and, therefore, the significance of looking for ways to reduce the impact of harmful factors on human health will increase. The article gives information about mechanisms of determining and rule-making of parameters (standards) of noise figures, depending on the aircraft airborne weight linking them to the place or the measuring points of these parameters. The article presents negative effects of aircraft noise on various human organs, depending on the quantitative characteristics. The paper provides recommendations to reduce harmful effects of noise on a human while operating of the system of air transport.

noise, aircraft, aviation- chemical works, air transport

Одержано 13.05.15

УДК.621.791.92

І.Ф. Василенко, доц., канд. техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет, vasylenko_ivan@mail.ru

Вибір матеріалів порошкових дротів для нанесення композиційних покриттів

В статті відображено результати досліджень, пов'язаних з вибором матеріалу порошкових дротів, призначених для контактної наварювання композиційних покриттів на деталі сільськогосподарської техніки, які працюють в умовах абразивного зношування. Описано установку для виготовлення порошкових дротів в лабораторних умовах. Проаналізовано мікроструктуру одержаних покриттів

композиційне покриття, порошковий дріт, контактне наварювання, зносостійкість

И.Ф. Василенко, доц., канд. техн. наук

Кировоградский национальный технический университет

Выбор материалов порошковых проволок для нанесения композиционных покрытий

В статье отражены результаты исследований, связанных с выбором материала порошковых проволок, предназначенных для контактной наварки композиционных покрытий на детали сельскохозяйственной техники, которые работают в условиях абразивного изнашивания. Описана установка для изготовления порошковых проволок в лабораторных условиях. Проанализирована микроструктура полученных покрытий

композиционное покрытие, порошковая проволока, контактное наваривание, износостойкость

© І.Ф. Василенко, 2015

Постановка проблеми. Відновлення та зміцнення деталей машин є актуальною проблемою сільськогосподарського машинобудування. При створенні технологій зміцнення та відновлення доцільно застосовувати методи нанесення покриттів, які мають незначний вплив на метал основи, дозволяють зберегти початкову геометрію деталі, та отримати робочі поверхні з високими функціональними властивостями.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Перспективним методом відновлення та зміцнення є контактне наварювання. Контактне наварювання відноситься до процесів зварювання металів тиском. При контактному наварюванні відбувається нагрівання матеріалу імпульсами електричного струму до температур (0,9...0,95)Tпл, його пластичне деформування, що приводить до утворення надійного з'єднання з матеріалом основи.

Даний метод характеризується яскраво вираженою концентрацією температури в зоні контакту і великою величиною деформації (до 80%), при якій матеріал, що наварюється на поверхню виробу, змінює її властивості і мікрорельєф, заповнюючи мікронерівності. Швидкість нагрівання матеріалу може сягати значень 50000 К/с, швидкість деформації – до 110 мм/с [5], що поряд з надійним фізичним контактом забезпечує високу густину структурних дефектів (вакансій, дислокацій тощо), які є активними центрами твердофазного з'єднання. Міцність зчеплення покриття з основним металом при оптимальних параметрах режиму може сягати 550...600 МПа [5].

Відомо [1–4], що найбільш зносостійкими в умовах абразивного зношування є матеріали, що складаються з пластичної матриці та твердого тугоплавкого наповнювача, твердість якого має бути вищою за твердість абразивних зерен.

Найбільш технологічними матеріалами для контактного наварювання композиційних покриттів є заздалегідь сформовані матеріали, зокрема порошкові дроти. Порошковий дріт складається з тонкої металевої оболонки, яка заповнена порошковим матеріалом, який власне визначає властивості покриття.

Оболонка захищає порошковий матеріал від надмірного окислення при нагріванні, створює напружений стан близький до всебічного стиску, попереджує електророзрядний процес, який призводить до перегріву та розплавлення частинок. Вона сприяє нагріванню та попередньому ущільненню порошкового шару до проходження електричного струму через порошок, оскільки на початку імпульсу струм іде через оболонку. Це попереджає передчасне зварювання частинок між собою й утворення покриття з надмірною пористістю.

Постановка завдання. Метою даного дослідження є вибір матеріалів, з яких виготовлятимуться порошкові дроти, для одержання зносостійких композиційних покриттів контактним наварюванням.

Виклад основного матеріалу. З економічних та технологічних міркувань оболонки порошкових дротів виготовляють з маловуглецевих сталей [6]. В даній роботі в за матеріал оболонки приймали сталь 08 пс, хімічний склад якої наведено в табл. 1.

Таблиця 1 — Хімічний склад сталі 08 пс, % (ГОСТ 1050-88)

Марка	Fe	C	Mn	Si	Cr	S	P	Cu	N	As
					не більше					
Сталь 08пс	Осно- ва	0,05- 0,11	0,35- 0,65	0,05- 0,17	0,10	0,04	0,035	0,25	0,25	0,08

Такий матеріал оболонки використовується найчастіше при виготовленні порошкових дротів, оскільки він повністю задовольняє функціональним вимогам, що висуваються до оболонки.

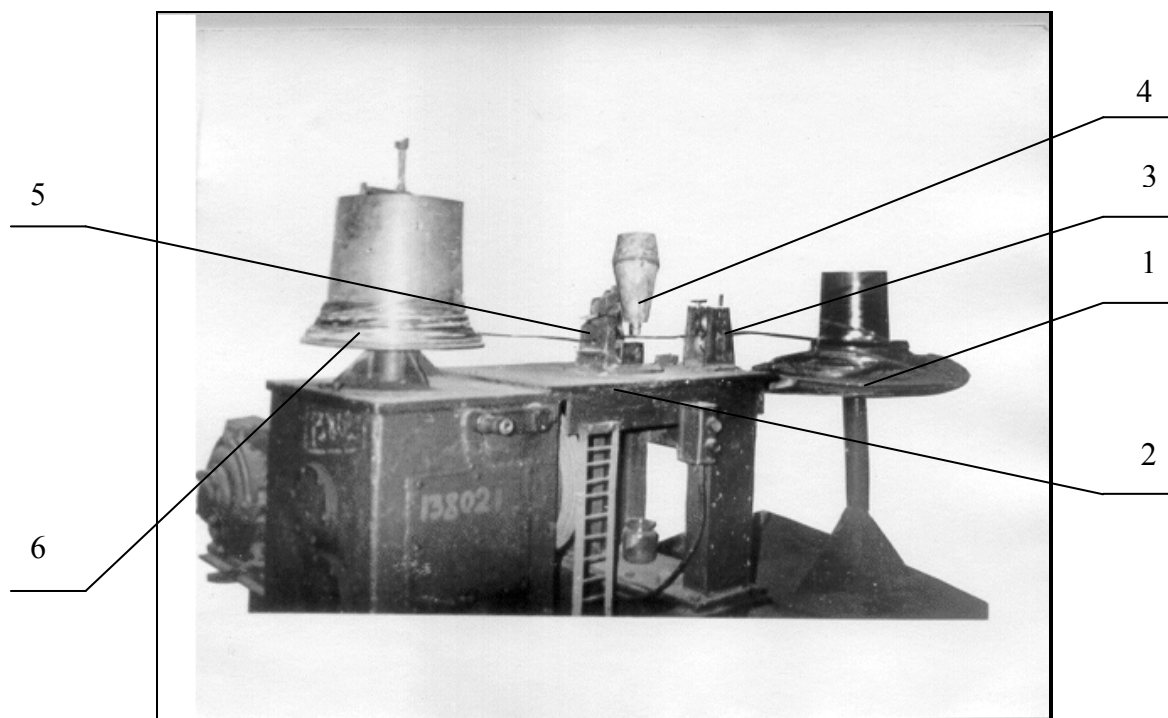
Для виготовлення зносостійкого композиційного покриття у якості керамічного наповнювача, використовують технічну кераміку переважно карбіди та оксиди [1]. У якості наповнювачів композиційних матеріалів, що наносяться контактним наварюванням, доцільно використовувати карбіди металів. Це пояснюється тим, що крім високої твердості та зносостійкості, ці матеріали мають значно вищу електропровідність у порівнянні, наприклад, з оксидами чи нітридами. Достатня електропровідність є однією з основних вимог, що висуваються до матеріалів, які наносять пропусканням електричного струму. Найдешевшим з карбідів є карбід хрому.

Дослідження властивостей композиційних покриттів, зміцнених карбідом хрому та карбідом вольфраму, який має добру розчинність у залізі, показало, що покриття, що містять карбід хрому, не поступаються покриттям з карбідом вольфраму. Тому з економічних міркувань в якості наповнювача доцільно використовувати карбід хрому.

При вивченні умов формування якісного покриття розглядалась гіпотеза: процес контактного наварювання протікатиме стабільніше, розподіл наповнювача у отриманих покриттях буде рівномірнішим, якщо у осерді наварюваних порошкових дротів використовувати композиційні порошки – кераміку, плаковану електропровідним матеріалом.

Отже в роботі досліджувались покриття, нанесені контактним наварюванням композиційного дроту, оболонка якого виготовлена зі сталі 08; а осердя містило в одному з варіантів карбід хрому та залізо, в іншому – карбід хрому, плакований нікелем, та залізо.

Порошковий дріт виготовляли в лабораторних умовах на установці, показаній на рис. 1. Вона складається з розмотувального пристрою 1; корпусу 2, на якому встановлені кліть з формуючими роликками 3, дозуючого пристрою 4, волокотримача з волокою (фільурою) 5, намотувального (тягового) пристрою 6 з дрототримачем.



1 – розмотувальний пристрій; 2 – корпус; 3 – кліть з формуючими роликками;
4 – дозуючий пристрій; 5 – волокотримач з волокою (фільурою); 6 – намотувальний (тяговий)
пристрій з дрототримачем

Рисунок 1 – Установа для виготовлення порошкових дротів

Розмотувальний пристрій 1 складається зі стояка та котушки, що вільно обертається. На котушку вдягається стрічка, з якої формується оболонка дроту.

Кліть з формуючими роликками 3 призначена для формування жолобчастого профілю стрічки, який заповнюється порошком. У пази установлені підшипники з формуючими роликками. Ролики притискаються одне до одного гвинтами.

Волокотримач пригвинчено до корпусу установки болтом. У волокотримач встановлено волоку з одним отвором – фільтеру.

Намотувальний пристрій 6 являє собою барабан з отвором для зачеплення дрототримача. Дрототримач складається з гачка, ланцюга, який з'єднаний з дротоозажимом.

При виготовленні дроту стрічка формується у жолобчастий профіль, заповнюється порошком, після чого протягується через фільтеру, де формується дріт. Отримана заготовка вдягається на розмотувальний пристрій і протягується через фільтеру відповідного діаметру з відключеним дозатором, міняючи кліть з формуючими роликками. Ця операція повторюється з різними фільтерами до отримання дроту потрібного діаметру.

Для проведення досліджень було виготовлено дріт діаметром 2 мм. Виготовлений дріт відповідає вимогам ГОСТ 10447-93 на навівання (рис. 2).

Експериментальні дослідження здійснювались на установці для контактного наварювання марки 011-1-02Н. У процесі контактного наварювання контролювали такі основні параметри: величину прикладеного тиску; силу електричного струму, тривалість імпульсу струму та паузи між імпульсами; швидкість обертання деталі та швидкість подачі зварювальної головки.

Силу струму при контактному наварюванні та тривалість інтервалів часу протікання імпульсу струму t_i та паузи t_n змінювали за допомогою регулятора циклу зварювання типу РЦС-503. Тиск на електродах машини відповідав тискові у пневмосистемі установки і контролювався манометром.

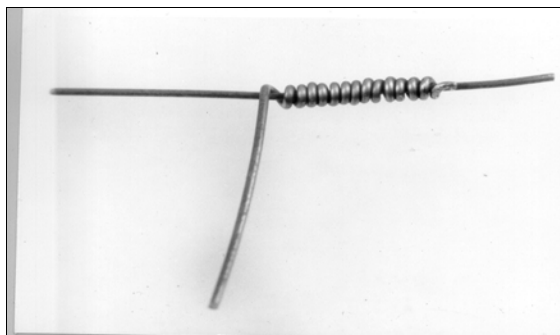


Рисунок 2 – Випробування порошкових дротів на навівання за ГОСТ 10447-93

Покриття наносилося на циліндричні зразки із сталі 45 на установці при наступних режимах: зусилля стиску 2,5 кН, сила струму 1,5 кА, тривалість імпульсів та пауз 0,08 с, частота обертання деталі в шпинделі установки 1,5 об/хв.

Аналіз мікроструктур (рис. 3) покриттів показав, що дисперсні частинки карбідів (світлі області) досить рівномірно розподілені в матриці. Подрібнення карбідів під час наварювання не відбувається. Це пов'язано з невеликим термічним впливом на наварюваний матеріал, демпфуючими властивостями оболонки дроту, а у випадку використання плакованих карбідів ще й з тим, що вони плаковані дуже пластичним металом.

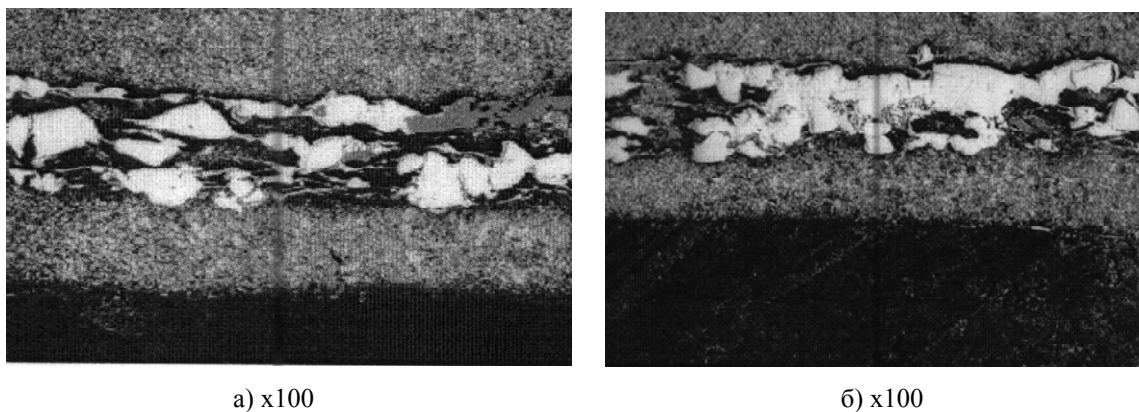


Рисунок 3 – Мікроструктура композиційних покриттів з неплакованим (а) та плакованим (б) наповнювачем

Дослідження мікроструктури перехідної зони “оболонка дроту – деталь” показали (рис. 4), що зчеплюваність наварених покриттів з деталлю є достатньою для нормальної роботи.

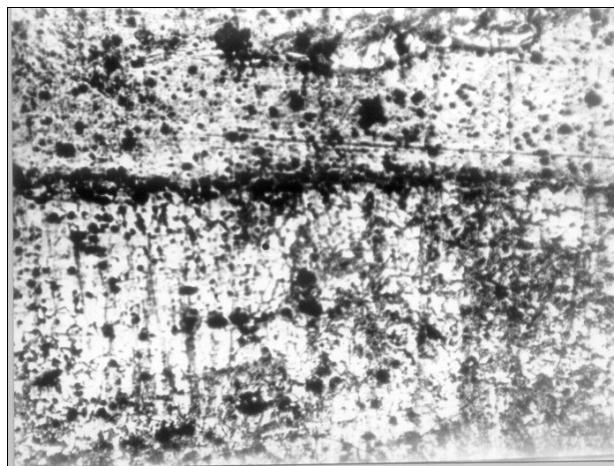


Рисунок 4 — Мікроструктура перехідної зони “оболонка дроту-деталь” x500

Висновок. При контактному наварюванні порошкових дротів вибраного складу одержані композиційні покриття, що мають високу зносостійкість [3]. Деталі сільськогосподарської техніки, зміцнені такими покриттями, мають високі експлуатаційні характеристики в умовах абразивного зношування.

Список літератури

1. Амелин Д. В. Новые способы восстановления и упрочнения деталей машин электроконтактной наваркой/ Д.В. Амелин, Е.В. Рыморов.- М.: Агропромиздат, 1987.- 150 с.
2. Белоусов В. Я. Долговечность деталей машин с композиционными материалами/ В. Я. Белоусов.- Львов: Вища школа, 1984.- 180 с.
3. Василенко І.Ф. Дослідження властивостей композиційних покриттів, нанесених контактним наварюванням порошкових дротів/ Збірник наукових праць КНТУ «Техніка в с/г виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація».- Кіровоград, 2014.- Вип. 27.- С. 60-67.
4. Добровольский А.Г. Абразивная износостойкость материалов/ А.Г. Добровольский, П.И. Кошеленко.- К.: Техника, 1989.- 128 с.
5. Дорожкин Н.Н. Восстановление деталей сельскохозяйственных машин/ Н.Н.Дорожкин, В.Н.Гимельфарб – Минск: Ураджай, 1987.- 140с.
6. Производство порошковой проволоки: [Учеб. пособие для вузов]/ И.К. Походня, В.Ф. Альтер, В.Н. Шлепаков и др.- К.: Вища школа, 1980.- 232 с.

Ivan Vasylenko

Kirovograd National Technical University

The choice of materials for cored wires for applying composite coatings

The aim of the article is the choice of material cored wire designed for welding on the contact composite coatings on parts of agricultural machinery, which operate in conditions of abrasive wear.

The article analyzes the materials used to produce composite coatings. Selected materials suitable for use in conditions of contact welding on cored wires. Describes an adjustment for the production of cored wires in the laboratory. The microstructure of the resulting coatings was investigated.

As a result of studies to obtain a composite coating with high wear resistance. Details of agricultural machinery, hardened such coatings, have high performance in the conditions of abrasive wear.

composite coating, cored wire, contact welding, wear resistance

Одержано 28.04.15

УДК 631.33.02

К.В. Васильковська, канд. техн. наук, О.М. Васильковський, доц., канд. техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет, vasilkovskakv@ukr.net

Визначення оптимальних параметрів пристрою для видалення зайвого насіння з комірок висівного диска пневмомеханічного апарата

Проведено експериментальні дослідження нового пневмомеханічного висівного апарата з периферійним розташуванням комірок на висівному диску та пасивним пристроєм для видалення зайвого насіння відцентровим способом для висіву насіння просапних культур з метою визначення оптимальних параметрів пристрою для видалення зайвого насіння з комірок висівного диска.

пневмомеханічний висівний апарат, висівний диск, периферійно розташована комірка, пристрій для видалення зайвого насіння

Е.В. Васильковская, канд. техн. наук, А.М. Васильковский, доц., канд. техн. наук

Кировоградский национальный технический университет

Определение оптимальных параметров устройства для удаления лишних семян из ячеек высевающего диска пневмомеханического аппарата

Проведены экспериментальные исследования нового пневмомеханического высевающего аппарата с периферийным расположением ячеек на высевающем диске и пассивным устройством для удаления лишних семян центробежным способом для высева пропашных культур с целью определения оптимальных параметров устройства для удаления лишних семян из ячеек высевающего диска.

пневмомеханический высевающий аппарат, высевающий диск, периферийно расположенная ячейка, устройство для удаления лишних семян

Постановка проблеми. Точний висів насіння – це необхідна умова отримання рівномірно розміщених по площі поля рослин, які, в цьому випадку, мають однакову площу живлення та розвиваються найкращим чином. Рівномірність висіву насіння, рівномірність його розташування в рядку є запорукою не тільки отримання дружніх сходів, а й в подальшому майбутнього врожаю.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. З початку ХХ сторіччя почався пошук конструкцій висівних апаратів для пунктирної сівби насіння.

© К.В. Васильковська, О.М. Васильковський, 2015

За конструктивним виконанням пневмомеханічні апарати можуть бути дисковими або барабанными, а за способом використання повітря їх розрізняють на вакуумні та апарати надлишкового тиску.

Перераховані висівні апарати мають недостатню дозуючу здатність, викликану обмеженістю колової швидкості висівного диска і випадковим неконтрольованим перерозподілом інтервалів між насінинами в борозні, внаслідок великої відносної швидкості насіння.

Постановка завдання. З метою підвищення ефективності точного висіву насіння на кафедрі сільськогосподарського машинобудування Кіровоградського національного технічного університету розроблено дослідний зразок секції нової пневмомеханічної сівалки для точного висіву насіння просапних культур [1-6].

Виклад основного матеріалу. Природне видалення зайвого насіння можна здійснити шляхом виготовлення в корпусі апарата пасивного пристрою, яким є спеціальна порожнина, до якої під дією відцентрових сил потрапляють зайві насінини і спрямовуються назад – до зони заповнення.

Концепція процесу видалення зайвого насіння зводиться до наступного: при обертанні висівного диска лопатка штовхає попереду декілька насінин, які притискаються до неї завдяки наявності сил тертя по поверхні корпусу. Крім того, частинки притискаються до корпусу завдяки переважанню відцентрової сили над силою ваги.

Теоретично встановлено [7, 8], що кут розкриття пасивного пристрою ε для забезпечення скидання зайвого насіння під дією відцентрових сил складає $\varepsilon \geq 0,35$ рад при значеннях розрідження у вакуумній камері $\Delta P = 0,1 \dots 0,5$ кПа, та колової швидкості комірок $V_k = 1,5$ м/с і $V_k = 2,5$ м/с.

Перевірку теоретичного значення проводили шляхом встановлення дуговидних вставок в порожнину пасивного пристрою з кутом розкриття $\varepsilon = 10^\circ$, $\varepsilon = 15^\circ$, $\varepsilon = 20^\circ$ (рис. 1, б, в, г) та $\varepsilon = 25^\circ$ без вставок (рис. 1, а), при параметрах зазначених вище.

Критерієм перевірки було обрано коефіцієнт заповнення комірок.



а



б



в



г

а – без вставки $\varepsilon = 25^\circ$; б, в, г – зі вставками відповідно (кут розкриття: 1 – $\varepsilon = 10^\circ$; 2 – $\varepsilon = 15^\circ$; 3 – $\varepsilon = 20^\circ$)

Рисунок 1 – Загальний вигляд пасивного пристрою для видалення зайвого насіння

Для врахування впливу можливої наявності двійників проводили відеозйомку процесу висіву насіння (рис. 2). Для цього використовували цифровий фотоапарат Casio Exilim «EX ZR-10», який закріплювали на штативі перед передньою стінкою установки. Прискорена серійна зйомка та зйомка швидкісного відео процесу висіву насіння відбувалась з частотою 30 кадрів за секунду, а відео – 240-480 кадрів за секунду, що надавало змогу оцінити на моніторі ноутбука рівномірність процесу скидання зайвого насіння при перегляді в збільшеному вигляді та сповільненому режимі, а також при розкадруванні.

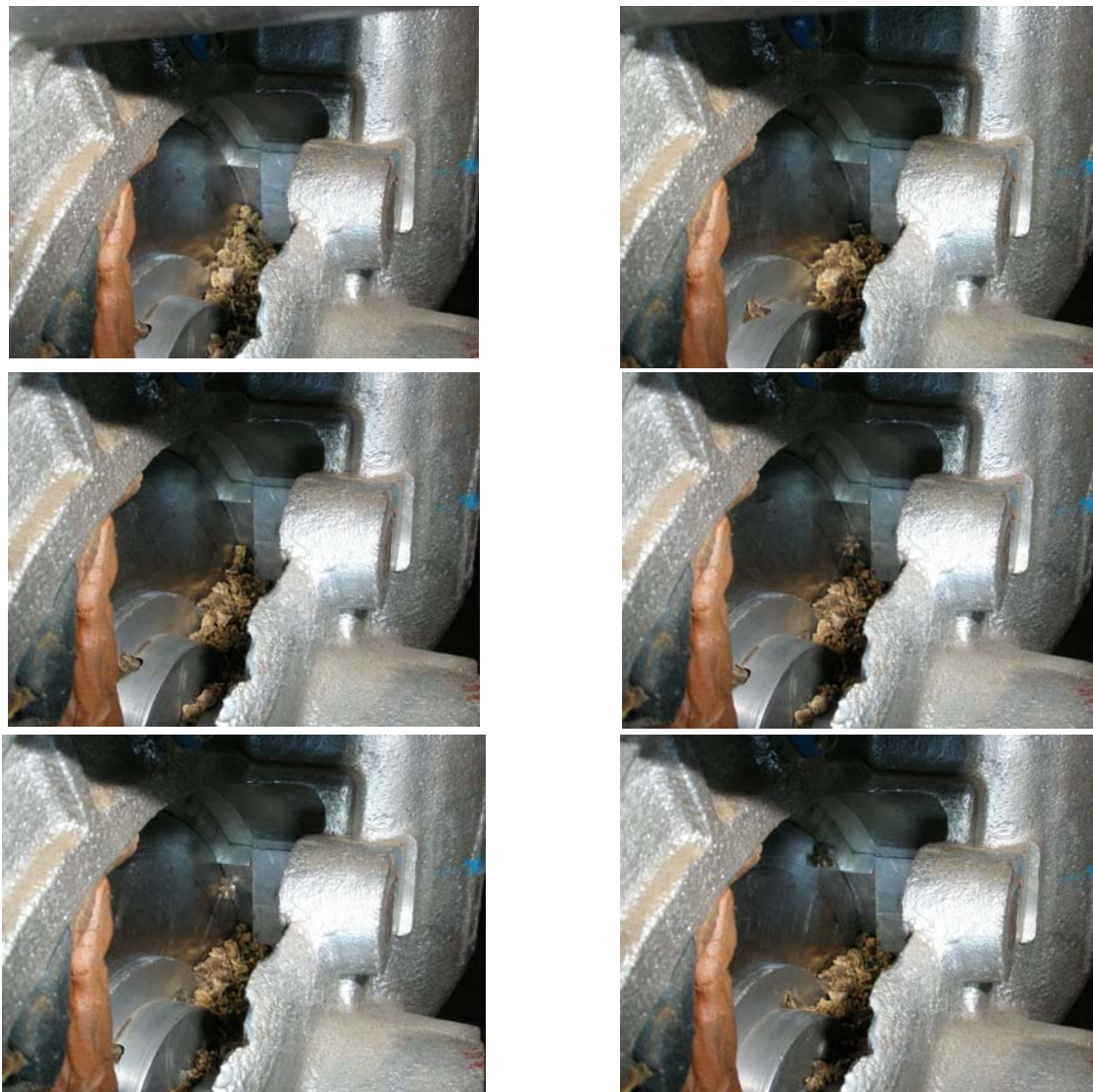


Рисунок 2 – Загальний вигляд процесу заповнення комірок

Побудовано залежності коефіцієнта заповнення комірок висівного диска від величини кута пасивного пристрою для видалення зайвого насіння (рис. 3, 4).

Як видно з графіків, стовідсоткове заповнення комірок висівного диска досягається шляхом застосування пасивного пристрою для видалення зайвого насіння з кутом розкриття $20...25^\circ$ при створенні тиску в системі близько $\Delta P=0,2...0,3$ кПа та коловій швидкості комірок висівного диска $V_k=2,0...2,5$ м/с.

Зниження колової швидкості комірок в межах $2...1,5$ м/с дозволяє зменшити потрібний вакуум в системі до величини $0,2...0,15$ кПа.

Отримано залежності коефіцієнта заповнення комірок висівного диска від величини кута порожнини.

Отже, найбільш ефективно заповнення комірок висівного диска насінням досягається шляхом застосування пасивного пристрою для видалення зайвого насіння з кутом розкриття порожнини $20 \dots 25^\circ$ при створенні тиску в системі $\Delta P = 0,2 \dots 0,3$ кПа та колової швидкості комірок $V_k = 2,0 \dots 2,5$ м/с, що цілком узгоджується з результатами теоретичних досліджень.

Таким чином, конструкція запропонованого пневмомеханічного висівного апарата із периферійним розташуванням комірок та пасивним пристроєм для видалення зайвого насіння дозволяє забезпечити колову швидкість комірок в межах $2 \dots 1,5$ м/с та дозволяє зменшити потрібний вакуум до величини $0,2 \dots 0,15$ кПа.

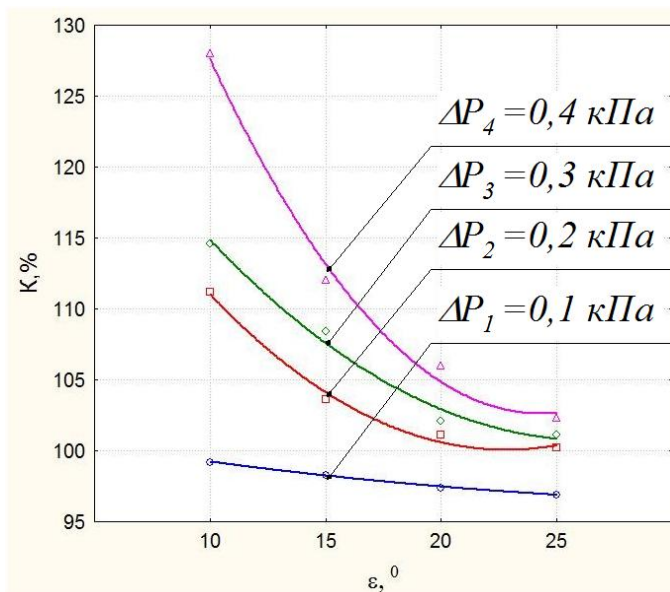


Рисунок 3 – Залежності коефіцієнта заповнення комірок висівного диска від величини кута розкриття пасивного пристрою для видалення зайвого насіння при коловій швидкості комірок $V_k = 1,5$ м/с

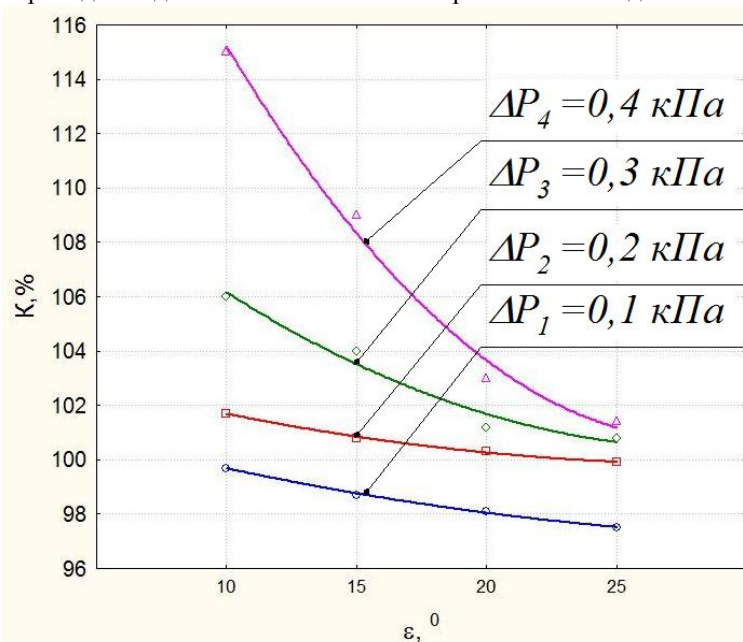


Рисунок 4 – Залежності коефіцієнта заповнення комірок висівного диска від величини кута розкриття пасивного пристрою для видалення зайвого насіння при коловій швидкості комірок $V_k = 2,5$ м/с

Список літератури

1. Пат. 77191 У Україна, МПК А01С 7/04 (2006.01). Пневмомеханічний висівний апарат [Текст] / М. М. Петренко, М. І. Васильковський, К. В. Васильковська. (Україна); заявник і патентотримач Кіровоградський національний технічний університет. – №u201203339; заявл. 20.03.2012; опубл. 11.02.2013, Бюл. № 3.
2. Петренко, М. М. Вдосконалення пневмомеханічного висівного апарата для точного висіву насіння просапних культур [Текст] / М. М. Петренко, М. І. Васильковський, К. В. Васильковська // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. Т. 1 «Механізація сільськогосподарського виробництва» – 2011.– Вип. 107. – С. 359–363.
3. Петренко, М. М. До обґрунтування параметрів пневмомеханічного висівного апарата с периферійним розташуванням комірок для точного висіву насіння просапних культур [Текст] / М. М. Петренко, М. І. Васильковський, К. В. Васильковська // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – 2011. – Вип. 41, Ч. 1. – С. 288–293.
4. Васильковська, К. В. Вплив форми і типу комірок висівного диска на якість дозування насіння [Текст] / К.В. Васильковська, О.М. Васильковський // Східноєвропейський журнал новітніх технологій. Vol 6, No 7 (72) (2014) – Харків: Технологічний центр, 2014. С. 33-36.
5. Vasytkovs'ka, K. Characterization of peripherally based cells of the pneumatic-mechanical seeding machine of accurate sowing for tilled crops [Текст] / Katerina Vasytkovs'ka, Olexyi Vasytkovs'kyu, Sergiy Leschenko, Dmitro Petrenko // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 44 – Кіровоград: КНТУ, 2014. – С. 3-6.
6. Васильковська, К. В. Польові випробування секції пневмомеханічної сівалки з запропонованим висівним апаратом [Текст] / К.В. Васильковська, О.М. Васильковський, С.М. Мороз // Збірник наукових праць Луцького національного технічного університету: Сільськогосподарські машини, ЛНТУ, Луцьк. - 2015. - Вип. 30. – С. 10-15.
7. Васильковская, Е. Обоснование конструктивной схемы пневмомеханического высевающего аппарата для точного высева семян пропашных культур [Текст] / Е. Васильковская, Н. Петренко, С. Гончарова // MOTROL. COMMISSION OF MOTORIZATION AND ENERGETICS IN AGRICULTURE – Lublin , Vol.15, No. 2, - 2013, 99–105.
8. Васильковська, К. В. Аналіз роботи пневмомеханічного висівного апарата з периферійним розташуванням комірок [Текст] / К. В. Васильковська, М. М. Петренко, С. Я. Гончарова // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 43, Ч. 1 – Кіровоград: КНТУ, 2013. – С. 18-22.

Katherina Vasilkovska, Olexyi Vasilkovskiy

Kirovograd National Technical University

Determining the optimal parameters trunk seeds from seed cells drive pneumomechanical device

A new design of a new pneumatic sowing device with a peripheral cells to seed and passive ROM device to remove excess seeds centrifugal method for seeding row crops. Experimental studies proposed sowing device to determine the optimal parameters Trunk seeds from seed cells disk. To take into account the impact of the possible presence of twins spent filming seeding process, so that the process to evaluate the uniformity of dumping excess seeds when viewed in a larger size and slow motion, as well as storyboard. The dependencies fill factor seed disc cells from the angle cavity. One-seed filling the seed disc cells is achieved through the use of cavity-angle 20 ... 25 ° when creating a system pressure of about 0,3 kPa and the rotational speed of cells within 2,5 m / s. Thus, the design of the proposed pneumatic sowing device from peripheral cells and a passive device to remove excess seeds allows for angular velocity of cells within 2 ... 1,5 m / s and can reduce the need to vacuum magnitude 0,2 ... 0,15 kPa.

pneumomechanical seeding machine seed disc is peripheral cell, trunk seeds

Одержано 25.04.15

УДК 631.352

О.Ф. Говоров, ст. наук. співроб., канд. техн. наук*Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» смт. Глеваха, Aleksandr_Govorov@ukr.net*

Захист ножів ротаційних різальних апаратів від співударяння з предметами високої твердості

Приведено аналіз причин пошкодження ножів ротаційних різальних апаратів косарок та подрібнювачів-розподільвачів рослин і їх решток, а також пристроїв, які захищають ножі таких різальних апаратів від співударяння з предметами високої твердості. Такі пристрої автор розділив на два типи – для захисту співударяння ножів з такими предметами великих розмірів шляхом відведення різальних апаратів від цих предметів та співударяння з такими предметами малих розмірів, які відкидаються від ножів, указав переваги і недоліки кожного типу.

ротаційний апарат, ніж, щуп, електричний привід, трипозиційний клапан, гідроциліндр, предмет підвищеної твердості

А.Ф. Говоров, ст. научн. сотр., канд. техн. наук*Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» пгт. Глеваха***Защита ножей ротационной режущих аппаратов от соударения с предметами высокой твердости**

В статье приведен анализ причин повреждения ножей ротационных режущих аппаратов косилок и измельчителей-распределителей растений и их остатков, а также устройств, защищающих ножи таких режущих аппаратов от соударения с предметами высокой твердости. Такие устройства автор разделил на два типа – для защиты соударения ножей с такими предметами больших размеров путем отвода режущих аппаратов от этих предметов и соударения с такими предметами малых размеров, которые отбрасываются от ножей.

ротационный аппарат, нож, щуп, электрический привод, трехпозиционный клапан, гидроцилиндр, предмет повышенной твердости

Постановка проблеми. Характерною особливістю ротаційних різальних апаратів є висока (до 80 м/с) колова швидкість ножів, яка необхідна для забезпечення безпідпiрного зрізування рослин. Тому при взаємодії ножа з предметами високої твердості (куски металу полонаних деталей сільськогосподарської техніки, камінці, куски бетону і деревини тощо) відбувається руйнування навіть зміцненої термохімічними способами різальної кромки, тобто відбувається вищерблювання ножа і він, в кращому випадку, потребує перезаточування, а в гіршому – заміни.

Тому науковці і конструктори працюють над унеможливленням зустрічі ножів ротаційного різального апарата з такими предметами, або хоча б мінімізації ушкодження при такому співударянні. Однак в результатах таких досліджень, опублікованих в різних зарубіжних виданнях, відсутній їх аналіз і систематизація. Тому вони практично недоступні творцям нової техніки.

Постановка завдання. Аналіз і систематизація засобів захисту ножів ротаційних різальних апаратів від співударяння з предметами високої твердості.

Виклад основного матеріалу. Німецька фірма „Busatis-Werke GmbH” [1] розробила пристрій для унеможливлення співударяння ножів з такими предметами

великих розмірів. Для цього спереду різального апарата, за напрямком руху машини, на всю ширину його захвату встановлений щуп, який важелями з'єднаний з електромагнітним приводом трипозиційного клапана включення гідроциліндра відхилення різального апарата від напрямку руху агрегату.

При роботі машини з таким пристроєм його щуп рухається попереду різального апарата в траві чи стерні. Якщо щуп зустрічається зі стороннім предметом то він зупиняється, а агрегат продовжує рух і відбувається переміщення щупа по відношенню агрегату. Це переміщення через систему важелів передається на електромагнітний привід, який необхідним чином переключає трипозиційний клапан. В результаті цього масло від гідросистеми трактора подається в гідроциліндр і різальний апарат під дією гідроциліндра відхиляється від напрямку руху агрегату назад до тих пір, поки на щуп не перестане діяти зусилля з боку стороннього предмету.

Після завершення дії цього зусилля на щуп під дією зворотної пружини намагається повернутись в початкове положення, але його утримує бокова частина стороннього предмета, з якою контактує щуп.

Тоді, як повністю припиниться контакт щупа зі стороннім предметом він пружиною повертається в початкове положення і електропривід трипозиційного клапан переключає подачу масла в зворотному напрямку і різальний апарат також гідроциліндром встановлюється в початкове положення.

В результаті цього різальний апарат проходить на невеликій відстані від стороннього предмету і навколо нього залишається мінімально можлива кількість нескошених стебел рослин, а ножі різального апарата не пошкоджуються.

Англійська фірма „Winter meet” [2] розробила пристрій аналогічного призначення. В цьому пристрої також спереду різального апарата по усій ширині його захвату встановлений щуп, який закріплений на двох пальцях, розміщених по його кінцях. Ці пальці встановлені з можливістю ковзання у циліндричних направляючих і обладнані пружинами для переміщення щупа вперед за напрямком руху машини. Під торцями пальців закріплення щупа встановлені контактні датчики, які провідниками з'єднані з електромагнітним приводом клапан керування гідроциліндром підйому машини в транспортне положення.

При роботі машини щуп рухається попереду різального апарата в рослинах чи їх рештках, а зусилля пружин пальців його закріплення розраховані таким чином, що щуп долає опір цих стебел без переміщення. При зустрічі щупа зі стороннім предметом великих розмірів під його тиском щуп зміщується до різального апарата і пальці його закріплення включають один чи разом обидва контактні датчики. При цьому спрацьовує електромагнітний привід клапана і масло від гідросистеми трактора подається в гідроциліндр підйому машини і різальний апарат піднімається на 0,5 м від поверхні ґрунту, а потім гідроциліндр знову переводиться в плаваючу позицію, машина опускається в робоче положення і робочий процес продовжується. В результаті цього в зоні розміщення стороннього предмета залишається смужка нескошених стебел шириною 0,55-0,60 м.

Перевага цього пристрою перед попереднім полягає в тому, що його можна використовувати при будь-якому розміщенні машини по відношенню трактора – фронтальному, боковому та задньому і він конструкційно значно простіший, оскільки потребує мінімальної зміни машини. А попередній пристрій може використовуватись тільки при задньому розміщенні машини, оскільки необхідне вільне місце для відхилення різального апарата назад. Крім того, різальний апарат необхідно з'єднувати з рамою машини вертикальним шарніром і обладнувати додатковим гідроциліндром

для переведення різального апарата в початкове положення після проходження стороннього предмета.

Потрібно також відмітити, що обидва ці пристрої захищають різальні апарати від сторонніх предметів великих розмірів, а сінокоси і поля в переважній більшості засмічені такими предметами невеликих розмірів.

Тому розроблені також пристрої для захисту різальних апаратів від сторонніх предметів невеликих розмірів.

Австрійські дослідники [3] цю проблему вирішили шляхом закріплення до рами машини спеціального відбивача, який при її роботі рухається попереду різального апарата на висоті від поверхні ґрунту рівній висоті зрізу і відкидає сторонні предмети від його ножів.

Недоліками цього пристрою є недостатня надійність його роботи при великій густоті рослин та високий опір переміщенню цього відбивача, що обумовлює підвищення енергоємності роботи машини.

Значно краще цю проблему вирішила американська фірма „Deere & Co” [4], яка подібними екранами захистила кожного ножа індивідуально.

Це забезпечує підвищення ефективності дії запобіжного пристрою і зниженню енергоємності машини.

Іншим способом проблему запобігання пошкодженню ножів вирішила німецька фірма „Maschinenfabrik G.m.b.H” [5]. Вона встановила ножі різального апарата в пружинних опорах.

При роботі різального апарата з таким пристроєм, під час співударяння його ножа зі стороннім предметом ніж спочатку зупиняється біля цього предмета, а потім відхиляється назад, ковзаючи по ньому і стискаючи пружину, а після його проходження пружина встановлює ніж у початкове положення.

Перевагою такого пристрою у порівнянні з звичайним шарнірно закріпленим ножем є те, що його маса значно менша, а перерізування стебел здійснюється за рахунок сумарної енергії ножа і пружини, тому і сила співударяння ножа з предметом високої твердості буде меншою.

Вищезгадана американська фірма „Deere & Co” розробила і інший, більш оригінальний спосіб захисту ножів [6]. Вона запропонувала в різальному апараті дублювати роботу ножів. Для цього біля основних ножів встановлюють дублюючі ножі на трохи меншій відстані від поверхні ґрунту.

Тому при роботі такого різального апарата його основні ножі рухаються попереду, скошують рослини і відкидають у бік скошеного поля невеликі сторонні предмети. При цьому різальні кромки основних ножів пошкоджуються і притупляються, в результаті чого неякісно (рвані зрізи) скошують рослини. Але цей недолік усувають дублюючі ножі, які працюють під захистом основних ножів, а тому їх різальні кромки не пошкоджуються і не притупляються і вони коректують (покращують) зріз рослин.

Аналіз вищенаведених пристроїв для захисту ножів ротаційних різальних апаратів від співударяння з предметами високої твердості показує, що засоби групового захисту ножів [1, 2, 3] значно ускладнюють конструкції машин, збільшують їх масу і енергоємність їх роботи.

Щодо пристроїв для захисту ротаційних ножів від дрібних предметів високою твердості [4, 5, 6], то вони в меншій степені ускладнюють конструкцію машин, менше впливають на їх масу і енергоємність роботи, але вони менш надійно захищають ножі різальних апаратів від пошкодження.

Тому ротаційні різальні апарати з такими пристроями для захисту ножів використовуються лише на полях інтенсивно засмічених предметами високої твердості, наприклад, на кам'янистих ґрунтах.

Висновки:

1. Ножі ротаційних різальних апаратів для забезпечення безпідпирного скошування усіх рослин повинні мати колову швидкість близьку до 80 м/с, тому при їх співударянні з предметами високої твердості відбувається пошкодження різальної кромки і втрати роботоздатності ножа.

2. В західних країнах розробляються пристрої для групового захисту ножів від їх співударяння з великими предметами високої твердості шляхом відведення різального апарата від таких предметів, а також пристрої для захисту ножів від співударяння з аналогічними предметів малих розмірів шляхом відкидання таких предметів від ножів.

3. Такі пристрої ускладнюють машини та збільшують їх масу і енергоємність роботи і тому поки що машини з такими пристроями використовуються лише на полях інтенсивно засмічені предметами підвищеної твердості, наприклад, на кам'янистих ґрунтах.

Список літератури

1. Ausweicheinrichtung für Seifen-Mähschneidwerk: Заявка 3638076 ФРГ, МКИ⁴ А 01D 34/06, А 01D 34/40 /Hübing Holger; Busatis-Werke GmbH u. Co. KG. – № 3638076.8; Заявл. 07.11.86; Опубл. 11.05.88.
2. Managing forage harvester overloads from the tractor seat. Fleming Philip F. «Winter Meet. Amer. Soc. Agr. Eng.», 1985 № 1632, 1-9.
3. Scheibenmähwerk: Пат. 411515 Австрія, МПК⁷ А 01D 34/82, А 01D 34/70. Prillinger Karl. № А770/2002; Заявл. 21.05.2002; Опубл. 25.02.2004.
4. Rotary mower cutter disc having self-cleaning knife mount shield: Пат. 6311463 США, МПК⁷ А 01D 75/30. Deere & Co., Mellin Michael Joseph. № 09/525638; Заявл. 14.03.2000; Опубл. 06.11.2001; НПК 56/6.
5. Zespol tnacy maszyny rolniczej: Пат. 170181 Польща, МКИ⁶ А 01D 34/00 / Fiszler Andrzej; Akademia Rolnicza, Poznan. PL. – № 298576; Заявл. 14.4.93; Опубл. 29.11.96.
6. Shredding attachment for cutter: Пат. 5673545 США, МПК⁶ А 01D 34/63 / Friesen Henry, Deere & Co. – № 746831; Заявл. 12.11.96; Опубл. 7.10.97; НПК 56-255.

Govorov Oleksandr

National scientific centre "Institute for agricultural engineering and electrification"

Protection of rotary knife cutting machines from collisions with objects of high hardness

Analysis remedies rotary knife cutting machines from collisions with objects of high hardness.

The analysis divided the author remedies knives into two types - a device for group and individual protection, established the advantages and disadvantages of each type, as well as individual devices of both types, and also noted that the establishment of the machines of group remedies knives significantly hampers their design and increase the cost, as well as to establish the conditions under which it is advisable to use protective equipment knives.

Remedies knives should be used extensively in the fields of high hardness clogged objects, in particular for rocky soils.

rotary apparatus, chopper, wand, electric drive, three position valve, object heightened hardness

Одержано 28.04.15

УДК 631.331.5

В.П. Горобей, канд. техн. наук*Науково-виробниче об'єднання «Селта» Національного наукового центру «Інститут механізації і електрифікації сільського господарства» НААН, bastion.3237@gmail.com***М.А. Литвиненко, д-р с.-г. наук, академік НААН***Селекційно-генетичний інститут – національний центр насінництва та сортовивчення НААН*

Модернізація сівалки для селекційно-насінницької сівби зернових і зернобобових культур

Узагальнені результати досліджень щодо застосування енергозберігаючих технологій в виробництві зернових та в дослідницькій роботі. Розглянуто спосіб сівби на селекційно-насінницьких ділянках за допомогою універсального сошникового вузла. Наведено схему модернізації конструкції найбільш поширеної в селекційно-насінницькій практиці сівалки типу СН-16, та основні переваги, які дозволяють розширити її технологічні та якісні можливості.

технологія, селекція, насінництво, сівалка, конструкція, параметри, зубчастий ніж, пружинна підвіска, сошниковий вузол

В.П. Горобей, канд. техн. наук*Научно-производственное объединение «Селта» Национального научного центра «Институт механизации и электрификации сельского хозяйства» НААН***М.А. Литвиненко, д-р с.-х. наук, академик НААН***Селекционно-генетический институт- национальный центр семеноведения и сортоизучения НААН***Модернизация сеялки для селекционно-семеноводческих посевов зерновых и зернобобовых культур**

Обобщены результаты исследований относительно применения энергосберегающих технологий в производстве зерновых и в исследовательской работе. Рассмотрено способ высева на селекционных участках при помощи универсального сошникового узла. Приведены схема модернизации конструкции наиболее распространенной в селекционно-семеноводческой практике сеялки типа СН-16 и основные преимущества, которые позволяют расширить ее технологические и качественные возможности

технология, селекция, семеноводство, сеялка, конструкция, параметры, зубчатый нож, пружинная подвеска, сошниковый узел

Постановка проблеми. Грунти для вирощування зернових гостро потребують відновлення родючості. Скорочення тваринництва не дозволяє на ці цілі використовувати органічні добрива. Доведено, що мульчування ґрунтового шару подрібненою соломою з обов'язковим внесенням достатньої кількості азотних добрив не тільки відновлює родючість, але і зберігає вологу. Очевидно, що при вирощуванні зернових і зернобобових культур повинні розумно поєднуватись прийоми традиційної і мінімальної обробки ґрунту.

Задачі підвищення врожайності зернових і зернобобових культур з застосуванням енергозберігаючих технологій неможливо вирішувати без проведення агротехнічних дослідів в різноманітних кліматичних зонах. Прийняті в господарствах технології вирощування зернових потребують і відповідних технічних засобів. Вибір сівалки для виробничих умов з широкого спектру представлених сьогодні на вітчизняному ринку спеціальних сівалок, в основному імпортного виробництва, неможливий без інформації щодо її ефективності насамперед по ключовому елементу

– сошниковій групі в конкретних ґрунтово-кліматичних умовах. Для відпрацювання технологій вирощування зернових та розробки відповідних рекомендацій необхідні конструкції селекційно-насінницьких сівалок зі спеціальними сошниковими робочими органами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Урожайність зернових на богарних землях на півдні України і в Криму останні два роки не перевищує 20ц/га із-за засух і вітрової ерозії. Коефіцієнт зволоження в південному Степу найнижчий в Україні і складає 0,4[1]. Історія розвитку землеробства в посушливих районах знає ряд цікавих рішень по безполицевому обробітку ґрунту. М.І. Фольмер відзначає оригінальні для кінця минулого століття пропозиції І.Є. Овсінського, який широко пропагував на півдні України обробіток ґрунту на глибину 5 см без обертання скиби. Однак цей напрямок стримувався із-за відсутності сівалок, здатних сіяти по стерні [2]. Практичні роботи по накопиченню вологи, відновленню родючості ґрунту при мінімізації його обробки вели академіки М.М.Тулайков, Т.С.Мальцев, А.І. Бараєв. Ґрунтозахисні технології безплужного виробництва сільськогосподарських культур дозволяють захищати ґрунт від водної і вітрової ерозій, збільшувати збори сільськогосподарської продукції і в той же час підвищувати продуктивність праці на 38, знизити затрати пального на 37 і виробничі затрати на обробку ґрунту - на 24% [3].

Головна задача технології виробництва сільськогосподарських культур-створення оптимальних умов для росту і розвитку культурних рослин з метою отримання максимального врожаю. Всі роботи, що виконуються за допомогою сільськогосподарської техніки, знаходяться в тісному взаємозв'язку з біологічними процесами, що протікають в рослинах і середовищі, що їх оточує. Отже, одна із основних умов технологічного процесу – строге виконання агротехнічних вимог виробництва сільськогосподарських культур [4].

Стерня і мульча із соломи зернових колосових в кількості більше 1,5 т/га формують вітростійку поверхність. Слід враховувати, що за осінньо-зимній період може мінералізуватися до 5—60% поживних залишків. Тому на ерозійно небезпечній ділянці з осені під час збору врожаю необхідно залишити не менше 2,5 т/га соломи [5]. Як показали дослідження, протидефляційну здатність слабозвинених сходів зернових культур можна підвищити мульчуванням ґрунту подрібненими рослинними залишками крупностебельних просапних попередників. Для збереження крупностебельних залишків на поверхні поля необхідно замість відвальної оранки застосовувати безвідвальні способи обробки ґрунту, забезпечуючи потрібне подрібнення стебел і мінімальну заробку їх в ґрунт [6].

Як свідчить проведений аналіз конструкцій сошникових груп зернових сівалок, кожний тип призначений для посіву зерна після якісного передпосівного обробітку, або ж після мінімального обробітку, або для безпосередньої сівби в непідготовлений ґрунт. Узагальнюючий параметр по якому можна досить легко та ефективно оцінити сівалку та встановити, при якій системі обробітку її використання буде ефективним – це конструкційно задане зусилля, з яким сошник притискається до поверхні ґрунту. Так, наприклад, в попередньо якісно оброблений ґрунт сівалки СЗ-3,6 (5,4), ВАТ «Червона зірка» забезпечують притискне зусилля дводискового сошника 25 кгс, сівалки Solitair фірми Lemken до 50 кгс. В мінімально оброблений ґрунт сівалки Cirrus фірми Amazone – 50 кгс, сівалки НТ фірми Great Plains 40– 80 кгс. В необроблений ґрунт притискне зусилля долотоподібних сошників сівалок Seed Hawk фірми Vederstad 50 – 150 кгс, сівалки Seed Master фірми Sulki до 130 кгс, анкерних сошників сівалок Sprinter ST фірми Horsh до 200 кгс [7].

Конструкції сошників, що використовуються в селекційних сівалках здебільшого беруть із спеціальних сівалок для виробничих призначень [8].

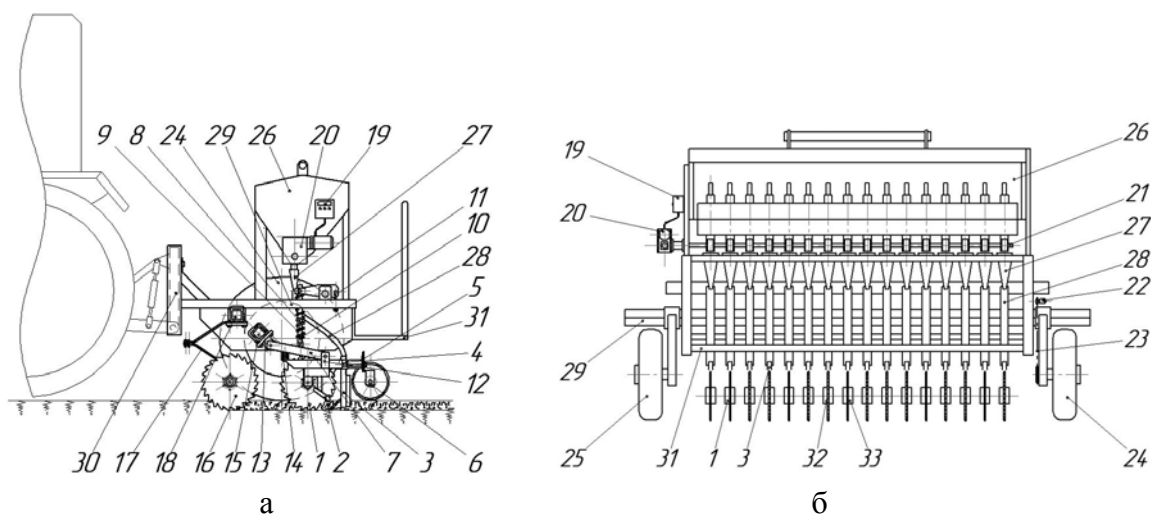
Для визначення максимально допустимого ущільнення ґрунту запропоновано його визначення з урахуванням польової вологості та показано, що при нормальному і недостатньому зволоженні дерново-підзолистого середньо глинистого ґрунту оптимальна об'ємна маса орного шару для ячменю рівнялась $1,2-1,25 \text{ г/см}^3$, а в умовах підвищеного зволоження $1,1-1,2 \text{ г/см}^3$ [9].

Мета досліджень. Розширення технологічних можливостей селекційно-насінницьких сівалок, підвищення їх ефективності модернізацією конструкції висівного апарату шляхом застосування універсального сошникового вузла з більш високими показниками по висіву насіння на ділянках за енергозберігаючими технологіями сівби за системами mini-till, strip-till і no-till.

Методи досліджень. У дослідженнях було використано аналітичний, статистичний методи, моделювання та емпіричного дослідження вузлів машин і технологічних операцій.

Результати досліджень. Поставлена задача вирішується тим, що сівалка навісна селекційно-насінницька, яка містить раму, опорно-привідні колеса, висівний апарат і укомплектовується в залежності від вибраної технології відповідно спеціальними сошниками розширює технологічні можливості за рахунок застосування універсального сошникового вузла, попереду якого встановлений зубчастий ніж, закріплений на порожнистій квадратній балці, при цьому зубчастий ніж, що розрізає ґрунт, з'єднаний з порожнистою квадратною балкою сівалки за допомогою пластинчастих пружинних навісок, а сошниковий вузол забезпечений важільно-пружинним механізмом, змонтованим між корпусом сошника і зубчастим диском з можливістю забезпечення рівної величини заглиблення диска. Технічні рішення, насамперед, дозволяють здійснювати висів в мінімально оброблений мульчований рослинними залишками ґрунт завдяки використанню віброефекту для зменшення натискного зусилля для висіву насіння на задану глибину та тягового опору сівалки. Крім того, ніж, що розрізає має 4 спеціальні зуби на площину входження в ґрунт на глибину 0.08м [10].

Селекційна сівалка для енергозберігаючих технологій представлена на кресленнях, рисунок 1, а і б.



1-зубчастий диск;2-чистик;3-сошник;4-корпус сошника;5,12,13-кронштейн;6-коток;7-важіль;8-штанга;
9-пружина;10,11-регулятор;14-пружинний механізм;15-балка;16-зубчастий ніж;17-підвіска;18,
29-рама;19-МБУ;20-мотор-редуктор; 21- вал;22-датчик;23-ланцюгова передача;24-привідне колесо;
25-опорне колесо;26-бункер; 27-воронка;28-насіннепровід;30-присрій зчеплення;31,32-сошникові вузли
а- вигляд збоку; б- вигляд ззаду

Рисунок 1 – Схема селекційної сівалки для енергозберігаючих технологій

Сошниковий вузол сівалки включає зубчастий диск, що розрізає 1, забезпечений пластиною-чистиком 2, анкерний чи стріловидний сошник 3, на задній стінці корпусу сошника 4, встановлений кронштейн 5 прикочуючого котка 6 по пазам вертикальних планок якого за допомогою фіксатора регулюється глибина ходу сошникового вузла. У верхній частині важеля шарнірного механізму 7 на штанзі 8 закріплена натискна пружина 9 з індивідуальним 10 і загальним 11 регуляторами притискного зусилля. До корпусу 4 сошника 3 кронштейном 12 прикріплений важіль 7 шарнірного механізму, який з'єднаний з кронштейном 13 кріплення сошника, а між корпусом 4 сошника і важелем 7 шарнірного механізму встановлений пружинний механізм вібраційних автоколивань 14. Сошниковий вузол кронштейном кріплення сошника 13 прикріплений до балки 15 рами сівалки. Попереду кожного сошникового вузла, встановлені зубчасті ножі 16, що розрізають ґрунт, на пластинчато-пружинних підвісках 17 на порожнистій квадратній балці 18 рами сівалки. При цьому диски, що розрізають 1, анкерні чи стрілоподібні сошники 3 сошникового вузла розташовані на осі прорізу ґрунту, що створюють зубчасті ножі 16.

Зубчастий диск 1 сошникового вузла, встановлений під кутом 4-6 градусів до напрямку руху і з'єднаний з механізмом автоколивань 14.

Сівалка включає систему електронного управління висівом насіння з живленням від електромережі трактора з мікропроцесорним блоком управління (МБУ) 19 і мотор-редуктором 20, вал з катушковими висівними апаратами 21, датчик пройденого шляху 22, ланцюгову передачу 23 швидкості обертання опорно-приводного колеса 24, опорне колесо 25, бункер 26, воронку 27, насіннепровід 28, раму 29, пристрій автоматичного зчеплення 30 [11] та універсальні сошникові вузли, які розташовані в два ряди: передні 31 і задні 32.

Сівалка працює слідуєчим чином: навісна селекційно-насінницька сівалка за допомогою замка автоматичного зчеплення 30 і гідравлічної системи трактора встановлюється на стартову позицію. На клавіатурі МБУ 19 задається необхідне передаточне число, що індикується на табло МБУ для виконання приводу мотор-редуктором 20 валу з катушковими висівними апаратами 21, робочий режим якого підтримується автоматично при зміні сигналу пройденого шляху від датчика 22, що встановлений на зірочці ланцюгової передачі 23 від опорно-приводного колеса 24. Зерно з бункера сівалки 26 поступає на катушкові висівні апарати і через воронку 27 і насіннепроводи 28 в анкерні (для технологій без попереднього обробки ґрунту) чи стріловидні (для технологій сівби в ґрунт з оранкою і з мінімальною обробкою ґрунту) сошники 3 сошникових вузлів, розташованих в два ряди. Зерно висівається в залежності від вибраної технології в підготовлений ґрунт за традиційною технологією, в ґрунт з мінімальним обробіткою і без попереднього обробітку на задану глибину на щільне насінневе ложе і прикочується котком завдяки тому, що на спеціальній балці сівалки 18 попереду сошникових вузлів на пластинчато-пружинній підвісці 17 встановлені зубчасті ножі, що розрізають, а в прорізі ґрунту, що вони створюють, направляються зубчасті диски 1 сошникових вузлів з анкерними 3 чи стріловидними сошниками. Зубчасті диски 1 встановлені під кутом 4-6 градусів відносно напрямку руху, що зменшує опірність ґрунту при впровадженні диску на глибину обробки і забезпечені чистиками 2, що прикріплені до корпусу сошникового вузла 4. Зубчасті ножі, що розрізають зменшують тяговий опір та притискне зусилля відносно поширених для застосування в сівалках для енергоощадних технологій турбодисків, рифлених та хвилястих дисків [7], з більшою площею входження в ґрунт. Притискне зусилля зубчастих ножів, що розрізають 16 стабільне за рахунок використання пластинчатих пружинних підвісок 17 і регулюється їх параметрами і технічними характеристиками трактора для агрегування сівалки. Притискне зусилля сошникового вузла регулюється важільно-пружинним механізмом

8,9,10,11 з індивідуальним 10 і загальним 11 регуляторами притискного зусилля і залежить від діаметра і довжини пружини 9, технічних характеристик трактора для агрегування сівалки.

Використання послідовно розташованих зубчастого ножа, що розрізає ґрунт 16 та зубчастого диску, 1 сошникового вузла, встановленого під кутом 4-6 градусів, пластинчато-пружинних підвісок 17 для розрізаючих ножів, важільно-пружинного механізму 8,9,10,11 для сошникових вузлів та пружинного механізму автоколивань 14 дозволяють за рахунок віброефекту зменшувати енергоємність сівалки при сівбі за енергозберігаючими технологіями.

Глибина ходу сошника регулюється за допомогою механізму регулювання положення прикочуючого котка 5 по пазам вертикальних планок встановленого на кронштейні на задньому торці корпусу 4 сошникового вузла.

Модернізована сівалка, що вище приведена у сукупності ознак знаходиться в причинно-наслідковому зв'язку з досягнутим технічним результатом[12], а саме, установка на навісній селекційно-насіницькій сівалці, що приводиться в робоче положення гідравлічною системою трактора, з розподілом частини його маси, при необхідності, на притискне зусилля зубчастих ножів, що розрізають, закріплених на пластинчатих пружинних підвісках на окремій балці попереду сошникових вузлів, що встановлені послідовно по лінії прорізу ґрунту, з зубчастим диском, встановленим під кутом 4-6 градусів, до напрямку руху, сошником, що забезпечує висів на тверде ґрунтове ложе і прикочуючим котком з механізмом регулювання глибини ходу сошника забезпечує висів насіння відповідно до агротехнологічних вимог в оброблений оранкою ґрунт, мінімально оброблений ґрунт і в ґрунт без попередньої обробки, знижує тяговий опір сошникового вузла, виключає накопичення рослинних решток на лобовій поверхні сошникової стійки.

Таким чином, підвищена ступінь уніфікації сівалок навісних селекційно-насіницьких, що забезпечує можливість додаткового використання їх як посівних машин прямого посіву при здійсненні технологій мінімальної і нульової обробки ґрунту без кардинальної зміни базової конструкції сівалки.

Конструкція селекційно-насіницької сівалки СН-16 з переобладнаним приводом висіваючого апарату котушкового типу з механічного на електропривід [11] впроваджена в ННЦ «Інститут землеробства» НААН.

Підтвердження працездатності, дотримання агротехнічних вимог, визначення тягового опору та впливу на нього віброефекту, від застосованих при дослідженнях запропонованих технічних рішень, здійснювалось на експериментальних зразках сошникових вузлів з зубчастими дисками, що розрізають, на спеціально підготовленому обладнанні в лабораторних умовах ґрунтового каналу ПФ НУБІП «КАТУ» (с.Аграрне, м.Сімферополь) та польовими випробуваннями в господарчих умовах ТОВ «Плодородие» в с.П'ятихатки, Красногвардійського району АР Крим.

Сошниковий вузол з зубчастим розрізаючим диском і анкером стало працював на обробленому і необробленому полях з вмістом рослинних решток в поверхневому шарі до 480 г/м^2 . Рослинні залишки на дні борозенки, що створювалась були відсутніми. Ширина смуги деформованого ґрунту не перевищувала 0,025 м.

Твердість ґрунту визначалась за допомогою твердоміру Ю.Ю.Ревякіна в польових умовах. В процесі роботи приладу по обробленому ґрунті встановлювали плунжер діаметром 0,02м, на необробленому - діаметром 0,016 м. Дії штока підвергався тільки верхній горизонт в інтервалі 0,08м, що визначався глибиною заробки насіння. Повторність вимірювань на фоні -3. Вологість ґрунту розраховувалась за стандартною методикою і не перевищувала в першому випадку 7-8%, а в другому 10-15 %. Діаграми, отримані при визначенні твердості ґрунту підтверджують раніше зроблене припущення

про практично лінійний характер наростання напруги в міру вдавлювання штока. Отримані значення твердості при поверхневій обробці – 0,85 МПа, по стерні – 1,7 МПа. Шарнірне кріплення рамки опорно-прикочуючого пристрою сошникового вузла знижує вантаж на деталі механізму підйому, зменшує габаритні розміри сошникового вузла.

Висновки. Використання послідовно розташованих зубчастого ножа, що розрізає та сошникового вузла з зубчастим диском, анкерним чи стріловидним сошником, а також пластинчато-пружинних підвісок для ножів, пружинно-натискного механізму для сошникових вузлів та пружинного механізму автоколивань дозволяють за рахунок віброефекту зменшувати енергоємність сівалки при сівбі за енергозберігаючими технологіями. Вказані технічні рішення можуть бути використані в сівалці навісній селекційно-насінницькій для посіву в необроблений і мінімально оброблений ґрунт (mini-till, no-till і strip-till).

Технічні рішення обумовлюють сумісність пристосування з зубчастими ножами, що розрізають ґрунт, на додатково встановленій порожнистій квадратній балці рами сівалки та сошникових вузлів з зубчастими дисками, сошниками та котками, що прикочують з базовою, частково підсиленою рамою сівалки без зміни її основної конструкції.

Список літератури

1. Бучинский И.Е. Засухи, суховеи пыльные бури на Украине и борьба с ними / И.Е. Бучинский. – К.: «Урожай», 1970. – 236 с.
2. Краснощеков Н.В. Механика почвозащитного земледелия / Н.В. Краснощеков. – Новосибирск: Наука, 1984. – 201 с.
3. Шикула Н.К. Почвозащитная система земледелия: справ.кн / Н.К. Шикула. – Х.: Прапор, 1987. – 200 с.
4. Судаченко В.Г. Организация и технология возделывания сельскохозяйственных культур в южно-степной зоне СССР / В.Г. Судаченко, Ю.П. Буряков, А.Т. Кравчук, П.А. Щербина. – М.: «Высшая школа», 1970. – 272 с.
5. Справочник по почвозащитному земледелию / под ред. И.Н.Безручко, Л.Я.Мильчевской. – К.: Урожай. – 1990. – 280с.
6. Спирин А.П. Противодефляционная обработка почвы / А.П. Спирин. – М.: Издательство ВИМ, 2006. – 248 с.
7. Посібник. Машина для обробітку ґрунту та сівби / За ред. Кравчука В.І., Мельника Ю.Ф.– Дослідницьке: УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого. – 2009. –288 с.
8. Адамчук В.В. Теоретичні передумови визначення енергетичних характеристик сошника із зубчастим диском на вібропідвісі / В.В. Адамчук, В.М. Булгаков, В.П. Горобей / Вісник аграрної науки. – 2015. – №2. – С.45-50.
9. Система обработки почв / Сост. Г.Г. Данилов. – М.: Россельхозиздат, 1982. – 270с.
10. Горобей В.П. Обоснование параметров зубчатого диска сошника селекционной сѣялки / Тракторы и сельхозмашины, 2014. – №10. – С.36-38.
11. Патент на винахід. Україна, №55609 А01С 7/00/Сівалка навісна селекційна СН-16А/Горобей В.П., Красніченко О.Л., Солецький В.Л, Тарімов О.Є.;заявник і патентотримач НВО «Селта» УААН № 2001128540, пріоритет 12.12.2001.; опубл.16.08.04, Бюл. № 8.
12. Патент на винахід. Україна, № 107775 А01С 7/00; А01С 5/00; А01В 49/06 / Сівалка навісна селекційно-насінницька СНС-16АП / Горобей В.П.; № а201405418, пріоритет 21.05.14; опубл.10.02.15, Бюл. № 7.

Vasiliy Gorobey

Scientific-manufacturing association “Selta” of National scientific centre “Institute of agriculture mechanization and electrification” of National academy of agricultural science of the Ukraine

Nikolay Litvinenko

Selection –genetic institute - National centre of seed-growing and sorting (sort-testing) of NAAN

Modernization of the seeder for selection-seed-growing of corn and leguminous plants

It is summarized research results of using of energosaving technologies in corn production and in scientific- research work.

It is examined the sow method on selection plots with the help of universal ploughshare set and made scheme of construction modernizing of the most popular in selection-seed-growing practice seeder of type CH-16 and done fundamental advantages which allow to widen its technological and qualitative possibilities.

technology, selection, seed-growing, seeder, construction, parameters, tined cutting disk, spring clip, ploughshare set

Одержано 25.03.15

УДК 631.333.52

Ю.І. Козелко, асп., М.В. Усенко, доц., канд. техн. наук

Луцький національний технічний університет, Україна

Визначення сил, що діють на картоплину в картоплевисаджувальних апаратах з наколювальним пристроєм

Обґрунтована доцільність застосування різних конструкцій конвеєрних картоплевисаджувальних апаратів з кільцем з голкою в різних умовах роботи. Визначено сили, що діють на бульбу картоплі та на кільце з голкою.

картопля, висаджувальний апарат, наколювальний пристрій, кільце, голка

Ю.И. Козелко, асп., М.В. Усенко, доц., канд. техн. наук

Луцкий национальный технический университет, Украина

Определение сил, действующих на картофель в картофелепосадочных аппаратах с накалывающим устройством

Обоснована целесообразность применения конструкций конвейерных картофелепосадочных аппаратов с кольцом с иглой в разных условиях работы. Определены силы, действующие на картофельный корнеплод и на кольцо с иглой.

картофель, посадочный аппарат, накалывающее устройство, кольцо, иглка

Стан проблеми. Серед спеціалістів в області сільського господарства поширена думка про те, що Україна має рівнинний характер рельєфу на всій свої території. В той же час відомо, що такий характер території безпосередньо пов'язаний із застосуванням відповідної сільськогосподарської техніки. У зв'язку з цим слід зазначити, що в нашій країні існує багато земель, що розташовані на пагорбах, нерівностях і навіть на схилах і, відповідно, застосування рівнинної техніки в таких специфічних умовах призводить до недоліків в їх роботі або взагалі до неможливості їх застосування. В таких умовах проявляються недоліки всіх видів сільськогосподарських машин (грунтообробних, посівних, садильних, збиральних і т. д.) при виконанні ними відповідних сільськогосподарських операцій. Не є виключенням також операція висаджування картоплі, яка виконується картоплевисаджувальними машинами з апаратами різної конструкції. На сьогоднішній день поширені картоплевисаджувальні апарати

конвеєрного типу, проте вони також не забезпечують повністю надійне захоплення і утримання картоплин в кільці апарату, тобто існує ймовірність сходження картоплини з кільця. Логічним є те, що ці недоліки особливо проявляються в несприятливих умовах роботи, а саме на нерівному рельєфі, пагорбах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існує багато машин для висаджування картоплі з висаджувальними апаратами різної конструкції [1, 4, 6]. При цьому поширеність машин з апаратами конвеєрного типу викликана їх багатьма перевагами [4, 6]. Даний апарат є компактним, особливо відносно поздовжньої осі агрегату, що дуже важливо при його використанні в малогабаритному варіанті. До певних недоліків конвеєрних апаратів слід віднести конструкцію кілець (ложечок), які захоплюють лише ті картоплини, що мають розмір, який відповідає даному кільцю. Також недоліком є ненадійне утримання картоплини в кільці, особливо при русі у верхній зоні, а саме в зоні зірочки. Але ці недоліки компенсуються простотою конструкції всього апарата і, зокрема, кілець. Незначна реконструкція кілець з додаванням певних елементів для підвищення якості утримання картоплини в даному кільці не потребує великих зусиль. Причому після такої реконструкції буде забезпечено надійне утримання бульби в кільці навіть при роботі в несприятливих умовах (вібрації на нерівному рельєфі, пагорбах і навіть на схилах).

В різних наукових працях розглянуті теоретичні питання, які відносяться до конвеєрних картоплевисаджувальних апаратів, але не підняті питання з визначення сил, які виникають при роботі апаратів, що обладнані додатковими елементами для утримання картоплини в кільці [2, 3, 5].

Формування цілей статті. Визначення сил, що діють на бульбу картоплі та на робочі органи конвеєрного картоплевисаджувального апарата з кільцем з голкою.

Виклад основного матеріалу дослідження. Нами запропоновані різні конструкції картоплевисаджувальних апаратів з наколювальними пристроями [7, 8]. Основою їх конструкції є ланцюговий конвеєр, на якому через рівні проміжки розміщені кільця, до кожного з яких прикріплена на опорі голка таким чином, що вона займає місце або знизу або збоку кільця (рис. 1 та рис. 2).

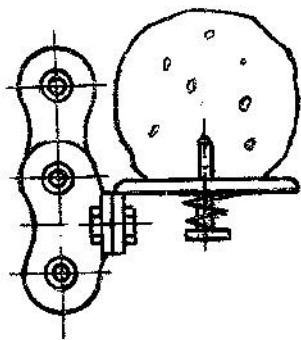


Рисунок 1 – Кріплення голки знизу кільця

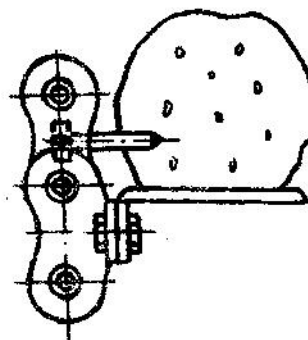


Рисунок 2 – Кріплення голки збоку кільця

Розглянемо сили, що діють на кільце і картоплину для апаратів різних конструкцій.

На вітці конвеєрного картоплевисаджувального апарату без наколювальних пристроїв, яка розташована вертикально і знаходиться в бункері з картоплею, кільця рухаються прямолінійно вверх в напрямку верхньої зірочки. В бункері кільце захоплює картоплину. Дана бульба картоплі розташовується на кільці і тримається в ньому. На кільце діє сила ваги картоплини $G = mg$, яка до повороту кільця на 90° , на ділянці A_0A буде намагатись притискати картоплину до даного кільця (рис. 3 та рис. 4). Після

входження в зону знаходження зірочки кільце з картоплиною починає здійснювати обертальний рух навколо осі зірочки і на картоплину уже крім сили ваги діє відцентрова сила інерції:

$$P = m\omega^2 R_3, \quad (1)$$

де m – маса бульби;

ω – кутова швидкість обертання зірочки;

R_3 – радіус обертання (відстань від центра зірочки до центра маси бульби).

Крім цих сил слід врахувати нормальну силу реакції кільця N та силу F , яка утримує картоплину в кільці. Картоплина знаходиться (лежить) в кільці в його виїмці і, відповідно, переміщення її обмежено ребром виїмці кільця, що дозволяє їй міцніше триматись там, на відміну від випадку, якщо б вона знаходилась на рівній поверхні. В останньому випадку силою, що утримує картоплину в кільці, була б сила тертя. Оскільки картоплина знаходиться у виїмці кільця, то необхідно врахувати силу утримання картоплини в даній виїмці. По аналогії з силою тертя можемо прийняти, що сила F утримання картоплини в кільці дорівнює $F = fN$, де f – коефіцієнт утримання. Слід зазначити, що в якості висадкового матеріалу найчастіше використовують бульби картоплі масою 25-80 грамів.

Маємо, що на ділянці A_0A руху (відбувається піднімання кільця з картоплиною вгору) на кільце діють наступні сили: сила ваги картоплини G , нормальна реакція кільця N , сила утримання картоплини в кільці F , відцентрова сила інерції P . Розкладаємо силу G на дві складові, а саме вздовж поверхні кільця і перпендикулярно до неї: $G \sin\omega t$ та $G \cos\omega t$, що є справедливим для будь-якої точки ділянки A_0A . Тут ωt – це кут повороту кільця від точки A_0 до розглядуваної точки (наприклад точка A_1), t – час, за який кільце повернулось на кут від точки A_0 до розглядуваної точки (наприклад точка A_1), що зображено на рис. 3.

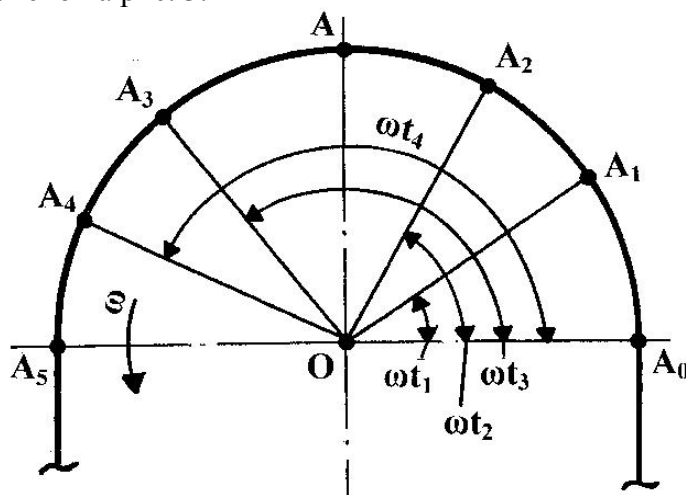


Рисунок 3 – Схема характерних точок і кутів повороту кільця в зоні зірочки

Отже, нормальна сила реакції кільця N дорівнює перпендикулярній складовій $N = G \cos\omega t$ сили G , лежить на одній лінії з нею і направлена в протилежний бік до неї. Сила утримання картоплини в кільці F та відцентрова сила інерції P направлені вздовж поверхні кільця в протилежному напрямку до дії складової $G \sin\omega t$ сили G (рис. 4).

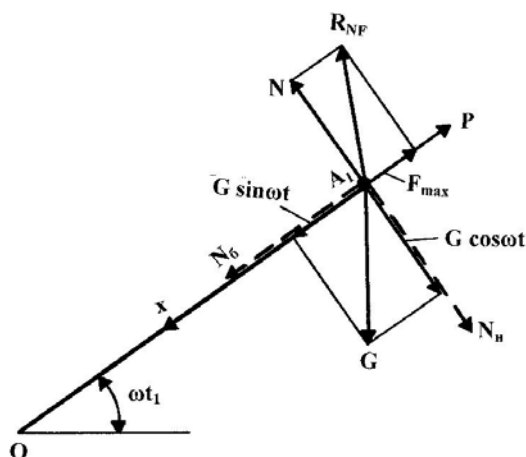


Рисунок 4 – Схема сил, що діють на картоплину при повороті кільця в зоні зірочки від 0° до 90°

Слід зазначити, що на ділянці AA_5 на картоплину будуть діяти лише сили G та P (рис. 5). Тобто коли кільце буде повертатись від 90° до 180° то під дією сили G картоплина буде випадати з кільця і сила тертя F тут уже не буде мати значення.

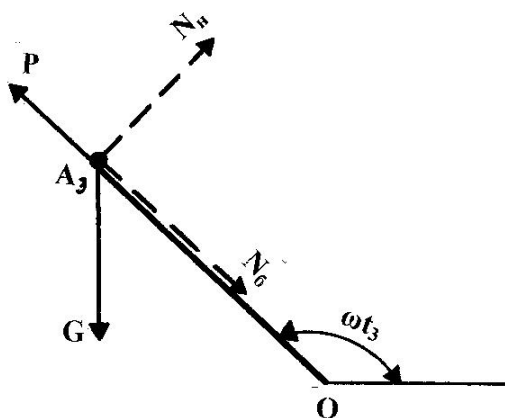


Рисунок 5 – Схема сил, що діють на картоплину при повороті кільця в зоні зірочки від 90° до 180°

Складаємо диференціальне рівняння руху картоплини по поверхні кільця в будь-якій точці ділянки A_0A (приймаємо, що вісь x направлена вздовж поверхні кільця, як зображено на рис. 4), загальний вигляд якого:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = G \sin \omega t + F + P.$$

З врахуванням напрямків сил, маємо:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = G \sin \omega t - F - P. \quad (2)$$

Підставляючи значення G , F і P і скорочуючи на m , отримуємо:

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = g \sin \omega t - fg \cos \omega t - \omega^2 R_3.$$

Інтегруючи двічі, отримуємо:

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= \int_0^t g \sin \omega t dt - \int_0^t fg \cos \omega t dt - \int_0^t \omega^2 R_3 dt, \\ \frac{dx}{dt} &= \frac{g}{\omega} - \frac{g}{\omega} \cos \omega t - \frac{fg}{\omega} \sin \omega t - \omega^2 R_3 t. \end{aligned}$$

$$x = \int_0^t \frac{g}{\omega} dt - \int_0^t \frac{g}{\omega} \cos \omega t dt - \int_0^t \frac{fg}{\omega} \sin \omega t dt - \int_0^t \omega^2 R_3 t dt ,$$

$$x = \frac{g}{\omega^2} (t\omega - \sin \omega t + f \cos \omega t - f) - \frac{\omega^2 R_3 t^2}{2} . \quad (3)$$

Рівняння (3) описує закон руху картоплини по поверхні кільця. Представляє інтерес визначення залежності часу t від переміщення x картоплини, але аналітичне визначення даної залежності пов'язано з складнощами розв'язку трансцендентного рівняння. Тому визначаємо залежність переміщення x картоплини за часом t і, відповідно, за кутом ωt . Приймаємо значення сталих, що є найбільш характерними для розглянутих умов, а саме для найбільш поширеної конструкції висаджувального апарату картоплевисаджувальної машини КСТ-2, у якого значення $\omega \approx 7$ рад/с і $R_3 \approx 0,07$ м (приймаємо $f \approx 0,2$).

Розв'язок рівняння (3) показує, що значення x практично не залежить від t (від ωt), і практично дорівнює нулю при значеннях ωt від 0° до 45° і навіть до 90° . Це свідчить про те, що картоплина тримається в кільці і практично не «виштовхується» з нього на ділянці дузі A_0A , тобто при повороті кільця від 0° до 90° . Також слід зазначити, що картоплина спирається на ребро кільця, що підвищує надійність її утримання в ньому. Але ця надійність залежить від таких факторів як маса, форма і розмір бульб, кутова швидкість обертання зірочки, стан бульби, які можуть впливати негативно на надійність утримання. Якщо ще врахувати коливання і вібрації всієї картоплевисаджувальної машини в умовах її роботи на нерівному рельєфі, то маємо велику ймовірність того, що «виштовхування» картоплини буде відбуватись на ранній стадії її руху у висаджувальному апараті і призведе до її травмування і до порушення якості висаджування.

Тому логічно постає питання про надійне утримання картоплини в кільці, особливо на стадії її руху в зоні зірочки. Найбільш прийнятними в даному випадку є заходи з підвищення надійності утримання бульби в кільці за допомогою додаткових конструктивних елементів. Таким елементом, що досить міцно утримує картоплину в кільці може бути наколювальний пристрій, а конкретно голка, на яку і наколюється бульба картоплі. При цьому, як було зазначено вище, нами запропоновані два способи розташування голки на кільці, а саме знизу (рис. 1) або збоку (рис. 2).

В такому випадку в диференціальному рівнянні руху (2) картоплини по поверхні кільця, крім сил, що враховані в ньому, необхідно додати силу утримання картоплини голкою, а саме силу утримання нижньою голкою N_n або силу утримання боковою голкою N_b (показані пунктиром на рис. 4 і рис. 5). Обидві дані сили підвищують надійність утримання картоплини в кільці практично ідентичним способом, різниця тільки у величині даних сил. Слід зазначити, що сила N_b міцніше утримує картоплину ніж сила N_n . Як показали наші практичні дослідження, якщо картоплина наколота на голку, то для її зміщення в поперечному відносно осі голки напрямку необхідно прикласти силу приблизно у 5 разів більшу ніж для зміщення тої самої картоплини у напрямку осі голки. Дана обставина особливо важлива на ділянці AA_5 повороту кільця від 90° до 180° , коли під дією сили ваги G картоплина випадає з кільця і сила тертя F і опір ребра кільця уже не мають значення. Також важливо зазначити, що з врахуванням вищевикладеного, при боковому проколюванні є можливість здійснити дане проколювання на меншу глибину ніж при проколюванні знизу, що дозволяє застосувати менші зусилля, а також менше травмує картоплину.

Але у разі наявності сили N_b або сили N_n тут уже починають діяти зовсім інші закони «поведінки» картоплини на кільці ніж без їх наявності. Справа в тому, що сили

N_6 і N_n настільки міцно утримують бульбу в кільці, що вона залишається нерухомою на протязі всієї ділянки A_0A_5 . Сили N_6 та N_n при достатній глибині наколювання картоплини на голку (найбільш прийнятною глибиною наколювання є 5-7 мм для картоплин масою приблизно в 50 г) не дають їй зміститись в напрямках по осі голки і впоперек неї. Таким чином, фактично дії сили тертя немає, а сила ваги G і відцентрова сила інерції P повністю компенсуються силою утримання бульби в кільці. Відповідно картоплина міцно утримується в кільці на голці незалежно від кутової швидкості ω , радіусу зірочки R_3 і коефіцієнту утримання f . Зняття картоплини з голки уже після проходження кільцем точки A_5 відбувається примусово за допомогою спеціальних елементів, передбачених конструкцією висаджувального апарата.

Якщо побудувати рівнодіючу R сил P і G , то можна простежити її наступну властивість (описана в працях [3, 7]). Якщо продовжувати лінію вектора рівнодіючої R до перетину з вертикаллю, яка проходить через центр O зірочки, то за будь-якого положення кільця дана лінія буде перетинати цю вертикаль в одній і тій же точці B (для даної кутової швидкості ω зірочки), яка називається полюсом (рис. 6). Таку саму властивість має і вектор рівнодіючої R' сил N_n і G , але для певних ділянок шляху руху кільця від точки A_0 до точки A_5 . Така властивість вектора R' може мати місце тільки при певних зовнішніх умовах роботи і властивості матеріалу, що описано в праці [7].

Полюсна відстань OB визначається за відомою формулою [3]:

$$OB = g/\omega^2 \approx 895/n^2, \quad (4)$$

де n – частота обертання зірочки.

Отже величина полюсної відстані залежить тільки від кутової швидкості ω (частоти обертання n) зірочки. Зі збільшенням кутової швидкості ω полюсна відстань OB зменшується і величина відцентрової сили інерції P зростає порівняно з силою ваги G .

З відомих досліджень [3, 7] маємо, що у випадку коли $OB \leq R_3$ (рис. 6), тобто полюс B знаходиться в середині зірочки, рівнодіюча R утворює момент відносно зовнішньої кромки кільця і намагається повернути картоплину проти годинникової стрілки так, що спричиняє притискання картоплини до кожуху (охоплює з певним зазором зірочку з кільцями по дузі) на ділянці AA_5 і аж до заклинювання її в даному просторі. Якщо $OB \geq R_3$ (полюс B знаходиться за межами зірочки), то рівнодіюча R утворює момент відносно внутрішньої кромки кільця і намагається повернути картоплину за годинниковою стрілкою, що забезпечує гравітаційне падіння картоплини вниз.

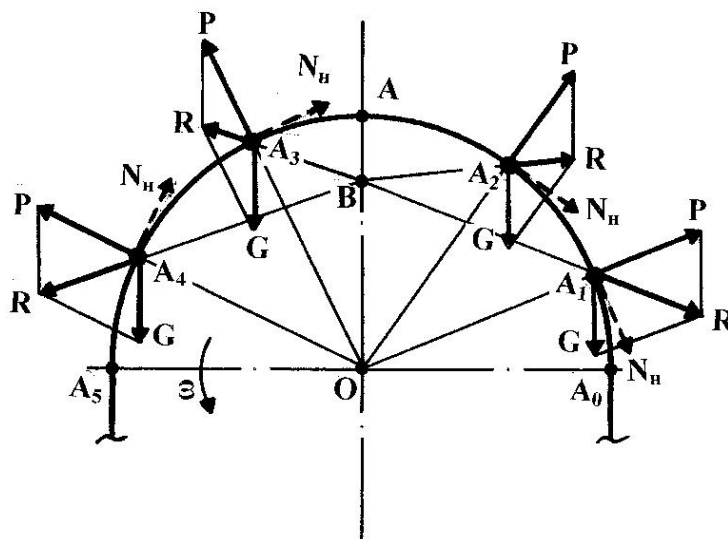


Рисунок 6 – Схема сил і графічне визначення полюса

Наведені випадки не є справедливими, якщо існують додаткові сили, що утримують картоплину в кільці (бульба насаджена на голку кільця). В такому випадку на кільце додатково діють сили N_6 або N_n , що згадані вище.

Відомими дослідженнями [3] встановлено, що характер розвантаження кілець визначається співвідношенням B між полюсною відстанню і радіусом R_3 :

$$B = OB/R_3 = g/R_3\omega^2. \quad (5)$$

Також даними дослідженнями рекомендується приймати $B > 3$ для стандартних апаратів.

Для запропонованих апаратів, тобто в яких діють сили N_6 або N_n , відбувається майже повна компенсація сил P і G і фактично вектор їх рівнодіючої R буде направлений майже вертикально і, відповідно, він буде перетинати вертикаль, яка проходить крізь центр O зірочки в точці, яка нескінченно віддалена від даного центру O . Тобто полюс уже опиняється в точці, яка знаходиться за межами зірочки на нескінченній віддалі. Отже, при таких самих значеннях ω і R_3 якість роботи запропонованого апарата набагато вище, ніж у апаратів без наявності голки.

Висновки. Порівняльний аналіз конструкцій картоплевисаджувальних апаратів свідчить про доцільність застосування апаратів, які споряджені наколювальними пристроями, основним елементом якого є голка. Теоретичний аналіз дає можливість визначити сили, що діють на голку з наколотою картоплиною.

Приведена методика розрахунку може бути використана як окрема методика для проведення важливих розрахунків і як основа для подальших досліджень роботи всього агрегату.

Список літератури

1. Гудзенко И.П. Машины для возделывания и уборки картофеля / И.П. Гудзенко. – М.: Машгиз, 1962. – 276 с.
2. Емелин Б.Н. К обоснованию геометрических параметров дозатора-распределителя вермикомпоста (ВК) к картофелепосадочной машине / Б.Н. Емелин, А.П. Ватухин // Науковий вісник НАУ. – К. – 2005. – № 92. – С.193-197.
3. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин. Т.1 (ч. 1). Машины та знаряддя для обробітку ґрунту. – Харків: Око, 2001. – 444 с.
4. Залигин О.Г. и др. Малая механизация в приусадебном и фермерском хозяйствах. – К.: Урожай, 1996. – 368 с.
5. Сисолін П.В. та ін. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування. – К.: Урожай, 2001. – 384 с.
6. А.с. 1790843 СССР, МКИ А 01 С 9/00. Картофелесажалка / В.А. Соколов и др. – № 4867643/15. Заявл. 19.09.90. Оpubл. 30.01.93. Бюл. № 4.
7. Усенко М.В. та ін. Обґрунтування основних параметрів картоплевисаджувального апарата з наколювальним пристроєм // Науковий вісник НУБіП. – К. –2010. – №144/4. – С. 88-95.
8. Пат. № 79794 Україна, МКВ А01С 9/00. Картоплевисажувальний апарат з наколювальним пристроєм / М.В. Усенко та ін. – № 20041210905. Заявл. 29.12.2004. Оpubл. 127.07.2007, Бюл. № 11.

Yuriy Kozelko, Michail Usenko

Lutsk National Technical University, Ukraine

Definition of forces acting to the potatoes in apparatus for planting of potato with the pinning device potatoes, apparatus for planting, prick device, a ring, a needle

The expediency of application of constructions of conveyor apparatus for planting of potato with a ring-spoon with a needle by the work in different conditions is proved. The forces which act to potato and to the ring-spoon with a needle are defined.

The authors have proposed different designs apparatus for planting of potato with impale devices, which are based chain conveyor, which placed at regular rings, each of which is fixed on a support needle so that it takes place or the bottom or side of the ring.

Described law of motion of potatoes on the surface of the ring. It is interesting definition of time depending on the movement of potatoes, but analytic definition of dependence is due to the difficulties of solving the transcendental equation. Therefore, we determine the dependence potatoes moving in time and, consequently, on the corner. For the proposed devices theoretically proved that the quality of his work is much higher than in vehicles without a needle.

Comparative analysis of structures apparatus for planting of potato devices demonstrates the feasibility of vehicles that are equipped impale devices, which is based on the needle. Theoretical analysis makes it possible to determine the forces acting on the needle and chop potatoes.

The design procedure can be used as a methodology for important payments and as a basis for further study of the entire unit.

The expediency of application of constructions of conveyor apparatus for planting of potato with a ring-spoon with a needle by the work in different conditions is proved. The forces which act to potato and to the ring-spoon with a needle are defined.

potatoes, the precipitation apparatus, tensioned device, ring, needle

Одержано 23.03.15

УДК 631.312; 631.316.22

С.М. Лещенко, доц., канд. техн. наук, В.М. Сало, проф., д-р техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет, serafsgm.ua@mail.ru

Обґрунтування доцільності проведення глибокого чизельного рихлення на переущільнених та ерозійно-небезпечних ґрунтах

В статті обґрунтовується доцільність проведення глибокого розпушування ґрунту на переущільнених та ерозійно-небезпечних ґрунтах. Доведено, що незважаючи на не повну адаптованість існуючих знарядь для чизельного обробітку ґрунту до існуючих умов, їх використання є основою ресурсо- та енергозберігаючого землеробства. Запропоновано вдосконалену конструкцію чизельної лапи та принципової схеми комбінованого чизеля, що дозволяють розширити межі впровадження технологій глибокого розпушування в технологічні процеси по вирощуванні продукції рослинництва.

комбінований чизель, глибоке рихлення, переущільнення ґрунтів, ресурсозберігаючі технології, мінімальний обробіток ґрунту, інфільтраційні властивості

С.Н. Лещенко, доц., канд. техн. наук В.М. Сало, проф., д-р техн. наук

Кировоградский национальный технический университет

Обоснование целесообразности проведения глубокого чизельного рыхления на переуплотненных и эрозионно-опасных почвах

В статье обосновывается целесообразность проведения глубокого рыхления почвы на переуплотненных и эрозионно-опасных почвах. Доказано, что несмотря на не полную адаптированность существующих орудий для чизельной обработки почвы к существующим условиям, их использование является основой ресурсо- и энергосберегающего земледелия. Предложена усовершенствованная конструкция чизельной лапы и принципиальной схемы комбинированного чизеля, позволяющие расширить границы внедрения технологий глубокого рыхления в технологические процессы по выращиванию продукции растениеводства.

комбинированный чизель, глубокое рыхление, переуплотнения почв, ресурсосберегающие технологии, минимальная обработка почвы, инфильтрационные свойства

© С.М. Лещенко, В.М. Сало, 2015

Постановка проблеми. Зниження рівня деградації ґрунтів, збереження і підвищення родючості є основою екологічної складової інтенсифікації технологічних процесів в рослинництві. Якість ґрунту є комплексним поняттям, яке складно визначити чи виміряти, проте цю якість можна трактувати як здатність підтримувати біологічну продуктивність, зберігати навколишнє середовище, забезпечувати розвиток здорових рослин і тварин тощо. Поняття якості ґрунту, як основного об'єкту виробництва в рослинництві дозволяє стверджувати, що підтримка продуктивності рослин через оптимальні резерви поживних речовин у ґрунті, здатність останнього зберігати вологу і придатну структуру для росту кореневої системи являються тими складовими, які чинять вирішальний вплив на екологію агровиробництва.

Зниження якості ґрунту в результаті антропогенної дії визначається як деградація ґрунту. Водяна і вітрова ерозії, хімічна деградація та погіршення фізичних властивостей і є основними видами загальної деградації ґрунтів. Забезпечення збирання високих врожаїв, вірний вибір технологій виробництва окремих культур, раціональне впровадження науково обґрунтованих сівозмін, розробка системи машин для реалізації технологічних процесів, а також напрямки агроінженерних досліджень обумовлені гострою необхідністю збереження основних ресурсів сільськогосподарського виробництва – ґрунту, води, повітря і енергії.

Аналіз основних досліджень і публікацій. Відомо, що однією із найбільш енергозатратних операцій є операція обробки ґрунту, від якості і ефективності проведення якої можуть бути створені сприятливі умови для росту і розвитку рослин або ж зруйновані чи частково зруйновані біологічні цінні агрегати ґрунту, що в кінцевому варіанті призводить до загального переущільнення ґрунтів, зниження родючості, загострення проявів вітрової та водної ерозій. Розрізняють землеробську мету проведення обробки ґрунту, рослинницьку мету та виробничі цілі. Землеробська мета включає створення сприятливих умов для росту і розвитку рослин, проведення цілеспрямованої і обґрунтованої обробки поля, отримання стабільної ґрунтової структури, якісне змішування органічних залишків та захист навколишнього середовища. Рослинницька мета виражається досягненням (зростанням) врожайності, отриманням оптимальних сходів на полі, боротьбою з бур'янами і попередженням їх розповсюдження та створення специфічних умов для кожної культури. Виробничі цілі характеризуються високою продуктивністю і своєчасністю проведення технологічних операцій, зниженням перемінних витрат, використанням універсальної техніки та створенням сприятливих умов для проведення наступних операцій.

Сьогодні реалізуються кілька технологій, які засновані на різних способах обробки ґрунту, серед яких можна виділити традиційний (відвальний) обробіток ґрунту, безвідвальний обробіток ґрунту, технологію Strip Till, технологію No-till тощо. Кожна з наведених технологій має як свої переваги так і суттєві недоліки та обмеження використання. Традиційна технологія характеризується щорічною оранкою ґрунту відвальним плугом. Під час впровадження традиційної технології відбувається повна заробка бур'янів, добрив і рослинних залишків в нижні зони орного горизонту, утворюється рихла, вільна від органіки поверхня поля, яка сприяє використанню традиційної посівної техніки. Проте основними недоліками традиційної технології є висока енергоємність операції, руйнування біологічно цінних агрегатів ґрунту, загострення проявів вітрової та водної ерозій, утворення ущільненої підорної підшви, різке зниження запасу ґрунтового гумусу та порушення ґрунтової мікрофлори. Саме наведені недоліки призвели до пошуку іншої системи обробки ґрунту, якою і є безвідвальний обробіток. Основними перевагами безвідвального обробітку є збереження біологічно цінних агрегатів ґрунту, досягнення високої врожайності із

мінімальними витратами енергії, руйнування ущільненої орної підшви, забезпечення оптимального захисту від ерозій, збереження активної ґрунтової мікрофлори, покращення інфільтраційних властивостей ґрунту тощо. Хоча широке впровадження безвідвальних технологій пов'язане із необхідністю індивідуальної адаптації під конкретні ґрунтово-кліматичні умови, ускладнене використання при вузьких і непостійних сівозмінах, зростанням затрат на захист рослин і боротьбу зі шкідниками (особливо на етапі впровадження), потребою в машинах для реалізації технологій. При реалізації технології Strip Till ґрунт розрихлюється не по всій поверхні, а полосами із міжряддями від 45 до 80 см. Технологія No-till передбачає проведення прямого посіву без обробки ґрунту від часу останнього збирання врожаю.

Зважаючи на специфіку ґрунтово-кліматичних умов України та досвід розвинених країн в галузі рослинництва саме технології безвідвального обробітку ґрунту є доцільними для впровадження і можуть слугувати основою ресурсозберігаючого землеробства, дозволять зберегти та підвищити родючість. Найбільш часто безвідвальний обробіток в країнах Європи та Америки проводиться чизельними знаряддями. Ґрунтообробні знаряддя з робочими органами чизельного типу можуть використовуватися в різних кліматичних умовах, в тому числі для сухого і зрошуваного землеробства. Різними дослідниками встановлено, що чизелювання дозволяє суттєво зекономити енергоресурси, попередити прояви вітрової та водної ерозії, покращити реологічні властивості ґрунту, підвищити родючість. Крім цього глибоке чизельне розпушування можна проводити при більшому ніж оранка і плоскорізний обробіток діапазоні вологи, а оброблений таким способом ґрунт весною краще протистоїть ущільненню енергонасиченими тракторами і важкими сільськогосподарськими машинами.

Однак швидкий перехід господарств до чизельного обробітку ґрунту обмежується через те, що під час проведення операцій складно забезпечити повне підрізання бур'янів, неможливо отримати суцільне дно борозни, погано заробляються пожнивні залишки, неможливо вносити добрива традиційним розкидним способом із подальшим заорюванням. Крім цього, комбіновані чизельні знаряддя, що виготовляються і реалізуються в Україні, в більшості є складними машинами закордонного виробництва фірм «Gaspardo», «Amazone», «John Deere», «Lemken», «Great Plains» та ін., або ж виготовляються за їх ліцензіями, і окрім значної вартості, мають складну конструкцію, дорогі в обслуговуванні та погано адаптовані до ґрунтово-кліматичних умов України

Постановка завдання. Виходячи із вищезазначеного, метою даної роботи є обґрунтування доцільності проведення глибокого чизельного рихлення шляхом вдосконалення конструкції чизельної лапи та принципової схеми комбінованого чизеля.

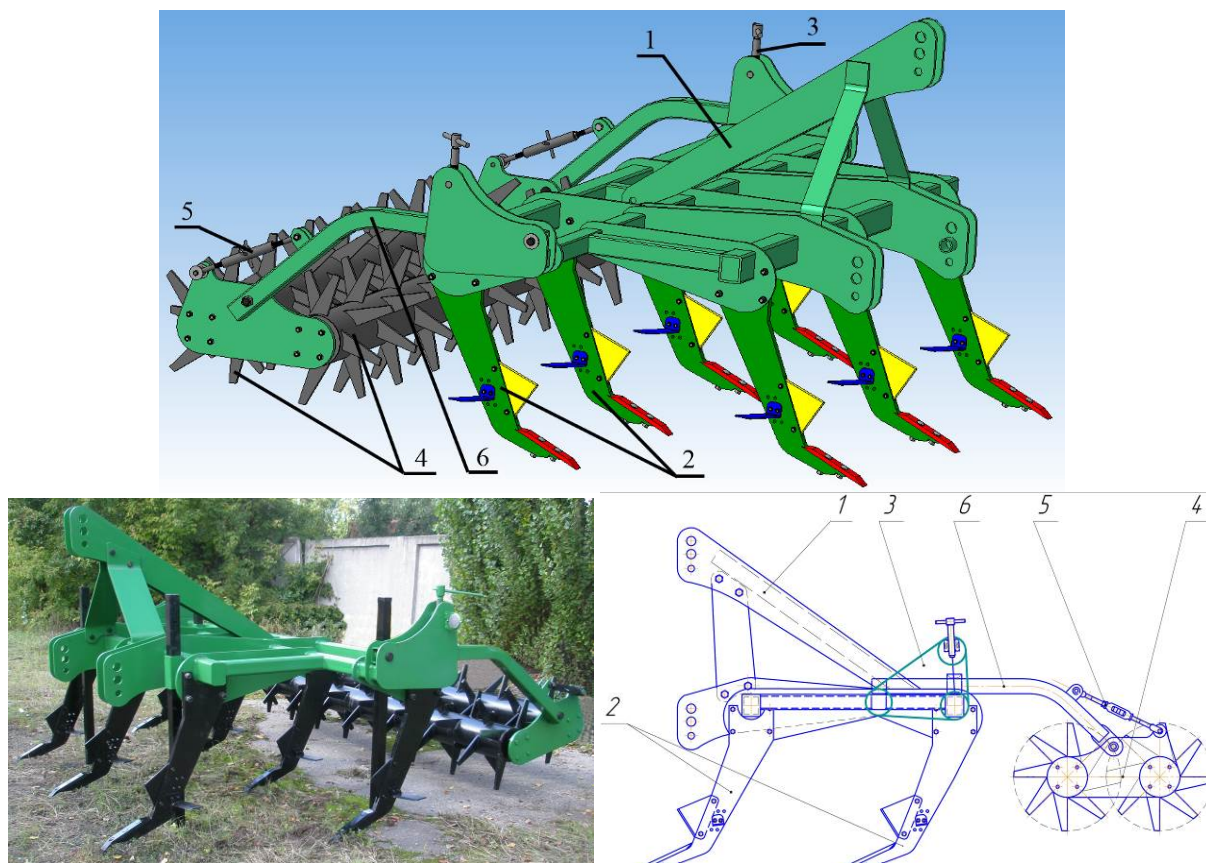
Виклад основного матеріалу. Основним робочим органом чизельних ґрунтообробних знарядь є класичні чизельні лапи із прямим чи похилими стояками, які після рихлення залишають на поверхні поля до 80% стерні, що раніше вважалося головною перевагою чизельного обробітку. Однак, слід врахувати, що разом із стернею на поверхні поля залишаються бур'яни та насіння бур'янів, що вимагає додаткової хімізації виробництва.

Згідно із існуючими рекомендаціями чизельні ґрунтообробні робочі органи необхідно використовувати на переущільнених ґрунтах та на полях із нахилом поверхні більше 3°. Насамперед чизельний обробіток повинен проводитись при оптимальній вологості (до 30% та твердості до 3,5 МПа), за якої забезпечується гарне кришення ґрунту без утворення глиб та досягається стійкий хід робочих органів. Під час проведення рихлення основну масу повинні складати фракції розміром 30...50 мм при м'якому обробітку та 30...100 мм – при глибокому.

Після аналізу видів чизельного обробітку та існуючих робочих органів з метою забезпечення встановлених вимог до означених операцій на кафедрі сільськогосподарського машинобудування Кіровоградського національного технічного університету розроблено нову конструкцію навісного комбінованого чизеля (рис. 1).

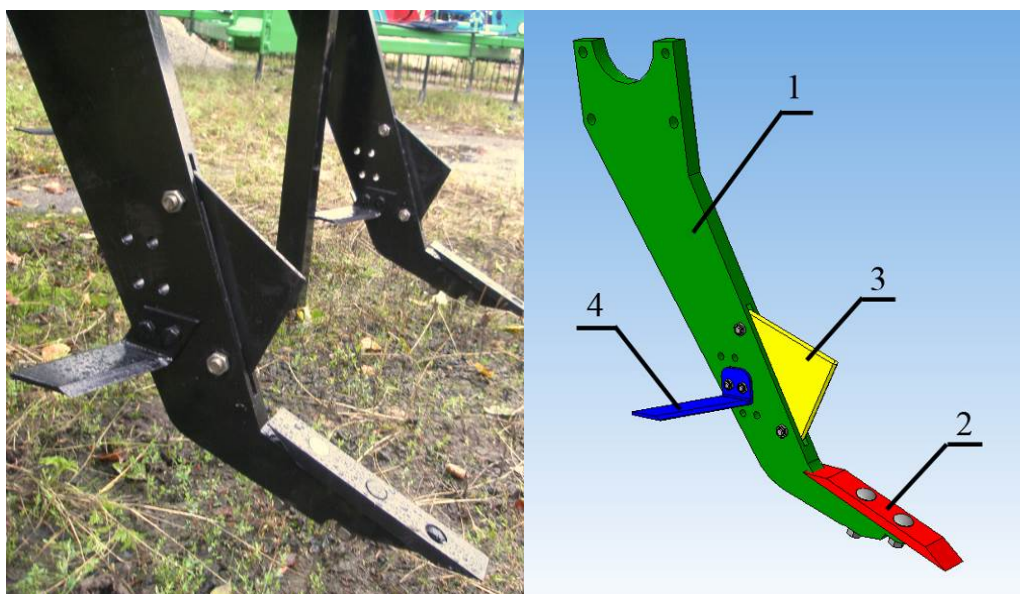
Основним робочим органом розробленої машини є чизельна лапа, яка складається з стояка 1, долота 2, зуба для подрібнення брил 3 та крил 4 (рис. 2). Допоміжним робочим органом є спарений зубчастий коток 4 (рис. 1), який крім функції регулювання глибини обробітку проводить розбивання крупних грудок, заробку рослинних решток в нижні горизонти і їх перемішування на глибину 15-20 см. Залежно від умов роботи спареним зубчастим котком можна регулювати глибину обробки чизелем та інтенсивність перемішування і подрібнення часток ґрунту після чизелювання.

Під час рихлення ґрунту чизельною лапою долото 2 сколює суцільне середовище, зуб 3 інтенсивно подрібнює брили і відводить їх від стояка 1, а крила 4 крім підрізання бур'яну додатково кришать ґрунт, та залежно від їх місця розміщення на стояку можуть зменшувати нерівності дна борозни. Зміна положення крил 4 відносно дна борозни відбувається шляхом переміщення останніх відносно отворів на стояку та їх закріплення гвинтами. Аналіз процесу рихлення ґрунту запропонованою чизельною лапою дозволяє умовно виділити горизонтальні та вертикальні деформатори. До горизонтальних можна віднести долото 2 та крила 4, які підрізають кореневу систему рослин та рихлять ґрунт; до вертикальних – стояк 1 та зуб 3, які подрібнюють ґрунт та розбивають брили.



1 – рама; 2 – лапа чизельна; 3 – механізм регулювання глибини котка; 4 – спарений коток;
5 – гвинт; 6 – механізм кріплення котка

Рисунок 1 – Функціональна схема і загальний вигляд комбінованого чизеля



1 – стояк; 2 – долото; 3 – зуб; 4 – крила

Рисунок 2 – Чизельна лапа з горизонтальними та вертикальними деформаторами

На основі проведених досліджень [7, 10, 11] розроблені рекомендації по використанню та технічну документацію на виготовлення комбінованих чизельних ґрунтообробних машин, характеристика яких наведена в табл. 1.

Таблиця 1 – Характеристика комбінованих чизельних глибокорозпушувачів

Марка машини	ЧН-1,5	ЧН-2,5	ЧН-3,5	ЧН-4,5
Продуктивність, га/год	до 1,2	до 2,0	до 2,8	до 3,6
Робоча ширина захвату, м	1,5	2,5	3,5	4,5
Глибина обробітку, см	до 50	до 50	до 50	до 50
Число робочих органів, шт.	3	5	7	9
Глибина обробітку котками, см	до 15	до 15	до 15	до 15
Необхідна потужність трактора, к.с.	80 - 120	120-180	160-220	250-340
Маса, кг	750	1200	1700	2300

Висновки. 1. Безвідвальні технології обробітку ґрунту є єдиною альтернативою традиційним технологіям, які в складних ґрунтово-кліматичних умовах України дозволять забезпечити ресурсозберігаючі технології землеробства, зменшити ущільнення ґрунтів та відновити процес ґрунтоутворення.

2. Використання та адаптація до існуючих умов комбінованих чизельних знарядь дозволяє підвищити якісні показники рихлення ґрунту та забезпечить тривалу експлуатацію комбінованих машин.

3. Конструкція чизельної лапи з додатковими вертикальними та горизонтальними деформаторами дозволяє якісно подрібнювати суцільне ґрунтове середовище та ефективно підрізати коріння бур'янів та пожнивних залишок.

4. Розроблена конструкція універсального комбінованого чизеля суттєво розширює можливості його використання на різних операціях глибокого рихлення як із додатковим подрібненням брил та заробкою пожнивних залишок на певну глибину спареним котком, так і на операціях традиційного чизелювання та щільювання.

Список літератури

1. Руденко Н.Е. Механизация обработки почвы: Учебное пособие. / Руденко Н.Е. – Ставрополь : Изд-во СтГАУ «АГРУС». – 2005. – 112 с.
2. Бледных В.В. Устройство, расчет и проектирование почвообрабатывающих орудий: Учебное пособие / Бледных В.В. – ЧГАА, Челябинск – 2010. – 214 с.
3. Панов И.М. Физические основы механики почв /И.М. Панов, В.И. Ветехин. – К.: Феникс, 2008. – 266 с.
4. Дринча В.М. Агротехнические аспекты развития почвозащитных технологий: Монография / В.М. Дринча, И.Б. Борисенко, Ю.Н. Плескачев. – Под ред. Кряжкова В.М. – Волгоград: Перемена, 2004. – 145 с.
5. Сисолін П. В. Передумови виникнення та перспективи впровадження нових агротехнічних прийомів основного безполицевого обробітку ґрунту / Сисолін П.В., Сало В. М., Кошеленко І.І. // Зб. наук. праць Кіровоградського інст. с.-г. машинобудування. – Вип. 2.– Кіровоград, 1998. – С. 206-211.
6. Ветехин В.И. Систематизация рабочих органов для рыхления почвы на основе физики процесса / В.И. Ветехин // Техника АПК, №9-10, 2008. – С.21-25.
7. Лещенко С.М. Технічне забезпечення збереження родючості ґрунтів в системі ресурсозберігаючих технологій. / Лещенко С.М., Сало В.М. // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кіровоград, 2013. – Вип. 43, ч.1 – С. 96-102.
8. Лещенко С. Состояние вопроса и перспектива интенсификации работы чизельных орудий с целью сохранения естественного плодородия / С. Лещенко, В. Сало, А. Васильковский // MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture. An international journal on operation of farm and agri-food industry machinery. Vol. 16 - №2, Lublin – Rzeszów: Polish Academy of Sciences, 2014. – P. 195-201.
9. Сало В.М. Вітчизняне технічне забезпечення сучасних процесів у рослинництві / Сало В.М., Богатирьов Д.В., Лещенко С.М., Савицький М.І. // Техніка і технології АПК. Науково-виробничий журнал. №10(61), 2014. – С 16 – 19.
10. Leschenko S. Experimental estimate of the efficiency of basic tilling by chisel equipment in the conditions of soil / Sergey Leschenko, Vasil Salo, Dmitry Petrenko. // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кіровоград, 2014. – Вип. 44 – С. 237-243.
11. Лещенко С.М. Експериментальна оцінка якості роботи комбінованого чизеля з додатковими горизонтальними та вертикальними деформаторами / Лещенко С.М., Сало В.М., Петренко Д.І. // Вісник Харківського національного технічного університету ім. П. Василенка. – Харків, 2015. – Вип. 156. – С. 25-34.

Sergiy Leschenko, Vasil Salo

Kirovograd national technical university

Justification feasibility of deep loosening on chisel compaction and erosion-hazardous soils

The aim is to study the feasibility of deep loosening on compaction and erosion-hazardous soils.

Proved that despite not fully adapted existing tools for cultivation chisel to existing conditions, their use is the basis of energy saving agriculture. The improved design chisel paws and concept combined chisel, allowing the introduction of technologies to expand the boundaries of deep loosening in processes for the cultivation of crop production. These characteristics combined with proposed subsoil chisel working bodies and outlined their possible use.

As a result of the work conducted chisel adaptation of workers to difficult soil and climatic conditions of Ukraine.

combined chisel, deep loosening, soil compaction, saving technologies, minimal tillage, infiltration properties

Одержано 12.05.15

УДК 631.31:631.331

В.Й. Лобов, доц., канд. техн. наук*Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет»,
vjcheslavlobov@gmail.com*

Спосіб сівби насіння просапних сільськогосподарських культур

Наведено спосіб висіву насіння, який полягає у визначенні в атмосферному повітрі фізико-хімічних властивостей сільськогосподарського пилу - ґрунтову дефляцію, який виникає в робочій зоні при переміщенні сівалки, обчислюють гігроскопічність цього пилу, по якому визначають вологість ґрунту, і в залежності від її рівня автоматично керують виконавчими механізмами сошників, наприклад гідроциліндрами, які регулюють потрібні глибини борозен для закладання в них насіння та визначають зусилля для ущільнення борозн, а по коефіцієнту спектральної яскравості сільськогосподарського пилу розраховують гумусові речовини ґрунту та керують потоками водяного розчину добрив і стимуляторів росту. Для пояснення надана блок-схема системи керування сівалкою, яка реалізує запропонований спосіб висіву насіння.

спосіб, сівалка, насіння, борозна, ґрунтова дефляція, гігроскопічність пилу, вологість ґрунту, система, керування

В.Й. Лобов, доц., канд. техн. наук*Государственное высшее учебное заведение «Криворожский национальный университет»***Способ посева семян пропашных сельскохозяйственных культур**

Приведен способ высева семян, который заключается в определении в атмосферном воздухе физико-химических свойств сельскохозяйственной пыли - ґрунтовую дефляцию, которая возникает в рабочей зоне при перемещении сеялки, вычисляют гигроскопичность этой пыли, по которой определяют влажность почвы, и в зависимости от ее уровня автоматически управляют исполнительными механизмами сошников, например гидроцилиндрами, которые регулируют нужные глубины борозд для закладки в них семян и определяют усилия для уплотнения борозд, а по коэффициенту спектральной яркости сельскохозяйственной пыли рассчитывают гумусовые вещества почвы и управляют потоками водного раствора удобрений и стимуляторов роста. Для объяснения предоставлена блок-схема системы управления сеялкой, которая реализует предложенный способ высева семян.

способ, сеялка, семена, борозда, ґрунтовая дефляция, гигроскопичность пыли, влажность почвы, система, управление

Актуальність. На сучасному етапі розвитку сільського господарства вирощування просапних культур займає важливе місце в загальному сільськогосподарському виробництві [1-4]. Розвиток сучасної технології сівби просапних культур супроводжується значним збільшенням продуктивності й швидкостей переміщення посівного агрегату по посівному полю. Все це приводить до того, що у робочій зоні сівалки у атмосферному повітрі виникає значна кількість сільськогосподарського пилу, який складається з твердих часток, води, повітря і живих організмів. Значна частина цього пилу - змішаного походження, тобто складається з частинок неорганічних і органічних, та включає в себе частки добрив і отрутохімікатів [5]. Сукупність цих частинок правильно називати пилоподібним матеріалом. Відповідним пилом зазвичай називають найбільш дрібні частки цих матеріалів, які розносяться потоками повітря. Розсіювання пилових частинок в повітрі значною мірою визначається дисперсним складом пилу, який характеризує пил з різних сторін. Крім

© В.Й. Лобов, 2015

мосідає значно повільніше. Значення питомої поверхні дозволяє судити про дисперсності пилу. Під питомою поверхнею пилу розуміють відношення поверхні всіх частинок до їх маси або об'єму. Від питомої поверхні залежать багато властивості пилу. Вміст вологи в пилу висловлює вологовміст або вологість. Вологовміст – відношення кількості вологи в пилу до кількості абсолютно сухого пилу. Вологість – відношення кількості вологи в пилу до всього кількості пилу, тому пил орного шару – це один із показників ґрунту, який можливо використовувати при посіву насіння.

Аналіз останніх публікацій з даної проблеми. До відомих способів посіву просапних культур можна віднести спосіб висіву насіння, що включає формування посівної борозни, подачу в неї струменя рідини, посів насіння з засипанням ґрунтом і подальшим нерегульованим ущільненням і подрібненням ґрунту над посівним ривчаком [АС СРСР № 169918, МПК А01С 7/04] й інші [1-3].

Недоліком відомих способів є те, що вони спрямовані на підвищення точності висіву і не забезпечують максимальну польову схожість насіння з урахуванням неоднорідних властивостей ґрунту, наприклад, його вологості на довжині гону, або мінімальних витрат рідини для забезпечення необхідної вологості ґрунту. При нестачі опадів і засушливій погоді, відсутності контролю за вологістю орного поля та посівної борозни ґрунту часто перевищується науково обґрунтована глибина загортання насіння, що вимагає перенесення строків сівби, або висівання насіння на ризик в сухий ґрунт. Все це не гарантує сходів і урожаю вирощуваних культур. До недоліків відомих способів сівби сільськогосподарських культур належить також внесення поживних речовин під запрограмований врожай сільськогосподарських культур без врахування поживних речовин на окремих ділянках поля.

Іншими є способи сівбнасення [3-7], або відомий [патент України № 15126, опубл. 20 15.06.2006 р., М Кл А01В79/02], що містить створення в ґрунті борозен, подачу в них через сошник насіння і ущільнення борозен, при цьому додатково здійснюють підготовку насіння, поєднуючи її з подачею насіння у борозни шляхом змішування в сошнику потоку насіння з потоком водяного розчину добрив і стимуляторів росту, а ущільнення борозен поєднують з подачею в них спільного потоку насіння і водяного розчину добрив і стимуляторів росту на глибину закладення шляхом інтенсивного зволоження ґрунту водою [5-11].

Недоліком відомих способів є те, що їх дія спрямована на підвищення точності висіву, при цьому не забезпечується максимальна польова схожість насіння з урахуванням неоднорідних властивостей параметрів ґрунту на довжині гону, так як використання датчика вологості ґрунту, який прикріплений до торця сошника під насіннепровід, і пов'язаного з використанням контакту датчика з ґрунтом, приводить до механічного зносу, брязкоту контактів, помилкових спрацьовувань і виникнення відмов. Визначення вологості по омичному опору ґрунту приводить до великої похибки, особливо при швидкому переміщенню сівалки і тому дає недійсне визначення вологості ґрунту. За допомогою контактного датчика вологості практично неможливо здійснити безперервний контроль. Ці недоліки знижують польову схожість насіння і рівномірність розміщення насіння в борозні, а також призводять до збільшення витрат рідин, що вносяться в борозну [12-18].

Постановка завдання. Метою роботи є визначення переваг та недоліків сучасних способів посіву просапних культур. В основу поставлена задача удосконалення способу сівби насіння за рахунок використання технології по безконтактному визначенню вологості ґрунту, за допомогою якої можливо визначити реальний стан посівного поля та борозни і, яка забезпечує меншу похибку та більшу точність вимірювання параметрів ніж у відомих контактних методів визначення вологості. Додатково в робочій зоні

сівалки у атмосферному повітрі вимірюють фізико-хімічні властивості сільськогосподарського пилу (пилу ґрунтової дефляції), який виникає при переміщенні посівного агрегату, обчислюють гігроскопічність цього пилу, по якому визначають вологість ґрунту, і в залежності від її рівня автоматично керують виконавчими механізмами сошників сівалки, наприклад гідроциліндрами, які регулюють потрібні глибини борозен для закладання насіння. При переміщенні посівного агрегату визначають коефіцієнт спектральної яскравості сільськогосподарського пилу, по якому розраховують гумусові речовини ґрунту, та в залежності від його рівня керують виконуваними механізмами, які регулюють подачу у борозни органічних речовин, які необхідні рослинам для забезпечення потрібної родючості.

Це надасть необхідну інформацію для прийняття рішень і виконання технологічних операцій для забезпечення найкращих умов для проростання, підвищення польової схожості насіння, зниження витрат рідини і підвищення рівномірності розміщення насіння в борозні та в кожному з сусідніх (суміжних) рядках з забезпеченням найкращого розвитку рослин.

Виклад основного матеріалу. Спосіб сівби насіння просапних сільськогосподарських культур [5] пояснюється кресленнями: на рис. 1 зображено вид збоку сівалки, а на рис. 2 – вид спереду сівалки. До складу сівалки входить висіваючий блок, який складається: з рами 1, бункерної ємності 2, підвішених на опорках: спереду зчпний пристрій 3, з'єднаний за допомогою петлі з трактором (не показано), що регулюється гідроциліндрами 4, позаду колісна ходова система 5, що регулюється 20 гідроциліндрами 6. В свою чергу встановлюється два ряди хвилястих дисків 7 та два ряди сошників 8, які керуються виконавчими механізмами 9, по сигналах датчиків 22, встановлених на штанзі 11. В трубопроводі 12 бункерної ємності 2 для води та розчину активованої рідини встановлюються керовані клапани 13. З двох сторін рами 1 розташовані крила 14, що споряджені гідроциліндрами 15, які в робочому положенні утворюють жорстку конструкцію. На 25 крилах 14 встановлюються шарніри 16 до яких підвішуються дві піврами 17 на яких, в свою чергу, встановлюються два ряди хвилястих дисків 7 та два ряди сошників 8. Стан виконавчих механізмів 18 та слідопоказників 19 контролюють датчики 22-3.

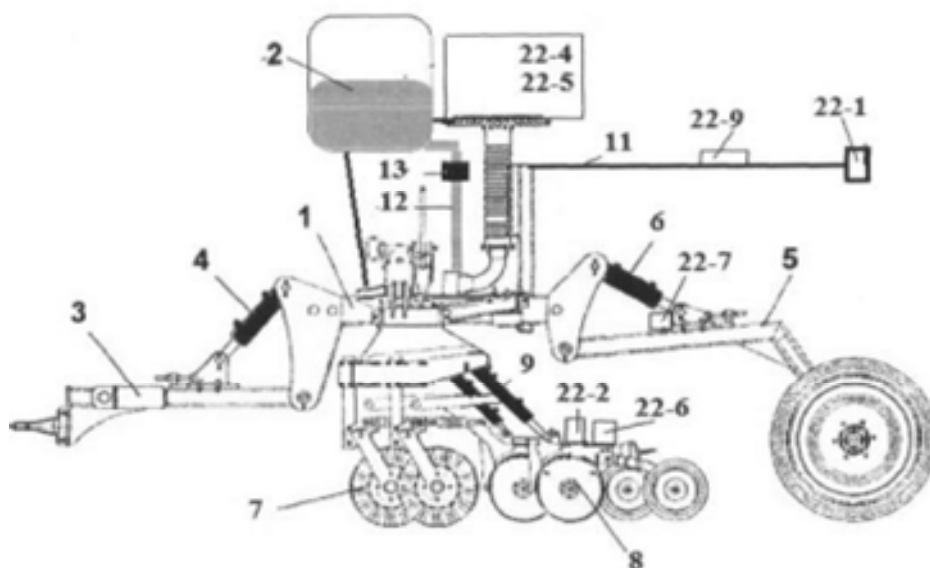


Рисунок 1 – Вид збоку сівалки

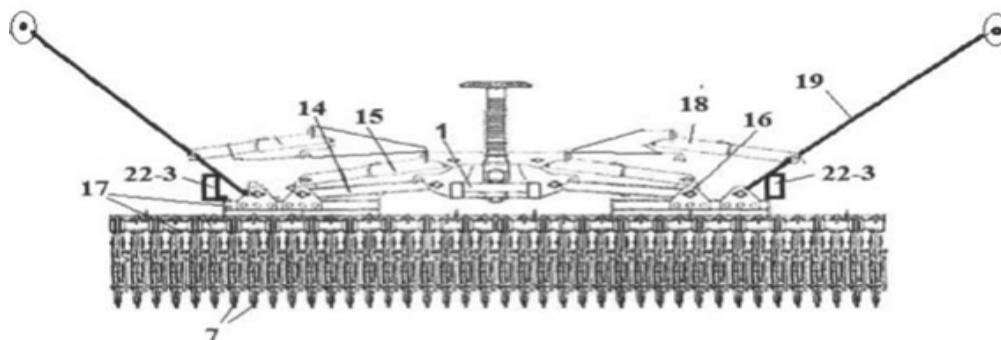


Рисунок 2 – Вид спереду сівалки

Управління сівалкою виконує мікропроцесорний блок керування 20 (рис.3), який входами з'єднується із пультом керування 21, датчиками 22, а виходами – виконавчими механізмами 9 30 сошників 8, гідроциліндрів 6, слідпоказчиків 19 і керованими клапанами 13. Пульт керування 21 має набір задавачів для встановлення по даному способу сівби насіння нормованих значень: глибин посівних борозен – задатчик 21-1, вологості ґрунту – задатчик 21-2, норми висіву насіння - задатчик 21-3, норми витрат активованих добрив і стимуляторів росту – задатчик 21-4, щільності ґрунту орного поля – задатчик 21-5, кроку висіву насіння у рядку – 35 задатчик 21-6.

Датчики 22 по даному способу сівби насіння виконують функції контролю за станом: пилу атмосферного повітря – датчики 22-1, висіву насіння – датчики 22-2, положення слідпоказчика – датчики 22-3, рівня насіння у висівних апаратах – датчики 22-4, частоти обертання висівних дисків - датчики 22-5, глибини посівних борозен - датчики 22-6, зусиль ущільнення посівних 40 борозен колесами, що коткують – датчики 22-7, швидкості переміщення посівного агрегату – датчики 22-8 (у кабіні трактора), швидкості і напрямлення вітру - датчики 22-9.

Перед початком роботи, трактор із сівалкою з'єднують за допомогою карданного вала автозчепленням 3 (трактор на кресленні не показано), а також з'єднують гідроциліндри 4, 6, 9 і 15 з гідравлічною системою трактора. Перевіряють розміщення висівних агрегатів по ширині 45 захоплення сівалки, встановлюють через пульт керування 21 необхідний крок висіву насіння у рядку – задатчиком 21-6, шляхом постановки необхідних насінних шестерень у приводних консолях, а також після визначення вильоту (відстань від диска слідпоказчика 19 до крайнього висівного ряду) слідпоказчика 19 встановлюють у робоче положення. Для цього із пульта керування 21, розташованого у кабіні трактора, здійснюють опускання слідпоказчиків 19 за 50 допомогою гідроциліндрів 18. Стан слідпоказчиків 19 контролюється датчиками положення 22-3. Після завершення сівби слідпоказчики 19 піднімаються гідроциліндром 18 у вихідне положення за допомогою зміни довжини тросів.

Перед сівбою із пульта керування 21 для сівалки попередньо задають потрібні вид насіння і норми його висіву, допустимі значення вологості та щільності ґрунту орного поля і посівних 55 борозен, нормовану глибину борозни та норми витрат активованих добрив і стимуляторів росту. Всі вказані задатчики пульта керування 21 входами підключаються до мікропроцесорного блока керування 20, який попередньо обчислює і встановлює необхідні відстані між насінинами в рядку за рахунок початкових заданих трактористом параметрів і зміни частоти обертання висівного диска секції сівалки, що контролює датчик 22-5, встановленого в насінневий ящик. Одночасно з цим автоматично визначається і зміщення в сусідніх (суміжних) рядках на піввідстані між місцями розташування насінин. Крім того, шляхом переміщення висівних секцій одна до одної встановлюють відповідну ширину між сусідніми (суміжними) рядками (ширина міжрядь).

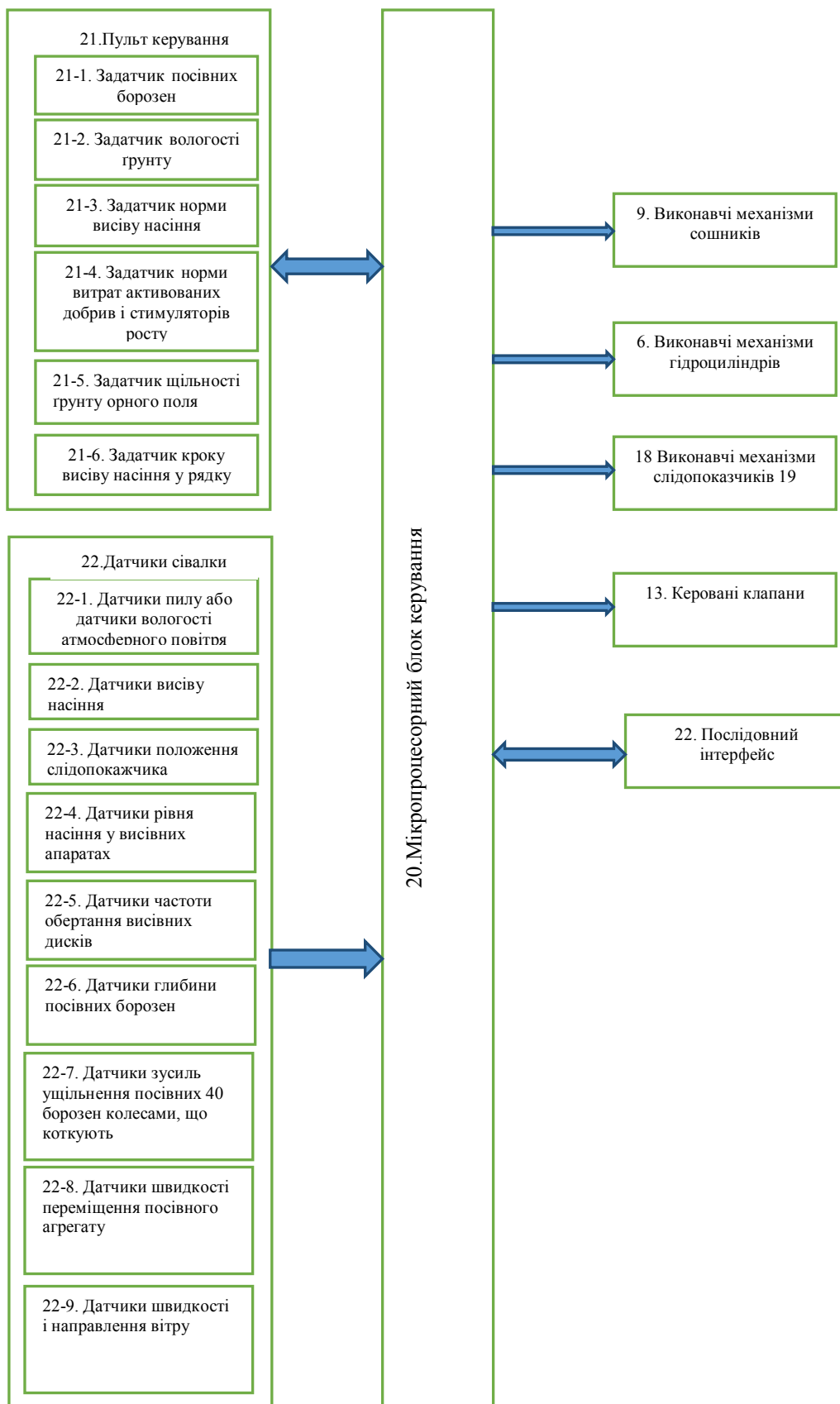


Рисунок 3 – Блок керування сівалкою

Сошниками 8 нарізують пробну посівну борозну, по якій визначають коректність 5 налаштувань датчиків 22 і перевіряють відповідність поверхні ґрунтів орного поля і борозни в зоні висіву насіння за допомогою еталонних стандартних пристроїв, наприклад вимірювачем вологості типу DT-616CT. При необхідності вносяться відповідні коригування, враховуючи, що датчики 22 налаштовуються автоматично. Коректують похибки вимірювань після тестування і встановлюють на пульті керування 21 10 значення оптимальної вологості ґрунту, наприклад 19 %. Засипають у насінневий ящик насіння, яке надходить у висівний апарат, в ємність 2 заливають рідину, наприклад активовані добрива й стимулятори росту, а у іншу ємність заливають воду. При пробному проїзді сівалки тракторист перевіряє роботу датчиків обертання диска 22-5 і висіву насіння 22-2.

При роботі сівалки за допомогою датчиків 22, мікропроцесорного блока керування 20 та додаткових нових елементів здійснюються наступні операції:

- грудковідведення пристроєм перед сошниками 8;
- нарізання сошниками 8 посівної борозни, з одночасним вимірюванням вологості ґрунту посівного поля за допомогою датчиків 22-1, для чого додатково вимірюють в робочій зоні сівалки у атмосферному повітрі концентрацію сільськогосподарського пилу (пилу ґрунтової дефляції), який виникає при переміщенні посівного агрегату та вимірюють дійсні величини глибин борозен за допомогою датчиків 22-6 блока 22;
- мікропроцесорний блок керування 20 обчислює гігроскопічність атмосферного повітря і в залежності від його рівня автоматично керує виконуючими механізмами сошників 8 сівалки, наприклад гідроциліндрами, які регулюють потрібні глибини борозен для закладання насіння, відповідно заданих норм з пульта 21 з урахуванням швидкості переміщення посівного агрегату та швидкості й напрямлення вітру;
- у посівні борозни вводять порції води для приведення ґрунту до стану вологості, що забезпечує максимальну польову схожість насіння в тому випадку, якщо вологість ґрунту, розрахована за даними її вимірювань до висіву і в процесі висіву, менше нормованої;
- при переміщенні посівного агрегату визначають коефіцієнт спектральної яскравості сільськогосподарського пилу (пилу ґрунтової дефляції), який залежить від вологості та гранулометричного складу поверхні ґрунту;
- мікропроцесорний блок керування 20 по коефіцієнту спектральної яскравості сільськогосподарського пилу визначає відсоток гумусових речовини у ґрунті та в залежності від його рівня керує клапанами 13, які регулюють подачу у борозни органічних речовин, відповідно заданої норми задатчиком 21-4;
- мікропроцесорний блок керування 20 розраховує щільності ґрунту у посівних борознах, за допомогою датчика 22-7 зусиль ущільнення посівних борозен колесами, що коткують;
- розпушування ґрунту посівних борозен, якщо щільність ґрунту відрізняється від заданої задатчиком 21-5;
- висів у посівну борозну насіння з одночасною реєстрацією відповідними датчиками висіву насіння, вологості і щільності в зоні висіву насіння при наявності їх у висівному апараті, що контролюється за допомогою датчиків 22;
- загортання ґрунтом насіння методом обвалення ґрунту в посівних борознах ободом колеса і ущільнення їх у борознах із заданим зусиллям, при цьому враховується значення фактичної вологості і щільності ґрунту у кожній посівній борозні;

- прикочування поверхні ґрунту з ущільненням посівних борозен по осі рядка і в захисних зонах котками із зусиллям, що визначається дійсним станом орного поля, з подальшим шлейфуванням і мульчуванням ґрунту шлейфом.

Для визначення вологості ґрунту на поверхні орного поля, де нарізуються борозни, в робочій зоні сівалки у атмосферному повітрі вимірюють концентрацію сільськогосподарського пилу (пилу ґрунтової дефляції), який виникає при переміщенні посівного агрегату. Це може здійснюватися за допомогою, наприклад, пристрою вимірювання пилу DUSTHUNTER C200 компанії SICK AG, який підтримує два вимірювальних принципи: за коефіцієнтом пропускання і розсіяного світлового випромінювання, вимірюють концентрацію пилу в атмосферному повітрі. SICK DUSTHUNTER C200 стабільно працює навіть при дуже низькій або високій концентрації пилу, має функцію автоматичної перевірки нульової точки і точки відліку, а також підтримує самоустановку. Найбільш суттєвими факторами, що визначають вміст пилу в атмосферному повітрі у робочій зоні агрегату, є вологість і структура ґрунту, а також розташування місця установки датчиків 20-1 щодо впливу на нього пилоутворюючих факторів, напрямок і швидкість руху агрегату.

Мікропроцесорний блок керування 20 обчислює гігроскопічність атмосферного повітря і в залежності від його рівня автоматично керує виконавчими механізмами сошників 8 сівалки, наприклад гідроциліндрами 6, які регулюють потрібні глибини борозен для закладення насіння, 5 відповідно заданих норм з пульта 21.

В іншому випадку для виміру вологості ґрунту через атмосферне повітря у сільськогосподарському пилу у робочій зоні при переміщенні посівного агрегату може буде використаний інфрачервоний вологомір, що містить джерело ІЧ-випромінювання, оптично зв'язаний з фотоприймачем через оптичну систему, модулятор-монохроматор з інтерференційними фільтрами і мікропроцесор, з'єднаний з фотоприймачем, а оптична система виконана з передавальних та приймального світловодів, при цьому вхідні вікна передавальних світловодів розташовані після модулятора-монохроматора по колу переміщення інтерференційних фільтрів на відстані один від одного, дорівнює діаметру інтерференційного фільтра, а вихідні вікна розміщені рівномірно по ширині полотна паперу навпроти вхідних вікон 15 приймального світловода, на виході якого розташований фотоприймач, наприклад використовується безконтактний (інфрачервоний) термометр ScanTemp RH 896 з лазерним прицілюванням і гігromетричним датчиком (Dostmann electronic GmbH, Німеччина) з вбудованим USB-портом.

Датчики 22-10 дозволяють не тільки відображати місця з ризиком утворення вологи, але і безпосередньо розраховувати вологість на поверхні ґрунту поля з відображенням значень на дисплеї мікропроцесорного блока керування 20 і використовувати ці параметри для керування виконавчими механізмами сошників 8 - гідроциліндрами сівалки, які регулюють потрібні глибини борозен для закладення насіння. Обчислена мікропроцесорним блоком керування 20 гігроскопічність ґрунту визначає його вологість, яка зрівнюється з нормованою, що забезпечує максимальну польову схожість насіння та, якщо вологість ґрунту, розрахована за даними її вимірювань до висіву і в процесі висіву, менше нормованої то у посівну борозну вводять порцію води з розчином активованої рідини для приведення ґрунту до стану вологості.

При русі сівалки по полю маса висіваючого блока рівномірно розподіляється через шарніри 16, напів рами 17 на хвилясті диски 7 та сошники 8 по всій ширині висіваючого модуля, забезпечуючи рівномірне довантаження хвилястих дисків 7 та сошників 8 та краще проникнення їх в ґрунт при несприятливих для посіву умовах, наприклад на ділянках з нерівномірною поверхнею поля, а також рівномірне покриття

грунту посівним матеріалом або добривами, шляхом скорочення довжини гідроциліндрів 4, та передачі частково маси бункерної ємності або трактора через петлю, зчпний пристрій 2, раму 1, крила 14, шарніри 16, напіврами 17 до 35 хвилястих дисків 7 та сошників 8.

Перед визначенням вологості та щільності ґрунту висіву, до висіву та в процесі висіву насіння у борозни, виміряють дійсні значення глибини посівної борозни та зусилля ущільнення посівної борозни колесами. Для цього використовуються відповідні датчики. Так для визначення глибини борозен може бути використаний ультразвуковий датчик наближення «ДГВ-200», який видає в цифровому вигляді вимірне значення в сантиметрах і не вимагає калібрування і тарування та передає вимірне значення по інтерфейсу RS-485.

При русі посівного комплексу ультразвуковий датчик багато разів в секунду вимірює відстань до землі, після математичної обробки отримуючи усереднене стабільне значення в сантиметрах. Якщо на даному агрегаті при 61 см сошники тільки торкаються ґрунту, то 45 переважна при роботі відстань до землі в 56 см відповідає глибині висіву 5 см.

Програмне забезпечення мікропроцесорного блока керування 20 на підставі треків сівалки по полю і показань датчика глибини борозен будує карту глибин висіву. По ній керівник може одним поглядом оцінити рівномірність глибини висіву на поле і виявити ділянки з порушенням технології.

Висновки. Запропонований спосіб сівби дозволить підвищити врожайність висіяного насіння за рахунок більш якісного припосівного розподілу насіння і добрив у ґрунті та дозволяє виконувати сівбу насіння при нестачі продуктивної вологи на глибині загортання насіння, в агротехнічні строки, у вологий ґрунт на глибину, що забезпечить найкращі умови для проростання насіння, та гарантує оптимальну густоту сходів.

Список літератури

1. Сільськогосподарська техніка: Каталог. Ч. 1, Москва, 1981. – С. 249 - 250.
2. Сельскохозяйственная техника и технологии: учебники и учеб. пособия для студентов высших учебных заведений / [Спицин И.А., Орлов А.Н., Ляпченко В.В. и др.]; под редакцией И.А. Спицина. – М.: Колос, 2006. – 647 с.
3. Посібник. Машина для обробки ґрунту та сівби / За ред.Кравчука В.І., Мельника Ю.Ф. – дослідницьке: УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого. – 2009. – 288.
4. Пат. на корисну модель № 84925 Україна, МПК 2013.01, А01С 7/00. Спосіб сівби просапних культур і внесення добрив / ЛобовВ. Й., Назаренко В. М., Дубовик І.І.; заявл.26.03., опубл.11.11.2013, Бюл. № 21.
5. Пат. на корисну модель № 93947 Україна, МПК 2013.01, А01С 7/00. Спосіб сівби просапних культур і внесення добрив / ЛобовВ. Й., Дубовик І.І., Савосько В.М., заявл.22.04.2014, опубл.27.10.2014, Бюл. № 20.
6. Пат. на корисну модель № 84931 Україна, МПК 2013.01, А01С 7/00. Пристрій для висіву насіння просапних культур і внесення добрив/ Лобов В. Й., Назаренко В. М., Дубовик І.І.; заявл.26.03., опубл.11.11.2013, Бюл. № 21.
7. Пат. на корисну модель № 84902 Україна, МПК А01С 7/00, G01D 5/12, G01D 9/00. Система контролю висіву насіння / Лобов В. Й., Назаренко В.М., Дубовик І. І., Мірошник А. В., опубл. 11.11.2013, Бюл. № 21.
8. Пат. №57099 Україна, МПК А01С7/00. Спосіб сівби насіння та пристрій для його реалізації/ Білоконь О. П. - №2109431 заявл. 27.04.98; опубл.16.06.2003 р. Бюл.№6
9. Аніскевич Л.В. Елементи теоретичного обґрунтування системи точного землеробства / Л.В. Аніскевич // Збірник наук. праць КІСМ. – Кіровоград. – 1998.— Вип. 2. – С. 184-189.
10. Аніскевич Л.В. Аналіз місцевизначеної інформації в системі точного землеробства // Науковий вісник НАУ. – К.: НАУ, 2000. - Т. 33. - С. 139-145.

11. Басин В.С., Брей В.В., Погорелый Л.В. и др. Машины для точного посева пропашных культур: конструирование и расчет. Под ред. Л.В.Погорелого. - К.: Техніка, 1987, с.130.
12. Лобов В.Й., Дубовик І.І. Перспективи впровадження систем презиційного землеробства в АПК України //Вісник Криворізького технічного університету. Збірник наукових праць.-2012. - №32. - 199 с.
13. Жукова О.А. Точность на полях. // Агропрофи. № 3, 2008г., ст. 12-34.
14. Пархоменко Ю.М. Дослідження факторів впливу на сталість норми висіву зернових культур у польових умовах / Ю.М. Пархоменко, В.О.Кондратець, М.Д. Пархоменко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвідомч. наук.-техн. зб-к. – 2012. – Вип. 42, Ч. I. – С.121-127.
15. Калініченко А.В. Оптимальне використання земельних ресурсів – надійний засіб досягнення збалансованості агроєкосистем // Агроєкологічний журнал. – 2005. – № 1. С.15-22.
16. Гіліс М.Б. Локальне внесення добрив / М.Б. Гіліс. – К.: УАСГН, 1962. – 192 с.
17. Дейкун В.А. Аналіз способів внесення мінеральних добрив / В.А. Дейкун, В.М. Сало, О.М. Васильковський // Наукові записки. – Вип. 5. – Кіровоград, КНТУ, 2004. – С. 12-15.
18. Пат. 3724. Робочий орган для локального внесення мінеральних добрив / Дейкун В.А., Сало В.М., Васильковський О.М.; заявник і патентотримач Кіровоградський державний технічний університет. – №2004021299; заявл. 23.02.2004; опубл. 15.12.2004, Бюл. №12.

Vyacheslav Lobov

State higher educational institution «National University of Krivoy Rog»

A method of sowing seeds of cultivated crops

The paper presents that to improve the accuracy of seeding and maximum field germination of seeds is necessary to consider the heterogeneity of soil properties, such as its moisture on the length of the rut. This is especially important in modern technology planting row crops is accompanied by a significant increase in performance and speed drills by sowing the field. Given way to seed, which is to determine the properties of the agricultural dust - dirt deflation, which occurs when you move the drill, this is calculated hygroscopic dust, which determine soil moisture, and depending on its level is automatically controlled actuators openers regulators need to lay the depth of furrows in their seeds.

The method comprises creating sowing furrows in the soil, feeding them through the seed opener and seal grooves, while additionally provide training seed, combining it with the seed in the furrow by mixing in the opener seed flow with the flow of aqueous solution of fertilizers and growth stimulants and seal combine with the feeding grooves in them and the total flow of seed and fertilizer aqueous growth stimulants planting depth of soil moisture by intensive water, and further working area in the air seeder measuring physic-chemical properties of the agricultural dust (dust soil deflation), which occurs when moved sowing unit. Calculate the hygroscopicity of the dust, which determine the soil moisture content, and depending on its level is automatically controlled actuators sowing coulters, for example, hydraulic cylinders that regulate the depth of the furrows need for seeding. In the seed furrow portion of the water introduced to bring the soil moisture to an optimum state, provides the necessary seed germination if the soil moisture, calculated on the basis of its measurements before and during sowing of seed, less than critical, and determine the coefficient of the spectral brightness agricultural dust (soil dust deflation), which is calculated by soil holmic substances. Depending on the level of control actuators that regulate the flow of organic matter in the grooves, which are necessary for plants to provide the desired fertility. There is provided a block diagram of a control system drill, which realizes the proposed method for seeding.

way, drill, seed, furrow, ground deflation, hygroscopic dust, soil moisture, system management

Одержано 06.03.12

УДК 631. 363

Д.О. Мілько, доц., канд. техн. наук*Таврійський державний агротехнологічний університет, м. Мелітополь, (Україна),
milko_dmitry@mail.ru*

Методика оцінки фізико-механічних властивостей рослинної сировини

Представлено методику визначення основних фізико-механічних показників рослинної сировини, а саме модулю зсуву досліджуваного матеріалу, моменту інерції перетину пучка стебел та модулю пружності першого роду. Отримані залежності дозволять одержати дані, необхідні для перевірки на адекватність теоретичних передумов щодо визначення зусиль, потрібних на ущільнення рослинної сировини.

рослинна сировина, модуль зсуву, момент інерції, модуль пружності, властивості рослинної сировини, переміщення під навантаженням

Д.А. Милько, доц., канд. техн. наук*Таврический государственный агротехнологический университет, г. Мелитополь (Украина)***Методика оценки физико-механических свойств растительного сырья**

Представлена методика определения основных физико-механических показателей растительного сырья, а именно модуля сдвига исследуемого материала, момента инерции сечения пучка стеблей и модуля упругости первого рода. Полученные зависимости позволят получить данные, необходимые для проверки на адекватность теоретических предпосылок относительно определения усилий, необходимых для уплотнения растительного сырья.

растительное сырье, модуль сдвига, момент инерции, модуль упругости, свойства растительного сырья, перемещение под нагрузкой

Актуальність. Фізико-механічні властивості різноманітних матеріалів підлягали аналізу з давніх часів. Ще Максвелл запропонував розглядати матеріали як сукупність двох середовищ – пружної, що підпорядковується закону Гука, та в'язкої, яка описується законом Ньютона у 1868 році. Про пружні та в'язкі властивості сільськогосподарських матеріалів говорив і Желіговський В.А. [1].

На наш погляд, насамперед це пов'язано із зацікавленістю людей у збереженні поживних речовин рослин на протязі холодної пори року. В свою чергу якісно збережена рослинна сировина є джерелом поживних речовин для тварин, які і продукують необхідні для людей продукти харчування.

Дослідженнями процесів ущільнення займалися такі видатні вчені як В.П. Горячкин, Е.М. Гутьяр, пізніше І.А. Долгов, В.І. Особов, Ю.Ф. Новіков, В.Ф. Некрашевіч та ін. Однак величезна кількість напрацювань стосується безпосередньо прямого впливу тиску на рослинну сировину.

Попередні дослідження зміни опору стебловій частині рослин [2] вказують на поступове зменшення опору стебел із часом при прикладенні навантажень. Саме цей факт слід використовувати при закладанні рослинної сировини на зберігання.

Однак для визначення та опису цих властивостей (модулю зсуву, моменту інерції перетину пучка стеблин та модулю пружності) при вигині та скручуванні не вистачає даних. Саме тому вважається за доцільне створення методики визначення вище приведених властивостей для підтвердження гіпотези про зменшення пружного ефекту при ущільненні рослинної сировини методом скручування.

© Д.О. Мілько, 2015

Постановка завдання. Метою дослідження є створення методики оцінки фізико-механічних властивостей рослинної сировини, яка забезпечить необхідну точність теоретичних розрахунків щодо визначення енергетичних втрат в процесі ущільнення методом скручування.

Поставлена мета реалізується шляхом математичного моделювання та розрахунку показників пружності та пластичності стеблових матеріалів.

Методика дослідження. При скручуванні стержня круглого перетину моментом сил $M_{кр}$, прикладених до його кінців, виникає деформація у вигляді повороту його перетинів на кут φ відносно нерухомо закріпленого кінця (основи).

Для перетину, який знаходиться на відстані x від основи, цей кут знаходиться із залежності [3]

$$d\varphi = \frac{M_{кр}}{GJ_x} dx, \quad (1)$$

де G – модуль пружності зсуву (модуль другого роду);

J_{px} – полярний момент інерції перетину стержня на відстані x від основи, що дорівнює $J_{px} = \frac{\pi D_x^4}{32}$;

D_x – діаметр перетину стрижня на відстані x від основи.

Представляючи, що стрижнем є стебло рослини, яке має конічну форму зі зменшенням діаметру за довжиною, зміну діаметра перетину від довжини x представимо виразом

$$D_{c_x} = D_c - \frac{D_c - d_c}{l_c} x, \quad (2)$$

де D_c, d_c – відповідно діаметр основи і кінця стрижня;

l_c – довжина стрижня.

Підставивши формулу (2) в (1) і проінтегруємо отриманий вираз

$$\varphi = \frac{32M_{кр}}{\pi G} \int_0^l \frac{dx}{[D_c - (D_c - d_c)x/l_c]^4}. \quad (3)$$

Звідки

$$\varphi = \frac{32M_{кр}}{3\pi G} \cdot \frac{l}{D_c - d_c} \left(\frac{1}{d_c^3} - \frac{1}{D_c^3} \right). \quad (4)$$

За цим виразом знаходимо величину модулю зсуву досліджуваного матеріалу стебла

$$G = \frac{32M_{кр}}{3\pi\varphi} \cdot \frac{l}{D_c - d_c} \cdot \left(\frac{1}{d_c^3} - \frac{1}{D_c^3} \right). \quad (5)$$

Для визначенні осевого моменту інерції стебел рослин, зв'язаних в пучок (сніп) (рис. 1), розглянемо крок розміщення стебел по радіусу снопа і його колу

$$h = \sqrt{3}r_c \quad \text{і} \quad d = 2r_c, \quad (6)$$

де r_c – радіус стебла.

Таким чином, у кільці з середнім радіусом ρ і шириною dx знаходиться кількість стебел

$$dx = \frac{\pi\rho}{\sqrt{3}r_c^2} d\rho. \quad (7)$$

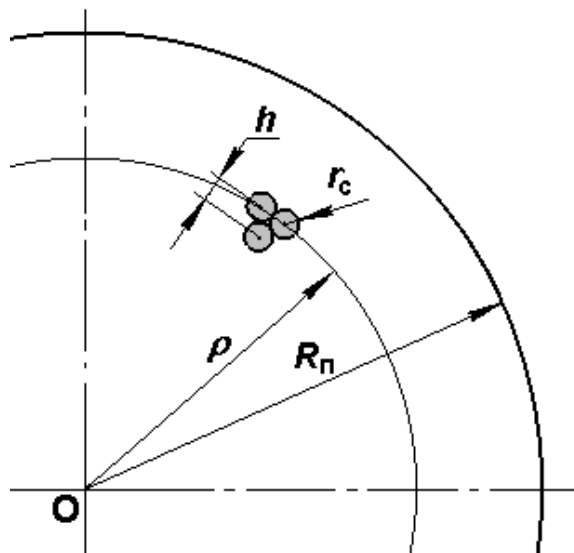


Рисунок 1 – Розташування стебел в пучку

Отже, осьовий момент інерції стебел, розташованих у цьому кільці, становить

$$dJ = \frac{\pi\rho}{\sqrt{3}r_c^2} \cdot \pi r_c^2 \cdot \rho^2 d\rho + \frac{\pi\rho}{\sqrt{3}r_c^2} \cdot \frac{\pi r_c^4}{2} d\rho = \frac{\pi^2}{\sqrt{3}} \left(\rho^3 + \rho \cdot \frac{r_c^2}{2} \right) d\rho. \quad (8)$$

У результаті інтегрування отримуємо момент інерції J_n перетину пучка, який буде дорівнювати

$$J_n = \frac{\pi^2 R_n^2}{4\sqrt{3}} (R_n^2 + r_c^2). \quad (9)$$

Беручи до уваги, що $R_n = \sqrt{3}r_c^2 z$, де R_n – радіус пучка, z – кількість стеблин, отримаємо

$$J_n = \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \pi^2 z^2 \cdot (3z^2 + 1) \cdot r_c^4. \quad (10)$$

Для знаходження величини модуля зсуву досліджуваного з використанням усього снопа використаємо залежності (5).

Для цього з виразу (10) знайдемо приведений діаметр снопа у нерухомо закріпленого кінця (основи), який становить

$$D_n = \sqrt[4]{\frac{\sqrt{3}}{2} \pi z^2 (3z^2 + 1) \cdot D_c}. \quad (11)$$

У кінці стрижня приведений діаметр снопа дорівнює

$$d_n = D_n \cdot \frac{d_c}{D_c}. \quad (12)$$

Звідси величина модуля зсуву матеріалу стебел, зв'язаних в пучок (сніп), визначається з виразу

$$G = \frac{16M_{кр}}{3\sqrt{3}\pi^2 z^2 \varphi(3z^2 + 1)} \cdot \frac{l}{D_n - d_n} \cdot \left(\frac{1}{d_n^3} - \frac{1}{D_n^3} \right). \quad (13)$$

де D_n, d_n – відповідно діаметр нерухомої основи і кінця пучка стебел.

На кінцях стебел діаметр пучка дорівнює

$$d_n = D_n \cdot \frac{d}{D}. \quad (14)$$

Запропонуємо більш простий спосіб визначення осьового моменту інерції J_n стебел рослин, зв'язаних в пучок (сніп).

При цьому виходимо зі зниження поверхневої щільності пучка через нещільне взаємного прилягання стебел у ньому. Таким чином, осьовий момент інерції J_n стебел рослин, зв'язаних в пучок, становитиме

$$J_n = J_{n0} \cdot \frac{\sum S_c}{S_{n0}}, \quad (15)$$

де J_{n0}, S_{n0} – відповідно момент інерції і площа перетину пучка поточного перетину;

$\sum S_c$ – сумарна площа перетину стебел.

Приймаючи стільникове взаємне розташування стебел в пучку (рис. 2) для взаємно прилеглих трьох стебел вираз (15) можна представити у вигляді

$$J_n = J_{n0} \cdot \frac{\pi r_c^2 / 2}{\sqrt{3} r_c^2} = \frac{\pi}{2\sqrt{3}} J_{n0}, \quad (16)$$

За цієї умови для знаходження величини модуля зсуву досліджуваного матеріалу з використанням пучка стебел (снопа) застосовуємо формулу (5), яка набуде вигляду

$$G = \frac{64M_{кр}}{\sqrt{3}\pi^2 \varphi} \cdot \frac{l}{D_n - d_n} \cdot \left(\frac{1}{d_n^3} - \frac{1}{D_n^3} \right). \quad (17)$$

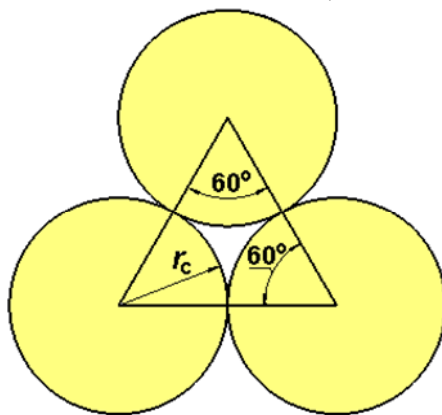


Рисунок 2 – Розташування стебел в пучку

Таким чином, при визначенні величини модуля зсуву матеріалу як для одного стебла, так і в складі пучка стебел слід визначити D і d – середні діаметри D основи і d кінця стрижня, довжину l стержня, відповідно для пучка стебел (снопа) D_n і d_n – діаметр нерухомої основи і кінця пучка та його довжину l , момент сил $M_{кр}$, прикладених до його кінця, та кут φ повороту перетину кінця стрижня відносно нерухомо закріпленого кінця.

Незважаючи на однотипність виразів формул (5) і (17), результати різняться хоч би виходячи з того, що при деформації пучка стебел завжди наявним буде їх взаємне радіальне переміщення, яке супроводжується тертям. При цьому для стебел у пучку вже не буде відбуватися так званого чистого зсуву, а відбуватимуться як зсув, так і згинання. Особливо цей факт буде помітний із віддаленням стебел від центральної вісі пучка. Саме цим і можна пояснити менші значення модулю зсуву для пучка стебел.

Теоретичні основи визначення модуля згину.

Під дією зовнішніх сил, що викликають прямий вигин стебла, його спочатку пряма вісь викривляється, перетворюючись на криву лінію, яка називається вигнутою віссю або пружною лінією.

Лінійне переміщення центру поперечного перерізу перпендикулярно до вісі недеформованого стебла називається прогином (y) перерізу, максимальне значення якого називається стрілою f прогину. При цьому поперечний переріз залишається плоским і нормальним до вигнутої вісі стебла. Воно повертається навколо нейтральної вісі на кут θ , який називається кутом повороту перерізу.

Центри маси поперечних перерізів при деформації стебла лінійно переміщуються, як перпендикулярно, так і паралельно до його вісі x , а кут нахилу до вісі стебла, дотичній до вигнутої осі у будь-якій точці, дорівнює куту повороту θ поперечного перерізу, що проходить через цю точку.

Таким чином, рівняння зігнутої вісі пружного стебла під дією згинаючого моменту $M(x)$ має вигляд [3]

$$\frac{\frac{d^2 y}{dx^2}}{\sqrt{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^3}} = \frac{M(x)}{EJ}, \quad (18)$$

де E – модуль пружності першого роду;

J – осьовий момент інерції для круглого перетину, що дорівнює половині осьового моменту інерції.

Так як у нашому випадку при дослідженнях використовуємо консольне закріплення як стебла, так і пучка, згинаючий момент $M(x)$ визначається залежністю

$$M(x) = P \cdot l, \quad (19)$$

де P – зусилля згину.

Практично при відношенні величини прогину до довжини балки менше ніж 0,05 у рівнянні (18) нехтують квадратом першої твірної у чисельнику, яка досить мала порівняно з одиницею. Тоді це рівняння набуває наближеного вигляду, який використовується у більшості випадків.

У нашому випадку стебла рослин (при вологості закладається сінажу біля 55 %) досить гнучкі, тому слід використовувати рівняння (18) у його повній формі.

Таким чином, отримаємо

$$E = \frac{P \cdot l}{J} \cdot \frac{\frac{d^2 y}{dx^2}}{\sqrt{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^3}}. \quad (20)$$

При визначенні модуля пружності першого роду E з використанням одного стебла у вираз (20) підставляємо значення осевого моменту інерції, яке дорівнює

$$J = \frac{\pi}{64} \left(D_c - \frac{D_c - d_c}{l_c} x \right)^4, \quad (21)$$

при визначенні модуля пружності першого роду E з використанням пучка стебел

$$J = \frac{\sqrt{3}}{8} \cdot \pi^2 z^2 \cdot (3z^2 + 1) \cdot r_c^4 \quad \text{чи} \quad J = J_{n_0} \cdot \frac{\pi}{4\sqrt{3}} J_{n_0}. \quad (22)$$

Для розв'язання диференційного рівняння (20) необхідно його двічі проінтегрувати [4, 5] та після підстановки значень виразів (21) та (22) і математичних перетворень отримаємо вирази відповідно для визначення модулю пружності одного стебла

$$E = \frac{P \cdot l^3}{3y \left(\frac{\pi}{64} \left(D_c - \frac{D_c - d_c}{l_c} x \right)^4 \right)}, \quad (23)$$

та для пучка стебел

$$E = \frac{P \cdot l^3}{3y \left(\frac{\sqrt{3}}{8} \pi^2 z^2 (3z^2 + 1) r_c^4 \right)}. \quad (24)$$

Висновки. В результаті проведеної роботи отримано методику визначення основних фізико-механічних властивостей рослинної сировини. Крім запропонованої методики представлено теоретичне обґрунтування визначення модулів зсуву та пружності як для одного стебла, так і для пучка стебел. Завдяки визначенню цих модулів стає можливим розрахунок напружень, що виникають в процесі ущільнення рослинної сировини.

Список літератури

1. Желиговский В. А. Экспериментальная теория почвообрабатывающих машин и механической технологии сельхозматериалов. / В. А. Желиговский. – Тбилиси: ГСХИ, 1960. – 146 с.
2. Мілько Д. О. Напрямки вдосконалення технологій заготівлі об'ємних кормів на принципах збереження поживних речовин під час виконання технологічного процесу / Д.О. Мілько // Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенко – Харків. – Вип. 132, 2013.
3. Биргер И. А. Сопротивление материалов: учебное пособие / И. А. Биргер, Р. Р. Малютков. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 560 с.
4. Иванов В. Н. Вариационные принципы и методы решения задач теории упругости: Учеб. пособие. / В. Н. Иванов. – М.: Изд-во РУДН, 2004. – 176 с.
5. Папкович П. Ф. Теория упругости / П. Ф. Папкович. – К.: Оборонгиз, 1939. – 641 с.

Dmitry Milko

Tavria State Agrotechnological University

Methods of Plant Material Physical and Mechanical Properties Assessing

Purpose of research is creating methodologies of evaluating physical and mechanical properties of plant material to provide the required accuracy of theoretical calculations for determining the energy loss in the sealing process by twisting.

The target is realizing by means of mathematical modeling for determining the shear modulus and modulus of elasticity.

The theoretical calculations assess the quantitative of stresses occurring during compaction plant material

plant material, shear modulus, moment of inertia, elastic modulus, plant material properties, moving under stress

Одержано 10.04.15

УДК 631. 3.83

Р. В. Мельник, пров. наук, співроб., канд. техн. наук

Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства», смт. Глеваха, roma_meln@mail.ru

Ефективність роботи мобільних електрифікованих засобів сільськогосподарського призначення

В статті приведенні результати попередніх досліджень експериментального зразка електротрактора ХТЗ-2511Е а також встановлено, що на сьогоднішній день набувають широкого розповсюдження електродвигуни вентильного типу для електротранспорту через високий ККД до 95% та можливість програмування контролера на різну напругу та різні режими роботи.

мотор-колеса, мобільно енергетичні засоби, трактор, електродвигун, тягова характеристика, електроаккумуляторний привод

Р. В. Мельник, ведущий науч. сотр., канд. техн. наук

Национальный научный центр «Институт механизации и электрификации сельского хозяйства»

Эффективность работы мобильных электрифицированных средств сельскохозяйственного назначения

В статье приведены результаты предыдущих исследований экспериментального образца електротрактора ХТЗ-2511 а также установлено, что на сегодняшний день получают широкое распространение электродвигатели вентильного типа для електротранспорта из-за высокого КПД до 95% и возможностью программирования контроллера на различное напряжение и различные режимы работы.

мотор-колеса, мобільно енергетические средства, трактор, электродвигатель, тяговая характеристика, электроаккумуляторный привод

Постановка проблеми. Активізація світових глобалізаційних процесів співпала з глибокими соціально-економічними реформами в Україні, що призвело до сировинної переорієнтації нашої економіки та кризової залежності від економік більш успішних країн.

Однією з характерних особливостей виробництва сільськогосподарської продукції в Україні є суттєва залежність від імпортованих енергоносіїв:

- потреба України в енергоресурсах складає 220 млн. т. у. п., у тому числі, імпорт – понад 60%, а власний видобуток нафти – близько 30% від необхідного;
- дизельне пальне лише при виконанні основних технологічних процесів рослинництва складає понад 20% собівартості рослинної продукції;
- спочатку продається (і в досить обмежені терміни) продукція рослинництва, а потім купується пальне. Будь-яке підвищення прибутку від реалізації продукції рослинництва легко втрачається при закупівлі палива. Країна, яка продає хліб, завжди в програші країні, що продає паливо.

З іншої сторони, Україна на сьогодні є однією з найбільш розвинутих і перспективних країн світу з питань виробництва електричної енергії:

- потужна система теплоелектростанцій (14 теплових електростанцій зі встановленою потужністю понад 30 тис. МВт). При цьому запасами вугілля Україна забезпечена на 400 років;
- за встановленими потужностями ядерної енергетики Україна займає 8 місце в світі та має значні запаси уранової руди;
- частка електроенергії, отриманої від енергії сонця і вітру, в 2030 рік має становити 15%, сучасний вітроенергетичний потенціал України становить 30000 ГВт·год. на рік;
- перспективним є використання відходів рослинництва для виробництва електроенергії в умовах окремого господарства.

Динаміка зростання цін на одиницю енергії у вигляді електроенергії в Україні менша ніж у вигляді дизельного палива при тому, що прибуток за рахунок різниці ціни реалізації та собівартості виробництва залишається в країні.

Таким чином, можна стверджувати про те, що одним із чинників ефективності сільського господарства України в подальшому буде освоєння нового рівня електрифікації виробництва. Важливе значення в цьому процесі займає питання переведення мобільних енергозасобів, зокрема, тракторів сільськогосподарського призначення на електричний привід.

Формулювання цілей. Підвищення ефективності роботи мобільних енергетичних засобів сільськогосподарського призначення за рахунок використання електроенергії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У попередніх роботах закордонних і вітчизняних науковців [1, 2, 3, 4, 15], у тому числі фахівців Національного наукового центру «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» [1, 10], досліджені окремі питання організації роботи електротракторів, вибору силового електроприводу, розробки принципів схем керування електроприводом, оцінки економічного, екологічного та соціального ефекту.

Але недостатня розвиненість науково-прикладних передумов створення електротракторів та реально існуюча потреба в них зумовлює необхідність проведення досліджень з метою підвищення їх енергетичної ефективності та широкого впровадження, що надто важливо для України в екологічному та паливно-енергетичному аспектах.

Виклад основного матеріалу. Електричний двигун для сучасного електротранспорту може бути як постійного, так і змінного струму. Його основне завдання - передача крутного моменту на рушій електротранспорту. Основні відмінності сучасного тягового електродвигуна від традиційної механічної машини - це велика потужність і компактні розміри, викликані обмеженістю використовуваного простору. В якості характеристик тягового електродвигуна, крім потужності і

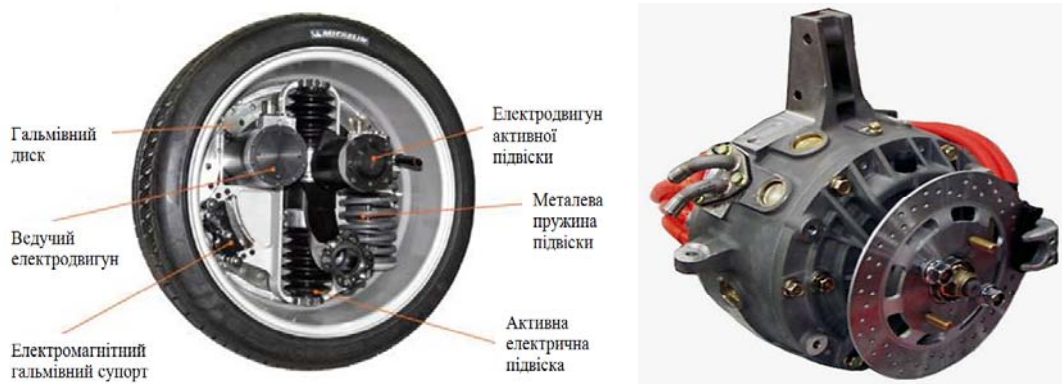
максимального крутного моменту, враховуються напруга, струм, а також частота обертання.

На сьогоднішній день розроблені нові типи тягових електродвигунів вентильного типу, які широко використовуються в електроприводі сучасних машин, вони приведені в табл. 1 [5, 8, 11, 12, 13].

Таблиця 1 – Електродвигуни провідних фірм світу

Назва фірми	Потужність, кВт	Маса, кг	Струм, А	Оберти, об/хв	КПД, %	Країна виробник
YASA MOTORS	55	25	400	2000	95	Англія
	90	22	750	7500	95	
LMC Motors	4	11	400	3600	92	Англія
	5	11	400	2592	89	
	6	11	400	6000	92	
	10	11	400	2520	83	
CLOUD ELECTRIC	22,9	15...30	300	2423	84,8	США
	19,48		250	2649	86,6	
	17,3		220	2800	87,4	
	16,5		205	2912	89,4	
	14,5		180	3091	89,5	
14,2	170	3200	92,8			
AMRE	15	15...30	200	2000	90	Італія
	20		300	1150		
	25		400	1150		
GOLDEN MOTOR	20	17	400	3000-6000	90	Китай

Останнім часом в якості двигуна для електромашин інженери використовують систему мотор-колесо (рис. 1), правда, все частіше на концепт -карах. Винятком став Volage - спортивний електромобіль, побудований силами Venturi та Michelin, який незабаром надійде у продаж. Технологія Active Wheel має ряд переваг. Всі активні системи безпеки, такі як ABS, ESP, Brake Assist і Traction Control можна прошити в керуючий софт, після чого вони зможуть впливати на кожне колесо окремо. Додамо до цього мобільність системи і здатність регенерувати енергію гальмування [5, 6, 7, 8].



Мотор-колесо Venturi та Michelin

Мотор-колесо Colt EV з вбудованим редуктором і дисковими гальмами

Рисунок 1 – Сучасні системи мотор-колеса

Проблема мотор-коліс на полягає в тому, що вага колеса збільшується через механізми всередині обода, а це погано позначається на керованості, підвищиться знос підвіски, збільшиться передача вібрації на кузов.

В Голландії розробили повнофункціональний сільськогосподарський трактор на електричному ході Multi Tool Trac. Трактор оснащений чотирма мотор колесами однакового розміру, приводиться в рух вбудованим електродвигуном потужністю 22 кВт (максимальна потужність - 44 кВт). Живлення двигунів від акумуляторних батарей ємністю 30 кВт/год. Для зарядки батарей і збільшення можливостей трактора, виробники встановили на Multi Tool Trac сучасний шестициліндровий дизельний двигун потужністю 185 к.с. [9, 14]

За останні декілька років практично у всіх передових країнах світу відмічається надзвичайно активна робота по створенню електричних самохідних машин на електроакумуляторному приводі (рис. 2).



а



б



в



г

а – трактор ДЕТ-250 з електричною трансмісією (Росія); б – електротрактор (Росія - Білорусь); в – трактор МТЗ 3023 з електричною трансмісією (Білорусь); г – повнофункціональний сільськогосподарський трактор на електричному ході Multi Tool Trac (Голландія)

Рисунок 2 – Загальний вид сучасних електричних самохідних машин

Загально визнаними перепонами масового впровадження машин на електроакумуляторному приводі вважається відсутність потрібних акумуляторів і систем їх зарядки

Використання силового електроприводу в умовах інтенсивного насичення мобільних сільськогосподарських агрегатів засобами інформатизації та автоматизації відкриває можливість створення техніки нового покоління з високим рівнем електрифікації технологічних процесів та елементами комп'ютеризації, що дає можливість значно знизити витрати енергії, підвищити комфортність і екологічність життя та загальну ефективність використання сільськогосподарських угідь.

Фахівцями Національного наукового центру «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» і ПАТ «Харківський тракторний завод», створено дослідний зразок електротрактора на базі трактора ХТЗ – 2511 (рис. 3)



Рисунок 3 – Дослідний зразок електротрактора на базі трактора ХТЗ – 2511

При проектуванні електротрактора були проведені тягові розрахунки трактора ХТЗ – 2511 з дизельним та електричним двигуном, розраховували діапазон швидкостей, тягове зусилля та визначення оптимальних передач за кінематичною схемою трансмісії трактора (рис. 4).

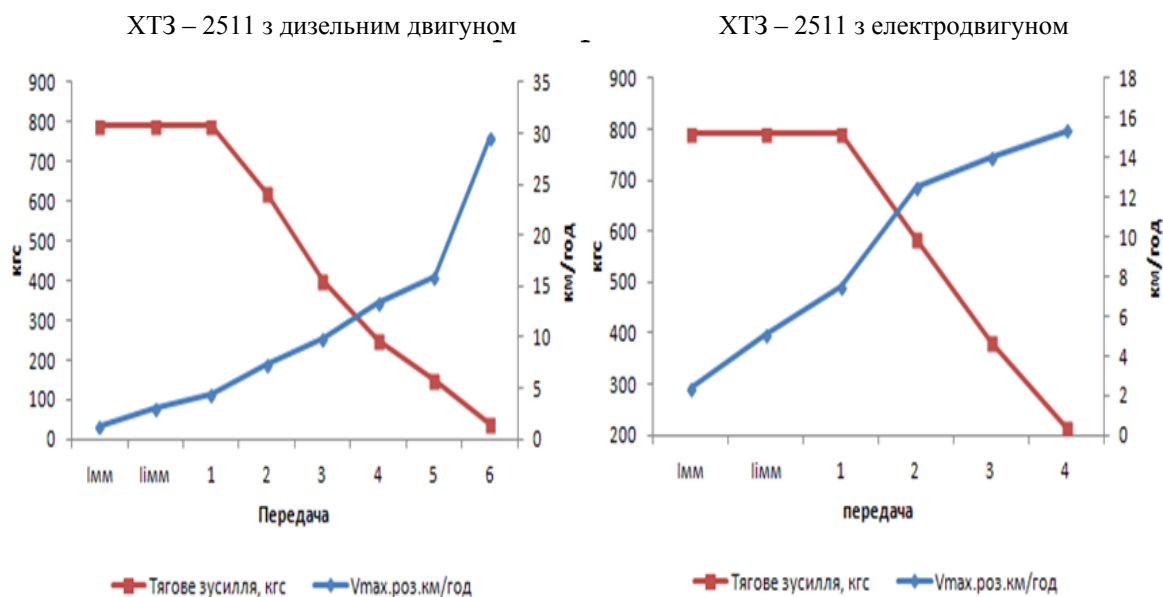
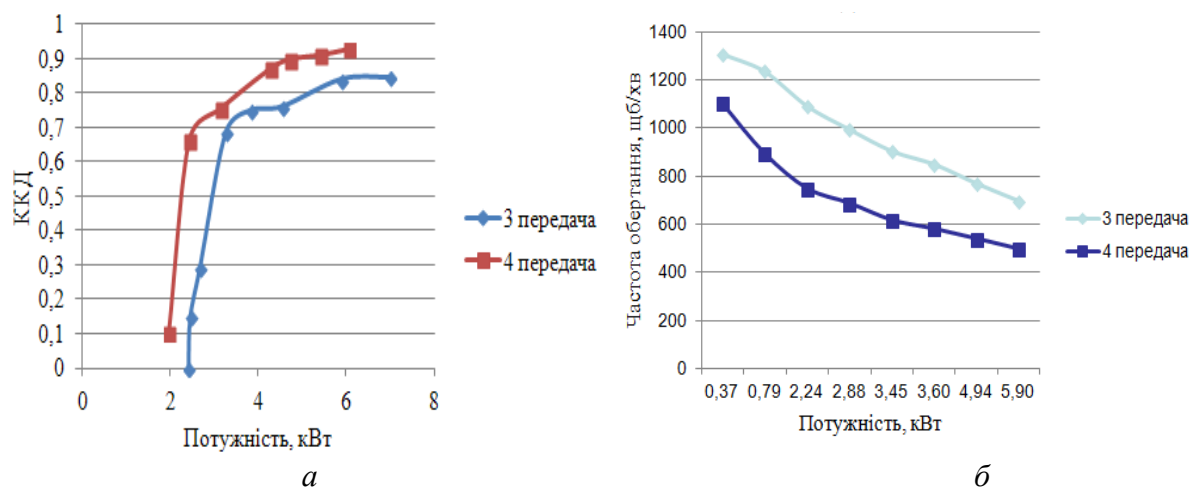


Рисунок 4 – Порівняння теоретичних тягових характеристик передачі крутного моменту від силового електроприводу до ходової частини трактора ХТЗ – 2511

Проведено дослідження силових характеристик електротрактора з електродвигунами різних типів на обкаточно-гальмівній стенді КИ – 5543 ГОСНИТИ (рис. 5)



а - залежність ККД від навантаження; б - залежність частоти обертання від навантаження

Рисунок 5 – Результати експериментальних досліджень електродвигуна ПТ

Як видно з графіків електротрактор який працює від акумуляторних батарей за тяговими характеристиками не поступається базовій моделі з дизельним двигуном а навіть кращий у тому розумінні, що діапазон плавного регулювання режимами роботи на різних операціях більший за рахунок тягового електродвигуна. Виходячи з тягових розрахунків електротрактора максимально безпечна швидкість не повинна перевищувати 30 км/год а оптимальною передачею коробки передач для економічного режиму є друга передача.

Висновки:

1. Встановлено, що на сьогоднішній день набувають широкого розповсюдження електродвигуни вентильного типу для електротранспорту через високий ККД до 95% та можливістю програмування контролера на різну напругу та різні режими роботи.
2. Розроблений експериментальний зразок електротрактора ХТЗ-2511Е час роботи якого без підзарядки акумуляторних батарей складає до 5 год на транспортних роботах.
3. Отримано залежності коефіцієнта корисної дії від потужності і частоти обертання силового електроприводу при різних режимах роботи.

Список літератури

1. Адамчук В.В. Електрифікація, як фактор створення мобільної сільськогосподарської техніки нового покоління / В.В. Адамчук, В.Г. Мироненко, В.М. Третяк, Р.В. Мельник // Науково-теоретичний журнал «Вісник аграрної науки». – 2013. – №4. – 29 с.
2. Інноваційні пріоритети паливно-енергетичного комплексу України / Під заг. ред. А.К. Шидловського. – К. : Українські енциклопедичні знання, 2005. – 521 с.
3. Величко С.А. Енергетика навколишнього середовища України (з електронними картами). Навчально-методичний посібник для магістрантів. Науковий редактор проф. І.Г.Черваньов – Х. : Харківський національний університет імені В.Н.Каразіна. - 2003. – 52 с.
4. Улексин В.А. Мостовое земледелие. Монография. – Днепропетровск. Пороги. 2008. – 224 с.
5. Перспективний американський Electric Moto [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://gm-volt.com/2012/07/31/promising-us-electric-motor-company-gets-chinese-funding/>.
6. Гібридні автомобілі [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://samodelkin.komi.ru/articles/gibrid01.html>.
7. Електромобіль своїми руками [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://vesh.ua/product/motorkoleso-yc-6000w/>.
8. Golden Motor в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.goldenmotor.ua/>.
9. Корчемний М.О. Електропривод мобільного агрегату / Н.А.Юсупов, А.Ф. Філоненко, С.В. Жоров // Електрифікація та автоматизація сільського господарства, 2003. - № 1. – С. 41- 44.

10. TractorFan <http://www.tractorfan.it/picture/870506/>.
11. Мотор-колесо УС 6000W [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://vesh.ua/product/motorkoleso-yc-6000w/>
12. Колеса для автомобілів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ecoist.com.ua/motorkoleso-pe1372-35b-72v-vodjanoe-ohlazhdenie.htm>.
13. Шини майбутнього [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://auto.mail.ru/article/39588-shiny_budushchego_v_cvet_kuzova_i_ne_boyatsya_prokolov/.
14. Новини автопрому <http://forum.podolsk.ru/viewtopic.php?f=10&t=23271>.
15. Мироненко В.Г., Мельник Р.В. Електротрактор ХТЗ-2511Е. Аграрна наука-виробництву – 2014. - №4. – 29 с.

Roman Melnyk

National Scientific Center "Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture"

The effectiveness of mobile power facilities for agriculture servise

Improving the operational efficiency of mobile power facilities for agricultural through the use of electricity.

Analysis of the previous research was based on the study of scientific and technical information in the field of mobile power on electric-battery drive.

Found that currently the ventilated electronic motors for electric transport become widespread because of high propulsive efficiency up to 95% and programmable controller for different voltages and different modes of operation. The developed experimental model of elektric traktor HTZ- 2511E which time of work without recharging batteries is up to 5 hours on transport works.

Mobile power facilities based on electric-battery drive in agriculture will increase the efficiency of the machine and tractor units in interpreting the application of the system motor in wheel. Considering the strong potential of JSC "Kharkiv Tractor Plant" and the high level of the electricity sector, Ukraine has good conditions for the solution in the short term all technical issues and successful implementation in the production of tractors with electric-battery drive.

motor in wheel, mobile power facilities, tractors, electric motor, traction, electric-battery drive

Одержано 30.04.15

УДК 621.798.38

О.В. Оришака, доц., канд. техн. наук, В.І. Гуцул, доц., канд. ф.-м. наук

Кіровоградський національний технічний університет, vvv96@yandex.ua

Динаміка постачального пристрою установки безперервної дії для завантаження сипких матеріалів

Отримані залежності, які описують обертальний рух постачального пристрою під дією електромагніта і серводвигуна. Визначений вплив параметрів електромагніта і серводвигуна на час обертання пристрою на заданий кут Ψ_0 . У випадку використання серводвигуна пропонується його відключення при $\Psi = \Psi_n < \Psi_0$. Дані рекомендації відносно значень Ψ_n .

установка, сипкий матеріал, постачальний пристрій, патрубок

О.В. Орышака, доц., канд. техн. наук, В.И. Гуцул, доц., канд. ф.-м. наук

Кировоградский национальный технический университет

Динамика питательного устройства установки непрерывного действия для загрузки сыпучих материалов

© О.В. Оришака, В.І. Гуцул, 2015

Получены зависимости, которые описуют движение вращения питательного устройства под действием электромагнита и серводвигателя. Определено влияние параметров электромагнита и серводвигателя на время вращения устройства на заданный угол ψ_0 . У случае использования серводвигателя предлагается его отключение при $\psi = \psi_n < \psi_0$. Даны рекомендации относительно значений ψ_n .

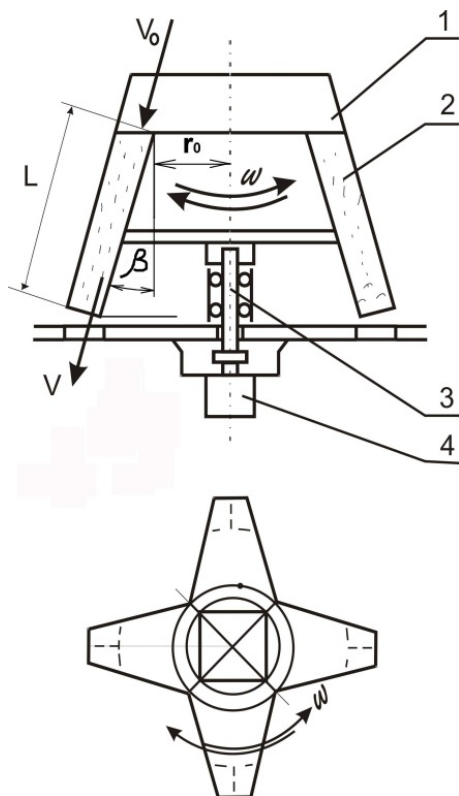
установка, сыпучий материал, питательное устройство, патрубок

Постановка проблеми. Установки безперервної дії мають ряд переваг над установками з циклічною подачею (висока продуктивність, низькі енергетичні витрати, менша матеріалоемність тощо). Вдосконалення установок безперервної дії є актуальною задачею.

Аналіз основних досліджень і публікацій. Проведені дослідження основних робочих органів установок безперервної дії дали можливість обґрунтувати: стабілізатор потоку сипкого матеріалу, регулятор витoku сипкого матеріалу, постачальний пристрій. Визначено, що швидкість руху сипкого матеріалу в каналах патрубків постачального пристрою при його обертанні збільшується відносно його стаціонарного положення, що виключає порушення технологічного процесу [1, 2, 3].

Постачальний пристрій (рис. 1.) представляє собою ротор з вертикальною віссю обертання (періодично здійснює зворотно-обертний рух на передбачений кут), що містить приймальну частину і патрубки. Поворот здійснюється електромагнітами або серводвигуном, по патрубкам постійно рухається сипкий матеріал.

Постановка завдання. Провести аналіз впливу параметрів постачального пристрою установки на швидкість обертання ротора і крутний момент з метою їх оптимізації.



1 – приймальна частина; 2 – патрубки; 3 – вісь; 4 - серводвигун або електромагніти

Рисунок 1 – Схема постачального пристрою

Виклад основного матеріалу. Для дослідження руху ротора під дією електромагнітів складемо диференційне рівняння обертового руху ротора.

$$J_0 \cdot \frac{d^2\psi}{dt^2} + \frac{1}{2} \frac{dJ_0}{d\psi} \left(\frac{d\psi}{dt} \right)^2 = M_M - M_{оп}, \quad (1)$$

де J_0 – приведений до віссі обертання ротора момент інерції від мас ланок ротора, в тому числі і маси сипкого матеріалу, що рухається в патрубках;

M_M – момент від дії сили електромагніта;

$M_{оп}$ – момент від дії сил опору.

Так як ротор включає симетрично розташовані патрубки, по яким рухаються практично однакові потоки сипкого матеріалу, то можна вважати, що: $J_0 \approx const$.

Тоді

$$J_0 \ddot{\psi} = M_M - M_{оп}. \quad (2)$$

Момент опору на віссі ротора

$$M_{оп} = M_T + M_P, \quad (3)$$

де M_T – момент від сили тертя в підшипниках;

M_P – момент від сили реакції патрубків.

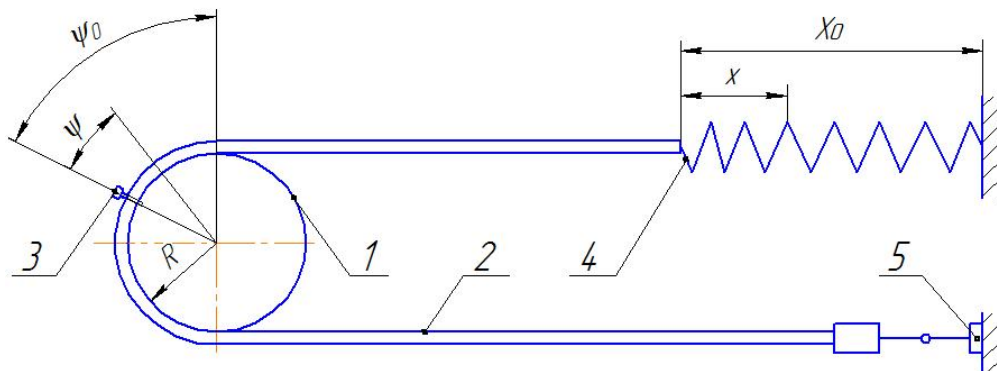
Момент від дії сили електромагніта:

$$M_M = P \cdot R, \quad (4)$$

де P – втягуюча сила електромагніта

R – радіус шківів обертання віссі.

Для подальшого розрахунку застосовуємо еквівалентну схему обертання ротора. Замість електромагніта використовуємо пружину розтягу (рис. 2).



1 – шків; 2 – гнучка стрічка; 3 – гвинт; 4 – пружина; 5 – затискач

Рисунок 2 – Еквівалентна схема привода ротора

$$M_M = \lambda(x_0 - x) \cdot R, \quad (5)$$

де λ – коефіцієнт жорсткості пружини.

$$x = R \cdot \psi, \quad x_0 = R \cdot \psi_0, \quad (6)$$

де ψ – кут повороту ротора за час;

ψ_0 – кут, на який необхідно повернути ротор. Відмітимо, що друга з формул (6) встановлює зв'язок між кутом обертання ψ_0 , довжиною сердечника електромагніта x_0 та радіусом шківів R .

Можемо записати

$$M_M = \lambda(\psi_0 - \psi) \cdot R^2. \quad (7)$$

Підставимо (7) в (2)

$$J_0 \ddot{\psi} = \lambda(\psi_0 - \psi) \cdot R^2 - M_{оп}$$

або

$$J_0 \ddot{\psi} + \psi \lambda \cdot R^2 = \lambda \cdot R^2 \psi_0 - M_{оп}. \quad (8)$$

Позначимо

$$A = \lambda \cdot R^2,$$

$$B = \lambda \cdot R^2 \psi_0 - M_{оп}.$$

Тоді

$$\ddot{\psi} = \frac{B - \psi \cdot A}{J_0}. \quad (9)$$

Для зручності інтегрування введемо нову змінну. Позначимо $B - \psi \cdot A$ через Z .

Тоді:

$$\psi = \frac{B}{A} - \frac{Z}{A}, \quad \ddot{\psi} = -\frac{\ddot{Z}}{A}.$$

Рівняння (9) приймає вигляд:

$$\ddot{Z} + \frac{A}{J_0} Z = 0. \quad (10)$$

Зінтегрувавши останнє рівняння, отримуємо:

$$Z = C_1 \sin \sqrt{\frac{A}{J_0}} t + C_2 \cos \sqrt{\frac{A}{J_0}} t. \quad (11)$$

Тоді:

$$\psi = \frac{B}{A} - \frac{C_1}{A} \sin \sqrt{\frac{A}{J_0}} t - \frac{C_2}{A} \cos \sqrt{\frac{A}{J_0}} t. \quad (12)$$

Рівняння швидкості:

$$\dot{\psi} = -\frac{C_1}{A} \sqrt{\frac{A}{J_0}} \cos \sqrt{\frac{A}{J_0}} t + \frac{C_2}{A} \sqrt{\frac{A}{J_0}} \sin \sqrt{\frac{A}{J_0}} t. \quad (13)$$

Використовуючи початкові умови $\psi(0) = \dot{\psi}(0) = 0$, визначаємо постійні інтегрування: $C_1 = 0, C_2 = B$. Підставимо C_1 і C_2 в (12) і (13), одержимо:

$$\psi = \frac{B}{A} \left(1 - \cos \sqrt{\frac{A}{J_0}} t \right), \quad (14)$$

$$\dot{\psi} = \frac{B}{A} \sqrt{\frac{A}{J_0}} \sin \sqrt{\frac{A}{J_0}} t. \quad (15)$$

Для визначення часу обертання на кут ψ_0 підставимо $\psi = \psi_0$ в рівняння (14):

$$\tau = \sqrt{\frac{J_0}{A}} \arccos \left(\frac{B - \psi_0 A}{B} \right). \quad (16)$$

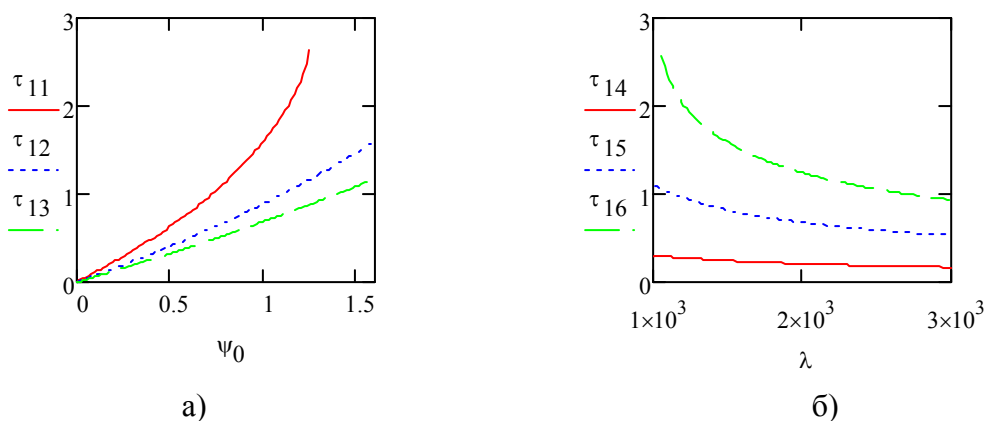
Врахувавши, що $R = x_0/\psi_0$ і підставивши замість A і B відповідні вирази, формулу (16) можна представити у вигляді:

$$\tau = \frac{\psi_0}{x_0} \sqrt{\frac{J_0}{\lambda}} \left(\pi - \arccos \left(\frac{\psi_0 M_{оп}}{\lambda x_0^2 - \psi_0 M_{оп}} \right) \right). \quad (17)$$

З формули (17) випливає умова:

$$2\psi_0 M_{оп} \leq \lambda x_0^2. \quad (18)$$

На рис. 3 наведені криві, отримані на основі (17). Криві $\tau_{11}, \tau_{12}, \tau_{13}$ (час в секундах) побудовані для $\lambda = 1000 \text{ Н/м}$, $\lambda = 2000 \text{ Н/м}$, $\lambda = 3000 \text{ Н/м}$ відповідно; криві $\tau_{14}, \tau_{15}, \tau_{16}$ - для $\psi_0 = \pi/12$, $\psi_0 = \pi/4$, $\psi_0 = 5\pi/12$ відповідно. Всі наведені нижче залежності будувалися при $M_{оп} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м}$, $J_0 = 1,2 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, $x_0 = 0,05 \text{ м}$ (при зміні кута ψ_0 змінювався радіус R).



- а) залежності часу τ від кута ψ_0 при різних значеннях λ ;
 б) залежності часу τ від коефіцієнта λ при різних значеннях ψ_0

Рисунок 3 – Залежності часу обертання від параметрів установки у випадку руху ротора під дією електромагнітів

Як бачимо, збільшення коефіцієнта жорсткості λ очікувано призводить до зменшення часу обертання τ . Зменшення величини λ , яка характеризує силу електромагніта, може призвести до обмеження можливих значень кута ψ_0 . На рис.3 а)

видно, що при $\lambda = 1000 \text{ H/м}$ максимальне можливе значення ψ_0 дорівнює 1,25 ($\approx 71,5^\circ$). При подальшому збільшенні ψ_0 починає порушуватися умова (18).

Розглянемо далі рух ротора під дією серводвигуна. Момент від дії сили двигуна представимо у вигляді:

$$M_M = \mu(\omega_0 - \dot{\psi}). \quad (19)$$

де μ і ω_0 – параметри, які характеризують потужність і кутову швидкість двигуна відповідно.

Підставивши (19) в (2), отримуємо:

$$J_0 \ddot{\psi} = \mu(\omega_0 - \dot{\psi}) - M_{оп}. \quad (20)$$

Для зручності перепишемо останнє рівняння у формі:

$$\ddot{\psi} + A_1 \dot{\psi} = B_1, \quad (21)$$

де $A_1 = \mu/J_0$, $B_1 = (\mu\omega_0 - M_{оп})/J_0$. Враховуючи, що $\dot{\psi} = \omega$ (ω – кутова швидкість), маємо:

$$\dot{\omega} + A_1 \omega = B_1. \quad (22)$$

Розв'язуємо диференціальне рівняння (22). Використовуючи початкову умову $\omega(0) = 0$, одержуємо:

$$\dot{\psi} = \frac{B_1}{A_1} (1 - e^{-A_1 t}). \quad (23)$$

Інтегруємо отримане рівняння. Враховуючи початкову умову $\psi(0) = 0$, отримуємо:

$$\psi = \frac{B_1}{A_1^2} (A_1 t + e^{-A_1 t} - 1). \quad (24)$$

Час обертання на потрібний кут ψ_0 можна визначити чисельним методом, розв'язавши рівняння (24) відносно t . З метою більш плавної зупинки руху серводвигун слід виключати при деякому значенні $\psi = \psi_n < \psi_0$. Використовуючи рівняння (24) визначаємо час τ_n , за який здійснюється поворот на кут ψ_n . За допомогою (23) визначаємо кутову швидкість ω_n в момент часу τ_n .

Після відключення двигуна рух установки описується диференціальним рівнянням (2) при $M_M = 0$. Зінтегрувавши вказане рівняння і враховуючи, що $\psi(\tau_n) = \psi_n$, $\omega(\tau_n) = \omega_n$, отримуємо:

$$\dot{\psi} = -\frac{M_{он}}{J_0} (t - \tau_n) + \omega_n, \quad (25)$$

$$\psi = -\frac{M_{он}}{2J_0} (t - \tau_n)^2 + \omega_n (t - \tau_n) + \psi_n. \quad (26)$$

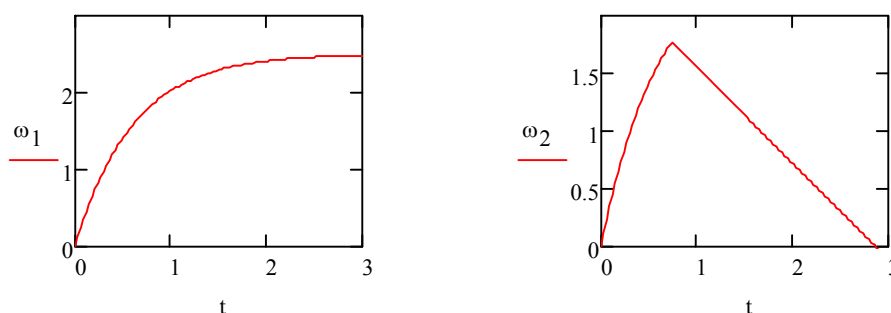
З формули (26) визначаємо час обертання на кут ψ_0 :

$$\tau = \tau_n + \frac{J_0 \omega_n - \sqrt{J_0^2 \omega_n^2 - 2J_0 M_{он} (\psi_0 - \psi_n)}}{M_{он}}. \quad (27)$$

Таким чином, закон обертового руху установки має вигляд:

$$\psi = \begin{cases} \frac{B_1}{A_1^2} (A_1 t + e^{-A_1 t} - 1) & \text{при } 0 \leq t < \tau_n, \\ -\frac{M_{on}}{2J_0} (t - \tau_n)^2 + \omega_n (t - \tau_n) + \psi_n & \text{при } t \geq \tau_n. \end{cases} \quad (28)$$

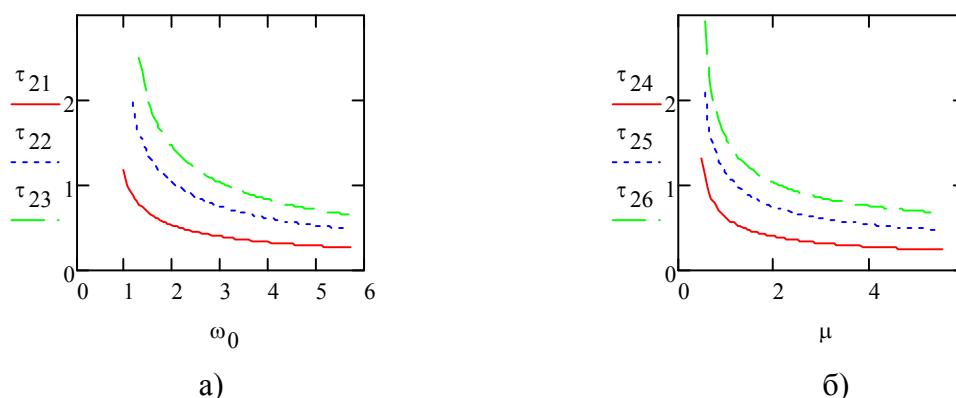
На рис.4 наведені залежності швидкості обертання установки від часу t у випадках постійно працюючого двигуна (рис.4 а) і при його відключенні з урахуванням інерційного руху (рис.4 б). Вказані криві побудовані при $\mu = 2 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}$, $\omega_0 = 3 \text{ с}^{-1}$. Під дією серводвигуна кутова швидкість установки асимптотично наближається до значення $\omega_0 - M_{on}/\mu$. Після відключення двигуна швидкість по лінійному закону прямує до нуля.



а) у випадку постійно працюючого серводвигуна;
б) у випадку відключення серводвигуна при $\psi = \pi/4$

Рисунок 4 – Залежність швидкості обертання установки від часу t

На рис. 5 наведені деякі залежності часу обертання τ від параметрів установки. Криві $\tau_{21}, \tau_{22}, \tau_{23}$ побудовані для $\psi_0 = \pi/12, \psi_0 = \pi/4, \psi_0 = 5\pi/12$ відповідно при $\mu = 2 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}$; криві $\tau_{24}, \tau_{25}, \tau_{26}$ - для $\psi_0 = \pi/12, \psi_0 = \pi/4, \psi_0 = 5\pi/12$ відповідно при $\omega_0 = 3 \text{ с}^{-1}$. В усіх випадках момент відключення серводвигуна визначався рівністю $\psi_n = 0,75\psi_0$.



а) залежності часу τ від параметра ω_0 при різних значеннях ψ_0 ; б) залежності часу τ від параметра μ при різних значеннях ψ_0

Рисунок 5 – Залежності часу обертання від параметрів установки у випадку руху ротора під дією серводвигуна

Розрахунки на основі (28) показують, що при малих ψ_0 значення ψ_n повинні бути досить близькими до значень ψ_0 . Це пояснюється тим, що в момент відключення двигуна швидкість обертання мала і інерційний рух швидко припиняється. Як що ж ψ_0 не близьке до нуля і кутова швидкість в момент відключення відносно велика, то ψ_n можна брати значно меншим за ψ_0 . Наприклад, при побудові кривавої τ_{22} можна було брати $\psi_n = 0,5\psi_0$.

Наведені на рис. 5 залежності свідчать про те, що при збільшенні ω_0 і μ час обертання τ зменшується. Комбінуючи значення параметрів установки і двигуна завжди можна отримати потрібне значення τ .

Висновки та перспективи подальших досліджень. 1) Маючи значення параметрів постачального пристрою на основі отриманих залежностей можна визначити час τ обертання пристрою на потрібний кут ψ_0 .

2) Час обертання τ можна корегувати за допомогою вибору силових агрегатів з відповідними характеристиками (λ у випадку електромагніта; ω_0 і μ у випадку серводвигуна).

3) З метою послаблення динамічного удару під час зупинки руху серводвигун необхідно відключати при $\psi = \psi_n < \psi_0$.

Список літератури

1. Оришака О.В. Аналіз продуктивності установки безперервної дії для завантаження сипких матеріалів/ О.В. Оришака, В.О. Оришака, А.М. Артюхов, А.О. Кравцов // Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти. – Запоріжжя: НВК Інтер-М, 2013.– Вип. 1. – С. 169-174.
2. Оришака О.В. Обґрунтування постачального пристрою установки безперервної дії для завантаження сипких матеріалів / О.В. Оришака, В.І. Гуцул, А.М. Артюхов // Загальнодержавний міжвідомчий наук.-технічний збірник «Констр. виробництво та експлуатація с-г. машин». – Кіровоград: КНТУ, 2014р. – Вип. 44. – С. 41-48.
3. Установка безперервної дії для завантаження сипких матеріалів в клапанні мішки / Заява на винахід №201306474 від 24 травня 2013 - Оришака О.В., Кравцов А.О., Артюхов А.М., Оришака В.О.
4. Дьяконов В. MathCAD 2000: учебный курс – Спб: Питер, 2000. – 592 с.: ил.

Oleg Oryhsaka, Vasily Gutsul

Kirovograd National Technical University

Dynamics of feeding mechanism in the device of continuously working for loading free-flowing materials

Devices of continuous action have a number of advantages over systems with cyclic flow (high performance, low energy costs, lower consumption of materials and other). Improvement of continuous action is an actual scientific problem (is an urgent task).

An analysis was Conducted of the influence of parameters of feeding mechanism of device on the rotation speed of the rotor and torque.

Dependences that episouth the rotational movement of nutrients in the device under the action of an electromagnet and an actuator. The influence of the parameters of the electromagnet and the servo motor for the rotation of the device within a definite angle ψ_0 . Recommendations relative values of ψ_n .

device, free-flowing materials, feeding mechanism, nozzles

Одержано 12.05.15

УДК 62-192.004

О.Р. Полішкевич, доц., канд. екон. наук

Миколаївський національний аграрний університет, Миколаїв, polishkevich.or@mail.ru

Стратегія розвитку виробництва та переробки зерна кукурудзи як шлях вирішення енергетичної незалежності та безпеки України

У статті наведені результати досліджень щодо ефективності використання основних сільськогосподарських культур для виробництва біопалива. Виявлено найефективнішу культуру для переробки. Розрахована ефективність переробки кукурудзи на етанол. Обґрунтовано проєкт будівництва заводу з виробництва біоетанолу. Запропонована стратегія розвитку виробництва та переробки зерна кукурудзи. Досліджений стан та економічна ефективність виробництва кукурудзи при врахуванні конкурентоспроможності, рівня цін та прибутковості галузі.

кукурудза, потенціал забезпечення, біоетанол, економічна ефективність, енергетичні ресурси

О.Р. Полишкевич, доц., канд. экон. наук

Николаевский национальный аграрный университет, Николаев

Стратегия развития производства и переработки зерна кукурузы как путь решения энергетической независимости и безопасности Украины

В статье приведены результаты исследований по эффективности использования основных сельскохозяйственных культур для производства биотоплива. Выявлено эффективную культуру для переработки. Рассчитана эффективность переработки кукурузы на этанол. Обоснованно проєкт строительства завода по производству биоэтанола. Предложена стратегия развития производства и переработки зерна кукурузы. Исследовано состояние и экономическая эффективность производства кукурузы при учете конкурентоспособности, уровня цен и прибыльности отрасли.

кукуруза, потенциал обеспечения, биоэтанол, экономическая эффективность, энергетические ресурсы

Постановка проблеми. Найбільшими споживачами енергетичних ресурсів є мобільні енергетичні засоби, на які доводиться значна частка споживання рідких палив і викидів шкідливих речовин в атмосферу. Мала мобільність існуючих нині екологічно чистих енергоносіїв суттєво гальмує всебічне впровадження енергетичного устаткування нового типу в автотранспортних засобах. Тому в умовах енергетичної та екологічної криз, найбільш доцільним бачиться подальше використання в сучасних мобільних енергетичних засобах традиційних поршневих двигунів внутрішнього згорання, що мають високі міри досконалості, які працюють на альтернативних паливах із збереженням відповідного обладнання для їх виробництва та добре розвиненою системою сервісу. На сьогоднішній день перспективними заміниками традиційних палив нафтового походження є метанол, етанол, ефіри, газовий конденсат, різні біопалива та природний газ [1, 2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На теперішній час існуючі запаси традиційних енергоносіїв, а саме нафти, газу та вугілля при стрімкому зростанні їх видобутку поступово вичерпуються. Але все одно головною сировиною для виробництва моторних палив була і залишається нафта [4, 5]. Як видно з даних, наведених у табл.1, скорочення темпів її світового видобутку (у млрд. т) поки що не варто очікувати.

Таблиця 1 – Видобуток нафти по рокам

Роки	До 1900	1901-1920	1921-1940	1941-1960	1961-1980	1981-2000	2001-2020 (прогноз)
Видобуток нафти	0,07	0,9	3,7	10,0	36,4	60,8	147,8

Джерело: Статистичні дані

Саме тому людство постало перед проблемою пошуку нових джерел енергії. Причому тут доводиться розв'язувати цілу низку проблем, якщо ми хочемо створити наукоємні та недорогі технології одержання альтернативних видів палива. Згідно самих несприятливих прогнозів до 2020 року добудуть усю розвідану нафту, а це 140...150 млрд т (в Україні – 56 млн т) [3, 5]. Особливо цікаво, що численні публікації, де можна знайти аналогічні цифри, більш всього закінчуються порівнянням цієї ситуації із загибеллю «Титанка»: "... корабель уже одержав пробоїну, а пасажирів все ще танцюють у салоні під звуки оркестру". Дуже швидко, всього за одне століття, людство витратило основну частину найціннішої вуглеводневої сировини, що створювалась у надрах Землі протягом сотень мільйонів років! Причому витрачається нафта дуже нерозумно: понад половину її видобутку йде на виробництво моторного палива для подальшого спалювання у двигунах та енергетичних установках. Як приклад, згадаємо проникливе застереження Д.І. Менделєєва, яке він висловив ще 1884 року: "... використовувати нафту як паливо – це те саме, що розпалювати піч асигнаціями".

Поширені прогнози щодо повного виснаження запасів нафти і спричиненої цим світової кризи можуть виявитися хибними, якщо людство знайде нові потужні джерела нафти чи вживе рішучих заходів з обмеження її споживання. Однак упродовж останнього десятиліття щось не чути про відкриття великих родовищ нафти, зокрема в Україні. Навіть якщо й будуть знайдені нові, не відомі раніше родовища, то за таких стрімких темпів світового споживання нафти це лише відстрочить вичерпання її запасів, можливо, до середини XXI століття. Зазначимо, що про вичерпність нафтових ресурсів вчені замислювалися ще на початку зародження сучасної нафтохімії. Відомий хімік-органік В.С. Тищенко (1861-1941) у книзі «Хімічна промисловість і війна» (1923) писав: "... видобуток нафти йде таким швидким темпом, що висловлюються побоювання за повне виснаження нафтових запасів протягом найближчих 30 років". Відтоді минуло вісім десятиліть, із надр Землі добуто понад 130 млрд т нафти, щорічні обсяги її видобутку зросли у сотні разів, а запаси цієї сировини чомусь оцінюються тією самою магічною цифрою – на 30 років.

У багатьох країнах світу сьогодні істотно активізувалися дослідницькі роботи зі створення альтернативних (не нафтових) моторних палив, які відповідають вимогам високих експлуатаційних показників та нормативам екології. Передбачені розробка національних концепцій виробництва і використання альтернативних палив та створення перспективних двигунів та енергетичних установок. Інакше кажучи, паливна, хімічна та нафтохімічна галузі промисловості більшості країн світу перебувають у пошуку нових траєкторій свого розвитку [2].

Така проблема не обмине і Україну, яка не в змозі сама себе повністю забезпечити енергоносіями і вимушена велику їх частину (близько 12 млн т нафти на рік) імпортувати, що суттєво знижує енергетичну безпеку держави та рівень життя громадян.

Постановка завдання. Метою роботи є проведення досліджень, які присвячені оцінці ефективності використання кукурудзи в якості сировини для виробництва біопалива на Україні.

Результати досліджень. Згідно світового досвіду відомо, що етанол – це рідке паливо, що виробляється з сільськогосподарської продукції, яка містить крохмаль (кукурудза, зернові, картопля або цукрові буряки). На відміну від харчового спирту, етанол не містить води, проте в ньому є метанол, бензол та сивушні масла. При цьому

доцільність промислового виробництва етанолу залежить від багатьох чинників, у тому числі енергетичних та економічних [2, 3]. Головний критерій вибору сировини – це доступність та наявність для переробки 365 днів на рік. Виходячи з того, що вартість сировини складає 70 – 80 % собівартості етанолу, а доступність сировини визначає прибутковість виробництва.

Виробництво етанолу з цукрового буряку значно простіше ніж з інших культур, проте буряк не дає достатньої кількості відходів для отримання тепла, що призводить до здорожчання етанолу (етанол з буряків у 2,5 рази дорожчий за етанол з кукурудзи).

Враховуючи високу врожайність бульбових (картопля, топінамбур), вартість сировини на 1 л етанолу приблизно однакова як для бульбових, так і для кукурудзи. Але бульбові мають декілька принципових недоліків:

- великі затрати праці на збирання (відсутність або проблеми механізованого збирання);
- складнощі при зберіганні (не зберігаються весь період, необхідний для роботи заводу);
- малоцінні додаткові продукти (з-за низького вмісту протеїну завод позбавляється важливого додаткового джерела прибутку);
- низька “ліквідність” (будь-який аграрій, не продавши зерно для переробки на етанол знає, що він продасть зерно куди завгодно, а у випадку з бульбовими це не так).

На рис. 1 наведені дані щодо виробництва етанолу з деяких сільськогосподарських культур з одиниці площі в умовах України.

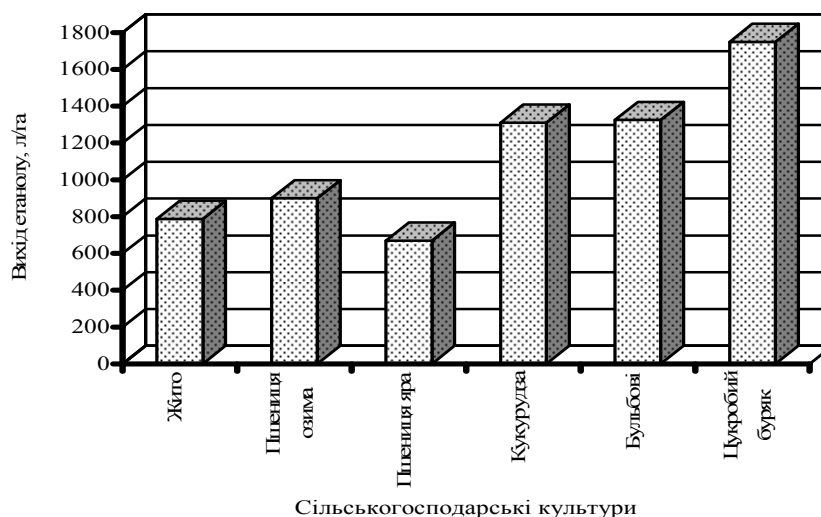


Рисунок 1 – Вихід етанолу з 1 т сировини

Зернові культури розповсюджені на всій території нашої держави. Аналізуючи табл. 2 можна зробити висновок, що найефективнішою сільськогосподарською культурою для виробництва етанолу на території України є кукурудза, так як має найбільший вихід етанолу з тони сировини, а також сприятливі природно-кліматичні умови дозволяють отримувати високі врожаї на всій території країни [2].

Таблиця 2 – Вихід етанолу з зернових культур

Сировина	Етанол, літрів з тонни	Суша барда, кг з тонни	CO ₂ , кг з тонни
Пшениця	375	330	370
Жито	357	390	350
Ячмінь	330	430	320
Кукурудза	410	300	400

Джерело: Статистичні дані

Теплота згорання етанолу (28 МДж/кг) на 40 % нижче ніж у бензину (44 МДж/кг). Однак краще горіння етанолу компенсує цю розбіжність. Досліди підтверджують, що двигуни споживають приблизно однакову кількість сумішевого пального та чистого бензину. Американські експерти підрахували, що якщо етанол виробляти з кукурудзи, то при його спалюванні виділяється на третину більше енергії, ніж було витрачено на вирощування, збирання та переробку цієї культури. Бензин же повертає лише 80 % енергії, витраченій на його виробництво.

Витрати на виробництво залежать від типу процесу розмелювання сировини. Розрізняють сухе та вологе розмелювання. Вологе розмелювання має дещо нижчий вихід етанолу, проте побічні продукти, як, наприклад, кукурудзяна олія, підсолоджувачі, CGF (Corn Gluten Feed – сухий глютен, що широко використовується для відгодівлі м'ясної та молочної великої рогатої худоби), мають більшу цінність. Застосування мокрого помелу дає можливість одержати 36 – 38 м³ етанолу, 20 кг кормів, 4 кг клейковини та 2 кг кукурудзяної олії. Сухе розмелювання має вищий вихід етанолу, але вартість побічних продуктів – в основному DDGS (Dried Distillers Grains with Solubles – сухий кормопродукт, що містить протеїн, волокно, олію та використовується у тваринництві) – є трохи нижчою [2].

Світовим лідером з виробництва етанолу є Бразилія (42 % світового виробництва етанолу). Частка етанолу в загальному споживанні мінерального пального в країні складає близько 40 %. В 2010 році виробництво етанолу в Бразилії склало близько 20 млрд л, а в 2016 році прогнозується виробництво на рівні 45 млрд л. Раніше тут виробляли переважно безводний етанол як пальне для автомобілів зі спеціальними двигунами. Але останнім часом у Бразилії використовуються паливні суміші з вмістом етанолу: 26 % – у бензині і 3 % – у дизельному паливі. Такі суміші не потребують змін у конструкції двигунів внутрішнього згорання та дизельних двигунів і допоміжних приладів до них.

Сполучені Штати Америки – другий солідний виробник етанолу. В країні, в основному, використовується бензин з вмістом 10 % етанолу (так званий Е-10 або газо хол та Е-85). Порівняно з Бразилією, виробництво паливного етанолу з кукурудзи у США менш прибуткове, але це не заважає їй щорічно заощаджувати близько 1,5 млрд доларів на придбанні нафтопродуктів. Американський досвід свідчить: будівництво етанолових заводів – це досить вдалі інвестиції, нові робочі місця, зростання цін на зернові, збільшення прибутків місцевих фермерських господарств, додаткові податки в бюджет. Нові ринки збуту для виробників кукурудзи дали можливість скоротити програми підтримки фермерів, фінансовані з бюджету. За даними Національної асоціації виробників зернових, у виробництві етанолу з кукурудзи в США зайняті більш ніж 40 тис. чоловік, а їх внесок у ВВП держави становить більш ніж 6 млрд доларів за рік.

На сьогоднішній день пріоритетним напрямком наукових досліджень генної інженерії є збільшення в кукурудзі вмісту крохмалю (з якого і отримують етанол), завдяки чому буде змога збільшити вихід етанолу. Отже переваги використання етанолу очевидні:

- по-перше, це зменшення викидів шкідливих речовин в атмосферу, що покращить здоров'я українців, особливо в екологічно несприятливих регіонах;
- по-друге, Україна отримає незалежність від експортерів нафти, а це вже питання національної безпеки;
- по-третє, можна буде нарешті підняти вітчизняне сільське господарство і створити додаткові робочі місця;
- по-четверте етанол – це поновлюване паливо, яке виробляється з власної сировини.

На сьогоднішній день ринок біопалива в світі стрімко зростає. При цьому виникають великі можливості щодо використання біопалива для країн, що розвиваються. Ці країни, у тому числі і Україна, мають можливість експортувати або сировину, або біопаливо на світові ринки, отримуючи від цього суттєві прибутки. При переробці власної кукурудзи для виробництва етанолу, собівартість його складає 2,5 грн/л, а при її покупці за ринковою ціною – 3,5 грн/л (рис. 2).

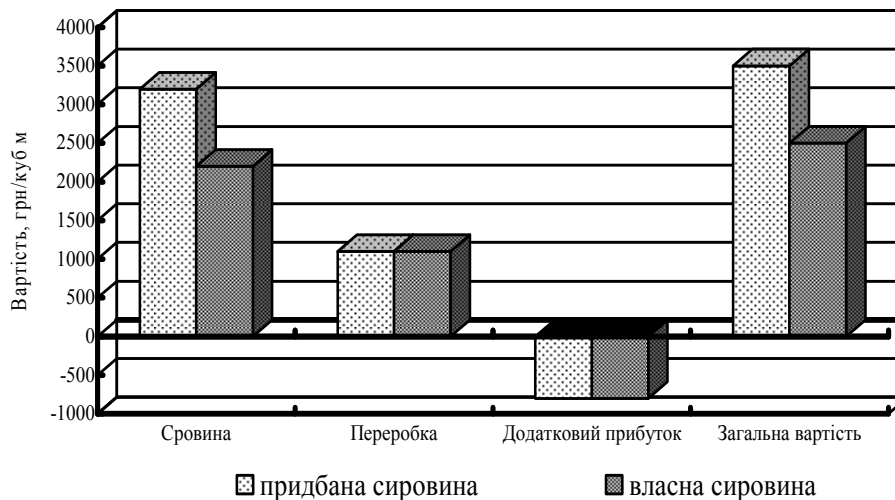


Рисунок 2 – Собівартість виробництва етанолу в Україні

Україна є крупним виробником харчового спирту. Річна сумарна потужність спиртових заводів становить близько 700 млн літрів. Нажаль, велика кількість таких підприємств працює з неповним завантаженням або взагалі простоює [3]. В перспективі їх потужності можна спрямувати на виробництво паливного етанолу з кукурудзи. Реконструкція існуючих спиртових заводів дозволить довести виробництво паливного етанолу до 0,3 млн т за рік. Крім того, одним із перспективних напрямків є будівництво заводів малої потужності (до 5 т етанолу на добу) на базі підприємств переробної промисловості та безпосередньо в сільських господарствах, що дасть змогу отримувати 0,05 млн т етанолу за рік. Ці заходи дозволять зменшити споживання дорогого імпортного бензину в аграрному секторі України більш чим на 28 %.

Власні дослідження та закордонний досвід, зокрема в США, свідчить, що виробництво етилового спирту доцільно організовувати в вертикально-інтегрованих підприємствах або кооперативах, що дозволить зменшити собівартість продукції [4]. Враховуючи велику народногосподарську цінність та перспективи розвитку біоетанолової переробки нами обґрунтовано проект будівництва заводу з виробництва біоетанолу в м. Южноукраїнськ Миколаївської області. Передбачається будівництво заводу для виробництва біоетанолу (високооктанового рідкого спиртового палива, одержуваного шляхом ферментації кукурудзи). Основними перевагами місця розташування даного виробництва є:

- близькість до сировинної зони кукурудзи (північні райони Миколаївської області забезпечують 2/3 обласного виробництва);
- близькість транспортних комунікацій, що забезпечують доставку сировини;
- близькість до ресурсної бази: наявність води (річка Південний Буг), електроенергії (Южноукраїнська АЕС).

В табл. 3 наведено номенклатуру та вартість основних видів робіт з будівництва заводу потужністю 200 млн літрів на рік.

Таблиця 3 – Витрати на будівництво заводу з виробництва біоетанолу

Роботи та послуги	Орієнтовна вартість, млн грн
Передпроектні роботи	0,5
Проектні роботи	5,0
Придбання обладнання та оплата зобов'язань за договорами з будівельними компаніями	240,0
Ліквідація наслідків будівництва та рекультивация земель	0,4
Придбання власного автотранспорту	2,0
Разом	247,9

Джерело: Розрахунки автора

Виходячи з вартості біоетанолу на FOB Rotterdam EUR 635/м³, віднімаючи транспортні витрати та витрати з митного оформлення, ціна складе EUR 570 /м³ або 6840 грн/м³. Економічна доцільність виробництва біоетанолу представлена в табл. 4.

Таблиця 4 – Економічна доцільність виробництва біоетанолу

Показник	грн/л	млн грн. в рік
Дохід від реалізації	6,84	1094,4
Витрати на виробництво	5,27	843,2
Податок на прибуток	0,39	62,8
Чистий прибуток	1,18	188,4

Джерело: Розрахунки автора

Чистий прибуток в розмірі близько 188,4 млн грн. дозволить на другий же рік окупити витрати на капітальні інвестиції в розмірі 247,9 млн грн, що є надзвичайно привабливим для потенційних інвесторів. Середнє виробниче завантаження устаткування з урахуванням технологічних ремонтів складатиме 80 %. Розглянемо собівартість 1 літра біоетанолу виходячи з виробничих витрат і амортизації обладнання (табл. 5).

Таблиця 5 – Склад і структура собівартості 1 л біоетанолу

Статті витрат	Ціна одиниці, грн	Вартість, грн/ л	Структура, %
Сировина (кукурудза)	1280 грн/т	3,2	60,7
Електроенергія	0,3128 грн/кВт ч	0,0938	1,8
Вода	3,648 грн/м ³	0,0109	0,2
Теплова енергія	151,74 грн/Гкал	0,362	6,9
Заробітна плата		0,1	1,9
Амортизація		0,153	2,9
Додаткові витрати		0,5	9,5
Виробничі та господарські витрати		0,6	2,7
Утримання транспорту		0,05	0,9
Нарахування на заробітну плату		0,05	1,1
Інші податки та збори		0,05	0,9
Інші витрати		0,1	1,9
Разом		5,2697	100,0

Джерело: Розрахунки автора

Висновки:

1. Високі світові ціни на енергоносії та залежність багатьох країн від їх імпорту стимулює пошук альтернативних джерел енергії і Україна не виняток. При цьому використання етанолу (екологічно чистого та відновлювального палива) дає можливість зменшити споживання бензину в аграрному секторі України на 28 %.

2. Найефективнішою сільськогосподарською культурою для виробництва етанолу на території України є кукурудзи, так як природно-кліматичні умови дозволяють отримувати високі врожаї на всій території країни. Виробництво етанолу з кукурудзи стимулює розвиток сільського господарства та надає нові робочі місця, а при переробці кукурудзи на етанол отримуємо ряд інших побічних продуктів, що приносять додатковий прибуток.

3. При сьогоднішніх цінах на паливо очевидно, що для України виробляти етанол з кукурудзи вигідно, як для споживання всередині країни, так і для його експорту.

4. Виробництво біоетанолу – це комплексна програма, у якій задіяна не лише промисловість, але й аграрний сектор, адже запропонований нами проект передбачає збільшення вирощування кукурудзи (як основної сировини виробництва). Кінцевим продуктами виробництва, окрім етилового спирту, будуть ще й комбікорми, що у свою чергу, може стати потужним поштовхом для розвитку тваринництва.

Список літератури

1. Бондаренко О.В. Використання кукурудзи в якості альтернативного палива / О.В. Бондаренко, О.Р. Полішкевич // MOTROL. – 2007. – 9А. – С. 101-105.
2. Біопалива / [В.О. Дубровін, М.О. Корченский, І.П. Масло, О. Шептицький]. – К.: ЦТІ “Енергетика і електрифікація”, 2004. – 256 с.
3. Гавриш В.І. Забезпечення ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів у аграрному секторі економіки: теорія, методологія, практика: Монографія. / В.І. Гавриш. – Миколаїв: МДАУ, 2007. – 283 с.
4. Гавриш В.І. Аналіз ефективності використання біоетанолу в порівнянні з іншими альтернативними паливами / В.І. Гавриш, В.С. Пилип // Вісник аграрного Причорномор'я. – 2007. – № 2(41). – С. 191-195.
5. Твайделл Дж. Возобновляемые источники энергии: Пер. с англ. / Дж. Твайделл, А. Уэйр. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 392 с.

Olga Polishkevich

Mykolayiv national agrarian university

Strategy of development of production and processing of corn as a way to solve the energy independence and security of Ukraine

The aim is to conduct research that focus on evaluating the effectiveness of using corn as a feedstock for biofuel production in Ukraine.

The article presents the results of studies on the efficiency of plant crops for biofuels. The effective culture for recycling. Calculated efficiency of processing of corn for ethanol. Reasonably project to build a bioethanol plant. Offered strategy of development of production and processing of grain of corn. Investigational state and economic efficiency of production of corn at the account of competitiveness, standard of prices and profitability of industry.

At today's fuel prices is clear that for Ukraine to produce ethanol from corn is beneficial for both domestic consumption and for its exports.

corn, potential of providing, bioethanol, economic efficiency, power resources

Одержано 24.10.14

УДК 613.33.022.66

М.О. Свірень, проф., д-р техн. наук, О.В. Анісімов, асист., І.К. Солових, асист.
Кіровоградський національний технічний університет

Дослідження параметрів та режимів роботи пневмомеханічного висівного апарату надлишкового тиску з рециркулюючим потоком насіння

В статті наведені порівняльні характеристики деяких висівних апаратів для точного висіву технічних культур з урахуванням їх переваг та недоліків. Також представлена конструкція пневмомеханічного висівного апарату надлишкового тиску з рециркулюючим потоком насіння, та визначені шляхи його вдосконалення.

рециркулюючий потік насіння, однозерновий потік насіння, висіваючий диск, комірка, сопло, канал, зайві насіння, передкамерна порожнина, накладка

Н.А. Свирень, проф., д-р техн. наук, А.В. Анисимов, асист., И.К. Солових, асист.
Кировоградский национальный технический университет

Исследование параметров и режимов работы пневмомеханического высевального аппарата избыточного давления с рециркулирующим потоком семян

В статье приведены сравнительные характеристики некоторых высевальных аппаратов для точного посева технических культур с учетом их преимуществ и недостатков. Так же представлена конструкция пневмомеханического высевального аппарата избыточного давления с рециркулирующим потоком семян, и определены пути его усовершенствования.

рециркулирующий поток семян, однозерновой поток семян, высевальный диск, ячейка, сопло, канал, лишние семена, предкамерная полость, накладка

Вступ. В світовому сільськогосподарському машинобудуванні одним з пріоритетних напрямків залишається вдосконалення існуючих і створення нових висівних систем точного висіву. Це робиться з метою зведення до мінімуму витрат при вирощуванні технічних культур за умов якісного виконання технологічного процесу висіву насіння, та дотримання агротехнічних вимог [1-5].

Одним з перспективних напрямків розвитку посівної техніки є проектування висівних систем які створюють стабільний одно зерновий потік насіння при забезпеченні високої продуктивності роботи сівалок

Аналіз конструкцій деяких висівних апаратів. У цей час для посіву технічних культур використовується багато різних висівних апаратів, як вітчизняного, так і зарубіжного виробництва. Нижче приведені відомі та мало відомі принципові схеми висівних апаратів.

Схема пневматичного висівного апарату барабанного типу з подачею насіння у внутрішню порожнину барабана: Перевагою цього апарату є відсутність необхідності в пристроях для зняття зайвого насіння і руйнування склепінь, а також порівняльна простота конструкції. Недолік апарату - велика висота падіння насіння, що негативно позначається на рівномірності розподілу їх уздовж рядка. Для усунення цього недоліку насіння повинне бути відсортоване за парусністю.

Схема дискового пневматичного висівного апарата з горизонтальною віссю. Загальним недоліком пневматичних апаратів дискового типу є небезпека забивання присмокчучих отворів пилом, уламками насіння та іншими домішками. Тому в деяких конструкціях скидання насіння поєднується з очищенням присмокчучих отворів. Активний скидання насіння зазвичай здійснюється за допомогою виштовхувачів з голками або ж струменем стисненого повітря. Найбільш надійний спосіб очищення отворів діаметром 0,8-1 мм – забезпечення мінімальної товщини присмокчучих отворів (0,2-0,3 мм) і використання роликів, покритих еластичною гумою.

Схема пневматичного висівного апарата сівалки СОПГ-4.8 Пневматичні пальцеві (пневмоштокові) висіваючі апарати та пневматичні без рухомих частин відомі давно, однак зважаючи на складність і недосконалість дозуючих пристроїв вони не знайшли широкого застосування в овочевих сівалках точного висіву.

Схема посівної секції сівалки "Гаспардо-8". Недолік сівалки - трудомісткість зміни висіваючих дисків і нерівномірність розподілу інтервалів між насінням, викликана великою висотою падіння насіння, забиванням присмокчучих отворів і пробуксовування приводного (прикочуючого) катка секції.

Дисковий пневматичний висівний апарат з фасонною відбиваючою прокладкою. Перевагою даного апарату є те, що він дасть можливість значно скоротити пошкодження насіння, тим самим підвищити і якість висіву, а недоліком його є достатньо висока складність виготовлення та експлуатації.

Схема висівного апарата сівалки "Аеромат" Переваги апарату - невелика висота падіння насіння (7 см), недолік – необхідність шліфування (зняття зачепів і шорсткості) насіння для додання їм гладкої поверхні.

Схема висівного апарата сівалки "Екзакта Мат". Для кращого дозування насіння в висівних апаратах сівалок «Екзакта Мат» присмокчучі осередки розташовані з внутрішньої сторони обертового диска-обода, на бічній стороні якого є сектори з криволінійними напрямними. Насіння, що присмоктали до отворів, після виходу із зони розрідження падають на направляючі і при подальшому обертанні диска підводяться ними до точки скидання. Постійна відстань між напрямними сприяє більш рівномірному розміщенню насіння в борозні.

Схема пневматичного висіваючого апарата щілинного типу. Отвори для присмоктування у них були виконані на знімних ніпельних присосках, які сприяли активному ворошінню насіння, але значно ускладнювали конструкцію апарату, ускладнювали скидання насіння і очистку отворів. Тому сівалки з такими апаратами не знайшли широкого застосування, особливо при висіві дрібного овочевого насіння.

Всі вище приведені конструкції висівних апаратів мають один спільний недолік. Це достатньо невисока стабільність в забезпеченні одно зернового потоку насіння, особливо на підвищених швидкостях роботи.

Зважаючи на всі переваги та недоліки існуючих висівних апаратів, кафедрою СГМ продовжується дослідження принципово іншої схеми апарату (рис.1) у технологічний процес роботи якої закладений принцип поодинокого добору насіння комірками барабана з рециркулюючим потоком насіння, що створюється за рахунок продування насінневої камери висівного апарату надлишковим тиском повітря [6, С.45-46].

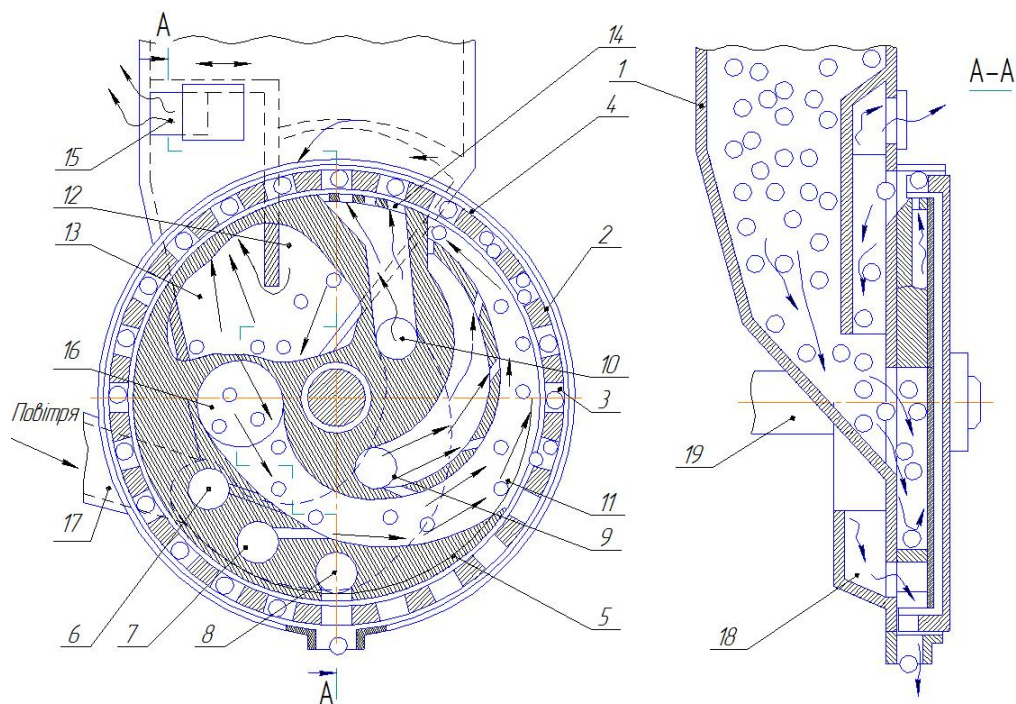


Рисунок 1 – Пневмомеханічний висівний апарат надлишкового тиску з рецируючим потоком насіння

Пневматичний висівний апарат надлишкового тиску з циркулюючим потоком насіння складається з бункера 1 для насіння, вертикального диска 2 з висівними комірками 3, який охоплюється з зовнішнього боку нерухомим обручам 4. Диск 2 з комірками охоплює циліндричний корпус 5. В циліндричному корпусі 5 виконана насіннева камера 11 і пневмокамери 6-10, з'єднані тангенціальними каналами, поправленими вбік руху висівного диска. Верхня частина камери 11 своєю відкритою частиною примикає до комірчастої частини диска 2.

В верхній частині камера 11 з'єднана з передкамерною порожниною. Передкамерна порожнина розділена перегородкою на дві частини: передня 12 і задня 13. В місці примикання висівного диска до передкамерної порожнини розміщене щільове сопло 14 з поперечними перегородками, які з'єднані з пневмокамерою 10. Задня частина передкамерної порожнини з'єднана через вікно 15 з атмосферою. В нижній частині камера 11 через вікно 16 сполучена з бункером 1 для насіння. Висівний диск 2 встановлений на привідному валу 19.

Для звільнення комірок 3 від насіння пневмокамера 8 має канал, направлений до комірчастої поверхні висівного диска. Подача стисненого повітря виконується через патрубок 17 і загальну пневмокамеру 18.

Апарат працює таким чином. Насіння з зони передкамерної порожнини 12 через вікно 16 поступає в нижню частину насінневої камери 11, де підхоплюється повітряним потоком, що утворюється рухом повітря з пневмокамер 6, 7, 9 через тангенціально розміщені канали, і транспортується по каналу насінневої камери в верхню її частину. Частина насіння через відкриту ділянку камери 11 за рахунок відцентрових сил, що діють на насіння при криволінійному русі, та надлишкового тиску з камери 11, заповнює комірочки 3 диска 2, що обертається, а інша частина насіння повертається повітряним потоком в передню частину 12 передкамерної порожнини. Із передкамерної порожнини через задню частину 13 повітряний потік виходить через вікно 15 в атмосферу, а насіння, опускаючись вниз передньої частини 12 передкамерної

порожнини, поступає через вікно 16 в насінневу камеру 11, створюючи тим самим циркуляцію насіння в апараті з відбором його комірками висівного диска.

По мірі зменшення насіння, що поступає з порожнини 12 вона поповнюється з бункера 1. Насіння, яке заповнило комірки 3, транспортується диском 2 і попадає під дію повітряного струменя, що діє з цільового сопла 14, в якому для поліпшення видування зайвих насінин, щільно розміщених в комірках, встановлені поперечні перегородки, що дозволяють розділити загальний потік повітря на кілька струменів. При цьому за рахунок пульсуючої дії струменів повітря на насіння, що рухається в комірках висівного диска, насіння здійснює коливальні рухи, що сприяє видаленню зайвих насінин, які видуваються в передкамерну порожнину 12 і в комірках залишається тільки одна насінина, яка присмоктується до отвору, створеному в вигляді зазору між зовнішньою поверхнею диска 2 і охоплюючий висівний диск обручем 4.

Для забезпечення необхідного статичного тиску повітря в порожнині 12 і регулювання режиму видалення зайвих насінин в комірок в момент дії сопла 14 при висіві різних видів насіння в передній передкамерній порожнині 12, яка має зв'язок з задньою передкамерною порожниною 13, регулюється тиск повітря за рахунок зміни величини відкритого вікна 15 спеціальною заслінкою.

Насіння, що залишилось в комірках, транспортується диском 2, підтримуване від випадання з однієї сторони обручем 4, а з другої сторони циліндричною і торцевою поверхнею корпусу 5. При співпаданні комірок з насінням і повітряним каналом пневмокамери 8, повітряний потік, що поступає через канал із камери 8, викидає насіння до пневмонасіннепроводу, який направляє їх в борозну.

Мета досліджень. Для визначення основних параметрів апарата в програму досліджень були включені наступні питання:

- уточнення форми і розмірів каналу транспортування потоку насіння в апараті;
- визначення конструкції зони видалення зайвих насінин із комірок висівного диска;
- дослідження режимів повітряного потоку для висіву різних фракцій насіння.

Вибір зазначених параметрів проводимо з урахуванням впливу їх на якість формування однозернового потоку насіння. Якість формування однозернового потоку визначаємо за допомогою електронного класифікатора, який фіксує ступінь заповнення комірок насінням, розбором проб кожного досвіду визначали дроблення насіння і візуальним спостереженням через прозору стінку апарата оцінювали характер руху зернового потоку в каналі апарата.

Методика досліджень. Дослідження проводили за допомогою лабораторної установки яка містить у собі раму із приводом, макет висівного апарата, компресор з ресивером і вимірювальну апаратури: U-образні водяні манометри із пневмометричними трубками, електронний класифікатор потоку насіння "ЭКПС-1" з фотоелектронними датчиками для рахування комірок на висівному диску, що обертається та насінин, що потрапляють з комірок до каналу сошника.

Форму й розміри комірок вибирали виходячи з попередніх досліджень, внутрішній діаметр дисків був прийнятий рівним 200мм, а кількість комірок 48.

Зміну тиску повітряного потоку в апараті отримували за рахунок регулювання компресора. Частоту обертання висівного диска апарата змінювали за рахунок змінних зірочок у механізмі приводу.

На першому етапі дослідження вирішували завдання забезпечення стійкого руху насінневого потоку в каналі 1 (рис. 2) і чіткого заповнення комірок висівного диска насінням. Цього домагалися за рахунок зміни напрямку й розмірів повітряного сопла 2, вибору довжини U пасивної частини 3 насінневого каналу 1, висоти насінного каналу

в зоні контакту насіння із комірками висіваючого диска за допомогою установки спеціальних накладок 4 різної товщини й зміною тиску повітряного потоку в апараті.

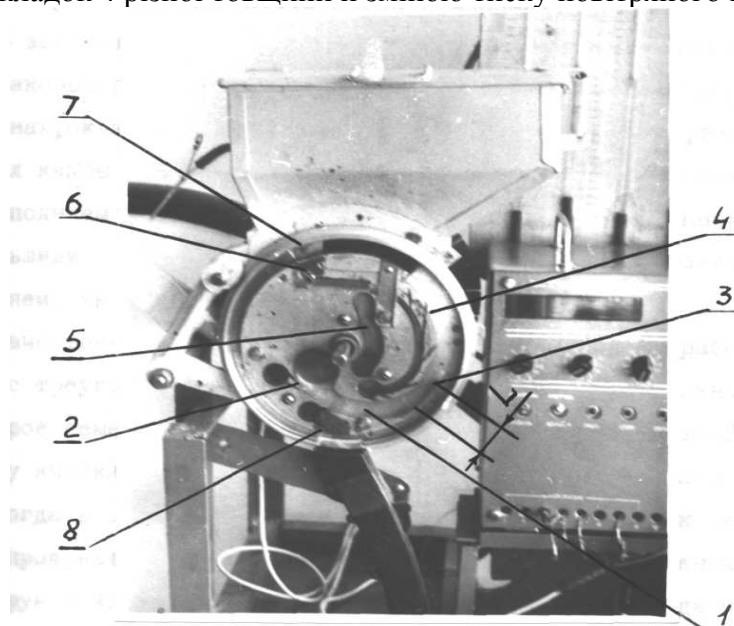


Рисунок 2 – Макет висіваючого апарату (висіваючий диск знятий)

Після того як вирішили завдання стійкого руху насінного потоку, і заповнення комірок приступилися до дослідження зони формування однонасінного потоку за рахунок зняття (видування) з комірок висіваючого диска зайвих насіння. Проблему зняття зайвих насіння вирішували наступним шляхом:

- за рахунок зміни розмірів і розташування поздовжнього щілинного сопла продувки, подачі в нього кількості повітря за рахунок зміни розмірів поперечного перерізу повітряного каналу 5 для подачі повітря до сопла;

- за рахунок зміни форми й розмірів зони переходу комірок з насіннями із зони впливу на них повітряних потоків в апараті в зону транспортування їх до місця викиду, шляхом зміни накладок 6 й 7 різної форми й розмірів;

- за рахунок зміни розмірів і розташування перегородки в передкамерній порожнині, що ділить останню на дві частини, в одну з яких направляється весь потік, що рухається, насіння із насінневого каналу, а в іншу - зняті з комірок зайві насіння.

Виявилося, що на характер руху насіння у каналі й на повноту заповнення ним комірок впливає як величина зони контакту, так і характер сполучення насінного каналу із зоною контакту (зона відкритих комірок диска).

Якісне формування насінневого потоку при роботі на дисках з периферійними комірками здійснюється в зоні вікна, через яке насінний потік іде в передкамерну порожнину. Для цього знизу комірки продуваються повітряним струменем через щілинне сопло. Але коли в зону щілинного сопла надходить весь потік насіння, то йому продувати комірки важко і потрібні його збільшені розміри й струмінь повітря повинен бути високого тиску. Звідси й труднощі одержання однонасінного потоку. Тому передкамерна порожнина була розділена на дві частини - перша для відводу основного потоку, що рухається, насіння, а друга для відводу тільки зайвих насіння, видутих з комірок диска. Це дозволило зменшити розміри щілинного сопла й знизити тиск його повітряного струменя й у той же час поліпшити якість формування однонасінного потоку.

Результати досліджень. Проведені дослідження висіваючого апарата дозволили нам зробити аналіз роботи апарата, визначити параметри його основних конструктивних елементів та вибрати орієнтовні режими роботи для подальших випробувань.

Форма й розміри каналу транспортування потоку насіння є першорядними в даній конструкції апарата, тому що від цього залежить стабільність роботи апарата. Канал повинен бути таким, щоб при роботі апарата утворювався рециркулюючий потік насіння, тобто безперервний рух насіння із насінневого каналу 1 (рис. 2) до вивідного каналу 2 у передкамерну порожнину з добром з нього насіння у комірки висіваючого диска.

Дані досліджень зводили в таблиці, що дозволяло проводити оцінку ефективності внесених змін в апарат. Нижче приводимо деякі з них.

Висів дражованого насіння цукрового буряка проводився при частоті обертання висіваючого диска $n = 40$ об/хв.

Таблиця 1 – Висів дражованого насіння цукрового буряка

Повний тиск повітря вводиться в апарат, Па					
2500	3000				
Площа отвору, що стравлює, мм ²					
300	300	225	150	75	0
Коефіцієнт заповнення комірок, %					
55	62	100	100	101	99,6

Як видно з таблиці 1, для дражованого насіння визначаються чітко режими для якісного формування однонасінного потоку.

Що ж стосується якості висіву звичайного насіння цукрового буряка, то пиникли питання, які потрібно уточнити в наступних дослідках. Так, наприклад, при малому відкритті отвору, що стравлює повітря, (...75мм²) у насінневому каналі утворюються нестійкі "пробки" з насіння. Ми пояснювали це неякісним виготовленням насінного каналу. Його варто виконувати трохи розширеним до виходу в зону відкритих комірок диска.

Таблиця 2 – Висів цукрового буряка фракції 4,5...5,5мм

Повний тиск повітря вводиться в апарат, Па											
2500	3000				3500				4000		
Площа отвору, що стравлює, мм ²											
300	0	75	150	225	300	0	75	150	0	75	150
Коефіцієнт заповнення комірок, %											
99	109	110	115	116	102	110	82	84	115	98	73

Висновки. Для рішення завдання формування однонасінного потоку при висіві насіння цукрового буряку у даній конструкції висіваючого апарата були проведені наступні конструктивні зміни:

-у зоні вивідного каналу 2 (рис. 2) установлений клиновий скидач 7, що відводить від комірок і направляє основний потік насіння у передкамерну порожнину через вивідний канал 2;

- комірки з насіннями, після клинового скидача, попадають під вплив поздовжнього щілинного сопла 6 і продуваються повітряним струменем, видуваючи при цьому зайві насінини з комірок;

- для зміни повітряного режиму в зоні продування комірок поздовжнім щілинним соплом, передкамерна порожнина має сполучення з атмосферою через спеціальний канал і регульоване вікно, завдяки якому здійснюємо регулювання режиму видалення зайвих насінин із комірок диска.

Однак змінена конструкція потребує додаткових випробувань. Невизначеним є також питання подачі насіння із апарата в порожнину сошника й далі в борозну. Це питання вимагає окремих досліджень, тому що насіння з комірок видувається в порожнину сошника досить сильним повітряним струменем, що буде діяти на насіння в порожнині сошника й у борозні, що може негативно позначитися на повздовжньому розподілі насіння у борозні.

Список літератури

1. Сисолін П. В. Висівні апарати сівалок (еволюція конструкцій, розрахунки параметрів) [Текст] : посібник для студ. вищих навч. закл. із спец. "Машини та обладнання с.-г. виробництва" / П. В. Сисолін, М. О. Свірень ; Кіровоградський національний технічний ун-т. – Кіровоград : [б.в.], 2004. – 160 с.: рис. – Бібліогр.: с. 158.
2. Машины для посева сельскохозяйственных культур / Г. М. Бузенков, С. А. Ма. – М.: Машиностроение, 1976. – 270, [1] с. : ил. – Библиография: с. 266-269.
3. Семенов А.Н. Зерновые сеялки / А.Н. Семенов. – М.: Машиностроение, 1959. – 26 с.
4. Чичкин В.П. Осошные сеялки и комбинированные агрегаты / В.П. Чичкин. – Кишинев: Штиинца, 1984. – 392 с.
5. Гусев В.М., Иваница С.К. Тенденции развития конструкций пропашных сеялок /Обзорная информация ЦНИИТЭИ тракторсельхозмаш, 1982. – Вып.10. – 32 с.
6. Свіребнь М.О. Дослідження параметрів комірок висівного апарату надлишкового тиску з ре циркулюючим потоком насіння / М.О. Свірень, А.Є. Солових, І.К. Солових, О.В. Анісімов – Конструювання,виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кіровоград: КНТУ.– 2011.– Вип.41. – Ч.2. – С.45 – 46.

Mikola Sviren, Olexandr Anisimov, Igor Solovykh

Kirovohrad National Technical University

Research of parameters and operating modes of pneumo-mechanic sowing device of the excess pressure with recirculated flow of seeds

The objective of the article is to study and create stable one-seed flow of sugar beetroot seeds with the help of a sowing device which can considerably improve the quality of sowing process.

The article presents comparative characteristics of some sowing devices for precise sowing of technical crops taking into consideration their advantages and disadvantages. The design of the pneumo-mechanic sowing device of the excess pressure with recirculated flow of seeds was presented and the ways of improvement were defined.

The following design changes were carried out:

- in the delivery channel we set a wedge pusher which directs and averts the flow of seeds from cells into the pre-chamber cavity through the delivery channel;

- after the wedge pusher the cells with seeds go to fore-and aft nozzle 6 and are blown by the air stream.

As a result excess seeds are blown out of the cells.

recirculated flow of seeds, one-seed flow of seeds, sowing disk, cell, nozzle, channel, excess seeds, pre-chamber cavity, onlay

Одержано 05.05.15

УДК 621.793.620.172

М.И. Черновол, проф., д-р техн. наук, Т.В. Ворона, асп.*Кировоградский национальный технический университет, krakazyblik@ukr.net***Е.Е. Кожевникова, ст. препод.***Одесская национальная морская академия, lenak2001@ukr.net***Л.А. Лопата, канд. техн. наук***Институт проблем прочности им. Г.С. Писаренко НАН Украины, beryuza@ukr.net*

Повышение износостойкости газотермических покрытий из железо-углеродистых сплавов электроконтактной обработкой

Предложен способ повышения износостойкости газотермических покрытий из железо-углеродистых сплавов электроконтактной обработкой (ЭКО). В основе способа лежит создание и использование фазово-структурных деформационных превращений, которые обеспечивают повышение износостойкости напыленных покрытий и комплексное улучшение их физико-механических и эксплуатационных свойств. Использование комбинации технологии напыления недорогих сталей и их ЭКО открывает широкие возможности в создании износостойких покрытий.

электроконтактная обработка, газопламенное напыление, электродуговое напыление, стали мартенситного и ферритного классов, структурно-фазовые деформационные превращения, железо-углеродистые сплавы

М.І. Черновол, проф., д-р техн. наук, Т. В. Ворона, асп.*Кіровоградський національний технічний університет***О.Е. Кожевникова, ст. викл.***Одеська національна морська академія***Л.А. Лопата, канд. техн. наук***Інститут проблем міцності ім. Г.С. Писаренко НАН України*

Підвищення зносостійкості газотермічних покриттів з залізо-вуглецевих сплавів електроконтактною обробкою

Запропоновано спосіб підвищення зносостійкості газотермічних покриттів з залізо-вуглецевих сплавів електроконтактною обробкою (ЕКО). В основі методу лежить створення і використання фазово-структурних деформаційних перетворень, які забезпечують підвищення зносостійкості напылених покриттів і комплексне поліпшення їх фізико-механічних та експлуатаційних властивостей. В результаті ЕКО ГПН / ЕДН покриттів із сталей мартенситного і феритного класів у покриттях формується двофазна структура, що містить метастабільний аустеніт, що має твердість 200 - 300 HV, а також певну кількість оксидів. При цьому, в процесі подальшої експлуатації деталей з цими покриттями внаслідок інтенсивної пластичної деформації метастабільний аустеніт буде трансформуватися в зносостійкий і твердий мартенсит (HV = 700 ... 800) за рахунок протікання деформаційного γ - α перетворення. Використання комбінації технології

электроконтактна обробка, газополуменеве напылення, электродуговое напылення, стали мартенситного і феритного класів, структурно-фазові деформаційні перетворення, залізо-вуглецевих сплави

Постановка проблемы. Методы газопламенного и электродугового напыления не обеспечивают требуемого уровня физико-механических свойств получаемых покрытий, в частности необходимые значения твердости, плотности, прочности сцепления и износостойкости покрытий. При реализации методов распыления

проволочных сталей максимальная достигаемая твердость покрытий находится в пределах 35-50 HRC_э, что существенно снижает их износостойкость и резко ограничивает область применения [1, 2].

Анализ последних исследований и публикаций. В настоящее время известен ряд методов увеличения износостойкости поверхностных слоев напыленных металлических материалов [3-6], однако их применимость ограничена. В частности, лазерная и электронно-лучевая обработка приводят к неоднородной гетерогенной макроструктуре поверхности и не обеспечивают ее химического модифицирования [4]. Методы высокоэнергетической ионной имплантации существенно увеличивают себестоимость покрытий [3]. Химико-термическая обработка характеризуется большой продолжительностью процесса и не позволяет проводить обработку крупногабаритных изделий [5-6].

Постановка задачи. Повышения износостойкости напыленных покрытий из сталей ферритного и мартенситного классов газопламенным и электродуговым методами.

Изложение основного материала. Возможными путями решения задачи повышения износостойкости ГПН/ЭДН покрытий из железо-углеродистых сплавов является формирование в них высокопрочных поверхностных слоев с градиентной структурой посредством активирования процессов напыления и последующего модифицирования напыленных слоев. Высокую износостойкость, твердость и прочие свойства покрытий, полученных газопламенным и электродуговым напылением можно обеспечить такими методами модифицирования, как термомеханическое упрочнение. Использование комбинации технологии напыления и последующего термомеханического упрочнения открывает широкие возможности в создании износостойких покрытий. Управляя процессами структурообразования при высокоэнергетическом воздействии можно конструировать градиентные слои с требуемым комплексом эксплуатационных свойств. Объединение нанесения покрытий с модификацией поверхности и обработкой покрытий позволяет создать комбинированные методы инженерии поверхности. Комбинирование технологий инженерии градиентных слоев с широко известными традиционными способами напыления является перспективным направлением в области упрочнения и восстановления деталей машин.

Таким образом, активирование процесса напыления и последующее модифицирование поверхностных слоев термомеханическим упрочнением позволяют путем управления структурно-фазовыми превращениями ГПН/ЭДН покрытий из железо-углеродистых сплавов формировать в них высокопрочные поверхностные слои с градиентной структурой и являются эффективным путем решения задачи повышения износостойкости напыленных покрытий.

Разработка способа повышения износостойкости ГПН/ЭДН покрытий из железо-углеродистых сплавов. В основе способа ГПН/ЭДН покрытий из железо-углеродистых сплавов лежит создание и использование фазово-структурных деформационных превращений, которые обеспечивают повышение износостойкости напыленных покрытий и комплексное улучшение их физико-механических и эксплуатационных свойств.

Наиболее целесообразно высокую твердость и износостойкость напыленных покрытий из сплавов на основе железа обеспечивать таким механотермическим методом как электроконтактная обработка (ЭКО). Использование комбинации технологии напыления недорогих сталей и последующей их ЭКО, открывает широкие возможности в создании износостойких покрытий. Объединение нанесения покрытий

ГПН/ЭДН напылением с модификацией поверхности и обработкой покрытий ЭКО позволяет создать новый комбинированный метод инженерии поверхности.

В основе способа повышения износостойкости ГПН/ЭДН покрытий из железуглеродистых сталей мартенситного и ферритного классов лежит их обработка электроконтактным методом, в результате которой в покрытиях из этих сталей формируется двухфазная структура, содержащая метастабильный аустенит, имеющий твердость 200 - 300 HV , а также определенного количества оксидов. При этом, в процессе дальнейшей эксплуатации деталей с этими покрытиями (приработки) вследствие интенсивной пластической деформации метастабильный аустенит будет трансформироваться в износостойкий и твердый мартенсит ($HV=700...800$) за счет протекания деформационного γ - α превращения.

Таким образом, получить износостойкие покрытия из сталей мартенситного и ферритного классов можно способом, который заключается в сочетании газопламенного напыления (ГПН)/электродугового напыления (ЭДН) покрытий с их электроконтактной обработкой (ЭКО). В основе этого способа лежит влияние электроконтактной обработки (ЭКО) на структурно - фазовые γ - α превращения в ГПН/ЭДН стальных покрытиях.

Прогнозирование появления возможных структурных особенностей и физико-механических свойств модифицированных электроконтактной обработкой газотермических покрытий на основании данных, полученных при электроконтактной обработке свободно насыпанных порошков или сформованных клеевым методом слоев невозможно, что связано со следующими особенностями напыленных покрытий:

- сверхбыстрая кристаллизация напыленных капель расплава приводит к высокой концентрации дефектов кристаллической решетки (дислокаций, вакансий) в частицах покрытия;

- частицы покрытия имеют строение, отражающее условие гетерогенной кристаллизации с развитием фронта растущих кристаллов в направлении, противоположном отводу тепла, т.е. перпендикулярно к поверхности формирования слоя;

- напыленное покрытие имеет поры и разветвленную сеть границ;

- при напылении покрытий происходит интенсивное взаимодействие входящих в их состав элементов с окружающей средой и рабочими газами, в частности, кислородом, что приводит к существенному изменению фазового состава и свойств покрытий.

Несмотря на указанные особенности можно ожидать, что произойдут следующие изменения структуры. В результате электроконтактной обработки напыленных покрытий из проволок сталей 40X13 (мартенситного класса) и Св-08 (ферритного класса) в поверхностных слоях возможно образование модифицированных градиентных структур, содержащих высокопрочную матричную α -фазу (твердый раствор углерода в α -Fe), а также включения карбидов и аустенита. При этом присутствие в модифицированном слое повышенных количеств аустенита может способствовать повышению вязкости разрушения и абразивной стойкости покрытия [], а наличие в слое высокопрочных фаз (мартенсит и карбиды) должно обеспечить повышенную прочность, а также износостойкость напыленных покрытий. Кроме этого термосиловое воздействие в области повышенных температур может уменьшать пористость покрытия и увеличивать его адгезионную прочность [7].

В качестве объектов исследования были выбраны покрытия из проволочных сталей 40X13 (сталь мартенситного класса) и Св-08 (сталь ферритного класса), напыляемые газопламенным и электродуговым методами. Стали мартенситного

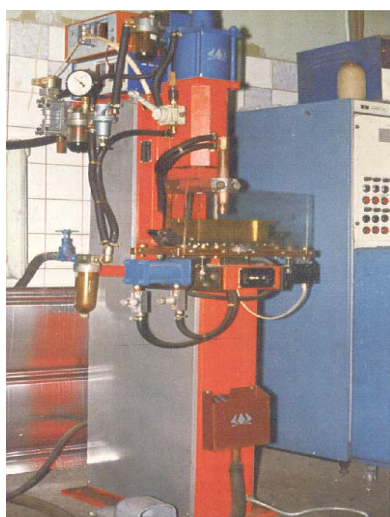
(40X13) и ферритного (Св-08) классов наиболее перспективны, что обусловлено особенностями структурно-фазовых превращений в них при термомеханическом воздействии. Главная особенность выбранных сталей ферритного и мартенситного классов в качестве материала покрытий - способность к фазовым превращениям и структурным изменениям как на стадии нанесения покрытий и упрочняющих обработок, так и на стадии эксплуатации, что позволит повысить износостойкость рабочих поверхностей деталей. Диаметр проволоки $\varnothing 2,0$ мм. Химический состав проволок приведен в табл. 1.

Таблица 1 – Химический состав распыляемых проволок

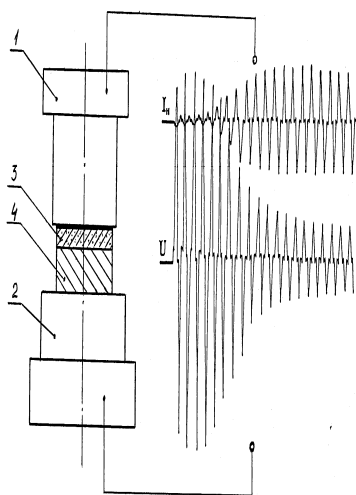
Марка Материала	Концентрация элементов, мас. %						
	C	Cr	Ni	Ti	Mn	Si	Fe
40X13	0,42	13,4	0,54	0,13	0,44	0,27	основа
Св08	0,06	0,1	–	–	0,40	0,25	основа

Материал подложки – сталь Ст.3. Промежуточный слой сформирован распылением проволоки из сплава Х20Н80. Температура распыляющего факела не превышала 3000 К. Скорость полета напыляемых частиц составляла: 100...130 м/с (ГПН покрытие) и 400÷500 м/с (ЭДН покрытие). Размеры частиц, из которых формировались покрытия, находились в пределах 5÷40 мкм. Толщина покрытия составляла 0,25...0,8 мм.

Электроконтактная обработка напыленных покрытий осуществлялась на установке для электроконтактного спекания порошковых материалов (рис.1). Регулируемыми параметрами технологического процесса электроконтактной обработки (ЭКО) являются ток, его длительность и усилия сжатия электродов. Эти параметры изменяются по заданной программе, зависящей от геометрических параметров слоя, свойств применяемых материалов и ряда других факторов. Отработка технологических параметров ЭКО проводилась на базе установки УЭКС-2 (рис. 1,а) с модернизированным блоком управления РКС-801М по схеме представленной на рис.1,б.



а



б



в

1, 2 – электроды; 3 напыленное покрытие 4 – основа

Рисунок 1 – Внешний вид установки УЭКС-2 (а), схема электроконтактной обработки напыленных покрытий (б) и образцы, закрепленные в приспособлении для напыления

Цилиндрические образцы ($\varnothing 10$ мм и высотой 8 мм) изготавливались из стали Ст.3 и на их торцевые поверхности напылялись слои из проволочных сталей 40X13 и Св-08 (рис. 1,в). Образцы с напыленным покрытием помещались между двумя электродами - пуансонами, коммутированными с измерительным комплексом приборов (рис.1). Упрочняемые образцы обжимали электродами, проводящими ток плотностью 300 А/мм^2 со стороны подложки и со стороны покрытия. Давление на электрод регулировали, варьируя среднее контактное давление от 10 до 60 МПа. Длительность контакта электрода с поверхностью изменяли от 2 до 8 с. Электроконтактную обработку всех образцов на установке УЭКС-2 (рис.1.а) осуществляли при следующих режимах: давление $P=40\text{МПа}$; ток $I = 5,6\text{кА}$; вторичное напряжение $U = 3,2 \text{ В}$; плотность тока $j = 2,5 \text{ кА/см}^2$; время нагрева $t = 10 \text{ сек.}$; охлаждение – на воздухе.

Интенсификация температурно-силовых параметров при электроконтактной обработке ускоряет спекание и, следовательно, увеличивает производительность процесса. Изменение времени, которое необходимо для электроконтактной обработки (ЭКО) покрытия, в зависимости от среднего контактного давления, показано на рис. 2.

Режимы термомеханического воздействия на композит (длительность контакта с электродом и давление на него) следует регулировать так, чтобы покрытие спекалось с подложкой без расплавления. При расплавлении существенно ухудшается качество покрытия. Наблюдаются локальное расплавление поверхностного слоя с выплесками металла, прилипание к электроду и отрыв от подложки. При прохождении электрического тока через систему покрытие-основа основное тепловыделение происходит в точках наибольшего электросопротивления, а именно: в местах взаимного контакта напыленных частиц, на участках, где покрытие прилегает к подложке. Это тепловыделение вызывает сваривание частиц друг с другом и с подложкой. Существенное влияние на свойства упрочняемых деталей при ЭКО оказывает зона термического влияния, ее глубина и строение (рис. 2.а). В процессе ЭКО вследствие термо-механического воздействия покрытие испытывает фазовые превращения: перлит (П) в зоне термического влияния превращается в аустенит (А), который, в свою очередь, при ускоренном нагреве в результате интенсивного теплоотвода при охлаждении испытывает мартенситное (М) превращение. Наиболее существенно структура основы изменяется в результате обработки покрытия при контактном давлении $\sim 40 \text{ МПа}$. В этом случае малоуглеродистая сталь (Ст. 3) в переходной зоне имеет структуру псевдоперлита, образование которого связано с нагревом основы до аустенитного состояния и последующим ускоренным охлаждением. При превышении величины контактного давления (давления электроконтактной обработки) 40 МПа , глубина зоны термического влияния вновь уменьшается. Структурные изменения в основе (образце, сталь Ст.3) ограничиваются рекристаллизацией феррита. Меньшее влияние термического цикла при увеличении силового воздействия объясняется сокращением времени, требуемого для полной обработки покрытия. Длительность цикла электроконтактной (термосиловой) обработки около 1 с оказывается в этом случае недостаточной для фазовых превращений в основе. Что касается качества покрытия, то увеличение силовых параметров ухудшает его: в покрытии возникают и не успевают завариваться хрупкие трещины. Малое термическое влияние при силовом воздействии 20 МПа обусловлено перераспределением тепловыделения в сторону пор и границ между несплошностями покрытия. При повышении давления площадь электрических контактов между частицами увеличивается, электросопротивление покрытия снижается, тепловыделение в основе возрастает. Режим ЭКО считается оптимальным, при котором покрытие формируется в процессе термосиловой обработки, а подложка

получает феррито-мартенситную структуру. В этом случае нет хрупкой переходной зоны, характерной для других способов обработки (печного, газовой горелкой, плазменной струей и другими неконцентрированными источниками тепла). Образование участков двойникового мартенсита в малоуглеродистой стали Ст.3 после охлаждения переходной зоны обусловлено тем, что принятый режим быстрого электроконтактного нагрева обеспечивает аустенитное превращение только в перлитных участках основы. В образовавшемся аустените содержится около 0,8% углерода, то есть столько же, сколько было в перлите. При последующем ускоренном охлаждении аустенит претерпевает мартенситное превращение. При повышении содержания углерода в мартенсите износостойкость повышается. Повышение содержания углерода в стали в этом случае является показателем увеличения количества карбидной фазы. Износостойкость ферритной матрицы (сталь Св-08) существенно ниже, чем мартенситной (сталь 40X13). Увеличение количества карбидов более эффективно влияет на износостойкость. На рис. 2 представлена зависимость интенсивности изнашивания (отношение массы потерь металла ΔI к массе абразива Q , вызвавшего это изнашивание) покрытий в зависимости от содержания в них углерода.

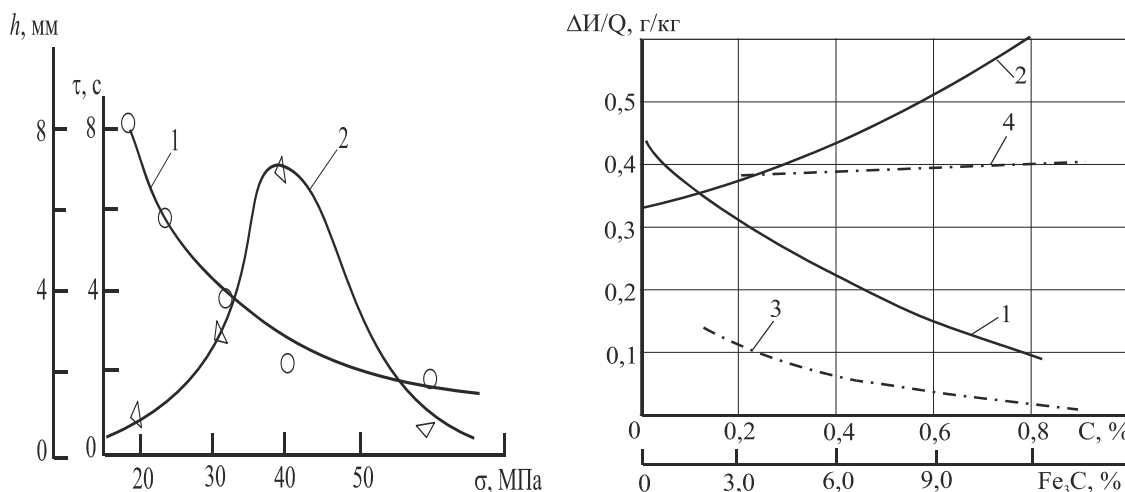


Рисунок 2 – Влияние давления при электроконтактной обработке (а) на длительность процесса (1) и глубину зоны термического влияния (2), и содержания углерода в покрытиях из сталей ферритного (Св-08) и мартенситного (40X13) классов на интенсивность изнашивания $\Delta I/Q$ (1, 2 – покрытие из Св-08 в скользящем и ударном потоке; 3, 4 – покрытие из 40X13 в скользящем и ударном потоке)

На основании исследований было установлено, что в результате электроконтактной обработки напыленных покрытий в поверхностных слоях образуются модифицированные градиентные структуры, содержащих высокопрочную матричную α -фазу (твёрдый раствор углерода в α -Fe), а также включения карбидов и аустенита. При этом присутствие в модифицированном слое повышенных количеств аустенита может способствовать повышению вязкости разрушения и абразивной стойкости покрытия, а наличие в слое высокопрочных фаз (мартенсит и карбиды) обеспечивает повышенную прочность, а также износостойкость газотермических покрытий. Кроме этого термосиловое воздействие в процессе электроконтактной обработки напыленных покрытий в области повышенных температур уменьшает пористость покрытия, и увеличивать его адгезионную стойкость. Для исследования фазовых и структурных превращений в напыленных слоях после ЭКО использовался рентгеноструктурный анализ (дифрактометр ДРОН-3.0, монохроматизированное $CoK\alpha$ излучение, $V=30$ кВ, $I=10$ мА). Для фазового анализа использовалась стандартная

картотека PDF. Твердость по Виккерсу определялась при нагрузке 49 Н, микротвердость измерялась при нагрузке 1 Н с выдержкой в течение 10 сек. Металлографические исследования проводились на оптическом микроскопе.

Выводы. Таким образом, для повышения износостойкости напыленных покрытий из сталей ферритного и мартенситного классов целесообразно использовать электроконтактный метод. Метод ЭКО отличается оптимальным воздействием на металл основы, достаточно технологичен, гарантирует высокую производительность, культуру производства и экологическую чистоту, сохранение наследственной структуры материала покрытия, обеспечивает его высокую износостойкость. Определены и отработаны режимы электроконтактной обработки напыленных покрытий. Показано, что ЭКО позволяет не только повышать износостойкость но и свести к минимуму их механическую обработку, обеспечивает получение однородной структуры покрытий.

Список литературы

1. Теория и практика газопламенного напыления / П.А. Витязь, В.С. Ивашко, Е.Д. Манойло и др. – Минск: Наука і тэхніка, 1993. – 295 с.
2. Буйкус Кястас Вито. Восстановление деталей автомобилей, тракторов и сельскохозяйственных машин активированной дуговой металлизации. Дис. канд. техн. наук. - Минск., 1998.
3. Витязь П.А.Ю Азизов Р.О., Белоцерковский М.А. Упрочнение газотермических покрытий. – Мн.: Бестпринт, 2004. – 192 с.
4. Улучшение напыленных покрытий посредством высоковольтного электронно-лучевого оплавления. Improvement of sprayed coatings with ultra high voltage EB melting / Tomie michio, Abf Nobuyuki, Morimoto Junij, Yamaguchi Akio, Arata Yoshiaki // Trans. JWRI. – 1992. – 21, № 2. – С. 229-300.
5. Корчагин И. Б. Технологии повышения износостойкости и восстановления деталей с использованием источников высокотемпературного нагрева: Учебное пособие Воронеж: Изд-во ВГТУ 2005. - 147 с.
6. 191. Соколов Ю.В., Садова М.А., Попок Д.А. Термическая обработка напыленных покрытий / Вестн. Беларус. нац. техн. ун-та. – 2004. - № 3. - С. 40-41
7. Ярошевич В.К., Генкин Я.С., Верещагин В.А. Электроконтактное упрочнение. – Минск: Наука и техника, 1982, - 256 с. Резник Н.Е. Взаимодействие лезвия с материалом в процессе его резания и износ лезвий / Н.Е. Резник // Повышение износостойкости и долговечности режущих элементов сельскохозяйственных машин. – Мн., ИНТИП, 1967. – 5-10 с.

Mykhailo Chernovol, Tetiana Vorona

Kirovohrad National Technical University

Olena Kozhevnikova

Odessa National Maritime Academy

Larysa Lopata

H.S. Pysarenko Institute for Problems of Strength NAS of Ukraine

Increase in wear resistance of gas-thermal coatings from iron-carbon alloys using electric contact treatment

A method for an increase in the wear resistance of iron-carbon alloy coatings using electric contact treatment is proposed, which is based on the initiation and use of phase-structural deformation transformations, which provide an increase in the wear resistance of deposited coatings and complex improvement of their physical-mechanical and performance properties.

As a result, in coatings from steels of martensite and ferrite types a two-phase structure has been formed, which contained a metastable austenite with a hardness of 200-300 HV along with some amount of oxides. In the course of operation of parts with such coatings, thanks to intense plastic deformation, the metastable austenite tends to transform into wear-resistant and hard martensite (HV=700...800) due to the $\gamma - \alpha$ deformation transformation.

electric contact treatment, flame spraying, electric arc spraying, martensite and ferrite steels, structure-phase deformation transformations, iron-carbon steels

Одержано 12.05.15

АВТОМАТИЗАЦІЯ

УДК 651.92:001.817

Р.О. Бакарджиєв, доц., канд. техн. наук*Таврійський агротехнологічний університет***А.О. Комаров***Київський національний університет ім. Т. Шевченка*

Особливості оцінки результатів регресійного аналізу

На конкретних прикладах представлено оцінку результатів регресійного аналізу активного повнофакторного експерименту. Із застосуванням статистичних функцій MS Excel проілюстрована оцінка адекватності математичної моделі другого порядку з вибракуваними статистично незначущими коефіцієнтами, визначено працездатність математичної моделі, відповідності різниці (залишків) нулю і нормальному розподілу та їхня автокореляція.

Наведені способи дають змогу швидко з високою точністю визначити всі оціночні параметри отриманого рівняння регресії, його придатність для використання як математичної моделі.

регресійний аналіз, математична модель, адекватність, нормальний статистичний розподіл**Р.А. Бакарджиєв, доц., канд. техн. наук***Таврический агротехнологический университет***А.А. Комаров***Киевский национальный университет им. Т. Шевченко***Особенности оценка результатов регрессионного анализа**

На конкретных примерах представлена оценка результатов регрессионного анализа активного полнофакторного эксперимента. С применением статистических функций MS Excel проиллюстрирована оценка адекватности математической модели второго порядка с выбракуванными статистически незначимыми коэффициентами, определены работоспособности функции, соответствие разницы (остатков) нулю и нормальному распределению, их автокорреляция.

Приведенные способы позволяют быстро с высокой точностью определить все оценочные параметры полученного уравнения регрессии, его пригодность в качестве использования как математической модели.

регрессионный анализ, математическая модель, адекватность, нормальное статистическое распределение

Постановка проблеми. Регресійний аналіз, як і дискримінантний аналіз, факторний, кластерний та інші, відноситься до методів математичного статистичного моделювання. Моделлю в даному випадку є рівняння регресії, параметри (коефіцієнти) якого й розраховуються в ході регресійного аналізу.

Мета регресійного аналізу – пошук таких комбінацій незалежних ознак, які “найкраще” (у певному статистичному сенсі з більш високим значенням коефіцієнта детермінації R^2 , меншим значенням дисперсії похибок і т. ін.), прогнозують значення залежної ознаки.

Про перевірку відповідності отриманої функції відгуку експериментальним даним визначається:

- значущість коефіцієнтів рівняння регресії за критерієм Стьюдента;
- адекватність математичної моделі за критерієм Фішера;
- оцінка працездатності отриманої функції за коефіцієнтом детермінації на основі визначення коефіцієнту лінійної кореляції Пірсона [1];
- оцінка відповідності нулю різниці (залишків) між фактичним і прогнозованим значенням залежної змінної;

- оцінка відповідності залишків нормальному розподілу;
- оцінка автокореляції залишків.

Всі перелічені операції можуть бути виконані пакетом прикладних програм Statistica але без урахування умов значущості коефіцієнтів рівняння регресії (див. табл. 2–5).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Широке розповсюдження персональних електронно–обчислюваних машин з математичним програмним забезпеченням призвело до того, що при обробці і аналізі багатофакторних експериментів багато дослідників розраховують параметри рівнянь регресії за загальновідомими статистичними формулами, наводячи їх навіть у текстовому матеріалі [2]. При цьому у ряді випадків не застосовується навіть оцінку достовірності коефіцієнтів парних поєднань і квадратичних залежностей [3].

У інших випадках за достовірність оцінки рівняння регресії приймають оціночні дані отримані при використанні спеціальних статистичних пакетів, які не враховують статистичну неістотність коефіцієнтів функції відгуку [4].

Постановка завдання. Метою статті є подання особливостей подальшої оцінки рівняння регресії, отриманого ППП Statistica при регресійному аналізі функції відгуку другого порядку за багатофакторним активним експериментом з повторенням та подальша оцінка її статистичної достовірності з урахуванням значущості коефіцієнтів.

Виклад основного матеріалу. Для ілюстрації особливостей подальшої оцінки рівняння регресії нами взята функція відгуку активного експерименту при визначенні залежності щільності ρ (кг/м³) паливних брикетів від довжини часток соломи l (мм), умісту δ (%) зв'язуючої речовини і кута α (град) конусності матриці (табл. 1), отримана за трирівневою матрицею оптимального плану Бокса другого порядку для трьох факторів [5]. Дослідження виконані з трикратною повторністю — мінімальною кількістю, яка забезпечує 95 % надійність досліду. Таким чином експеримент характеризуються кількістю факторів $n = 3$, повторністю $m = 3$ і повторенням $N = 14$.

Таблиця 1 – Результати дослідження щільності паливних брикетів

№ п.п.	Фактори			Щільність брикету ρ , кг/м ³			
	Довжина часток l , мм	Уміст зв'язуючого δ , %	Конусність матриці α , град	Повторності			Середнє $\bar{Y}_{\text{ср}}$
				Y_1	Y_2	Y_3	
1	20	0.0	2	596.5	788.9	672.6	686
2	40	0.0	2	740.5	489.4	576.1	602
3	20	9.0	2	516.4	768.6	605.0	630
4	40	9.0	2	683.2	444.4	525.4	551
5	20	0.0	6	559.3	846.2	658.4	688
6	40	0.0	6	734.5	501.7	584.9	607
7	20	9.0	6	510.5	784.9	603.6	633
8	40	9.0	6	674.0	460.3	536.7	557
9	20	4.5	4	527.0	784.5	617.5	643
10	40	4.5	4	692.5	457.7	538.8	563
11	30	0.0	4	501.6	771.3	593.1	622
12	30	9.0	4	718.2	452.4	539.4	570
13	30	4.5	2	473.2	763.3	566.5	601
14	30	4.5	6	774.4	472.7	567.9	605

Обробку даних табл. 1 за допомогою ППП Statistica можна виконати двома способами — як за повтореннями, так і за середніми значеннями. У обох випадках використовується розширена матриця плану експериментів у розкодованому вигляді.

У результаті розрахунків, отриманих за повтореннями, маємо табл. 2 з характеристикою рівняння регресії.

За її даними бачимо, що всі коефіцієнти функції відгуку, отриманої за повтореннями, неістотні на прийнятому рівні значущості $\alpha = 0.05$, а сама математична модель на цьому ж рівні неадекватна.

Таблиця 2 – Сумарна характеристика рівняння регресії, отриманого за повтореннями

Результаты множественной регрессии: Брикет						
Результаты множ. регрессии						
Зав.перем.: Щільність брик		Множест. R = .36475749	F = .5456584			
Число набл.: 42		R2= .13304803	сс = 9,32			
		скоррект. R2= -.11078221	p = .829971			
		Стандартная ошибка оценки: 121.77877144				
Своб.член: 898.27500000		Ст.ошибка: 411.0597	t(32) = 2.1853	p = .0363		
Regression Summary for Dependent Variable: Щільність брикета ρ , кг/м ³ (Брикет)						
R= .36502066 R ² = .13324008 Adjusted R ² = ----						
F(9,32)=.54657 p<.82928 Std.Error of estimate: 121,68						
N=42	Beta	Std.Err. of Beta	B	Std.Err. of B	t(32)	p-level
Intercept			898,2750	410,7179	2,187085	0,036159
Довжина частки l, мм	-0,833446	2,039053	-11,2500	27,5235	-0,408741	0,685452
Уміст зв'язуючого δ , %	-0,295595	0,952570	-8,8667	28,5732	-0,310314	0,758335
Конусність матриці α , градуснс	-0,348195	1,458174	-23,5000	98,4135	-0,238788	0,812792
l x δ	0,030433	0,604702	0,0278	0,5519	0,050328	0,960174
l x α	0,020641	0,683548	0,0375	1,2419	0,030197	0,976098
δ x α	0,004460	0,443143	0,0278	2,7597	0,010066	0,992032
l x l	0,518783	1,998200	0,1162	0,4478	0,259625	0,796816
δ x δ	0,070933	0,686725	0,2284	2,2112	0,103292	0,918376
α x α	0,347553	1,338673	2,9063	11,1940	0,259625	0,796816

Проте, при розрахунку за середніми значеннями функції отримується адекватне рівняння регресії з переважною більшістю значущих коефіцієнтів (табл. 3), хоч самі значення коефіцієнтів рівнянь регресії для обох способів співпадають.

Таблиця 3 – Сумарна характеристика залежної змінної (рівняння регресії), отриманої за середніми значеннями повторень

Результаты множественной регрессии: Брикет						
Результаты множ. регрессии						
Зав.перем.: Щільність брик		Множест. R = .99999176	F = 26973.84			
Число набл.: 14		R2= .99998352	сс = 9,4			
		скоррект. R2= .99994645	p = .000000			
		Стандартная ошибка оценки: .316227766				
Своб.член: 898.27500000		Ст.ошибка: 1.848817	t(4) = 485.86	p = .0000		
Итоги регрессии для зависимой переменной: Щільність брикета ρ , кг/м ³ (Брикет)						
R= .99999176 R ² = .99998352 Скорректир. R ² = .99994645						
F(9,4)=26974 p<.00000 Станд. ошибка оценки: .31623						
N=14	БЕТА	Стд. Ош. БЕТА	B	Стд. Ош. В	t(4)	p-уров.
Св.член			898.2750	1.848817	485.8647	0.000000
Довжина частки l, мм	-2.28326	0.025145	-11.2500	0.123895	-90.8026	0.000000
Уміст зв'язуючого δ , %	-0.80980	0.011747	-8.8667	0.128620	-68.9367	0.000000
Конусність матриці α , град	-0.95390	0.017982	-23.5000	0.443001	-53.0473	0.000001
l x δ	0.08337	0.007457	0.0278	0.002485	11.1803	0.000364
l x α	0.05655	0.008429	0.0375	0.005590	6.7082	0.002570
δ x α	0.01222	0.005465	0.0278	0.012423	2.2361	0.089009
l x l	1.42123	0.024642	0.1162	0.002016	57.6762	0.000001
δ x δ	0.19432	0.008469	0.2284	0.009953	22.9464	0.000021
α x α	0.95214	0.016508	2.9063	0.050389	57.6762	0.000001

Статистично неістотним на прийнятому рівні значущості є лише коефіцієнт при поєднанні факторів умісту зв'язуючої речовини і кута конусності матриці, тобто $\delta \times \alpha$. Відмінність в результатах оцінки отриманих рівнянь регресії полягає в тому, що

для регресійного аналізу ППП Statistica вимагає представлення експериментальних даних однією колонкою і при розрахунку, на відміну від дисперсійного аналізу, не визначає в ній цикли повторення. Це призводить до зростання дисперсії похибки досліду, яка стоїть у знаменнику формули критерію Фішера. Зростання пояснюється тим, що сума квадратів відхилень даних від середнього зростає у квадратичній залежності, а їхня кількість лінійно.

У колонці В табл. 3 представлено вільний член і коефіцієнти рівняння регресії (у вигляді функції відгуку другого порядку) — математичної моделі, яка за умови статистичної значущості її коефіцієнтів має вигляд

$$\rho = 898.2750 - 11.25 \cdot \lambda - 8.8667\delta - 23.5\alpha + 0.0278 \cdot \lambda\delta + 0.0375 \cdot \lambda\alpha + 0.1162 \cdot \lambda^2 + 0.2284\delta^2 + 2.9063\alpha^2. \quad (1)$$

Для порівняння експериментальних значень і значень, розрахованих за рівнянням регресії представимо таблицю передбачуваних значень і залишків (табл. 4).

Таблиця 4 – Передбачувані значення і залишки

Набл. No.	Предсказанные значения и остатки (Брикет)								
	Зависимая перемен.: Щільність брикета ρ , кг/м ³								
	Наблюд. Значение	Предск. Значение	Остатки	Станд. предск.	Станд. Остатки	Стд. Ош. предск.	Махалан. расст.	Удален. остатки	Кука расст.
1	686.0000	685.9000	0.099976	1.72664	0.31615	0.282843	9.471429	0.49988	0.199902
2	602.0000	601.9000	0.099976	-0.21719	0.31615	0.282843	9.471429	0.49988	0.199902
3	630.0000	630.1000	-0.099976	0.43538	-0.31615	0.282843	9.471429	-0.49988	0.199902
4	551.0000	551.1000	-0.099976	-1.39275	-0.31615	0.282843	9.471429	-0.49988	0.199902
5	688.0000	687.9000	0.099976	1.77292	0.31615	0.282843	9.471429	0.49988	0.199902
6	607.0000	606.9000	0.099976	-0.10149	0.31615	0.282843	9.471429	0.49988	0.199902
7	633.0000	633.1000	-0.099976	0.50480	-0.31615	0.282843	9.471429	-0.49988	0.199902
8	557.0000	557.1000	-0.099976	-1.25390	-0.31615	0.282843	9.471429	-0.49988	0.199902
9	643.0000	643.0000	0.000000	0.73389	0.00000	0.244949	6.871428	0.00000	0.000000
10	563.0000	563.0000	0.000000	-1.11737	0.00000	0.244949	6.871428	0.00000	0.000000
11	622.0000	622.4000	-0.400024	0.25719	-1.26499	0.244949	6.871428	-1.00006	0.600073
12	570.0000	569.6000	0.400024	-0.96464	1.26499	0.244949	6.871428	1.00006	0.600073
13	601.0000	601.0000	0.000000	-0.23802	0.00000	0.244949	6.871428	0.00000	0.000000
14	605.0000	605.0000	0.000000	-0.14546	0.00000	0.244949	6.871428	0.00000	0.000000
Минимум	551.0000	551.1000	-0.400024	-1.39275	-1.26499	0.244949	6.871428	-1.00006	0.000000
Максим.	688.0000	687.9000	0.400024	1.77292	1.26499	0.282843	9.471429	1.00006	0.600073
Среднее	611.2857	611.2857	0.000000	0.00000	0.00000	0.266603	8.357143	0.00000	0.199955
Медиана	606.0000	605.9500	0.000000	-0.12347	0.00000	0.282843	9.471429	0.00000	0.199902

Наявність автокореляції перевіряється за допомогою d -критерію Дарбіна–Уотсона, результати оцінки якого подано в табл. 5. За її даними про автокореляцію однозначного висновку дійти не можна, проте ми припускаємо існування автокореляції залишків. Про це свідчить і коефіцієнт серіальної кореляції, величина якого відповідає наявності слабкої кореляції).

Проте слід звернути увагу, що наведена в табл. 3 оцінка адекватності математичної моделі за критерієм Фішера і інші показники стосуються моделі з усіма знайденими коефіцієнтами рівняння регресії, тобто і для статистично неістотних.

Для оцінки адекватності математичної моделі при виключенні з неї статистично незначущих коефіцієнтів в MS Excel створимо табл. 6. У її верхній частині в колонки А3:А12 і В3:В12 відповідно занесені головик і колонка В табл. 3. Дані колонок С, D, E, F і G (рядки 3–16) узяті з табл. 1.

Таблиця 5 – Статичний аналіз Дарбіна–Уотсона		
	Дарбина-Уотсона d (Брикет) и сериальная корреляция остатков	
	Дарбина-Уотсон d	Сериал. Корр.
Оценка	2.725134	-0.375061

Колонка N3:N16 представляє собою значення розраховані за рівнянням регресії (1) для відповідних рядків колонок D, E і F.

У колонку J, яка використовується для визначення нормальності розподілу залишку, заноситься абсолютна різниця між поточним значенням колонки I3:I16, в якій подано подані різниці ϵ_i (залишки) даних між відповідними рядками колонок G і H, та середнього значення колонки I3:I16.

Таблиця 6 – Зведена характеристика рівняння регресії з вилученим незначущим коефіцієнтом, отриманого за середніми значеннями повторень

№	A	B	C	D E F			G H		I	J	K	L	
				Фактори	Функція відгуку Y		Залишок	Абсолютна різниця із середнім					Квадрат залишку
	Розкодвані коефіцієнти рівняння	№ п.п.	f	d	a	Експерим.			Розрах.				
3	In=	898,2750	1	20	0	2	686,0	685,90	0,10	0,40	0,010		
4	I=	-11,2500	2	40	0	2	602,0	601,90	0,10	0,40	0,010	0,000	
5	d=	-8,8667	3	20	9	2	630,0	629,60	0,40	0,10	0,160	0,090	
6	a=	-23,5000	4	40	9	2	551,0	550,60	0,40	0,10	0,160	0,000	
7	Ixa=	0,0278	5	20	0	6	688,0	687,90	0,10	0,40	0,010	0,090	
8	Ixd=	0,0375	6	40	0	6	607,0	606,90	0,10	0,40	0,010	0,000	
9	dxa=		7	20	9	6	633,0	631,60	1,40	0,90	1,960	1,690	
10	I²=	0,1162	8	40	9	6	557,0	555,60	1,40	0,90	1,960	0,000	
11	d²=	0,2284	9	20	4,5	4	643,0	642,50	0,50	0,00	0,250	0,810	
12	a²=	2,9063	10	40	4,5	4	563,0	562,50	0,50	0,00	0,250	0,000	
13			11	30	0	4	622,0	622,40	-0,40	0,90	0,160	0,810	
14			12	30	9	4	570,0	568,60	1,40	0,90	1,960	3,240	
15			13	30	4,5	2	601,0	600,75	0,25	0,25	0,062	1,323	
16			14	30	4,5	6	605,0	604,25	0,75	0,25	0,562	0,250	
17	Максимум						688,00	687,90	1,40	Розрах. значення $d_{\phi} = 1,103$			
18	Верхній довірчий інтервал								0,821	Нижня межа $d_U = 1,820$			
19	Середнє						611,29	610,79	0,500	Верхня межа $4-d_U = 2,180$			
20	Нижній довірчий інтервал								0,179	Результат нормальності			
21	Мінімум						551,00	550,60	0,400	0,066			
22	Медіана						606,00	605,58	0,400	Нормальн.			
23	Ступінь вільності неадекватності						5						
24	Ступінь вільності дослідів						8						
25	Дисперсія неадекватності						0,310						
26	Дисперсія похибки дослідів						1867,451						
27	Розрахунковий критерій Fф						3769,70						
28	Довірчий рівень значущості α						0,050						
29	Табличний критерій Fф						6,757						
30	Розрахунковий рівень значущості						5,1061E-09						
31	Коефіцієнт кореляції Пірсона						0,99993131						
32	Показник детермінації						0,99986263						

J3=ABS(СРЗНАЧ(\$I\$3:\$I\$16)-I3)
 H3=B3+B4*D3+B5*E3+B6*F3+B7*D3*E3+B8*D3*F3+B9*F3*E3+B10*D3*D3+B11*E3*E3+B12*F3*F3
 K17=СУММ(K3:K16)/СУММ(J3:J16) G30=1-F.РАСП(G27;G24;\$G\$23;ИСТИНА)
 I18=I19+ДОВЕРИТ.СТЮДЕНТ(\$G\$28;СТАНДОТКЛОН.В(I3:I16);СЧЁТ(I3:I16))
 I20=I19-ДОВЕРИТ.СТЮДЕНТ(\$G\$28;СТАНДОТКЛОН.В(I3:I16);СЧЁТ(I3:I16))
 G23=СЧЁТ(D3:D16)-СЧЁТ(B3:B12) G31=КОРРЕЛ(H3:H16;G3:G16) G32=G31^2
 G27=G26*G23/(G25*G24) G29=F.ОБР.ПХ(G28/2;G24;G23)
 L20=0,4/(СЧЁТ(I3:I16))^0,5-ABS((СРЗНАЧ(J3:J16))/СТАНДОТКЛОН.В(I3:I16)-0,7979)
 L21=ЕСЛИ(L20>0;"Нормальн."; "Ні")

Далі у колонці K2: K16 подані різниці ϵ_i (залишки) даних між відповідними рядками колонок G і H та квадрати залишків $(\epsilon_i - \epsilon_{i-1})^2$. У колонку L4:L16, яка застосовується для розрахунку критерію Дабріна–Уотсона, заносяться різниці залишків, тобто різниці між даними попереднього і поточного рядка колонки K.

У нижній частині табл. 4 у рядки 17, 19, 21 і 22 колонок G, H і I відповідно заносяться максимальне, середнє і мінімальне значення та медіана, розраховані за статистичними функціями пакету аналізу MS Excel МАКС, СРЗНАЧ, МИН та МЕДИАНА. Таким чином колонки G і H відповідають двом першим колонкам табл. 4.

За наведеними вище умовами нульове значення залишків повинно знаходитися у довірчому інтервалі $\bar{d} \pm \Delta_{(x)}$. Для перевірки цієї умови у чарунках I16 і I20 розміщуються відповідно величини верхньої і нижньої довірчих меж, тобто довірчі

межі $\bar{d} \pm \Delta_{(x)}$ середнього арифметичного залишків \bar{d} , де $\Delta_{(x)}$ – величина відхилення, яка знаходиться за допомогою статистичної функції пакету аналізу MS Excel СРЗНАЧ і СТАНДОТКЛОН.В. Так як в довірчій межі нульове значення залишку не входить (табл. 6), відповідність різниці нулю не виконується.

У рядки з 23 по 32 колонки G заносяться ступінь вільності неадекватності моделі, визначена як $v_m = N - k - 1$, де k – кількість коефіцієнтів рівняння регресії (1) без вільного члена; ступінь вільності дослідів $v_d = k - 1$; дисперсія неадекватності моделі s_m^2 , розрахована за даними залишку, тобто ДИСП.В(Н3:Н16); дисперсія похибки дослідів s_d^2 , розрахована за експериментальними даними, визначається ДИСП.В(G3:G16);

розрахунковий критерій F_ϕ , який представляє собою вираз $F_\phi = \frac{s_d^2}{v_d} : \frac{v_m}{s_m^2}$, таблично розраховується як G26*G23/(G25*G24).

Прийнявши у чарунці G27 довірчий рівень значущості $\alpha = 0.05$, чарункою нижче за виразом F.ОБР.ПХ для α , v_d і v_m знаходимо F_T .

Отриманих результатів достатньо для оцінки адекватності, проте за аналогією з табл. 2 і табл. 3 знаходимо за 1-F.РАСП для F_ϕ , v_d і v_m .

У нижній чарунках таблиці функцією КОРРЕЛ визначено коефіцієнт кореляції Пірсона для вибірок експериментальних і розрахункових і показник детермінації, як квадрат цього значення.

У чарунку L17 занесене розрахункове значення критерію d_ϕ Дарбіна–Уотсона [6], який визначає автокореляцію залишків і розраховується за формулою

$$d_\phi = \frac{\sum_{i=2}^n (\varepsilon_i - \varepsilon_{i-1})^2}{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2} . \quad (2)$$

Нижче під цією чарункою містяться табличні значення меж довірчого інтервалу відсутності автокореляції залишків, тобто нижнє значення d_U і верхнє $4 - d_U$.

У нашому разі ця умова не виконується, тобто маємо наявну кореляцію.

Це може відбуватися через похибки у вихідних даних або у вимірі значень результативної ознаки, модель не включає фактор, який істотно впливає на результати дослідження чи не враховує другорядні чинники чи фазові коливання факторів.

Хоч за міжнародним стандартом ISO 3479–97 відповідність вибірки нормальному статистичному розподілу виконується за критерієм Шапіро–Уїлка, використовуємо спрощену перевірку виконання умови:

$$\left| \frac{|\Delta|}{s} - 0.7979 \right| - \frac{0.4}{\sqrt{N}} < 0, \quad (3)$$

де $|\Delta|$ – середнє абсолютне відхилення, яке визначається за виразом

$$|\Delta| = \frac{\sum_{i=1}^N |x_i - \bar{x}|}{N} . \quad (4)$$

Розрахунок за формулою (3) заноситься в чарунку L20, а в чарунку L21 – логічну функцію ЕСЛИ, яка видає оцінку нормальності розподілу залишків.

Працездатність математичної моделі визначається за умови $r^2 > 0.75$, де r – коефіцієнт кореляції Пірсона між експериментальним (G3:G16) і розрахунковим (H3:H16) значенням, який обчислюється в чарунці G31 за статистичною функцією Excel КОРРЕЛ. У чарунці G32 подається значення коефіцієнту детермінації $D=r^2$.

Більш докладно ці розрахунки наведені на полі табл. 6, де представлено зведена характеристика рівняння регресії з вилученим коефіцієнтом.

Запропонована розрахункова таблиця також може бути використана для оцінки двофакторної моделі та лінійних дво– і три факторних моделей. При цьому обов'язково прибирати вихідні дані і розрахункові формули з незадіяних рядків.

Для порівняння відповідності запропонованого розрахунку в табл. 7 викладено зведену характеристику рівняння регресії, отриманого за розрахунками значеннями повторень. Як видно, її дані повністю співпадають з результатами, наведеними у табл. 3.

Таблиця 7 – Зведена характеристика рівняння регресії з усіма знайденими коефіцієнтами

Максимум	688,00	687,90	0,40	Розрах. значення $d_{\Phi} = 2,725$	
Верхній довірчий інтервал			0,101	Нижня межа $d_U = 1,820$	
Середнє	611,29	611,29	0,000	Верхня межа $4-d_U = 2,180$	
Нижній довірчий інтервал			-0,101	Результат	-0,039
Мінімум	551,00	551,10	-0,100	нормальності	Hi
Медіана	606,00	605,95	0,000		
Ступінь вільності неадекватності	4				
Ступінь вільності дослідів	9				
Дисперсія неадекватності	0,031				
Дисперсія похибки дослідів	1867,451				
Розрахунковий критерій F_{Φ}	26974,29				
Довірчий рівень значущості α	0,050				
Табличний критерій F_{Φ}	8,905				
Розрахунковий рівень значущості	3,3593E-09				
Коефіцієнт кореляції Пірсона	0,99999176				
Показник детермінації	0,99998352				

Інтерпретація отриманих результатів не є темою даної роботи, тому не наводиться.

Висновки. На конкретних прикладах проілюстровано методи оцінки математичної моделі другого порядку з вилученням статистично неістотних складових, отриманої пакетом прикладних програм Statistica у результаті регресійного аналізу активного трифакторного експерименту.

Із застосуванням статистичних функцій табличного процесора Microsoft Excel виконана комплексна оцінка адекватності математичної моделі, відповідності їх нормальному розподілу, визначено її працездатність, відповідність нулю різниці (залишків) та їхня автокореляція.

Запропонована розрахункова таблиця дає змогу швидко з високою точністю визначити всі оціночні параметри отриманого рівняння регресії, які характеризують його придатність до використання у якості математичної моделі.

Вона також може бути використана для оцінки двофакторної моделі другого порядку та лінійних дво– і три факторних моделей.

Список літератури

1. Бахан Н. И. Планирование эксперимента при исследованиях по механизации и автоматизации сельского хозяйства (учебн. пособ. для сельхозвузов) / Н. И. Бахан, А. М. Дмитриев, И. С. Нагорский – Горки. – 1986. – 80 с.
2. Михайлов С. В. Передумови визначення процесу попередньої очистки зерна методом планування експерименту / С. В. Михайлов, В. С. Дудка, А. С. Сінніков, С. С. Бойко // Праці / таврійський державний агротехнологічний університет. – Вип. 10. Т. 4. – Мелітополь: ТДАТУ, 2010. – 186 с.

3. Кисельов О. В. Використання пакету програм Statist для аналізу результатів багатofакторного активного експерименту / О. В. Кисельов, Є. Є. Антонов, Р. О. Бакарджиев // Механізація, екологізація та конвертація біосировини у тваринництві: Зб. наук. праць. – Запоріжжя: – ІМТ НААН, 2011. – Вип. 1(7). – С. 243–253.
4. Боровиков В. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере: Для профессионалов / В. Боровиков. – [2-е изд.]. (+CD). – СПб.: Питер, 2003. – 688 с.: ил.
5. Бакарджиев Р. А. Обоснование конструктивных параметров и режимов работы пресс-брикетировщика для утилизации растительных материалов: дисс...канд. техн. наук: спец. 05.20.01 / Бакарджиев Роман Александрович / Мелитополь, 1997. – 168 с.
6. Елисеєва И. И. Эконометрика: учебник / И. И. Елисеєва, С. В. Курьшева, Т. В. Костеева и др.; под ред. И. И. Елисеєвой. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Финансы и статистика, 2007. – 576 с.: ил.

Roman Bakardzhyev

Tavria State Agrotechnical University

Andrew Komarov

Taras Shevchenko National University of Kyiv

Features of evaluation of results regression analysis

Abstract: In an example, evaluation of the results of regression analysis of active fullfactor experiment. With the use of MS Excel statistical functions illustrated assessment of the adequacy of the mathematical model of the second order of rejected statistically insignificant coefficients defined performance mathematical model according difference (residual) with zero and normal distribution and their autocorrelation.

These methods allow you to quickly accurately identify all evaluation parameters obtained regression equation, its suitability for use as a mathematical model.

regression analysis, mathematical model adequacy, normal statistical distribution

Одержано 12.03.15

УДК 629.7.07

О.В. Артеменко, доц., канд. техн. наук

Кировоградская летная академия Национального авиационного университета

Моделирование задачи выбора запасного аэродрома на базе искусственной нейронной сети

В статье рассмотрена задача выбора запасного аэродрома в процессе предполетной подготовки. Проанализированы факторы, влияющие на выбор запасного аэродрома, описана работа модуля автоматизированного выбора запасного аэродрома, а также представлена нейросетевая модель выбора запасного аэродрома

предполетная подготовка, запасной аэродром, нейросетевая модель выбора запасного аэродрома

О.В. Артеменко, доц., канд. техн. наук

Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету

Моделирование задачи выбора запасного аэродрома на базе штучной нейронной сети

В статті розглянута задача вибору запасного аеродрому в процесі передпольотної підготовки. Проаналізовані фактори, які впливають на вибір запасного аеродрому, описана робота модуля автоматизованого вибору запасного аеродрому, а також приведена нейросіткова модель вибору запасного аеродрому

передпольотна підготовка, запасний аеродром, нейросіткова модель вибору запасного аеродрому

© О.В. Артеменко, 2015

Постановка проблемы. На каждом аэродроме, который используется для международных полетов, персоналу, связанному с выполнением полетов, включая летный экипаж и службы, ответственные за предполетную информацию, предоставляется аэронавигационная информация, необходимая для обеспечения безопасности, регулярности и эффективности полетов, которая касается всех этапов маршрута, начиная с данного аэродрома. Предполетная информация включает в себя много вопросов таких, как информация о маршруте полета, об аэродроме назначения и запасном аэродроме (ЗА), о правилах загрузки воздушного судна (ВС), анализ минимумов для посадки на аэродром назначения и запасной, анализ метеорологической обстановки по маршруту полета и аэродромам, правила расчета топлива для различных видов и условий полета и др. [1].

Экипажу ВС (ЭВС) на предполетной подготовке необходимо выбрать запасные аэродромы, а затем, принимая решение на вылет, уточнить метеоусловия на них [1]. Варианты принятия решения на вылет с обеспечением возможности ухода на запасной аэродром с высоты принятия решения аэродрома назначения должны рассматриваться как основные и предусматриваться при разработке планов движения воздушных судов.

Выбор ЗА и принятие решения на вылет регламентируют следующие документы: Руководство по летной эксплуатации ВС и принятый в 2005 году Государственной авиационной службой Украины «Порядок принятия решения на вылет и прилет воздушных судов гражданской авиации Украины по правилам полета по приборам».

Цель предполетной подготовки – обеспечение ЭВС необходимой информацией, относящейся к данному полету. Для совершенствования предполетной подготовки в авиации разрабатываются и применяются автоматизированные системы подготовки предполетной информации (АС ППИ) [2]. В такую систему целесообразно ввести модуль автоматизированного выбора ЗА [3].

Анализ исследований и публикаций. В настоящее время в целях повышения безопасности полетов в состав автоматизированных систем управления воздушным движением (АС УВД) включаются интеллектуальные модули – СППР, в которых реализована информационная поддержка авиационного оператора (АО). Они содействуют оперативному принятию решения экипажем ВС. АС УВД с элементами информационной поддержки, используемые в авиации, представлены в работах [4-7]. Элементы СППР включены в состав многих АС УВД, однако в службах предполетного информационного обслуживания СППР не использовались.

В целях предполетного обслуживания и обеспечения полета эксплуатанты используют ряд программных продуктов. Наиболее известными поставщиками указанных программ являются фирмы Jeppesen, SITA, Sabre, Skyplan, Lido и ряд других. Некоторые авиакомпании используют программное обеспечение собственной разработки [1]. Использование таких программ позволяет осуществлять аэронавигационное и метеорологическое обеспечение полетов.

Однако автоматически сгенерированный компьютером оперативный план полета не всегда является рациональным для выполнения данного рейса. Компьютер обычно подбирает наиболее короткий подходящий маршрут, не учитывая множества других эксплуатационных факторов, влияющих на выполнение полета. Подбор компьютером не самой подходящей с экономической точки зрения высоты полета может привести к значительному перерасходу топлива, особенно на длинных рейсах [1].

Алгоритм выбора запасного аэродрома в программе планирования полета производится путем отбора из встроенной базы данных аэропортов при вводе пользователем дополнительных параметров выбора (например, удаления от аэропорта

назначения, данные по топливу). Данный недостаток таких систем затрудняет процесс выбора запасного аэродрома на этапе планирования полета, так как авиационному оператору затруднительно самостоятельно сделать объективный выбор наиболее подходящих запасных аэродромов по маршруту полета, тем более, в таких программах не производится анализ метеоусловий на запасных аэродромах.

Постановка задачи. Центральное место в системе предполетной подготовки занимает задача выбора ЗА по маршруту полета. Для решения данной задачи поставлены следующие цели:

1. Анализ факторов, влияющих на выбор ЗА.
2. Построение нейросетевой модели выбора ЗА.
3. Описание этапов работы модуля автоматизированного выбора ЗА.

1. Анализ факторов, влияющих на выбор ЗА

Являясь составными частями аэронавигационного обслуживания, служба аэронавигационной информации (САИ), авиационная метеорологическая служба (МЕТ) и другие службы аэропорта способствуют безопасности, регулярности и эффективности международной аэронавигации. Одно из основополагающих требований пользователей воздушного пространства состоит в получении наиболее новой аэронавигационной, метеорологической и другой информации до выполнения любого полета, т.е. каждому конкретному полету должна быть предоставлена эффективная предполетная подготовка и соответствующее обслуживание. С этой целью создаются различные службы аэропорта, работоспособность которых влияет на выбор аэродрома в качестве запасного.

На основании анализа работы служб, средств, информации и данных, которые влияют на выбор запасного аэродрома, а также на основании приказа № 295 о «Порядке принятия решения на вылет и прилет воздушных судов гражданской авиации Украины по правилам полета по приборам» была составлена таблица в виде декомпозиции факторов, влияющих на выбор запасного аэродрома (табл.1).

Таблица 1 – Декомпозиция факторов, влияющих на выбор запасного аэродрома

Факторы		Подфакторы
A	Фактические метеоусловия на аэродроме (не более 1 часа с момента наблюдения)	a_{11} – высота нижней границы облачности (ВНГО) a_{12} – дальность видимости на ВПП a_{13} – скорость и направление ветра a_{14} – атмосферное давление
B	Прогнозируемые метеоусловия на аэродроме (период, который начинается за 1 час до расчетного времени прибытия и заканчивается через 1 час после него)	b_{11} – опасные метеоявления (например, фронтальные грозы) b_{12} – прогнозируемые к моменту прилета на ЗА порывы ветра b_{13} – ВНГО (если их прогнозируемое количество более 3 баллов) b_{14} – ухудшение видимости и (или) понижение ВНГО, прогнозируемое ко времени прилета
C	Тип системы захода на посадку	c_{11} – категория I c_{12} – категория II и III c_{13} – неточная система захода на посадку c_{14} – заход на посадку с круга/визуальный заход
D	Удаление до запасного аэродрома (наличие топлива для полета на ЗА)	d_{11} – время полета меньше 6 часов и на аэродроме назначения имеется 2 независимые взлетно-посадочные полосы (ВПП) d_{12} – аэродром назначения является изолированным аэродромом

Продовження таблиці 1

Е	Светотехническое оборудование	e_{11} – ОМИ (огни малой интенсивности) e_{12} – ОВИ-1 (огни высокой интенсивности I категории) e_{13} – ОВИ-2 II категории e_{14} – ОВИ-3 III категории
Ф	Установленные минимумы	f_{11} – минимум ВС f_{12} – минимум КВС f_{13} – минимум аэродрома f_{14} – минимальные безопасные высоты пролета препятствий
Н	Радиотехнические средства обеспечения полетов	h_{11} – средства района подхода (ОРЛ, ДРЛ, ДПРМ) h_{12} – системы посадки (радиомаячные, ОСП и др.) h_{13} – посадочный радиолокатор и другие радиотехнические средства обеспечения полетов
І	Тактико-технические характеристики ВПП	i_{11} – длина ВПП i_{12} – ширина ВПП i_{13} – коэффициент ACN/PCN (оценка несущей способности аэродромного покрытия)

2. Построение нейросетевой модели выбора ЗА

Оценивание аэродромов по всем факторам будем осуществлять с помощью двухслойной прямонаправленной нейронной сети – двухслойного персептрона [8].

Входными параметрами модели являются факторы и подфакторы, которые влияют на выбор запасного аэродрома (табл. 1). Для каждого фактора и подфактора были разработаны критерии оценки их состояния.

Рассмотрим каждый слой нейросетевой модели.

Первый слой. Входными параметрами первого слоя модели являются исходы, анализирующие состояние подфакторов. В соответствии с каждым входным параметром ставится бинарный вектор, который отображает результат состояния исходов: соответствие (1) или несоответствие (0) требуемым условиям определенного подфактора.

Второй слой. Выходы первого слоя являются входными параметрами второго слоя и отображают состояние факторов. Бинарный вектор отображает оценку состояния фактора: удовлетворяют ли они требуемым условиям для возможности выбора аэродрома в качестве запасного: 1 – факторы соответствуют, 0 – факторы не соответствуют.

Каждому входному параметру ставится также бинарный вектор, который отображает соответствие (1) или несоответствие (0) определенного параметра условиям выбора запасного аэродрома.

Выходным параметром модели является оценка аэродромов относительно возможности быть выбранными в качестве запасных \bar{G} : g_1 – аэродром может быть запасным (1), g_2 – аэродром не может быть запасным (0), $\bar{G} = \{g_x\}$, $x = \bar{1}, 0$.

Входные параметры \bar{A} , \bar{B} , \bar{C} , \bar{D} , \bar{E} , \bar{F} , \bar{H} , \bar{I} и соответствующий им выход \bar{R} задаются также в соответствии с обучающей выборкой.

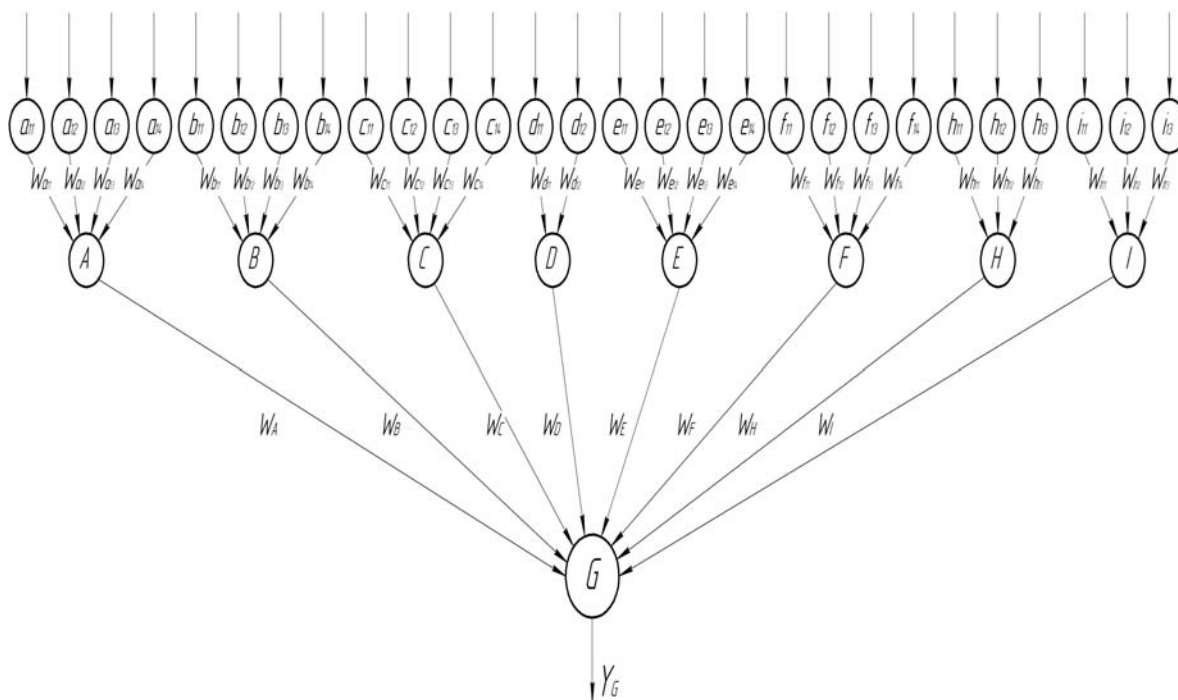


Рисунок 1 – Нейросетевая модель выбора ЗА

3. Описание этапов работы модуля автоматизированного выбора ЗА

Автоматизированный выбор запасного аэродрома будет реализовываться как информационная поддержка КВС. Чтобы добиться более точных и объективных результатов при выборе ЗА предлагается модель, реализуемая поэтапным подходом к методике выбора ЗА[9]. Рассмотрим поэтапную работу модуля.

Первый этап. Ввод полетного задания.

Он заключается во вводе пользователем полетного задания в расчетную систему, т.е. ввод аэродрома (АД) вылета и назначения.

Данные о выбранных аэродромах и сведения по выбранному маршруту поступают в модуль выбора ЗА из базы данных.

Второй этап. Определение потенциально возможных запасных аэродромов.

В блоке определения возможных ЗА на основе введенного полетного задания происходит определение маршрута и определение возможных запасных аэродромов. Сначала определяется расстояние от аэродрома вылета до аэродрома назначения L маршрута и в радиусе R равном половине маршрута с центром в аэродроме назначения определяются возможные запасные аэродромы. Далее происходит сортировка возможных запасных аэродромов в порядке возрастания расстояния от аэродрома назначения до них.

Третий этап. Первое оценивание аэродромов по факторам и отсеивание непригодных аэродромов.

Выбранные возможные аэродромы оцениваются по определенным наиболее значимым факторам. Оценивание аэродромов по всем факторам будем осуществлять с помощью трехслойной прямонаправленной нейронной сети – трехслойного персептрона (рис.1).

Четвертый этап. Второе оценивание аэродромов по факторам.

На четвертом этапе аэродромы, которые могут быть выбраны в качестве запасных, оцениваются с точки зрения экономичности. Здесь играют роль такие

факторы как аэронавигационные сборы по маршруту и на аэродроме, количество топлива, маршрут и другие факторы.

Выбранные пригодные аэродромы оцениваются по данным факторам и выбирается оптимальный запасной аэродром. Данные о выбранном запасном аэродроме поступают на интерфейс пользователя в качестве рекомендации.

Рассмотренная проблема выбора запасного аэродрома является актуальной не только в контексте предполетной подготовки. Нередко проблема выбора альтернативного аэродрома или другого места для вынужденной посадки возникает уже в полете. Такие ситуации, требующие вынужденной посадки, всегда связаны с дефицитом времени и высокой нервно-эмоциональной нагрузкой при принятии решения. Таким образом, просматриваются пути внедрения подобных модулей автоматизированного выбора запасного аэродрома в бортовых автоматизированных системах управления полетом для определения оптимального запасного аэродрома или пригодного места посадки в любой момент времени и в любой точке маршрута. Таким нововведениям способствуют и существующие и широко применяющиеся в авиации системы глобального позиционирования (GPS); набирающие обороты и все больше применяемые для целей авиации геоинформационные системы (ГИС); а также возможность получать необходимую информацию из баз данных аэропортов или непосредственно из самих аэропортов в режиме on-line.

Выводы: 1. На основе проведенных исследований, предложена модель выбора запасного аэродрома, реализуемая поэтапным подходом, которая позволяет расширить количество влияющих на выбор ЗА факторов, более объективно оценивать их состояние и выбирать наиболее пригодный аэродром.

2. Разработана нейросетевая модель выбора запасного аэродрома, позволяющая оперативно и объективно оценивать факторы, влияющие на выбор ЗА.

3. Предложенная модель сокращает время на выбор запасного аэродрома и минимизирует возможность принятия неправильного решения.

Список литературы

1. Лебедев С.Б. Основы теоретической подготовки диспетчеров по обеспечению полетов. – К.: Авиакомпания «Международные авиалинии Украины», 2005. – 796 с.
2. Артеменко О.В. Розробка автоматизованої системи підготовки передпольотної інформації / О.В. Артеменко, Ю.Б. Беляев, Т.Ф. Шмелева // Науково-практичний журнал «Науково-технічна інформація». – К.: 2010. - №3. – С. 41-44.
3. Шмелева Т.Ф. Выбор запасного аэродрома в условиях неопределенности / Т.Ф. Шмелева, О.В.Артеменко, В.В. Павлова // Наукові праці академії: випуск VII, частина I/ За ред. Р.М. Макарова. – Кіровоград: Видавництво ДЛАУ, 2003 – С. 234-240.
4. Неделько В.Н. Обеспечение эффективности информационной поддержки принятия решений в автоматизированных системах обслуживания воздушного движения с элементами искусственного интеллекта: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.13 / Неделько Виталий Николаевич. – К., 2002. – 183 с.
5. Глухих И.Н. Интегрированные автоматизированные системы интеллектуальной поддержки принятия решений при управлении воздушным движением (теория, модели, алгоритмы, принятие решений): автореф. дис. на соискание науч. степени доктора техн. наук: спец. 05.13.16 / И.Н. Глухих. – Самара, 2000. – 34 с.
6. Москвичев В.В. Информационная поддержка решений диспетчера для управления вынужденной посадкой воздушных судов вне аэродрома: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.13 / Москвичев Владислав Викторович. – К., 1998. – 178 с.
7. 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.
8. Круглов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика / В.В. Круглов, В.В. Борисов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2002. – 382 с.

Olga Artemenko

Kirovograd Flight Academy National Aviation University

Modeling the Problem of Choosing an Alternate Aerodrome Based on Artificial Neural Network

Preflight preparation of the aircraft crew is a basis of safe flight. One of the tasks to be solved during the preflight preparation includes the choice of alternate aerodromes and specification of weather conditions on them. In order to improve the preflight preparation, the aviation develops and implements computer-based systems of preflight information. It is rational to include the module of choosing an alternate aerodrome in such systems. Modern computer-based systems used for preflight planning choose an alternate aerodrome from Airport Data. However, such systems do not always allow to choose rational alternate aerodromes. In addition, they do not analyze weather conditions. So the problem of modeling the choice of an alternate aerodrome is urgent. In order to solve the set task the following was done: factors influencing the choice of an alternate aerodrome were analyzed, the model of choosing an alternate aerodrome based on an artificial neural network (that allows to estimate the aerodrome according to factors) was developed, and stages of operation of the module of the computer-based alternate airdrome choice were described.

The module operation consists of 4 stages and allows to more objectively estimate the condition of factors influencing the choice of an alternate aerodrome and choose the most suitable ones.

preflight preparation, alternate aerodrome, neural network model selection alternate aerodrome

Одержано 20.04.15

УДК 621.391.83

В.А. Бісюк, викл., О.К. Дідик, доц., канд. техн. наук, Л.В. Рibaкова, доц.

Кіровоградський національний технічний університет, kntubisuk@ukr.net

Автоматичне керування неперервно-послідовним індукційним наплавленням

Розглянуто технологічні особливості керування процесом неперервно-послідовного індукційного наплавлення зміцнюючі композиційних покриттів на деталі сільськогосподарської техніки.

Запропоновано схему апаратного забезпечення програмно-технічного комплексу для автоматичного керування неперервно-послідовним індукційним наплавленням.

неперервно-послідовне індукційне наплавлення, композиційне покриття, взаємозалежність технологічних параметрів, програмне керування

В.А. Бісюк, препод., О.К. Дідик, доц., канд. техн. наук, Л.В. Рibaкова, доц.

Кіровоградський національний технічний університет

Автоматичне керування неперервно-послідовним індукційним наплавленням

Рассмотрены технологические особенности управления процессом непрерывно-последовательной индукционной наплавки укрепляющих композиционных покрытий на детали сельскохозяйственной техники.

Предложена схема аппаратного обеспечения программно-технического комплекса для автоматического управления непрерывно-последовательной индукционной наплавкой.

непрерывно-последовательная индукционная наплавка, композиционное покрытие, взаимозависимость технологических параметров, программное управление

Постановка проблеми. Одним з головних напрямків розвитку машинобудування є розробка і впровадження засобів, які дозволять підвищити термін

експлуатації деталей машин. В сільськогосподарській техніці це питання дуже гостро стоїть для деталей ґрунтообробних машин (лемехи, наконечники плугів, польові дошки і т.д.), які підлягають інтенсивному тертю та швидко зношуються.

В сучасному машинобудуванні найбільш перспективним для підвищення експлуатаційної «довговічності» вважається метод виготовлення біметалічних деталей з наплавленим зносостійким покриттям [1].

Швидкозношувані робочі органи сільгоспмашин виготовляються, як правило, в масовому або великосерійному виробництві. Тому методи їх зміцнення повинні відповідати вимогам цього виду виробництва: бути високопродуктивними і економічно доцільними, забезпечувати задану товщину і зносостійкість наплавленого шару.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Найбільш широко для нанесення захисного зносостійкого шару на поверхню деталей використовують спосіб індукційного наплавлення (ІН). Він має високу продуктивність, але складний нелінійний характер протікання процесу ІН значно ускладнює його автоматизацію. Крім того серед конструкцій ґрунтообробних органів сільгосптехніки і робочих органів (РО) інших машин велику частку складають плоскі деталі, довжина (l) яких значно (в 3-10 разів) перевершує інші габаритні розміри. Товщина (h) таких довгомірних РО, як правило, задається параметрами товарного прокату конструкційних і легованих сталей (5-30 мм), а ширина (b) коливається в інтервалі 45-160 мм. До таких деталей через обмеження по потужності комерційних ВЧ-генераторів і з точки зору економії електроенергії переважно застосування одностороннього безперервно-послідовного способу індукційного наплавлення, при якому електромагнітне поле індуктора впливає тільки на ділянку поверхні деталі, що підлягає наплавленню [2]. При цьому враховуючи розміри і геометрію РО, умови тепловідведення від поверхні вглиб деталі по її ширині різні. Крім того, при напавленні довгомірних деталей в масовому виробництві виникають додаткові проблеми непостійності розмірів і різнотовщинності прокату, що також призводить до нерівномірного нагрівання поверхні, а в подальшому - до перегрівання шихти. Загальне погіршення якості зміцнюваного шару виникає внаслідок накладення цих факторів [1, 2].

Однак, існуючі на даний час установки для індукційного наплавлення переважно розраховані на сталий режим роботи, при якому нагрівання поверхні деталі відбувається з постійною напругою і частотою струму, які залежать від типу генератора струму високої частоти (ГСВЧ) [2]. Засоби для переміщення деталі в полі індуктора також працюють лише в сталому режимі і забезпечують постійну швидкість переміщення деталі в полі індуктора. Крім того в даний час на підприємствах, які виробляють сільськогосподарську техніку, технологічний процес зміцнення робочих органів ґрунтообробних машин в більшості випадків здійснюється вручну, при цьому оператор установки піддається шкідливому впливу, супутніх цьому процесу фізичних явищ таких як:

- вплив електромагнітного поля високочастотного генератора;
- інфрачервоне випромінювання;
- високий ступінь задимленості;
- насиченість повітря дрібнодисперсною пиловою фракцією.

Постановка завдання. Мета роботи – запропонувати програмно-технічний комплекс для автоматичного керування неперервно-послідовним індукційним наплавленням з можливістю програмно керувати режимами роботи установки, що дозволить виконувати якісне наплавлення деталей будь-якої довжини із змінною товщиною, складом та конфігурацією покриття, а також звільнить оператора установки

від необхідності знаходитись безпосередньо в зоні впливу потужних електромагнітних полів.

Поставлена мета реалізується шляхом вирішення наступних задач: аналіз процесу неперервно-послідовного індукційного наплавлення, як об'єкту досліджень, розробка функціональної схеми та алгоритму роботи програмно-технічного комплексу для автоматичного керування неперервно-послідовним індукційним наплавленням.

Виклад основного матеріалу. Головною причиною появи в наплавленому покритті найменш зносостійкої доєвтектичної зони є розчинення основного металу в рідкій ванні твердого сплаву. Це відбувається при температурах, близьких до солідусу основного металу, тобто при перегріванні вище точки плавлення основи деталі і характерно для наплавлення з високими швидкостями нагрівання. Перегрівання при напавленні в залежності від типу застосовуваного твердого сплаву різним чином впливає на структуру наплавленого шару. У загальному випадку допустимою вважається така структура, коли найменш зносостійка доєвтектична зона не перевищує 1/3 товщини шару.

При напавленні на форсованих режимах псевдосплавів утворюється структура, відповідна стадії неповного сплавлення. Основу наплавленого шару складають гострокутні нерозплавлені частинки ферохрому, рівномірно розташовані в карбідній евтектиці. Ці частинки в деяких випадках служать осередками зародження тріщин в умовах ударно-абразивного зношування.

Перегрівання при напавленні може призвести до проникненню наплавленого твердого сплаву між зернами в основний метал, а також до значного зростання зерна основного металу. Це призводить до необоротного збільшення крихкості наплавленої ділянки. Ударна в'язкість знижується в 10-15 разів і не відновлюється наступною термічною обробкою (нормалізацією). Тому критерієм неприпустимих структурних змін є наявність IV стадії сплавлення і зростання доєвтектичної зони, що перевищує 1/3 загальної товщини наплавленого шару.

Швидкість нагрівання наплавляємої поверхні залежить від її температури. Поки деталь Феромагнітна (до точки Кюрі) максимальна швидкість нагрівання лежить в межах 200-230 С°/с. Після втрати металом феромагнітних властивостей швидкість нагрівання падає до 20-30 С°/с. Враховуючи ці зміни процес наплавлення можна розбити на три стадії:

I – нагрівання системи шихта - метал до температури електромагнітних перетворень;

II – нагрівання системи шихта - метал до температури плавлення шихти;

III – нагрівання системи шихта - розплав до повного розплавлення шихти.

При цьому температура наплавлюваної поверхні ($T_{н.п.}$) не повинна перевищувати величину $T_{н.п. м.с.} + (60-80) \text{ С}^0$, де ($T_{н.п. м.с.}$ - Температура плавлення твердого сплаву).

В роботі [3] визначено вираз для розрахунку питомої потужності теплових джерел при індукційному напавленні.

В роботах [4, 5] було досліджено взаємозалежність параметрів процесу індукційного наплавлення, а також було визначено, що в якості факторів, які впливають на протікання процесу використовують потужність нагрівання і частоту струму на індукторі. При неперервно-послідовному індукційному напавленні додається швидкість переміщення деталі в полі індуктора.

При цьому швидкість руху деталі в полі індуктора визначають виходячи з наявної потужності і граничної інтенсивності нагрівання.

Подача і переміщення деталей в полі індуктора у виробничих умовах забезпечується переважно пристроями конвеєрного типу з електродвигунами. Їх

використання залежить від конструктивних особливостей конкретного обладнання, а також від способів взаємодії з іншим виробничим обладнанням.

Враховуючі вказані фактори було вдосконалено (рис. 1) апаратне забезпечення АСК індукційним наплавленням з роботи [4] до якого входять:

- комп'ютер на якому знаходиться програмне забезпечення для загального керування АСК;
- блок керування на базі мікроконтролеру ATMEGA32A-PU;
- блок керування генератором струму високої частоти (ГСВЧ);
- частотний перетворювач;
- індуктор;
- електродвигун (ЕД);
- транспортер конвеєрного типу (ТК);
- безконтактні датчики температури (лазерні або інфрачервоні).

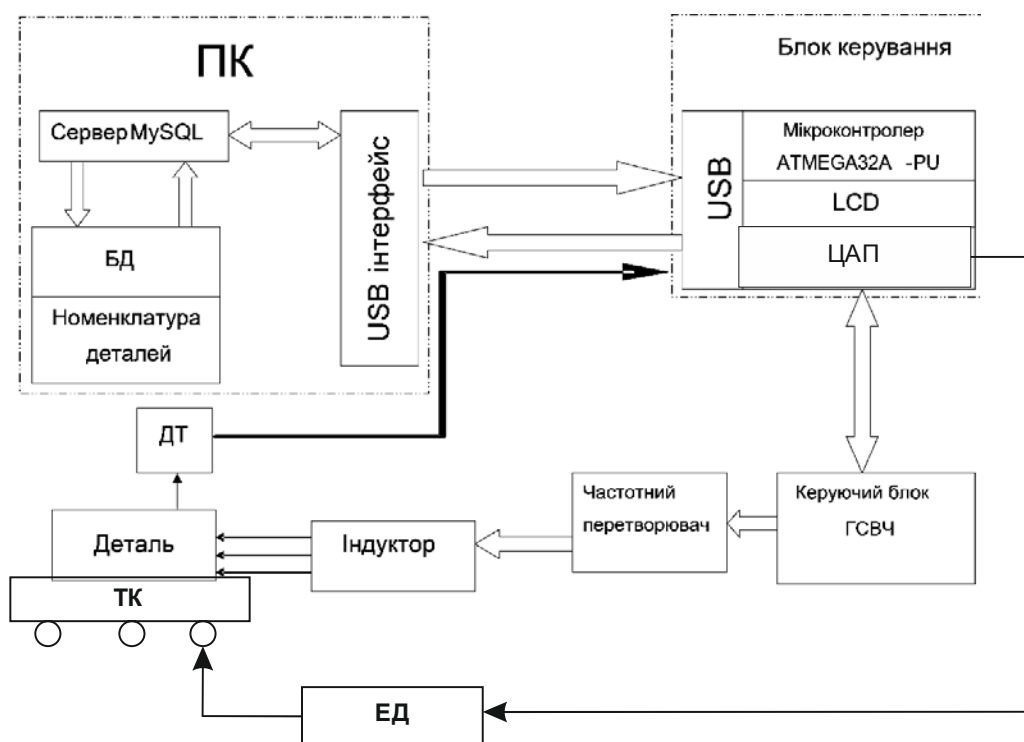


Рисунок 1 – Схема апаратного забезпечення програмно-технічного комплексу для автоматичного керування неперервно-послідовним індукційним наплавленням

Обмін даними та керуючими сигналами між мікроконтролером, регуляторами та датчиками температури відбувається через цифро-аналогові перетворювачі та USB-інтерфейс.

Завантаження початкових та робочих параметрів процесу відбувається відповідно до номенклатури деталі та шихти з бази даних, яка розміщена на керуючому комп'ютері. Задається початкова частота і напруга струму на індукторі, а також швидкість руху транспортера.

При надходженні деталі в область наплавлення починається процес наплавлення заданої ділянки, датчики температури передають вимірювані значення до мікроконтролеру, який виконує керування поточними технологічними параметрами процесу наплавлення, при недостатньому нагріванні може бути прийняте рішення про необхідність додаткового наплавлення, при цьому робочий цикл буде повторено з

більш високою напругою або з меншою швидкістю переміщення деталі в полі індуктора.

При виникненні програмної помилки чи збою апаратного забезпечення під час діагностичної перевірки системи на екран МКП виводиться повідомлення "ERR", а на екран ПК код помилки, оператор повинен прийняти рішення про зупинку процесу, перезапуск чи виправлення помилки.

Висновки. Програмне керування швидкістю переміщення деталі в полі індуктора дозволить задавати оптимальний режим нагрівання, поверхня деталі буде прогріватися поступово без великих перепадів температури на межах оброблюємої ділянки і відповідно без значних термічних деформацій, контроль за температурою наплавленого покриття дозволить при необхідності продовжити або зменшити тривалість наплавлення, що забезпечить постійну оптимальну якість покриття і допоможе запобігти надлишку енерговитрат.

Список літератури

1. Ткачѳв В.Н. Индукционная наплавка / В.Н. Ткачѳв, Б.М. Фиштейн, Н.В. Казинцев, Д.А. Алдырев. – М.: Машиностроение, 1970.
2. Боль А.А. Повышение качества индукционной наплавки путем оптимизации и автоматизации нагрева / А.А. Боль, В.П. Тимошенко, В.Н. Коваль. – Изв. СО АН СССР. сер. Тех-нических наук, вып. 1. – 1989. – С. 85-90.
3. Тимошенко В.П. Инновационная технология индукционной наплавки рабочих органов почвообрабатывающих машин на примере полевой доски пропашных плугов / В.П. Тимошенко, В.В. Иванайский, А.А. Русаков // Ползуновский альманах. – 2011. – № 4. – С. 51-55
4. Аулін В.В. /Керування та моніторинг процесів приготування композиційних матеріалів та нанесення композиційних покриттів на деталі машин / В.В. Аулін, Л.Г. Віхрова, В.А. Бісюк, В.М. Бобрицький //Вісник Харківського нац. техн. університету сільск. Господарства / Вип. 37. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. Том 2. – Харків. – 2005.- С.174-178.
5. Бісюк В.А. / Програмне та апаратне забезпечення для автоматизації процесів керування індукційним наплавленням композиційних покриттів / В.А. Бісюк, М.С. Мірошніченко, Л.В. Рибаківа // Збірник наукових праць "Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація". – Кіровоград: КНТУ, 2014. – Вип. 27. – С. 275-283.

Viktor Bisuk, Oleksandr Didyk, Ludmyla Rybakova

Kirovograd National Technical University

Automaticity keruvannya neperervno-poslidovnim induktsiynim weld

One of the main directions of engineering is the development and implementation of tools that will improve the life of machine parts. In the agricultural machinery is very acute issue for parts tillage machines (Lemekh, tips plows, field boards, etc.) that are subject to intense friction and wear out quickly.

In most modern engineering perspective to improve operational "longevity" is a method of manufacturing bimetallic weld parts with wear resistant coatings.

Wear agricultural working bodies are made, usually in large or high volume production. Therefore, methods to strengthen them must meet the requirements of the production: to be highly productive and economically feasible, to provide a specified thickness and durability deposited layer.

Software control speed moving parts in the field of the inductor will set the optimal mode of heating surface details will warm up gradually without major changes in temperature within obroblyayemoyi areas and therefore without significant thermal deformation temperature control of the deposited coating will if necessary extend or reduce the length of surfacing that will provide constant and optimal quality coating helps prevent excess energy consumption.

induction welding, composite coating, process parameters interdependence, software

Одержано 24.04.15

УДК 651.92:001.817

Р.О. Бакарджієв, доц., канд. техн. наук*Таврійський агротехнологічний університет, zcmt.nncimesg@gmail.com***А.О. Комаров***Київський національний університет ім. Т. Шевченка*

Попередня оцінка і обробка даних при регресійному аналізі

Представлено методи попередньої оцінки і обробки даних активного експерименту з застосуванням статистичних функцій Excel і пакетом прикладних програм Statistica при проведенні регресійного аналізу.

На конкретних прикладах проілюстровано перевірку вибірки на нормальність статистичного розподілу, оцінку сумнівних результатів за критерієм Стюдента, перевірку відтворюваності результатів за критерієм Кохрена. Аналіз виконувався без залучення довідкових таблиць зі значеннями розподілів оціночних критеріїв, визначені кореляційні відношення залежних і незалежних ознак.

Наведені способи дають змогу швидко з високою точністю оцінити вибірку з будь-якою кількістю факторів на придатність для регресійного аналізу.

регресійний аналіз, нормальність статистичного розподілу, критерій Стюдента, критерій Кохрена, кореляційне відношення

Р.А. Бакарджієв, доц., канд. техн. наук*Таврический агротехнологический университет;***А.А. Комаров***Киевский национальный университет им. Т. Шевченко***Предварительная оценка и обработка данных при регрессионном анализе**

Представлены методы предварительной оценки и обработки данных активного эксперимента с применением статистических функций Excel и пакетом прикладных программ Statistica при проведении регрессионного анализа.

На конкретных примерах приводится проверка выборки на нормальность статистического распределения, оценка сомнительных результатов по критерию Стюдента, проверка воспроизводимости результатов по критерию Кохрена. Анализ выполняется без использования справочных таблиц со значениями распределений оценочных критериев, определены взаимные корреляционные отношения зависимых и независимых признаков.

Приведенные способы позволяют быстро с высокой точностью оценить выборку с любым количеством факторов на пригодность для регрессионного анализа.

регрессионный анализ, нормальность статистического распределения, критерий Стюдента, критерий Кохрена, корреляционное отношение

Постановка проблеми. Регресійний аналіз – статистичний метод дослідження впливу на залежну змінну однієї або декількох незалежних змінних. Його метою є пошук таких комбінацій незалежних ознак регресійної експериментально-статистичної моделі, які з найбільшою статистичною достовірністю прогнозують значення залежної ознаки [1].

Умовами застосування методу регресійного аналізу є:

– між кожною з незалежних ознак x і залежною y повинні бути причинно–наслідкові залежності;

– число об'єктів дослідження має бути у кілька разів більше числа прогностичних (пояснюючих) ознак, тобто обсяг вибірки повинен в 3–5 разів перевищувати кількість факторів.

- усі аналізовані ознаки, як незалежні, так і залежна, повинні бути кількісними;
- повторення залежних ознак повинні мати нормальний розподіл з рівними дисперсіями;
- взаємозв'язки між кожною з незалежних ознак x і залежною y в інтервалі досліджуваних значень описується функцією одного показника;
- кожне значення y незалежне від іншого для кожного значення x_i ;
- необхідна відсутність взаємної кореляції незалежних ознак. Якщо будь-які з незалежних ознак сильно або середньо корельовані між собою, то необхідно залишити для регресійного аналізу ті з них, які мають більш сильну кореляцію із залежною ознакою [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одні з цих вимог забезпечуються організацією експерименту [1], виконання інших, зокрема, оцінка отриманої функції відгуку, аналізується програмами статистичної обробки [3], проте виконання деяких з них повинно перевірятися перед статистичною обробкою даних самим експериментатором [2].

Проте, як показує аналіз наукових робіт останніх років, попередня оцінка даних перед регресійним аналізом у кращому разі обмежується лише виявленням недостовірних даних.

Постановка завдання. Метою статті є представлення методів проведення попередньої оцінки і обробки отриманого масиву експериментальних даних при регресійному аналізі активного експерименту. Обробка виконується з використанням пакету прикладних програм Statistica і статистичних функцій табличного процесора Microsoft Excel, що виключає застосування довідкових таблиць з показниками розподілів, чим суттєво підвищує швидкість і точність розрахунків.

Виклад основного матеріалу. Для ілюстрації процесів перевірок вимог до застосування методу регресійного аналізу нами взятий приклад залежності щільності ρ (кг/м³) паливних брикетів від довжини часток соломи l (мм), умісту d (%) зв'язуючої речовини і кута α (град) конусності матриці (табл. 1), отриманої за трирівневою матрицею повнофакторного плану другого порядку для трьох факторів [4]. Дослідження виконані з трикратною повторністю — мінімальною кількістю, яка забезпечує 95 % надійність досліду [5].

Таблиця 1 – Результати досліджень щільності паливних брикетів з соломи

№ п.п.	Фактори			Щільність брикету ρ , кг/м ³			Середнє Y_{cp}
	Довжина часток l , мм	Уміст зв'язуючого d , %	Конусність матриці α , град	Повторності			
				Y_1	Y_2	Y_3	
1	20	0.0	2	596.5	788.9	672.6	686
2	40	0.0	2	740.5	489.4	576.1	602
3	20	9.0	2	516.4	768.6	605.0	630
4	40	9.0	2	683.2	444.4	525.4	551
5	20	0.0	6	559.3	846.2	658.4	688
6	40	0.0	6	734.5	501.7	584.9	607
7	20	9.0	6	510.5	784.9	603.6	633
8	40	9.0	6	674.0	460.3	536.7	557
9	20	4.5	4	527.0	784.5	617.5	643
10	40	4.5	4	692.5	457.7	538.8	563
11	30	0.0	4	501.6	771.3	593.1	622
12	30	9.0	4	718.2	452.4	539.4	570
13	30	4.5	2	473.2	763.3	566.5	601
14	30	4.5	6	774.4	472.7	567.9	605

Перевірка вибірки на нормальність розподілу виконується згідно міжнародного стандарту ISO 3479–97 за критерієм Шапіро–Уїлка. Її краще здійснювати побудовою гістограм пакетом прикладних програм Statistica.

Результати оцінки подані в табл. 2.

З неї бачимо, що для всіх повторень виконується умова $p > a$, де a – прийнятий рівень статистичної значущості, $a = 0.05$. Таким чином всі повторення мають нормальний статистичний розподіл, тому для їх оцінок можуть бути застосовані параметричні критерії Фішера, Стьюдента, Кохрена та інші.

Повторність	Критерій Шапіро-Уїлка W	Рівень значущості p
Y_1	0.89884	0.1085
Y_2	0.86169	0.07467
Y_3	0.93937	0.41033

Розглянемо оцінку сумнівних і виключення помилкових значень (промахів) для такої повторності, коли у вибірці є тільки одне аномальне значення із трьох.

Найбільш уживаним для цього є критерій Стьюдента [5], значення якого табульовані для вибірок обсягом від двох до ∞ . Так як одні автори рекомендують проводити обчислення за всією вибіркою, інші – з виключенням сумнівних результатів, з огляду на лише трикратне повторення, слід проводити обчислення за всією вибіркою. У першу чергу сумнівними є мінімальні і максимальні значення, які знаходяться відповідними статистичними функціями MS Excel МИН і МАКС. При розрахунках за формулою (1) для них знаходять t_{ϕ} – фактичні значення критерію Стьюдента (колонки F і H), які порівнюється з $t_{a(n)_T}$ – з його табличними критичними значеннями (чарунка E17), знайденим за статистичною функцією Excel СТЬЮДЕНТ.ОБР.2X при відповідному рівні значущості a і ступенях вільності $n = n - 1$.

$$t_{\phi} = \frac{x_i - \bar{x}}{s} \tag{1}$$

де \bar{x} – середнє арифметичне значення, яке отримується за допомогою статистичної функції MS Excel СРЗНАЧ;

s – вибірковий середній квадратичний відхил, який визначається функцією СТАНДОТКЛОН.В.

№ п.п.	Y_1	Y_2	Y_3	s	$t_{(max)}$	$t_{(min)}$	
1							
2	1	596.5	788.9	672.6	96.89	0.924	1.062
3	2	740.5	489.4	576.1	127.50	0.883	1.086
4	3	516.4	768.6	605.0	127.95	0.888	1.083
5	4	683.2	444.4	525.4	121.48	0.878	1.089
6	5	559.3	846.2	658.4	145.72	0.883	1.086
7	6	734.5	501.7	584.9	117.97	0.893	1.080
8	7	510.5	784.9	603.6	139.56	0.878	1.089
9	8	674.0	460.3	536.7	108.26	0.893	1.080
10	9	527.0	784.5	617.5	130.59	0.888	1.083
11	10	692.5	457.7	538.8	119.24	0.883	1.086
12	11	501.6	771.3	593.1	137.14	0.878	1.089
13	12	718.2	452.4	539.4	135.52	0.868	1.094
14	13	473.2	763.3	566.5	148.07	0.863	1.096
15	14	774.4	472.7	567.9	154.25	0.858	1.098
16		Рівень значущості α			0.05		
17		Табличне значення t_{τ}			4.3027		

E2=СТАНДОТКЛОН.В(B2:D2)
 F2=(СРЗНАЧ(B2:D2)-МИН(B2:D2))/E2
 G2=(СРЗНАЧ(B2:D2)-МАКС(B2:D2))/E2
 E17=СТЬЮДЕНТ.ОБР.2X(E16;СЧЁТ(B2:D2)-1)

Дані, для яких виконується умова $t_{\phi} > t_{a(n)_T}$, виключаються із розгляду.

Застосування цього методу розглянуто у табл. 3. За її результатами всі мінімальні і максимальні значення повторень є достовірними з прийнятим рівнем значущості.

Перевірка належності всіх вибірок до однієї генеральної сукупності здійснюється оцінкою статистичної значущості різниці між парами середніх арифметичних вибірок з використанням критерію Стьюдента чи за порівнянням їхніх довірчих інтервалів. На наш погляд доцільно використовувати останній спосіб, здійснюючи побудову блокових діаграм з графічним указанням середнього, його похибки і довірчого інтервалу для середнього арифметичного, яке виконується у ППП Statistica (рис. 1).

З аналізу рис. 1 бачимо, що всі три вибірки мають загальний довірчий інтервал середнього, який знаходиться у межах від A до B , що свідчить про їх належність до однієї генеральної сукупності.

Для перевірки гіпотези про однорідність (належність до однієї генеральної сукупності) дисперсій всіх вибірок використовується критерій Кохрена G (G -критерій).

Цей критерій використовується при активному експерименті з однаковою повторністю (більше двох) n . Він залежить від числа дослідів n та кількості варіантів (повторення) дослідів k і представляє собою перевірку однорідності дисперсій обчисленням частки від ділення максимальної дисперсії s_{\max}^2

$$G = \frac{\sum_i^k s_i^2}{s_{\max}^2} \quad (2)$$

Отримана частка порівнюється із критичним (табличним) значенням $G_{a(k,n)_T}$. Хоч значень функції розподілу Кохрена немає ні в MS Excel, ні пакеті прикладних програм Statistica, проте їх можна апроксимувати F -розподілом Фішера [3].

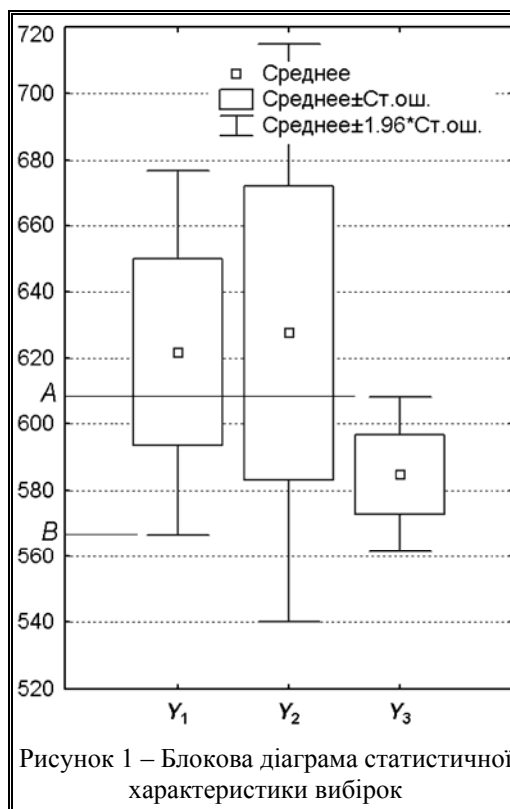


Рисунок 1 – Блокова діаграма статистичної характеристики вибірок

	A	B	C	D
1	Y1	Y2	Y3	s ²
2	596.5	788.9	672.6	6258.30
3	740.5	489.4	576.1	10837.77
4	516.4	768.6	605.0	10913.69
5	D2=ДИСПР(A2:C2)			57
6				46
7	D15=ДИСПР(A15:C15)			38
8	D16=СЧЁТ(A15:C15)-1			83
9	D17=СЧЁТ(C2:C15)			32
10	D19=МАКС(D2:D15)/СУММ(D2:D15)			75
11	D20=Ф.ОБР.ПХ(D18/D17;D16;(D17-1)*(D16))			33
12	D21=D20/(D20+D17-1)			46
13	501.6	711.3	593.1	12537.46
14	718.2	452.4	539.4	12244.23
15	473.2	763.3	566.5	14615.76
16	774.4	472.7	567.9	15861.46
16	Вільність повторності дослідів v			2
17	Повторення дослідів k			14
18	Рівень значущості α			0.05
19	Розрахунковий критерій Кохрена G			0.1003
20	Критерій Фішера F			7.0533
21	Критичний критерій Кохрена G_T			0.3517

У нашому разі це виконується з використанням статистичної функції Excel F.ОБР.ПХ.

$$G_{(k,v)_T} = \frac{F_{\alpha/k,v,(k-1)v}}{F_{\alpha/k,v,(k-1)v} + k - 1} \quad (3)$$

Якщо $G < G_{a(k,n)_T}$, то нульова гіпотеза підтверджується — всі вибіркові дисперсії є оцінками однієї генеральної сукупності, тобто однорідні.

Якщо $G \geq G_{a(k,n)_T}$, тобто перевірка на відтворюваність дала негативний результат, то на місці грубого промаху виконується додатковий замір, а при неможливості його виконання ставиться середня арифметична повторення рядка.

Процес розрахунків ясно з формул, наведених на полі табл. 4 і додаткового пояснення не потребує.

Так як $k=14$ і $n=3$ маємо $G < G_{05(14, 2)_T}$, тобто $0,1003 < 0,3517$, усі вибіркові дисперсії на 0.05 рівні значущості є оцінками однієї генеральної сукупності, тобто однорідні.

Визначення коефіцієнту r лінійної кореляції Пірсона у разі отримання лінійних

регресійних рівнянь краще виконувати за допомогою ППП Statistica, який видає більш інформативні результати порівняно з програмою Excel. Але ми аналізуємо вихідні дані рівняння функції відгуку другого порядку, тому необхідно отримати кореляційне відношення h , яке характеризує криволінійну кореляцію, тобто тісноту зв'язку результуючою ознаки з фактором і змінюється від 0 до 1.

Найбільш просто це зробити виконавши дисперсійний аналіз вихідних даних за допомогою інструментів Excel чи Statistica. Далі використовуючи таблицю його результатів (чарунки A1:F5 табл. 5) за формулами (4), наведених на її полі, визначається індекс детермінації фактора h^2 , а потім кореляційне відношення h .

$$\eta_{\phi, n}^2 = \frac{SS_{\phi, n}}{SS_p} \quad \text{і} \quad \eta_{\phi, n} = \sqrt{\frac{SS_{\phi, n}}{SS_p}}, \quad (4)$$

де $SS_{\phi, n}$ – сума квадратів відповідного фактора чи їх поєднання;

SS_p – загальна сума квадратів.

Результати розрахунку за формулами (4) подано в табл. 5.

З неї бачимо сильне кореляційне відношення між залежним фактором – щільністю брикетів і довжиною часток та помітне (за шкалою Чеддока) з умістом зв'язуючої речовини. Між щільністю брикетів і конусністю матриці наявне слабе кореляційне відношення. Про істотність кореляційного відношення свідчить не його величина, а рівень значущості [6]. Для всіх названих кореляцій за значеннями поданими в колонці F табл. 5 він є статистично значущим на прийнятому рівні α .

Таблиця 5 – Визначення кореляційного відношення досліджуваних факторів

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Джерело варіювання	Сума квадратів SS	Число ступенів вільності df	Середній квадрат MS	Критерій Фішера F_{ϕ}	Рівень значущості p	Індекс детермінації η^2	Кореляційне відношення η
2	Вільний член	5102389	1	5102389	1995347	0.000000		
3	Довжина частки l , мм	16333	2	8166	3194	0.000000	0.688	0.829
4	Уміст зв'язуючого δ , %	7022	2	3511	1373	0.000000	0.296	0.544
5	Конусність матриці α , град	373	2	186	73	0.000021	0.016	0.125
6	Похибка	18	7	3	G3=B3/СУММ(B\$3:B\$5)		H3=G3^0.5	

Між незалежними факторами – довжиною часток соломи, умістом зв'язуючої речовини та конусністю матриці брикетного пресу кореляційні відношення відсутні, що забезпечується самою організацією плану активного експерименту.

Висновки. Наведені способи попередньої оцінки і обробки отриманих експериментальних даних при регресійному аналізі, які ґрунтуються на використанні Microsoft Excel і пакету прикладних програм Statistica, дають змогу без залучення довідкових таблиць показників розподілу оціночних критеріїв визначити і оцінити всі необхідні характеристики вибірки, і, відповідно, її придатність для регресійного аналізу.

Незначна модифікація наведених таблиць дає змогу легко отримувати високоточні результати при використанні матриць планування для будь якої кількості факторів.

Список літератури

1. Саутин С. Н. Планирование эксперимента в химии и химической технологии / С. Н. Саутин. – Л. Химия, Ленингр. отд., 1975. – 48 с.
2. Любченко Е. А. Планирование эксперимента: учебное пособие. Часть 1 / Е. А. Любченко, О. А. Чуднова. Владивосток: Изд-во ТГЭУ, 2010. -156 с.
3. Лапач С. М. Статистичні методи в медико-біологічних дослідженнях із застосуванням Excel / С. М. Лапач, А. В. Губенко, П. М. Бабіч – 2-е вод., перероб. і доп. – К.: МОПІОН, 2001. – 408 с.

4. Бакарджиев Р. А. Обоснование конструктивных параметров и режимов работы пресс-брикетировщика для утилизации растительных материалов: дисс...канд. техн. наук: спец. 05.20.01 / Бакарджиев Роман Александрович / Мелитополь, 1997. – 168 с.
5. Веденяпин Г. В. Общая методика экспериментальных исследований и обработки опытных данных / Г. В. Веденяпин – М.: Колос, 1973. – 199 с.
6. Подання результатів математичної та статистичної обробки даних медичних та біологічних досліджень у дисертаційних роботах / [Сердюк А. М., Антомонов М. Ю., Бардов В. Г., Прилуцький О. С.] // Бюлет. Вищої атестац. комісії України. – 2010. – № 6. – С. 31–33.

Roman Bakardzhyev

Tavria State Agrotechnical University

Andrew Komarov

Taras Shevchenko National University of Kyiv

Preliminary assessment and data processing in regression analysis

Methods of preliminary assessment and data processing during the regression analysis of the active experiment with application of Excel statistical functions and Statistica software package are represented.

Sampling test for the statistical distribution normality, evaluation of equivocal results by the Student's t-test and checking the results reproducibility by Cochran's test are performed without using of the reference evaluation criteria distribution tables, mutual correlation ratio of dependent and independent features are determined and given by specific examples.

These methods allow to assess the sampling with any number of factors by the regression analysis suitability fast and highly accurately.

regression analysis, statistical distribution normality, Student's t-test, Cochran's test, correlation ratio

Одержано 12.03.15

УДК 681.513.5

Б.М. Гончаренко, проф., д-р техн. наук, О.П. Лобок, доц., канд. фіз.-мат. наук

Національний університет харчових технологій, ladanyuk@nut.edu.ua

Л.Г. Віхрова, проф., канд. техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет

Робастне керування нелінійними об'єктами з запізнюванням

В роботі шукається робастне керування у вигляді зворотного зв'язку від стану нелінійної динамічної системи, що функціонує в умовах параметричної невизначеності та наявності запізнювання. Проблема нелінійності об'єкта керування при наявності запізнювання впливає на характер керованих динамічних процесів і суттєво впливає на вигляд та складність шуканих керувань. Тому важливо, що наведена схема формування керувальної дії дозволяє з заданою точністю не тільки відслідковувати заданий еталонний сигнал, але і враховувати ефект запізнювання, наявність нелінійності в умовах апріорної невизначеності та дії зовнішніх збурень.

Пропонується структура робастної системи керування нелінійним динамічним об'єктом з запізненням за станом, яка дозволяє компенсувати параметричну невизначеність і зовнішні обмежені збурення з заданою точністю. Для цього запропоновано алгоритм формування сигналу, за допомогою якого проводиться оцінка збурень і формується керування, що забезпечує необхідну динамічну точність.

робастне керування, нелінійний динамічний об'єкт, запізнювання, параметрична невизначеність, зовнішні збурення, еталонна модель

© Б.М. Гончаренко, О.П. Лобок, Л.Г. Віхрова, 2015

Б.Н. Гончаренко, проф., д-р техн. наук, А.П. Лобок, доц., канд. физ.-мат. наук

Национальный университет пищевых технологий

Л.Г. Віхрова, проф., канд. техн. наук

Кировоградский национальный технический университет

Робастное управление нелинейными объектами с запаздыванием

Робастное управление ищется в виде обратной связи от состояния нелинейной динамической системы в условиях неопределенности и наличия запаздывания. Проблема нелинейности объекта управления при наличии запаздывания влияет на характер управляемых динамических процессов и существенно влияет на вид и сложность искомого управления. Поэтому важно, что приведенная схема формирования управляющего воздействия позволяет с заданной точностью δ не только отслеживать заданный эталонный сигнал, но и учитывать эффект запаздывания, наличие нелинейности в условиях априорной неопределенности и действия внешних возмущений.

Предлагается структура робастной системы управления нелинейным динамическим объектом с запаздыванием по состоянию, что позволяет компенсировать параметрическую неопределенность и внешние ограниченные возмущения с точностью до δ . Для этого предложен алгоритм формирования сигнала, с помощью которого получается оценка возмущений и формируется управление, обеспечивающие необходимую динамическую точность.

робастное управление, нелинейный динамический объект, запаздывание, параметрическая неопределенность, внешние возмущения, динамическая точность

Вступ. При пошуку алгоритмів автоматичного керування сучасними об'єктами задачу часто ускладнює невизначеність об'єкта керування, незнання діючих збурень, а також урахування запізнювання [1, 2] та нелінійностей в об'єктах [3]. Застосування робастного керування дозволяє досягнути стійкості перехідного процесу керування в об'єкті попри невизначеність, нелінійність або й запізнювання. Лише треба забезпечити умову робастності. Коли ідентифікація об'єктів неможлива або надто складно реалізується, тоді необхідно застосовувати методи робастного керування, тобто керування в умовах невизначеності. Головним завданням синтезу робастних систем керування є пошук такого закону керування, який зберігав би вихідні змінні системи і сигнали помилки в заданих допустимих межах з певною точністю, незважаючи на наявність невизначеностей у контурі керування. Невизначеності можуть бути будь-якої форми, однак найбільш істотними є шуми, нелінійності і неточності в знанні передавальної функції об'єкта керування. Розв'язок подібних задач відомий з літератури і обговорений в роботах авторів [2, 4, 5].

Одним з підходів до розв'язування означеної задачі, відмінним від наведених у посиланнях, є пошук керування з оцінюванням збурень, запізнювань, нелінійностей і невизначеності за посередніми вимірюваннями (від спостерігача) з метою компенсації їхнього впливу на керовану вихідну змінну [6]. В цій роботі розв'язується задача керування нелінійним об'єктом з запізнюванням на основі еталонної моделі. Керування шукають у вигляді зворотного зв'язку, що містить спостерігачі змінних, які дають потрібну інформацію про збурення та нелінійності об'єкта.

Постановка задачі. Розглянемо динаміку стану нелінійного об'єкта $y(t)$ при керуванні $u(t)$ і зовнішніх збуреннях $f(t)$, яка описується рівнянням

$$Q(p)y(t) = kR(p)u(t) + N(p)y(t - h(t)) + (y(t)) \tau_j + f(t), \quad (1)$$

де $y(t)$, $u(t)$ – скалярні регульована змінна і керування;

$p = d/dt$ – оператор диференціювання;

$Q(p)$, $R(p)$ – нормовані диференціальні оператори;

$\deg Q(p) = n$; $\deg R(p) = m$;

$\deg N(p) \leq n - 1$; час запізнювання $h(t)$ – обмежена функція;

$k > 0$, $\varphi_j(1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq q)$ – гладкі функції, що задовольняють умову Ліпшиця;

τ_j – невідомі постійні;
 $f(t)$ – зовнішня збурювальна дія.

Необхідну якість перехідних процесів в об'єкті керування задає рівняння еталонної моделі

$$Q_m(p)y_m(t) = k_m g(t), \quad (2)$$

де $g(t)$ – скалярна обмежена задавальна дія, $k_m > 0$; $y_m(t)$ – обмежений скалярний вихід об'єкта, $\deg Q_m(p) = n - m$.

Шукаємо робастне керування, яке повинно забезпечити виконання умови обмеження відхилення вихідної регульованої змінної $y(t)$

$$|y(t) - y_m(t)| < \delta \text{ при } t \geq T, \quad (3)$$

де δ – деяке, досить мале число, $T > 0$.

Прийmemo наступні припущення:

1. Коефіцієнти операторів $Q(p)$, $R(p)$, $N(p)$, $M(p)$ і величина k залежать від вектора невідомих параметрів, пов'язаних з керуванням, $\xi \in \Xi$, де Ξ – відома множина можливих значень вектора ξ .

2. Час запізнювання $h(t)$ – обмежена функція, що задовільняє умови $h(t) > 0$, $dh(t)/dt < 1$; задавальна $g(t)$ і збурювальна $f(t)$ дії є обмеженими функціями часу.

3. Поліноми $R(\lambda)$, $Q_m(\lambda)$, $R_m(\lambda)$ – гурвіцеві (тобто з від'ємними дійсними частинами в комплексній площині), де λ – комплексна змінна в перетворенні Лапласа, причому порядки операторів $Q(p)$, $R(p)$ і $Q_m(p)$ відповідно дорівнюють $\deg Q(p) = n$, $\deg R(p) = m$, $\deg N(p) \leq n - 1$, $\deg Q_m(p) = n - m$.

Представимо оператори $Q(p)$ і $R(p)$ у вигляді $Q(p) = Q_m(p) + \Delta Q(p)$, $R(p) = R_m(p) + \Delta R(p)$, де $Q_m(p)$, $R_m(p)$ – оператори з відомими коефіцієнтами такі, що поліноми $R(\lambda)$, $Q_m(\lambda)$, $R_m(\lambda)$ – гурвіцеві і мають порядки n і m відповідно, а λ – комплексна змінна в перетворенні Лапласа. Тоді рівняння об'єкта (1) можливо представити еквівалентним рівнянням щодо виходу $y(t)$:

$$Q_m(p)y(t) = kR_m(p)u(t) + (\Delta R(p))/R_m(p)u(t) - (\Delta Q(p))/kR_m(p)y(t) + (\Delta N(p))/kR_m(p)y(t - h(t)) + (1/kR_m(p)) \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^q p^{n-i} \varphi_{ij} y(t) \tau_j + (1/kR_m(p))f(t). \quad (4)$$

Складемо рівняння щодо помилки стану об'єкта $e(t) = y(t) - y_m(t)$, віднімаючи рівняння (2) з рівняння (4):

$$Q_m(p)e(t) = kR_m(p)u(t) + (\Delta R(p))/R_m(p)u(t) - (\Delta Q(p))/kR_m(p)y(t) + (\Delta N(p))/kR_m(p)y(t - h(t)) + (1/kR_m(p)) \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^q p^{n-i} \varphi_{ij} y(t) \tau_j + (1/kR_m(p))f(t) - k_m g(t) / kR_m(p). \quad (5)$$

У разі доступності виміру $n - m - 2$ похідних керувального впливу $v(t)$, задамо закон керування $u(t)$ у вигляді

$$u(t) = T(p)v(t), \quad (6)$$

де $T(p)$ – деякий поліном.

Тоді рівняння (5) приймає наступний вигляд:

$$Q_m(p)e(t) = kR_m(p)T(p)v(t) + (\Delta R(p))/R_m(p)T(p)v(t) - (\Delta Q(p))/kR_m(p)y(t) + (\Delta N(p))/kR_m(p)y(t - h(t)) + (1/kR_m(p)) \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^q p^{n-i} \varphi_{ij} y(t) \tau_j + (1/kR_m(p))f(t) - k_m g(t) / kR_m(p). \quad (7)$$

У разі неможливості вимірювання похідних керувальної дії $v(t)$ закон керування за використання спостерігача задамо у вигляді

$$u(t) = T(p) v_c(t), \quad (8)$$

де $v_c(t)$ – оцінка сигналу, одержуваного від спостерігача змінних (першого або основного), що містять всю інформацію про збурення та нелінійності об'єкта [3].

Тоді рівняння спостерігача невідомих параметрів, невизначених, але пов'язаних з керуванням,

$$\xi' = F_0 \xi(t) + B_0(v_c(t) - v_c'(t)), \quad v_c'(t) = L\xi(t). \quad (9)$$

де $v_c'(t)$ – похідна оцінки сигналу, одержуваного від спостерігача.

Підставивши рівняння (8) в рівняння (5), отримуємо рівняння відносно помилки $e(t)$ керування

$$Q_m(p)e(t) = \beta T(p)v(t) + \varphi_n'(t) + \beta T(p)(v(t) - v_c'(t)), \quad (10)$$

де похідна $\varphi_n'(t)$ функції за умовою Ліпшиця визначається наступним чином

$$\varphi_n'(t) = (k - \beta)v(t) + k(\Delta R(p))/(R_m(p))v(t) - (\Delta Q(p))/(R_m(p))y(t) + (\Delta N(p))/(R_m(p))y(t-h(t)) + (1/R_m(p)) \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^q p^{n-i} \varphi_{ij}((y(t))\tau_j + (M(p)/R_m(p))f(t) - (k_m/R_m(p))g(t).$$

Виберемо поліном $T(p)$ таким, щоб передавальна функція $T(\lambda)R_m(\lambda)/Q_m(\lambda)$ задовольняла умову $T(\lambda)R_m(\lambda)/Q_m(\lambda) = 1/\lambda + a_m$, і підставимо його у рівняння відносно помилки $e(t)$ (10), яке тоді перетвориться до виду

$$(p + a_m)y(t) = \beta v(t) + \varphi(t), \quad (11)$$

де $\varphi(t) = (1/T(p)R_m(p))\varphi_n'(t) + \beta(v(t) - v_c'(t))$.

У виразі $\varphi(t)$ зосереджена вся невизначеність параметрів об'єкта керування та його зовнішніх збурень.

Введемо в систему керування допоміжний контур

$$(p + a_m) y'(t) = \beta v(t), \quad (12)$$

де $y'(t)$ – сигнал швидкості змінювання стану об'єкта, і, беручи до уваги залежності (11), (12), складемо рівняння для неузгодження $\xi(t) = y(t) - y'(t)$, пов'язаного з невизначеністю:

$$(p + a_m) \xi(t) = \varphi(t).$$

Тоді, якщо виміру доступні $n - m - 1$ похідні сигналу $v(t)$ і перша похідна керованої величини дорівнює $e(t)$, то, сформувавши керування $v(t)$ у вигляді

$$v(t) = -1/\beta (p + am) \xi(t), \quad (13)$$

отримаємо, що закони керування (6) і (13) забезпечують асимптотичну стійкість (робастність) системи (1), (6), (13) за змінною $e(t)$, а рівняння замкнутої системи керування буде мати вигляд $(p + a_m) e(t) = 0$.

У разі неможливості вимірювати необхідні похідні керувального сигналу $v(t)$, його формуємо замість рівняння (13) у вигляді

$$v(t) = -1/\beta (p + am) \xi'(t), \quad (14)$$

де $\xi'(t)$ – оцінка, одержувана від окремого додаткового спостерігача.

Тоді рівняння другого спостерігача

$$\xi' = F_0' \xi(t) + B_0'(\xi(t) - \xi'(t)), \quad \xi'(t) = L_2 \xi(t). \quad (15)$$

Застосування другого спостерігача дозволяє скомпенсувати (відбити) похибку спостереження першого спостерігача і у такий спосіб покращити точність керування станом керованого об'єкта.

Використовуючи методику з роботи [6], можна показати, що синтезоване керування має властивості робастності, тобто забезпечує виконання умови (3).

Таким чином, запропоноване робастне керування в замкненій системі визначається наступними співвідношеннями.

Об'єкт керування (1):

$$Q(p)y(t) = kR(p)u(t) + N(p)y(t - h(t)) + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^q p^{n-i} \varphi_{ij} y(t) \tau_j + f(t);$$

Закон керування (6, 13):

$$u(t) = T(p) v(t) \text{ або } u(t) = T(p) v_c'(t)$$

в залежності від можливості або неможливості вимірювати необхідні похідні сигналу $v(t)$.

Допоміжний контур (12):

$$(p + a_m) y'(t) = \beta v(t).$$

Крім означених структурних елементів для забезпечення робастного керування нелінійними об'єктами з запізнюванням, тобто в умовах невизначенності, і неможливості вимірювань стану об'єкта, треба, як витікає з викладеного, додатково застосувати спостерігачі [6]:

Перший основний спостерігач (9):

$$\xi' = F_0 \xi(t) + B_0(v_c(t) - v_c'(t)), \quad v_c'(t) = L \xi(t).$$

Другий додатковий спостерігач (15):

$$\xi' = F_0' \xi(t) + B_0'(\xi(t) - \xi''(t)), \quad \xi'(t) = L_2 \xi(t).$$

Структурна схема, що відповідає викладеній в статті автоматичній робастній системі керування нелінійним об'єктом з запізнюванням, наведена на рис. 1, де між структурними елементами наочно показані відповідні функціональні зв'язки.

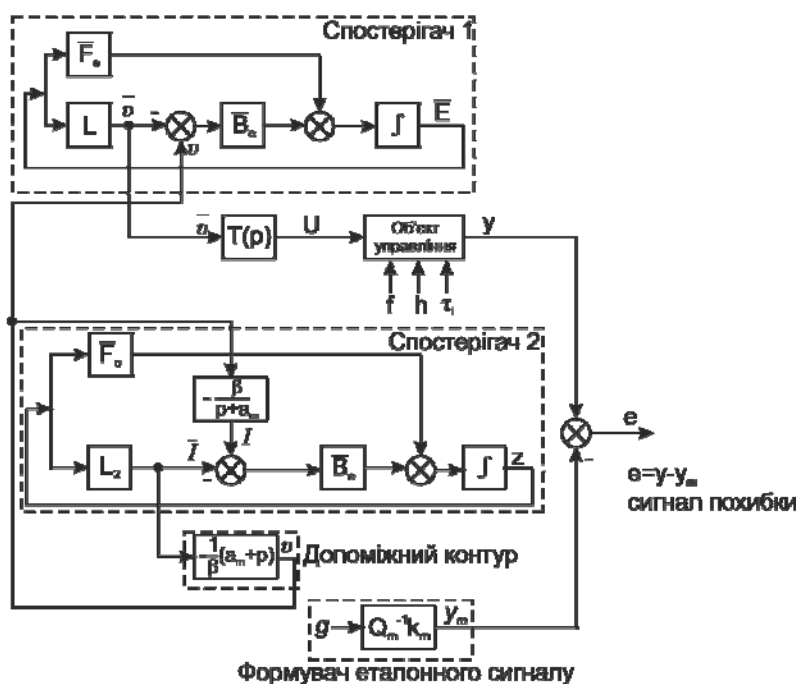


Рисунок 1 – Структурна схема синтезованої робастної системи керування

Висновок. Проблема нелінійності об'єкта керування при наявності запізнювання виникає при дослідженні характеру керованих динамічних процесів. Тому важливо, що наведена схема формування керувальної дії дозволяє з заданою точністю не тільки відслідковувати заданий еталонний сигнал, але і враховувати ефект запізнювання, наявність нелінійності в умовах апіорної невизначеності та дії зовнішніх збурень. Запропоноване керування забезпечується спеціальним чином сформованим зворотним зв'язком, в якому використані допоміжний контур та спостерігачі змінних, що містять інформацію про невизначеності (збурення та нелінійності об'єкта).

Список літератури

1. Поляк Б. Т. Робастная устойчивость и управление [Текст] / Б.Т. Поляк, П.С. Щербаков; – М.: Наука, 2002. – 303 с.
2. Лобок О.П., Застосування підходів лінійної теорії при синтезі керування для систем з запізнюванням [Текст] / О.П. Лобок, Б.М. Гончаренко, Д.О. Баркар // НЖ «Харчова промисловість» №13, – К.: НУХТ, – 2012. – С. 100 – 107.
3. Мирошник И. В., Нелинейное и адаптивное управление сложными динамическими системами [Текст] / В. О. Никифоров, А. Л. Фрадков; – СПб.: Наука, – 2000. – 549 с.
4. Лобок О.П., Мінімаксне управління лінійними багатовимірними об'єктами зі стаціонарними зовнішніми збуреннями [Текст] / О.П. Лобок, Б.М. Гончаренко, Н.М. Савіцька // ЗНП КНТУ. Вип.26. – Кіровоград: КНТУ. – 2013, с.262 – 267.
5. Гончаренко Б.М., Синтез оптимального мінімаксного оцінювання та керування лінійними багатовимірними об'єктами за умови неточного і неповного їх вимірювання [Текст] / Б.М. Гончаренко, Л.Г. Віхрова // Збірник НП КНТУ, Вип. 27. – Кіровоград: КНТУ. – 2014, с.220 – 228.
6. Имангазиева А.В., Алгоритм робастного управления для нелинейного динамического объекта с запаздыванием по состоянию [Текст] / А.В. Имангазиева // Журнал Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика, В. № 1. – Астрахань: АГТУ. – 2009. – С.137 – 141.

Boris Goncharenko, Alexsey Lobok

National University of Food Technologies

Larisa Vihrova

Kirovograd National Technical University

Robust control of nonlinear objects with delay

Robust control is sought in the form of feedback on the state of a nonlinear dynamical system under conditions of uncertainty and time delay. The problem of non-linearity of the control object with delay affects the character-driven dynamic processes, and significantly affects the type and complexity of the required controls. It is therefore important that the scheme presented formation control action makes it a given accuracy δ not only keep track of a given reference signal, but also take into account the effect of the delay, the presence of nonlinearity in the conditions of a priori uncertainty and the effect of external perturbations.

Provides a structure robust control system nonlinear dynamic object with state delay, to compensate for the parametric uncertainty and external bounded perturbations to within δ . To do this, an algorithm for generating a signal by which we obtain an estimate of perturbation and forms the control, provide the necessary dynamic accuracy.

robust control, nonlinear dynamic object, delay, parametric uncertainty, external disturbances, dynamic accuracy

Одержана 01.12.14

УДК 620.9/621.311.1,4

**Р. В. Жесан, доц., канд. техн. наук, О. П. Голик, доц., канд. техн. наук,
Н. Б. Коренецька, магістр, А. А. Попок**

Кіровоградський національний технічний університет, zherom@ukr.net

Шляхи можливого розв'язання сучасних проблем вітчизняної енергетики за допомогою поновлюваних джерел енергії

В статті проаналізовано стан вітчизняної енергетики, її проблеми та перспективи розвитку. Обґрунтовано доцільність більш широкого застосування поновлюваних джерел енергії, зокрема гідравлічної, сонячної, вітрової та геотермальної.

енергетика, електростанція, паливо, проблеми, поновлювані джерела енергії

**Р. В. Жесан, доц., канд. техн. наук, О. П. Голик, доц., канд. техн. наук, Н.Б. Коренецька, магістр,
А. А. Попок**

Кіровоградский национальный технический университет

Пути возможного решения современных проблем отечественной энергетики при помощи возобновляемых источников энергии

В статье проанализировано состояние отечественной энергетики, её проблемы и перспективы развития. Обоснована целесообразность более широкого применения возобновляемых источников энергии, в частности гидравлической, солнечной, ветровой и геотермальной.

энергетика, электростанция, топливо, проблемы, возобновляемые источники энергии

Постановка проблеми. Вся історія розвитку людства свідчить, що добробут країн, досконалість технологій, продуктивність праці і ще багато економічних і політичних аспектів безпосередньо залежать від рівня виробництва і споживання в державі енергії, перш за все, електричної. З іншого боку, вся сучасна світова економіка залежить від багатств, накопичених ще у часи динозаврів: нафти, газу, вугілля та іншого викопного палива. Основна проблема полягає в тому, що постійне зростання потреб у енергії супроводжується виснаженням викопних доступних енергоресурсів, які є невідновлюваними. Нераціональне і необачне використання останніх рано чи пізно призведе до загальносвітової енергетичної кризи.

Ще одним важливим фактором є забруднення атмосфери та поверхні Землі, що супроводжує використання органічного палива в енергетичному господарстві.

В Україні загальнолюдські проблеми паливної енергетики багатократно підсилюються політичним, економічним та військово-технічним тиском з боку сусідів-агресора – Російської Федерації.

По всьому світу людство змушене шукати і впроваджувати альтернативи викопному паливу. У цьому аспекті є вкрай перспективним дослідження та використання альтернативних джерел енергії.

Альтернативні джерела енергії – будь-які джерела, які є альтернативою викопному паливу. Це поновлювані джерела енергії (ПДЕ), які існують постійно або виникають періодично у довіччій у вигляді потоків енергії. Перевага таких джерел полягає у тому, що їх вистачить на мільйони чи навіть на мільярди років і вони не завдають шкоди природі. Тому було б доцільно, провівши аналіз проблем сучасної вітчизняної енергетики, спробувати розв'язати їх за допомогою ПДЕ.

Аналіз останніх досліджень. Питаннями застосування ПДЕ в енергетичному секторі економіки останнім часом займаються багато вітчизняних вчених. Найбільш значущі розробки належать Г. І. Денисенку, С. П. Денисюку, А. Джумі, Л. М. Джумі, Д. Л. Дудюку, Б. Х. Драганову, В. В. Каплуно, А. Є. Конеченкову, С. О. Кудрі, С. С. Мазепі, Н. М. Мхітаряну, В. Ф. Пащенко, С. П. Плешкову, А. В. Праховнику, А. К. Шидловському та ін.

Постановка завдання. Метою роботи є аналіз стану вітчизняної енергетичної галузі, із акцентуванням на найбільш значущих на сьогодні проблемах, та розробка шляхів розв'язання цих проблем за допомогою ширшого застосування ПДЕ.

Виклад основного матеріалу. На сайті світової статистики реального часу Worldometers з точністю до 1 дня у режимі «он-лайн» вираховується час до закінчення земних запасів природних палив, з урахуванням існуючих темпів видобутку і споживання. Зокрема, на початок квітня 2015 року вказується, що нафти залишилось менше, ніж на 39 років; газу – трохи більше 163 років; вугілля – менше, ніж на 413 років [1].

Енергетика України розвивається за загальносвітовими напрямками. Незаперечно перевагу в енергетичному балансі країни мають теплові електростанції (ТЕС), але більша їх частина проектувалась і будувалась у 60-70 роки минулого сторіччя – їхнє обладнання, фізично зношене і морально застаріле, не відповідає технічним вимогам. 82 % теплових блоків вже відпрацювали свій розрахунковий ресурс (100 тис. год.), а 48 % перевищили верхню межу (170 тис. год.) [2, 3]. Екологічні показники за викидами перевищують всі норми вітчизняного законодавства, не говорячи вже про вимоги з боку Європейської Спільноти.

Типова ТЕС потужністю 1000 МВт, що працює на вугіллі, при загальному ККД 40 %, викидає в атмосферу за рік: CO_2 – 72500 т, CO – 94 т, оксидів азоту – 350 т, оксидів сірки – до 1100 т, а також тепла з димовими газами та з водяним конденсатом до $5,5 \cdot 10^9$ кДж. При цьому за той же рік ТЕС поглинає з атмосфери близько 52 тис. т кисню. Міра забруднення атмосфери залежить від якостей палива і устаткування. Відомо, що викиди в атмосферу такої шкідливої речовини, як сірчаний газ, тепловою станцією, яка працює на вугіллі, майже в 2 рази більші, ніж тією, яка використовує нафту, і в 100 разів більші від тієї, яка використовує газ [4, 5].

Відомо, що власним викопним паливом наша енергетика забезпечена лише на третину, інше закуповується за кордоном, в основному в Росії.

У результаті бойових дій на Сході країни, значно знизилися обсяги видобутку вугілля. Частина шахт припинила роботу. Через руйнуванні терористами інфраструктури Донецької та Луганської областей транспортування навіть вже видобутого вугілля на склади ТЕС виявилась практично неможливим.

Паливо для атомних електростанцій (АЕС) також традиційно закуповувалося в РФ, тому зараз питання значно загострюється. Щоправда, українська влада зробила перші кроки із зниження залежності від постачання російського ядерного палива – укладений контракт із американською компанією (хоча, будуть певні проблеми із його адаптацією).

Та, безумовно, головним енергетичним ризиком для України є газовий сектор. Між Україною та Росією відсутні як цінові домовленості, так і самі поставки російського газу після 16 липня поточного року. А більша частина спірних питань чекає на свій розгляд у Стокгольмському арбітражі. До того ж «Газпром» постійно демонструє неготовність до конструктивних переговорів. Таким чином Україна змушена нарощувати обсяги реверсних поставок природного газу з Європи.

За підсумками минулого року, Україна в 2,4 рази наростила імпорту газу з ЄС в порівнянні з 2013 р.: з 2,132 млрд. м³ до 5,1 млрд. м³. А поставки російського газу в

Україну в 2014 р. скоротилися на 44 %: якщо в 2013 р. його імпорт склав близько 27,8 млрд. м³, то в минулому році він впав до 14,5 млрд. м³, що стало рекордно низьким показником за весь час незалежності країни [6].

Аналогів минулому осінньо-зимовому сезону енергетика нашої країни ще не мала: через дефіцит основних видів палива – вугілля і газу – теплова генерація була не в змозі виробляти необхідну кількість електроенергії.

За інформацією Держстату, виробництво електроенергії в Україні в жовтні 2014 р. порівняно з аналогічним місяцем минулого року скоротилося на 10,7 % і склало 14,7 млрд. кВт·год. Загальне виробництво за 10 місяців 2014 р. скоротилося на 5,1 % – до 149,4 млрд. кВт·год. При цьому виробництво електроенергії ТЕС та ТЕЦ в жовтні 2014 р. до жовтня 2013 р. зменшилося на 29,7 %.

Уряд України був змушений оголосити надзвичайний стан у енергетиці. Нам довелося повернутись до «звичних» у 90-ті роки віялових відключень окремих споживачів і цілих населених пунктів по всій території України.

1 грудня 2014 р. відбулося перше аварійне віялове відключення обсягом 1473,5 МВт. Основними його причинами, за повідомленням ДП НЕК «Укренерго», були аварія і від'єднання від мережі енергоблоку № 3 на Запорізькій АЕС та ремонт 19 енергогенеруючих одиниць на ТЕС, а також значне зниження температури зовнішнього повітря і, як результат, збільшення попиту на тепло та електроенергію, а також перевищення встановлених лімітів споживання енергопостачальними компаніями. На жаль, з часом дефіцит потужності збільшився і, коли 5 грудня енергоблок № 3 ЗАЕС був знову підключений до мережі, аварійного ремонту на той час потребували вже 26 енергоблоків ТЕС [7].

За інформацією Міністерства енергетики та вугільної промисловості України, станом на 26 березня 2015 р. у аварійних ремонтах та за ознаками відсутності палива зупиненими знаходилися 28 енергоблоків та 6 корпусів ТЕС загальною встановленою потужністю 8341 МВт. Крім того, запаси вугілля на складах ТЕС склали 848 тис. т, а його щоденні витрати у березні становили 80 тис. т на добу при наявності постачання 65 тис. т на добу [2]. Внаслідок цього енергосистема недоотримувала щоденно понад 4 тис. МВт «планової» потужності.

Плачевний стан із запасами палив для вітчизняних електростанцій призвів до укладання контрактів на постачання вугіллям із далекої ПАР. Проте, і ці договори були зірвані африканськими партнерами під тиском наших східних сусідів.

Через стрибкоподібні зміни навантаження не може повністю перекрити дефіцит потужності й атомна енергетика. Адже енергоблоки на АЕС не «прикрутиш» вдень і особливо – вночі, коли споживання електроенергії мінімальне. Хоча Держстат повідомляв, що, станом на жовтень 2014 р., виробництво електроенергії АЕС за рік збільшилося на 15,6 %, за місяць – на 8,5 %, до 8 млрд. кВт·год.

Видається досить перспективним розширення застосування ПДЕ в енергосекторі держави. Тим паче, що досвід використання таких джерел в Україні є.

Згідно з класифікацією Міжнародного енергетичного агентства, до ПДЕ належать такі категорії:

- ПДЕ, які спалюються, і відходи біомаси:
- тверда біомаса і тваринні продукти: біологічна маса, у тому числі будь-які матеріали рослинного походження, що використовуються безпосередньо як паливо або перетворюються на інші форми перед спалюванням (деревина, рослинні відходи і відходи тваринного походження; деревне вугілля, яке одержують з твердої біомаси);
- газ/рідина з біомаси: біогаз, отриманий у процесі анаеробної ферментації біомаси і твердих відходів, який спалюється для виробництва електроенергії та тепла;

- муніципальні відходи: матеріали, що спалюються для продукування теплової та електричної енергії (відходи житлового, комерційного і громадського секторів), утилізуються муніципальною владою з метою централізованого знищення;
- промислові відходи: тверді й рідкі матеріали (наприклад, автомобільні покришки), що спалюються безпосередньо, зазвичай на спеціалізованих підприємствах, для виробництва теплової й електричної енергії;
- гідроенергія: потенційна, або кінетична, енергія води, перетворена на електричну енергію за допомогою гідроелектростанцій, як великих, так і малих;
- енергія припливів, морських хвиль і океану: механічна енергія припливних потоків або хвиль, що використовується для виробництва електричної енергії;
- геотермальна енергія: тепла енергія, що надходить із земних надр, зазвичай у вигляді гарячої води або пари, і використовується для виробництва або безпосередньо як джерело тепла для систем тепlopостачання, потреб сільського господарства тощо;
- сонячна енергія: випромінювання Сонця, що використовується для одержання гарячої води й електричної енергії;
- енергія вітру: кінетична енергія вітру, що застосовується для виробництва електроенергії у вітрових турбінах.

Найбільш широкого застосування в «традиційній» енергетиці України набула гідроенергетика. Проте, через зміну екологічних та кліматичних умов, гідроелектростанції (ГЕС) не забезпечені на всі 100 %. Обладнання ГЕС та споруди гідровузлів, внаслідок тривалої експлуатації, мають високий ступінь фізичного зносу і вимагають реконструкції. За офіційними даними Держстату, виробництво електроенергії ГЕС у жовтні 2014 р. в річному численні скоротилося на 37 %, у місячному – збільшилося на 32,2 % і склало 0,6 млрд. кВт·год.

Виробництво електроенергії іншими електростанціями держави (вітряними – ВЕС, сонячними – СЕС) у жовтні 2014 р. до жовтня 2013 р. збільшилося на 79 %, до вересня 2014 р. – зменшилася на 7,7 % і склало 0,1 млрд. кВт·год.

На тимчасово окупованих територіях Криму залишилися СЕС загальною потужністю близько 400 МВт. Така потужність дозволяла виробляти близько 25 % від усієї електроенергії, генерованої на півострові [8]. Потужність ВЕС Криму – 63 МВт [3, 8]. Всі кримські сонячні та вітрові електростанції з квітня 2014 р. знаходяться у зупиненому стані й не генерують енергію (самопроголошена влада Криму заявляє про підготовку до їх «націоналізації»).

Станом на 1 січня 2015 р. [9] в Україні встановлена потужність об'єктів відновлюваної енергетики, яким доведено «зелений» тариф, становить 1462,2 МВт, з яких у 2014 р. було введено 280,6 МВт, із них:

- об'єкти вітроенергетики – 179,8 МВт;
- об'єкти сонячної енергетики – 70,5 МВт;
- об'єкти енергетики, що виробляють електроенергію з біогазу – 7,3 МВт;
- об'єкти енергетики, що виробляють електроенергію з біомаси – 18,0 МВт;
- об'єкти малої гідроенергетики – 5,0 МВт.

Зазначеними об'єктами у 2014 р. вироблено 2,01 млрд. кВт·год. електроенергії, що на 32 % більше, ніж у 2013 р.

Розглянемо способи та напрямки перспективного розвитку ПДЕ в Українській енергетиці, з урахуванням як світового, так і вітчизняного досвіду.

Гідроенергетика

Термін «гідроенергетика» визначає галузь енергетики, яка використовує енергію рухомої води, як правило, річок. Ця енергія перетворюється або на механічну, або, найчастіше, на електричну. Крім того, водними джерелами енергії є морські хвилі й

припливи, спричинені гравітаційною взаємодією Землі з Місяцем та Сонцем.

Гідроенергетика – найрозвиненіша галузь енергетики на поновлюваних ресурсах. Під впливом сонячного випромінювання вода випаровується з поверхні Світового океану, її пара підіймається в горішні шари атмосфери, конденсується у хмари й випадає у вигляді опадів, поповнюючи витoki річок. Отже, використовувана енергія річок вже є перетвореною в механічну енергією Сонця.

Теперішні ГЕС є складними гідротехнічними спорудами. Основними її елементами є водосховище, гребля, гідротурбіна, генератор. Шляхом зведення греблі створюється різниця рівнів води. Вода, перетікаючи з верхнього рівня (б'єфа) на нижній, набуває великої швидкості. Водяний потік падає на лопаті турбіни, що обертає генератор, виробляючи тим самим електроенергію.

Отримання енергії у такій спосіб є значно ефективнішим і дешевшим, ніж, скажімо, тепловим способом. Саме тому приблизно з 80-х років XIX століття сумарна потужність ГЕС продовжує зростати, подвоюючись приблизно кожні 15 років.

У залежності від запровадженої потужності ГЕС поділяються на великі і малі. До малої гідроенергетики належать системи потужністю до 30 тис. кВт, які, у свою чергу, можна поділити на малі, міні- і мікро-ГЕС. Малої ГЕС достатньо для забезпечення електроенергією невеликого міста, селища, а мікро-ГЕС може забезпечити електроенергією окремого споживача. Невеликі ГЕС дозволяють зберігати природний ландшафт, навколишнє середовище не тільки на етапі будівництва, але й у процесі експлуатації. Саме тому найбільш перспективним є використання гідроенергії на малих річках без створення штучних водосховищ.

На сьогодні мала гідроенергетика стає дедалі популярнішою в світі. Серед європейських країн цей вид відновної енергетики найбільш популярний в Австрії (10 % від загального виробництва електроенергії).

В Україні нараховується понад 63 тис. малих річок загальною довжиною 135,8 тис. км, де можна встановлювати макро- чи мікро-ГЕС. Експлуатація малих ГЕС у нашій країні дає можливість виробляти близько 250 млн кВт-год. електроенергії, що дозволило б зекономити до 75000 т. дефіцитного органічного палива [10].

Попри величезні запаси енергії хвиль, цей напрямок розвивається досить повільно через велику кількість технічних проблем, з якими пов'язане перетворення енергії хвиль в електричну. Основними з них є розосередження енергії на великій поверхні, непостійне хвилевідтворення, низька швидкість руху хвиль при значній силі їхньої дії. Хоча, у Норвегії побудовано 500-кіловатну хвильову енергетичну установку.

Більш поширеним є використання енергії припливів. Припливні коливання рівня Світового океану пов'язані з гравітаційним впливом Місяця на водні маси Землі. Двічі на добу рівень води піднімається і опускається. Висота припливу (різниця між найвищим і найнижчим рівнями води) в середньому сягає 0,5-10 м, а на Таїті, наприклад, сягає аж 25 м. Серед сучасних припливних електростанцій (ПЕС) найбільш відома перша у світі і найпотужніша на сьогодні станція (240 МВт), що розташована у Франції на березі Ла-Маншу в гирлі річки Ране. Приплив у цьому місці переміщує 189 тис. м³ води за секунду. Різниця рівнів становить 13 м, а швидкість течії між містами Брестом і Сен-Мало часто досягає 90 км/год. До недоліків ПЕС слід віднести труднощі, пов'язані із захистом дамб та устаткування від ударів крижаних торосів, особливо у північних районах. Поблизу дамб морська флора й фауна дуже потерпають внаслідок нагромадження забруднюючих речовин на прилеглий території. Крім того, дамби перешкоджають міграції риб.

Сонячна енергетика

Сонячна енергетика ґрунтується на перетворенні сонячного випромінювання в

електричну енергію (сонячні електричні системи) чи теплову енергію (сонячні теплові системи – виробляють теплоту для одержання гарячої води, опалення приміщень тощо).

Сонячна енергія найефективніше може бути використана як теплова. Перевагою таких систем є високий ККД, який сягає 45-60 %, а в разі застосування концентраторів – 80-85 % [11, 12]. Тепло отримане в сонячних системах теплопостачання використовується для нагрівання води, опалення будівель, у сільському господарстві, в технологічних процесах у промисловості.

Найбільша на сьогоднішній день сонячна електростанція Тораз почала працювати в США. За 2 минулих роки на Каліфорнійських рівнинах було встановлено 9 млн. панелей на 24 км². Сонячну електростанцію побудували біля родючих сільськогосподарських земель. Потужність електростанції складає близько 550 МВт. В близькому майбутньому там побудують ще близько півтори сотні господарств, які будуть забезпечуватись роботою СЕС. Інженери проекту заявили, що використання цієї електростанції дозволить зменшити викиди вуглекислого газу в атмосферу на 377000 т щорічно.

Широкого розповсюдження набуло використання низькотемпературних сонячних систем, де теплоносій нагрівається до 100-200⁰С. Але іноді потрібні більш високі температури, і з цією метою використовують різного типу концентратори сонячного випромінювання, що дозволяє досягати високих температур (до 3000⁰С), чого достатньо навіть для плавки металів.

Найбільш поширеним є використання сонячного випромінювання для нагрівання води в системах опалення та гарячого водопостачання за допомогою сонячних колекторів.

Їх підрозділяють на одноконтурні (прямі) і двоконтурні (непрямі). В одноконтурних системах циркулює вода, а в двоконтурних – теплоносій-антифриз. Цей теплоносій потрібний для того, щоб сонячна система теплопостачання могла використовуватися і в холодну пору року. Спочатку антифриз нагрівається в колекторі, а потім він нагріває воду через теплообмінник.

Найпоширеніші пласкі (не фокусуючі) приймачі дозволяють збирати як пряму, так і розсіяну сонячну радіацію, а відтак працювати як у сонячну, так і хмарну погоду. Основним елементом сонячної нагрівальної системи (колектора) є приймач, у якому відбувається нагрівання рідини за рахунок сонячного випромінювання.

Системи зі штучною циркуляцією вигідні, оскільки для їх створення можна використовувати існуючі водонагрівальні системи, підключаючи до них приймач сонячного випромінювання і насос. Вадюю цих систем є залежність від електроенергії, без якої вони не будуть працювати.

Сьогодні у світі обладнано понад 30 млн. м² сонячних колекторів для гарячого водопостачання. Дві третини припадає на країни Європейського Союзу. Популярність цієї технології весь час зростає. Денна продуктивність таких колекторів на 50⁰ півн. шир. (на рівні Києва) сягає 50-60 л води, нагрітої до 60-70⁰С з 1 м². ККД сонячного колектора сьогодні складає 40-60 % і визначається його оптичними характеристиками, якістю теплової ізоляції, інсоляцією і температурами теплоносія та навколишнього середовища. Ефективність термальних геліоприймачів підвищується до 80-85 %, якщо вони оснащені тими чи іншими концентраторами [12].

Вітрова енергетика

Близько 1 % сонячної енергії, яку отримує Земля, спричиняє рух атмосферних повітряних мас, викликаний перепадом температур у різних шарах атмосфери через нерівномірний нагрів її Сонцем. Отже, енергія Сонця перетворюється в механічну енергію вітру. Пристрої, що в свою чергу перетворюють енергію вітру на корисну механічну або електричну енергію, називають вітроенергетичними установками або

вітрогенераторами.

В умовах кризи та воєнних дій вітроенергетика України продовжує свою роботу й навіть планує розширення. На сьогодні встановлена в Україні потужність ВЕС складає 497 МВт. І в найближчий час будуть встановлені ще дві турбіни Vestas у Львівській області. А до 2020 р. потужність вітчизняних ВЕС повинна збільшитися в 5,5 разів – з 410 МВт до 2280 МВт [13].

Деякі місцевості у Данії, Німеччині й Іспанії одержують 10-15 % електроенергії від вітру. Автономні вітроустановки можуть замінити дизельні електростанції, опалювальні установки, що працюють на нафтопродуктах, а також можуть бути призначені для безпосереднього виконання механічної роботи, наприклад, приведення в дію водяного насоса.

Будова вітроустановки подібна до будови гідроустановки. Основними частинами установки є ротор, генератор, турбіна, обладнана пропелером (вітроколесом), яке безпосередньо приймає на себе енергію вітру.

Сучасні вітроустановки мають потужність 600-3000 кВт, а найпотужніші – 4,5 МВт. У теперішній час вітротехнологія отримання енергії є найбільш дешевим способом вироблення екологічно чистої енергії. Безперечною перевагою вітрових електростанцій є те, що єдиним чинником забруднення навколишнього середовища є утворення при їх роботі шуму низької частоти. Більшість з них призначені для роботи при швидкостях вітру від 4 м/с до 30 м/сек. Сьогодні Україна – лідер у галузі розвитку вітроенергетики серед країн Східної Європи і республік колишнього СРСР. І хоча наші досягнення занадто низькі у порівнянні з Німеччиною або Данією, Україна належить до тих небагатьох країн, де налагоджене серійне виробництво вітроелектричних установок (ВЕУ) потужністю 100 кВт і розпочато виробництво більш потужних установок на 600 кВт і 1000 кВт.

Геотермальна енергетика

Геотермальна енергія – це тепло земних глибин, яке переважно утворюється внаслідок хімічних процесів та розпаду радіоактивних речовин у земній корі та мантії. Температура земної кори углиб підвищується на 2,5-3,0°C через кожні 100 м (геотермальний градієнт). Так, на глибині 20 км вона складає близько 500°C, на глибині 50 км – порядку 700-800°C. У певних місцях, особливо по краях тектонічних плит материків, а також у так званих «гарячих точках», температурний градієнт вище майже в 10 разів, і тоді на глибині 500-1000 м температура порід сягає 3000°C [18]. Однак і там, де температура земних порід не така висока, геотермальних енергоресурсів цілком достатньо.

Усю природну теплоту, яка міститься в земній корі, можна розглядати як геотермальні ресурси двох видів:

- пара, вода, газ;
- розігріті гірські породи.

Гідротермальні джерела енергії поділяються на термальні води, пароводяні суміші та природну пару.

Для отримання теплоти, акумульованої в надрах землі, її спочатку треба підняти на поверхню. Для цього бурять свердловини і, якщо вода досить гаряча, вона піднімається на поверхню природним чином, за нижчої температури може знадобитися насос. Геотермальні води – екологічно чисте джерело енергії, що постійно відновлюється. Воно суттєво відрізняється від інших альтернативних джерел енергії тим, що його можна використовувати незалежно від кліматичних умов і пори року.

Виходячи з наявних оцінок запасів геотермальної енергії, пріоритетними районами в Україні є Закарпаття, Львівська, Донецька, Запорізька, , Полтавська,

Харківська, Херсонська, Чернігівська Луганська області та Керченський півострів у Криму [14].

В Україні визначено шість пріоритетних напрямків розвитку геотермальної енергетики:

- створення геотермальних станцій для теплопостачання міст, населених пунктів і промислових об'єктів;
- створення геотермальних електростанцій (ГеоТЕС);
- створення систем теплопостачання з підземними акумуляторами теплоти;
- створення сушильних установок;
- створення холодильних установок;
- створення схем геотермального теплопостачання теплиць.

Геотермальні установки потребують зовсім невеликих ділянок землі, набагато менших, ніж необхідні під енергетичні установки інших типів. Вони можуть розміщуватися практично на будь-яких землях, включаючи сільськогосподарські угіддя. Якби можна було використовувати усього лише 1 % геотермальної енергії Земної кори (глибина 10 км), людство мало б у своєму розпорядженні кількість енергії, що у 500 разів перевищує всі світові запаси нафти і газу [14, 15].

Висновок. Проаналізувавши сучасний стан української енергетики, рівень її розвитку, досягнення та проблеми, можемо зробити висновок, що осучаснення галузі вимагає більш широкого застосування ПДЕ. Найбільш перспективними напрямками застосування ПДЕ у вітчизняній енергетиці є гідравлічна, сонячна, вітрова та геотермальна енергетика.

Список літератури

1. Сайт світової статистики реального часу. Енергія. [Електронний ресурс]. – Назва з титул. екрану. – Режим доступу: <http://www.worldometers.info/>.
2. Голод І. Енергоатака на Україну: удар угольний: 07.11.2014. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.rbc.ua/rus/analytics/energoataka-na-ukrainu-udar-ugolnyy-07112014122200>.
3. Білоус К. Україна відтягнула прихід енергетичної катастрофи: 13.01.2015. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.golos-narodu.com.ua/ua/golovna/ukrayina-vidtyagnula-prihid-energetichnoyi-katastrofi.html#.VT1QwdLtmko>.
4. Драганов Б. Х. Теплоенергетичні установки і системи сільському господарстві / Б. Х. Драганов, О. Ф. Буляндра, А. В. Міщенко; За ред. Б. Х. Драганова. – К.: Урожай, 1995. – 224 с.
5. Жесан Р. В. Енергопостачання автономного споживача з використанням відновлюваних джерел енергії та системи автоматичного керування / Жесан Р. В. // Нетрадиційні і поновлювані джерела енергії як альтернативні первинним джерелам енергії в регіоні: Матеріали І-ї науково-практичної конференції (Львів, 31.05-01.06.2001 р.). Зб. наук. статей. – Львів, ЛьвЦНТЕІ, 2001. – С. 30-34.
6. Долинчук С. Як позбутися газової залежності: 09.01.2015. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://forbes.ua/ua/business/1386241-yak-pozbutisya-gazovoyi-zalezhnosti>.
7. Буравльова М. Чому електроенергію потрібно вимикати: 29.12.2014. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://delo.ua/opinions/chomu-elektroenergiju-potribno-vimikati-287173/>.
8. Хомуляк Г. В Криму остановились все ветровые и солнечные электростанции / Терминал. Нефтяное обозрение: 16.05.2014. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://oilreview.kiev.ua/2014/05/16/v-krymu-ostanovilis-vse-vetrovye-i-solnechnye-elektrostancii/>.
9. Відновлювана енергетика / Сучасний стан / Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України: Офіційний сайт. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://saee.gov.ua/uk/activity/vidnovlyuvana-enerhetyka/suchasny-stand>.
10. Розумовський А. Як вода врятує українську енергетику: 22.12.2014. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://economics.unian.ua/industry/1024603-yak-voda-vryatue-ukrajinsku-energetiku.html>.
11. Пашенко В. Ф. Виявлення факторів, що впливають на ефективність роботи перетворювачів сонячної та вітрової енергії у складі комбінованого геліовітроенергетичного агрегату в умовах Кіровоградського регіону / В. Ф. Пашенко, Р. В. Жесан // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2000. – № 1. – С. 86-92.

12. Голик О. П. Энергозабезпечення селянських (фермерських) господарств на основі сонячної енергії в умовах Кіровоградського регіону / Голик О. П., Жесан Р. В., Краснюк А. С. // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 41. Ч. II. – Кіровоград: КНТУ, 2011. – С. 195-198.
13. Рябшапка А. В Украине мощность альтернативных источников увеличится в 5,5 раз: 06.10.2014. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://oilreview.kiev.ua/2014/10/06/v-ukraine-moshhnost-alternativnykh-istochnikov-velichitsya-v-55-raz/>.
14. Відновлювана енергетика / Потенціал / Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України: Офіційний сайт. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://saee.gov.ua/uk/activity/vidnovlyuvana-enerhetyka/potentsial>.
15. Жесан Р. В. Відновлювані джерела енергії для України / Р. В. Жесан, В. Ф. Пащенко // Збірник наукових праць Кіровоградського інституту сільськогосподарського машинобудування. Вип. № 1. – Кіровоград: КІСМ, 1997. С. 91-94.

Roman Zhesan, Olena Golik, Natalia Korenetskaya, Anastasiya Popok

Kirovograd National Technical University

Possible ways of solving modern problems of national power engineering using renewable energy sources

The purpose of this article is to analyze the status of national power engineering, with a focus on the most important issues for today, and the development of solutions to these problems by means of greater use of renewable energy sources.

Promoted overview of the structure of the energy sector. Identified the key groups of problems: dependence on imported fossil and nuclear fuels; environmental problems that accompany the development of the energy sector; foreign policy and military-technical aspects. Were analyzed by way of perspective increasing the scale of renewable energy sources.

It was concluded that the prospects of using hydraulic, solar, wind and geothermal energy.

power engineering, power plant, fuel, problems, renewable energy sources

Одержано 28.04.15

УДК 681.5

В. В. Іващук, доц., канд. техн. наук, Ю. Б. Беляєв, проф., д-р техн. наук

Національний університет харчових технологій, м. Київ, ivaschuk99@mail.ru

Структурування управляючих концептів прийняття рішень в умовах асортиментного виробничого плану

В статті приведено методику створення структурної мапи технології, що призначена для супроводження дій технологічного персоналу при реалізації технології по створенню асортиментних партій продукції.

Практично доведено необхідність у здійсненні інтелектуальної підтримки та обґрунтовано порядок наповнення мапи технології при роботі з асортиментним продуктом.

Подальше вдосконалення методики стосується оцінки глибини моделювання когнітивної поведінки та актуальності її відтворення в мапі технології.

прийняття рішень, асортиментні партії, мапа технології, інтелектуальна підтримка

В. В. Ивашук, доц., канд. техн. наук, Ю. Б. Беляев, проф., д-р техн. наук

Национальный университет пищевых технологий, г. Киев

Структурирование управляющих концептов принятия решений в условиях асортиментного производственного плана

В статті приведені методика створення структурної карти технології, призначеної для супроводження дій технологічного персоналу при реалізації технології по створенню асортиментних партій продукції.

Практично доведена необхідність в реалізації інтелектуальної підтримки і обґрунтовано порядок заповнення карти технології при роботі з асортиментним продуктом.

Дальніше удосконалення методики стосується оцінки глибини моделювання когнітивного поведінки і актуальності її реалізації в карті технології.

прийняття рішень, асортиментні партії, карта технології, інтелектуальна підтримка

Постановка проблеми. Будь-яка виробнича компанія не може забезпечити попит власної продукції на ринку без розширення асортименту. Так, асортимент формує попит, а від того й змінюється розподіл робіт за основними та допоміжними функціями підприємства. Навіть якщо частку робіт підприємство виконує за рахунок субпідрядників, то вартість угоди позитивно сприяє собівартості кожної одиниці замовлення, навіть якщо це стосується різних видів замовлень.

Для переконання замовників користуються двома показниками вартістю і надійністю виконання. Другий показник переконує замовника у вчасному виконанні потрібного замовлення.

Враховуючи сезонність природної сировини, загальну зміну сировинного ринку, можна говорити про різну собівартість одиниці продукції протягом року. Так, за річний цикл виробництва підприємство може виробляти певну кількість одиниць продукції з асортименту або вирівнювати об'єм партій за рахунок заміників, консервованої сировини або залучення додаткової сировини за договірними цінами. Запропонувати замовникові сезонну знижку вартості, знижку від кількості замовленої продукції, запропонувати мінімальну партію чи запевнити у можливостях максимального об'єму постачання. Ось немалий обсяг робіт, що має надавати перевагу використанню систем ERP(OLAP), які працюють в умовах асортиментного продукту.

Ринок бізнес-додатків урізноманітнений чисельними інтерфейсами та використаними технологіями зв'язку, що забезпечує їх інтеграцію, як з офісними так і з промисловими програмними додатками. Таким чином, з'являється безліч продуктів, які містять структури подібні до «макаронів», що зв'язують змінну з її графічним відтворенням. Найчастіше це програми із типовими, в тому числі і WEB-орієнтованими, інтерфейсами та наборами інструментів роботи із базами даних, де логіка супроводження процесів знаходиться на рівні офісних додатків чи SCADA-програм. В той час, керувальні або порадачі функції таких засобів залишаються на розсуд експертів. Також основна частка програмних продуктів, що працюють на ринку містить в собі виключно статистичні функції. А саме: відбувається управління статистичними звітами за наявним виконанням плану, супроводженням стадій продукту за виробничим планом. Незважаючи на високу вартість та гнучкість побудованих інтерфейсів для наповнення бази даних програмних продуктів алгоритмічне наповнення залишається не спроможним реалізувати можливості порадачого інтелекту.

То ж актуальною залишається методика побудови автоматизованого порадачого супроводу при виробництві асортименту продуктів виробничого комплексу. Мета такого комплексу у трансляції умов та замовлень на технічні завдання для виробництва.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Типовим науковим рішенням, що дозволяє розв'язати проблему, є створення точних математичних моделей комплексу технологічних процесів. Та навіть у складі адаптивної системи керування [1] її буде важко запропонувати для широкого кола задач, при зміні якості технологічної сировини або вимог до виготовлення продукту. Корегування математичної моделі

вимагає значних експериментальних затрат, а використання адаптивних систем обмежує пропоновану стійкість системи керування [2].

Розвиток методів скорочення затрат на моделювання передбачає створення робастних моделей [3] та нечітких алгоритмів прийняття рішень [4].

Необхідним інструментом аргументації продукту є спрощення виконання роботи з моделювання для технологічного персоналу, неорієнтованого у програмуванні чи створенні структурованої моделі. Існує і інша сторона проблеми, коли фахівець з програмування та створення моделі не розуміє логіки перетворень, що відбуваються на виробництві при зміні продукту.

Серед багатьох альтернативних методів [5] найбільш наочною формою представлення логічної залежності вважається модель у вигляді графу. В той час як побудова графу вимагає значної роботи експертів у предметній області досліджуваного процесу.

Так поширеним методом об'єктно-орієнтованого програмування є реалізація у вигляді графової моделі на мові GraphSet.

Методика побудови графової структури керування вимагає узагальнення концепцій побудови для визначеного кола задач. Оскільки об'єктом дослідження визначено асортиментне виробництво, то наступні дії регулюють правила побудови структури рішень для напряму вдосконалення виробничого асортименту.

Постановка завдання. Пропонується створювати модель характеристик продукту, яка б допомагала перекладати вимоги до характеристик продукту, на технічні завдання виробничої структури.

Отже, відповідно до проведеного аналізу концепцій вдосконалення виробничого плану, технічні завдання виробничим дільницям мають будуватися в наступний спосіб:

- 1) визначити найбільш близький за характеристиками базовий продукт, оскільки асортимент передбачає наявність кількісне вираження відмінностей від типових характеристик продукту;
- 2) означити етапи на яких відбувається формування характеристик та суміжні етапи, що задіяні у їх формуванні;
- 3) визначити характер та межі орієнтованих змін;
- 4) змінити вимоги на контрольних точках напівпродуктів: функціях чи технологічних показниках, в залежності від можливостей контролю;
- 5) перерахувати вимоги до необхідних ресурсів;
- 6) перерахувати циклограму проекту та визначити час виконання;
- 7) у разі незгоди по характеристикам замовлення (терміни, вартість, якість) виконати процедуру оптимізації.

В разі, якщо пункт (2) неможливо виконати в межах існуючого виробництва, то необхідно формувати зовнішнє замовлення та вимоги до нього.

Виклад основного матеріалу. Для зручності у розумінні структурної будови створення проєкцій особливостей технічного завдання - для кожного типового продукту створюється мережа технологічних показників (технологічна мапа) у межах, що можуть бути реалізовані в обладнанні.

Технологічна мапа поділяється станом сировини та типом кінцевого продукту. Вузли мапи відповідають технологічним характеристикам продукту, а орієнтовані ребра – вартості отримання даної характеристики. Для визначення взаємопов'язаних показників, що впливають на показники продукту переглядають технологічний маршрут продукту та додатково залучені ресурси з суміжних етапів (напівпродуктів).

Оскільки структура вартості не відповідає вартості продукту (приклад: залучення більшої кількості обладнання, що буде задіяне частково та зменшення оптової вартості одиниці переробки), то для опису функції зміни фази на виготовлення продукту від зміни характеристик необхідно виконати окрему мережеву мапу. Граф буде незамкненим і орієнтованим, оскільки витрачені кошти чи зусилля не підлягають поверненню, отже маршрут буде адекватним в єдиному напрямку.

При розрахунку орієнтованих ребер мережевої мапи, як функції вартості, де вартість розраховується (1) як собівартість робіт на одиницю продукції у межах продуктивності визначеної робочої одиниці

$$K = a_{\text{вик}} k_{\text{опер}} t_{\text{нор}}, \quad (1)$$

де $a_{\text{вик}}$ - коефіцієнт використання ресурсу;

$k_{\text{опер}}$ - коефіцієнт ціна операції(людино/годин або норма/годин);

$t_{\text{нор}}$ - нормований час виконання операції.

Розрахунок виконується за виробітком робочого часу, за умови погодинної тарифікації. Це спрощує розрахунок при ускладненні структури дублюванням функцій. У разі потреби залучати додатковий ресурс, за необхідним видом діяльності, розраховане ребро може бути дубльованим. Просування мережі у глибину визначає наповнення продукту особливими характеристиками.

Оскільки в наступній моделі має бути припущення щодо усередненої вартості одиниці продукції, то при значному дублюванні типових ребер необхідно перерахувати вартість та норму часу іншого об'єму замовлення:

$$\text{num}(K_i) > n, i \in R, i = 1 \dots \infty, n = \frac{\sum V}{m}, \quad (2)$$

де K_i - вартість типової операції, що використовується в і-те;

V - вартість базового об'єму продукту, m - час, що необхідний для створення норми об'єму продукції.

Межі орієнтованої зміни характеристики визначаються як розкид значень Δg_{e_i} (3) навколо характеристик типового продукту, що прийнятий в базовій моделі:

$$\Delta g_{e_i} = g_{e_{\text{прод}}} - g_{e_i}, \lim g_{e_i} = 1, g_{e_i} \in G_{\text{прод}}, \quad (3)$$

$$\forall \Delta g_{e_i} \xrightarrow{\text{var } e_i} 1, e_i \cup G_{\text{прод}_i}$$

де e_i - характеристика продукту

Формуються висновки, щодо можливості отримання замовлених характеристик продукту в межах паспортних характеристик обладнання (4)

$$\exists \phi, e_i \rightarrow \phi(\Delta g_{e_i}), \phi(\Delta g_{e_i}) \equiv e_{\text{прод}_i}, \quad (4)$$

Оскільки для кожної технічної системи типово застосовується приладдя для контролю аварій та моніторингу станів технологічного об'єкту, то необхідно підготувати вказівки про вузли технологічної системи, що потребують корекції цільових значень X-контролю та автоматизації

$$x \xrightarrow{\text{var } e_i} x'$$

В разі дублювання функцій, підвищення $a_{\text{вик}}$ терміни часу на виготовлення продукту можуть змінюватися, внаслідок чого може бути порушений розклад робіт виставлений для максимального використання обладнання та працівників в продуктових групах

$$t_{\text{нор}_i} \xrightarrow{\text{var } e_i \Rightarrow a_{\text{вик}}, \sum g_e} \Delta t_{\text{нор}_i}.$$

Внаслідок виконаної оцінки структурних змін пов'язана структура може здійснювати рух по вартості

$$V_{G_{\text{прод}_i}} \left\{ \sum G_{\text{прод}_i}, \sum \Delta t_{\text{нор}_i} \right\}.$$

В разі незгоди можна здійснити оптимізацію продукту за методом кумулятивних для визначених характеристик продукту, адже головною задачею автоматизації виробничих систем є максимальна відповідність замовленню, яка в свою чергу створює умови для просування нових продуктів через запропоновану схему замовлень.

Висновки. Подальше використання та розвиток структурного моделювання має забезпечити узгодження мінімальних кроків при зміні технології продукту, мінімізувати помилки та розширити можливості моніторингу станів технологічної системи. Спрощення ланцюгів координації має призвести до зменшення навантаження на обслуговуючий персонал та підвищити ефективність використання обладнання.

Список літератури

1. Щокін В.П. Адаптивне керування агломераційним комплексом на основі авторегресійних структур з регуляризациєю: дис. докт. техн. наук : 05.13.07 / Вадим Петрович Щокін. - Кривий Ріг. - 2012. - 443с.
2. Шубладзе А.М. Управление инерционными динамическими объектами ПИДмл – регуляторами с автоматической компенсацией люфта / А.М. Шубладзе, С.В. Гуляев, А.А. Шубладзе // Приборы и системы. – СПб.- 2009. - №12. - С. 31–34.
3. Яремин Е.Л. Робастные алгоритмы нестационарных систем управления с явно-неявной эталонной моделью [Электронный ресурс] / Е.Л. Яремин // Адаптивное и робастное управление, - 2001.- №3. - с.14. Режим доступа до журналу: <http://www.math.spbu.ru/diffjournal/pdf/j078.pdf>
4. Штовба С. Д. Інформаційна технологія забезпечення надійності алгоритмічних процесів в умовах невизначеності: дис. докт. техн. наук : 05.13.06 / Сергій Дмитрович Штовба. - Вінниця. – 2009. - 407 с.
5. Лисовченко О.И Алгоритм синтеза модели ГПС в объектно-ориентированной среде моделирования [Электронный ресурс] / О.И. Лисовченко, Л.С. Ямпольский, А.А.Лавров, Е.С.Пуховский // АСАУ, - К. – 2001. - №10(38). – С.1-15, Режим доступа до журналу: http://asac.kpi.ua/attachments/asau10/asau10_69_83.pdf

Ivaschuk Vjacheslav, Beljaev Yuriy
National university of food technologies

The article shows the method for creating structural chart of technology that is designed for support operations of technical personnel in the implementation of technology for create batches of plant's product. Necessity for reealization of intellectual support was proved through practical work and the procedure for filling chart of technology for a working with the assortment products was reasoned. Method for a weight of route at the chart of technology estimation was executed. Realizations for monitoring by mowing keep the chart and the optimization by alternative decision were proposed.

Futher advantage of methods concerns by estimation of depth of modeling of cognitive behavior and actuality of reproduce of depth on the chart of thecnology.

decisions accept, assortment batches, chart of technology, intelligent support

Одержано 8.11.14

УДК 621.317.789

В.П.Калінчик, канд. техн. наук, О.А.Петров, канд. техн. наук*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»***П.Г.Плешков, канд. техн. наук***Кіровоградський національний технічний університет*

Підвищення точності вимірювання напруги прямої послідовності

В статті розглянуті принципи побудови вимірювальних перетворювачів напруги прямої послідовності. Показано, що раціональним є комбіноване конструювання приладів, в яких виділення напруги прямої послідовності здійснюється за допомогою фільтрів симетричних складових з наступним цифровим перетворенням і обробкою інформації. Запропоновано введення коректора, побудованого на основі аперіодичної ланки першого порядку, в схему канонічного фільтра симетричних складових напруги прямої послідовності, що дозволяє практично позбутися похибок, викликаних девіацією частоти напруги мережі. Синтезовано універсальний вимірювальний перетворювач контролю рівнів напруги.

якість напруги, напруга прямої послідовності, фільтр симетричних складових, коректор, вимірювальний перетворювач

В.П.Калинчик, канд. техн. наук, А.А.Петров, канд. техн. наук*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»***П.Г.Плешков, канд. техн. наук***Кировоградский национальный технический университет***Повышение точности измерения напряжения прямой последовательности**

В статье рассмотрены принципы построения измерительных преобразователей напряжения прямой последовательности. Показано, что оптимальным является комбинированное конструирование приборов, в которых выделение напряжения прямой последовательности осуществляется с помощью фильтров симметричных составляющих с последующим цифровым преобразованием и обработкой информации. Предложено введение корректора, построенного на основе аперіодического звена первого порядка, в схему канонического фильтра симметричных составляющих напряжения прямой последовательности, позволяющего практически избавиться погрешностей, вызванных девиацией частоты напряжения. Синтезирован универсальный измерительный преобразователь контроля уровней напряжения.

качество напряжения, напряжение прямой последовательности, фильтр симметричных составляющих, корректор, измерительный преобразователь

Вступ. На сучасному етапі розвитку систем електропостачання важливу роль відіграє питання якості напруги на споживачах електричної енергії. Одним з основних показників якості електроенергії по ГОСТ 13109-97 [1] є усталене відхилення напруги. Невідповідність значення цього показника чинним нормам призводить до додаткових втрат електроенергії, скорочення терміну служби електричних машин і апаратів, і, як наслідок, до виникнення значних збитків.

Аналіз стану питання. У трифазних електричних мережах в якості дійсного значення напруги використовується діюче значення напруги прямої послідовності (НПП) основної частоти [1].

Існують наступні групи приладів вимірювання НПП: аналогові, цифрові і комбіновані (аналого-цифрові, цифро-аналогові та інші). Використання чисто аналогових приладів у системах управління електропостачанням не представляється можливим.

Цифрові прилади, в яких використовується квантування миттєвих значень в часі і їх подальша математична обробка, володіють широкими функціональними можливостями. Однак такі прилади досить складні в реалізації і дорогі.

Раціональним є застосування комбінованих приладів, в яких виділення НПП здійснюється аналоговим способом з наступним цифровим перетворенням і обробкою інформації. Найбільш простим способом отримати НПП можна за допомогою фільтрів симетричних складових (ФСС) [2-5]. Застосування ФСС забезпечує високу точність вимірювання, надійність, простоту в експлуатації, мінімальні вартісні і енергетичні характеристики.

Таким чином, ФСС є основною ланкою вимірювального перетворювача рівнів напруги. Однак, ФСС притаманний суттєвий недолік - їх робочі характеристики залежать від частоти напруги мережі.

Постановка завдання. Метою роботи є аналітичне конструювання ФСС інваріантного до девіації частоти напруги мережі.

Викладення основного матеріалу. При вирішенні зазначеного завдання, поряд з методами операційного обчислення і апаратом перетворення Фур'є, будемо користуватися символічним методом розрахунку [6], відповідно до якого будь-яку синусоїдальну систему напруг трифазної електричної мережі можна описати трійкою комплексних чисел, або, що те ж саме - вектором тривимірного унітарного простору U зі скалярним добутком

$$\langle x, y \rangle = \sum_{n=1}^3 x_n \overline{y_n}, \quad x, y \in U,$$

де $x = [x_1, x_2, x_3]^T$, $y = [y_1, y_2, y_3]^T$; $\overline{y_n}$ - число комплексно поєднане з y_n і нормою $\|x\| = \sqrt{\langle x, x \rangle}$.

Нехай рішення розглянутої задачі існує і належить безлічі лінійних електричних кіл із зосередженими параметрами. Тоді, згідно [7], зв'язок між вектором фазних напруг на вході синтезованого ФСС $U^1 = [U_1^1, U_2^1, U_3^1]^T$ і відповідним вектором вихідних напруг $U^2 = [U_1^2, U_2^2, U_3^2]^T$ в режимі холостого ходу буде лінійним, а, отже, може бути описаний рівнянням виду

$$U^2 = AU^1, \quad (1)$$

де A - системна матриця синтезованого ФСС,

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}.$$

Аналогічний зв'язок має місце також і для системи лінійних напруг, тобто

$$U^2 = AU^1, \quad (2)$$

де U^1 - вектор вхідних лінійних напруг;

$$U^1 = [(U_1^1 - U_2^1), (U_2^1 - U_3^1), (U_3^1 - U_1^1)]^T, \quad (3)$$

U^2 - вектор вихідних лінійних напруг;

$$U^2 = [(U_1^2 - U_2^2), (U_2^2 - U_3^2), (U_3^2 - U_1^2)]^T. \quad (4)$$

Перепишучи рівності (3) і (4) вигляді

$$U^1 = (I - J)U^1, U^2 = (I - J)U^2, \quad (5)$$

де

$$I = \begin{bmatrix} 100 \\ 010 \\ 001 \end{bmatrix}, \quad (6)$$

$$J = \begin{bmatrix} 010 \\ 001 \\ 100 \end{bmatrix} \quad (7)$$

та враховуючи їх в співвідношенні (2), отримаємо:

$$(I - J) U^2 = A(I - J) U^1.$$

Звідки, в силу (2) маємо:

$$JU^2 = AJU^1. \quad (8)$$

Помноживши (1) на матрицю J отримаємо

$$JU^2 = JAU^1. \quad (9)$$

Прирівнюючи праві частини рівнянь (8) і (9), отримаємо:

$$AJU^1 = JAU^1. \quad (10)$$

Оскільки співвідношення (10) повинно виконуватися для довільного вектора U^1 , то $JA = AJ$.

Таким чином, системна матриця A синтезованого ФСС і матриця J , обумовлена рівністю (7), повинні бути комутативними. Звідси випливає висновок про те, що матриця A повинна являти собою циркулянт.

Згідно [8], всі циркулянти одного порядку, мають однаковий набір власних векторів, ортонормованих в сенсі скалярного добутку унітарного простору U . Зокрема, для циркулянта третього порядку власні вектори рівні:

$$e_+ = \frac{1}{\sqrt{3}}U_+, \quad (11)$$

$$e_- = \frac{1}{\sqrt{3}}U_-, \quad (12)$$

$$e_0 = \frac{1}{\sqrt{3}}U_0, \quad (13)$$

$$\text{де } U_+ = [1, e^{j4/3\pi}, e^{j2/3\pi}]^T; \quad (14)$$

$$U_- = [1, e^{j2/3\pi}, e^{j4/3\pi}]^T; \quad (15)$$

$$U_0 = [1, 1, 1]^T. \quad (16)$$

При цьому, природно:

$$AU_+ = \lambda_+U_+, \quad (17)$$

$$AU_- = \lambda_-U_-, \quad (18)$$

$$AU_0 = \lambda_0U_0,$$

де $\lambda_+, \lambda_-, \lambda_0$ - власні значення матриці A . Звідси випливає, що системна матриця синтезованого ФСС може бути приведена до діагональної форми за допомогою наступного унітарного перетворення

$$A = U \Lambda U^*, \quad (19)$$

де $U = [e_+, e_-, e_0]^T$;

$$\Lambda = \begin{bmatrix} \lambda_+ & & \\ & \lambda_- & \\ & & \lambda_0 \end{bmatrix};$$

$$U^* = U^T.$$

Вектори e_+, e_-, e_0 утворюють в U ортонормований базис так як є попарно ортогональними і норма кожного з них дорівнює одиниці. Внаслідок цього довільний вектор фазних напруг U^1 може бути представлений у вигляді [7]

$$U^1 = \sqrt{3}(\alpha e_+ + \beta e_- + \gamma e_0), \quad (20)$$

$$\alpha = \frac{1}{\sqrt{3}} \langle U^1, e_+ \rangle,$$

$$\text{де } \beta = \frac{1}{\sqrt{3}} \langle U^1, e_- \rangle,$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{3}} \langle U^1, e_0 \rangle,$$

- фазні напруги, відповідно прямої, зворотної і нульової послідовностей. З урахуванням (11) - (16) співвідношення (20) можна переписати наступним чином:

$$U^1 = \alpha U_+ + \beta U_- + \gamma U_0, \quad (21)$$

визначивши при цьому α, β, γ , як:

$$\alpha = \frac{1}{3} \langle U^1, U_+ \rangle,$$

$$\beta = \frac{1}{3} \langle U^1, U_- \rangle,$$

$$\gamma = \frac{1}{3} \langle U^1, U_0 \rangle,$$

Для системи лінійних напруг у відповідності з (5) и (21) можна записати

$$U^1 = aU_+ + bU_-, \quad (22)$$

де $a = \sqrt{3}e^{j\pi/6}\alpha$ - лінійна напруга прямої послідовності;

$b = \sqrt{3}e^{-j\pi/6}\beta$ - лінійна напруга зворотної послідовності.

Використовуючи розкладання (22), перепишемо співвідношення (2) у вигляді

$$U^2 = aAU_+ + bAU_-, \quad (23)$$

звідки в силу (17) і (18) маємо:

$$U^2 = a\lambda_+U_+ + b\lambda_-U_-$$

Зазначені міркування ставляться як до ФСС прямої, так і зворотної послідовностей напруг.

Нас цікавлять рівні напруг прямої послідовності. Виходячи з цього, нижче наводиться синтез фільтра НПП, інваріантного до змін частоти напруги мережі.

Очевидно, що ФСС з системною матрицею, яка визначається співвідношенням (19) буде ідеальним ФСС НПП, якщо при довільному вхідному сигналі U^1 , сигнал на його виході з точністю до фази збігатиметься з симетричною складовою НПП входу, тобто з вектором aU_+ . Виходячи з цього і, беручи до уваги співвідношення (17) і (18),

приходимо до висновку, що власні значення системної матриці ідеального ФСС НПП λ_+ і λ_- повинні бути рівні

$$\lambda_+ = e^{j\Psi}, \quad \Psi \in [0, 2\pi],$$

$$\lambda_- = 0.$$

При цьому на фазу Ψ , як і на власне значення λ_0 , відповідних обмежень не накладається.

Позначивши системну матрицю ідеального ФСС НПП через A_+ , її можна факторизувати у вигляді

$$A_+ = U \begin{bmatrix} e^{j\Psi} & & \\ & 0 & \\ & & \lambda_0 \end{bmatrix}. \quad (24)$$

Однак, хоча ідеальний ФСС НПП і є інваріантний до девіації частоти, він фізично не здійснений.

Це випливає з того, що елементи матриці A_+ не мають властивостей ермітової симетрії [7]. Іншими словами, ідеальний ФСС НПП не може бути сконструйований на основі лінійних електричних кіл із зосередженими параметрами.

Між тим, не представляється труднощів побудувати фільтр, системна матриця якого на деякій фіксованій частоті (зокрема на номінальній частоті мережі) при деяких значеннях параметрів Ψ і λ_0 (див. формулу (24)) в точності б збігалася з системною матрицею A_+ .

Як приклад такого фільтра може служити найпростіший канонічний ФСС НПП [5], схема якого приведена на рис. 1.

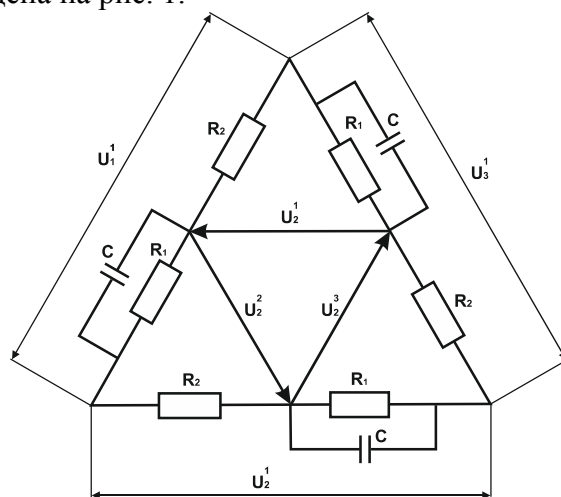


Рисунок 1 – Канонічний ФСС НПП

Системна матриця даного ФСС в зображеннях по Лапласу має вигляд

$$\Phi_+ = \frac{1}{(R_1 + R_2) + R_1 R_2 C_p} \begin{bmatrix} R_1 & R_2(1 + R_1 C_p) & 0 \\ 0 & R_1 & R_2(1 + R_1 C_p) \\ R_2(1 + R_1 C_p) & 0 & R_1 \end{bmatrix}$$

де p - параметр Лапласа.

В частотній області Φ_+ відповідає матриця

$$\Phi_+ = \frac{1}{(R_1 + R_2) + j\omega R_1 R_2 C} \begin{bmatrix} R_1 & R_2(1 + j\omega R_1 C) & 0 \\ 0 & R_1 & R_2(1 + j\omega R_1 C) \\ R_2(1 + j\omega R_1 C) & 0 & R_1 \end{bmatrix}, \quad (25)$$

де ω - кругова частота. Згідно [5] розглянутий фільтр буде ФСС НПП, якщо

$$R_1 = 2R_2, \quad (26)$$

$$C = \frac{\sqrt{3}}{\omega_0 R_1}, \quad (27)$$

де $\omega_0 = 2\pi f_0$. Тут f_0 – Номінальна частота мережі. Враховуючи (26) і (27) в (25), маємо:

$$\Phi_+ = \frac{1}{\sqrt{3} \left[\frac{\sqrt{3}}{2} + j \frac{1}{2} \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right) \right]} \times \begin{bmatrix} 1 & \left[\frac{1}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2} \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right) \right] & 0 \\ 0 & 1 & \left[\frac{1}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2} \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right) \right] \\ \left[\frac{1}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2} \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right) \right] & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (28)$$

Звідси випливає, що системна матриця канонічного ФСС НПП на номінальній частоті мережі буде рівнятися

$$\Phi_+|_{\omega=\omega_0} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} e^{-j\frac{\pi}{6}} & e^{j\frac{\pi}{6}} & 0 \\ 0 & e^{-j\frac{\pi}{6}} & e^{j\frac{\pi}{6}} \\ e^{j\frac{\pi}{6}} & 0 & e^{-j\frac{\pi}{6}} \end{bmatrix}.$$

Так як матриця $\Phi_+|_{\omega=\omega_0}$ є циркулянтном, то для неї справедливо розкладання (19). Знаходячи власні значення $\Phi_+|_{\omega=\omega_0}$ приходимо висновку, що

$$\Phi_+|_{\omega=\omega_0} = U \begin{bmatrix} e^{-j\frac{\pi}{3}} & & \\ & 0 & \\ & & 1 \end{bmatrix} U^* \quad (29)$$

Порівнюючи (24) і (29), можна зробити висновок, що канонічний ФСС НПП, схема якого приведена на рис. 1, при номінальній частоті мережі являє собою ідеальний ФСС НПП, а значить

$$\Phi_+|_{\omega=\omega_0} = A_+. \quad (30)$$

Однак при відхиленні частоти мережі від номінального значення системна матриця канонічного ФСС НПП не співпадатиме з матрицею ідеального фільтра.

Для розгляду цього питання введемо параметр відхилення частоти від напруги мережі

$$\varepsilon = \frac{\omega - \omega_0}{\omega_0} \quad (31)$$

і розкладемо матрицю (28) в ряд за степенями ε . Тоді з урахуванням (30) можна записати

$$\Phi_+ = A_+ - \varepsilon \frac{e^{j\frac{\pi}{6}}}{2\sqrt{3}}(I - J) + O(\varepsilon^2), \quad (32)$$

де символ $O(\varepsilon^2)$ означає матрицю, елементи якої мають порядок малості ε^2 .

На практиці параметр ε лише незначно відрізняється від нуля. Тому в розкладанні (32) достатньо обмежитися двома членами, не враховуючи величин вище пер-шого порядку малості, тобто

$$\Phi_+ = A_+ - \varepsilon \frac{e^{j\frac{\pi}{6}}}{2\sqrt{3}}(I - J). \quad (33)$$

Грунтуючись на отриманих співвідношеннях, визначимо зв'язок між векторами лінійних напруг на вході і на виході канонічного ФСС НПП в режимі холостого ходу. Для цього в (23) достатньо замість матриці A підставити матрицю Φ_+ , визначеною за (33). В результаті отримаємо

$$U^2 = a \left[A_+ - \varepsilon \frac{e^{j\frac{\pi}{6}}}{2\sqrt{3}}(I - J) \right] U_+ + \varepsilon \left[A_- - \varepsilon \frac{e^{j\frac{\pi}{6}}}{2\sqrt{3}}(I - J) \right] U_-. \quad (34)$$

Зауважимо, що наслідком формул (29) і (30) є співвідношення:

$$A_+ U_+ = e^{-j\frac{\pi}{3}} U_+, \quad (35)$$

$$A_+ U_- = 0, \quad (36)$$

де $\theta = [0, 0, 0]^T$. Крім того, наважко перевірити, що

$$(I - J)U_+ = \sqrt{3}e^{j\frac{\pi}{6}}U_+, \quad (37)$$

$$(I - J)U_- = \sqrt{3}e^{-j\frac{\pi}{6}}U_-, \quad (38)$$

Враховуючи (35)-(38) в (34), отримаємо:

$$U^2 = a \left[e^{-j\frac{\pi}{3}} - \varepsilon \frac{e^{j\frac{\pi}{3}}}{2}(I - J) \right] U_+ + \frac{1}{2} \varepsilon U_-. \quad (39)$$

Останнім доданком в (39) можна знехтувати, так як

$$|\varepsilon| \ll |a|, \quad (40)$$

а, отже, замість формули (39) можна користуватися наближеною формулою виду

$$U^2 = a \left[e^{-j\frac{\pi}{3}} - \varepsilon \frac{e^{j\frac{\pi}{3}}}{2} \right] U_+, \quad (41)$$

максимальна відносна похибка якої не перевищує 0,05%.

З (41) випливає, що симетрична складова НПП вхідного сигналу з точністю до фази дорівнює

$$aU_+ = \frac{1}{\left| 1 - \varepsilon \frac{e^{j2\pi/3}}{2} \right|} U^2,$$

звідки випливає висновок, який можна сформулювати так.

Нехай

$$\Psi_+ = \frac{1}{\left| 1 - \varepsilon \frac{e^{j2\pi/3}}{2} \right|}$$

- системна матриця деякого гіпотетичного шестиполіусника, вхідний опір якого можна вважати нескінченним.

Тоді каскадне з'єднання канонічного ФСС НПП і шестиполіусника з системною матрицею ψ_+ (рис. 2) представлятиме собою ФСС НПП, який інваріантний в другому наближенні до дев'яти частоти мережі живлення.

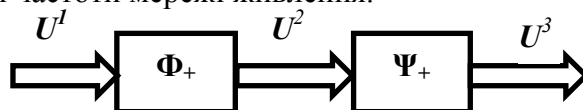


Рисунок 2 – Блок-схема ФСС НПП інваріантний в другому наближенні до дев'яти частоти

Структура матриці ψ_+ свідчить про те, що відповідний шестиполіусник можна інтерпретувати як три незалежних і ідентичних ланки з амплітудно-частотними характеристиками (АЧХ) виду

$$\Psi_+ = \frac{1}{\left| 1 - \varepsilon \frac{e^{j2\pi/3}}{2} \right|}. \quad (42)$$

Таким чином, задача конструювання ФСС НПП інваріантного до зміни частоти напруги мережі зводиться до синтезу звичайної лінійної ланки з АЧХ, яка визнається співвідношенням (42).

Однак, АЧХ (42), відповідає фізично не здійсненій лінійній ланці, так як функція ψ_+ не має властивостей ермітової симетрії. Тому замість нездійсненої ланки з АЧХ (42) слід використовувати ланку (коректор), яка фізично реалізується і АЧХ якої в деякому сенсі була б близька до функції ψ_+ .

Для побудови коректора скористаємося наступними міркуваннями. Будемо виходити з того, що АЧХ коректора K_+ повинна бути близька до функції ψ_+ в достатньо вузькому діапазоні частот. Звідси випливає виконання співвідношень

$$K_+ \Big|_{\omega=\omega_0} = \psi \Big|_{\omega=\omega_0},$$

$$\dot{K}_+ \Big|_{\omega=\omega_0} = \dot{\psi} \Big|_{\omega=\omega_0},$$

де $\dot{\phi} = \frac{\partial \phi}{\partial \omega}$.

Ці співвідношення з урахуванням формули (42) можуть бути переписані так:

$$K_+ \Big|_{\omega=\omega_0} = 1, \quad (43)$$

$$\dot{K}_+ \Big|_{\omega=\omega_0} = -\frac{1}{4\omega_0}. \quad (44)$$

Покажемо, що в якості коректора, який задовольняє вимогам (43), (44) може служити аперіодична ланка першого порядку.

Згідно [9] АЧХ аперіодичної ланки першого порядку рівняється

$$K_+ = \frac{K}{\sqrt{1+T^2\omega^2}},$$

де K , T - відповідно коефіцієнт передачі і стала часу ланки. А отже,

$$K_+ \Big|_{\omega=\omega_0} = \frac{K}{\sqrt{1+T^2\omega_0^2}}, \quad (45)$$

$$\dot{K}_+ \Big|_{\omega=\omega_0} = \frac{KT^2\omega_0}{(1+T^2\omega_0^2)^{3/2}}. \quad (46)$$

Комбінуючи (45), (46), (43) і (44) приходимо до наступної системи рівнянь щодо K і T :

$$\begin{aligned} \frac{K}{\sqrt{1+T^2\omega_0^2}} &= 1 \\ \frac{K\omega_0 T^2}{\sqrt{(1+T^2\omega_0^2)^2}} &= \frac{1}{4\omega_0}. \end{aligned} \quad (47)$$

Для того, щоб аперіодична ланка була фізично реалізована, необхідно і достатньо щоб

$$T \geq 0. \quad (48)$$

Вирішуючи систему рівнянь (47) і враховуючи при цьому умова (48) приходимо до наступних значень параметрів K і T :

$$K = \frac{2}{\sqrt{3}}, \quad (49)$$

$$T = \frac{1}{\sqrt{3}\omega_0}. \quad (50)$$

Про якість коригуючої дії аперіодичної ланки першого порядку з параметрами, що відповідають співвідношенням (49) і (50), можна судити за даними, наведеними в таблиці 1.

Таблиця 1 – Порівняння АЧХ канонічного ФСС НВП без коректора і з коректором

Частота Гц	АЧХ канонічного ФСС НПП	
	До корекції	Після корекції
48.0	0.9901515	0.999999
48.2	0.9911225	0.999999
48.4	0.9920967	0.999999
48.6	0.9930740	0.999999
48.8	0.9940543	0.999999
49.0	0.9950376	0.999999
49.2	0.9960240	0.999999
49.4	0.9970135	0.999999
49.6	0.9980060	0.999999
49.8	0.9990015	0.999999
50.0	1.000000	1.000000
50.2	1.001001	0.999999
50.4	1.002005	0.999999
50.6	1.003013	0.999999
50.8	1.004023	0.999999
51.0	1.005037	0.999999
51.2	1.006053	0.999999
51.4	1.007072	0.999999
51.6	1.008095	0.999999
51.8	1.009120	0.999999
52.0	1.010148	0.999999

Аналіз табл. 1 показує, що введення коректора в канонічний ФСС НПП промислової частоти дозволяє знизити відносну похибку вимірювань, викликану відхиленням частоти мережі живлення в діапазоні 48.. 52 Гц, з 1,01% до 0,001%.

На підставі викладеного та аналізу [10,11] синтезовано вимірювальний перетворювач рівнів напруги, структурна схема якого представлена на рис.3.

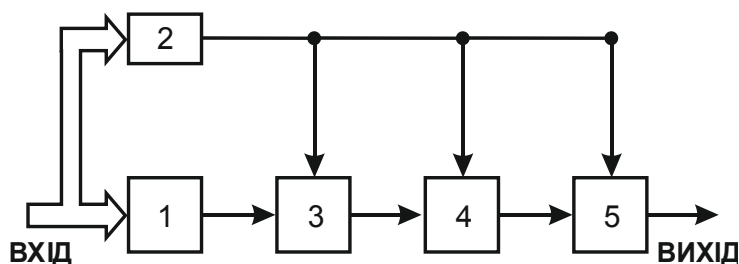


Рисунок 3 – Структурна схема вимірювального перетворювача рівнів напруги

На даній схемі: 1 - ФСС НПП; 2 - фільтр напруги нульової послідовності (ННП); 3 - частотний коректор; 4 - фільтр нижніх частот (ФНЧ); 5 - вихідний блок.

Частотний коректор 3 може бути виконаний по схемі представлений на рис.4. При цьому значення $R1$, $R2$ і C повинні відповідати співвідношенням:

$$\frac{R1}{R2} = \frac{2}{\sqrt{3}}, \quad R2C = \frac{1}{\sqrt{3}\omega_0} .$$

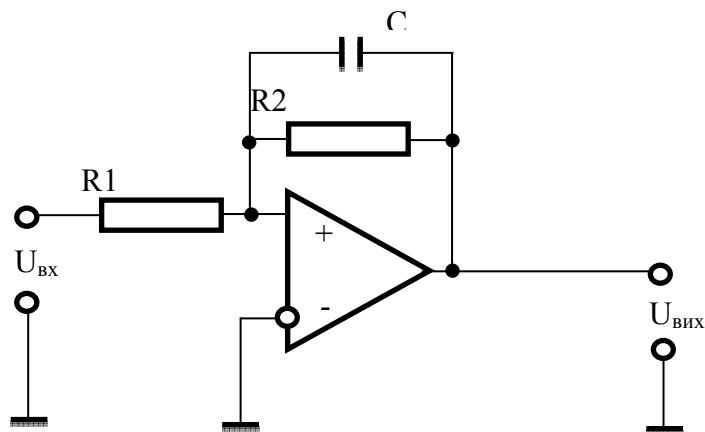


Рисунок 4 – Структурна схема частотного коректора

В схемі по рис.3 фільтр ННП здійснює виділення напруги нульової послідовності і тим самим усуває її вплив на результати вимірювань НПП. В частотному коректорі 3 здійснюється корекція АЧХ ФСС 1 при зміні частоти напруги мережі. Для виключення впливу на результати вимірювань вищих гармонійних складових в перетворювач введений ФНЧ 4, що має максимально плоску АЧХ в смузі частот основної гармоніки і характеризується досить високим придушенням вищих гармонійних складових. Вихідний блок 5 включає в себе активний випрямляч і перетворювач напруги в частоту (ПНЧ) для забезпечення інформацією територіально віддалені технічні засоби.

Висновок. Введення коректора, побудованого на основі аперіодичної ланки першого порядку, в схему канонічного фільтра симетричних складових напруги прямої послідовності дозволяє практично позбутися похибок, викликаних девіацією частоти напруги мережі. Застосування запропонованого підходу дозволило синтезувати універсальний вимірювальний перетворювач контролю рівнів напруги.

Список літератури

1. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: ГОСТ 13 109-97. Межгосударственный стандарт. – [Введен 01.01.2000-01-01]. – К.: Изд-во стандартов, 1998. – 31 с.
2. А.С. 718810 СССР, МКИ³ G 01 R 29/16. Устройство для измерения параметров качества электроэнергии/ В.Г.Цывинский, Д.К.Маков (СССР). – № 25557685/18-21; заявл. 23.12.77; опубл. 28.02.80. Бюл. № 8.
3. А.С. 1105833 СССР, МКИ³ G 01 R 29/16. Фильтр симметричных составляющих/В.В.Брайко, С.Г.Таранов (СССР). – № 2627663/18-21; заявл. 02.06.78; опубл. 30.07.84, Бюл. № 28.
4. А.С. 1415206 СССР, МКИ³ G 01 R 29/16. Фильтр симметричных составляющих трехфазного напряжения/В.В.Брайко, С.Г.Таранов, Ю.Ф.Тесик, Г.Н.Тычина (СССР). – № 4160608/24-21; заявл. 12.2.86; опубл. 07.08.88, Бюл. № 29.
5. Фабрикант В.Л. Фильтры симметричных составляющих / Фабрикант В.Л. – М.: Госэнергоиздат, 1963. – 276 с.
6. Г.В. Зевеке. Основы теории цепей / Г.В. Зевеке, П.А. Ионкин, А.В. Нетушил, С.В.Страхов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 527 с.
7. Ильин В.А. Линейная алгебра / Ильин В.А., Позняк Э.Г. - М.: Наука, 1984. – 294 с.
8. Беллман Р. Введение в теорию матриц / Беллман Р. – М.: Наука, 1976. – 560 с.
9. Титце У. Полупроводниковая схемотехника / Титце У., Шенк К. – М.: Мир, 1983. – 512 с.
10. Разработка средств контроля показателей качества электроэнергии: Отчет о НИР / Калинин В.П., Кудовбенко К.П., Купчишин Е.М. и др. – Киевский политехнический институт. – № ГР 018600051782; Инв. № 02890030560. – М., 1989. – 48 с.

11. Маков Д.К. Повышение точности измерения несимметрии трехфазного напряжения/ Маков Д.К., Поворознюк Н.И., Виноградов Ю.М., Услонцев А.Б.//Вестник НТУ «ХПИ», Серия: информатика и моделирование. – 2010. – № 21, – С. 111-116.

Vasil Kalinchyk, Oleksandr Petrov

National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”

Petro Pleshkov

Kirovohrad National Technical University

Improving the accuracy for positive-sequence voltage measurement

The article describes the principles for plotting measurement transducers of positive-sequence voltage. It is shown that the optimal solution is integrated designing devices which release the positive-sequence voltage by using sequence voltage filters with sequential digital conversion and processing information. It is suggested to input in a scheme of a canonical sequence voltage filter for positive-sequence voltage a corrector, built on the basis of a first-order lag block.

The filter is allowing virtually eliminate errors caused by frequency deviation voltage. A universal transducer to control stress levels is synthesized.

voltage quality, positive-sequence voltage, sequence filter, corrector, measurement transducer

Одержано 17.12.14

УДК 621.315.175

О. А. Козловський, асист.

Кіровоградський національний технічний університет, kaf.etsem@gmail.com

Удосконалення первинного вимірювального перетворювача ожеледоутворення для повітряних ліній електропередачі

Запропоновано удосконалений первинний вимірювальний перетворювач ожеледоутворення для систем технічної діагностики повітряних ліній електропередачі. Доведено, що довжина первинного вимірювального перетворювача виконаного на основі неізолизованого скрученого проводу контрольованої ділянки повітряної лінії електропередачі залежить від кількості допоміжних електродів. Отримано математичний вираз, що дозволяє визначити мінімальну довжину перетворювача при збереженні точності вимірювань.

повітряна лінія електропередачі, обледеніння проводів, первинний вимірювальний перетворювач

А. А. Козловский, асист.

Кировоградский национальный технический университет

Усовершенствование датчика гололедообразования для воздушных линий электропередачи

Предложен усовершенствованный датчик гололедообразования для систем технической диагностики воздушных линий электропередачи. Доказано, что длина датчика, выполненного на основе неизолированного скрученного провода контролируемого участка воздушной линии электропередачи зависит от количества вспомогательных электродов. Получено математическое выражение, позволяющее определить минимальную длину преобразователя при сохранении точности измерений.

воздушная линия электропередачи, обледенение проводов, датчик гололедообразования

Вступ. Щорічно у електричних мережах України відбуваються технологічні порушення у роботі повітряних ліній електропередачі внаслідок дії ожеледно-вітрових навантажень. При цьому найбільш вразливими до кліматичних впливів виявляються лінії розподільних електромереж. Це пов'язано з тим, що більшість із них споруджувалась по занижених кліматичних нормах, мають значну сумарну протяжність, практично вичерпали свій технічний ресурс, а наявні засоби захисту від ожеледоутворення використовуються неефективно.

Зважаючи на епізодичність дії ожеледно-вітрових навантажень пріоритетним напрямком захисту повітряних ліній в умовах обледеніння, визнано проведення плавки ожеледі електричними струмами короткого замикання. Формування оптимальної стратегії проведення плавки ожеледі, тобто своєчасний початок і закінчення процесу плавки на різних лініях, вибір черговості прогріву декількох ліній від одного джерела живлення, можливе лише при наявності достовірної, а головне своєчасної інформації про початок процесу утворення ожеледно-паморозевих відкладень на проводі повітряної лінії.

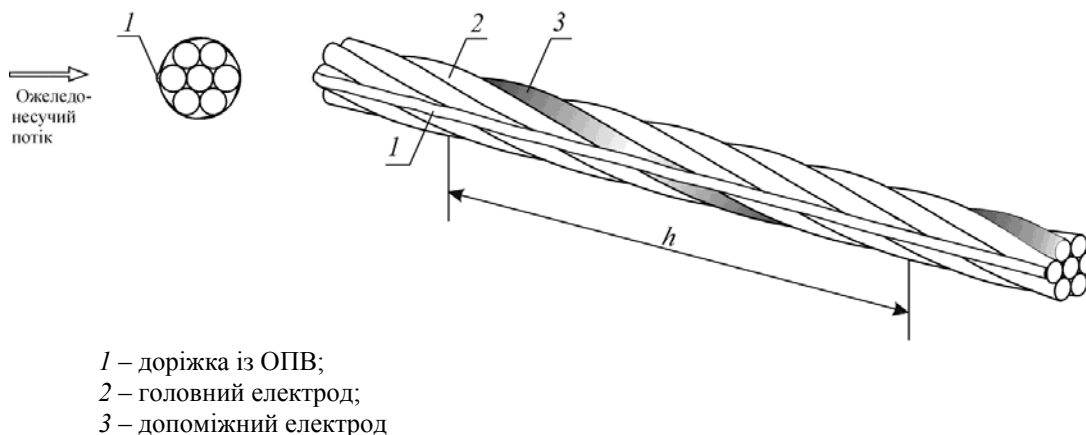
Постановка проблеми. В системах телевимірювань ожеледних навантажень [1, 2], що знаходяться в експлуатації, визначення початку процесу обледеніння на ранніх стадіях здійснюється безконтактними вимірювальними перетворювачами ожеледного навантаження. Поріг спрацювання яких складає близько 5 мм еквівалентного шару льоду на проводі [2], що пов'язано з відлаштуванням перетворювачів від дії поривів вітру на провід. Таким чином, отримана від вагових перетворювачів інформація про початок процесу утворення ожеледно-паморозевих відкладень є запізненою, а проведення плавки ожеледі виявляється малоефективним або взагалі неуспішним.

Тому питання розробки та вдосконалення первинних вимірювальних перетворювачів раннього визначення обледеніння проводів повітряних ліній електропередачі є актуальними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існуючі засоби контролю, що можуть бути використанні для раннього визначення наявності ОПВ мають ряд суттєвих недоліків: відмінність фізичних параметрів первинних вимірювальних перетворювачів (ПВП) від параметрів контрольованого проводу повітряної лінії, хибні спрацювання із-за зміни вологості повітря та низьку чутливість [3].

У [3, 4] запропоновано первинний вимірювальний перетворювач, що містить групу електродів виконану у вигляді відрізка проводу, тієї ж марки, що і провід контрольованої ділянки повітряної лінії електропередачі (рис. 1). Довжина робочої частини ПВП рівна повному кроку повиву h проводу, оскільки при цьому відбувається гарантоване перекриття доріжкою ОПВ головного та допоміжного електродів (рис. 1, 3), незалежно від напрямку ожеледонесучого потоку. Фіксація появи ОПВ здійснюється шляхом контролю електричного опору між головним (рис. 1, 2) та ізольованим від нього допоміжним електродом (рис. 1, 3).

Незважаючи на високу чутливість, даний ПВП має низькі масогабаритні показники, що значно погіршуються зі зростанням кратності кроку скрутки і перетину проводу повітряної лінії електропередачі [5].



1 – доріжка із ОПВ;
 2 – головний електрод;
 3 – допоміжний електрод

Рисунок 1 – Конструкція первинного вимірювального перетворювача

Постановка завдання. Метою досліджень є розробка первинного вимірювального перетворювача ожеледоутворення для повітряних ліній електропередачі з покращеними масогабаритними показниками, шляхом скорочення його довжини при збереженні точності вимірювань.

Виклад основного матеріалу. Скоротити довжину первинного вимірювального перетворювача можливо збільшивши кількість допоміжних електродів.

З математичної точки зору, задача зводиться до знаходження мінімальної довжини l_{\min} системи із n дротин, при якій існує точка перетину k однієї з m ізолюваних дротин площиною Oxz , що паралельна повздожній осі (Oz) ПВП.

Розглянемо випадок коли n ділиться націло на m , причому $n > m$, а центральний кут α між ізолюваними дротинами рівний $2\pi/m$ (рис. 2). Очевидно, що мінімальна довжина ПВП буде коли $\angle\alpha_1 = \angle\alpha_2 = \dots = \angle\alpha_m$, а отже, довжини ізолюваних дротин теж будуть рівні.

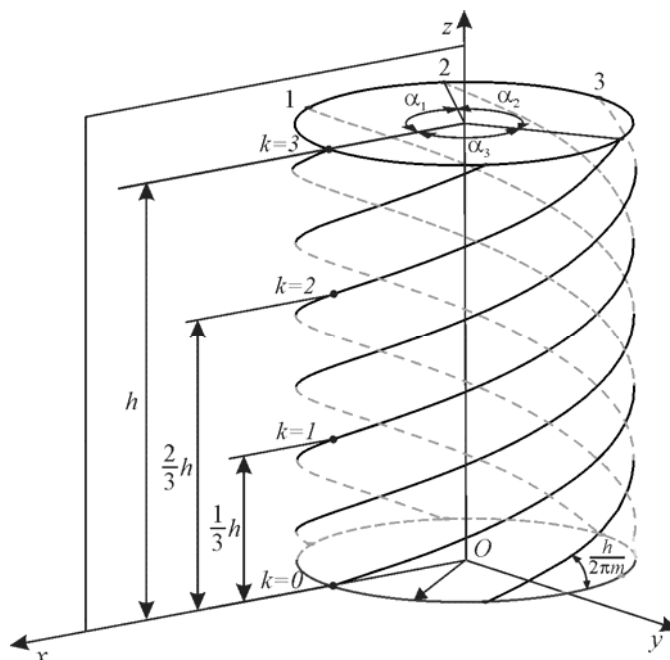


Рисунок 2 – До знаходження l_{\min} ПВП
 (випадок при $n = 6$, $m = 3$, $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 120^\circ$)

Дротину проводу повітряної лінії електропередачі можливо описати рівнянням циліндричної гвинтової лінії

$$\left. \begin{aligned} x &= r \cos t, \\ y &= r \sin t, \\ z &= t \frac{h}{2\pi} \end{aligned} \right\}$$

де r – радіус кругового циліндра;

t – параметр;

h – крок гвинтової лінії;

$h/2\pi$ – кут підйому гвинтової лінії;

а ожеледну доріжку – рівнянням площини $y = 0$.

Для знаходження можливих точок перетину n гвинтових ліній з площиною Oxz , при умові, що $x > 0$, $0 \leq z \leq h$ і $h \leq 1$ розв'яжемо наступні змішані системи

$$\left. \begin{aligned} x &= r \cos \left(t + \frac{2\pi k}{m} \right), \\ y &= r \sin \left(t + \frac{2\pi k}{m} \right), \\ l &= \frac{h}{2\pi} t, \\ y &= 0, \\ x &> 0, 0 \leq z \leq h. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де k – параметр, $k = 0, 1, \dots, m-1$;

l – довжина первинного вимірювального перетворювача;

Звідки

$$r \sin \left(t + \frac{2\pi k}{m} \right) = 0.$$

Умовам системи (1) відповідають значення параметра t

$$t = \left(-\frac{2\pi k}{m} + \nu\pi \right), \quad \nu \in \mathbb{Z},$$

при $\nu = 2$ отримаємо

$$t = 2\pi \left(1 - \frac{k}{m} \right), \quad (2)$$

де $k = 0, 1, \dots, m$.

Підставивши (2) у (1) отримаємо довжину ПВП, за умови перетину площиною Oxz однієї з m ізольованих дротин

$$l = h - \frac{kh}{m} \quad (3)$$

Аналіз конструкції проводів з перетинами від 35 до 185 мм² (по алюмінієвій частині), виявив, що їх зовнішній шар має парну кількість дротин, за виключенням проводів АС-150/19 та АС-185/29.

Результати розрахунку довжини первинного вимірювального перетворювача при

$n = 6$, $m = 3$, $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3$ (проводи марок А-35 – А-95, АС-35/6,2 – АС-95/16 [6]) представлені на рис. 2. У цьому випадку, можливі довжини первинного вимірювального перетворювача складуть h , $2/3h$, $h/3$, звідки, його мінімальна довжина, за умови гарантованого перекриття одного із допоміжних електродів ожеледною доріжкою становитиме

$$l_{\min} = \frac{h}{3}, \text{ при } \angle\alpha_1 = \angle\alpha_2, \dots, \angle\alpha_m.$$

Висновки. Доведено, що довжина первинного вимірювального перетворювача виконаного на основі неізолюваного скрученого проводу контрольованої ділянки повітряної лінії електропередачі залежить від кількості допоміжних електродів. Отримано математичний вираз, що дозволяє визначити мінімальну довжину первинного вимірювального перетворювача при збереженні точності вимірювання.

Застосування запропонованого первинного вимірювального перетворювача у складі системи технічної діагностики обледеніння проводів повітряних ліній електропередачі дозволяє знизити трудомісткість його монтажу та експлуатаційні витрати на систему в цілому.

Список літератури

1. Левченко И.И. Система телеизмерения гололедных нагрузок на воздушных линиях гололедных нагрузок на воздушных линиях электропередачи 6-35 кВ / И.И. Левченко, А.А. Аллилуев, А.В. Лубенец, Ф.А. Дьяков // Электрические станции. – 1999. – №8. – С.43–47.
2. Шевченко Н.Ю. Внедрение автоматизированной системы наблюдения за гололедом в Камышинских электрических сетях / Н.Ю. Шевченко, Ю.В. Лебедева, Н.П. Хромов, Сошинов А.Г. // Современные проблемы науки и образования. – 2009. – №5. – С. 127-132.
3. Козловський О.А. Розробка та комп'ютерне моделювання режимів роботи первинного вимірювального перетворювача ожеледоутворення / О.А. Козловський, М.В. Кубкін, І.С. Гришук Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць, Кіровоград: Кіровоградський національний технічний університет, 2012. – Вип. 24, Ч.1 – С. 308 – 314.
4. Пат. 49394 Україна МПК (2009), Н 02 G7/16. Сигналізатор обледеніння дротів повітряних ліній електропередачі / Козловський О.А., Орлович А.Ю.; заявник і патентовласник Кіровоградський державний технічний університет. – № 200911992; заяв. 23.11.2009; опубл. 26.04.2010, Бюл. № 8.
5. Пат. 83138 Україна МПК (2006.01), Н 02 G7/16. Сигналізатор обледеніння дротів повітряних ліній електропередачі / Козловський О.А.; заявник і патентовласник Кіровоградський державний технічний університет. – № 201303288; заяв. 18.03.2013; опубл. 27.08.2013, Бюл. № 16.
6. ГОСТ 839-80. Провода неизолированные для воздушных линий электропередачи. – Взамен ГОСТ 839-74; Введ. с 23.06.80. – Москва: Изд-во стандартов, 2002. – 21 с.

Oleksandr Kozlovskyi

Kirovograd National Technical University

Primary measuring icing detector improving for overhead powerlines

The article is focused on primary measuring icing detector for overhead powerlines improving, by reducing its length while maintaining fixed measurement accuracy.

In the article were proved that primary measuring icing detector length based on unisolated twisted overhead powerlines wire depend of the auxiliary electrodes number.

Found mathematical expression, that let determine the minimal length of detector maintaining its measures accuracy.

Expulation of improved primary measuring icing detector in technical icing diagnostics system of overhead powerlines wires let reduce its complexity and maintenance cost of all system.

overhead powerlines, wires icing, primary measuring icing

Одержано 30.04.15

УДК 621.391

Р.М. Минайленко, канд. техн. наук, О.Г. Собінов, викл., К.В. Буравченко, асп.
Кіровоградський національний технічний університет, aron70@rambler.ru

Визначення класифікаційних структурних факторів, які впливають на технологічний процес сушіння зерна в баштових сушарках

Розглядається проблема визначення класифікаційних структурних факторів, що впливають на технологічний процес сушіння зерна в баштових сушарках. В результаті аналізу теорії, практики та досвіду експлуатації баштових сушарок запропоновано класифікаційну структуру таких факторів. Показано, що побудова математичної моделі процесу сушіння баштовою сушаркою, при застосуванні класичних математичних методів і з урахуванням всіх факторів, вимагає проведення великої кількості досліджень і експериментів та оснащення системи додатковими засобами контролю, результатом чого буде здорожчання системи керування. Запропоновано метод отримання рішень шляхом пошуку подібних проблемних ситуацій у пам'яті ЕОМ, яка зберігає попередній досвід рішення задачі, а знайдені рішення адаптуються до нових умов. На пошук рішень на основі цього методу будуть направлені подальші дослідження метою яких є створення автоматизованої системи керування технологічним процесом сушіння зерна баштовими сушарками.

баштова сушарка, процес сушіння зерна, структурні фактори, система керування

Р.М. Минайленко, канд. техн. наук, О.Г. Собінов, викл., К.В. Буравченко, асп.
Кіровоградский национальный технический университет

Определение классификационных структурных факторов, воздействующих на технологический процесс сушки зерна в башенных сушилках

Рассматривается проблема определения квалификационных факторов, влияющих на технологический процесс сушки зерна башенными сушилками. В результате анализа теории, практики и опыта эксплуатации башенных сушилок предложено квалификационную структуру таких факторов. Показано, что построение математической модели процесса сушки башенной сушилкой, при использовании классически математических методов и с учетом всех факторов, требует проведения большого количества исследований и экспериментов, что приведет к удорожанию системы управления. Предложено метод получения решений путем поиска подобных проблемных ситуаций на основе предыдущего опыта решения задач хранимых в памяти и адаптация этих решений к новым условиям. На поиск таких решений будут направлены дальнейшие исследования, целью которых будет создание автоматизированной системы управления технологическим процессом сушки зерна башенными сушилками.

башенная сушилка, процесс сушки зерна, структурные факторы, система управления

Актуальність досліджень. На основі штучного інтелекту вирішується питання визначення класифікаційних структурних факторів, які впливають на технологічний процес сушіння зерна в баштових сушарках. Незважаючи велику різноманітність сучасних контролюючих електронних та комп'ютерних елементів, використуваних для створення автоматизованих систем керування процесом сушіння зерна баштовими сушарками (АСКТПСЗБШ), проблема створення таких систем залишається не повністю вирішеною. Це пов'язано зі складністю визначення і урахування всіх важливих факторів, що впливають на процес сушіння зерна баштовими сушарками.

Постановка проблеми. Врахування кваліфікаційних факторів, які впливають на процес сушіння зерна баштовими сушарками є основою вирішення проблеми створення АСК ТПСЗ БШ. Побудова такої АСК дозволить зробити процес сушіння зерна повністю автоматизованим, а втручання оператора в процес – мінімальним

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В літературних джерелах наявна значна кількість досліджень, присвячених проблемі врахування кваліфікаційних факторів, які впливають на процес сушіння зерна баштовими сушарками [1, 2, 3]. Автори розглядають питання автоматизації управління баштовими сушарками [1], методи опису кінетики сушіння [2], макрокінетику процесу сушіння [3, 4]. Розглядаються алгоритми визначення кваліфікаційних структурних факторів, для рішення задач класифікації [4–10]. Результатів дослідження по визначенню кваліфікаційних факторів, які впливають на процес сушіння зерна баштовими сушарками, з метою створення АСК ТПСЗ БШ яка б всі їх враховувала у літературних джерелах не виявлено.

Вирішення невирішеної раніше частини загальної проблеми. До невирішеної раніше частини загальної проблеми відноситься завдання визначення класифікаційних структурних факторів, які впливають на ТПСЗ, а також методу визначення таких факторів.

Постановка завдання. Метою досліджень є створення інтелектуальної АСК ТПСЗ БШ, шляхом визначення класифікаційних структурних факторів, які впливають на ТПСЗ та створення АСК процесом сушіння зерна, яка б їх всі враховувала. Задачею досліджень є пошук алгоритмів структури визначення кваліфікаційних факторів, які впливають на процес сушіння зерна баштовими сушарками.

Виклад основного матеріалу досліджень. Як відомо, одним з найголовніших технологічних процесів післязбиральної переробки зерна є технологічний процес сушіння зерна. Продуктивність ТПСЗ, складовими якої є значення вологості, якість стану зерна, ціна тонопроценту, залежить від складових процесу та від можливостей обладнання яке застосовується при його проведенні [1, 2, 3].

Серед великої кількості різноманітних типів сушарок, які використовуються у сільськогосподарському виробництві, популярністю користуються баштові зернові сушарки (БЗШ). Ця популярність обумовлена відносно малою вартістю, конструктивною простотою і широким спектром зернових оброблюваних культур. Також потрібно відмітити, що даний тип сушарок у силу своїх конструктивних особливостей, може використовуватися як на малих і середніх, так і на великих сільгосппідприємствах [1, 2].

БЗШ різних фірм оснащуються сучасними автоматизованими системами керування (АСК) з наступними можливостями:

- підтримка відповідної температури гарячого повітря, яким нагрівають зерно (агент нагрівання);
- підтримка відповідної температури зерна, яке сушиться;
- підтримка постійного рівня зерна в башті;
- підтримка відповідної швидкості пересування зерна у башті.

Також більшість існуючих АСК ТПСЗ мають сучасні системи візуалізації, реєстрації та запису поточних параметрів (температури агента, температури зерна, вихідної вологості та ін.) [3].

Незважаючи на сучасні контролюючі, електронні та комп'ютерні елементи, які використовуються для створення АСК ТПСЗ БЗШ, питання побудови точних і якісних, повністю автоматизованих систем керування, залишається актуальним. Це пов'язано зі

складністю побудови математичної моделі ТПСЗ, яка б адекватно відображувала всі його особливості.

В теорії сушіння зерна відомі математичні моделі. Аналіз цих моделей показує, що їх застосування для БЗШ не дозволяє побудувати високоякісну систему керування процесом сушіння зерна. Існуючі АСК, являють собою деякий набір мало пов'язаних між собою елементів контролю та керування окремими частинами ТПСЗ. Головним елементом усіх відомих АСК ТПСЗ залишається оператор, завдання якого полягає у визначенні вихідних параметрів та встановлення відповідних режимів для проведення ТПСЗ [1, 3].

В результаті аналізу теорії, практики та досвіду експлуатації БЗШ можна визначити класифікаційну структуру факторів, які впливають на ТПСЗ. Таку структуру, за технологічними особливостями, можна розділити на три головні складові (рис.1):

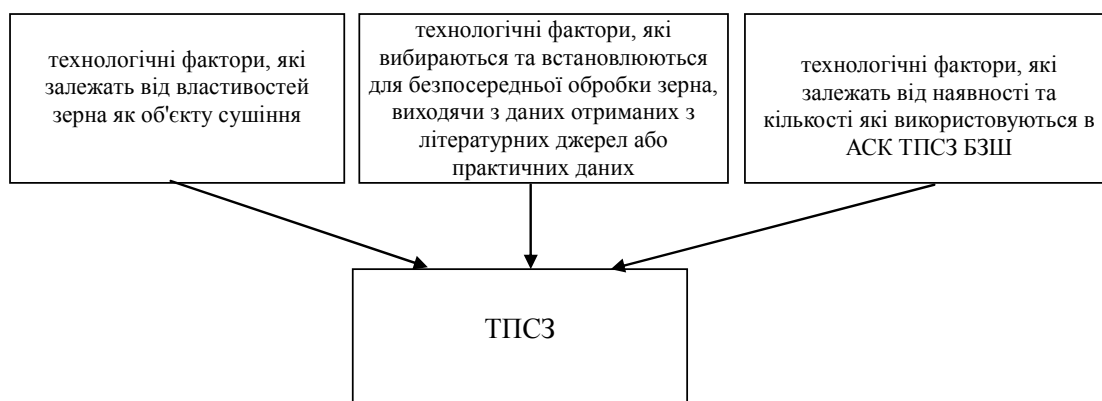


Рисунок 1 – Основні складові структура факторів, які впливають на ТПСЗ

Кожну групу, у свою чергу, можна розділити більш детально на відповідні підгрупи згідно з впливом, який вони здійснюють на ТПСЗ. Цей класифікаційний зв'язок показано на рис.2.

Така велика кількість факторів при застосуванні класичних методів математичної моделі (ММ) вимагає проведення великої кількості досліджень і експериментів та оснащення системи додатковими засобами контролю, результатом чого буде здорожчання АСК. При цьому неможливість урахувати всі фактори у ММ залишає систему і відповідно якість ТПСЗ залежною від вправності та особистого досвіду оператора АСК ТПСЗ.

Таким чином, ТПСЗ у більшості випадків спирається не на суворі математичні алгоритми, а є процесом, який оперує емпіричним та експериментальним досвідом. Можна стверджувати, що проведення ТПСЗ наближується до творчого процесу та може бути віднесений до класу задач, що вирішуються методами теорії штучного інтелекту. Практика експлуатації БЗШ показує, що задачею АСК ТПСЗ є процедури альтернативного вибору з множини варіантів, які мають, встановлення зв'язків та процесів між описом початкової та кінцевої ситуації.

Для виконання альтернативного вибору потрібні процедури виокремлення класифікуючої структури, яка б дозволила відносити ситуацію до того або іншого класу ситуацій. Результат роботи алгоритмів конструювання дерев рішень, на відміну, наприклад, від нейронних мереж, що представляють собою "чорні ящики", легко інтерпретується користувачем [4, 5, 6, 7].

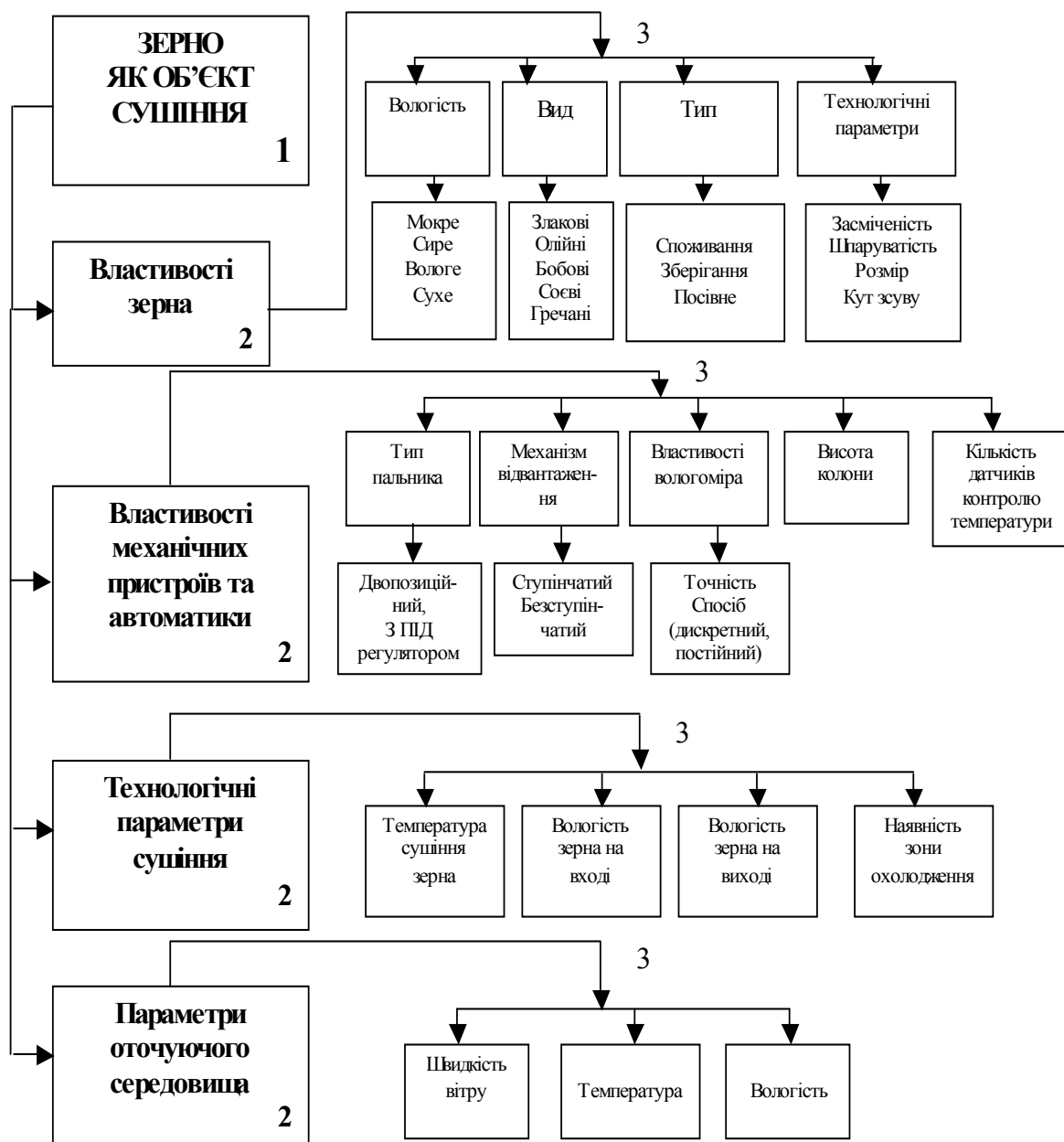


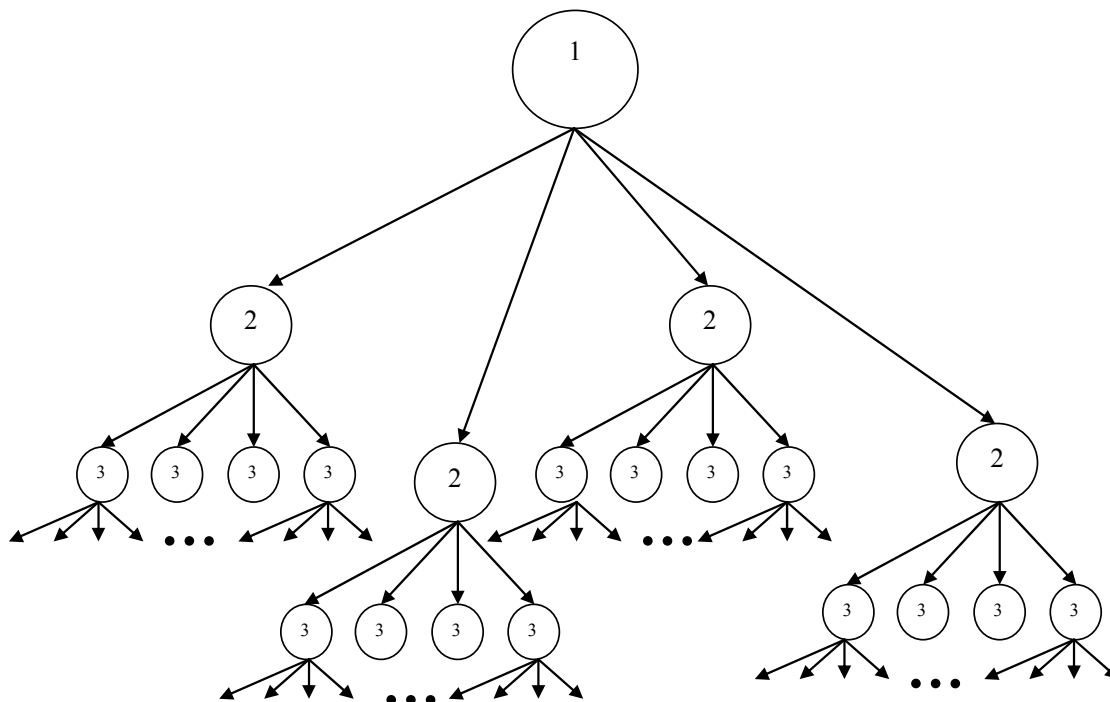
Рисунок 2 – Класифікаційна структура факторів, які впливають на ТПСЗ

Дерева рішень - спосіб подання правил в ієрархічній, послідовній структурі, де кожному об'єкту відповідає єдиний вузол, що дає рішення (рис.3). Під правилом розуміється логічна конструкція, представлена у вигляді “якщо (умова), то (наслідок)”. На сьогоднішній день існує безліч алгоритмів, які реалізують дерева рішень – CART, C4.5, NewId, ITrule, CHAID, CN2 [4, 5, 6, 7].

Але найбільше поширення і популярність отримали перші два: CART (Classification and Regression Tree) - алгоритм побудови бінарного дерева рішень - дихотомічної класифікаційної моделі. Кожен вузол дерева при розбитті має тільки двох нащадків [3, 4, 6]. Як видно з назви алгоритму, він вирішує завдання класифікації і регресії. C4.5 (Classification Tree) - поліпшений алгоритм побудови дерева рішень з необмеженим числом нащадків вузла.

Але найбільше поширення і популярність отримали перші два: CART (Classification and Regression Tree) - алгоритм побудови бінарного дерева рішень -

дихотомічної класифікаційної моделі. Кожен вузол дерева при розбитті має тільки двох нащадків [3, 4, 6]. Класифікаційна модель, представлена у вигляді дерева рішень, є інтуїтивною і спрощує розуміння розв'язуваної задачі рис.3.



1 – зерно, як об'єкт сушіння; 2 – властивості механічних пристроїв та автоматики, технологічні параметри сушіння, параметри оточуючого середовища;
3 – інші кваліфікаційні фактори, які впливають на ТПСЗ

Рисунок 3 – Класифікаційна модель факторів, які впливають на ТПСЗ

Як видно з назви алгоритму, він вирішує завдання класифікації і регресії. C4.5 (Classification Tree) - поліпшений алгоритм побудови дерева рішень з необмеженим числом нащадків вузла. Він не вміє працювати з безперервним цільовим полем, тому вирішує тільки завдання класифікації, але не регресії [3, 4]. Більшість з відомих алгоритмів є так званіми “жадібними алгоритмами”. Якщо один раз був обраний атрибут, і по ньому було вироблено розбиття на підмножини, то алгоритм не може повернутися назад і вибрати інший атрибут, який дав би краще розбиття. І тому на етапі побудови не можна сказати чи дасть обраний атрибут, зрештою, оптимальне розбиття [6]. Алгоритм конструювання дерева рішень не вимагає від користувача вибору вхідних атрибутів (незалежних змінних). На вхід алгоритму можна подавати всі існуючі атрибути, алгоритм сам вибере найбільш значущі серед них, і тільки вони будуть використані для побудови дерева. У порівнянні, наприклад, з нейронними мережами, це значно полегшує користувачеві роботу, оскільки в нейронних мережах вибір кількості вхідних атрибутів істотно впливає на час навчання [6, 7].

Точність моделей, створених за допомогою дерев рішень, порівнянна з іншими методами побудови класифікаційних моделей (статистичні методи, нейронні мережі).

Класичні статистичні методи, за допомогою яких вирішуються завдання класифікації, можуть працювати тільки з числовими даними, в той час як дерева рішень працюють і з числовими, і з категоріальними типами даних.

Статистичні методи є параметричними, і користувач повинен заздалегідь володіти певною інформацією, наприклад, знати вид моделі, мати гіпотезу про вид

залежності між змінними, припускати, який вид розподілу мають дані. Дерева рішень, на відміну від таких методів, будують непараметричні моделі. Таким чином, дерева рішень здатні вирішувати такі завдання Data Mining, в яких відсутня апріорна інформація про вид залежності між досліджуваними даними.

Як відомо, прецедент - це опис ситуації в поєднанні з детальним зазначенням дій, що вживаються в даній ситуації [5, 9, 10].

Підхід, заснований на прецедентах, умовно можна поділити на такі етапи:

- збір докладної інформації про поставлену задачу;
- зіставлення цієї інформації з деталями прецедентів, що зберігаються в базі, для виявлення аналогічних випадків;
- вибір прецеденту, найбільш близького до поточної проблеми, з бази прецедентів;
- адаптація обраного рішення до поточної проблеми, якщо це необхідно;
- перевірка коректності кожного знову отриманого рішення;
- занесення детальної інформації про новий прецедент в базу прецедентів.

Висновок. Тобто, підхід, заснований на прецедентах, являє собою такий метод аналізу даних, який робить висновки щодо даної ситуації за результатами пошуку аналогій, що зберігаються в базі прецедентів [7, 8, 9].

Даний метод по своїй суті відноситься до категорії "навчання без вчителя", тобто є "самонавчальною" технологією, завдяки чому робочі характеристики кожної бази прецедентів з часом і накопиченням прикладів поліпшуються. Розробка баз прецедентів по конкретній предметній області відбувається природною для людини мовою, отже, може бути виконана найбільш досвідченими співробітниками – експертами або аналітиками, які працюють у цієї предметної області.

Однак це не означає, що CBR – системи самостійно можуть приймати рішення – останнє слово завжди залишається за людиною, а даний метод лише пропонує можливі варіанти вирішення і вказує на самий "розумний" з її точки зору [10].

Таким чином визначення кваліфікаційних структурних факторів, які впливають на ТПСЗБШ, вибір методу визначення таких факторів, який базується на засадах штучного інтелекту, дозволить мінімізувати втручання оператора БШ в процес сушіння, а сам процес сушіння зерна БШ повністю автоматизованим.

Список літератури

1. О.Г. Собінов Автоматизація управління баштовими сушарками ТОВ «Астра» / Собінов О.Г. // Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Кіровоград: КНТУ. – 2011. - № 41.– С.237-245
2. Ефремов Г.И. Модифицированный квазистационарный метод описания кинетики сушки гигроскопичных материалов // ИФЖ. 1999. Т. 72, № 3. – С. 420-424.
3. Ефремов Г., Марковски М., Бялобзевски И. Макрокинетика процессов сушки. М.: Изд. МГОУ, 2009. – 335 с.
4. Efremov G., Kudra T. Drying kinetics in a pulsed-fluid bed dryer -A modified quasi-stationary approach // Proceedings of International Conference “Energy-saving technologies for drying and hydrothermal processing”. Moscow, 2002. V. 3. P. 70-73.
5. Гончаров М. Модифицированный древовидный алгоритм Байеса для решения задач классификации. – Business Data Analytics, 2007.
6. Paul S., MacLennan J., Tang Z., Oveson S. Data Mining Tutorial. – Microsoft Press, 2005.
7. Shank, R.: Dynamic Memory: A Theory of Learning in Computers and People. Cambridge University Press, New York (1982)
8. Pradip Rey. Reilly. Integrating knowledge acquisition methods. / Pradip Rey, Kevin D. // Proc. IEEE Int. Conf. Syst., Men and Cybern., Atlanta, Ca, Okt. 14-17. – 1996. Vol. 1. – pp. 557-562.
9. Smyth B., Cunningham P. The Utility Problem Analysed: A Case-Based Reasoning Perspective // Advances in Case-Based Reasoning. - Lecture Notes in Artificial Intelligence, Vol. 1168, Springer-

Verlag, 1996, pp. 392-399.

10. Шерстюк В.Г. Структурная декомпозиция интеллектуальной СППР реального времени сценарно-прецедентного типа /В.Г. Шерстюк // Проблемы информационных технологий. – 2008. – No 02(004) – С.86 – 94.

Roman Minailenko, Alexandr Sobinov, Konstantin Buravchenko

Kirovograd National Technical University

Definition classification structural factors affecting the process of drying grain in the tower dryers

One of the most important processes of grain processing has grain drying process. The productivity of the drying process, the component which has the humidity, the quality of the state of the grain, the price of grain depends on the components of the process and the capabilities of the equipment which is used in its conduct.

Among the large number type dryers used in agricultural production, popular tower grain dryer. This popularity is due to the relatively low cost, the constructive simplicity and the wide range of crops. Also it should be noted that this type of dryers because of its design features can be used in small, medium, and large farms.

The article considers the problem of determining the qualifying factors influencing the process of grain drying tower dryers. As a result of analysis of the theory, practice and experience of operation of tower dryers invited qualification structure of such factors. It is shown that the construction of a mathematical model of the process of drying tower dryer, using classical mathematical methods and taking into account all factors, requires a large number of studies and experiments that would increase the cost management system. A method of obtaining solutions by searching for these problematic situations based on previous experience solving problems stored in the memory and the adaptation of these decisions to the new conditions. On the search for such solutions will be directed further studies will be aimed at the creation of automated process control system for grain drying tower dryers.

tower dryer, grain drying process, structural factors, control system

Одержано 13.03.15

УДК 621.937.5

С.І.Осадчий, проф., д-р техн. наук, І.А. Березюк, доц., канд. техн. наук

К.А. Недопьокін

Кіровоградський національний технічний університет, srg2005@ukr.net

Методологія та етапи забезпечення максимальної якості процесу керування обробкою деревини на стрічкострижковому верстаті

Розглянуто методологічні основи створення оптимальної системи стохастичної стабілізації потужності різання на стрічкострижковому верстаті за даними натурних випробувань. Використання новітніх методів структурної ідентифікації для визначення моделей динаміки «системи деревообробний верстат – процес різання» та діючого збурення, методів оптимального синтезу дозволяють забезпечити максимальну якість керування обробкою деревини на зазначеному верстаті при мінімальних затратах та заданих характеристиках оброблюваної поверхні.

стрічкострижковий верстат, структурна ідентифікація, спектральна щільність, передаточна функція, критерій якості, стохастичні збурення, оптимальна система стохастичної стабілізації

© С.І.Осадчий, І.А. Березюк, К.А. Недопьокін, 2015

С.И.Осадчий, проф., д-р техн. наук, И.А. Березюк, доц., канд. техн. наук, К.А. Недопьокін

Кировоградский национальный технический университет

Методология и этапы обеспечения максимального качества процесса управления обработкой древесины на ленточнопильном станке

Рассмотрены методологические основы построения оптимальной системы стохастической стабилизации мощности резания на ленточнопильном станке по данным натуральных исследований. Использование новых методов структурной идентификации для определения моделей динамики системы «деревобработывающий станок-процесс резания» и действующего возмущения, методов оптимального синтеза позволяют обеспечить максимальное качество управления обработкой древесины на данном станке при минимальных затратах и заданных характеристиках обрабатываемой поверхности.

ленточнопильный станок, структурная идентификация, передаточная функция, критерий качества, спектральная плотность, стохастические возмущения, оптимальная система стохастической стабилизации

Постановка проблеми. На сучасному етапі забезпечити конкурентоспроможність пиломатеріалів можна тільки зниженням їхньої собівартості та підвищенням якості. Одним із можливих шляхів вирішення такої задачі є створення високоефективних систем керування обробкою на верстатах, які дозволяють отримати максимальну якість керування при мінімальних витратах енергії, сировини, праці та збереженні необхідних якісних показників оброблюваної поверхні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для стрічкових пилорам найбільшого поширення набули системи стабілізації потужності різання. На сьогоднішній день відомі значна кількість конструктивних рішень та схемних розробок, які відрізняються одна від одної кількістю параметрів, що контролюються, а також принципами побудови автоматичних регуляторів. Широкого розповсюдження набули системи стабілізації потужності різання з використанням паралельних та послідовних коректуючих пристроїв, адаптивних спостерігачів, упереджувальної корекції, системи із змінною уставкою [1-2].

Аналіз їх роботи показав, що кожна із наведених систем стабілізації володіє певними недоліками, які не дозволяють отримати максимальну якість керування. Рівень якості керування, який може бути досягнутий в системах побудованих на основі зазначених вище підходів є обмеженим, оскільки при виконанні розрахунків, як правило, задаються структурою моделі об'єкту керування та регулятору, а визначенню підлягають лише параметри.

В більшості випадків при створенні системи стабілізації потужності різання вважають, що збурення може бути описане функцією Хевісайда або дельта-функцією. Але як показав аналіз проведених досліджень проведених Струтинським В.Б. [3] діюче збурення представляє собою стаціонарний випадковий процес з дробово – раціональною спектральною щільністю, структура та параметри якої залежать від фізико – механічних властивостей матеріалу, що обробляється, стану ріжучого інструменту та технологічного обладнання.

Таким чином, виникають протиріччя: з одного боку властивості технологічної системи верстата невизначені, оскільки піддаються впливу випадкових збурень, які складно виявити; фізико – механічні властивості деревини змінюються випадковим чином від колоди до колоди; ріжучі властивості інструменту також безперервно змінюються і неможливо визначити його характеристики в даний момент часу, а з іншого – при побудові систем стабілізації потужності різання задаються моделлю об'єкту керування та регулятору і вважають діючі в процесі обробки збурення детермінованими функціями. Ці протиріччя призводять до створення систем, які володіють певними недоліками, зокрема: низька швидкодія та значне перерегулювання;

погіршення точності підтримання на заданому рівні регульованого параметру; забезпечення заданої якості обробки при значних енергетичних затратах.

Тому створення технології побудови систем стабілізації потужності різання для стрічкових пилорам, які б забезпечували максимальну якість керування процесом обробки при мінімальних енергетичних витратах та збереженні необхідної якості оброблюваної поверхні і в той же час були простими з точки зору технічної реалізації та експлуатації в умовах виробництва, являє собою актуальну складну науково – технічну задачу.

Успішне розв’язання цієї задачі потребує використання новітніх науково-обґрунтованих підходів, вільних від розглянутих вище недоліків та протиріч.

Постановка завдання. В даній роботі подано науково-обґрунтовану технологію побудови оптимальної системи стохастичної стабілізації потужності різання на основі динамічного проектування з урахуванням моделей системи «деревообробний верстат – процес різання» (ДВПР) та збурень визначених за результатами натурних випробувань її прототипу для досягнення максимальної якості процесу керування обробкою на стрічкопилкових верстатах.

Виклад основного матеріалу. Технологія, що пропонується складається з наступних етапів:

- обґрунтування технології отримання моделей динаміки системи ДВПР та збурень, які супроводжують процес обробки за результатами натурних випробувань;
- обґрунтування методології синтезу оптимальної структури системи стохастичної стабілізації потужності різання;
- розробки методології аналізу якості процесу керування обробкою на стрічкопилковому верстаті при зміні фізико – механічних властивостей деревини та ріжучої здатності інструменту;
- визначення моделей динаміки системи ДВПР та збурень за результатами натурних випробувань і встановлення зв’язку між параметрами зазначених моделей та зміною фізико-механічних властивостей деревини і величиною зношування ріжучого інструменту;
- синтезу оптимальної структури системи стабілізації потужності різання;
- визначення граничних рубежів якості оптимальної системи стохастичної стабілізації потужності різання при зміні фізико-механічних властивостей деревини та стану ріжучого інструменту;
- створення спеціальних програмних комплексів реалізації процедур технології ідентифікації, методології синтезу та аналізу зазначених вище;
- розробки рекомендацій щодо реалізації оптимальної системи стохастичної стабілізації потужності різання;
- розробки методики проведення виробничих випробувань системи для оцінки її ефективності.

Взаємозв’язок між розглянутими етапами ілюструє структура подана на рис. 1.

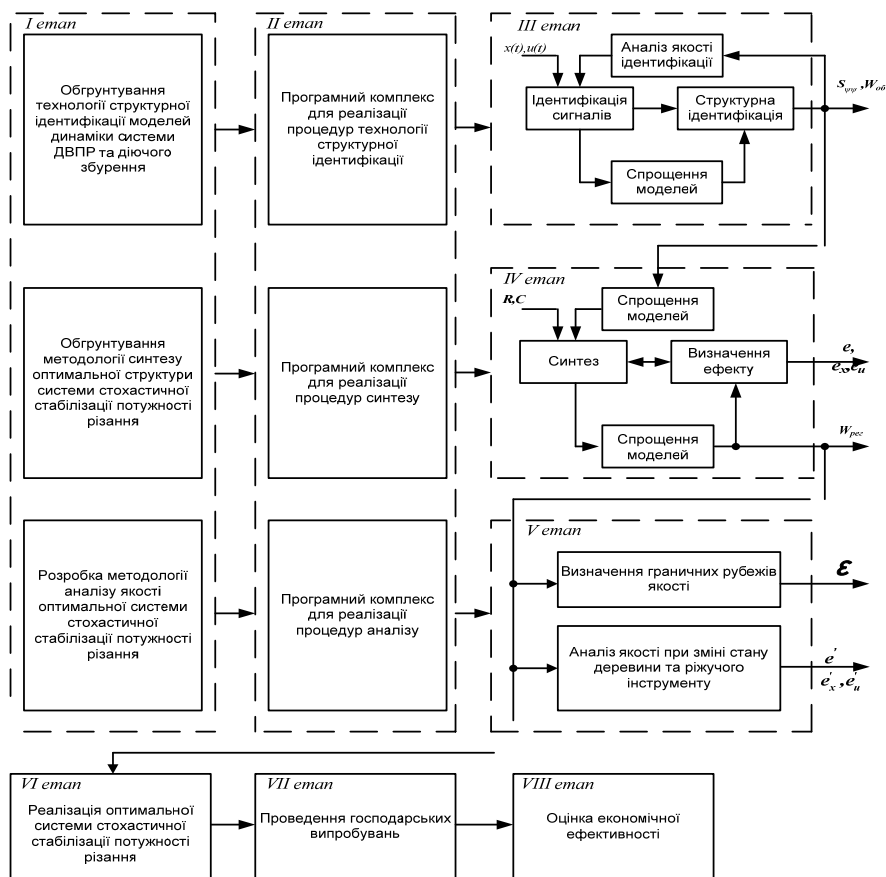


Рисунок 1 – Етапи забезпечення максимальної якості процесу керування обробкою деревини на стрічкопилковому верстаті

На першому етапі формулюються основні теоретичні засади нової технології побудови систем стабілізації потужності різання на основі динамічного проектування, пошук методів та алгоритмів для розв’язання задач ідентифікації системи ДВПР та збурень, синтезу оптимального регулятора, аналізу якості системи, що проектується.

Технологія отримання моделей динаміки об’єкту управління (системи ДВПР) та діючих збурень складається з трьох стадій:

- постановка задачі;
- розробка методики та виконання за нею спеціальних натурних випробувань для фіксації сигналів “вхід - вихід” системи ДВПР;
- розробка методики оцінювання за спеціальними алгоритмами динамічних характеристик сигналів отриманих в результаті натурних випробувань;
- структурна ідентифікація моделей динаміки системи ДВПР та діючого збурення з використанням спектрального алгоритму [4] при обов’язковому урахуванні результатів попередніх стадій.

В досліджуваному випадку об’єкт ідентифікації система ДВПР описується звичайним диференціальним рівнянням вигляду:

$$P(s)x(s) = M(s)u + \psi(s), \quad (1)$$

де ψ – зовнішні стохастичні збурення, які діють на об’єкт управління (систему ДВПР) в процесі обробки;

u – сигнал керування (управління швидкістю подачі);

x - вихідний сигнал, який відповідає струму навантаження на двигуні головного руху;

P і M – операторні поліноми від $s = j\omega$.

При використанні обраного спектрального методу вважається, що вхідний сигнал u і вихідний сигнал x представляють собою стаціонарні випадкові процеси з відомими спектральними та взаємними спектральними щільностями $S_{uu}(s)$, $S_{xx}(s)$ та $S_{ux}(s)$, які були визначені за результатами вимірювань сигналів u і x ; збурення ψ не корельовано з вхідним сигналом u .

Задача структурної ідентифікації формулюється наступним чином: для фіксованого режиму різання в умовах виробництва за статистичними даними які характеризують “вхід - вихід” системи ДВПР отримати найкращі за точністю оцінки динамічних характеристик об’єкту управління та збурення, яке супроводжує процес обробки на верстаті, на класі дробово – раціональних функцій; кількісно оцінити вплив зміни фізико – механічних властивостей деревини та величини зношування ріжучого інструменту на потужність різання і динаміку досліджуваної системи.

Згідно обраного алгоритму шукана оптимальна матриця оцінок визначається з виразу:

$$\Phi = (W_{об}, S_{\psi\psi}) = R_0^{-1} (T_0 + T_+) D^{-1}, \quad (2)$$

де $W_{об}$ – передаточна функція об’єкту (ДВПР);

$S_{\psi\psi}$ – передаточна функція фільтру, який формує динамічні характеристики збурення, приведенного до виходу системи із заданою спектральною щільністю вигляду $S_{\varphi\varphi}$, R_0 - ваговий коефіцієнт;

D – результат факторизації блочної матриці S'_{yy} [5] :

$$DD^* = S'_{yy} = \begin{bmatrix} S_{uu} & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad (3)$$

$T_0 + T_+$ – стійка частина результату сепарації блочної дробово – раціональної матриці:

$$T = T_0 + T_+ + T_- = R_0 S'_{yx} D_*^{-1}, \quad (4)$$

де “*” – знак Ермітового спряження матриць.

Матриця взаємних спектральних щільностей S_{yx}

$$S_{yx} = (S_{ux}, S_{\Delta x}), \quad (5)$$

де $S_{\Delta x}$ – результат факторизації виразу $S_{x\Delta} S_{\Delta x}$, який входить до рівняння зв’язку

$$S_{x\Delta} S_{\Delta\Delta}^{-1} S_{\Delta x} = S_{xx} - S_{xu} S_{uu}^{-1} S_{ux}.$$

Для аналізу якості отриманих моделей використовується функціонал, який представляє собою дисперсію похибки ідентифікації вигляду:

$$e = \frac{1}{j} \int_{-j\omega}^{j\omega} [S'_{ee} R_0] ds \quad (6)$$

де S'_{ee} – спектральна щільність помилки ідентифікації.

Після виконання аналізу якості ідентифікації з використанням функціоналу (6) за необхідності відбувається спрощення (редукування) отриманих моделей. Оскільки моделі динаміки системи ДВПР та діючого збурення вже визначені, то є можливість приступити до наступного етапу: постановки та обґрунтування методу вирішення задачі синтезу оптимальної структури системи стабілізації потужності різання. Для

вирішення окресленої задачі найбільш доцільним є використання спектрального алгоритму синтезу.

Задача синтезу ставиться наступним чином: за відомими поліномами M , P та спектральною щільністю збурюючого впливу $S_{\psi\psi}$ визначити структуру та параметри такого фізично реалізуемого регулятора $W_{рег}$, щоб замкнута система «об'єкт + регулятор» була стійкою та досягав мінімуму функціонал якості стабілізації

$$e = Re_x + Ce_u = \frac{1}{j} \int_{-j\omega}^{j\omega} (RS_{xx} + CS_{uu}) ds, \quad (7)$$

де e_x, e_u, S_{xx}, S_{uu} – дисперсії та спектральні щільності відповідно сигналів x та u ;

R – ваговий невід'ємновизначений коефіцієнт, який характеризує чутливість до зміни дисперсії вихідної координати;

C – ваговий невід'ємновизначений коефіцієнт, який характеризує обмеження на величину дисперсії керуючого впливу.

Зміною вагових коефіцієнтів R та C досягається компроміс між необхідною якістю обробки та енергетичними витратами на її виконання.

Застосування алгоритмів ідентифікації, синтезу та аналізу потребує виконання значного обсягу математичних операцій. Тому на другому етапі для здійснення таких розрахунків створено спеціальні програмні комплекси з використанням сучасних систем для математичних обчислень.

Метою третього етапу є отримання моделей динаміки системи ДВПР ($W_{об}$) та збурюючого впливу $S_{\psi\psi}$. Вихідними даними для виконання цього етапу є записи вхідного $u(t)$ та вихідного $x(t)$ сигналів отримані в результаті проведення за спеціальною методикою натурних випробувань на стрічковій пилорамі в реальних експлуатаційних умовах. За результатами проведених досліджень виконується оцінка статистичних характеристик, визначаються спектральні щільності та взаємні спектральні щільності зазначених сигналів. Для проведення подальших розрахунків здійснюється апроксимація графіків спектральних та взаємних спектральних щільностей аналітичними виразами на класі дробово – раціональних функцій.

Після цього відповідно до обраного алгоритму [4] виконується структурна ідентифікація моделей динаміки системи ДВПР та збурюючого впливу.

Передаточна функція об'єкту (системи ДВПР) згідно обраного алгоритму має вигляд

$$W_{об}(s) = \frac{M(s)}{P(s)} = \frac{k(T_{1об}^2 s^2 + 2\zeta_{1об} T_{1об} s + 1)(T_{2об}^2 s^2 + 2\zeta_{2об} T_{2об} s + 1)}{(T_{3об}^2 s^2 + 2\zeta_{3об} T_{3об} s + 1)(T_{4об}^2 s^2 + 2\zeta_{4об} T_{4об} s + 1)}, \quad (9)$$

спектральна щільність збурення $S_{\psi\psi}$:

$$S_{\psi\psi} = \left| \frac{\sigma_m (T_{1\psi\psi}^2 s^2 + 2\zeta_{1\psi\psi} T_{1\psi\psi} s + 1)(T_{2\psi\psi}^2 s^2 + 2\zeta_{2\psi\psi} T_{2\psi\psi} s + 1)}{(T_{3\psi\psi}^2 s^2 + 2\zeta_{3\psi\psi} T_{3\psi\psi} s + 1)P(s)} \right|^2 \quad (10)$$

З метою прийняття рішення про подальше використання отриманих результатів здійснюється аналіз якості ідентифікації згідно обраного критерію (6) та за необхідності відбувається спрощення (редукування) математичних моделей.

На четвертому етапі згідно спектрального алгоритму [4] розраховується передаточна функція регулятора $W_{рег}$

$$W_{рег} = \frac{k(T_1^2 s^2 + 2\zeta T_1 s + 1)}{(T_2^2 s^2 + 2\zeta T_2 s + 1)} \quad (8)$$

та відбувається обчислення обраного показника якості e та його складових e_x, e_u .

Передаточна функція є простою та може бути легко реалізована засобами сучасної обчислювальної техніки.

На п'ятому етапі вирішуються наступні задачі:

- аналізу якості оптимальної системи стабілізації;
- визначення граничних рубежів якості системи з оптимальним регулятором.

Аналіз якості оптимальної системи передбачає:

- визначення спектральних щільностей та дисперсій вхідного та вихідного сигналів,
- обчислення показника якості в різних умовах експлуатації (при зміні фізико-механічних властивостей деревини, стану ріжучого інструменту),
- порівняльний аналіз якості традиційної та оптимальної системи,
- оцінку енергетичної ефективності розробленої системи.

Доставляючи мінімум квадратичному критерію якості вибором структури та параметрів регулятора, одночасно тим самим забезпечується певна грубість системи до зміни структури об'єкту управління або досягається робастність по відношенню до неструктурованих збурень. Тому питання про вплив зміни структури та параметрів об'єкту керування на якість процесу керування в оптимальній системі потребує подальших досліджень, задача яких формулюється як визначення класу неструктурованих збурень, вплив яких не призводить до втрати стійкості системи з оптимальним регулятором. Для цього виконуються дослідження робастної стійкості з використанням відповідних методів.

На шостому етапі виконується розробка методики реалізації оптимальної системи стохастичної стабілізації засобами сучасної обчислювальної техніки.

На останніх етапах необхідно здійснюється випробування розробленої системи в умовах виробництва та оцінка економічного ефекту від її впровадження.

Висновки. Обґрунтовано новий підхід та практична технологія спрямовані на забезпечення необхідної якості обробки деревини на стрічкопилковому верстаті з роздільним приводом при мінімізації енергетичних витрат, які відрізняються від відомих тим, що максимізація якості процесу керування обробкою на верстаті зазначеного класу відбувається за рахунок створення оптимальної системи стохастичної стабілізації потужності різання, структура та параметри якої визначаються на основі вихідних даних отриманих в реальних умовах функціонування обладнання.

Реалізація запропонованої технології дозволила встановити, що моделі динаміки системи ДВПР представляють собою диференційні рівняння не вище четвертого порядку, а збурюючий вплив, що діє в системі в реальних експлуатаційних умовах, являє собою випадковий стаціонарний процес з нульовим математичним очікуванням та дробово-раціональною спектральною щільністю [6]. При зміні властивостей деревини та стану ріжучого інструменту порядок диференційного рівняння, яке описує систему ДВПР, а також структура спектральної щільності діючого збурення залишаються незмінними, змінюються лише коефіцієнти зазначеного рівняння та параметри спектральної щільності. Використання обґрунтованого показника "якість обробки – енергетичні витрати" для вирішення задачі синтезу оптимальної стохастичної системи стабілізації потужності різання при обробці на стрічковій пилорамі з роздільним приводом дозволило досягти компроміс між якістю обробки та енергетичними витратами на її виконання за допомогою зміни вагових коефіцієнтів[7].

Список літератури

1. Волынский В. Н. Первичная обработка пиломатериалов на лесопильных предприятиях /Волынский В.Н., Пластинин С.Н. – М.: Ризл-пресс, 2005. – 397 с.
2. Автоматизация типовых технологических процессов и установок: [учебник для вузов] / [Корытин А.М., Петров Н.К., Радимов С.Н., Шапарев Н.К.]. – [2-изд., перераб. и доп.]. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 432 с.
3. Струтинський В.Б. Математичне моделювання металорізальних верстатів: [монографія]/ Струтинський В.Б., Мельничук П.П. – Житомир: ЖІТІ, 2002 – 570 с.
4. Азарсков В.Н. Методология конструирования оптимальных систем стохастической стабилизации: [монография] / Азарсков В.Н., Блохин Л.Н., Житецкий Л.С.; под ред. Л.Н. Блохина. – К.: Книжное изд-во НАУ, 2006. – 400 с.
5. Ньютон Дж. К. Теория линейных следящих систем/ Ньютон Дж. К., Гулд Л.А., Кайзер Дж. Ф.; пер. с англ. Ю.П. Леонова, С.Я. Раевского; под ред. А.М. Летова – М.: Наука, 1961. – 407 с.
6. Осадчий С.І. Динаміка системи «деревообробний верстат-процес різання в реальних експлуатаційних умовах» / С.І. Осадчий, І.А. Шаповалова // Вісник Хмельницького національного технічного університету. - 2007. - №3. - Т.1. – С. 26-29.
7. Осадчий С.І. Підвищення енергетичної ефективності обробки деревини за рахунок оптимального управління приводом подачі / С.І. Осадчий, В.Ф. Гамалій, І.А. Шаповалова // Збірник наукових праць КНТУ. - 2008 - Вип. 20 - С. 220 – 226.

Sergiy Osadchiy, Irina Berezuk, Konstantin Nedopyokin

Kirovograd National Technical University

Methodology and stages of providing of maximal quality of process of management by sawing of wood on band frame saw

The article is devoted to development of new scientifically based methodology of construction of the optimum system of stochastic stabilization of power of cutting on the basis of the results of structural identification of the system “woodworking machine-tool - process of cutting”(WPC) and nature indignations.

For the decision of task of structural identification of the system WPC and operating in the process of treatment indignation special technology, algorithmic and program providing were developed. The use of the offered technology allowed to define a transfer function WPC and to estimate the spectral density of indignation. It is set, that at the change of properties of wood and state of cutting instrument the structure of transfer function and spectral density does not change, and parameters change only.

A structure and parameters of optimum regulator which provides the set quality of the processed surface with minimum power charges is got. The realization of the offered regulator is carried out by facilities of analog and digital technique.

band frame saw, structural identification, spectral density, transfer function, criterion of quality, stochastic indignations, optimum system of stochastic stabilization

Одержано 20.04.15

УДК 621.316.1

І.В. Савеленко, асист.

Кіровоградський національний технічний університет, kaf.etsem@gmail.com

Синтез системи автоматичного керування електроприводом на базі синхронного двигуна з постійними магнітами

Проведено аналіз математичних моделей електроприводів с синхронними двигунами на постійних магнітах для синтезу системи автоматичного керування. Виконано порівняння способів формалізації вимог при протіканні перехідних процесів в системах автоматичного керування. Сформульована задача аналітичного конструювання оптимального регулятора для системи автоматичного керування. Розглянуто математичні моделі динаміки руху синхронного двигуна на постійних магнітах в просторових координатах $d-q$.

системи автоматичного керування, електропривод, синхронний двигун на постійних магнітах

І.В. Савеленко, асист.

Кіровоградский национальный технический университет

Синтез системы автоматического управления электроприводом на базе синхронного двигателя с постоянными магнитами

Проведен анализ математических моделей электроприводов с синхронными двигателями на постоянных магнитах для синтеза системы автоматического управления. Выполнено сравнение способов формализации требований при протекании переходных процессов в системах автоматического управления. Сформулирована задача аналитического конструирования оптимального регулятора для системы автоматического управления. Рассмотрены математические модели динамики движения синхронного двигателя на постоянных магнитах в пространственных координатах $d-q$.

системы автоматического управления, электропривод, синхронный двигатель на постоянных магнитах

Постановка проблеми. В основі синтезу САК лежить поняття про математичну модель керованого процесу, або об'єкту керування. Така модель повинна відобразити властивості реального об'єкту в межах точності, необхідної для здійснення процесу керування. Згідно [1] об'єктом керування є виділена в реальному виробничому процесі, що функціонує з певною метою в умовах дії збурень, математичну модель каналу керування з n вхідними та m вихідними змінними.

Аналіз математичних моделей електроприводів дає змогу стверджувати, що з достатньою точністю їх можна записати у вигляді лінійного диференційного рівняння [1], позначимо: \mathbf{X} – матриця вхідних сигналів, \mathbf{U} – матриця сигналів керування, – основна матриця, \mathbf{B} – матриця керування:

$$\dot{\mathbf{X}}(t) = \mathbf{A}\mathbf{X} + \mathbf{B}\mathbf{U}(t), \quad (1)$$

Вектор керування в загальному випадку належить замкнутій множині:

$$\mathbf{U}^m = \left\{ u_p : u_p(t) \in \left[-U_{p \max}, U_{p \max} \right], p = 1, 2, \dots, m \right\}, \quad (2)$$

Будемо вважати, що керуючий вплив пронормований, і тому $U_{pmax} = 1$. Область допустимих керувань $U \in \mathfrak{R}^m$ визначається двома умовами: класом допустимих функцій і додатковими обмеженнями експлуатаційного або конструктивного характеру, що накладаються на $U(t)$ всередині даного класу.

Передбачається, що багатомірні стаціонарні об'єкти, що описуються рівнянням (1), є керовані. Як відомо, для керованості об'єкту (1) в деякій обмеженій області фазового простору, що містить точку $X = 0$, необхідно і достатньо виконання умови:

$$\text{rank}[B, BA, \dots, BA^{n-1}] = n. \quad (3)$$

Вимоги до бажаного руху об'єкту (1) обумовлюються загальними технологічними і економічними критеріями функціонування реального об'єкту. В кожному конкретному випадку вони задаються відповідними показниками якості роботи САК.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В теорії автоматичного керування використовуються декілька способів формалізації вимог до якості перехідних процесів САК.

Найбільш досконалим з них, є спосіб формалізації, заснований на введенні оптимізаційного функціоналу, або критерію якості інтегрального типу. Застосування таких інтегральних критеріїв, а саме квадратичних функціоналів, дозволяє визначити вимоги до перехідних процесів САК шляхом задання значень невеликої кількості їх вагових коефіцієнтів. До того ж практично довільний вибір цих коефіцієнтів забезпечує асимптотичну стійкість САК.

Основною перевагою даного способу задання вимог до якості процесу керування полягає в тому, що він дозволяє застосовувати для синтезу САК результати теорії оптимального керування [2] і теорії аналітичного конструювання оптимальних регуляторів (АКОР) [3]. Основними перевагами теорії АКОР є її гранична формалізація, логічна завершеність а також порівняно невисока математична складність.

Найбільш доцільним шляхом вирішення задачі синтезу САК об'єктами, що описуються рівнянням (1), є вирішення задачі АКОР по відповідному інтегральному критерію. В сучасній теорії оптимального керування широке розповсюдження отримали інтегральні квадратичні функціонали якості САК [3]:

$$I_0 = \frac{1}{2} \int_0^{t=\infty} (X^T Q X + U^T R U) dt \rightarrow \min, \quad (4)$$

де Q – додатна визначена симетрична матриця вагових коефіцієнтів розмірності $n \times n$;

R – додатна визначена симетрична матриця вагових коефіцієнтів розмірності $m \times m$.

Особливістю квадратичних критеріїв якості вигляду (4) є можливість необмеженого збільшення коефіцієнтів підсилення САК (при $R=0$) без втрати стійкості. В такому випадку критерій якості має вигляд:

$$I_0 = \frac{1}{2} \int_0^{t=\infty} (X^T Q X) dt \rightarrow \min. \quad (5)$$

САК, в якій за критерій оптимальності прийнятий критерій вигляду (5) буде оптимальною за точністю керування [4], окрім того забезпечуючи досить швидкий і плавний характер перехідних процесів [5].

Постановка завдання. Підвищення точності керування електроприводом з синхронними двигунами на постійних магнітах шляхом алгоритмічного синтезу функції перемикання релейного регулятора САК. Постановка задачі оптимально керування об'єктом (1) із використанням критерію (5) виглядає наступним чином: на множині допустимих керувань $\mathbf{U} \in \mathfrak{R}^m$ необхідно знайти закон зворотного зв'язку $\mathbf{U}(t) = F[\mathbf{X}(t)]$, що утворює спільно з об'єктом (1) стійку замкнену систему, яка забезпечує мінімум функціоналу якості при переводі об'єкту керування із довільного початкового положення в кінцеве нульове:

$$I = \int_0^T F_0(\mathbf{X}) dt, \quad F_0(\mathbf{X}) > 0, \quad (6)$$

Сформульована задача АКОР є задачею Льютова-Калмана для об'єктів з розривним керуванням.

Більш досконалим є підхід до синтезу оптимальних регуляторів, заснований на використанні властивостей функцій перемикання оптимальних керувань, що описаний в роботах [6].

В роботах [7] при синтезі релейних систем оптимального керування для усунення їх некоректності пропонується окрім обмеження $|\mathbf{U}_i(t)| \leq 1$ використовувати додаткове обмеження витрати сигналів керування:

$$\sum_{i=1}^n U_{yim} \int_{t_1}^{t_2} \left| \sum_{k=1}^n v_{ik} x_k \right| dt = C(\mathbf{X}(t)) \leq \frac{1}{2} \sum_{i,k=1}^n v_{ik}(t_1) x_i(t_1) x_k(t_1), \quad (7)$$

де U_{yim} – абсолютні значення обмежень керуючих впливів

Як зазначалося вище, оптимальне керування $|\mathbf{U}_i(t)| \leq 1$ та (7) можна привести до вигляду:

$$\mathbf{U} = -\text{sign}[\boldsymbol{\psi}(\mathbf{X})], \quad (8)$$

де $\boldsymbol{\psi}(\mathbf{X}) = [\psi_1(\mathbf{X}), \psi_2(\mathbf{X}), \dots, \psi_m(\mathbf{X}),]^T$ – вектор функцій перемикання.

Для визначення вигляду функції перемикання необхідно розглянути основне функціональне рівняння відносно функції перемикання. Для отримання основного функціонального рівняння відносно функції перемикання в керуванні (6) оптимального за критерієм (6) при $T \rightarrow \infty$ запишемо вираз для швидкості проникнення [7], тобто проекцію вектору відносної швидкості зображувальної точки на нормаль до перерізу поверхонь перемикання $\boldsymbol{\psi}(\mathbf{X}) = 0$ з урахуванням диференціальних рівнянь об'єкту керування :

$$\dot{\boldsymbol{\psi}} = \mathbf{G}\dot{\mathbf{X}} = \mathbf{G}\mathbf{A} + \mathbf{G}\mathbf{B}\mathbf{U}, \quad (9)$$

де $\mathbf{G} = \left\{ \frac{\partial \boldsymbol{\psi}}{\partial \mathbf{X}} \right\}$ – матриця розміром $m \times n$, рядки якої є градієнтом функцій $\psi_i(\mathbf{X})$:

Рівняння (9) є основним функціональним рівнянням, що враховує властивості об'єкту керування і його канали керування, і може бути використане для визначення функції перемикачів i , як наслідок, оптимального керування. Це рівняння дає можливість провести декомпозицію задачі, тобто скласти функціональне рівняння для функцій перемикачів кожного керуючого впливу.

Із рівняння (9) для i -ї поверхні перемикачів можна записати:

$$\dot{\psi}_i(\mathbf{X}) = \mathbf{G}_i \mathbf{A} + \mathbf{G}_i \mathbf{B} \mathbf{U}'_i + \mathbf{G}_i \mathbf{B} \mathbf{U}''_i u_i. \quad (10)$$

Запишемо рівняння (11) по відношенню до i -го керування у вигляді:

$$\dot{\psi}_i(\mathbf{X}) = \mathbf{G}_i \dot{\mathbf{X}} = f_i(\mathbf{X}, \mathbf{U}'_i) + \phi_i(\mathbf{X}) u_i. \quad (11)$$

Згідно отриманому функціональному рівнянню (11) похідна i -ї функції перемикачів дорівнює швидкості проникнення i -ї поверхні перемикачів $\psi_i(\mathbf{X}) = 0$, а сама i -та функція перемикачів може бути знайдена із лінійного диференційного рівняння першого порядку відносно функції перемикачів зі змінними коефіцієнтами. Для об'єкту керування можна записати m функціональних рівнянь (11) відносно функцій перемикачів.

Згідно з властивостями функціонального рівняння та функцій перемикачів в роботі [6] приводиться наступний висновок: для того, що б керування (8) для об'єкту керування було оптимальним за критерієм (6) при $T \rightarrow \infty$ і обмеженнях $|\mathbf{U}_i(t)| \leq 1$ та (7) необхідно і достатньо визначити матрицю коефіцієнтів \mathbf{G} , або, що те ж саме, необхідно і достатньо визначити структуру складових $f(\mathbf{X}, \mathbf{U}'_i)$ і $\phi(\mathbf{X})$ основного функціонального рівняння (11).

Для того, що б перейти до вирішення задачі синтезу оптимального керування, необхідно скласти математичну модель електроприводу на базі СДПМ.

Система рівнянь, що описує динаміку руху СДПМ має вигляд:

$$\begin{cases} u_d = p\Psi_d + i_d r_s - \omega_R \Psi_q; \\ u_q = p\Psi_q + i_q r_s + \omega_R \Psi_d; \\ \Psi_d = x_d i_d + x_{dM} I_{M0}; \\ \Psi_q = x_q i_q; \\ H p \omega_R = \Psi_d i_q - \Psi_q i_d - M_3; \\ I_{M0} = \text{const}. \end{cases} \quad (12)$$

Підставивши 3 і 4 рівняння системи (12) в рівняння 1, 2, 5 і враховуючи, що $p x_{dM} I_{M0} = 0$ отримаємо:

$$\begin{cases} u_d = x_d p i_d + i_d r_s - \omega_R x_q i_q; \\ u_q = x_q p i_q + i_q r_s + \omega_R x_{dM} I_{M0} + \omega_R x_d i_d; \\ H p \omega_R = x_{dM} I_{M0} i_q + x_d i_d i_q - x_q i_q i_d - M_3. \end{cases} \quad (13)$$

Прийmemo, що наведені нижче складові рівнянь системи (13) є збуреннями:

$$\begin{cases} f_1 = -\omega_R x_q i_q; \\ f_3 = \omega_R x_d i_d; \\ f_5 = x_d i_d i_q - x_q i_q i_d - M_3. \end{cases} \quad (14)$$

Із урахуванням (14) система (13) набуде вигляду:

$$\begin{cases} u_d = x_d p i_d + i_d r_s + f_1; \\ u_q = x_q p i_q + i_q r_s + \omega_R x_{dM} I_{M0} + f_2; \\ Hp \omega_R = x_{dM} I_{M0} i_q + f_3. \end{cases} \quad (15)$$

Враховуючи введені вище позначення введемо нові змінні:

$$\eta_1 = I_d = i_d - i_d^*; \quad \eta_2 = I_q = i_q - i_q^*; \quad \eta_3 = \Omega_R = \omega_R - \omega_R^*, \quad U_1 = u_d - u_d^*, \quad U_2 = u_q - u_q^*.$$

Система диференціальних рівнянь збуреного руху прийме вигляд:

$$\begin{cases} U_1 = \eta_1 (r_s + p x_d); \\ U_2 = \eta_2 (r_s + p x_q) + \eta_3 x_{dM} I_{M0}; \\ 0 = \eta_2 x_{dM} I_{M0} - \eta_3 p J. \end{cases} \quad (16)$$

Проаналізувавши вигляд системи рівнянь (16) можна побачити, що перше рівняння лінійно незалежне від двох останніх. Зважаючи на це, в процесі аналізу режимів роботи СДПМ без урахування пускових обмоток, як і в попередньому випадку, можна розглядати два незалежні канали по осях d і q

Розглянемо математичну модель динаміки руху СДПМ для контуру q . Для цього запишемо останні два рівняння системи (16), що описують динаміку руху СДПМ по осі q :

$$\begin{cases} U_2 = \eta_2 (r_s + p x_q) + \eta_3 x_{dM} I_{M0}; \\ 0 = \eta_2 x_{dM} I_{M0} - \eta_3 p J. \end{cases} \quad (17)$$

Після алгебраїчних перетворень систему рівнянь для контурів d і q можна записати в стандартному вигляді:

$$\begin{cases} p \eta_1 = -\frac{r_s}{x_d} \eta_1 + \frac{1}{x_d} U_1 = A_d \eta_1 + B_d U_1 \\ p \eta_2 = -\frac{r_s}{x_q} \eta_2 - \frac{x_{dM} I_{M0}}{x_q} \eta_3 + \frac{1}{x_q} U_2; \\ p \eta_3 = \frac{x_{dM} I_{M0}}{J} \eta_2. \end{cases} \quad (18)$$

Таким чином, можна визначити матриці стану A_q і керування B_q системи, що описують динаміку процесів системи СДПМ для вісі q .

Виконаємо синтез регуляторів струму i_q та швидкості ω_R згідно з методикою перетворення основного функціонального рівняння. Згідно з цією методикою, для синтезу оптимального керування за критерієм узагальненої роботи необхідно і достатньо визначити параметри основного функціонального рівняння $p\Psi = \Phi u$. Для цього переписемо друге і третє рівняння системи (18), ввівши для зручності нові позначення:

$$\begin{cases} p\eta_2 = -\frac{r_s}{x_q}\eta_2 - \frac{x_{dM}I_{M0}}{x_q}\eta_3 + \frac{1}{x_q}U_2 = b_{22}\eta_2 + b_{23}\eta_3 + mU_2; \\ p\eta_3 = \frac{x_{dM}I_{M0}}{J}\eta_2 = b_{32}\eta_2. \end{cases} \quad (19)$$

Знайшовши координату η_2 із другого рівняння системи (19) і підставивши в перше, а також отримаємо:

$$p\eta_2 - p\frac{b_{22}}{b_{32}}\eta_3 - b_{23}\eta_3 = mU_2. \quad (20)$$

Винісши позначення похідної p за дужки отримаємо рівняння:

$$p\left(\eta_2 - \frac{b_{22}}{b_{32}}\eta_3 - \frac{1}{p}b_{23}\eta_3\right) = mU_2. \quad (21)$$

Таким чином, функція перемикавання буде мати вигляд:

$$\psi = \eta_2 - \frac{b_{22}}{b_{32}}\eta_3 - \frac{1}{p}b_{23}\eta_3. \quad (22)$$

Так як $m = 1/x_q > 0$, то оптимальне керування буде мати наступний вигляд:

$$u = -\text{sign}\left(\eta_2 - \frac{b_{22}}{b_{32}}\eta_3 - \frac{1}{p}b_{23}\eta_3\right). \quad (23)$$

Рівняння (23) є основним рівнянням закону керування для системи (19), яке гарантує стійкі аперіодичні перехідні процеси для довільних відхилень координат об'єкту керування.

Як було сказано вище, для систем підпорядкованого керування кожна з координат повинна регулюватись окремо.

Проведемо синтез регулятора струму, основною змінною стану для якого є величина η_2 . Виразимо з другого рівняння системи (22) величину η_2 і підставивши у вираз (23) отримаємо алгоритм оптимального керування регулятора струму в функції основної змінної:

$$u_i = -\text{sign}\left(\eta_2 - \frac{1}{p}b_{22}\eta_2 - \frac{1}{p^2}b_{23}b_{22}\eta_2\right). \quad (24)$$

Таким чином алгоритм оптимального регулювання струму по вісі q має такий кінцевий вигляд:

$$u_{iq} = u_{ym} \text{sign}(i_q^* - i_q). \quad (25)$$

Для синтезу релейного регулятора швидкості виразимо всі змінні основного рівняння закону керування (23) через змінну η_3 . В результаті чого отримаємо:

$$u_\omega = -\text{sign}\left(-\frac{b_{22}}{b_{32}}\eta_3 + p\frac{1}{b_{32}}\eta_3 - \frac{1}{p}b_{23}\eta_3\right). \quad (26)$$

Користуючись описаними вище міркуваннями, можна виключити із рівняння (26) інтегральну складову, виразивши рівняння (26) через реальні змінні і враховуючи, що $1/b_{32} = J/x_{dM}I_{M0} > 0$ отримаємо:

$$u_{\omega} = u_{yom} \operatorname{sign} \left(\omega^* - \omega - p \frac{x_q}{r_s} \omega \right). \quad (27)$$

Аналогічним чином можна отримати і закон оптимального регулювання струму i_d , який має вигляд:

$$u_{id} = u_{ym} \operatorname{sign} (i_d^* - i_d). \quad (37)$$

Структурна реалізація математичної моделі СДПМ, а також розроблених оптимальних керувань (24), (27), (28) зображена на рис. 1

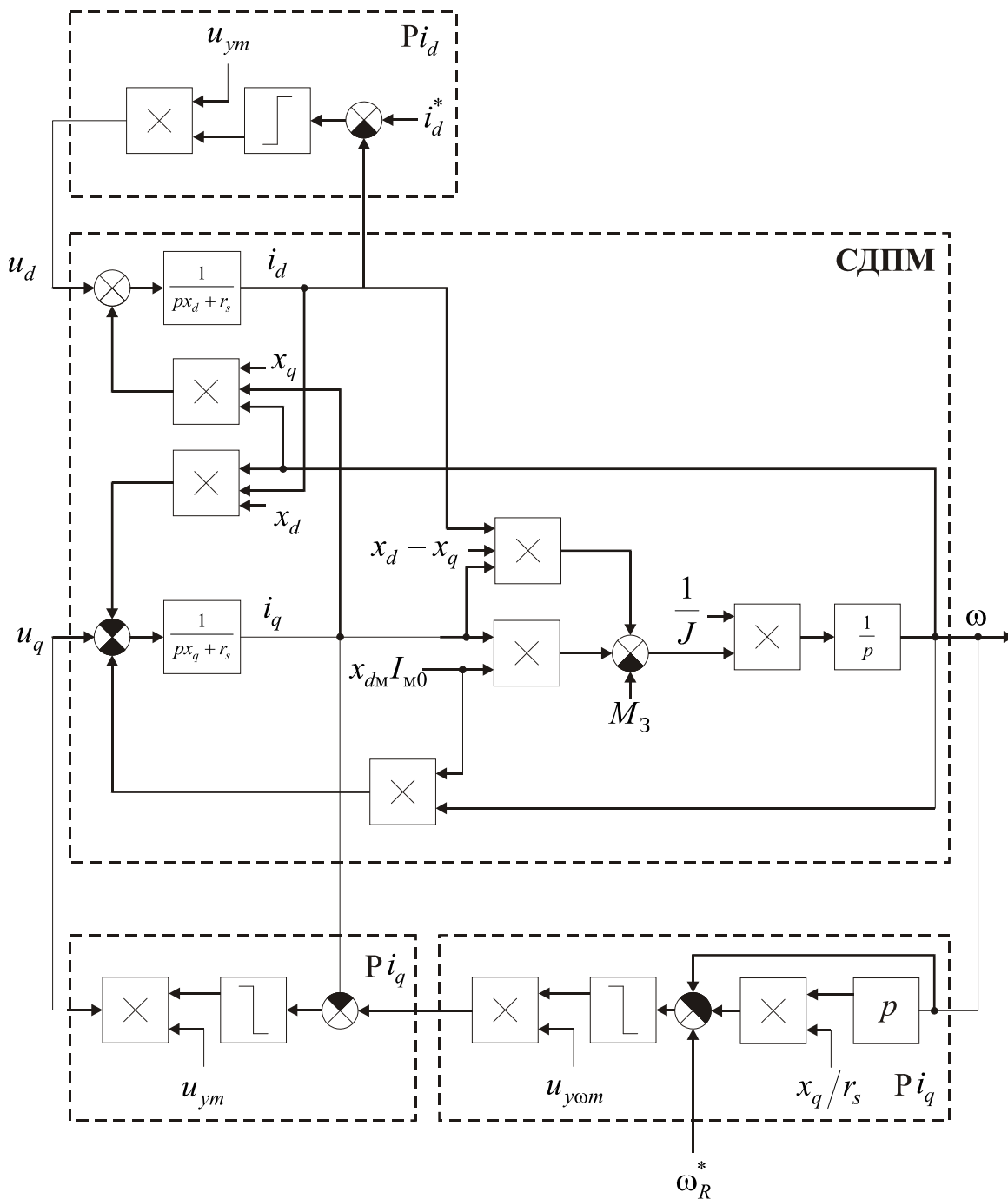


Рисунок 1 - Структурна схема системи оптимального керування електроприводом на базі СДПМ

Висновки:

1. Найбільш досконалим способом формалізації вимог до якості перехідних процесів САК є спосіб, заснований на введенні оптимізаційного функціоналу, або критерію якості інтегрального типу. Застосування таких інтегральних критеріїв, а саме квадратичних функціоналів, дозволяє визначити вимоги до перехідних процесів САК шляхом задання значень невеликої кількості їх вагових коефіцієнтів. До того ж практично довільний вибір цих коефіцієнтів забезпечує асимптотичну стійкість САК.

2. Застосування способу визначення оптимальних керувань шляхом перетворення основного функціонального рівняння та дослідження функцій перемикавання дозволяє значно спростити процедуру аналітичного синтезу оптимальних регуляторів.

3. Синтезовані алгоритми оптимального керування САК електроприводом на базі синхронних двигунів с постійними магнітами у вигляді релейних законів керування забезпечують стійкість розробленої САК а також оптимальні за точністю аперіодичні перехідні процеси.

Список літератури

1. Солодовников В.В. Аналитическое конструирование оптимальных регуляторов методом фазового пространства. I. Объекты с одномерным управляющим входом / В.В. Солодовников, А.Б. Филимонов, Н.Б. Филимонов // Известия вузов. Приборостроение. – 1982. – № 6. – С. 21–27.
2. Сейдж Э.П. Оптимальное управление системами / Э.П. Сейдж, Ч.С. Уайт. – М.: Радио и связь, 1982. – 392 с.
3. Абдулаев Н.Д. Теория и методы проектирования оптимальных регуляторов / Н.Д. Абдулаев, Ю.П. Петров. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 240 с.
4. Куропаткин П.В. Оптимальные и самонастраивающиеся системы / П.В. Куропаткин. – Л.: Госэнергоиздат, 1975. – 303 с.
5. Олейников В.А. Основы оптимального экстремального управления / В.А. Олейников, Н.С. Зотов, А.М. Пришвин. М.: Высшая школа, 1969. – 296 с.
6. Сурков В.В. Применение метода А.А. Красовского для синтеза агрегированных регуляторов. // Материалы Международной конференции и Российской научной школы "Системные проблемы качества, математического моделирования и информационных технологий. Москва-Сочи 2000 г. Ч. 4. – С. 12–13.
7. Красовский А.А. Аналитическое конструирование контуров управления летательными аппаратами / А.А. Красовский. – М.: Машиностроение, 1969. – 240 с.

Ivan Savelenko

Kirovograd National Technical University

Synthesis of automatic control system of electric synchronous motor with permanent magnets

The analysis of mathematical models of electric synchronous motors with permanent magnets for the synthesis of system of automatic control.

Comparison of methods formalize requirements for the transition process in automatic control. Deduced the problem of analytical construction of optimal controller for automatic control system. Considered of the mathematical model of dynamics of movement synchronous permanent magnet motor in spatial of the rotating coordinates d-q.

Algorithms of optimal control synthesis of ACS of electric synchronous motors with permanent magnets in the form of relay control laws developed for ACS provide stability and optimum accuracy aperiodic transients.

automatic control systems, electric drive, synchronous permanent magnet motor

Одержано 18.04.15

УДК 681.518

Н.В. Смирнова, доц., канд. техн. наук, В.В. Смирнов, доц., канд. техн. наук
Кировоградский национальный технический университет

Метод организации параллельного выполнения задач в микроконтроллерах с малым объемом памяти программ

Приведено описание метода организации параллельного выполнения задач в микроконтроллерах с малым объемом памяти программ. Ресурсы микроконтроллеров начальных серий не позволяют использовать полноценную многозадачную операционную систему реального времени, тем самым значительно ограничивая возможности разрабатываемой программы. Реализация многозадачности на основе прерываний таймера, статических переменных, учета приоритета потоков и флагов состояний позволяет реализовывать управляющие программы на микроконтроллерах с ограниченными ресурсами.

потоки выполнения, параллелизм задач, микроконтроллер, программа, прерывание, RTOS

Н.В. Смірнова, доц., канд. техн. наук В.В. Смірнов, доц., канд. техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет

Метод організації паралельного виконання задач у мікроконтролерах з малим об'ємом пам'яті програм

Наведено опис методу організації паралельного виконання завдань у мікроконтролерах з малим об'ємом пам'яті програм. Ресурси мікроконтролерів початкових серій не дозволяють використовувати повноцінну многозадачну операційну систему реального часу, тим самим значно обмежуючи можливості розроблюваної програми. Реалізація багатозадачності на основі переривань таймера, статичних змінних, врахування пріоритету потоків і прапорів станів дозволяє реалізовувати керуючі програми на мікроконтролерах з обмеженими ресурсами.

потоки виконання, паралелізм завдань, мікроконтролер, програма, переривання, RTOS

Постановка проблемы. В настоящее время существует большое количество разновидностей микроконтроллеров для решения большого круга задач управления объектом. Микроконтроллеры отличаются один от другого как базовой архитектурой, объемом памяти программ и данных, так и стоимостью.

Целесообразность выбора конкретного типа микроконтроллера определяется целевой задачей. В ряде случаев, возможности микроконтроллера являются избыточными для решения конкретной задачи при выполнении однопоточной (последовательной) программы. В то же время, для параллельного выполнения нескольких задач или выполнения нескольких потоков в рамках одной задачи, возможностей микроконтроллера недостаточно.

В первую очередь, это обусловлено небольшим объемом памяти программ и оперативной памяти микроконтроллера. Обычное решение такой проблемы достаточно простое: выбирается более мощный микроконтроллер с ресурсами, достаточными для функционирования операционной системы реального времени. Такая операционная система, например FreeRTOS, легко обеспечивает параллелизм выполнения нескольких программных потоков для выполнения нескольких задач.

Анализ исследований и публикаций. Среди существующих многозадачных операционных систем реального времени только операционная система FreeRTOS поддерживает наибольшее количество архитектур микропроцессоров и

микроконтроллеров, включая PIC-контроллеры, начиная с серии 18 [1]. Более младшие серии PIC-контроллеров, такие, как 10/12 и 16 не поддерживаются ни одной RTOS.

Постановка задачи. Необходимость создания облегченной версии многозадачной операционной системы вытекает из тех преимуществ, которые реализует механизм многозадачности.

Функции циклов опроса клавиатуры и различных датчиков могут быть реализованы в виде отдельных задач, которые могут выполняться в отдельных потоках, не мешая работе основного процесса.

Например, в однопоточной программе ожидание ввода команды пользователя (оператора) с клавиатуры останавливает выполнение основной программы до момента нажатия клавиши. В многопоточной программе задача опроса клавиатуры и датчиков может осуществляться в фоновом режиме параллельно выполнению основной задачи.

На самом деле, «чистый» параллелизм не может быть реализован на одном процессоре, тем не менее, выполнение нескольких задач в режиме разделения времени не создает каких-либо препятствий для реализации механизма многозадачности.

Цель работы - создание метода организации параллельного выполнения нескольких задач в параллельных потоках для микроконтроллеров с ограниченными ресурсами, который позволит снять ограничения, присущие однопоточным программам и позволит реализовать преимущества многозадачности в контроллерах с малым объемом памяти программ.

Основная часть. Основой многозадачной операционной системы является планировщик задач [2]. В функцию планировщика входит назначение приоритетов задачам, планирование выполнения задач, запуск задач на выполнение, сохранение и переключение контекста выполнения задач и ряд других системных функций.

В микроконтроллерных системах термины «поток» и «задача» можно считать синонимами, поскольку задачей является отдельная функция или блок функций программы, имеющей одну точку входа – функцию `main()`.

Жизненный цикл потока для выполнения задачи представлен на рис. 1.

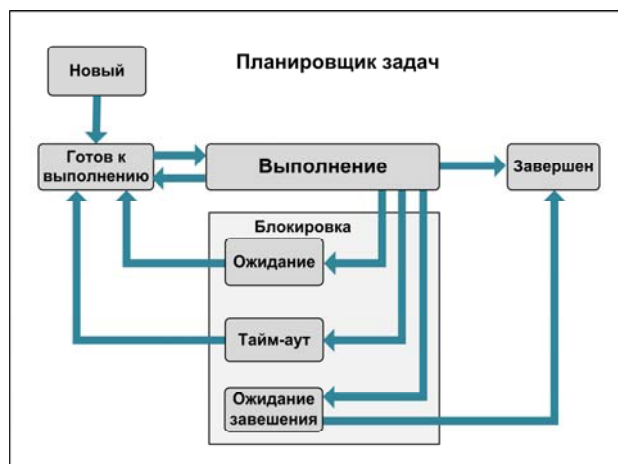


Рисунок 1 – Жизненный цикл потока в многозадачной операционной системе

Поток может находиться в состояниях: готовности к выполнению, выполнения, блокировки и завершения. Состояниями потока руководит Планировщик задач (Scheduler). Объем программного кода полноценной многозадачной операционной системы (более 8 Кб) значительно превышает объем памяти программ микроконтроллеров начальных серий (1-4 Кб) [3, 4].

Реализация полновесного планировщика задач фактически является реализацией

ядра многозадачной операционной системы, что не дает никаких преимуществ в плане минимизации объема программного кода. Поэтому механизм многозадачности реализован в виде очереди, в которой находятся потоки, ожидая запуска на выполнение. В отличие от полноценных многозадачных операционных систем, в которых невозможно предугадать, какой поток будет запущен в следующий момент времени, в упрощенном механизме реализации многозадачности запуск каждого потока осуществляется в строгой очередности. Вновь созданный поток помещается в очередь типа FIFO и ожидает запуска (рис.2).

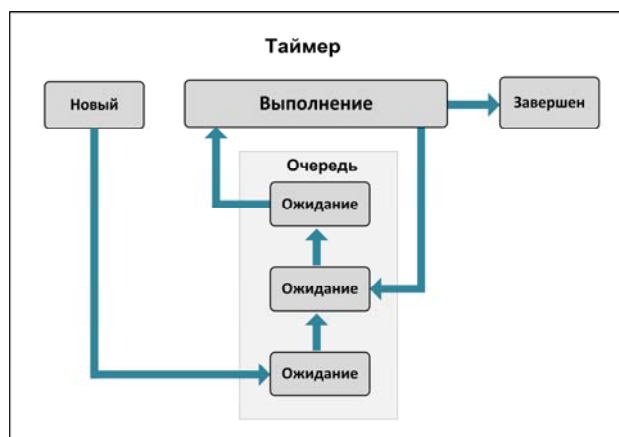


Рисунок 2 – Запуск потоков в очереди FIFO

Таймер переключения потоков вызывает прерывания с периодом 1 мс. В обработчике прерывания таймера осуществляется запуск потоков на выполнение в соответствии с алгоритмом, в котором проверяется флаг активности потока, значение которого соответствует уровню приоритета потока (рис 3.).

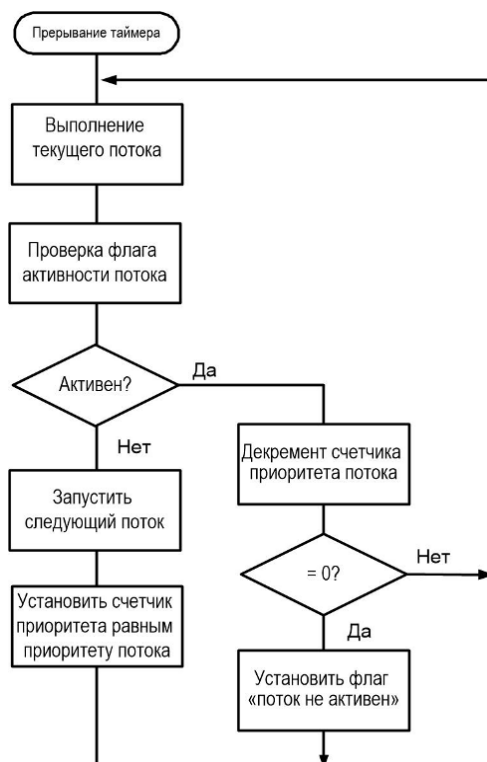


Рисунок 3 – Алгоритм работы планировщика задач на основе прерываний таймера

Важным аспектом функционирования любой многозадачной операционной системы является сохранения контекста неактивных потоков в оперативной памяти. В данном случае контекст выполнения потоков не сохраняется по следующим причинам:

- На сохранение контекста потока недостаточно оперативной памяти.

- В этом нет необходимости, поскольку компилятор при компиляции распределяет оперативную память для контекста выполнения потоков и потери значений флагов состояния задач и данных не происходит.

При этом необходимо выполнить условие: при разработке программы, для потоков, выполнение которых связано с ожиданием выполнения и завершения длительных операций, необходимо объявлять либо глобальные, либо статические переменные.

Для потоков, которые выполняются за время, меньшее, чем интервал работы таймера (1мс), можно объявлять локальные переменные.

Поскольку запуск и выполнение потоков является строго синхронным процессом, то гарантируется, что поток, цикл выполнения которого меньше периода работы таймера не будет прерван.

При такой организации многозадачности гарантируется минимальное время реакции управляющей программы на внешние или внутренние прерывания.

Функциональная схема реализации механизма многозадачности в управляющей программе отладочного модуля представлена на рис. 4.



Рисунок 4 – Функциональная схема управляющей программы отладочного модуля

Отладочный модуль реализован на микроконтроллере PIC16F873A с объемом памяти программ 4 Кб.

Параллельное выполнение потоков: фоновой задачи, ввода данных с АЦП, вывода данных на LCD дисплей и ввода символов с клавиатуры осуществлялось без каких-либо сбоев, потерь данных или зависаний программы. Обмен данными по интерфейсу RS-232 осуществлялся в режиме обработки аппаратных прерываний.

Приоритет потока назначается при его создании. Величина минимального приоритета $MIN_PRIORITY = 1$, максимального приоритета $MAX_PRIORITY = 10$. По

умолчанию, при создании потока ему присваивается значение приоритета $NORM_PRIORITY = 5$.

Приоритет потока определяет количество периодов таймера, в течении которых будет выполняться запущенный поток. То есть, если приоритет одного потока равен 3, а второго потока – 6, то это означает, что первому потоку отпущен лимит времени выполнения 3 мс (3 периода таймера), а второму потоку – 6 мс (6 периодов таймера).

При возникновении аппаратного или программного прерывания обработка прерывания таймера переключения потоков блокируется до момента завершения обработки прерывания. Таким образом, порядок запуска потоков на выполнение не нарушается.

Результаты разработки «облегченного» механизма реализации многозадачности дают основания для рекомендации его использования в микроконтроллерах с небольшими ресурсами при создании управляющих программ небольшого объема.

Выводы. Разработанный метод организации параллельного выполнения нескольких задач в параллельных потоках не является конкурентом полноценных многозадачных операционных систем реального времени для микроконтроллеров.

Метод разработан для применения параллелизма выполнения нескольких задач в микроконтроллерах, ресурсы которых не позволяют использовать полноценную операционную систему.

Реализация метода в нескольких проектах показала его эффективность для задач, решение которых в однопоточных программах очень затруднено.

Таким образом, применение разработанного метода организации параллельного выполнения задач позволяет использовать микроконтроллеры с небольшим объемом памяти программ, облегчить процедуру разработки программ управления для них и создать более качественную программную систему при прочих равных условиях.

Список литературы

1. FreeRTOS Quality RTOS & Embedded Software [Электронный ресурс]: The Market Leading, De-facto Standard and Cross Platform Real Time Operating System (RTOS) / FreeRTOS. - Режим доступа: <http://freertos.org>.
2. Э. Таненбаум Операционные системы. Разработка и реализация / Э. Таненбаум, А. Вудхалл. – СПб.: Питер, 2007. – 704 с.
3. PIC12F629/675 Data Sheet 8-Pin FLASH-Based 8-Bit CMOS Microcontrollers. - Microchip.com. – 110 p.
4. PIC16F87XA Data Sheet 28/40/44-Pin Enhanced Flash Microcontrollers. - Microchip.com. – 232 p.

Nataliya Smirnova, Vladimir Smirnov

Kirovograd National Technical University

The tasks parallel execution in the microcontroller with low program memory programs organization method

The method parallel tasks in microcontrollers with low memory programs implementation description. Resources microcontrollers initial series does not allow the use of a full-fledged multi-tasking real time operating system, thereby significantly limiting the ability to develop the program. The implementation of multitasking on the basis of timer interrupts, static variables, taking into account the priority of threads and flags of states allows to implement control programs for microcontrollers with limited resources.

Multitasking is implemented as a FIFO queue within which streams are waiting to start execution. Unlike full-fledged multi-tasking operating system, which is impossible to predict which thread will be launched in the next moment, in a simplified mechanism for multitasking start of each stream is carried out in order of priority.

execution threads, task parallelism, a microcontroller, a program interruption, RTOS

Получено 20.04.15

УДК 62-356

І.А. Швець, викл.*Первомайський політехнічний інститут Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, Первомайськ, sheva_pm@ukr.net*

Визначення основних параметрів повітряного потоку під час роботи електромеханічного актуатора керування дросельною заслінкою

В статті описано проблеми енергозабезпечення сільської місцевості та запропоновано шляхи для їх вирішення. Одним з таких шляхів, пропонується переведення генераторних установок малої та середньої циліндрової потужності на газове паливо. Застосування зазначених установок дає можливість забезпечити локальні потреби енергії в сільському господарстві, паралельно зменшити витрати на паливо. Окремо розглянуто особливості будови та роботи електромеханічного актуатора керування дросельною заслінкою (ЕМАКДЗ). Представлено математичні залежності, що дають можливим визначити параметри повітряного потоку в різних перерізах пристрою.

дросельна заслінка, дроселювання, електромеханічний актуатор, прохідний переріз, рівняння Бернуллі, швидкість потоку

И.А. Швец, препод.*Первомайский политехнический институт национального университета имени адмирала Макарова, Первомайск*

Определение основных параметров воздушного потока во время работы электромеханического актуатора управления дроссельной заслонкой

В статье описаны проблемы энергообеспечения сельской местности и предложены пути их решения. Одним из таких путей, предлагается перевод генераторных установок малой и средней цилиндрической мощности на газовое топливо. Применение указанных установок дает возможность обеспечить локальные потребности энергии в сельском хозяйстве, параллельно снизив расходы на топливо. Отдельно рассмотрены особенности строения и работы электромеханического актуатора управления дроссельной заслонкой (ЕМАКДЗ). Представлены математические зависимости, которые дают возможным определить параметры воздушного потока в различных сечениях устройства.

ключевые слова: дроссельная заслонка, дросселирование, электромеханический актуатор, проходное сечение, уравнение Бернулли, скорость потока

Вступ. Застосування альтернативної енергетики, при вирішенні локальних проблем енергозабезпечення споживачів, дозволить суттєво покращити стан речей на паливно-енергетичному ринку України. Так, згідно даних наведених в [1], сегмент ринку який займає альтернативна енергетика залишається доволі малий і складає приблизно 2%. Відповідно створивши техніко-економічні передумови для швидкого та ефективного розвитку даного напряму енергетики, з закріпленням їх на законодавчому рівні, дозволить значно розширити даний сегмент ринку, тим самим забезпечивши енергонезалежність споживача. Середній показник альтернативної енергетики для низки стан Європи складає не менше 20%, і це саме той показник, який має стати базовим для енергоринку України на найближчі роки.

Треба констатувати, що на сьогодні ще залишаються проблеми генерації електроенергії в потрібній кількості для забезпечення потреб сільської місцевості. Так наприклад: віялові відключення, відсутність електропостачання внаслідок негоди,

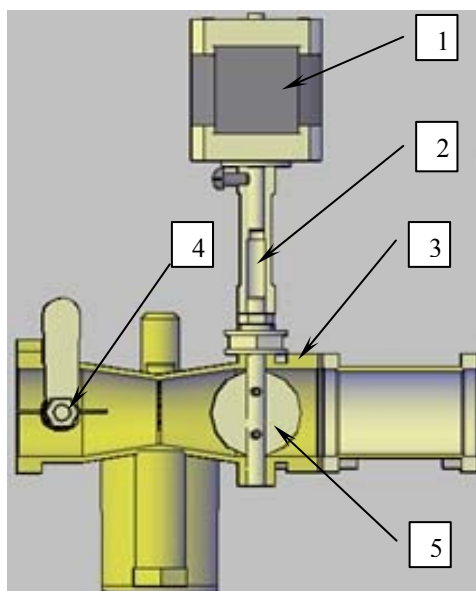
перевантаження мереж та інші проблеми електропостачання, призводять до появи проблем енергозабезпечення. Одним з шляхів вирішення зазначеної проблеми є використання потенціалу альтернативної енергетики, а саме переробки вторинної сировини, з метою подальшої її утилізації в мобільних генераторних установках, та отримання газового палива

Використання мобільних електростанцій малої та середньої циліндрової потужності дасть можливість вирішити питання забезпечення локальних потреб електроенергії в сільській місцевості, і забезпечити можливості широкого їх застосування для потреб фермерського господарства безпосередньо. Завдяки цьому заощаджуються витрати електроенергії з основної електромережі, чим забезпечується енергонезалежність такого господарства.

Постановка проблеми. Значною перевагою споживача, що знаходиться в сільській місцевості, є доступ до наявної вторинної сільськогосподарської сировини (лузга, тирса, солома, перегній, жом), з можливістю її подальшої переробки для отримання паливних газів альтернативного походження (біогаз, чадний газ та інших). В зв'язку з цим є необхідність в створенні системи подачі газового палива, яка б, з одного боку забезпечувала швидкий та безболісний перехід з рідкого палива та газове, а з іншого була уніфікованою до газового палива різного фракційного складу та походження.

Удосконалення існуючої або створення нової системи подачі газового палива має на меті покращити техніко-економічні показники базового двигуна. При цьому, як правило, головним завданням є забезпечення подачі мінімально необхідної циклової порції палива для отримання заданої потужності та крутного моменту.

Таким чином, вирішення питання забезпечення швидкої та ефективної конвертації на газове паливо чотиритактних поршневих двигунів працюючих в складі мобільних електростанцій малої та середньої циліндрової потужності, за рахунок вдосконалення системи подачі газового палива є на сьогодні **актуальною проблемою**.



Формулювання цілей. Запорукою ефективною роботи чотиритактного поршневого двигуна внутрішнього згоряння, конвертованого для роботи на газовому паливі, є забезпечення умов отримання газоповітряної суміші потрібної якості та в необхідній кількості, адже результатом виконання даної умови є протікання процесу згоряння палива в циліндрі з високою ефективністю процесу. При чому кількісне дозування паливо-повітряної суміші безпосередньо впливає і на ефективність процесу наповнення. Головна роль у регулюванні витрати суміші в двигуні із зовнішнім сумішоутворенням лягає на дросельну заслінку.

Дійсна витрата повітря – це величина, яка залежить від ряду чинників, серед яких площа прохідного отвору між заслінкою та стінкою карбюратору є одним з основних. Величина її безпосередньо залежить від кута її повороту заслінки.

В сучасних інжекторних системах подачі рідкого (бензин) та газового палива присутній датчик (потенціометр) поточного положення дросельної заслінки. Завдяки інформації що потрапляє з нього та датчика витрати повітря до центрального

комп'ютера, відбувається корекція величини циклової порції газового палива та повітря, і тим самим формується якісний склад паливо-повітряної суміші. Більш детально з будовою, принципом роботи такого роду систем, їх перевагами а недоліки можна ознайомитись в [5] та інших джерелах.

В системі подачі газового палива, що запропонована та описана в [2], також присутній елемент керування дросельною заслінкою. Центральний мікроконтролер завдяки дротовому зв'язку з кроковим двигуном 1 (рис. 1) може керувати ним, а відповідно і заслінкою 5, так як механічно зв'язаний приводною втулкою 2 з її віссю.

Обертання валу крокового двигуна має дискретний характер, і передбачає 200 кроків на один повний оберт (360°) валу двигуна. Відповідно поділивши $360^\circ / 200$ маємо робочий крок $1,8^\circ$ на імпульс, що є достатнім для регулювання витрати повітря. За необхідності підвищення точності кількісного дозування повітряного потоку, апаратно-програмним методом може бути використано режим дроблення кроку $1/2, 1/4, 1/8$ та $1/16$. Таким чином, елемент системи подачі газового палива, що має електронне керування, представлений на рис. 1 і виходячи з покладених на нього функцій, отримав назву електромеханічний актуатор керування дросельною заслінкою (ЕМАКДЗ).

Процес дозування повітряного потоку буде визначати ЕМАКДЗ, а роботою повітряної заслінки будемо нехтувати, вважаючи її положення як постійно відкрите. Відповідно, необхідно вирішити питання визначення параметрів повітряного потоку за умови дискретного повороту вісі ЕМАКДЗ, та постає завдання отримання аналітичних залежностей для визначення параметрів повітряного потоку в довільному перетині ЕМАКДЗ при відомому куті відкриття дросельної заслінки.

Викладення основного матеріалу. Розглянемо ділянку трубопроводу (рис. 2) з встановленою дросельною заслінкою. Виділимо на цій ділянці чотири основних перерізи, що відповідають за рух повітряного потоку за різних умов його руху. Так в перерізі I-I відбувається вхід повітряного потоку в пристрій, і при цьому не притерпає суттєвих змін. Але відбувається так лише до перетину II-II, що відповідає прохідному отвору утвореному дросельною заслінкою та стінкою трубопроводу, що і є причиною дроселювання потоку. Величина площі зазначеного отвору напряму залежить від кута обертання α заслінки.

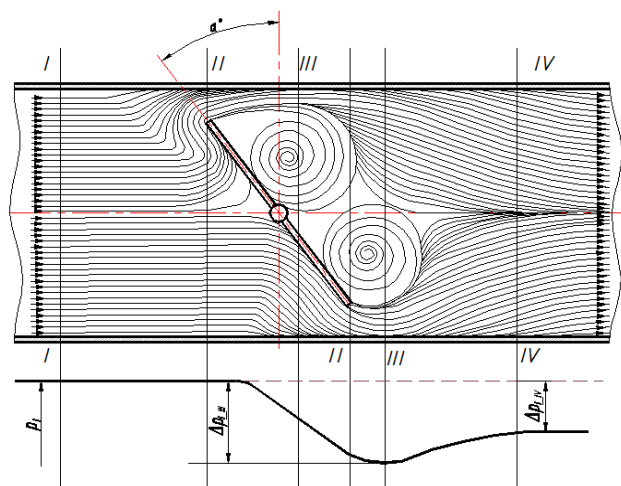


Рисунок 2 – До визначення основних параметрів повітряного потоку ЕМАФА

- I – I - вхід повітряного потоку;
- II – II - переріз що відповідає прохідному отвору між заслінкою та трубопроводом;
- III – III - переріз найбільшого стиснення струмینی;
- IV – IV - вихід повітряного потоку.

Переріз III-III характерний тим, що геометричне стиснення потоку відбувається не в перерізі найменшого прохідного отвору, а з певним зміщенням, тому і розрахунок величини дійсної витрати будемо здійснювати в зазначеному перерізі. Переріз IV-IV відповідає виходу повітряного потоку з пристрою.

Проходження повітряного потоку із його стисненням, внаслідок дроселювання, та подальшим розширенням, буде супроводжуватися зміною енергії потоку. Відповідно для отримання аналітичних залежностей щодо визначення параметрів повітряного потоку на ділянці «вхід-вихід» задіємо рівняння Бернуллі для реального потоку газу.

$$\frac{v_i^2}{2} + gh_i + \frac{k_i}{k_i - 1} \cdot \frac{p_i}{\rho_i} = \frac{v_{i+1}^2}{2} + gh_{i+1} + \frac{k_{i+1}}{k_{i+1} - 1} \cdot \frac{p_{i+1}}{\rho_{i+1}} + \xi \cdot \frac{v_i^2}{2} = const, \quad (1)$$

де v_i, v_{i+1} – швидкість потоку відповідно на вході та на виході;

g – вектор вільного тяжіння;

h_i, h_{i+1} – центр ваги потоку відповідно на вході та на виході;

k_i, k_{i+1} – показник адиабати потоку відповідно на вході та на виході;

p_i, p_{i+1} – тиск потоку відповідно на вході та на виході;

ρ_i, ρ_{i+1} – густина потоку відповідно на вході та на виході;

ξ – коефіцієнт гідравлічного опору.

Після виконання відповідних математичних перетворень, отримуємо вираз для визначення швидкості газового потоку в довільному перерізі пристрою:

$$v_{i+1}^2 = \frac{1}{\sqrt{(1+\xi)}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot k}{k-1} \cdot R_i \cdot T_i \cdot \left(1 - \left(\frac{p_{i+1}}{p_i} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right)} + v_i^2. \quad (2)$$

Представлена математична залежність (2) є приватним рішенням рівняння Бернуллі для визначення швидкості потоку, отримане свого часу Сен-Венаном – Венцелем.

Будемо виходити з того, що робоче положення заслінки відповідає куту від 15° до 90° , що в свою чергу забезпечує достатній прохідний отвір для руху повітряного потоку в докритичній області, бо інакше, досягнення критичного значення прохідного отвору призведе до критичного перепаду тиску $q_{kp} = \frac{p_{i+1}}{p_i}$ і як наслідок до надкритичного руху повітряного потоку:

$$v_{kp}^2 = \sqrt{k_i \cdot R_i \cdot T_i}. \quad (3)$$

Величина витрати повітряного потоку може бути визначена на основі залежності:

$$G_i = \mu_i \cdot \rho_i \cdot f_i \cdot v_i, \quad (4)$$

де μ_i – коефіцієнт витрати отвору дроселювання;

ρ_i – густина потоку в перетині що розглядається;

f_i – поточне значення площі отвору дроселювання ЕМАКДЗ;

v_i – швидкість руху повітряного потоку при проходженні через отвір дроселювання.

Якщо вважати течію повітряного потоку через прохідний отвір органу дроселювання адиабатичною, то густина потоку в довільному перетині може бути визначена як:

$$\rho_{i+1} = \rho_i \cdot \left(\frac{p_{i+1}}{p_i} \right)^{\frac{1}{k}}. \quad (5)$$

На базі залежності (4) визначимо коефіцієнт витрати μ , для цього попередньо нагадаємо що:

$$\mu_i = \alpha_i \cdot \varphi_i, \quad (6)$$

де α_i – коефіцієнт стиснення струмини потоку;

$$\varphi_i - \text{швидкісний коефіцієнт; } \varphi_i = \frac{1}{\sqrt{(1 + \xi)}}.$$

Тоді після відповідної постановки (2), (5) та (6) в залежність (4) отримуємо в розгорнутому вигляді:

$$\begin{aligned} G_i &= \mu_i \cdot \rho_i \cdot f_i \cdot v_i = \dots \\ &= \alpha_i \cdot \varphi_i \cdot \rho_i \cdot \left(\frac{p_{i+1}}{p_i} \right)^{\frac{1}{k}} \cdot f_i \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot k}{k-1} \cdot R_i \cdot T_i \cdot \left(1 - \left(\frac{p_{i+1}}{p_i} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right) + v_i^2}. \end{aligned} \quad (7)$$

Виконавши необхідні математичні перетворення в результаті маємо:

$$\mu_i \cdot f_i = \sqrt{G_i^2 \cdot \left(\frac{p_{i+1}}{p_i} \right)^{\frac{2}{k}} + v_i^2 \cdot F_1^2 \cdot \rho_i \cdot \psi_i^2}, \quad (8)$$

де ψ_i – допоміжний витратний коефіцієнт;

$$\psi_i = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot k}{k-1} \cdot \left(\left(\frac{p_{i+1}}{p_i} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_{i+1}}{p_i} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right)}. \quad (9)$$

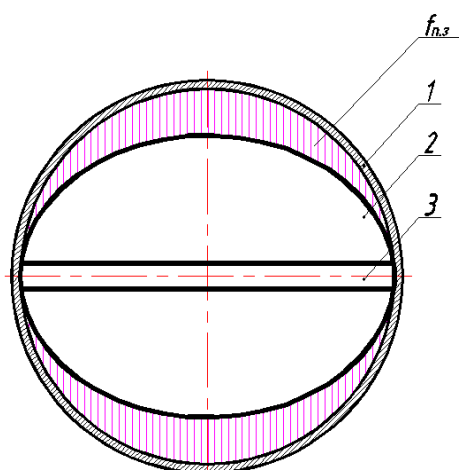
Виконавши підстановки в залежність та необхідні перетворення отримуємо:

$$\mu_i = \frac{1}{f_i \cdot \sqrt{\left(\frac{p_{i+1}}{p_i} \right)^{\frac{2}{k}} + \frac{p_i \cdot \psi_i^2}{q_i \cdot 2 \cdot g}}}, \quad (10)$$

де $q_i = \frac{\rho_i \cdot v_i^2}{2 \cdot g}$ – швидкісний напір в попередньому i -му перетині;

Якщо допустити, що процес дроселювання реального газового потоку має усталений характер, та нехтуючи зміною внутрішньої енергії потоку, отримаємо на базі (7) залежність для визначення тиску в довільному перетині пристрою:

$$p_{i+1} = p_i \cdot \frac{\rho_{i+1}}{\rho_i} - \frac{\rho_i \cdot v_i^2}{2 \cdot g} \cdot \left(\frac{1}{f_i^2 \cdot \left(\frac{\rho_{i+1}}{\rho_i} \right)^2} - 1 \right). \quad (11)$$



1 – корпус, 2 – диск заслінки, 3 – вісь заслінки

Рисунок 3 – До визначення площі прохідного отвору ЕМАКДЗ

Прохідний отвір між заслінкою та трубопроводом представляє собою сегмент, форма і площа якого залежить головним чином від кута повороту вісі заслінки.

Повне закриття заслінки в карбюраторі не допускається з експлуатаційних міркувань, і обмежено початковим кутом α_n . Профільна проекція заслінки в напівзакритому положенні представляє собою еліпс, що має малу (вертикальну) та велику (горизонтальну) вісь. Відкриття заслінки супроводжується зменшення малої вісі проекції еліпсу, а велика вісь при цьому залишається не змінною. До горизонтальної вісі 3 заслінки, що представляє собою довгий циліндр, завдяки гвинтам кріпиться тонкий металевий диск 2. Таким чином при повному відкритті, площа аеродинамічного опору диску 2, буде менше площі аеродинамічного опору вісі 3. Враховуючи останні обставини, отримуємо систему критеріальних рівнянь для визначення величини площі прохідного отвору

дросельної заслінки:

$$f_i = \left| \begin{array}{l} \frac{\pi \cdot d_{mp}^2}{4} - \pi \cdot h_i \cdot d_3, \text{ якщо } h > d_{e,3} \\ \frac{\pi \cdot d_{mp}^2}{4} - d_{e,3} \cdot d_3, \text{ якщо } h \leq d_{e,3} \end{array} \right|, \quad (12)$$

де $d_{тр}$ – діаметр кільцевого перерізу встановлення заслінки;

d_3 – діаметр диску заслінки;

$d_{в,3}$ – діаметр вісі заслінки;

h – мала вісь еліпса утворена внаслідок нахилу заслінки; $h_i = d_3 \cdot \cos(\alpha)$ причому α знаходиться в діапазоні від $[\alpha_n \dots \alpha_{max}]$.

Представлена методика розрахунку параметрів повітряного потоку, що складається з математичних залежностей (1) – (12) базується на основі наступних допущень:

1) рух газового потоку на i -й ділянці каналу, для малого проміжку часу може вважатися як усталений та одномірний;

2) нехтуємо незначними коливаннями тиску та температури при русі потоку;

На кафедрі ДВЗ Первомайського політехнічного інституту НУК була реалізована програма розрахунку параметрів повітряного потоку згідно залежностей

(2) – (12). Отримані результати розрахунку планується перевірити в ході експериментального дослідження, на установці для статичної продувки повітрям.

Висновки:

1. Параметри газового потоку в при русі в довільному перетині ЕМАКДЗ залежать від низки чинників, серед яких кут повороту заслінки, та відповідно залежна від нього площа прохідного отвору дроселя є одними з головних. Також на витрату повітряного потоку впливає коефіцієнт витрати, який суттєво змінює своє поточне значення, в залежності від кута прикриття заслінки.

2. Основні математичні залежності (2) – (12) отримано без врахування можливого нестационарного руху повітряного потоку з місцевими пульсаціями, що в кінцевому випадку може несуттєво вплинути на результати, отримані в ході експериментального дослідження.

Список літератури

1. Сидорова Д.С. Современное состояние и перспективы рынка альтернативной энергетики в Украине / Д.С. Сидорова // Серія «Міжнародні відносини. Економіка. Туризм». – ХНУ.– 2014. – С. 99 – 104
2. І.А. Швець / Спосіб отримання та дозування паливо-повітряної суміші та система для його реалізації. / «Сучасні проблеми двигунобудування: стан. ідеї, рішення». Матеріали V-ої всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю . – ДВЗ. – Первомайськ: ППІ НУК, 2013 р. – 320 с.
3. Швець І.А. Математичне моделювання процесів що відбуваються в робочій порожнині електромеханічного актуатора подачі палива / І.А. Швець // Збірник наукових праць кіровоградського національного технічного університету / Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кіровоград: КНТУ. – 2014. – вип. 27. – 394с.
4. Бельтюков В.П. Определение коэффициента расхода через щель между дроссельной заслонкой и трубой / В.П. Бельтюков // Известия томского ордена трудового красного знамени политехнического института имени С. М. Кирова. – Изд. ТПИ. – 1959. – т. 96. 1. – 209 с.
5. Ерохов В.И. Легковые газобаллонные автомобили: Устройство, переоборудование, эксплуатация, ремонт / В.И. Ерохов. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2003. – 238с.
6. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям [Текст] / Под ред. М.О. Штейнберга. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.: ил.
7. Круглов М.Г., Меднов А. А., Газовая динамика комбинированных двигателей внутреннего сгорания: [Учеб. пособие для студентов, обучающихся по специальности «Двигатели внутреннего сгорания»] . – М.: Машиностроение, 1988. – 360 с.

Shvets Igor

Pervomajskij Polytechnic Institute National University of Shipbuilding named after admiral Makarov

Definition of the basic parameters of air flow during operation of the electromechanical actuator throttle

Problems of rural energy and finding ways to solve them. One such way is the translation generator sets of small and average cylinder power to gas. The implementation of this path involves the development of new components of the system elements of the gaseous fuel. Accordingly, the question arises of obtaining mathematical functions to determine the operating parameters of these devices.

In the article the peculiarities of construction and operation of an Electromechanical actuator of the throttle control (ЕМАКДЗ). The basic mathematical relationships which make it possible to determine the parameters of the air flow in different sections of the device, and analyzed the factors affecting the output parameters of the air flow.

Analysis of the obtained dependences showed that the hydrodynamic parameters of the air flow in an arbitrary section (ЕМАКДЗ) mainly depend on: angle valve, and flow coefficient. In addition, upon receipt of mathematical relations were not taken into account the impact of existing ripple of unsteady flow due to its insignificance.

throttle, throttle, electromechanical actuator, orifice, Bernoulli equation, flow rate

Одержано 07.05.15

ЗМІСТ

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

<i>А.М. Кириченко, О.В. Шеленко</i> Вибір компоновки багатокординатного верстата паралельної структури з ланками змінної довжини	3
<i>Ю.В. Кулешков, Т.В. Руденко, М.В. Красота, О.О. Матвиенко, Р.А. Осин</i> Экспериментальные исследования спектров шума шестеренного насоса с косозубым зацеплением.....	9
<i>Mykhailo Chernovol, Igor Shepelenko, Budar Mohamed R.F.</i> Selection of a processing medium for the finishing antifriction nonabrasive treatment	18
<i>Є.К.Солових, В.В.Аулін, А.Є.Солових, С.Є.Катеринич</i> Підвищення функціональних властивостей гальванічних полімерометалевих покриттів на основі міді при проточному нарощуванні зношених поверхонь	24
<i>С.М. Анастасенко, І.О. Григурко, В.Я. Ошовський, В.Л. Будуров</i> Модернізація вузлів обладнання для механічної обробки гільзи циліндрів двигуна на токарних верстатах застарілої конструкції	30
<i>М.С. Козут, Р.В. Гуменюк, Я.В. Шолудько</i> Спосіб виготовлення кільцевого шва в циліндрі та оцінка його і термонапруженої арматури за тріщиностійкістю	37
<i>А.Ю. Лисих</i> Механіка елементів хвильового рушія.....	41
<i>В.Я. Мірзак, В.М. Боков</i> Засоби динамічного моніторингу якості тонколистового розділового штампування в системі «прес-штамп»	46
<i>М.М. Мороз</i> Шляхи вдосконалення пасажирських перевезень транспортом загального користування	57
<i>Ю.А. Невдаха, В.О. Дубовик, А.Ю. Невдаха</i> Теоретичне дослідження методів вдосконалення редукторів	63
<i>В.І. Носуленко, В.В. Юр'єв</i> Розмірна обробка електричною дугою отворів складного контуру.....	70
<i>І.І. Павленко, П.В. Попруга</i> Автоматизація структурного та кількісного аналізу кінематичних схем промислових роботів	73
<i>М.М. Підгасцький, К.К.Щербина</i> Кінематика процесу різання при хонінгуванні отворів пружно-гвинтовим хоном	80

<i>Р.Г. Пузырь</i> Анализ распределения напряжений при радиально-ротационном профилировании ободьев колес	86
<i>О. Ф. Сіса</i> Біполярна обробка електричною дугою тврдосплавних прокатних валків.....	91
<i>В.Б. Струтинський, І.В. Перфілов</i> Дослідження мікропрофіля поверхні одержаного вібраційною обробкою фрезами малого діаметра.....	97
<i>С.В. Струтинський</i> Просторові системи пластично-деформованих мехатронних приводів на основі сплавів із пам'яттю форми	106
<i>В.М.Шмельов</i> Розмірна обробка електричною дугою ступінчастих стержнів	118
ТЕХНІКА В СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОМУ ВИРОБНИЦТВІ	
<i>Е. Б. Алієв, В. В. Лиходід, В. М. Забудченко, В. В. Полюсов</i> Дослідження динаміки деформації руна грубої овечої вовни при розтягуванні	123
<i>В.В. Аулін, А.В. Гриньків</i> Проблеми підвищення експлуатаційної надійності та можливості удосконалення стратегій технічного обслуговування мобільної сільськогосподарської техніки	126
<i>Е.Б. Алієв, В.В. Лиходід, В.М. Забудченко, В.В. Івлєв</i> Дослідження динаміки деформації зволоженої грубої овечої вовни при ущільненні	132
<i>В.В. Братішко</i> Продуктивність та енергоємність процесу гранулювання зерно-стеблової кормосуміші гвинтовим гранулятором	138
<i>О.В. Бєвз, С.О. Магопець, О.О. Матвієнко</i> Вплив автомобільного транспорту на повітряний басейн міста Кіровограда	144
<i>С.В. Бондарчук</i> До питання про вплив авіаційного шуму на людину під час виконання авіаційних хімічних робіт.....	149
<i>І.Ф. Василенко</i> Вибір матеріалів порошкових дротів для нанесення композиційних покриттів	154
<i>К.В. Васильковська, О.М. Васильковський</i> Визначення оптимальних параметрів пристрою для видалення зайвого насіння з комірок висівного диска пневмомеханічного апарата	159

<i>О.Ф. Говоров</i> Захист ножів ротаційних різальних апаратів від співударяння з предметами високої твердості	164
<i>В.П. Горобей, М.А. Литвиненко</i> Модернізація сівалки для селекційно-насіницької сівби зернових і зернобобових культур	168
<i>Ю.І. Козелко, М.В. Усенко</i> Визначення сил, що діють на картоплину в картоплевисаджувальних апаратах з наколювальним пристроєм	174
<i>С.М. Леценко, В.М. Сало</i> Обґрунтування доцільності проведення глибокого чизельного рихлення на переуцільнених та ерозійно-небезпечних ґрунтах	181
<i>В.Й. Лобов</i> Спосіб сівби насіння просапних сільськогосподарських культур	187
<i>Д.О. Мілько</i> Методика оцінки фізико-механічних властивостей рослинної сировини	196
<i>Р.В. Мельник</i> Ефективність роботи мобільних електрифікованих засобів ільськогосподарського призначення	202
<i>О.В. Оришака, В.І. Гуцул</i> Динаміка постачального пристрою установки безперервної дії для завантаження сипких матеріалів	208
<i>О.Р. Полішкевич</i> Стратегія розвитку виробництва та переробки зерна кукурудзи як шлях вирішення енергетичної незалежності та безпеки України	216
<i>М.О. Свірень, О.В. Анісімов, І.К. Солових</i> Дослідження параметрів та режимів роботи пневмомеханічного висівного апарату надлишкового тиску з рециркулюючим потоком насіння	223
<i>М.И. Черновол, Т.В. Ворона, Е.Е. Кожевникова, Л.А. Лопата</i> Повышение износостойкости газотермических покрытий из железо-углеродистых сплавов электроконтактной обработкой	230

АВТОМАТИЗАЦІЯ

<i>Р.О. Бакарджиев, А.О. Комаров</i> Особливості оцінки результатів регресійного аналізу	237
---	-----

<i>О.В. Артеменко</i> Моделирование задачи выбора запасного аэродрома на базе искусственной нейронной сети	244
<i>В.А. Бісюк, О.К. Дідик, Л.В. Робакова</i> Автоматичне керування неперервно-послідовним індукційним наплавленням	250
<i>Р.О. Бакарджиев, А.О. Комаров</i> Попередня оцінка і обробка даних при регресійному аналізі.....	255
<i>Б.М. Гончаренко, О.П. Лобок, Л.Г. Віхрова</i> Робастне керування нелінійними об'єктами з запізнюванням	260
<i>Р. В. Жесан, О. П. Голик, Н. Б. Коренецька, А. А. Попок</i> Шляхи можливого розв'язання сучасних проблем вітчизняної енергетики за допомогою поновлюваних джерел енергії	266
<i>В.В. Іващук, Ю.Б. Беляєв</i> Структурування управляючих концептів прийняття рішень в умовах асортиментного виробничого плану	274
<i>В.П. Калінчик, О.А. Петров, П.Г. Плешков</i> Підвищення точності вимірювання напруги прямої послідовності	279
<i>О.А. Козловський</i> Удосконалення первинного вимірювального перетворювача ожеледоутворення для повітряних ліній електропередачі	290
<i>Р.М. Минайленко, О.Г. Собінов, К.В. Буравченко</i> Визначення класифікаційних структурних факторів, які впливають на технологічний процес сушіння зерна в баштових сушарках	295
<i>С.І. Осадчий, І.А. Березюк, К.А. Недопьокін</i> Методологія та етапи забезпечення максимальної якості процесу керування обробкою деревини на стрічкопилковому верстаті	301
<i>І.В. Савеленко</i> Синтез системи автоматичного керування електроприводом на базі синхронного двигуна з постійними магнітами	309
<i>Н.В. Смирнова, В.В. Смирнов</i> Метод организации параллельного выполнения задач в микроконтроллерах с малым объемом памяти программ	317
<i>І.А. Швець</i> Визначення основних параметрів повітряного потоку під час роботи електромеханічного актуатору керування дросельною заслінкою	322

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ
КІРОВОГРАДСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

ТЕХНІКА В СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОМУ ВИРОБНИЦТВІ, ГАЛУЗЕВЕ
МАШИНОБУДУВАННЯ, АВТОМАТИЗАЦІЯ

В и п у с к 28

Відповідальний за випуск Шепеленко І.В.

Комп'ютерна верстка І.М. Каліч

Тиражування О. Г. Каліч

*Приватне підприємство «Ексклюзив-Систем»
Свідоцтво № ДК 4470 від 17.01.2013р.
25006, м. Кіровоград, вул. Шевченка, 25
тел./факс 24-35-53*

Підписано до друку 09.06.2015р. Формат 60x84/8. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman. Офсетний друк. Умов. друк. арк. 41,5
Тираж 300 прим. Зам. № 0070