

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 26

Кіровоград • 2013

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. 26. – КІРОВОГРАД: КНТУ, 2013. - 322 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 №10 від 27 травня 2013 року.

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

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

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

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

УДК 621.891

В.А.Войтов, проф., д-р техн. наук, С.В. Дригуля, асп., В.А. Бунецкий, асп.

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П. Василенко

Экспериментальные исследования параметров помола биомассы в дезинтеграторе

В работе приведены результаты экспериментальных исследований измельчения разных типов биомассы в дезинтеграторе. Проранжированы факторы, влияющие на суммарную мощность на измельчение, производительность дезинтегратора и средний размер частиц после помола. Установлено, что измельчение соломы наиболее энергоемкий процесс, чем измельчение отходов древесины, подсолнечника и кукурузы.

дезинтегратор, измельчение, энергозатраты, производительность, средний размер частиц после помола

В.А. Войтов, С.В. Дригуля, В.О. Бунецкий

Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П. Василенко

Експериментальні дослідження параметрів помелу біомаси в дезінтеграторі

В роботі наведено результати експериментальних досліджень подрібнення різних типів біомаси в дезінтеграторі. Проранжовано фактори, що впливають на сумарну потужність на подрібнення, продуктивність дезінтегратора і середній розмір часток після помелу. Встановлено, що подрібнення соломи найбільш енергоємний процес, ніж подрібнення відходів деревини, соняшнику та кукурудзи.

дезінтегратор, подрібнення, енерговитрати, продуктивність, середній розмір часток після помолу

Актуальность. При производстве твердого топлива из биомассы (соломы, отходов подсолнечника, кукурузы, древесины) для предварительного измельчения перед прессованием используют молотковую дробилку или другие устройства, совмещающие несколько механизмов измельчения. Для снижения энергозатрат при измельчении и одновременном повышении степени измельчения в работе [1] обосновывается применение дезинтегратора. Дезинтегратор обеспечивает влажный помол биомассы, с последующим влажным прессованием, а, следовательно, позволяет исключить сушку из технологического процесса, как наиболее энергоемкую составляющую процесса производства.

Анализ последних публикаций по данной проблеме. Авторами работы [2] получены основные уравнения моделирования измельчения биомассы в дезинтеграторе и выполнены теоретические исследования эффективности помола. По результатам исследований была выполнена оптимизация геометрических размеров и режимов работы дезинтегратора, которая обеспечивает максимальный КПД и минимальные затраты электроэнергии на одну тонну помола биомассы [3].

По результатам моделирования и оптимизации конструктивных параметров был получен патент на полезную модель [4] и изготовлен опытный образец дезинтегратора.

Цель исследований – экспериментальным путем подтвердить адекватность теоретических исследований по определению энергозатрат на помол, производительность дезинтегратора и тонкость помола.

Методический подход в проведении исследований.

Как следует из результатов математического моделирования [2], на процесс измельчения биомассы влияет ряд независимых факторов: физико-механические характеристики помольной среды (плотность, предел прочности, модуль упругости); начальный размер частиц материала перед помолом; влажность материала; обороты ротора дезинтегратора.

В качестве материалов измельчения выступают три вида биомассы: солома зерновых культур; отходы подсолнечника и кукурузы; древесные отходы.

Данные виды материалов отличающихся между собой плотностью, пределом прочности, модулем упругости, а, следовательно, будут по-разному влиять на процесс измельчения.

Частоту вращения роторов дезинтегратора изменяли с помощью сменных шкивов. Значения частоты вращения регистрировали с помощью тахометра, предел допустимой погрешности 0,5%.

Потребляемую мощность электрическим двигателем на установившемся режиме работы дезинтегратора определяли с помощью ваттметра.

Производительность дезинтегратора определяли через скорость помольной среды на выходе из дезинтегратора:

$$G_o = A_{\min} \sqrt{1 - \left(\frac{A_{\min}}{A_{\max}}\right)^2} \times V_{II},$$

где G_o – производительность дезинтегратора, м³/с;

A_{\min} – меньшая площадь сечения выходного патрубка дезинтегратора, м²;

A_{\max} – большая площадь сечения выходного патрубка дезинтегратора, м²;

V_{II} – скорость потока помольной среды на выходе из дезинтегратора, м/с.

Скорость потока на выходе из дезинтегратора определяли с помощью диффузора и U-образного водяного манометра.

Для определения тонкости помола различных видов биомассы в дезинтеграторе, а также для определения среднего размера частиц после помола применили ситовый метод определения гранулометрического состава согласно ГОСТ 2093-82.

Для проведения лабораторного анализа применяли сита с проволочными и капроновыми сетками по ГОСТ Р51568-99. Размер ячеек сит в микрометрах: 710; 500; 250; 125; 63; 45.

Биомассу с массовой долей влаги после помола, препятствующей разделению частиц перед рассевом, сушили в сушильном шкафу при температуре не выше (40±5)°С.

Планирование и обработка результатов экспериментов. Учитывая большое количество переменных, влияющих на процесс измельчения был выбран трехфакторный план Бокса-Бенкена, позволяющий получать одинаковую дисперсию значений функции отклика во всех равноудаленных от центра эксперимента точках.

Среди большого количества факторов, которые влияют на процесс измельчения в дезинтеграторе, частота вращения, влажность помольной среды и начальный размер частиц перед помолом, легко контролируются в процессе проведения эксперимента и, как показали предварительные опыты, имеют минимальное значение среднего квадратического отклонения.

Факторы, которые подвержены изменению в процессе эксперимента и уровни их варьирования представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Исследуемые факторы и уровни варьирования

Исследуемый фактор	Ед. измерения	Обозначение	Уровни варьирования		
			-1	0	+1
Частота вращения, n	об/мин	X_1	500	1500	2500
Влажность биомассы, Q	%	X_2	15	30	45
Начальный размер частиц, d_n	мм	X_3	2	5	8

В качестве функции отклика в процессе проведения эксперимента были выбраны следующие показатели:

- суммарная мощность потребляемая двумя двигателями на установившемся режиме работы дезинтегратора – $N_{изм}$, кВт;

- производительность дезинтегратора на установившемся режиме работы – G_o , т/ч;

- средний размер частиц биомассы после помола – d_s , мм.

Результаты экспериментальных исследований. По полученным экспериментальным данным с помощью метода наименьших квадратов были получены регрессионные уравнения второго порядка.

Статистическая оценка значимости коэффициентов регрессии производилась с помощью критерия Стьюдента, а проверка на адекватность регрессионного уравнения – с помощью критерия Фишера.

Регрессионные уравнения процесса измельчения древесных отходов в дезинтеграторе в кодовых значениях имеют следующий вид.

1. Уравнение затрат суммарной мощности на измельчение:

$$N_{изм.д.} = 26,3 + 22,2X_1 - 2,03X_2 + 0,025X_3 + 0,1X_2X_3 + 0,05X_1X_3 - 0,175X_1X_2 + 0,67X_3^2 + 0,9X_2^2 + 9,05X_1^2. \quad (1)$$

2. Уравнение производительности дезинтегратора:

$$G_{o.д.} = 28,46 + 19,8X_1 + 1,31X_2 - 0,13X_3 - 0,32X_2X_3 + 0,05X_1X_3 + 0,5X_1X_2 + 0,55X_3^2 + 1,154X_2^2 + 1,77X_1^2. \quad (2)$$

3. Уравнение среднего размера частиц после помола:

$$d_{s.д.} = 0,063 - 0,046X_1 - 0,01X_2 + 0,036X_3 - 0,011X_2X_3 - 0,042X_1X_3 + 0,016X_3^2 + 0,027X_1^2. \quad (3)$$

Анализ уравнений (1) – (3) позволяет проранжировать степень влияния факторов на целевые функции отклика.

Как следует из уравнения (1) на суммарную мощность измельчения в большей степени влияют обороты ротора \tilde{O}_1 , затем влажность помольной среды \tilde{O}_2 и в значительно меньшей степени начальный размер частиц перед помолом X_3 .

Такое влияние факторов характерно и для производительности дезинтегратора, уравнение (2).

Степень влияния факторов на средний размер частиц после помола, уравнение (3), имеет иной рейтинг. В большей степени влияют обороты ротора \tilde{O}_1 , затем

начальный размер частиц перед помолом \tilde{O}_3 и в последнюю очередь влияет влажность помольной среды \tilde{O}_2 .

Расчет по регрессионным уравнениям в натуральных значениях переменных показал, что при $n = 1500$ об/мин, влажности древесных отходов 30% и начальный размер частиц 5 мм: $N_{изм} = 26,4$ кВт; производительность $G_o = 28$ т/ч; средний размер частиц после помола $d_s = 0,063$ мм, что удовлетворительно согласуется с теоретическими расчетами [2, 3].

Регрессионные уравнения процесса измельчения отходов подсолнечника и кукурузы в кодовых значениях имеют вид.

1. Уравнение затрат суммарной мощности на измельчение:

$$N_{изм.п.} = 28,4 + 22,4X_1 - 2,25X_2 + 0,05X_3 + 0,1X_2X_3 + 0,1X_1X_3 - 0,3X_1X_2 - 1,28X_3^2 - 1,13X_2^2 + 6,91X_1^2. \quad (4)$$

2. Уравнение производительности дезинтегратора:

$$G_{o.п.} = 27,43 + 19,9X_1 + 1,5X_2 - 0,025X_3 - 0,1X_2X_3 + 0,4X_1X_3 + 0,4X_1X_2 + 0,4X_3^2 + 1,4X_2^2 + 1,8X_1^2. \quad (5)$$

3. Уравнение среднего размера частиц после помола:

$$d_{s.п.} = 0,063 - 0,122X_1 - 0,02X_2 + 0,075X_3 - 0,027X_2X_3 - 0,043X_1X_3 + 0,068X_3^2 - 0,01X_2^2 + 0,099X_1^2. \quad (6)$$

Анализ уравнений (4) – (6) позволяет сделать вывод, что степень влияния факторов на затраты суммарной мощности, производительности и среднего размера частиц после помола аналогична древесным отходам. При этом, расчет по регрессионным уравнениям в натуральных значениях переменных показал, что при тех же значениях, что и у древесных отходов: $n = 1500$ об/мин, влажность 30% и начальном размере частиц 5 мм: $N_{изм} = 28,5$ кВт; производительность $G_o = 27$ т/ч; средний размер частиц после помола $d_s = 0,063$ мм.

Как следует из эксперимента помол отходов подсолнечника и кукурузы – более энергоемкий процесс, чем древесных отходов.

Регрессионные уравнения процесса измельчения соломы в кодовых значениях имеют вид.

1. Уравнение затрат суммарной мощности на измельчение:

$$N_{изм.с.} = 30,5 + 22,27X_1 - 3,11X_2 + 0,91X_3 - 1,75X_2X_3 + 0,175X_1X_3 - 0,075X_1X_2 + 0,52X_3^2 + 0,62X_2^2 + 6,95X_1^2. \quad (7)$$

2. Уравнение производительности дезинтегратора:

$$G_{o.с.} = 26,66 + 19,76X_1 + 1,08X_2 - 0,2X_3 - 0,55X_2X_3 + 0,05X_1X_3 + 0,57X_1X_2 + 0,154X_3^2 + 1,129X_2^2 + 1,57X_1^2. \quad (8)$$

3. Уравнение среднего размера частиц после помола:

$$d_{s.c.} = 0,125 - 0,08X_1 - 0,02X_2 + 0,07X_3 - 0,027X_2X_3 - 0,043X_1X_3 + 0,2X_1X_2 - 0,068X_3^2 + 0,063X_2^2 + 0,173X_1^2. \quad (9)$$

Как следует из уравнений (7) – (9) степень влияния факторов аналогичная как и у древесных отходов и отходов подсолнечника. Однако расчеты параметров дезинтегратора при одинаковых значениях оборотов, влажности и начального размера частиц показали, что: $N_{изм} = 30,6$ кВт; $G_o = 26,4$ т/ч; $d_s = 0,125$ мм

Выводы:

1. Результаты экспериментальных исследований позволяют сделать вывод, что полученные расчетные зависимости, опубликованные в работах [2, 3], адекватны результатам эксперимента, а разработанная методика расчета [2, 3] может применяться для проектирования дезинтеграторов под другие типы биомасс на различную степень измельчения.

2. Экспериментальными исследованиями установлено, что измельчение соломы наиболее энергоемкий процесс по сравнению с отходами подсолнечника, кукурузы и отходов древесины. При одних и тех же энергозатратах средний размер частиц помола соломы в 2 раза больше, чем у древесных отходов и отходов подсолнечника и кукурузы.

Список литературы

1. Бунецький В.О. Аналіз технологічних процесів отримання твердого палива у вигляді пеллет або брикетів / В.О. Бунецький // Інститут рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН, Вісник центру наукового забезпечення АПВ Харківської області, випуск 10, 2011. – С. 328-340.
2. Войтов В.А., Дригуля С.В., Бунецький В.А. Основные уравнения моделирования измельчения биомассы в дезинтеграторе / Вісник ХНТУСГ, вип. 123. – Харків: ХНТУСГ, 2012. – С. 240-246.
3. Дригуля С.В. Оптимизация конструктивных параметров дезинтегратора для измельчения биомассы / Перспективна техніка і технології – 2012. Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених, аспірантів і студентів. – Миколаїв: МДАУ, 2012. – С. 182-186.
4. Войтов В.А., Бунецький В.О. Дезинтегратор, UA 65059. Патент на корисну модель. МПК В02С 13/22. Опубліковано Бюл. №22, 25.11.2011.
5. Войтов В.А., Дригуля С.В. Экспериментальные исследования дисперсности помола биомассы в дезинтеграторе / Вісник ХНТУСГ, вип. 136. – Харків: ХНТУСГ, 2013. – С. 236-246.

V. Vojtov, S. Drigulia, V. Bunetskij

Kharkov National Technical University of Agriculture them. P. Vasilenko

Experimental investigations of the parameters of grinding biomass in the disintegrator

The purpose of research - experimentally confirm the adequacy of theoretical studies to determine the energy consumption for grinding, the performance of the cage and fineness.

The results of experimental studies of different types of biomass grinding in a disintegrator were presented in the paper. The factors that influence the total power reduction, performance disintegrator and the average size of the particles after grinding were ranking. Chopped straw most energy intensive than chopping wood waste, sunflower and maize was found.

Chopped straw most energy intensive than waste sunflower, corn, and wood waste. At the same energy consumption an average particle size of grinding straw is 2 times greater than that of wood waste and sunflower corn.

disintegrator, grinding, energy costs, performance, the average size of the particles after grinding

Получено 18.04.13

УДК 663.532:621.928.1

В.Е. Зубков, проф., д-р техн. наук

Луганский национальный университет имени Тараса Шевченко

Об эффективности применения пневмомеханического сепаратора корнеклубнеплодов

В статье аналитическим и экспериментальным способом проведены исследования, подтверждающие эффективность работы пневмомеханического сепаратора корнеклубнеплодов.
эффективность, применение, пневмомеханический, сепаратор, корнеклубнеплоды

В.Є. Зубков

Луганський національний університет імені Тараса Шевченка

Про ефективність застосування пневмомеханічного сепаратора коренебульбоплодів

У статті аналітичним і експериментальним способом проведено дослідження, що підтверджують ефективність роботи пневмомеханічного сепаратора коренебульбоплодів.
ефективність, застосування, пневмомеханічний, сепаратор, коренебульбоплоди

Постановка проблемы. При механизированной уборке почвенные комки и камни отделяются от клубней частично на комбайне, окончательно на сортировально-очистительном пункте. В зависимости от условий уборки на каждый комбайн приходится от 4 до 6 рабочих-переборщиков.

Анализ последних исследований и публикаций Механические сепараторы, применяемые на зарубежных мобильных машинах (щеточные, воздушно-вакуумные и др.), недостаточно эффективны по качеству работы.

Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы. Нами выполнено аналитическое и экспериментальное обоснование рациональных параметров нового технологического процесса сепарации корнеклубнеплодов от примесей в заблокированном псевдооживленном слое и проведена производственная проверка опытного образца сепаратора [1].

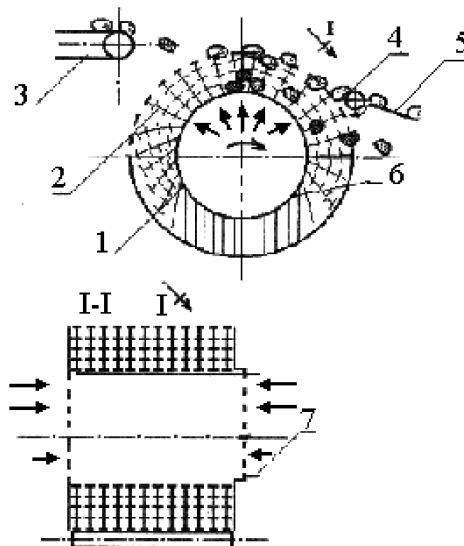
Цель работы: выполнить исследования по определению эффективности пневмомеханического сепаратора корнеклубнеплодов, технологическая схема работы которого приведена на схеме (рис.1).

Изложение основного материала. Эффективность применения для доочистки вороха сепаратора оценивали показателем эффективности разделения ε , который означает долю ручного труда, высвобождающегося в результате применения сепаратора [2]:

$$\varepsilon = 1 - \left(\delta_n + \frac{\delta_k}{f} \right), \quad (1)$$

где δ_k – доля ошибочно отделенных клубней от их общего количества, % (шт.);

δ_n – доля ошибочно отделенных примесей от их общего количества, % (шт.);
 f – исходная засоренность вороха – отношение количества комков и камней (П) к количеству клубней (К).



1 – цилиндрическая воздухораспределительная решетка; 2 – гирлянда; 3 – подающий транспортер; 4 – снимающий ролик; 5 – скат; 6 – экран; 7 – воздушная камера

Рисунок 1 – Схема устройства для отделения клубней картофеля от примесей с заблокированным псевдооживленным слоем, размещенным на внешней поверхности барабана

Формула (1) применима для условий, когда количество примесей в ворохе меньше, чем клубней. Для условий, когда $f > 1$ формула эффективности разделения имеет вид:

$$\varepsilon = 1 - (\delta_n + f \cdot \delta_k). \quad (2)$$

Для анализа зависимости от исходной засоренности вороха и от точности работы сепаратора, характеризующейся значениями δ_k и δ_n целесообразно пользоваться номограммой [3].

В представленном виде номограмма позволяет определять ε при $f < 1$. В случае, если $f > 1$, при ручной переработке из вороха целесообразно выделять не примеси, а клубни. Поэтому номограммой в этих случаях можно пользоваться, если коэффициент засоренности f определять как отношение количества клубней в ворохе к количеству комков и камней. Обозначения семей групп δ_k и δ_n взаимно меняются: линии в первом квадранте должны соответствовать долям ошибочно отделенных примесей, а линии во втором квадранте – долям ошибочно отделенных клубней.

Так при одинаковой производительности 15 т/час с увеличением засоренности вороха показатель эффективности разделения для обоих образцов возрастает. Во всех случаях показатель эффективности разделения во втором варианте сепаратора на 8 – 10% выше, чем в первом, несмотря на худший для усовершенствованного сепаратора состав вороха (рис. 2).

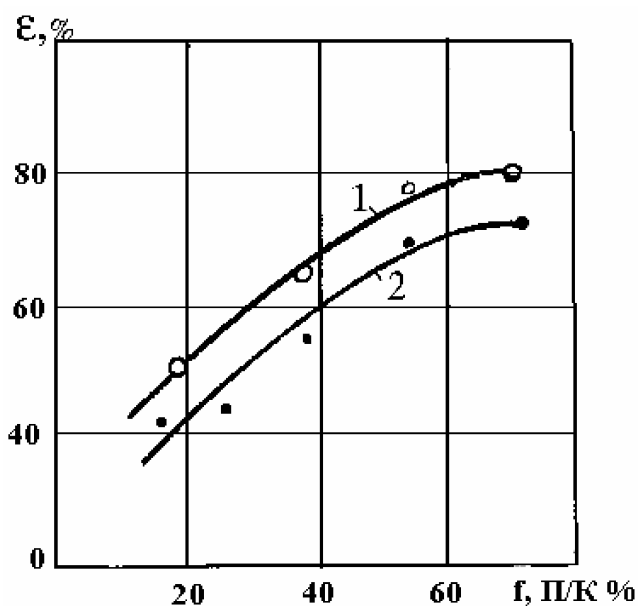
Показатель эффективности разделения является величиной относительной и не характеризует величины экономии трудозатрат в результате применения сепаратора в

конкретних условиях уборки. Такой характеристикой является количество высвобождающихся рабочих-переборщиков – В. Оно может быть определено следующим образом [3]:

Количество примесей в штуках, подлежащих ручному отбору в течение часа, равно:

$$N_n = f \cdot N_k, \tag{3}$$

где N_k – часовое поступление клубней в штуках.



П – примеси; К – клубни; 1 – состав вороха: клубни и примеси (комки почвы);
2 – состав вороха: клубни и примеси (комки 50 % + камни 50 %)

Рисунок 2 – Показатель эффективности разделения клубней и примесей в зависимости от засоренности вороха

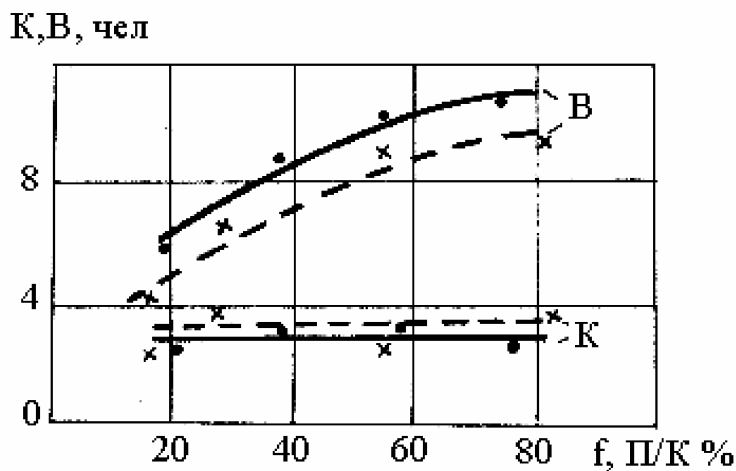


Рисунок 3 – Затраты труда на ручное разделение и на корректировку работы в зависимости от засоренности вороха: × - клубни + (комки 50 % + камни 50 %); • - клубни + комки; В – количество рабочих для разделения вороха вручную; К – потребность в рабочих-корректировщиках

Если $A = 5700 - 7200$ – количество клубней или комков, которые может отобрать один рабочий в течение часа, то для отбора N_n комков требуется рабочих:

$$B_0 = \frac{f \cdot N_{\kappa(n)}}{A} . \quad (4)$$

Количество высвобожденных рабочих составит:

$$B = B_0 \cdot \varepsilon \quad (5)$$

или

$$B = \frac{f \cdot N_k}{A} \left[1 - \left(\delta_{\Pi} + \frac{\delta_{\kappa}}{f} \right) \right] . \quad (6)$$

Соотношение между подачей в штуках и в кг/с (N_{km}) можно представить в виде выражения:

$$N_k = \frac{N_{km}}{m_k} , \quad (7)$$

где m_k – средняя масса клубня, кг.

Засоренность вороха f_m выраженную через соотношение количеств тел, определим по формуле:

$$f = f_m \cdot \frac{m_k}{m_n} , \quad (8)$$

где m_n – средняя масса комка или камня, кг.

Количество рабочих-корректировщиков для обслуживания работающего с погрешностями сепаратора в зависимости от точности его работы (δ_{κ} и δ_n), подачи и засоренности вороха определяются по номограмме [3].

Расчет количества рабочих, разделяющих ворох вручную, без применения сепаратора, а также расчет количества рабочих-корректировщиков, устраняющих ошибки в его работе, позволили определить количество высвобождаемых (при работе сепаратора) рабочих. Как следует из графика (рис. 3), количество высвобождаемых рабочих с увеличением засоренности вороха увеличивается.

При использовании усовершенствованного образца высвобождается примерно на 20% больше рабочих, чем при использовании первого варианта сепаратора. С увеличением засоренности поступающего на разделение вороха с 20 до 80% с помощью сепаратора можно высвободить примерно от 3 до 6 рабочих-переборщиков, что соответственно снижает в 2 – 3 раза затраты тяжелого, непривлекательного ручного труда на операции отделения клубней картофеля от почвенных комков и камней.

Экономическая эффективность сепаратора оценивалась по методике, а также на основе сведений, изложенных в работах [4, 5, 6].

Для ручного отделения примесей требуется в среднем $L = 6$ рабочих-переборщиков в расчете на каждый двухрядный картофелеуборочный комбайн

(включая рабочих на пункте доочистки). Производительность комбайна $W_{см} = 0,25$ га/ч или $W_{см} = 3,75$ т/ч. Затраты труда на ручной отбор примесей:

$$Z_m = \frac{L}{W_{см}} = \frac{6}{1,07} = 24 \text{ чел.ч/га} \text{ или } Z_m = 1,6 \text{ чел.ч/т} \quad (9)$$

Производительность сепаратора за час эксплуатационного времени $W_{эк}$ при коэффициенте использования рабочего времени смены 0,8 составляет $20 \cdot 0,8 = 16$ т/ч. При урожае 15 т/га это соответствует 1,07 га/ч (или 16 т/ч).

Затраты труда при наличии сепаратора и трех рабочих, занятых корректировкой его работы:

$$Z_{ми} = \frac{L}{W_{эк}} = \frac{3}{1,07} = 3 \text{ чел.ч/га} \text{ или } Z_{ми} = 0,2 \text{ чел.ч/т} \quad (10)$$

Таким образом, в принятых условиях затраты ручного труда снижаются в 8 раз. Годовая экономия прямых эксплуатационных затрат определяется как

$$\mathcal{E}_z = (U_z - \Gamma_n), \quad (11)$$

где U_z – общие прямые затраты средств при ручной отборке примесей, грн./га; в рассматриваемом случае они равны заработной плате рабочих-переборщиков, т.е. $U_z = 3$,

Γ_n – общие прямые эксплуатационные затраты средств при наличии сепаратора, у.е./га.

$$\Gamma_n = Z_{ми} + A + P, \quad (12)$$

где A – затраты на реновацию;

P – затраты на капитальный и текущий ремонт.

$$A = \frac{B \cdot a}{100 W_{эк} \cdot T_{зон}}, \quad (13)$$

где B – балансовая стоимость сепаратора, которая определена исходя из стоимости 1 кг массы машины, равной 1 у.е. Масса машины ориентировочно равна 500 кг. Балансовая цена машины – 500 у.е.;

a – процент отчислений на реновацию сепаратора, $a = 14,2\%$;

$W_{эк}$ – производительность за час эксплуатационного времени, га/ч;

$T_{зон}$ – зональная годовая загрузка сепаратора. Принято $T_{зон} = 400$ ч.

Таким образом, $A = \frac{500 \cdot 14,2}{100 \cdot 1,07 \cdot 400} = 0,166 \text{ у.е./га}$ или $A \approx 0,012 \text{ у.е./т}$.

Затраты на ремонт определяются по формуле

$$P = \frac{BR}{100 \cdot W_{\text{эк}} \cdot T_{\text{зон}}}, \quad (14)$$

где R – процент ежегодных отчислений на ремонт и техническое обслуживание – 30%.

$$P = \frac{500 \cdot 30}{100 \cdot 1,07 \cdot 400} = 0,35 \text{ у.е./га}$$

или $P = 0,024$ у.е. / т.

Тарифная ставка рабочего – 0,494 у.е./га или 0,034 у.е./т.

Заработная плата рабочих без сепаратора: $Z_{\text{II}} = \frac{6 \cdot 0,494}{0,25} = 11,856 \text{ у.е./га}$ или

$Z_{\text{II}} = 0,79$ у.е./т.

Заработная плата рабочих при наличии сепаратора: $Z_{\text{III}} = \frac{3 \cdot 0,494}{1,07} = 1,386 \text{ у.е./га}$

или $Z_{\text{III}} = 0,092$ у.е./т.

Общие прямые издержки при наличии сепаратора: $\Gamma_{\text{II}} = 1,386 + 0,166 + 0,35 = 1,902$ у.е./га или $\Gamma_{\text{II}} = 0,092 + 0,012 + 0,024 = 0,128$ у.е./т.

Годовая экономия прямых эксплуатационных затрат: $\mathcal{E}_{\Gamma} = 11,856 - 1,902 = 9,954$ у.е./га или $\mathcal{E}_{\Gamma} = 0,79 - 0,128 = 0,662$ у.е. /т.

При существующем уровне механизации уборки картофеля в Украине, механизированным способом может убираться около 200 тыс. га (или 3 млн. тонн клубней). Годовая экономия прямых издержек, благодаря применению предлагаемого сепаратора составит: $\mathcal{E}_{\Gamma} = 3 \cdot 10^6 \cdot 0,662 = 1,986$ млн.у.е.

По мере дальнейшего расширения площадей, на которых картофель будет убираться комбайнами, размер годовой экономии будет соответственно возрастать.

В связи с универсальностью сепаратора по корнеклубнеплодам, существует возможность расширения зоны его применения, что может также дать дополнительный экономический эффект, значительно превышающий расчетный.

Выводы и предложения. На основе производственной проверки выполнено исследование эффективности работы пневмомеханического сепаратора корнеклубнеплодов нового типа. Установлено, что применение сепаратора дает возможность снизить в 2-3 раза затраты ручного труда на операции отделения корнеклубнеплодов от примесей.

Перспективой дальнейших исследований является усовершенствование пневмомеханического сепаратора корнеклубнеплодов с целью повышения эффективности и снижения энергоемкости его технологического процесса.

Список литературы

1. Зубков В.Е. Технологические аспекты сепарации корнеклубнеплодов и примесей в блокированном псевдооживленном слое / В.Е. Зубков // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2009. – № 12. – С. 137 – 141.
2. Петров Г. Д. Картофелеуборочные машины / Г. Д. Петров. – М. : Машиностроение, 1984. – 320 с.
3. Зиновьев Ю.И. К определению эффективности применения сепараторов при отделении клубней картофеля от комков и камней / Ю.И. Зиновьев // Труды ВИМ. – Т. 72. – М., 1975. – С.123 – 130.
4. Методика определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рациональных предложений. – М. : ВНИИПИ, 1982. – 41 с.
5. Методы экономической оценки сельскохозяйственной техники ОСТ объединения. – М. : Союзсельхозтехника, 1974. – 62 с.
6. Справочник по тарификации механизированных и ручных работ в сельском хозяйстве. – М., 1988. – 385 с.

V.Zubkov

Luhansk Taras Shevchenko National University

About the efficiency application of the mechanical-air tuberous roots separator

The aim of this study was to conduct studies to determine the efficiency of the mechanical-air tuberous roots separator. The efficiency application of the separator was evaluated measure of separation effectiveness, which means the share of manual labor, released as a result of the application of the separator.

The studies found that the application of the separator enables to reduce 2-3 times the cost of manual labor in the process for separating tuberous roots from impurities.

efficiency, application, mechanical-air separator, tuberous roots.

Получена 18.04.13

УДК 631.172:633.521

А.С. Лимонт, доц., канд. техн. наук

Житомирський національний агроекологічний університет

Тривалість збирання льонотрести та її агротехнологічне прогнозування

В реальних умовах виробництва льону-довгунця вивчено статистичний розподіл тривалості збирання рошенцевої трести з визначенням основних його характеристик. З урахуванням нормативних тривалостей сівби, брання і розстилання льону-довгунця, а також проектованої тривалості вилежування льонотрести спрогнозована агротехнологічна тривалість її збирання.

льон-довгунець, треста, вилежування, збирання, тривалість, дні, число

А.С. Лимонт

Житомирский национальный агроэкологический университет

Продолжительность уборки льнотресты и ее агротехнологическое прогнозирование

В реальных условиях производства льна-долгунца изучено статистическое распределение продолжительности уборки стланцевой тресты с определением основных его характеристик. С учетом нормируемых продолжительностей сева, тербления и расстила льна-долгунца, а также проектируемой продолжительности вилежки льнотресты спрогнозирована агротехнологическая продолжительность ее уборки.

лен-долгунец, треста, вилежка, уборка, продолжительность, дни, число

Постановка проблеми. Серед способів обробляння льоносоломи в сучасних умовах екологічно безпечнішим і найменш енергозатратним є виготовлення трести росяним мочінням соломи, яке відбувається в розстелених в стрічку на полі відповідними засобами механізації стеблах льону-довгунця. Після вилежування готову тресту піднімають з поля, формуючи відповідні її паковки, які вантажать в транспортні засоби і транспортують до пунктів первинної переробки для одержання волокна. Потребу у вантажно-транспортних засобах і трудових ресурсах при цьому визначають з урахуванням тривалості піднімання трести. У цьому повідомленні і йтиметься про з'ясування окремих питань в проблемі механізованого виробництва льонотрести.

Аналіз останніх досліджень і повідомлень. Використання машин в рослинництві регламентоване, крім іншого, почасовими параметрами, що визначають агротехнічні вимоги до виконання технологічних процесів [1]. До почасових

параметрів відносять і календарні строки та тривалість виконання сільськогосподарських робіт. Тривалість і календарні строки окремих механізованих процесів і польових робіт вивчала низка науковців і в тому числі проф. Ю.К. Кіртбая [2]. Для визначення почасових параметрів вивчають зміну, наприклад, урожайності залежно від показників, що їх необхідно регламентувати. Відомі [1] графіки зміни урожайності картоплі і цукрових буряків залежно від тривалості садіння і сівби, втрат урожаю зернових і урожайності трав та вмісту клітчатки і протеїну в сніні залежно від строків заготівлі, вмісту цукру в коренях цукрових буряків залежно від строків збирання, втрат урожаю зернових залежно від часу доби і тривалості робочого дня. Методика визначення відповідних показників і результати їх розрахунку наведені у праці [3]. У працях Ю.К. Кіртбая [2], В.Д. Саклакова і М.П. Сергєєва [4], Д.Н. Саакяна [5], Ю.І. Ковтуна [6], Р.Ш. Хабатова [7] та ін. наведені графіки зміни урожайності деяких сільськогосподарських культур залежно від тривалості їх сівби і збирання та втрат урожаю від тривалості виконання окремих технологічних операцій загального призначення. Деякі дослідники наводять чисельні значення коефіцієнта урахування втрат врожаю від подовження строків виконання робіт та коефіцієнта своєчасності виконання механізованих робіт. Проте в перерахованих джерелах відсутні відомості про закономірності зміни низки ознак волокнистої складової урожаю льону-довгунця залежно від тривалості окремих біологічних процесів, що формують рівень урожайності волокна і його якості та є методологічною основою визначення потреби в засобах механізації готування і збирання трести.

Тривалість брання льону-довгунця за Нормативами [8] та іншими джерелами з технології його виробництва коливається в межах 5...8 робочих днів. Про тривалість збирання льону-довгунця комбайнами, яка визначена оптимальною і становить 10...12 календарних днів, вказано у працях [9, 10, 11]. За іншим джерелом [12] брання льону-довгунця має здійснюватися не більш, ніж за 10...15 днів.

За переважною більшістю літературних джерел при вирощуванні льону-довгунця на волокно з урахуванням можливості одержання якісного насіння брання льону слід розпочинати в ранній жовтій стиглості (РЖС) і закінчувати в жовтій (ЖС). За [13] розстилання соломи при збиранні льону-довгунця на волокно слід розпочинати на четвертий – шостий день від початку РЖС та завершувати впродовж 10...12 днів у фазі ЖС. За даними [12] тривалість фази РЖС становить 5...6 днів, а за [14] – 14,7 днів і фази ЖС – 12,3 днів. За [15] РЖС при нормальних умовах розвитку наступає приблизно через 11...12 тижнів від сівби, а за [9] – розпочинається через 26...31 день після цвітіння і ЖС настає через 36...43 доби після цвітіння.

Тривалість піднімання трести за різними джерелами коливається в досить широких межах. В монографії [16] вказано, що тривалість піднімання і реалізація трести мають здійснюватися за такий же термін, але не більший від вибирання льону-довгунця і розстилання соломи. Якщо льон-довгунець збирають за 10 діб, то і піднімати тресту слід за таку ж кількість діб. Здійснити таке в умовах виробництва практично неможливо та і транспортних засобів не вистачить для перевезення вирощеної сировини. М.М. Боярченкова [17] відзначала про випадки, що незалежно від календарних строків розстилання соломи треста буває готова одночасно на значних площах і відповідно тривалість її піднімання надто обмежена. Є рекомендації, що вилежану тресту слід підняти за шість днів. Піднімання трести через 12 і 20 днів від моменту її готовності призводить до зниження якості на 2 і 3 сортономері [15]. В колективних монографії [16] і книзі [10] вказано, що готову тресту необхідно підняти зі стелищ відповідно за 10 діб і 10...12 календарних днів. За інформацією В.І. Соснова [18] і І. Семенова [19] відповідно агротехнічний термін піднімання трести дорівнює 15 календарних та в реальних умовах становив 18 робочих днів. Вивчення матеріалів [20] показало, що в умовах виробництва льону-довгунця тривалість піднімання трести

становила 35 календарних днів. І.П. Карпець [9] пише, що в реальних умовах льоносіючих підприємств «піднімають та збирають тресту з полів протягом двох – трьох місяців» (с. 47). За [13] тривалість піднімання трести визначається тривалістю вилежування та тривалістю брання і розстилання соломи льону-довгунця.

Мета дослідження – підвищити ефективність механізованого збирання рошенцевої льонотрести шляхом пізнання зв'язків між якісно-кількісними показниками волокна і тривалістю вилежування та піднімання льоносировини. *Завдання дослідження*: 1) дослідити тривалість піднімання льонотрести в реальних умовах виробництва льону-довгунця; 2) з'ясувати кореляційно-регресійну модель виходу і якості волокна з рошенцевої льонотрести залежно від тривалості її вилежування; 3) спрогнозувати тривалість піднімання льонотрести з урахуванням тривалостей сівби та брання і розстилання льону-довгунця.

Об'єкт і методика дослідження. Об'єкт дослідження – технологічний процес готування і збирання рошенцевої льонотрести з оцінюванням тривалості її вилежування та прогнозуванням тривалості піднімання з урахуванням нормативної тривалості сівби та агротехнічної тривалості брання і розстилання льону-довгунця. Проектування тривалості вилежування трести здійснено на підставі аналізу визначеного процентономера тіпаного довгого волокна залежно від числа днів готування льоносировини. При цьому використані експериментальні дані [21] про вихід тіпаного довгого волокна та його номер за числа днів вилежування від 12 до 44 та числа рівнів градації факторіальної ознаки, що становило 14. Для визначення тривалості піднімання трести в реальних умовах льоносіючих підприємств вивчено хід збиральних робіт з льону-довгунця в них. При цьому були використані матеріали статистичної звітності підприємств і зокрема форми № 7-сг «Звіт про хід збирання врожаю та виконання інших літньо-осінніх робіт», матеріали первинного обліку механізованих робіт і власні спостереження автора. Переважно використана інформація за роки до аварії на Чорнобильській АЕС, коли масштабно висівали льон-довгунець.

Обробка зібраних і опрацьованих даних здійснена з використанням методів математичної статистики [22, 23] та стандартних комп'ютерних програм.

Результати дослідження. Розмір статистичної вибірки при вивченні тривалості піднімання трести в реальних умовах виробництва льону-довгунця становив 413 підприємство-років. Аналізували тривалість піднімання трести в льоносіючих підприємствах Житомирської області. При цьому в статистичну вибірку були включені підприємства, що збирали льон комбайнами та за допомогою бралок і льономолотарок. При використанні комбайнів брання і розстилання льону здійснювалося одночасно, а при використанні бралок і льономолотарок між бранням і розстиланням льону був деякий інтервал часу, що пов'язано з обмолотом стебел. В переважній більшості підприємств піднімання трести здійснювалося вручну, а в деяких – з використанням підбирачів ПТП-1,0 чи ПТН-1,0. Полігон і крива нормального розподілу тривалості (число календарних днів) піднімання трести в льоносіючих підприємствах наведені на рис. 1.

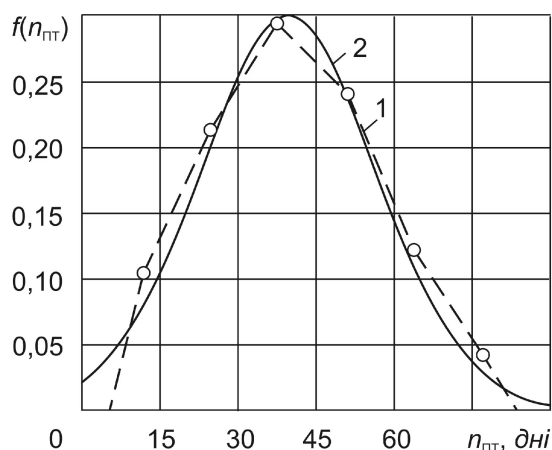


Рисунок 1 – Полігон (1) і крива нормального розподілу (2) тривалості піднімання трести

Розмах варіювання тривалості піднімання трести становив 6...83 дні, тобто коливався від одного тижня до майже трьох місяців. Середнє арифметичне значення і середнє квадратичне відхилення емпіричного розподілу тривалості піднімання трести становили відповідно 40 і 17 днів, за якими коефіцієнт варіації дорівнював 42,5%. Досліджуваний розподіл характеризувався додатною асиметрією з показником 0,16 та від'ємним ексцесом з показником мінус 0,70. Відношення цих показників до своїх середніх квадратичних відхилень мали значення відповідно 1,33 і 2,92. Отже, за вказаними відношеннями можна висловити припущення щодо нормальності розподілу тривалості піднімання трести. Проте додатна асиметрія з показником міри 0,16 є ознакою розташування довгої вітки емпіричного розподілу праворуч моди, що і простежується з рис. 1. Від'ємний ексцес з показником міри мінус 0,70 свідчить, що емпірична крива розподілу числа днів піднімання трести має дещо нижчу і більш «плоску» вершину, ніж нормальна крива. Таке підтверджується і графіками, що наведені на рис. 1. Частота середнього арифметичного значення тривалості піднімання трести за кривою нормального розподілу становить 0,30, а чистота модального значення тривалості піднімання трести за емпіричним розподілом становить 0,29. Перевірку узгодженості емпіричного розподілу з нормальним законом здійснили з використанням χ^2 -критерію Пірсона. За розрахунками спостережуваний χ^2 -критерій становив 5,82. За таблицями квантилів χ^2 -розподілу при числі ступенів вільності 3 на рівні ймовірності 0,95 критичний χ^2 -критерій дорівнює 7,8 [22, 23]. Оскільки $5,82 < 7,8$, то відсутні підстави для відхилення нульової гіпотези і можна вважати, що емпіричний розподіл тривалості піднімання трести незначущо відмінний від нормального. Використовуючи властивості нормального закону розподілу випадкових величин, можна прогнозувати тривалість піднімання трести за визначеними параметрами емпіричного розподілу.

Початок піднімання трести за календарною датою визначає завершення її вилежування, що у свою чергу пов'язано із тривалістю готування льоносировини. Як оцінний показник тривалості вилежування трести прийнято відсоткономер тіпаного довгого волокна. Цей показник визначають як добуток виходу тіпаного довгого волокна з трести (%) відповідної тривалості вилежування на номер одержуваного волокна, що оцінює його якість. Між відсоткономером тіпаного довгого волокна $\Pi_{\text{НТ}}$ і тривалістю вилежування трести $n_{\text{дв}}$ (число днів) виявлений додатний кореляційний зв'язок з коефіцієнтом кореляції 0,102 за кореляційного відношення $\Pi_{\text{НТ}}$ по $n_{\text{дв}}$, що дорівнює 0,685. Перевищення чисельного значення кореляційного відношення над

коефіцієнтом кореляції свідчить про можливий криволінійний зв'язок між досліджуваними результативною і факторіальною ознаками. Для з'ясування характеру зв'язку між досліджуваними ознаками здійснили перевірку лінійності зв'язку за визначеним коефіцієнтом кореляції з використанням t -критерію Стьюдента. Розрахунки показали, що спостережуваний (розрахунковий) t -критерій статистичної залежності «відсоткономер тіпаного довгого волокна – тривалість вилежування трести» становить 0,35. За таблицями квантилів розподілу Стьюдента на рівні значущості 0,05 і числа ступенів вільності 12 критичне значення t -критерію становить 2,18 [22]. Оскільки спостережуваний t -критерій менший критичного, то це є підставою стверджувати про криволінійний характер зміни відсоткомера тіпаного довгого волокна залежно від тривалості вилежування трести. З графічного подання кореляційного поля « $\Pi_{NT} - n_{об}$ » (рис. 2) простежується, що зміну Π_{NT} залежно від $n_{об}$ можна прогнозувати за випуклою параболою вигляду:

$$\Pi_{NT} = 207,773 + 10,769n_{об} - 0,189n_{об}^2 \quad \text{при} \quad R^2 = 0,470, \quad (1)$$

де Π_{NT} – відсоткономер тіпаного довгого волокна;

$n_{об}$ – тривалість (число днів) вилежування трести;

R^2 – коефіцієнт, що оцінює міру наближення вирівняних за параболічною залежністю (1) значень результативної ознаки до її експериментальних значень.

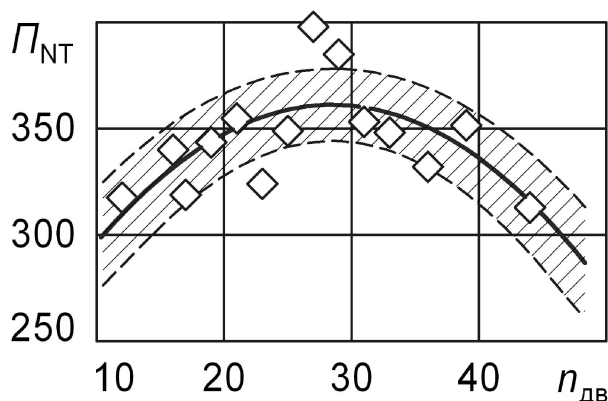


Рисунок 2 – Зміна відсоткомера довгого тіпаного волокна залежно від тривалості вилежування льонотрести

Відсоткономери тіпаного довгого волокна, які одержані за експериментальними даними виходу тіпаного довгого волокна і його номера, що визначений органолептично, та параболічна крива зміни Π_{NT} , яка побудована за рівнянням (1), залежно від тривалості вилежування трести наведені на рис. 2. Показник оцінювання вирівнювання експериментальних значень Π_{NT} апроксимуючою функцією (1), що визначений як відношення основної помилки вирівнювання до середнього значення Π_{NT} , за розрахунками становив 0,050, що значно менше 0,10, яке прийнято за умову задовільного вирівнювання [24]. Помилка рівняння (1) криволінійної регресії, що визначена за середнім квадратичним відхиленням розподілу Π_{NT} (23,5) та кореляційним відношенням Π_{NT} по $n_{об}$ (0,685), становила 16,98. З урахуванням цієї помилки побудована заштрихована зона, що наведена обабіч кривої параболічної зміни Π_{NT} залежно від $n_{об}$ (рис. 2).

Дослідження рівняння (1) на екстремум показало, що відсоткономер тіпаного

довгого волокна максимізується за тривалості вилежування трести 28 днів. З урахуванням помилки рівняння (1) і графо-аналітичного аналізу визначено, що дотична до нижньої обмежувальної параболи (рис. 2), яка паралельна до осі абсцис, перетинає криву, що задана рівнянням (1), в точках з абсцисами $n_{об} = 19$ і $n_{об} = 38$ днів. Отже, вважаємо, що експлуатаційний допуск на тривалість вилежування трести може становити ± 10 днів.

Тривалість піднімання трести можна прогнозувати з урахуванням визначеної тривалості вилежування і експлуатаційного допуску на неї. Так, тривалість вилежування трести за календарною датою визначає початок її піднімання, а щодо визначення її тривалості міркуватимемо так. Визначений допуск на тривалість вилежування трести, що дорівнює 10 днів, справедливий за виконання брання і розстилання льону-довгунця впродовж одного дня. Якщо вважати, що брання і розстилання льону слід здійснювати в термін, який становить 15 днів, то тривалість піднімання трести визначається як сума двох чисел 10 і 15 і становитиме 25 днів. Далі, визначене число характеризує тривалість піднімання за умови сівби льону-довгунця впродовж одного дня. Але сівба залежно від розмірів посівної площі і забезпеченості льоносіючих підприємств технічними засобами і трудовими ресурсами триває декілька днів [25]. Тут варто говорити про агротехнічну тривалість сівби льону-довгунця, яка крім іншого залежить і від зони льоносіяння за природно-територіальними факторами. За переважною більшістю літературних джерел, аналіз яких наведено у [25], для льоносіючих районів України ця тривалість становить 4 дні. За здійсненими узагальненнями [26] для льоносіючих підприємств України норматив тривалості сівби льону-довгунця становить 4 дні, а для решти льонової виробників на теренах колишнього Радянського Союзу – 5 днів.

Прогнозовану тривалість піднімання трести t_{nm} (дні) допустимо визначити за формулою:

$$t_{nm} = \Delta_{об} + t_{бр} + t_{сл} , \quad (2)$$

де $\Delta_{об}$ – односторонній допуск на тривалість вилежування трести, $\Delta_{об} = 10$ днів;

$t_{бр}$ – агротехнічна тривалість брання льону-довгунця і розстилання соломи, $t_{бр} = 15$ днів;

$t_{сл}$ – агротехнічна тривалість сівби льону довгунця, $t_{сл} = 4$ дні.

Тоді прогнозована тривалість піднімання трести становитиме 29 днів. Вважаємо, що це є мінімальна тривалість піднімання трести, що визначена з урахуванням нормативної тривалості сівби, агротехнічної тривалості брання і розстилання льону-довгунця та проекрованої тривалості вилежування трести за визначеним експлуатаційним допуском на неї. Прогнозована агротехнологічна тривалість піднімання трести на 11 днів менша середнього арифметичного значення тривалості піднімання, що визначена на підставі дослідження багаторічних даних щодо збирання трести в реальних умовах виробництва льону-довгунця.

Висновки. Фактична тривалість піднімання трести в льоносіючих підприємствах коливається в межах 6...83 дні за середнього арифметичного значення і середнього квадратичного відхилення відповідно 40 і 17 днів. З урахуванням визначеного експлуатаційного допуску на тривалість вилежування трести ± 10 днів, рекомендацій щодо тривалості брання льону-довгунця і розстилання соломи 15 днів та посилаючись на нормативну тривалість сівби 4 дні, можна прогнозувати, що тривалість збирання трести має становити 29 днів.

Напрямок подальших розвідок на нашу думку слід зосередити на дослідженнях з проектування організації збирання льонотрести та визначення і обґрунтування потреби

у відповідних засобах механізації.

Список літератури

1. Павлов Б.В. Проектирование комплексной механизации сельскохозяйственных предприятий / Павлов Б.В., Пушкарева П.В., Щеглов П.С. – М.: Колос, 1973. – 256 с.
2. Киртбая Ю.К. Резервы в использовании машинно-тракторного парка / Киртбая Ю.К. – М.: Колос, 1982. – 319 с.
3. Смирнов Б.В. Техника управления сельскохозяйственным производством / Смирнов Б.В. – М.: Колос, 1979. – 352 с.
4. Саклаков В.Д. Технично-економическое обоснование выбора средств механизации / В.Д. Саклаков, М.П. Сергеев. – М.: Колос, 1973. – 200 с.
5. Саакян Д.Н. Система показателей комплексной оценки мобильных машин / Саакян Д.Н. – М.: Агропромиздат, 1988. – 415 с.
6. Ковтун Ю.І. Система якості «поле – машина» з основами агрокаліметрії / Ковтун Ю.І. – Х.: ПНВП «Промпроект», 2007. – 140 с.
7. Хабатов Р.Ш. Экономико-математическая модель определения оптимальных параметров мобильных сельскохозяйственных агрегатов / Хабатов Р.Ш. – К.: Вычислительный центр Госплана УССР, 1968. – Вып. 23. – 36 с.
8. Нормы и нормативы для планирования механизации и электрификации в отраслях АПК / Сост.: М.В. Шахмаев, В.И. Юркин; под ред. А.И. Иевлева. – М.: Агропромиздат, 1988. – 591 с.
9. Карпець І.П. Інтенсивна технологія вирощування льону-довгунця / Карпець І.П. – К.: Урожай, 1990. – 112 с.
10. Льонарство: підруч. [для студ. вищ. навч. закл.] / Дідора В.Г., Малиновський А.С., Дереча О.А. та ін.; за ред. В.Г. Дідори. – Житомир: Вид-во «Житомир. нац. агроколог. ун-т», 2008. – 488 с.
11. Шрейдер М.Н. Усовершенствование ворохораздельной машины ВР-1,2 / М.Н. Шрейдер, В.И. Смирнов, А.И. Тюрин // Тр. Всесоюз. НИИ льна: экономика, механизация льноводства, первичная обработка льна. – Торжок, 1972. – Вып. 10. – С. 137 – 142.
12. Гілязетдінов Р.Н. Сучасний стан механізації збирання льону-довгунця в Україні та перспективи розвитку / Р.Н. Гілязетдінов // Актуальні питання розвитку галузей льонарства та коноплярства: матеріали наук.-техніч. конф. молодих вчених (м. Глухів, 7 грудня 2006 р.) – Суми: «Ноте бене», 2007. – С. 49 – 53.
13. Практическое руководство по освоению интенсивной технологии возделывания льна-долгунца / [М.М. Труш, И.П. Сергеев, А.Н. Марченков и др.]. – М.: Агропромиздат, 1986. – 72 с.
14. Афонин М.И. Изменение хозяйственно-ценных признаков и свойств в процессе роста и развития льна-долгунца / М.И. Афонин, Л.М. Кукреш // Пути повышения урожайности полевых культур. – Минск: Ураджай, 1971. – Вып. 2. – С. 81 – 84.
15. Леонов С.А. Во время уборки лен-долгунца / С.А. Леонов // Лен и конопля. – 1935. – № 7. – С. 13 – 16.
16. Виробництво льноволокна та його використання: монографія / [І.П. Карпець, А.Ф. Скорченко, Л.А. Чурсіна та ін.]. – К.: Нора-прінт, 2002. – 128 с.
17. Боярченкова М.М. О комбайновой уборке льна / М.М. Боярченкова // Лен и конопля. – 1975. – № 9. – С. 25 – 26.
18. Соснов В.И. О механизации подъема тресты / В.И. Соснов // Лен и конопля. – 1978. – № 7. – С. 28 – 30.
19. Семенов И. ПТП-1 работает эффективно / И. Семенов // Лен и конопля. – 1975. – № 3. – С. 35 – 36.
20. Максимов Е.М. Механизированное приготовление и подъем льняной тресты / Е.М. Максимов, Н.Н. Быков, В.И. Соснов // Лен и конопля. – 1975. – № 8. – С. 27 – 28.
21. Шушкин А. Опыты со стланьем льна / А. Шушкин // Тр. льняной опытной станции академии крупного социалистического сельского хозяйства им. К.А. Тимирязева. – М.: Новый агроном, 1930. – Вып. 6. – С. 284 – 294.
22. Герасимович А.И. Математическая статистика: [учеб. пособ. для инж.-техн. и эконом. спец. вузов] / Герасимович А.И. – Минск: Вышэйш. шк., 1983. – 279 с.
23. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении: учеб. пособ. / Дмитриев Е.А. – М.: Изд-во Москов. ун-та, 1972. – 292 с.
24. Методика статистической обработки эмпирических данных: РТМ 44 – 62. – М.: Изд-во стандартов, 1966. – 100 с.
25. Лімонт А.С. Технологічна ефективність оптимальної тривалості сівби льону-довгунця / А.С. Лімонт // Сільськогосподарські машини: зб. наук. ст. – Луцьк: Ред.-вид. відділ Луцького нац. техніч. ун-ту, 2009. – Вип. 18. – С. 222 – 229.
26. Заворотченко И.С. Нормативы оптимальных сроков сева льна / И.С. Заворотченко, И.П. Сергеев //

Лен и конопля. – 1976. – № 4. – С. 18 – 19.

A. Limont

Zhytomyr National Agroecological University

The duration of rotted straw harvesting and its agrotechnological prognostication

The investigation is aimed at increasing the efficiency of mechanized harvesting of the spread rotted straw through revealing the relations between qualitative, quantitative indices of fiber and the duration of raw fiber maturing and picking.

Using real terms of rotted straw picking under the conditions of fiber flax production the statistical distribution of the duration of the spread rotted straw harvesting along with determining its baser characteristic is studied. The author specifies the correlation and repression model of the percent number of the scotched long fiber and the duration of the rotted straw maturing through the equation of convex parabola of the second order. The operation tolerance related to the duration of the rotted straw maturing is determined. The results of the investigations info the determination and substantiation of the standard duration of fiber flax sowing and the agrotechnical duration of the flax scotching and spreading under the conditions of combined harvesting are generalized.

With respect to the operation tolerance to the duration of the rotted straw maturing of 10 days, agrotechnical duration of fiber flax scotching and straw spreading of 15 days and the standard duration of sowing amounting to 4 days one can prognosticate the duration of the rotted straw harvesting amounting to 29 days.

fiber flax, rotted straw, maturing, harvesting, duration, days, number

Одержано 19.04.13

УДК 621.891

В.А.Войтов, проф., д-р техн. наук, И.И. Сысенко, асп.

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П. Василенко

Исследования противопиттинговых свойств моторных масел на растительной основе

В работе предложен методический подход и выполнены экспериментальные исследования противопиттинговых свойств моторных масел для двухтактных двигателей: минеральных, полусинтетических, синтетических, растительных с присадкой органического происхождения. Показано, что растительные масла обладают лучшими противопиттинговыми свойствами.

усталостное выкрашивание, питтинг, подшипник качения, акустическая эмиссия, моторные масла для двухтактных двигателей

В.А. Войтов, І.І. Сисенко

Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П. Василенко

Дослідження протипіттингових властивостей моторних олів на рослинній основі

У роботі запропоновано методичний підхід і виконано експериментальні дослідження протипіттингових властивостей моторних олів для двотактних двигунів: мінеральних, напівсинтетичних, синтетичних, рослинних з присадкою органічного походження. Показано, що рослинні олії володіють кращими протипіттинговими властивостями.

утомлююча викришування, піттинг, подшипник качення, акустична емісія, моторні масла для двотактних двигунів

Актуальность. При выборе моторных масел для двухтактных двигателей внутреннего сгорания необходимо учитывать их способность препятствовать усталостному выкрашиванию (питтингу) подшипников качения. Коленчатый вал двухтактного двигателя устанавливается на радиально-упорных шариковых подшипниках, а нижняя головка шатуна у многих двигателей – на роликовых подшипниках. Влияние смазочного материала на процесс образования питтинга в подшипниках качения рассматривается в работах [1, 2].

Анализ конструкции двухтактного двигателя позволяет сделать вывод, что смазка подшипников коленчатого вала и нижней головки шатуна осуществляется масло-бензиновой смесью (1:50) в режиме «масляного голодания», что может неоднозначно повлиять на процесс усталостного выкрашивания беговых дорожек и тел качения.

Анализ публикаций по данной проблеме. Авторами работы [3] выполнен анализ методов оценки противопиттинговой способности смазочных материалов, на основании которого сделан вывод, что испытания подшипников с применением четырехшариковой машины позволяет с достаточной воспроизводимостью и достоверностью определять время появления питтинга. В качестве регистрирующего параметра авторами выбрано вибрационное ускорение объекта исследования.

Авторами работы [4] на основании работ [5, 6] предложен метод испытаний на базе анализа сигналов акустической эмиссии, генерируемых объектом исследования (подшипником качения). Регистрируя сигнал акустической эмиссии из зоны трения можно с высокой вероятностью определять время возникновения усталостного выкрашивания на дорожках качения подшипника.

Цель исследования. Экспериментальным путем оценить способность моторных масел различного состава препятствовать возникновению усталостных трещин в подшипниках качения.

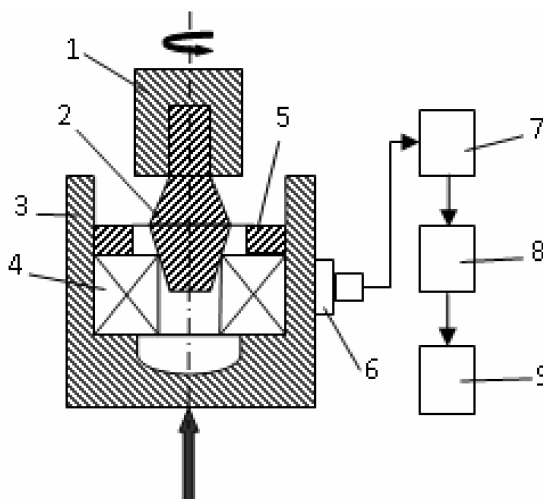
Методический подход в проведении исследований.

В качестве исследуемых моторных масел для двухтактных двигателей были выбраны следующие масла:

1. Минеральное масло Такт-2Т, вязкость $6...8 \text{ мм}^2/\text{с}$ при 100° С . По классификации АРІ-ТА (для двигателей объемом до 50 см^3).
2. Полусинтетическое масло ПУСК-2Т, вязкость $8...10 \text{ мм}^2/\text{с}$ при 100° С . По классификации АРІ-ТВ (для двигателей объемом до 200 см^3).
3. Синтетическое масло ELF МОТО 2ХТ Tech, вязкость $10 \text{ мм}^2/\text{с}$. По классификации АРІ-ТС (для высоконагруженных двигателей мотоциклов, снегоходов).
4. Рапсовое масло с присадкой органического происхождения (экологически биоразлагаемое масло), вязкость $8...10 \text{ мм}^2/\text{с}$ при 100° С .
5. Подсолнечное масло с присадкой органического происхождения (экологически биоразлагаемое масло), вязкость $8...10 \text{ мм}^2/\text{с}$ при 100° С .

Выбранная группа растительных масел обоснована в работе [7].

Структура исследовательского комплекса представлена на рис. 1.



1 – шпиндель четырехшариковой машины; 2 – конус; 3 – корпус съемного подшипникового узла; 4 – подшипник; 5 – гайка; 6 – датчик акустической эмиссии; 7 – усилитель; 8 – USB осциллограф; 9 – компьютер

Рисунок 1 – Структура комплекса исследования противопиттинговых свойств масел на базе метода акустической эмиссии

Исследования проводили на шариковых подшипниках № 202 одной партии изготовления. Внешнее кольцо подшипника закреплено с помощью гайки в корпусе съемного узла, а внутреннее приводится во вращение от шпинделя четырехшариковой машины через конус. Частота вращения 1500 об/мин, нагрузка на подшипник 6174 Н, что соответствует рекомендациям работы [3].

Сигнал акустической эмиссии, который генерируется подшипником, воспринимался широкополосным датчиком GT 300 (полоса пропускания 100...800 кГц) и поступал в усилитель, затем в USB осциллограф PV6501 и далее в компьютер.

Полоса пропускания USB осциллографа составляет 20МГц, что многократно превышает верхние границы пропускания датчика и усилителя.

Копия экрана USB осциллографа с сигналом акустической эмиссии от подшипника, не имеющего усталостного выкрашивания, представлена на рис. 2.

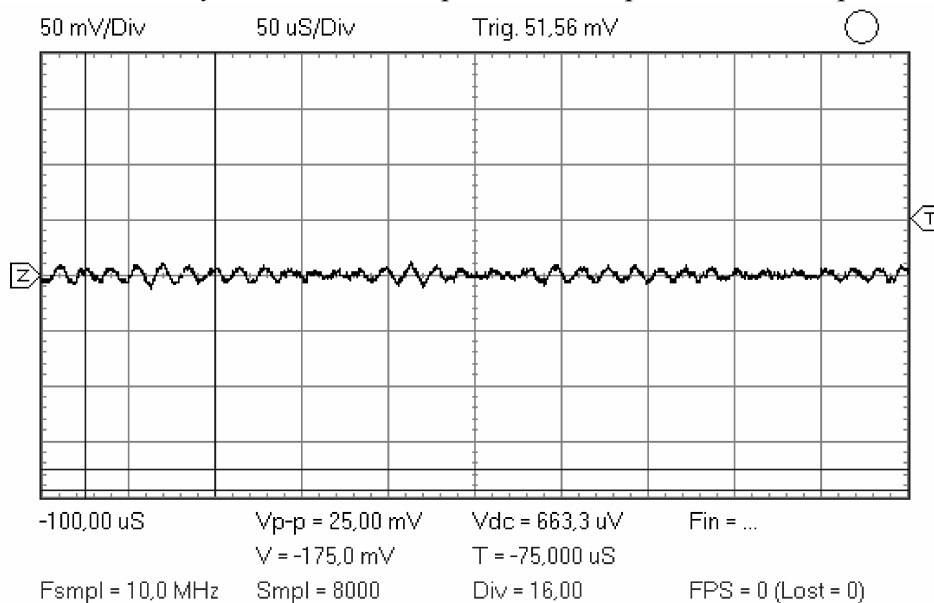


Рисунок 2 – Сигнал акустической эмиссии от подшипника, не имеющего усталостного выкрашивания

Образование питтинга на дорожке качения подшипника приводит к скачкообразному возрастанию интенсивности акустической эмиссии, копия экрана осциллографа представлена на рис. 3.

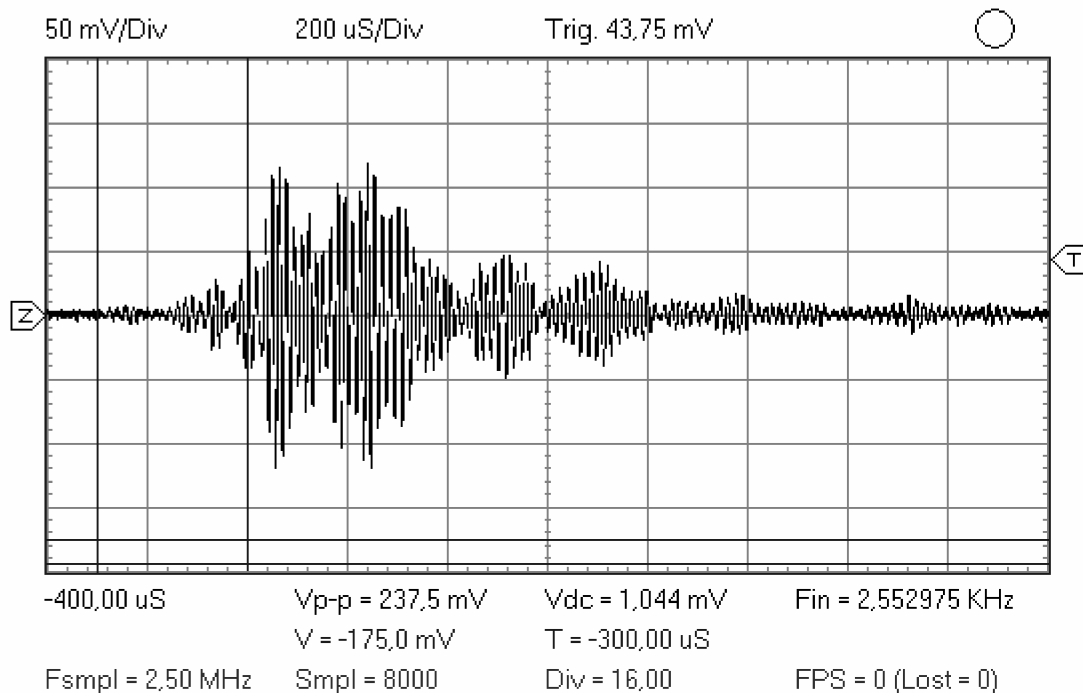


Рисунок 3 – Сигнал акустической эмиссии от подшипника после появления питтинга

При возрастании интенсивности акустической эмиссии испытания прекращались, подшипник разрезался для визуальной регистрации усталостного выкрашивания на внешнем или внутреннем кольце. Фотография дорожки качения внутреннего кольца со следами питтинга приведена на рис. 4.

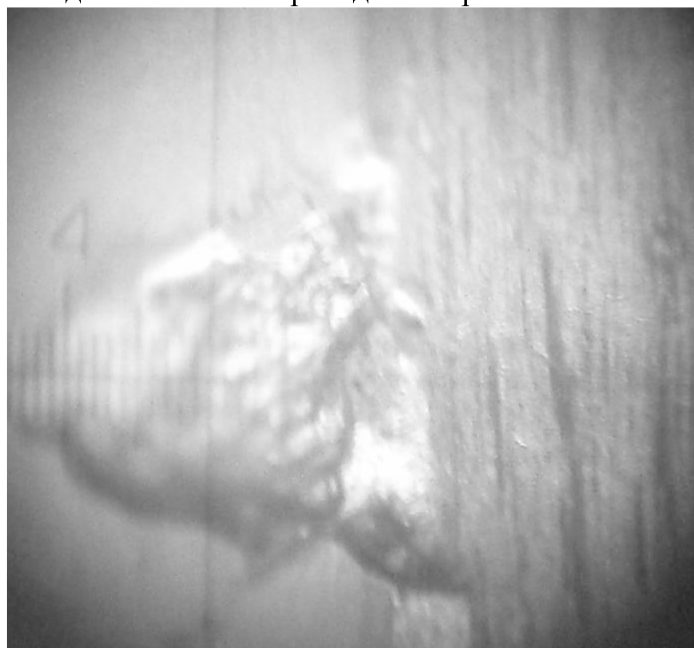


Рисунок 4 – Фотографии начала усталостного разрушения дорожки внутреннего кольца подшипника

Параметром, который позволяет оценить противопиттинговые свойства смазочных материалов, является отрезок времени от начала испытаний до

скачкообразного возрастания интенсивности акустической эмиссии, рис. 3. При этом, осциллограф работает в ждущем режиме, порог запуска развертки обозначен символом «Т», рис. 3. Длительность предварительной выборки установлена равной 100 мкс, что позволяет наблюдать значения сигнала, предшествующие превышению порогового уровня.

Результаты экспериментальных исследований.

Эксперимент повторяли пятнадцать раз с заменой подшипника на новый. После завершения эксперимента определяли среднеарифметическое время появления очагов усталостного выкрашивания τ , мин, дисперсию D и среднеквадратическое отклонение σ . Результаты эксперимента представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели противопиттинговых свойств смазочных материалов

Смазочный материал	Среднеарифметическое время τ , мин	Дисперсия	Среднеквадратическое отклонение
Масло Такт-2Т	45,74	25,11	5,01
Масло Рапсовое+П	86,33	26,62	5,15
Масло ELF МОТО 2ХТ Tech	63,99	7,76	2,7
Масло Подсолнечное+П	74,6	3,60	1,89
Масло ПУСК-2Т	70,32	8,39	2,89

Как следует из представленных результатов лучшими противопиттинговыми свойствами (наибольшим временем появления усталостного выкрашивания) обладают (в порядке убывания): рапсовое масло + П; подсолнечное масло + П; полусинтетическое масло ПУСК-2Т и синтетическое масло ELF МОТО 2ХТ Tech. Минеральное масло Такт-2Т показало худший результат.

При этом анализ величин дисперсии и среднеквадратического отклонения позволяет сделать вывод, что рапсовое масло имеет большой разброс показаний от опыта к опыту, что свидетельствует о сложных и неустойчивых процессах, вызывающих усталостное изнашивание. И наоборот, масло подсолнечное, ELF МОТО 2ХТ Tech и ПУСК-2Т имеют минимальный разброс и устойчивые показатели по времени появления усталостного выкрашивания. Это позволяет сделать вывод, что подобранный комплекс присадок к растительным маслам в большей степени подходит для подсолнечного масла, чем для рапсового. Уточнение и детализация комплекса присадок для рапсового масла с учетом противопиттинговых свойств, может быть направлением дальнейших исследований по оптимизации состава рапсового масла для двухтактных двигателей.

Выводы.

Моторные масла для двухтактных двигателей различного состава: минеральные, полусинтетические, синтетические и растительного происхождения в разной степени препятствуют возникновению питтинга в подшипниках качения. Лучший результат показывают растительные масла с присадкой органического происхождения, что ставит эти масла в ряд перспективных масел.

Список литературы

1. Розенберг Ю.А. Влияние смазочных масел на долговечность и надежность двигателей машин. – М.: Машиностроение, 1970. – 315 с.
2. Заскалько П.П., Крысин В.Д., Некрасов В.И. Оценка противопиттинговых свойств трансмиссионных масел // Химия и технология топлив и масел. – 1988. - № 5. – С. 27-29.
3. Войтов В.А., Митиков С.а., Суханов М.И. Шевченко С.А. Методика оценки показателя

- противопиттинговой способности смазочных материалов // Проблемы трибологии. – 2006. - № 1. – С. 39-43.
4. Войтов В.А., Шевченко С.А. Обоснование структуры комплекса для исследования акустико-эмиссионных признаков дефектов подшипников качения / Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка – Харків: ХНТУСГ, 2011. – Вип. 109. – С. 50-54.
 5. Zyкова, L.-Mazal, P.- Pazdera, L. Identification of Contact Fatigue Stages with Acoustic Emission Method. In: ECNDT 2006 – European conference on NDT, Berlin, Germany. P4, 8 pages.
 6. Abdullah M. Al-Ghamd, D. Zhechkov, D. Mba. A comparative experimental study on the use of Acoustic Emission and vibration analysis for bearing defect identification and estimation of defect size // Mechanical System and Signal Processing, 2006. - №7, p.1537-1571.
 7. Войтов В.А., Кравцов А.Г. Трибологічні властивості технічних олів на базі соняшникової та ріпакової олій // Проблеми трибології. – 2011. - № 4. – С. 87-92.

V. Vojtov, I. Sysenko

Kharkov National Technical University of Agriculture them. P. Vasilenko

Studies of the counter pitting properties of engine oils on the vegetable based

The purposes of the study - an experimental way to assess the ability of different motor oils inhibit the emergence of fatigue cracks in the rolling bearings.

A methodological approach and experimental studies of the counter pitting properties of engine oils for two-stroke engines: a mineral, semi-synthetic, synthetic, plant with an additive organic were proposed and performed in this paper. Vegetable oils have better of the counter pitting properties is shown.

The best result shows vegetable oils with organic additive, which makes the oils in the category of promising oil.

fatigue pitting, rolling bearings, acoustic emissions, motor oil for two-stroke engines

Получено 18.04.13

УДК 621.436

**Р.М. Харак, доц., канд. техн. наук, В.М. Сакало, доц., канд. техн. наук,
С.П. Лихвенко, ст. викл.**

Полтавська державна аграрна академія

Дослідження кінематики універсального регулятора швидкості колісного трактора

Запропонована методика дослідження кінематики універсального регулятора паливного насоса розподільного типу з автоматичним переключенням режимності роботи трактора ХТЗ – 150К-03.

трактор, дизель, регулятор, механізм, кінематичний аналіз, електромагніт, паливна економічність

Р.Н. Харак, В.Н. Сакало, С.П. Лихвенко

Полтавская государственная аграрная академия

Исследование кинематики универсального регулятора движения колесного трактора

Предложена методика исследования кинематики универсального регулятора топливного насоса распределительного типа с автоматическим переключателем режимов работы трактора ХТЗ-150К-03.

трактор, дизель, регулятор, механизм, кинематический анализ, электромагнит, топливная экономичность

Постановка проблеми. В покращенні паливної економічності і зниженні шкідливої дії відпрацьованих газів на навколишнє середовище та здоров'я людини важливу роль відіграють розробки і дослідження перспективних конструкцій паливної апаратури із застосуванням сучасних методів і технологій. Одним із резервів економії палива є удосконалення систем автоматичного регулювання частоти обертання автотракторних двигунів.

У нових соціально – економічних умовах реформування аграрного сектора економіки і жорсткої конкуренції технологій і необхідної для її здійснення сільськогосподарської техніки знаходять широкого застосування вітчизняні орно-просапні трактори ХТЗ – 120/121 і ХТЗ – 160, ЮМЗ – 8280 і ЮМЗ – 10280 “Дніпро”, енергонасичені трактори загального призначення ХТЗ – 170 з різними моделями двигунів вітчизняного і зарубіжного виробництва.

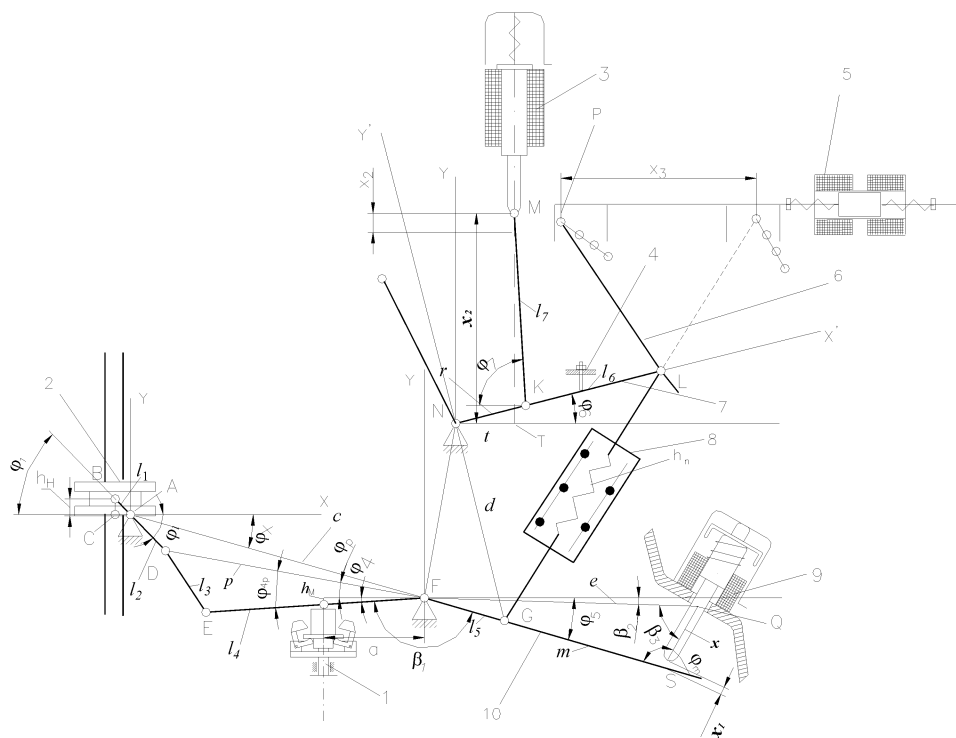
Протягом року ці колісні трактори застосовуються для виконання різних польових робіт та тракторних перевезень. Досвід експлуатації показує, що 70-80 % вантажоперевезень в сільському господарстві виконується тракторним агрегатом, причому перевезення вантажів на незначні відстані тракторний транспорт економічніший автомобільного.

Аналіз досліджень. Аналіз розподілу навантажень на колісні трактори по видах робіт, режимів роботи та характеру зовнішнього навантаження, які діють на МТА, показує що одним з ефективних напрямків покращення експлуатаційної паливної економічності тракторних агрегатів, зниження токсичності і димності відпрацьованих газів дизеля є правильний вибір засобу регулювання частоти обертання в залежності від умов експлуатації.

Для енергонасичених колісних тракторів розроблений універсальний регулятор з автоматизованим механізмом переключення швидкісного режиму дизеля: забезпечується всережимне регулювання при виконанні польових робіт, де потрібне точне підтримання швидкості руху машинно-тракторного агрегату і дворежимне – на транспортних роботах, де швидкість змінюється в широкому діапазоні [3, 4].

Формулювання цілей. Визначити раціональне переміщення якорів електромагнітів механізму автоматичного переключення режимів універсального регулятора.

Виклад основного матеріалу. Для забезпечення автоматичного переключення із всережимного регулювання на дворежимне необхідно виконати операції в такій послідовності: 1) якорем електромагніта 9 (рис. 1) встановити двоплечий важіль регулятора 10 в положення, яке відповідає подачі палива, необхідного для роботи двигуна на холостому ході при мінімальній частоті обертання; 2) притиснути внутрішній важіль керування подачі палива 7 до гвинта 4 якорем електромагніта 3; 3) якорем електромагніта 5 встановити поворотний упор 6 навпроти блоку пружин 8. Для визначення раціональних параметрів ланок механізму автоматизованого переключення режимності роботи тракторного двигуна необхідно дослідити кінематику універсального регулятора. Кінематичний аналіз проводимо методом векторних контурів [1]. Універсальні регулятори вже досліджувались вище згаданим методом [2], але без елементів автоматизованого переключення режимності регулювання.



1 – механічний чутливий елемент; 2 – дозатор; 3, 5, 9 – електромагніти; 4 – упорний гвинт;
6 – поворотний упор; 7 – внутрішній важіль керування паливним насосом; 8 – блок пружин регулятора;
10 – двоплечий важіль регулятора

Рисунок 1 – Кінематична схема універсального регулятора паливного насоса НД 22/6Б4 з системою автоматизованого переключення режимності регулювання

Для контуру $ABCA$ вхідною є координата дозатора h_H , а вихідною – кут φ_1 , який рівний

$$\varphi_1 = \arcsin \frac{h_H}{l_1}. \quad (1)$$

Розбиваємо замкнутий контур $CDEFC$ на два трикутника CDF і DEF , векторні рівняння яких будуть мати вигляд:

для контуру CDF

$$l_2 + p - x = 0, \quad (2)$$

для контуру DEF

$$l_3 + l_4 - p = 0, \quad (3)$$

де p – перемінний по модулю вектор, який визначає положення точок D і F .

Проектуючи векторне рівняння (2) на вісі Ax і Ay , отримаємо

$$l_2 \cos \varphi_1 + p \cos \varphi_p - c \cos \varphi_x = 0, \quad (4)$$

$$l_2 \sin \varphi_1 + p \sin \varphi_p - c \sin \varphi_x = 0, \quad (5)$$

із рівнянь (4) та (5) знаходимо кут φ_p

$$\varphi_p = \operatorname{arctg} \frac{c \sin \varphi_x - l_2 \sin \varphi_1}{c \cos \varphi_x - l_2 \cos \varphi_1}. \quad (6)$$

Вектор p визначаємо із трикутника ADF за теоремою косинусів:

$$p = \sqrt{l_2^2 + x^2 - 2l_2x \cos(\varphi_1 - \varphi_x)}. \quad (7)$$

Із трикутника DEF знаходимо кут φ_{4p}

$$\varphi_{4p} = \arccos \frac{p^2 + l_4^2 - l_3^2}{2l_4p}. \quad (8)$$

Кут нахилу вектора l_4 до вісі Ax φ_4 буде рівний

$$\varphi_4 = \varphi_{4p} - \varphi_p. \quad (9)$$

Для знаходження переміщення x_1 якоря електромагніта 9 розглядаємо трикутник FSQ , використовуючи теорему синусів

$$\frac{x + x_1}{\sin(\varphi_5 - \beta_2)} = \frac{e}{\sin \varphi_m}, \quad (10)$$

де x – довжина упора електромагніта.

Кут φ_5 рівний

$$\varphi_5 = 180^\circ - \beta_1 - \varphi_4. \quad (11)$$

Кут φ_m дорівнює

$$\varphi_m = 180^\circ - \beta_3 + \beta_2 - \varphi_5. \quad (12)$$

Із рівняння (10), враховуючи вирази (9), (11), (12) знаходимо величину переміщення x_1

$$x_1 = \frac{e \sin(180^\circ - \beta_1 - \beta_2 - \varphi_{4p} + \varphi_5)}{\sin(\beta_1 + \beta_2 + \varphi_{4p} - \beta_3 - \varphi_p)} - x. \quad (13)$$

Підставляючи значення координати дозатора h_H на холостому ході при мінімальній частоті обертання отримуємо переміщення якоря електромагніта $9x_1 = 3,34 \text{ мм}$.

Для визначення переміщення якоря електромагніта 3 розглянемо контур $TNKMT$, векторне рівняння замкнутості якого має вигляд

$$t + r + l_7 - x_M = 0. \quad (14)$$

Проектуємо рівняння (14) на вісі Nx і Ny . Маємо

$$t + r \cos \varphi_6 + l_7 \cos \varphi_7 = 0, \quad (15)$$

$$r \sin \varphi_6 + l_7 \sin \varphi_7 = x_M. \quad (16)$$

Із рівняння (15) знаходимо кут φ_7

$$\cos \varphi_7 = -\frac{t + r \cos \varphi_6}{l_7}. \quad (17)$$

З рівняння (16) з урахуванням рівняння (17) визначаємо величину переміщення x_M

$$x_M = r \sin \varphi_6 + l_7 \sqrt{1 - \left(\frac{t + r \cos \varphi_6}{l_7} \right)^2}. \quad (18)$$

Так як кут φ_6 коливається в межах $0^{\circ}43' - 13^{\circ}41'$, x_M буде становити 32,4 – 36,5 мм, а значить переміщення x_2 якоря електромагніта 3 дорівнює 4,1 мм.

При знаходженні переміщення x_3 якоря електромагніта 5 складаємо систему лінійних рівнянь для визначення положень ланок плоского незамкнутого кінематичного ланцюга. В якості узагальненої координати приймемо кут φ_6 . Систему координат $Nx'y'$ отримуємо із системи Nxu шляхом повороту на кут φ_6 навколо початку координат N . Точка P має координати $(x_0; y_0)$ відносно системи Nxu та координати $(x'_0; y'_0)$ – відносно $Nx'y'$. Координати точки в системах Nxu і $Nx'y'$ зв'язані формулами:

$$x_0 = x'_0 \cos \varphi_6 - y'_0 \sin \varphi_6, \quad (19)$$

$$y_0 = x'_0 \sin \varphi_6 - y'_0 \cos \varphi_6. \quad (20)$$

При максимальному положенні внутрішнього важеля керування подачею палива 7 точка P в системі $Nx'y'$ при всережимному регулюванні має координати (18,2; 38,7), при дворезимному – (47,3; 38). При підстановці значень в рівняння (19), (20) отримаємо переміщення $x_3 = 28,4$ мм.

Висновки.

1. На основі кінематичного аналізу універсального регулятора паливного насоса НД 22/6Б4 нами встановлено, що для нормальної роботи системи автоматизованого переключення режимів регулювання хід якорів електромагнітів, які взаємодіють на важіль коректора, внутрішній важіль керування подачею палива, поворотний упор, повинен бути відповідно 3,34; 4,1; 28,4 мм.

2. Запропонована система автоматичного переключення режимності дизеля колісного трактора ХТЗ серії 150 дає змогу спростити процес управління двигуном та

зменшити експлуатаційну витрату палива на 6-8% при виконанні транспортних робіт.

Список літератури

1. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин / Артоболевский И.И. – М.: Наука, 1988. – 640 с.
2. Говорун А.Г. Статический расчёт ограничителя дымления для топливных насосов НД 22/6Б4 / А.Г. Говорун, Н.И. Самусь, А.Ф. Головчук // В кн.: Двигатели внутреннего сгорания. – Харьков: изд-во ХТУ, 1981. – Вып. 33. – С. 125–130.
3. Головчук А.Ф. Разработка и исследование универсальных регуляторов топливных насосов НД – 22/6 для колёсных тракторов ХТЗ / А.Ф. Головчук, Р.М. Харак, В.И. Левчук // Вестник Национального технического университета “ХПИ”. Тематический сборник научных работ “Двигатели внутреннего сгорания”. – Харьков: НТУ “ХПИ”, 2001. – № 2. – С. 10–19.
4. Головчук А.Ф. Автоматизація переключення все режимного і дворезимного регулювання універсального регулятора колісних тракторів / А.Ф. Головчук, Р.М. Харак // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. Збірник наукових праць “Підвищення надійності відновлюємих деталей машин”. – Харків: ХДТУСГ, 2001. – Вип.8, Том 2. – С. 178–182.

R. Kharak, V. Sakalo, S. Lykhvenko

Poltava state agrarian academy

Research kinematic characteristics of universal regulator movement of tractor trailers

The proposed method studies the kinematics universal regulator fuel pump distribution type with automatic switchover modes tractor KhTZ-150K-03.

Kinematic analysis was conducted using the closed vector paths. As a result, the rational move anchors electromagnets mode switching mechanism regulating universal regulator. To determine the parameters of rational mechanism links the automated switching modes tractor engine is to study the kinematics of the universal controller. Found that progress anchors electromagnets – 3.34 mm, internal lever controls the fuel supply – 4.1mm, turning lever – 28.4 mm.

The proposed mechanism for automatic switching modes allows the diesel engine management to simplify the process and reduce operational fuel consumption by 6-8 % in the transport operations

tractor, diesel, regylator, mehanism, kinematic analysis, electromagnet, fuel economy

Одержано 12.04.13

УДК 669.017:531.43

В.В. Аулін, проф., канд. ф-м. наук, О.В. Кузик, викл., канд. техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет

Зміна стану зон тертя деталей машин та динамічне трибоматеріалознавство їх поверхневих шарів

В статті з'ясовано вплив змін умов тертя на динаміку структурних перетворень в поверхневому шарі матеріалів трибоелементів та зміну їх властивостей.

Показано, що процес тертя супроводжується локальними змінами полів температури, напруження, деформаціями та структурними перетвореннями матеріалу трибоелементів. З позицій динамічного матеріалознавства структура і властивості матеріалу формуються безпосередньо в процесі тертя та в результаті сукупності одиничних процесів контактування. Наслідком цього є аустенітні-мартенситні перетворення зон тертя.

Процеси, що обумовлюють зміни структури матеріалу в зоні тертя розглянуті з трибофізичної точки зору. Показано, що процесами структурних перетворень та комплексом властивостей матеріалу зон тертя можна керувати.

трибоелемент, структурні перетворення, температура, напруження, деформація, динамічне трибоматеріалознавство, мартенсит тертя, аустеніт тертя

В.В. Аулин, А.В. Кузык

Кировоградский национальный технический университет

Изменение состояния зон трения деталей машин и динамическое трибоматериаловедение их поверхностных слоев

В статье выяснено влияние изменений условий трения на динамику структурных превращений в поверхностном слое материалов трибоэлементов и изменение их свойств.

Показано, что процесс трения сопровождается локальными изменениями полей температуры, напряжения, деформациями и структурными превращениями материала трибоэлементов. Из позиций динамического материаловедения структура и свойства материала формируются непосредственно в процессе трения и в результате совокупности единичных процессов контактирования. Следствием этого являются аустенитно-мартенситное превращения зон трения.

Процессы, которые обуславливают изменения структуры материала в зоне трения рассмотрены с трибофизической точки зрения. Показано, что процессами структурных превращений и комплексом свойств материала зон трения можно управлять.

трибоэлемент, структурные превращения, температура, напряжение, деформация, динамическое трибоматериаловедение, мартенсит трение, аустенит трения.

Постановка проблеми

При проектуванні сільськогосподарських машин, оцінки їх ресурсу необхідно передбачити зміни стану поверхневих шарів матеріалів їх деталей і спряжень, які відбуваються в процесі тертя і зношування. В процесі тертя деталей машин виникають суттєві зміни в матеріалах їх поверхневих робочих шарів під впливом пружно-пластичної деформації і теплоти в процесі роботи сил тертя і переході механічної енергії в теплову, а також протіканні ряду інших процесів [1,2]. Ці зміни можна розглядати як на макроскопічному, так і мікроскопічному рівнях. До макроскопічних слід віднести зміни мікрогеометрії і рельєфу взаємодіючих спряжених поверхонь, утворені нарости, викришування дрібних і великих частинок та знос матеріалу зон тертя, як поступове видалення тонкого поверхневого шару трибоелементу (ТЕ).

Мікроскопічні зміни складають зміни структури і субструктури (кількості і характеру розподілення дефектів кристалічної ґратки та ін.) [3].

Виникаючі поля температури, напружень та деформацій в матеріалі ТЕ при терті, обумовлюють можливість протікання в ньому ряду складних і взаємозв'язаних процесів, залежно від багатьох чинників, зокрема, від умов та режимів тертя, природи матеріалів ТЕ та робочого середовища, їх будови, структури та комплексу їх властивостей [2].

Зміна стану поверхонь тертя матеріалів ТЕ істотно залежить від динаміки зміни комплексу властивостей і структури, тобто визначається закономірностями динамічного трибоматеріалознавства поверхневих шарів деталей машин. Ефективне виявлення цих закономірностей можна здійснити на основі фізичного підходу у цій проблемі, який вимагає вивчення процесу тертя на мікроскопічному рівні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Трибологічні та трибоматеріалознавчі дослідження свідчать, що тонкі поверхневі шари матеріалів ТЕ за своїми властивостями, структурою та субструктурою відрізняється від основного матеріалу [2,4]. Їх специфічну поведінку можна пояснити особливим положенням атомів матеріалу поверхневого шару, коли деякі зв'язки залишаються вільними, що призводить до виникненню вільної поверхневої енергії й особливих структурних та субструктурних змін. До субструктурних змін можна віднести мікроскопічні деформації в поверхневих шарах матеріалу ТЕ, які істотно впливають на процеси тертя і зношування [5].

Відомо [5,6], що швидкість пластичної деформації поверхневих шарів при терті визначається як щільністю, так і швидкістю рухомих дислокацій. Зазначимо, що сам процес пластичної деформації поверхневого шару обумовлений більшою щільністю рухомих дислокацій і більш високою швидкістю їх руху. В таких умовах концентрація дислокацій в поверхневих шарах багато вища ніж в основі деталей.

При цьому спостерігаються дві стадії пластичної деформації. На першій з них полегшується утворення і рух дислокацій в поверхневому шарі, а на другій – умови деформування поверхні дещо ускладнені. Існує точка зору [7,8], згідно якій підвищена щільність дислокацій у поверхні матеріалу деталі створюється не внутрішніми, а поверхневими джерелами дислокацій, що обумовлено умовами експлуатації деталей, а отже умовами тертя і зношування поверхневих шарів. Характерним є те, що у початковий період деформування в поверхневому шарі матеріалу деталі наявні умови більш ранньої активації дислокаційних джерел у порівнянні з внутрішніми її шарами.

Крім цього у роботі [2] показано, що при кожній температурі в зоні тертя існує певна критична міра деформації $\varepsilon_{кр}$, при якій пластична течія відбувається переважно в поверхневих шарах деталей. Кожному значенню параметра $\varepsilon_{кр}$ відповідає певна глибина проникнення фронту пластичної деформації в матеріалі ТЕ. Виявлено [8], що з підвищенням температури $T_{кр}$ збільшується товщина поверхневого шару з підвищеною щільністю дислокацій.

В процесі експлуатації деталей, при терті і зношуванні, завдяки спільній дії нормальних і дотичних напружень в поверхневому шарі матеріалу ТЕ, створюється об'ємний напружений стан [5], при якому навіть високоміцні матеріали виявляють достатню пластичність. У поверхневому шарі дотичне напруження включає напруження опору руху дислокацій від внутрішніх перешкод і від поверхневого шару. Якщо зняти навантаження, то внутрішнє напруження в поверхневих шарах матеріалу ТЕ повністю не знімаються.

Постановка завдання

З'ясувати вплив змін умов тертя на динаміку структурних перетворень в поверхневому шарі матеріалів ТЕ та зміну їх властивостей.

Виклад основного матеріалу

Однією з головних причин зміни фізико-механічних властивостей поверхневого шару при терті є нерівномірна пластична деформація, енергія якої витрачається на формуванні залишкових напружень. Із зростанням питомих тисків і швидкостей частка глибинної пластичної деформації зменшується через значну частину витрат роботи сил тертя на пружні і пластичні деформації в місцях контактів, а також на процес зношування.

Якщо до роботи сил тертя (в результаті термічної, механічної або іншої обробки) в поверхневому шарі були залишкові напруження розтягу, то на початку випробувань на тертя відбувається різке зменшення їх величини і зміна знаку, а потім спостерігається зростання залишкових напружень стиску. Якщо в початковому стані в поверхневому шарі деталей наявні залишкові напруження стиску, то в процесі роботи сил тертя останні зростають значно повільніше.

Розглядаючи напружений стан поверхневих шарів матеріалу необхідно при терті враховувати внутрішні структурні залишкові напруження, які часто більш інтенсивно впливають на процеси тертя і зношування, ніж створюване зовнішнє напруження. Тому цілком доцільно вимагати при зміцненні матеріалу ТЕ однорідність структури його поверхневого шару.

При балансі напруженого стану при терті чималу роль відіграють напруження, які формуються за наявності високих температур та температурних градієнтів: під дією теплових навантажень при терті, матеріал ТЕ має знижений опір дії навантажень [2].

Фізико-хімічні процеси, що відбуваються при цьому, визначаються передачею енергії і її дисипацією при контактних взаємодіях. Теплота, яка виділяється в дискретних ділянках контактування є результатом переходу механічної енергії в теплову. Це обумовлює те, що у локальних ділянках робочих поверхонь деталей розвиваються високі температури, які можуть привести до оплавлення тонких шарів. На тертя і зношування матеріалів ТЕ, крім температури в зоні тертя, істотно впливають градієнт температур, здатність матеріалу акумулювати тепло (теплофізичні властивості матеріалу, конфігурація контакту), а також умови тепловіддачі.

Для реальних трибоспряжень, згідно досліджень А.В. Чичинадзе [9], доцільним є врахування ще одного істотного критерія – коефіцієнта взаємного перекриття, який є відношенням номінальної площі ковзаючого контакту до усїєї номінальної площі поверхні тертя. Коефіцієнт взаємного перекриття істотно впливає на розподіл теплових потоків між ТЕ.

Дослідження в цьому напрямі свідчать як про динамізм умов тертя і зношування, так і динамізм у можливостей змін стану, властивостей і структури матеріалів ТЕ. Взаємозв'язок зазначених динамічних змін потребує ретельних експериментальних досліджень та теоретичних обґрунтувань.

Високі температури і температурний градієнт в зоні тертя обумовлюють наступні взаємодії поверхонь тертя:

- з мастильними матеріалами зі зміною режимів тертя;
- із зовнішнім середовищем та зміною кінетики процесів: дифузії; адсорбції і абсорбції; структурним і фазовим змінам в поверхневих шарах матеріалів ТЕ. Зазначене приводить до створення пластичного контакту, зміни коефіцієнта тертя, зносу, переносних явищ, схоплюванню і утворенню дефектів на поверхні тертя.

Дослідження показують, що структурні перетворення при терті визначаються в основному температурою спалаху, але істотними факторами, що впливають на механічні та триботехнічні характеристики матеріалів ТЕ, є об'ємні і поверхневі температури та температурні градієнти:

$$f_{mp} = A_1 T^{a-k} + A_2 \left(\frac{dT}{dX} \right)^{b-k}, \quad (1)$$

де T – температура поверхні;

dT/dX – градієнт температури по нормалі до поверхні;

A_1, A_2, a, b, k – постійні, що характеризують комплекс трибофізичних властивостей спряжених ТЕ.

Зі зміною температури змінюються субструктура, мікроструктура і фізико-хімічні властивості матеріалів ТЕ, і, як наслідок, їх зносостійкість. Змінюється і характер взаємодії поверхні тертя з навколишнім середовищем; властивості матеріалу при утворенні окисних плівок; взаємодія робочої поверхні з продуктами зносу, що утворюються в процесі тертя, а також характер цих продуктів і т. д.

Порівняння енергії, витраченої при терті, показало, що енергія дислокацій приблизно на три порядки менша, ніж енергія тертя. Звідки випливає, що однією тільки зміною дислокаційної структури не можна повністю пояснити дисипацію енергії при терті ковзання, тобто спостерігаються витрати енергії й на протікання інших процесів. В залежності від енергії, що виділяється при терті, окрім пластичної деформації подолання сил взаємодії і власне зносу, в активних шарах матеріалу ТЕ реалізуються дифузійні процеси, процеси рекристалізації і відпочинку, поліморфні перетворення, процеси розчинення і виділення надлишкової фази та ін.

Виявлено, що стан поверхні і результат роботи сил тертя залежать від багатьох фізико-технологічних параметрів: швидкості ковзання; величини навантаження; температури поверхні тертя; шорсткості поверхні; властивостей матеріалу; характеру і режиму тертя; конструкції трибоспряжень деталей; наявності або відсутності мастильного шару в трибосистемі (ТС) або покриттів на ТЕ та ін.

Усю сукупність параметрів, що впливають на працездатність ТС, можна розділити на внутрішні параметри, які визначають стан матеріалу та зовнішні, які можуть вплинути на значення внутрішніх параметрів.

В процесах тертя і зношування та в динамічному матеріалознавстві особливе місце займає кінетичний параметр τ – час контактування або час життя плями контакту, що визначає тимчасову можливість ряду протікаючих процесів, а отже і ступінь реалізації різних структурних перетворень. Кожен із зовнішніх термодинамічних параметрів T, N, c_i повинен оцінюватися з урахуванням того, якою мірою цей параметр може вплинути на внутрішні параметри.

У випадку, коли температура в зоні тертя перевершує критичні точки структурних перетворень матеріалів ТЕ (наприклад, A_c для сталі), процес тертя супроводжується локальними структурними перетвореннями матеріалу ТЕ. Якщо температура нижча критичної, то в малих локальних об'ємах загартованого матеріалу можуть відбуватися процеси відпускання. Відмітимо, що в реальних умовах тертя, окрім температури, на фазові і структурні перетворення одночасно впливають ще і високий тиск в мікроконтактах, а також характер і типи взаємодії ТЕ із зовнішнім середовищем.

Якщо розглядати тертя як сукупність рівно ефективних актів контактування, то основні процеси і зміна характеристик матеріалу при цьому можна описати у рамках одиничного акту контактування. Зносостійкість поверхні тертя при цьому розглядається як здатність опору проти зварювання і руйнування мікронерівностей матеріалів ТЕ, що беруть участь в кожному одиничному акті контактування.

З іншого боку, базуючись на позиціях динамічного матеріалознавства [2,8], сутність якого полягає в тому, що під дією ряду чинників, що впливають на матеріал ТЕ, його структура і фізико-механічні властивості змінюються в процесі тертя. В даному випадку, відповідальним в процесі експлуатації ТС є не стільки матеріал з початковою структурою, скільки його структура і властивості, що формуються безпосередньо в процесі тертя. При цьому тертя розглядається як складний процес, що складається з трьох послідовних етапів: взаємодії спряжених поверхонь деталей; змін,

що відбуваються на них в процесі тертя; самоорганізація або руйнування зон тертя.

У загальному випадку процес тертя слід розглядати як накопичення умов, що призводять до зміни структури, складу, фізико-механічних властивостей матеріалу ТЕ, а також переходу його з одного стану в інший. Декілька зазначених актів можуть змінити стан матеріалу поверхневого шару ТЕ й услід за цим змінюється характер контактування оскільки в цей процес вступає матеріал ТЕ, що набув нову структуру. Зносостійкість матеріалу ТЕ в таких випадках визначається структурою, що формується при терті в результаті сукупності одиничних процесів контактування. Отже цими процесами бажано керувати і встановлювати взаємозв'язок між початковою і вторинними структурами матеріалу ТЕ, що отримуються в процесі експлуатації ТС.

Важливою особливістю кінетики структурних процесів при терті є те, що під час переходу механічної енергії в теплову, нагрівання і охолодження шляхом відведення тепла в матеріал ТЕ, робоче та зовнішнє середовище, здійснюються з дуже великою швидкістю, незвичайною для швидкостей нагрівання і охолодження при відомих процесах термічної обробки матеріалів. Це обумовлює реалізацію широкого спектру структурних станів, що виникають в результаті "точкового" гартування при терті з великою швидкістю. Тобто однією з особливостей процесів тертя є локальність процесів нагрівання і охолодження мікроскопічних об'ємів матеріалів ТЕ.

Швидкості нагрівання і охолодження при терті для ділянки локального контакту [2,3] можуть набувати дуже високих значень: порядку $10^4 \dots 10^5$ К/с, та $10^3 \dots 10^4$ К/с. Результати досліджень зон локального контакту свідчать, що на процеси нагрівання і охолодження в цих зонах впливають наступні чинники: вміст вуглецю, початкова структура (перліт, тростит, сорбіт або мартенсит і т.п.), а також температуропровідність матеріалу ТЕ.

Взаємодії і подальші фізико-хімічні процеси в зоні тертя визначаються зовнішніми умовами: механічним імпульсом, часом контактування, конструкцією спряження деталей і т. п. та фізичними властивостями матеріалів спряжених поверхонь деталей і середовища.

Розподілення локальних джерел тепла в зоні тертя визначається умовами роботи сил тертя і в значній мірі залежать від мікрорельєфу поверхонь тертя – форми і розмірів виступів, геометрії локальних неоднорідностей і т.п., тобто, геометрія поверхні тертя змінюється в процесі експлуатації ТС.

З міркувань розмірності, враховуючи рівняння теплопровідності і граничні умови до них, тривалість часу τ для розігрівання контактної області розміром L дорівнює:

$$\tau \approx \frac{L}{\chi} = \frac{Lc\rho}{\lambda}, \quad (2)$$

де χ , λ , $c\rho$ – відповідно коефіцієнти температуропровідності і теплопровідності та теплоємність одиниці об'єму матеріалу.

Враховуючи температуру T та площу зони тертя S_{mp} , маємо:

$$\tau = \frac{c\rho}{\lambda} \left(\frac{\lambda \sqrt{S_{mp}}}{q_o} \sqrt{(T - T_C)^2} \right)^2 = c\rho \lambda \frac{L^2}{q_o^2} (T - T_C)^2, \quad (3)$$

$$\text{або} \quad \tau = Bc\rho\lambda (T - T_C)^2, \quad (4)$$

де $\sqrt{S_{mp}} = L$; T_C – температура середовища;

$B = \frac{S_{mp}}{q_o^2}$; q_o – функція розподілу джерела теплової енергії.

Аналіз величини B свідчить, що для різних матеріалів ТЕ вона неоднакова, а для одного і того ж матеріалу ТЕ, при зміні форми спряженої поверхні та умов тертя,

вона також змінюється і τ оцінюють з точністю до постійної B . Для різнорідних матеріалів ТЕ можливі три випадки: а) $\tau_1 \ll \tau_2$; б) $\tau_1 \approx \tau_2$; в) $\tau_1 \gg \tau_2$.

У першому випадку найбільш нестійкий проти плавлення матеріалу ТЕ 1, а в третьому – ТЕ 2. Як правило, за умови $\tau_1 \leq \tau_2$, застосування однойменних матеріалів менш сприятливо, чим різнойменних, оскільки процеси встановлення рівноваги між напруженою і деформаційною повзучістю в місцях контактування буде одночасним, що повинно привести до схоплювання. У першому і третьому випадках для різнойменних матеріалів ТЕ інтенсивність процесів тертя і зношування знижується у порівнянні з другим випадком. Проте при тісному контактуванні за рахунок теплопровідності можливе підігрівання протилежної спряженої поверхні, що полегшує процеси перенесення. Можуть також спостерігатися утворення містків схоплювання, після чого при переміщенні настає розрив у найбільш слабкому місці: за місцем контакту або по матеріалу ТЕ 1, або ТЕ 2, або по сплаву (ТЕ 1+ТЕ 2), якщо останній встиг утворитися дифузійним шляхом за час контактування.

Таким чином, параметр τ може характеризувати опір зносу в тому сенсі, що він визначає здатність контактуючої поверхні "розм'якшуватися" під дією виділеного тепла від роботи сил тертя або утворювати "містки схоплювання". Спрямованість же перенесення матеріалу в першому і третьому випадках повністю визначається співвідношенням τ_1 і τ_2 , а в другому – міцністю утвореного з'єднання. Відмітимо, що внаслідок розігрівання, можливі також вторинні процеси взаємозв'язку з середовищем (окислення, цементация і т. п.), які накладаються на процеси, що протікають на контактній області при терті.

Процеси, що призводять до зміни структури і властивостей матеріалу ТЕ, можуть відбуватися як в результаті фазових перетворень, так і без них. При зміні стану без фазових перетворень матеріалу під дією сил тертя і реакцій, що викликаються ними, може спостерігатися прискорена еволюція усих станів до самого руйнування, можуть мати місце і процеси, тривалий період які намагаються перешкоджати руйнуванню матеріалів ТЕ.

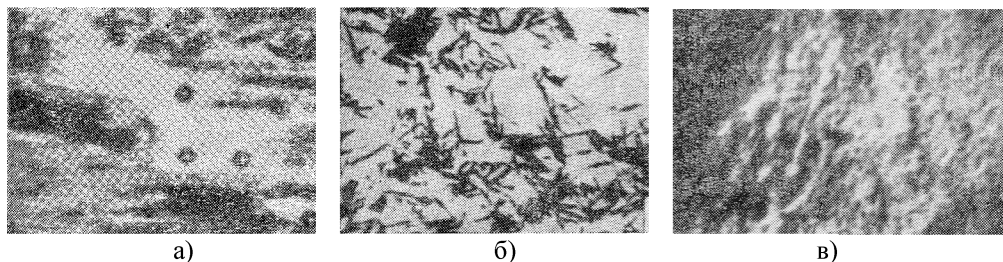
На протязі періоду від початку роботи на тертя матеріал ТЕ проходить через серію станів, одні з яких можуть виявитися катастрофічними і необоротними, інші — оборотними (залікування дефектів, що утворюються на поверхні та ін.). При усталеному процесі тертя може спостерігатися більш менш стан тривалої рівноваги, але розвиток фізико-хімічних процесів в подальшому може здійснюватися безпосередньо в самому процесі тертя і призводити до зміни структури і властивостей матеріалу ТЕ.

Можливість фазових перетворень в матеріалах при терті, здійснення їх вторинного загартування, реалізується завдяки наступним умовам:

- нагрівання ділянок мікроконтакту до температур вище критичної і охолодження до кімнатних температур з великою швидкістю;
- значення критичних точок фазових перетворень матеріалів ТЕ можуть істотно знижуватися під дією деформації;
- дрібнодисперсна структура матеріалу ТЕ полегшує його структурні перетворення: гомогенізацію аустеніту, розчинення і виділення карбідів і т. п., які можуть відбуватися в результаті інтенсивної дифузії в мікрооб'ємах.

Швидкість переходу дрібнодисперсних карбідів і мартенситу в аустеніт значно збільшується внаслідок того, що є готові зародки аустеніту, якими є ділянки залишкового аустеніту, що характерно для багатьох загартованих сталей.

Перетворенню α -фази на γ -фазу в процесі тертя сприяє велика поверхня стикування фаз. Аустеніт тертя, при наступному швидкому охолодженні перетворюється на аустеніт – мартенситну структуру з великим вмістом аустеніту (рис. 1).



а) аустеніт тертя, х300; б) мартенсит тертя, х300; в) карбідна фаза до випробування на тертя, х10000

Рисунок 1 – Структура тертя в сталі ШХ15

Проведені дослідження на різних сталях і чавунах підтверджують, що властивості нової структури залежать від властивостей вихідної структури в локальній контактній ділянці поверхні і від умов тертя. Мікротвердість аустеніту тертя, як правило, вище за твердість початкового(залишкового) аустеніту. Мікротвердість мартенситу тертя порядку 8,5 ГПа. При металографічному аналізі мартенсит тертя відрізняється від вихідного мартенситу ступенем травлення.

Підвищену стійкість аустеніту тертя матеріалу ТЕ можна обґрунтувати наступним чином:

- при мікродифузійному перетворенні аустеніт, що утворився з початкового мартенситу, збагачений вуглецем і карбідами;
- численні центри кристалізації — дрібнодисперсні карбіди розчинені в γ -фазі;
- в умовах пластичної деформації в ділянках поверхні гальмується перетворення аустеніту на мартенсит.

Кількість аустеніту в поверхневих шарах матеріалу при терті визначатиметься початковою структурою і хімічним складом сталі, концентрацією заліза в аустеніті, тиском на контакт. Результати досліджень свідчать, що існує деякий граничний тиск, нижче якого аустеніт тертя не утворюється. Процес стабілізації $A \rightarrow M$ перетворень залежить і від таких чинників, як при зупиненні процесу охолодження нижче M_n , низькотемпературне відпускання, витримка вище M_n , попередня деформація, фазове наклепування і т. д.

Деформація аустеніту в процесі зовнішньої дії та в результаті фазового наклепування може викликати утворення структурної недосконалості двох типів – одні прискорюють, а інші гальмують мартенситні перетворення. Як правило, при малих деформаціях переважає прискорююча, а при великих – гальмуюча дії. При цьому максимум вмісту мартенситу зміщується у бік менших деформацій.

Можна виділити два типи процесу стабілізації аустеніту: механічна та термічна стабілізації. Механічна стабілізація пов'язана з наклепуванням в результаті прямого і зворотного мартенситного перетворення (фазове наклепання) і пластичної деформації під дією зовнішніх сил (механічне наклепання). Термічна стабілізація має іншу природу і полягає в уповільненні мартенситного перетворення при малих швидкостях охолодження в зоні температур M_n і дещо нижче її. Якщо вважати, що термічна стабілізація пов'язана з релаксацією напружень, що виникають в результаті перетворення $A \rightarrow M$, то чим більша тривалість витримки при цій температурі, тим сильніше релаксують напруження і тим більше потрібно охолодити систему, щоб знову накопити напруження, необхідне для подальшого перетворення. Ступінь термічної стабілізації збільшується як з підвищенням температури, так і зі збільшенням тривалості витримки.

Виявлено, що в процесі тертя утворення мартенситу в сталях і нікелевих сплавах супроводжується спонтанною деформацією матриці, спотворення якої веде до гальмування подальшого $A \rightarrow M$ перетворення. Це знаходиться у відповідності із

встановленим положенням, згідно якого значний вплив на подальші перетворення в матеріалі при охолодженні здійснює пластична деформація [10].

Проте якщо спостерігається пластична деформація, то основа має пружні напруження і поле пружних напружень в області кристалів мартенситу може сприяти зародженню нового мартенситу. Отже розвиток мартенситного перетворення може залежати від гальмівної дії пластичної деформації і впливу на зародження нових кристалів мартенситу пружних напружень в ділянках мартенситу, що утворюється по сусідству з первинними кристалами. Відповідно до цього стабілізацію трибоматеріалу можна представити як результат релаксації пружних напружень і зменшення числа переважних ділянок для зародження мартенситу.

Стабілізація аустеніту може відбуватися і при збільшенні швидкості деформації. Підвищення стійкості аустеніту, всупереч мартенситному перетворенню, при терті спостерігається при імпульсній (одноразовій або циклічній) дії температури, тобто при різко нестаціонарному тепловому режимі тертя або в умовах, коли стаціонарність теплового режиму виявляється з яких-небудь причин порушеною.

В умовах нестаціонарного теплового режиму тертя стабілізація аустеніту, очевидно, відбуватиметься як внаслідок неоднорідності аустеніту по концентрації вуглецю, так і в результаті фазового наклепування, ступінь якого збільшується при багатократних $\alpha \leftrightarrow \gamma$ – перетвореннях, якщо температурні спалахи повторюються. Це відбувається і в результаті механічного наклепування і високої швидкості деформації поверхневих шарів [10].

При стаціонарному тепловому режимі тертя, що спостерігається при усталеній температурі поверхні і достатній тривалості контактування, загартування поверхневого шару відбуватиметься не безпосередньо при терті, а в процесі охолодження. У цьому випадку велику роль відіграють умови тепловідводу. Варіюючи швидкістю охолодження можна отримати в поверхневих шарах структури як гартування, так і відпускання. Стабілізація аустеніту в цих умовах може відбуватися внаслідок уповільнення охолодження поблизу температури початку мартенситного перетворення. Характерним є те, що після припинення процесу тертя аустеніт, як правило не утворюється.

Висновки

Виявлено, що при оцінці ресурсу деталей сільськогосподарських машин слід врахувати зміну структури матеріалів та характер протікання процесів в зоні тертя. З трибофізичної точки зору розглянуті процеси, що обумовлюють зміни структури матеріалу в зоні тертя. Відмінності в структурах вторинного гартування можна пояснити тим, що при одночасній дії не дуже високих тисків і температур відбувається додаткова трансформація кристалічної решітки і створення високотемпературної γ - фази. Виявлено таку особливість мартенситу тертя як його дрібнодисперсну структуру, а також розвинену субструктуру і більшу за величиною загальну напруженість. В результаті подрібнення зерен високотемпературного аустеніту знижується температура початку мартенситного перетворення і в структурі вторинного гартування фіксується підвищена кількість залишкового аустеніту. При цьому структури швидкісного відпускання мають наступні особливості: утворюються при розпаді мартенситу, α - фаза якого відрізняється більшою дисперсністю і напруженою субструктурою, а також підвищеною мікротвердістю; розпад залишкового аустеніту гальмує коалесценція карбідних частинок; зберігається орієнтацію початкової мікроструктури.

Список літератури

- 1 Грозин Б.Д. Повышение эксплуатационной надёжности деталей машин / [Б.Д. Грозин и др.] – М.:Машгиз, 1960. – 296 с.

- 2 Любарский И.М. Металлофизика трения / И.М. Любарский, Л.С. Палатник. – М.: Металлургия, 1976. – 176с.
- 3 Аулін В.В. Структурні перетворення в конструкційних матеріалах, що знаходяться в неврівноважених умовах / В.В. Аулін, Ф.Й. Златопольский, С.М. Лізунов // Инженерия поверхности и реновация изделий. Материалы 4-й междуна. научн.-техн.конф., 25-27 мая 2004, г. Ялта. – Киев: АТМ України, 2004. – С.38-40.
- 4 Бутенко В.И. Физико-технологические основы формирования управляемых структур сталей и сплавов / В.И. Бутенко. – Таганрог: ТРТУ, 2004. – 264с.
- 5 Грозин Б.Д. Износ металлов. – Киев.: Гостехиздат УССР, 1951. – 252 с.
- 6 Коган А.С. Некоторые закономерности образования так называемого "аустенита трения" / А.С. Коган, Т.Т. Расс, Т.Я. Гораздовский – В сб.: Теория смазочного действия и новые материалы. – М.: Наука, 1965.– С. 223 – 227.
- 7 Аулин В.В. Аномалия структурных превращений и массопереноса в металлах при лазерном воздействии / В.В. Аулин, Н.М. Боранбаева, С.Д. Звонков // Сб.: "Труды 11-й Дальневосточной школы – семинары по физике и химии твёрдого тела." Благовещенск: 1988. – т.2. – С.66-70.
- 8 Аулін В.В. Самоорганізація на основі неврівноважених процесів в трибосистемах / В.В. Аулін // Зб. тез міжнар. наук.–практ. конф. "Ольвійський форум"-2009: Стратегія України в геополітичному просторі.-Миколаїв: ЧДУ, 2009.-С. 61-62
- 9 Чичинадзе А.В. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / А.В. Чичинадзе, Э.М. Берлинер, Э.Д. Браун и др.; Под общ. ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2003. – 576 с.
- 10 Аулін В.В. Основні синергетичні компоненти прояву різних форм самоорганізації в триботехнічних системах / В.В. Аулін // Зб. тез матеріалів міжнар. наук.–практ. конф. "Ольвійський форум 2012: Стратегія України в геополітичному просторі", 6-10 червня 2012, Ялта., т. 12. – С.60-62.

V. Aulin A. Kuzyk

Kirovohrad national technical university

Change of the state of zones of friction of details of machines and dynamic triboengineering material science of their superficial layers

In the article influence of changes of terms of friction is found out on the dynamics of structural transformations in the superficial layer of materials of tribo-elements and change of their properties.

It is shown that the process of friction is accompanied by the local changes of the fields of temperature, tension, deformations and structural transformations of material of tribo-elements. From positions of dynamic material science a structure and properties of material are formed directly in the process of friction and as a result of totality of single processes of contact. Investigation of it are austenite-to-martensite transformations of zones of friction.

Processes that stipulate the changes of structure of material in the zone of friction considered from the tribophysics point of view. It is shown that it is possible to manage the processes of structural transformations and complex of properties of material of zones of friction.

tribo-element, structural transformations, temperature, tension, deformation, dynamic triboengineering material science, a martensite is a friction, austenite of friction

Одержано 25.04.13

УДК 621.891

В.А.Войтов, проф., д-р техн. наук, А.Г. Козырь, асп.

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П. Василенко

Критерии моделирования силы трения на переходных режимах

В работе обоснованы критерии для моделирования потерь на трение на переходных режимах в трибосистемах. Критерии получены в виде коэффициентов, входящих в дифференциальные уравнения, описывающих переходной процесс. Показано, что основу таких критериев составляют постоянные времени и коэффициенты усиления, которые имеют определенный физический смысл и характеризуют реакцию трибосистемы на различные возмущения.

трибосистема, сила трения, переходный процесс, коэффициенты усиления, постоянные времени

В.А. Войтов, проф., А.Г. Козир

Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П. Василенко

Критерії моделювання сили тертя на перехідних режимах

В роботі обґрунтовані критерії для моделювання втрат на тертя на перехідних режимах в трибосистемах. Критерії отримані у вигляді коефіцієнтів, що входять в диференціальні рівняння, що описують перехідний процес. Показано, що основу таких критеріїв складають постійні часу і коефіцієнти підсилення, які мають певний фізичний зміст і характеризують реакцію трибосистеми на різні збурювання.

трибосистема, сила тертя, перехідний процес, коефіцієнти підсилення, постійні часу

Актуальность. На этапе проектирования новых сельскохозяйственных машин и механизмов конструктору необходимо оценить не только ресурс входящих в машину трибосистем, но и потери на трение. Большие значения сил трения в трибосистемах будут вызывать повышение температуры в процессе работы, а также повышенный расход топлива или электроэнергии приводными двигателями.

Анализ публикаций по данной проблеме.

Авторами работы [1] обоснованы и выбраны критерии для моделирования скорости изнашивания на переходных режимах. В работе показано, что коэффициенты, которые входят в дифференциальное уравнение, имеют физический смысл и оптимальные значения для сокращения времени приработки и снижения износа за время приработки.

Данная работа является продолжением работ [1, 2] и направлена на обоснование критериев моделирования силы трения в трибосистемах на переходных режимах.

Целью данной работы явилось обосновать критерии моделирования потерь на трение в трибосистемах и объяснить их физический смысл.

Методический подход в проведении исследований.

Согласно работам [3-5] дифференциальные уравнения для моделирования изменения силы трения в трибосистеме на переходных режимах имеет вид:

$$c_2 \ddot{\bar{F}}_{TP} + c_1 \dot{\bar{F}}_{TP} + \bar{F}_{TP} = d_3 \ddot{\bar{\pi}}_t + d_2 \dot{\bar{\pi}}_t + d_1 \bar{\pi}_t, \quad (1)$$

где $c_1 = T_{1F} + T_{2F}$;

$c_2 = T_{1F} \cdot T_{2F}$;

$d_1 = K_{1F}(1 - K_{2F} + K_{3F})$;

$d_2 = K_{1F}(T_{1F} + T_{2F} - K_{2F}T_{2F} + K_{3F}T_{1F})$;

$d_3 = K_{3F}T_{1F}T_{2F}$;

K_{1F}, K_{2F}, K_{3F} – коэффициенты усиления;

T_{1F} и T_{2F} – постоянные времени переходного процесса для силы трения.

$\dot{\pi}_t$ – относительное отклонение входного воздействия на трибосистему:

$$\dot{\pi}_t = \frac{\dot{\pi}_{t_{\text{тек}}} - \dot{\pi}_{t_{\text{баз}}}}{\dot{\pi}_{t_{\text{баз}}}}, \quad (2)$$

где $\dot{\pi}_{t_{\text{баз}}}$ и $\dot{\pi}_{t_{\text{тек}}}$ – текущее и базовое значения входного воздействия на трибосистему, определяются по формуле:

$$\dot{\pi}_t = \frac{N^{\frac{2}{3}} \times v^{\frac{2}{3}} \times \alpha^{\frac{7}{3}}}{A_{\text{ycp}}^{\frac{1}{3}} \times Q^{\frac{1}{3}} \times K_{\phi}^{\frac{2}{3}}}, \quad (3)$$

где N – нагрузка на узле трения, Н;

v – скорость скольжения, м/с;

α – параметр, учитывающий релаксационные свойства структуры сопряженных материалов и их совместимость в трибосистеме, дВ/м;

A_{ycp} – параметр, характеризующий смазывающие свойства среды, Дж/м³;

Q – расход смазочной среды через узел трения, кг/с;

K_{ϕ} – коэффициент, учитывающий геометрические размеры узла трения (коэффициент формы), 1/м.

За базовое значение выбирают минимально возможную величину для условий моделирования.

На основании анализа представленного дифференциального уравнения (1), а также на основании анализа структурно-динамических схем моделирования скорости износа и силы трения представленных в работах [4, 5] можно определить физический смысл коэффициентов усиления K и постоянных времени T .

1. Коэффициент усиления K_{1F} определяет реакцию трибосистемы на возмущение, т.е. определяют чувствительность трибосистемы. Увеличение коэффициента K_{1F} будет характеризовать начальный заброс силы трения трибосистемы. Поэтому величина коэффициента K_{1F} может выступать критерием оценки чувствительности трибосистемы к внешним возмущениям.

2. Коэффициент усиления K_{2F} определяет значение силы трения трибосистемы на установившемся режиме, т.е. после завершения переходного процесса. Увеличение коэффициентов K_{2F} будет характеризовать уменьшение силы трения. Поэтому величина коэффициента K_{2F} может выступать критерием оценки величины силы трения, по которым можно судить о механических потерях в трибосистемах и производить их ранжирование [2].

3. Коэффициент усиления K_{3F} определяет величину максимального заброса силы трения во время переходного процесса, Увеличение коэффициента K_{3F} будет характеризовать увеличение заброса силы трения в процессе приработки. Поэтому

величина коэффициента K_{3F} может выступать критерием оценки механических потерь в трибосистеме в процессе приработки [2].

4. Постоянные времена T_{1F} и T_{2F} определяют время завершения переходного процесса, т.е. инерционные свойства трибосистемы. Увеличение значений T_i делает процесс приработки длительным и слабо выраженным. И наоборот, уменьшение значений постоянных времени будет характеризовать сокращение времени переходного процесса. Поэтому величины постоянных времени T_i могут выступать критериями оценки приработки трибосистем.

Результаты исследований

Реакция трибосистемы на входное воздействие, т.е. чувствительность трибосистемы, величина силы трения на установившемся режиме, механические потери за время переходного процесса, а также длительность переходного процесса зависит, как отмечалось в работе [2], от трех объединенных комплексов-факторов:

$$\frac{NW}{K_{\phi}} = W; \quad \alpha; \quad A_{\text{уср}} \cdot Q = A_y,$$

где

- первый комплекс $(\frac{N \times v}{K_{\phi}} = W)$ характеризует условия нагружения

трибосистемы. Физический смысл этого комплекса – мощность подводимая к трибосистеме, геометрическим параметром которого является коэффициент формы, размерность $(\text{Н} \cdot \text{м} \cdot \text{м})/\text{с} = \text{Вт} \cdot \text{м}$;

- второй комплекс (α) – характеризует релаксационные свойства структуры обоих сопряженных материалов и их совместимость между собой, размерность $\text{дБ}/\text{м}$;

- третий комплекс $(A_{\text{уср}} \times Q = A_y)$ – характеризует смазочную среду и ее расход через узел трения. Физический смысл этого комплекса заключается в способности единицы массы смазочной среды проявлять свои трибологические свойства в единицу времени, размерность $(\text{кг}/\text{с}) \cdot (\text{Дж}/\text{м}^3) = \text{кг}^2/(\text{с}^3 \cdot \text{м})$.

Поэтому в дальнейших исследованиях будем определять взаимосвязь критериев переходного процесса силы трения от перечисленных выше объединенных комплексов в виде:

$$K_{1F} = f(W, \alpha, A_y); \quad (4)$$

$$K_{2F} = f(W, \alpha, A_y); \quad (5)$$

$$K_{3F} = f(W, \alpha, A_y); \quad (6)$$

$$T_{1F} = f(W, \alpha, A_y); \quad (7)$$

$$T_{2F} = f(W, \alpha, A_y). \quad (8)$$

Алгоритм определения зависимостей (4) – (8) состоит из следующих расчетных операций.

1. Задавшись текущими значениями объединенных комплексов, по величинам которых будет производиться моделирование, определяют:

$$\dot{\pi}_{t_{\text{тек}}} = \frac{N_{\text{тек}}^{2/3} \times V_{\text{тек}}^{2/3} \times \alpha_{\text{тек}}^{7/3}}{(A_{\text{уср.тек}} \times Q_{\text{тек}})^{1/3} \times K_{\phi, \text{тек}}^{2/3}}. \quad (9)$$

2. Задавшись базовими значеннями об'єдинених комплексів, которые незначительно меньше текущих и выбираются произвольно, определяют:

$$\dot{\pi}_{t_{\text{баз}}} = \frac{N_{\text{баз}}^{2/3} \times V_{\text{баз}}^{2/3} \times \alpha_{\text{баз}}^{7/3}}{(A_{\text{уср.баз}} \times Q_{\text{баз}})^{1/3} \times K_{\text{ф.баз}}^{2/3}}. \quad (10)$$

3. Рассчитывают коэффициент K_{1F} , который согласно работы [5] равен:

$$K_{1F} = \frac{(F_0 - F_{\text{тр.баз}})}{F_{\text{тр.баз}}} \times \frac{\dot{\pi}_{t_{\text{баз}}}}{(\dot{\pi}_{t_{\text{мек}}} - \dot{\pi}_{t_{\text{баз}}})}. \quad (11)$$

Нахождение коэффициентов K_{2F} и K_{3F} будем производить из системы двух уравнений, которая приведена в работе [5]:

$$\bar{F}_{\text{тр.уст}} = K_{1F} (1 - K_{2F} + K_{3F}) \times \frac{\dot{\pi}_{t_{\text{баз}}}}{(\dot{\pi}_{t_{\text{мек}}} - \dot{\pi}_{t_{\text{баз}}})}, \quad (12)$$

$$\bar{F}_{\text{max}} = K_{1F} (1 - K_{2F} \times a + K_{3F} \times b) \times \frac{\dot{\pi}_{t_{\text{баз}}}}{(\dot{\pi}_{t_{\text{мек}}} - \dot{\pi}_{t_{\text{баз}}})}, \quad (13)$$

где $a = 1 - e^{\left(-\frac{t_{\text{max}}}{T_{1F}}\right)}, \quad (14)$

$$b = 1 - e^{\left(-\frac{t_{\text{max}}}{T_{2F}}\right)}, \quad (15)$$

где $T_{1F} = \frac{t_{\text{np}}}{3}, \quad (16)$

$$T_{2F} = \frac{t^*}{3}. \quad (17)$$

Определим относительные величины максимального значения силы трения и силы трения на установившемся режиме. Согласно теории линейных дифференциальных уравнений такие величины определяются как:

$$\bar{F}_{\text{тр.уст}} = \frac{F_{\text{тр.уст}} - F_{\text{тр.баз}}}{F_{\text{тр.баз}}}; \quad (18)$$

$$\bar{F}_{\text{тр.макс}} = \frac{F_{\text{тр.макс}} - F_{\text{тр.баз}}}{F_{\text{тр.баз}}}. \quad (19)$$

4. Величину коэффициента K_{3F} выразим из уравнения 12, которая с учетом формул (2) и (18) примет вид:

$$K_{3F} = \frac{\bar{F}_{mp.yuc}}{\dot{\pi}_t - K_{1F}} + K_{2F} - 1. \quad (20)$$

5. Подставив формулы (20) в формулу (13), получим значение K_{2F} , которое с учетом формул (19) и (2) примет вид:

$$K_{2F} = \frac{\bar{F}_{mp.max} - b\bar{F}_{тр.уст} + K_{1F}\dot{\pi}_t(b-1)}{K_{1F}\dot{\pi}_t(b-a)}. \quad (21)$$

Согласно проведенных расчетов были построены следующие зависимости, представленные на рисунках 1 – 5.

Как следует из представленных зависимостей коэффициент усиления K_{1F} , рисунок 1, определяет чувствительность трибосистемы к внешним возмущениям. Поэтому величина коэффициента K_{1F} может выступать критерием оценки чувствительности трибосистемы к внешним воздействиям, характеризуя при этом максимальную величину заброса силы трения.

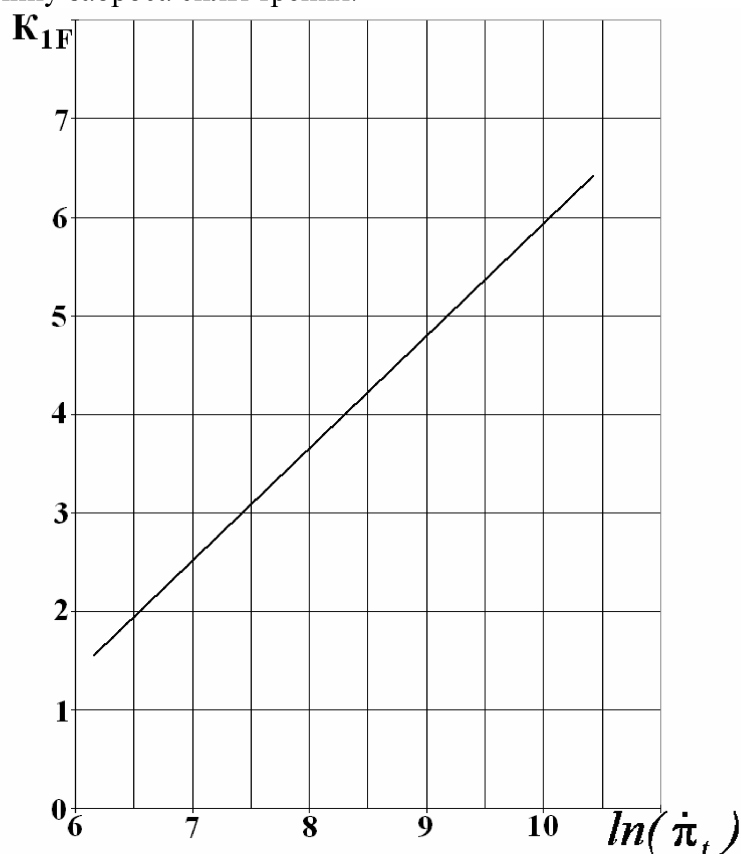


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента усиления K_{1F} от величины входного воздействия $\dot{\pi}_t$

Коэффициент усиления K_{2F} и постоянная времени T_{1F} , рисунки 2 и 3, определяют характер протекания процесса приработки. На зависимостях 2 и 3 отражены оптимальные режимы $\dot{\pi}_{t_{тек}}$, при которых процесс приработки (связанный с формированием оптимальной шероховатости поверхности) будет проходить наиболее эффективно.

Такой подход позволяет на этапе проектирования трибосистем новых машин расчетным путем определить характер изменения коэффициента K_{2F} , а также

постоянной времени T_{1F} во всем эксплуатационном диапазоне и выбрать оптимальные нагрузочно-скоростные режимы (величину входного воздействия), при которых процесс приработки (обкатки) будет наиболее эффективным.

Существенным отличием при моделировании силы трения, по сравнению со скоростью износа [1], является наличие второго инерциального звена, а следовательно и наличие коэффициента усиления K_{3F} и постоянной времени T_{2F} . Коэффициент усиления K_{3F} определяет величину максимального заброса силы трения во время переходного процесса, а постоянная времени T_{2F} определяет длительность этого процесса. На рисунках 4 и 5 представлены зависимости изменения этих величин при изменении входного воздействия на трибосистему. Из представленных зависимостей следует, что коэффициент усиления K_{3F} имеет асимптотически убывающий характер, и при достаточно высоких значениях входного воздействия на трибосистему может быть равен нулю.

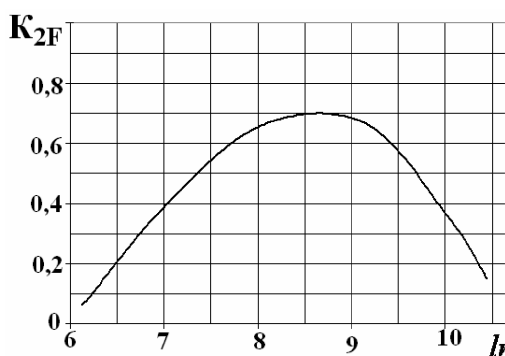


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента усиления K_{2F} от величины входного воздействия $\dot{\pi}_t$

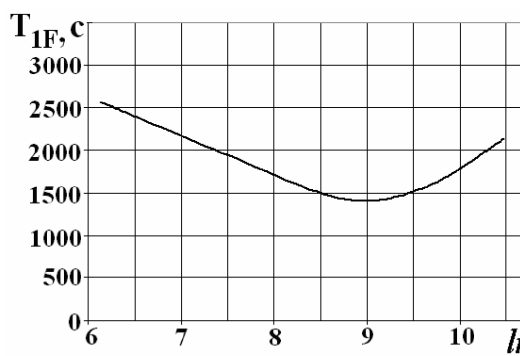


Рисунок 3 – Зависимость постоянной времени T_{1F} от величины входного воздействия $\dot{\pi}_t$

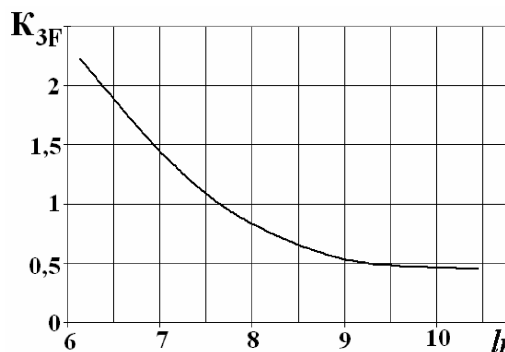


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента усиления K_{3F} от величины входного воздействия $\dot{\pi}_t$

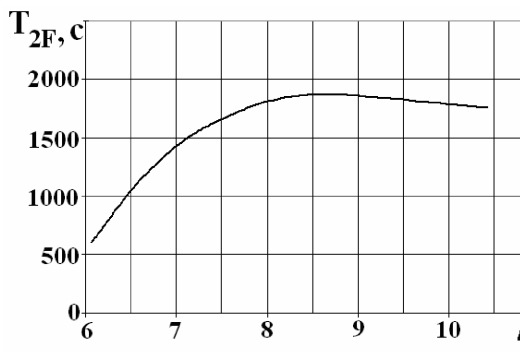


Рисунок 5 – Зависимость постоянной времени T_{2F} от величины входного воздействия $\dot{\pi}_t$

При $K_{3F}=0$ процесс приработки проходит без заброса величины силы трения.

Выводы:

1. Коэффициент усиления K_{1F} определяет реакцию трибосистемы на возмущение, т.е. чувствительность трибосистемы. Чем больше значение коэффициента K_{1F} , тем больше будет заброс силы трения во время переходного процесса. Большие забросы этих параметров приведут к потере устойчивости трибосистемы, т.е. к переходу от нормального износа к повреждаемости. Поэтому оптимальным диапазоном эксплуатации трибосистем будут диапазоны с малым значением K_{1F} .

2. Коэффициенты усиления K_{2F} , а также постоянная времени T_{1F} имеют

явно выраженный оптимум и определяют режимы оптимальной приработки трибосистем. Прирабатывая трибосистему на режимах, соответствующих K_{2opt} и T_{1opt} , будут обеспечены минимальные значения силы трения после завершения приработки и минимальное время приработки. Это сократит время обкатки изделия и увеличит его ресурс в процессе дальнейшей эксплуатации.

3. Коэффициент усиления K_{3F} и постоянная времени T_{2F} определяют величину максимального заброса силы трения в процессе приработки. Увеличение K_{3F} способствует уменьшению T_{2F} и характеризует механические потери в трибосистеме в процессе приработки.

Список литературы

1. Войтов В.А., Козырь А.Г. Обоснование и выбор критериев моделирования скорости изнашивания на переходных режимах / Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка – Харків: ХНТУСГ, 2013. – Вип. 136. – С. 247-257.
2. Козырь А.Г. Методика моделирования переходных процессов в трибосистемах машин / Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка – Харків: ХНТУСГ, 2013. – Вип. 134. – С. 139-147.
3. Войтов В.А., Исаков Д.И. Моделирование граничного трения в трибосистемах. I. Методика физического моделирования. – Трение и износ, 1996. – Т. 17, №3. – С. 298-306.
4. Войтов В.А., Исаков Д.И. Моделирование граничного трения в трибосистемах. II. Методика математического моделирования стационарных процессов при граничном трении. – Трение и износ, 1996. – Т. 17, №4. – С. 456-462.
5. Войтов В.А., Исаков Д.И. Моделирование граничного трения в трибосистемах. III. Методика математического моделирования нестационарных процессов при граничном трении. – Трение и износ, 1996. – Т. 17, №4. – С. 598-605.

V. Vojtov, A. Kozyr

Kharkov National Technical University of Agriculture them. P. Vasilenko

Criteria of modelling the friction force in transient modes

The aim of this study was to substantiate the criteria modeling friction loss in tribosystem and explain their physical meaning.

The criteria for modeling friction losses in the transient regimes in tribosystem were substantiated in the work. Criteria are obtained in the form of the coefficients in the differential equations that describe the transition process. The basis of such criteria is time constants and amplification factors that have some physical meaning and the response of tribosystem to various disturbances was shown.

Optimal range of operation will tribosystems ranges with small K_{1F} . Increase K_{3F} reduces T_{2F} and characterizes the mechanical losses in tribosystem during running.

tribosystem, the friction force, transition process, gain coefficients, time constants

Получено 18.04.13

УДК 621.9.06

І.І. Павленко, проф., д-р техн. наук, Д.В. Вахніченко, асп.

Кіровоградський національний технічний університет

Аналіз робочого простору верстата з паралельною кінематикою при обробці деталей під кутом

В статті проаналізовано робочий простір верстатів з паралельною кінематикою при обробці під кутом за умови ведення обробки з різних боків деталі. Графічно було визначено, як впливає кут нахилу виконавчого органу на форму слідуєчих функціональних зон, а саме: технологічну; резервну технологічну; інструменту; установчих рухів; конструктивну, обслуговування, недосягну, нереалізовану.
верстат, гексапод, МПК, ВПК, верстат з паралельною кінематикою

И.И. Павленко, Д.В. Вахниченко

Кировоградский национальный технический университет

Анализ рабочего пространства станка с параллельной кинематикой при обработке деталей под углом

В статье проанализировано рабочее пространство станков с параллельной кинематикой при обработке под углом, при условии с разных сторон детали. Графически было определено, как влияет кут наклона исполнительного органа на форму следуюших функциональных зон, а именно: технологическую; резервную технологическую; инструмента; установки; конструктивную; обслуживания; недосягаемую; нереализованую.

станок, гексапод, МПК, СПК, станок с параллельной кинематикой

В сучасному машинобудівному виробництві до виготовлюваних деталей та виробів висуваються вимоги по досягненню високої точності та надійності продукції при мінімально-можливих економічних витратах. При цьому має місце ускладнення геометричних форм деталей, підвищуються вимоги до якості оброблюємих поверхонь в умовах високих експлуатаційних швидкостей та динамічних навантажень. Технологічне обладнання на основі механізмів з паралельною кінематикою (МПК) використовується для таких умов виробництва реалізуючи технологічні рухи під різними кутами. МПК відрізняється тим, що до виконавчого органу (рухомої платформи) кінематичними парами приєднані декілька рухомих ланок.

Найбільше розповсюдження отримав механізм з паралельною кінематикою – гексапод, який часто називають платформою Стюарта. Механізм утворений шістьма однаковими кінематичними ланками, що поєднують рухому та нерухому платформи. Зміна відстані між шарнірами даних платформ дозволяє формувати складні просторові переміщення рухомої платформи.

При проектуванні механізмів з паралельною кінематикою важливо визначити умову ефективного функціонування верстата, тобто здійснення ним необхідних рухів, які реалізуються відповідним переміщенням та орієнтацією виконавчого органу [1,2,3].

Пропонується оцінювати функціонування ВПК, виходячи з умов реалізації рухів під кутом, що наприклад необхідно для обробки отворів під кутом, де рухома платформа здійснює відповідний рух подачі.

Для ефективного виконання заданих операцій необхідно мати обґрунтоване визначення конструктивних параметрів ВПК. Таке функціонування верстата можливе при наявності геометрично вільного простору, який являє собою робочий простір

© І.І. Павленко, Д.В. Вахніченко, 2013

(простір функціонування) ВПК, обмеженого основою, верхньою нерухомою плитою та боковими стінками (рис.1). На рис.1.а зображено зони функціонування ВПК, у верхньому положенні рухомої платформи. З рухом інструменту вниз конструктивна зона та зона інструменту також зміщується вниз, зменшуючи зону установчих рухів. На рис.1.б та рис.1.в показано зони функціонування ВПК в положенні рухомої платформи на початку та кінці обробки периферійних отворів відповідно. Важливою складовою зон функціонування ВПК є повна зона обслуговування механізму з паралельною кінематикою, яка представлена на рис.1.г. Обґрунтоване визначення величини робочого простору, відповідно до технологічного призначення верстату, дозволяє встановити габаритні його розміри, доцільні розміри використовуваного МПК та ефективні умови роботи верстата. Величина робочого простору, залежно від здійснюваних рухів може оцінюватись різними параметрами. Так при реалізації ВПК лінійних рухів оцінка робочого простору може здійснюватись лінійними розмірами: висотою - $H_{ВПК}$, діаметром - $D_{ВПК}$ та ін. При виконанні рухів в площині ця оцінка повинна здійснюватись величиною площі робочого простору ВПК в потрібних напрямках рухів - $S_{ВПК}$. Відповідним чином повинна виконуватись оцінка в об'ємному просторі $V_{ВПК}$ [2].

Після визначення робочого простору ВПК, у відповідності до умов обробки деталі та можливого функціонування МПК враховуються особливості руху кінематичних ланок ВПК, а відповідно і виконавчого органу, який за рахунок поступальних переміщень ланок може здійснювати лінійні та обертові рухи виконавчого органу (рис.2.а). В цьому робочому просторі ВПК можна виділити п'ять основних зон. Першочергово розглянемо зону переміщень вершини інструменту, яка приймає безпосередню участь в процесі обробки і охоплює слідувачі зони функціонування ВПК: технологічну, резервну технологічну і установчих рухів (рис.3). Остання при деяких умовах, може складати зону обробки. Комплекс цих зон слід вважати як загальну зону обслуговування ВПК. Наступна зона, це зона яку займає ріжучий інструмент.

Зона переміщення рухомої платформи з приводом шпиндельного вузла та кінематичними ланками складає конструктивну зону, що є третьою складовою робочого простору ВПК. Як четверту зону можна розглядати зону нереалізуємих рухів, так як вона знаходиться нижче основи ВПК. Під основу ВПК може бути встановлена додаткова станина, яка піднімає верстат на необхідну висоту (на схемах не показано), що забезпечує зручні умови для обслуговування верстата та контролю за його роботою. П'ята зона – це недосяжна зона в робочому просторі ВПК.

Розглядаючи обробку під кутом, бачимо що така обробка може вестися з однієї сторони деталі (рис.1.а) або з іншої (рис.2.а). Аналізуючи робочий простір обробки під кутом доцільно поєднати в єдиний робочий простір обробки під кутом з різних боків (рис.2.б).

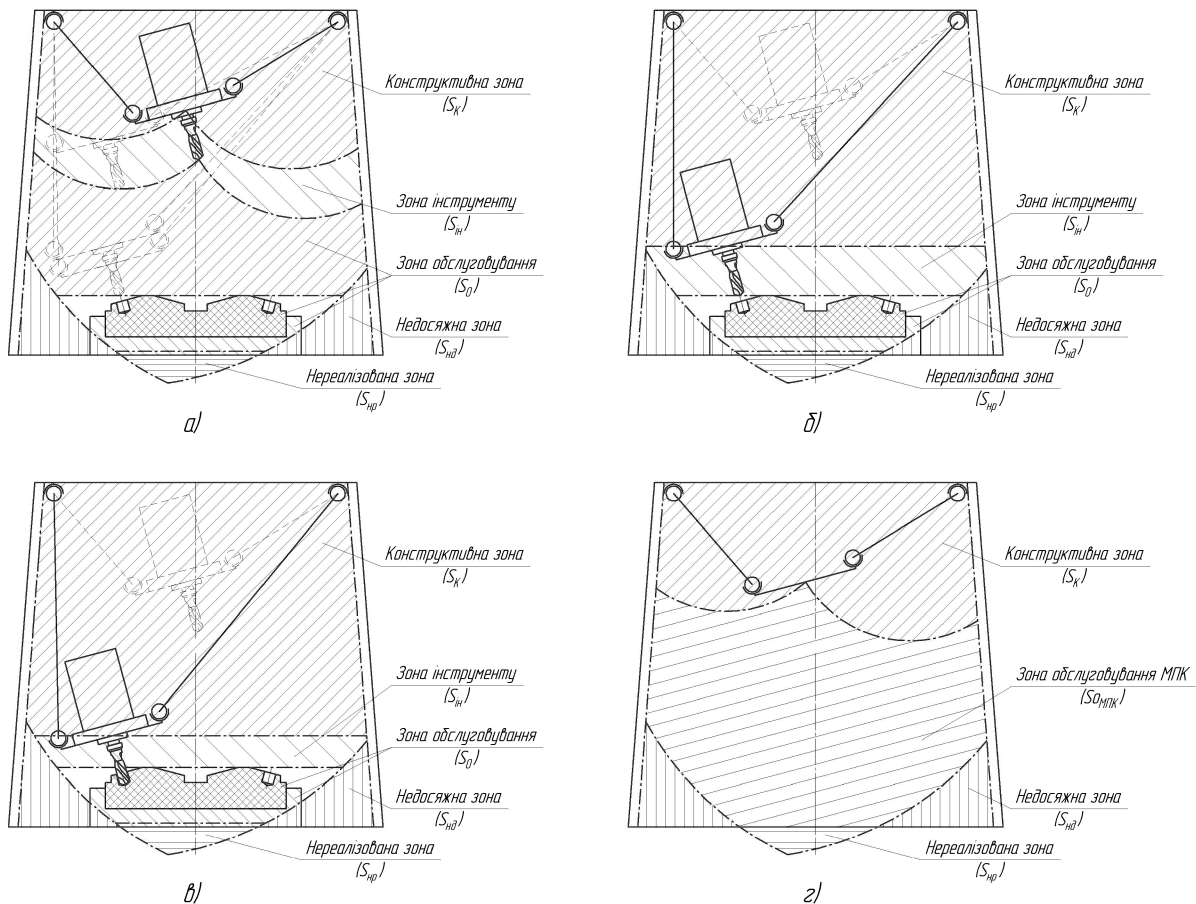


Рисунок 1 – Формування зон робочого простору при обробці під кутом

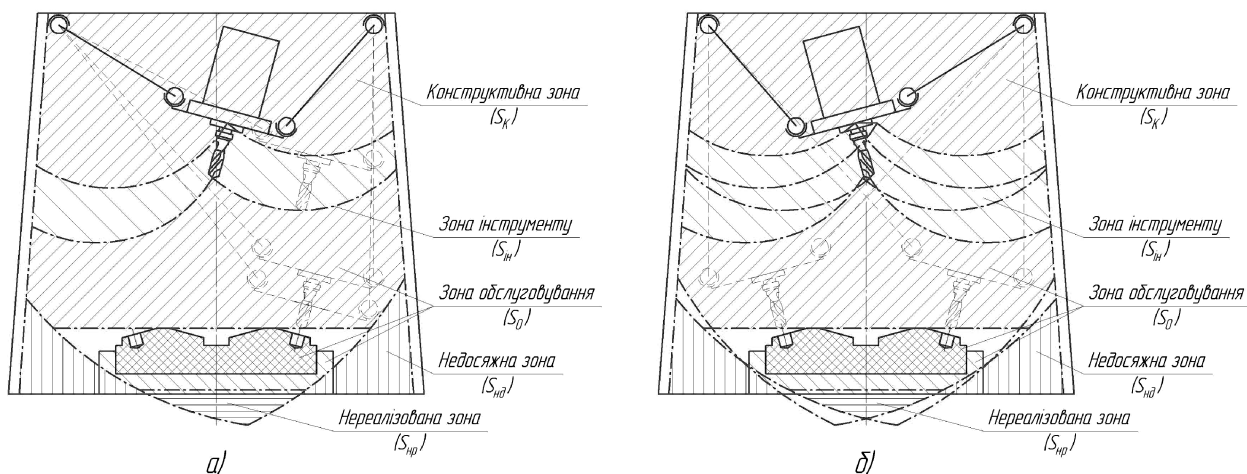


Рисунок 2 – Робочий простір ВПК при обробці під кутом

Виходячи з умови функціонування верстата при свердлінні вказаних отворів переходимо до визначення його конструктивних параметрів. Для цього використовуємо наведену розрахункову схему рис.3 з узагальненим позначенням зон та параметрів ВПК. На даній схемі представлено позначення: a, b - відповідно розмір (діаметр) нерухомої та рухомої платформ; L - довжина штанги в проміжному

положенні знаходиться в межах $l_{\min} \leq L \leq L_{\max}$; h_{\min} - мінімальне положення рухомої платформи по вісі симетрії гексапода, H_{\max} - максимально можливе положення рухомої платформи в резервній технологічній зоні; H_{∂} - висота деталі; D_{∂} - загальний розмір (діаметр) оброблюємої деталі; l_o - глибина оброблюваного отвору; H_Y - величина від вершини інструмента у вихідному положенні до початку обробки; T - зміщення оброблюємих отворів по відношенню до осі симетрії верстату (в межах $0 \leq T \leq \max$), φ - кут нахилу отвору; $H_{ин.}$ - висота інструменту $H_{ин.}$; $H_{ТР.}$, $H_{У\max.}$, $H_{к.з.}$ - висота відповідно резервної технологічної зони, максимальних установчих рухів та конструктивна.

Для забезпечення доцільних умов обробки приймаємо умову, що в крайньому із відхилених положень штанг, вона займає вертикальне положення. Забезпечення даної вимоги можливо при умові $a = 2T + b \cdot \cos \varphi + 2(H_{ин.} + H_Y) \cdot \sin \varphi$.

Відстань між опорами рухомої платформи b та мінімальну довжину кінематичної ланки l_{\min} приймаємо з попередніх досліджень. [4]

З вище запропонованої методики поділу робочого простору верстату з паралельною кінематикою на зони та дослідження розмірів представлених зон пропонується проаналізувати положення рухомої платформи при обробці під кутом. В представленій розрахунковій схемі (рис.3) розглянуто варіант обробки до осі з однієї сторони деталі. Обробка отвору з іншої сторони деталі визначається подібним чином.

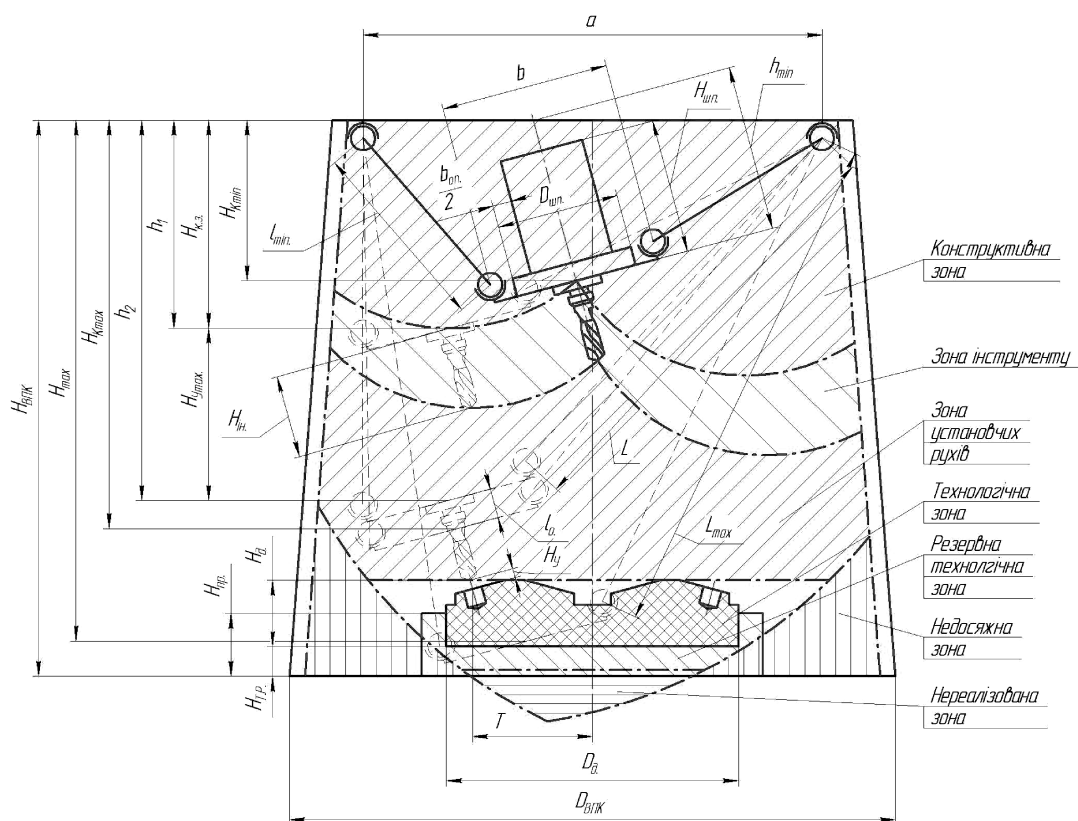


Рисунок 3 – Розрахункова схема гексапода для свердління під кутом з позначенням зон та параметрів ВПК

Визначаємо основні положення рухомої платформи:

- мінімальне положення рухомої платформи при відхиленні на кут φ

$$H_{K \min} = h_{\min} \cdot \cos \varphi = \sqrt{l_{\min}^2 - \left(\frac{a - b \cdot \cos \varphi - 2(H_{in.} + H_{y.}) \cdot \sin \varphi - 2T}{2} \right)^2} - \frac{b}{2} \cdot \sin \varphi ;$$

- положення рухомої платформи при зміщенні її для обробки периферійних отворів $h_1 = l_{\min} - \frac{b}{2} \sin \varphi ;$

- положення на початку обробки периферійних отворів $h_2 = l_{\min} - \frac{b}{2} \sin \varphi + H_{y \max} ;$

- положення в кінці обробки периферійних отворів $H_{K \max} = (h_{\min} + l_o + H_{y.}) \cdot \cos \varphi = H_{K \min} + (l_o + H_{y.}) \cdot \cos \varphi ;$

де довжина штанги в кінці обробки периферійних отворів:

$$L = \sqrt{\left(H_{K \max} - \frac{b}{2} \cdot \sin \varphi \right)^2 + \left(\frac{a - b \cdot \cos \varphi + 2(H_{in.} + H_{y.}) \cdot \sin \varphi + 2T}{2} - (l_o + H_{y.}) \cdot \sin \varphi \right)^2} .$$

Максимально можливе положення рухомої платформи в резервній технологічній зоні H_{\max} , досягається при максимальній довжині однієї або обох штанг L_{\max} .

За даних умов руху виконавчого органу під кутом також важливо виконувати більш загальну оцінку якості механізмів з паралельною кінематикою, що є відношенням реальної (обслуговуваної) величини переміщення до теоретично можливої [2]. Якщо взяти за приклад переміщення в площині, то це відношення буде:

$$K_{п.п.} = \frac{S_{P_{мнк}}}{S_{T_{мнк}}} = \frac{S_o}{S_T} ,$$

де $S_{P_{мнк}} = S_o$ - величина реального переміщення (площа), яка дорівнює величині площі зони обслуговування;

S_T - величина (площа) теоретично можливого переміщення, яка дорівнює (рис.1.г):

$$S_T = S_k + S_o + S_{нд} + S_{нр} ,$$

де $S_k, S_o, S_{нд}, S_{нр}$ - відповідно величина конструктивної, обслуговуючої, недосяжної та нереалізованої зон.

Подібним чином можлива оцінка співвідношення окремих зон як між собою так і по відношенню до загальної робочої зони (простору) ВПК. Кінцеве визначення конструктивних параметрів повинно враховувати ряд інших вимог до його функціонування.

Аналіз отриманих даних дозволяє зробити наступні висновки:

1. В роботі проаналізовано робочий простір верстатів з паралельною кінематикою при обробці під кутом за умови ведення обробки з різних боків деталі.
2. Графічно було визначено, як впливає кут нахилу виконавчого органу на форму слідувачих функціональних зон, а саме: технологічну; резервну технологічну; інструменту; установчих рухів; конструктивну, обслуговування, недосяжну, нереалізовану.
3. Аналіз положень рухомої платформи дозволить в майбутньому оцінити розміри всіх складових зон та визначити обґрунтовані конструктивні параметри ВПК.
4. Дослідження приведені в даній роботі показують, що при нахилі платформи на заданий кут при обробці під кутом зона обслуговування МПК відхиляється від осі

симетрії ВПК в сторону протилежну нахилу інструменту.

Список літератури

1. Павленко І.І. Промислові роботи: основи розрахунку та проектування./ Павленко І.І. – Кіровоград; КНТУ, 2007. – 420с.
2. Павленко І.І., Валявський І.А. Рухові характеристики верстатів з паралельною кінематикою / І.І. Павленко, І.А. Валявський / Збірник наукових праць КНТУ: техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кіровоград, 2008. – Вип.21 - С.128-134.
3. Павленко І.І., Вахніченко Д.В., Годунко М.О. Аналіз впливу конструктивних параметрів МПК на рух платформи під кутом. / Павленко І.І., Вахніченко Д.В., Годунко М.О. / Збірник наукових праць КНТУ: техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кіровоград, 2011. – Вип.24. ч.1. - С.279-283.
4. Павленко І.І., Вахніченко Д.В. Аналіз робочого простору верстата з паралельною кінематикою. / Павленко І.І., Вахніченко Д.В. / Збірник наукових праць КНТУ: техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кіровоград, 2012. – Вип.25. ч.1. - С.117-124.

I.Pavlenko, D. Vakhnichenko

Kirovograd State Union University

Analysis workspace tools with parallel kinematics in the processing of parts at an angle

When designing mechanisms with parallel kinematics is important to determine the condition of the effective functioning of the machine, ie, the exercise of the necessary movements that are performed within the movement and orientation of the executive body. It is proposed to assess the functioning of machines by mechanisms with parallel kinematics (MPK), based on the conditions of movements at an angle such that the need for treatment holes at an angle where the mobile platform provides an appropriate traffic flow.

For the effective implementation of the set operations must be informed determine design parameters machines by MPK. This machine operation is possible in the presence of geometric space, which is a working space (function space) machines by MPK limited basis, fixed top plate and side walls.

This paper analyzes the workspace tools with parallel kinematics in the processing angle for conditions of handling parts from different angles. Graphically, it was determined the effect of the angle of the executive body of the form by following functional areas, namely technology, backup technology, tools, founding movements, structural, maintenance, unattainable, unrealized. The study presented in this paper show that the tilting platform to set the angle at the point of processing the service area of the MPK deviates from the axis of symmetry of the machines by MPK in the direction opposite to tilt the tool.

machine, hexapod, МПК, РКМ, machine with parallel kinematics

Одержано 11.04.13

УДК 621.7.35.5

**В.П. Пукалов, В.В Пукалов, доценти, кандидати технічних наук,
Ф.И. Златопольский, Н. Н. Петренко, професори, кандидаты технических наук**
Кировоградский национальный технический университет (Украина)

Определение прогиба образующей цилиндрической поверхности и нейтральной оси при деформации осесимметричных тел

На основе теории упругости двумерной задачи получено уравнение определяющее соотношение между прогибом нейтральной оси образующей цилиндрической поверхности калиброванных валков, опирающихся на две шарнирные опоры и нагруженных сосредоточенной силой в произвольном сечении.

Установлено, что прогиб образующей цилиндрической поверхности меньше, чем прогиб нейтральной оси. Эта разница в случае коротких валков, может достигать до 11,25%.
прогиб, нейтральная ось, деформация, осесимметричное тело

В.П. Пукалов, В.В Пукалов, Ф.И. Златопольский, М. М. Петренко
Кировоградський національний технічний університет (Україна)

Визначення прогину створюючої циліндрової поверхні і нейтральної осі при деформації осесиметричних тіл

На основі теорії пружності двовимірного завдання отримано рівняння визначальне співвідношення між прогином нейтральної осі створюючої циліндрової поверхні каліброваних валків, які спираються на дві шарнірні опори і навантажених зосередженою силою в довільному перерізі.

Встановлено, що прогин створюючої циліндрової поверхні менший, ніж прогин нейтральної осі. Ця різниця в разі коротких валків, може досягати до 11,25%.
прогин, нейтральна вісь, деформація, вісесиметричне тіло

В настоящее время к технологиям производства сельскохозяйственной техники предъявляются жесткие требования к качеству и надежности производимой продукции, что можно обеспечить, в том числе и совершенствованием оборудования для обеспечения технологического процесса производимых деталей сельскохозяйственных машин. Особую важность здесь представляет точность параметров получаемых полуфабрикатов, что позволяет значительно повысить качество выхода годного. Исследования деформаций инструмента при сортовой и листовой прокатке, как самого производительного технологического процесса получения полуфабрикатов, играют ключевую роль в их качестве.

Анализ полученных результатов в [6] позволяет произвести расчет деформации основных составляющих инструмента сортовой прокатки.

Определим прогиб образующей цилиндрической поверхности прокатных калиброванных валков.

Исходя из уравнения (21, 22) [6] при $\mu = 0,3$ находим:

$$v = v_0 \left[1 - 0.9 \left(\frac{y}{L} \right)^2 \xi \right], \quad (1)$$

где $\xi = x/d$ – безразмерная абсцисса;

d – диаметр бочки прокатных калиброванных валков.

Анализ уравнения (1) показывает, что для определенного поперечного сечения на расстоянии x от начала координаты, т.е. для определенного значения ξ , значение прогиба любой точки сечения на расстоянии y от нейтральной оси, только зависит от прогиба этой оси и расстояния рассмотренной точки от него. Поэтому, при определении прогиба образующей цилиндрической поверхности калиброванных валков, уравнение (23) [6] является справедливым с учетом того, что значение d обозначает значение диаметра рассмотренного сечения.

Практически отношение длины бочки L_B к диаметру валков d сортовых станов различных типов колеблется в значительных пределах. При этом важно отметить, что для ряда среднесортных станов это отношение (L_A/d) для чистовых клетей составляет 2,33...2,36, а для крупносортных станов чистовых клетей составляет 1,30...1,85 [4, 5].

Исходя из этого, можно сказать, что отношения (L_A/d) для валков чистовых клетей сортовых станов, требующих точный расчет деформированного состояния, колеблется в пределах 1,3...2,36.

Если учесть, что длина шеек валков приблизительно равна эквивалентному диаметру $L_0 = d$ и равнодействующая эпюры контактных давлений располагается на расстоянии от внутреннего торца, равном $0,35L_0$, тогда можно рассматривать калиброванный валок как балку с постоянным диаметром, лежащую на двух жестких опорах, расстояние между которыми L . Следовательно, можно написать, что $L/d = 2...3$.

Если катающий калибр расположен посередине бочки валка, имеющий отношение (L/d) = 2, то значение $\lambda = 2$ из рисунка 1 находим, что $\xi = 2$. Тогда по уравнению (27) [7] находим, что $\hat{O}_0 = 11,25\%$.

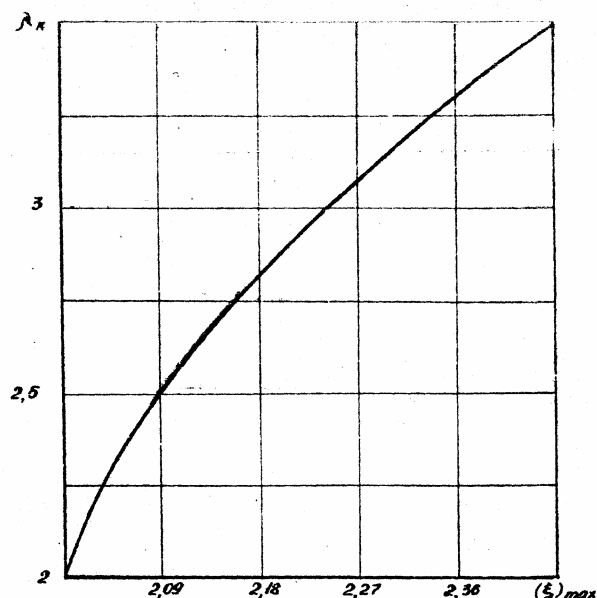


Рисунок 1 – Отношение между значением (L/l_1) и максимальным значением параметра ξ

Этот результат показывает необходимость учитывать разницу между прогибом нейтральной оси и образующей цилиндрических поверхностей, который в случаях коротких сортовых валков может достигать значительной величины.

Результат проведенних исследований подтверждается экспериментальными исследованиями работы [1 – 3] и показывает необходимость учитывать разницу между прогибом нейтральной оси и образующей цилиндрической поверхности по уравнению (25) [7].

Алгоритм и математическая модель расчета деформированного состояния образующей цилиндрической поверхности калиброванных валков, лежащих на шарнирных опорах.

На основе полученного уравнения (25) [6], переработана ранее полученная математическая модель соответственно блок-схеме, приведенной на рисунке 2.

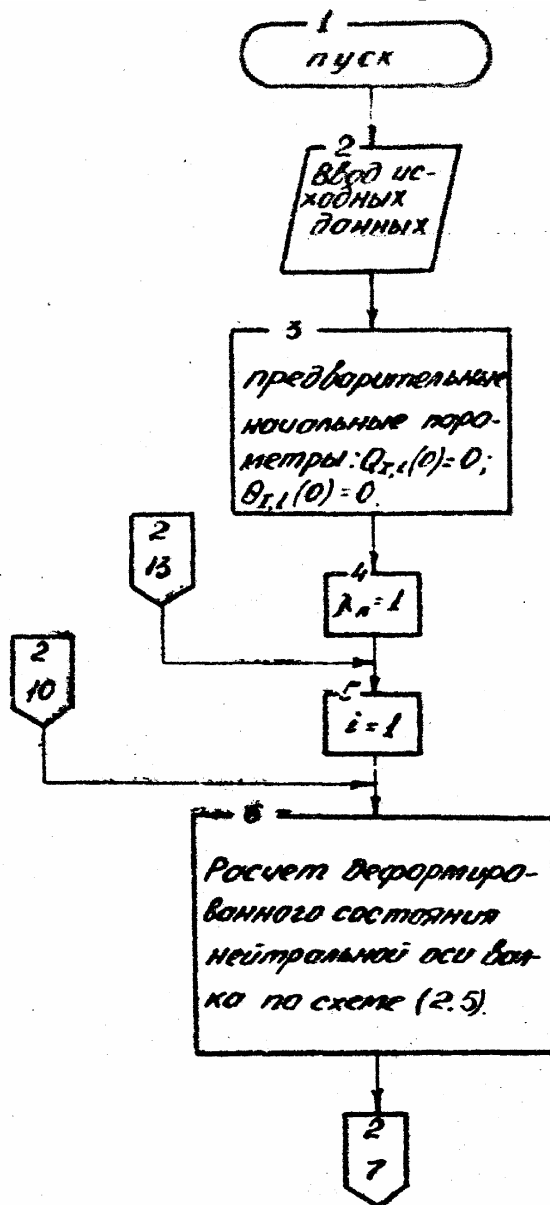


Рисунок 2 – Алгоритм расчета деформированного состояния образующей цилиндрической поверхности калиброванных валков, лежащих на жестких шарнирных опорах

Блок 6 производит расчет деформированного состояния каждого сечения изогнутой нейтральной оси вала, уравнениями (1 – 4) [6].

Блок 7 осуществляет переход к расчету прогиба образующей цилиндрической поверхности уравнением (25) [6] при значении $\lambda_n = 2$ (рисунок 3).

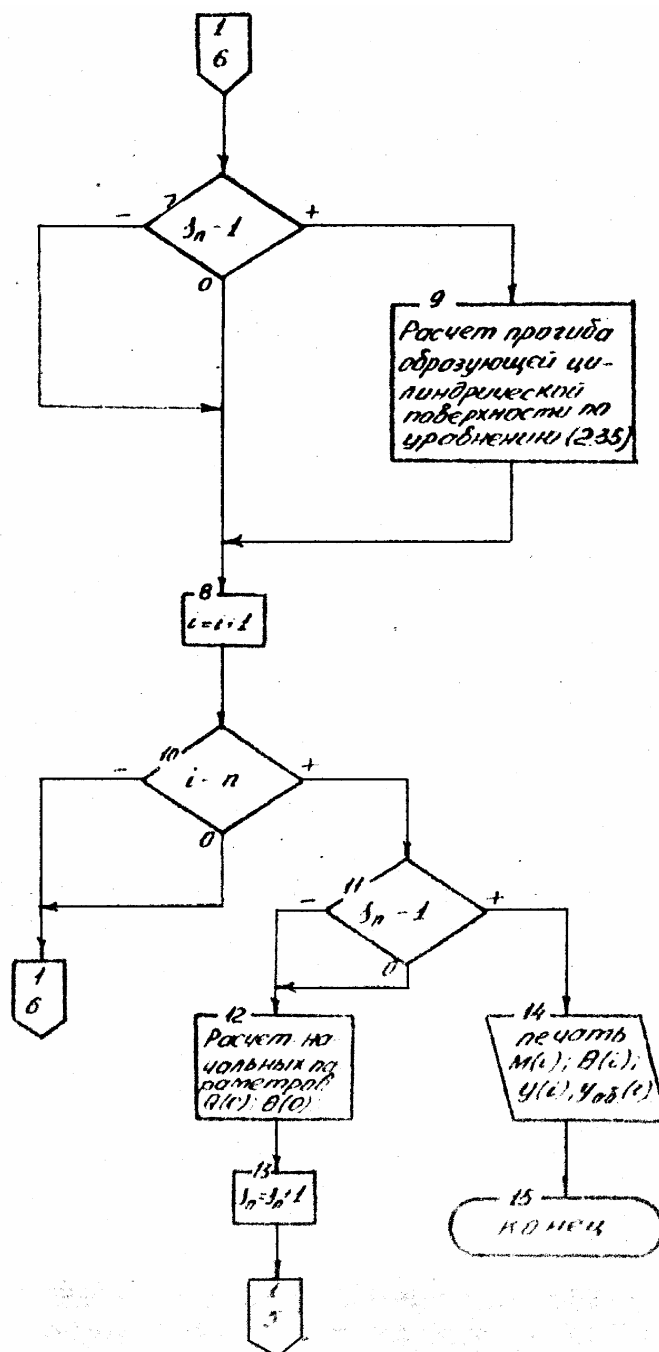


Рисунок 3 – Алгоритм расчета прогиба образующей цилиндрической поверхности по уравнению (25) [6]

Таким образом, на основе теории упругости двумерной задачи получено уравнение определяющее соотношение между прогибом нейтральной оси образующей цилиндрической поверхности калиброванных валков, опирающихся на две шарнирные опоры и нагруженных сосредоточенной силой в произвольном сечении.

Установлено, что прогиб образующей цилиндрической поверхности меньше, чем прогиб нейтральной оси. Эта разница в случае коротких валков, может достигать до 11,25%.

Список литературы

1. Северденко А.П., Бахтинов Ю.Б., Бахтинов В.Б. Валки для профильного проката. – М: Металлургиздат, 1979.– 224с.

2. Азаренко Б.С., Афанасьев В.Д., Бровман М.Я. Прокатное производство: Справочник. – М: Металлургиздат, 1962, Том. I – 743с.
3. Эксплуатация валков обжимных и сортовых станков /Н.М. Воронков, В.П. Един, Б.Я. Шнеров и др. – М. Металлургия, 1973, – 287с.
4. Горенштейн М.М., Цилевич И.З., Мехауров М.М. Облегченные профили проката. – Киев: Государственное издательство технической литературы, 1963. – 138с.
5. Биргер Г.А., Шорб Б.Ф., Иосилевич Г.Б. Расчет на прочность деталей машин. – М: Металлург издат, 1979. – 702с.
6. Пукалов В.П., Пукалов В.В., Златопольский Ф.И., Петренко Н. Н. Определение соотношения между прогибом нейтральной оси и образующей при деформации осесимметричных тел.// Зб. наук. праць КНТУ/ Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація/ Вип. 26. – Кіровоград: КНТУ, 2013.

V. Pukalov, V. Pukalov, F. Zlatopolskyu, N. Petrenko

Kirovograd National Technical University

Determination of bending of formative cylindrical surface and neutral axis during deformation of axisymmetrical bodies

The purpose of work is a calculation of difference of bending between a formative cylindrical surface and bending of neutral axis during deformation of axisymmetrical bodies.

On the basis of theory of resiliency of two-dimensional task equalization is got determining betweenness bending of neutral axis of formative cylindrical surface of the calibrated rollers, leanings against two joint supports and loaded with the concentrated force in an arbitrary section.

It is set that bending of formative cylindrical surface less than, than bending of neutral axis. This difference in the case of short rollers, can arrive at to 11,25%.

bending, neutral axis, deformation, axisymmetrical body

Одержано 18.01.13

УДК 629.3.004

М.І.Черновол, проф., д-р техн. наук, І.В.Шепеленко, доц., канд. техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет

Пристрої для фрикційно-механічного нанесення покриттів

У статті представлено аналіз відомих пристроїв для фінішної антифрикційної безабразивної обробки (ФАБО) фрикційно-механічним способом. Існуючі конструкції пристосувань для ФАБО мають низьку продуктивність, що перешкоджає широкому застосуванню даної обробки в промислових умовах. З метою підвищення продуктивності ФАБО запропонована конструкція пристрою, при роботі якого використовується принцип протягування шляхом зворотно-поступального руху інструмента з одночасним дискретним обертанням деталі.

фінішна антифрикційна безабразивна обробка, фрикційно-механічний спосіб, пристрій, продуктивність

М. И. Черновол, И.В. Шепеленко

Кировоградский национальный технический университет

Устройства для фрикционно-механического нанесения покрытий

В статті представлений аналіз відомих пристроїв для фінішної антифрикційної безабразивної обробки (ФАБО) фрикційно-механічним способом. Існуючі конструкції пристроїв для ФАБО мають низьку продуктивність, що перешкоджає широкому застосуванню даної обробки в промислових умовах. З метою підвищення продуктивності ФАБО запропонована конструкція пристрою, при роботі якого використовується принцип протягування інструмента з одночасним поступальним рухом інструмента з одночасним дискретним обертанням деталі.

фінішная антифрикционная безабразивная обработка, фрикционно-механический способ, устройство, производительность

Одним із пріоритетних напрямків сучасного машинобудування є розробка й широке використання зносостійких покриттів [1]. До числа інноваційних технологій нанесення зносостійких покриттів слід віднести фінішну антифрикційну безабразивну обробку (ФАБО), яка реалізується шляхом фрикційної взаємодії оброблюваного інструмента з поверхнею оброблюваної деталі з метою покращення припрацювання й підвищення зносостійкості за рахунок наступної самомодифікації поверхонь в умовах тертя при експлуатації [2]. Нанесення покриттів з міді та її сплавів можливо з оброблюваного інструмента, з робочого середовища, що подається в зону обробки, або при комбінації першого й другого. Для фрикційно-механічного нанесення покриттів на поверхні тертя розроблені спеціальні пристосування (пристрої), напівавтомати, автомати й верстати [3].

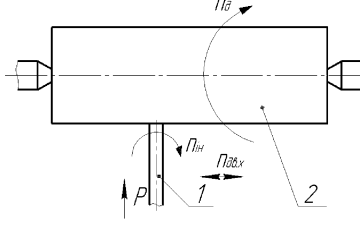
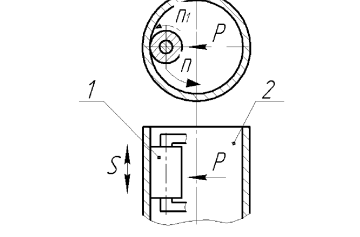
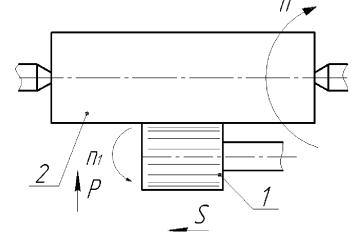
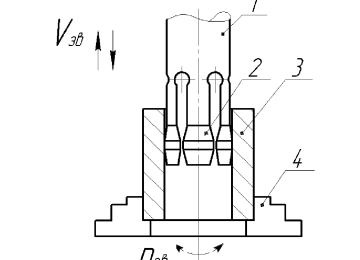
Відмінність розмірів і конфігурацій деталей, що підлягають покриттю, обумовила застосування різних способів і пристроїв для їх здійснення.

Застосування пристроїв для ФАБО гільз циліндрів [4 – 7 та ін.], шийок колінчастих валів [8 – 9], кулачків розподільчих валів [10], складних криволінійних поверхонь [11] та інших деталей [12, 13 та ін.] дозволило підвищити зносостійкість оброблених поверхонь.

Разом з тим, аналіз відомих схем для ФАБО (табл.1, а, б) показав, що традиційні способи фрикційно-механічного нанесення покриттів і пристрої для їх здійснення мають низьку продуктивність. Підвищити продуктивність процесу ФАБО можливо за рахунок ускладнення руху (табл.1, в), наприклад, надання вібрації [14], та зміни форм і розмірів (табл.1, г, д) інструмента.

Таблиця 1 – Продуктивність основних способів ФАБО

Сутність способу, режими	Схема	Максимальна продуктивність, $\text{см}^2/\text{хв}$
<p>а) латунний пруток рухається в осьовому напрямку: 1 – інструмент; 2 – деталь, що оброблюється; P – зусилля притискання інструмента; n – частота обертання деталі; S – поздовжня подача інструмента;</p>		15
<p>б) латунний пруток обертається під кутом до осі деталі: 1 – інструмент; 2 – деталь, що оброблюється; 3 – обойма; P – зусилля притискання інструмента; n – частота обертання деталі; n_1 – частота обертання інструмента; S – поздовжня подача інструмента; α – кут нахилу інструмента до деталі;</p>		25

<p>в) латунний пруток виконує зворотно-поступальний і обертальний рухи: 1 – інструмент; 2 – деталь, що оброблюється; P – зусилля притискання інструмента; n_d – частота обертання деталі; $n_{ин}$ – частота обертання інструмента; $n_{дв.х}$ – число подвійних ходів інструмента;</p>		90
<p>г) латунне коло виконує зворотно – поступальний і обертальний рухи: 1 – інструмент; 2 – деталь, що оброблюється; P – зусилля притискання інструмента; n – частота обертання деталі; n_1 – частота обертання інструмента; S – поздовжня подача інструмента;</p>		160
<p>д) латунний пруток виконує зворотно – поступальний і обертальний рухи: 1 – інструмент; 2 – деталь, що оброблюється; P – зусилля притискання інструмента; n – частота обертання деталі; n_1 – частота обертання інструмента; S – поздовжня подача інструмента;</p>		800
<p>е) латунні бруски виконують зворотно-поступальний рух уздовж вісі деталі з її дискретним обертанням: 1 – втулка розрізна; 2 – бруски антифрикційні; 3 – деталь; 4 – пристрій для закріплення деталі; $n_{зв}$ – дискретне обертання деталі; $V_{зв}$ – зворотно-поступальний рух інструмента.</p>		900

Однак продуктивність обробки залишається невисокою, що перешкоджає широкому застосуванню ФАБО в якості фінішної обробки в промислових умовах.

Літературно-патентний аналіз дозволив встановити основні недоліки існуючих пристроїв для нанесення зносостійких покриттів методом ФАБО:

- розроблені конструкції пристосувань і оснащення не забезпечують необхідну продуктивність у зв'язку з тим, що інструментом для нанесення покриттів є всього лише один – три латунні прутки діаметром 3 – 4 мм. Це змушує виконувати кілька проходів інструментом, щоб покрити латунною плівкою всю поверхню деталі. Наприклад, для обробки одного циліндра двигуна необхідно більше 5 хв. [6];

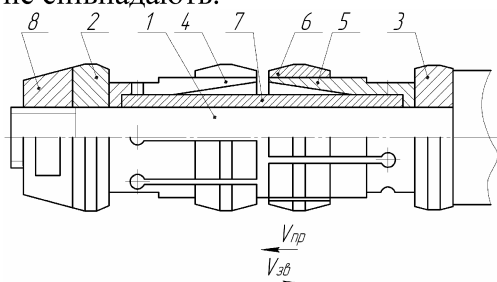
- технології й пристрої для ФАБО, що використовуються, не забезпечують зміцнення поверхонь деталей, а отже – зносостійкість на більш тривалий термін.

Метою даної роботи є розробка пристрою для ФАБО, що дозволить підвищити продуктивність процесу й зносостійкість покриттів.

Поставлена мета досягається за рахунок того, що, на відміну від відомих способів ФАБО для нанесення зносостійких покриттів, застосовується принцип протягування, який здійснюється шляхом зворотно-поступального руху інструмента з одночасним дискретним обертанням деталі (табл.1, е) [15, 16].

Розроблений пристрій (рис.1) складається з оправки 1, на якій розташовані деформуючі елементи 2, 3, розрізні втулки 4, 5 з антифрикційними брусками 6, дистанційної втулки 7, яка створює зазор між розрізними втулками та гайкою 8.

Остання забезпечує закріплення робочих елементів пристрою на оправці і виконує функцію прямого конусу. Розрізні втулки 4 і 5 розміщені на оправці 1 таким чином, що пази між пелюстками не співпадають.



1 – оправка; 2, 3 – елементи деформуючі; 4, 5 – втулки розрізні; 6 – бруски антифрикційні; 7 – втулка дистанційна; 8 – гайка; $V_{пр}$ – прямий рух пристрою; $V_{зв}$ – зворотній рух пристрою

Рисунок 1 – Пристрій для фрикційно-механічного нанесення покриттів

Пристрій, що пропонується, встановлюється в штоку гідравлічного пресу і працює таким чином. При прямому переміщенні $V_{пр}$ деформуючий елемент 2 деформує поверхневий шар деталі та зминає виступи мікрорельєфу, які утворюються на попередній технологічній операції. При цьому зона обробки постійно змочується робочою рідиною (гліцерином), яка сприяє розм'якшенню й розчиненню оксидних плівок поверхні деталі, що оброблюється, та антифрикційних брусків 6.

Останні за рахунок пружної деформації пелюсток розрізних втулок притискаються до поверхні, що оброблюється. Внаслідок зношування антифрикційних брусків 6, виконується перенесення антифрикційного матеріалу і його заповнення впадинами. Деформуючий елемент 3 створює додаткову пластичну деформацію поверхні, що оброблюється, зміцнюючи поверхневий шар та забезпечуючи втиснення антифрикційного матеріалу у впадини мікрорельєфу.

При зворотньому переміщенні $V_{зв}$ антифрикційними брусками 6 виконується повторне нанесення покриття, деформуючий елемент 3 при цьому виконує функцію задньої напрямної. Завдяки розміщенню антифрикційних брусків на пелюстках розрізних втулок таким чином, що їх пази не співпадають, забезпечується постійне зусилля антифрикційних брусків і нанесення антифрикційного покриття по всій внутрішній поверхні отвору, що оброблюється.

Використання запропонованого пристрою дозволить підвищити продуктивність та якість обробки поверхонь тертя деталей.

Список літератури

1. Соловых Е.К. Тенденции развития технологий поверхностного упрочнения в машиностроении: Монография. – Кировоград: КОД, 2012. – 92 с.
2. Быстров В.Н. Применение устройств для фрикционно-механического нанесения износостойких покрытий в условиях ремонтного производства / В.Н. Быстров // Изобретательство. - 2011. - Т. 11, №3. - С. 29-34.
3. Нанотехнологии и наноматериалы в агропромышленном комплексе: науч. изд. / В.Ф. Федоренко, М.Н. Ерохин, В.И. Балабанов, Д.С. Буклагин, И.Г. Голубев, С.А. Ищенко. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2011. 312 с.
4. Готтлиб Польцер Основы фрикционного нанесения покрытия в условиях селективной передачи / Польцер Готтлиб // РВМ (Ремонт. Восстановление. Модернизация). - 2010. - № 10. - С. 23-28.
5. Гаркунов Д.Н. Финишная антифрикционная безабразивная обработка (ФАБО) поверхностей трения деталей / Д.Н. Гаркунов // РВМ (Ремонт. Восстановление. Модернизация). - 2009. - № 5. - С. 24-29.
6. Гаркунов Д.Н. Финишная антифрикционная безабразивная обработка (ФАБО) поверхностей трения деталей / Д.Н. Гаркунов // РВМ (Ремонт. Восстановление. Модернизация). - 2009. - № 6. - С. 38-42.
7. Гаркунов Д.Н. Финишная антифрикционная безабразивная обработка (ФАБО) поверхностей трения деталей / Д.Н. Гаркунов // РВМ (Ремонт. Восстановление. Модернизация). - 2009. - №7. - С. 12-14.
8. Быстров В.Н., Балабанов В.И. Устройство для фрикционно-механического нанесения покрытий. Патент РФ № 1834913, Б.И. №10, 1993.

9. Быстров В.Н., Белозеров С.И., Джабаева Л.К., Стрельников А.Н. Устройство для фрикционно-механического нанесения покрытий. А.с. СССР № 1601198, Б.И. № 38, 1990.
10. Сорокин В.М., Берглезов В.В., Михеев А.В., Тканчук, С.С. Способ улучшения приработки и повышения износостойкости кулачков распределительных валов /В.М. Сорокин и др.// Технология металлов. – 2010. - №1, - С.42-45.
11. Титов В.А. Исследование и разработка метода фрикционного нанесения износостойких покрытий на предприятиях автомобильного сервиса: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.02.13 «Машины, агрегаты и процессы»/ В.А. Титов. – М., 2010. – 24 с.
12. Румянцев Г.И. Фрикционное латунирование деталей топливной аппаратуры // Повышение износостойкости на основе избирательного переноса. М.: Машиностроение, 1977. С.155-159.
13. 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.
14. Шепеленко И.В., Черкун В.В. Совершенствование процесса финишной антифрикционной безабразивной обработки цапф шестерен гидронасосов /И.В. Шепеленко, В.В.Черкун// РВМ (Ремонт. Восстановление. Модернизация). – 2012. - №9, - С.32-35.
15. Пат. 70146 Україна, МПК В24В 39/00. Пристрій для фрикційно-механічного нанесення покриттів/ О.В. Чернявський, І.В. Шепеленко, І.Ф. Василенко, М.В. Красота, А.В. Кропивна (Україна). – №201114093; заявл. 29.11.2011; опубл. 25.05.2012, Бюл.№10.
16. Пат. 74630 Україна, МПК С23С 26/00. Спосіб нанесення антифрикційних покриттів на внутрішні циліндричні поверхні / М.І. Черновол, І.В. Шепеленко, О.В. Чернявський, І.Ф. Василенко, А.В. Кропивна (Україна). – №201203173; заявл. 19.03.2012; опубл. 12.11.2012, Бюл.№21.

M. Chernovol, I. Shepelenko
Kirovohrad National Technical University
Devices for mechanical friction coating

This article analyses all known devices for the treatment of non-abrasive anti-friction finish by way of mechanical friction. All existing devices have low productivity, which prevents wide usage of this type of finish in industry.

The aim of this work is to develop a device for the treatment of non-abrasive anti-friction finishes which will help to increase the productivity of the process and durability of the finish. The aim is reached by using the principle of drawing, which is carried by the reciprocating motion of the tool with simultaneous rotation of discrete parts.

The using of this device will result in increasing of productivity and quality of treatment of friction surfaces.

anti-friction non-abrasive finish treatment, friction-mechanical method, the device, productivity

Одержано 14.05.13

УДК 62-231:621.9.04

A. Kyrychenko, Dr. Sc.*Kirovograd National Technical University*

Open source CNC control for parallel kinematic machine tool

Application of LinuxCNC (open-source Linux based CNC software) to control parallel kinematic machine tools is considered. A control architecture and configuration files developed for LinuxCNC parallel kinematics machine tool with Stewart platform.

parallel kinematic machines, CNC, LinuxCNC, real-time, MESA, Stewart platform

A. М. Кириченко, доц., д-р техн. наук*Кіровоградський національний технічний університет*

Вільна система ЧПУ для верстата паралельної структури

Розглянуто використання вільної системи ЧПУ LinuxCNC з відкритим кодом для управління верстатами паралельної структури. Запропоновано структурну схему та файли конфігурації системи управління, використаної для верстата паралельної структури на основі платформи Стюарта.

верстат паралельної структури, ЧПУ, LinuxCNC, система реального часу, MESA, платформа Стюарта

Unlike control systems for traditional machine tools, those for parallel kinematic machines should possess some extra capabilities:

- real-time coordinate transformation from end effector to actuators and contrariwise (world to joint coordinates and vice versa, inverse and forward kinematics);
- limiting for both joints and world positions according to machine workspace;
- preventing parallel manipulator singularities;
- avoiding collisions of struts to themselves or end effector.

Control of parallel kinematic machine tool is possible with any PCNC architecture (table 1) [1].

Table 1 – Architectures of control systems for machine tools

Architecture	Interface	System kernel
CNC	Custom processor module. External automation controller.	
PCNC-1	Personal computer	Custom processor module. Single-board automation controller.
PCNC-2	Personal computer	Personal computer. Software automation controller.
PCNC-3	Personal computer	Built-in computer. Software automation controller.
PCNC-4	Personal computer. Software automation controller.	

Most advanced industrial control systems for parallel kinematic machine tools have PCNC-2 architecture, for example Siemens SINUMERIK 840D (Tricept, VERNE), Power Automation PA8000 (Гексамех-1), Andron Andronic 2000 (METROM P800). Those systems include two personal computers carrying real-time system kernel and interface. PCNC-3 architecture's interface computer incorporates real-time computer on PCI or PCI-e bus. Examples of such systems are Delta Tau PMAC, Bosch PNC, Indramat MTX. All named are complex commercial CNC systems with powerful capabilities to control any machine.

Last years a lot of PC-based control systems were developed in SoftCNC class. Most popular of these are Artsoft Mach3, WinCNC, NCStudio, PlanetCNC etc. Main disadvantage of SoftCNC control systems is significant jitter [7] – unstable timing of internal signals. It limits the stability and frequency of control impulses; therefore step rate of SoftCNC systems rarely exceeds 50 kHz. But low cost and simplicity made SoftCNC very popular for hobby and low-end industrial machine tools. Some of SoftCNC control systems can partially develop to PCNC-3 with external controllers like KFLOP and SmoothStepper for Mach3.

One of the most advanced and promising non-industrial PC-based CNC systems is LinuxCNC (EMC2 before 2011), developed as NIST project which became open-source in 2003. LinuxCNC [3] is a free software control system with open source code for machine tools and robots. Current versions of LinuxCNC are entirely licensed under the GNU General Public License (GPL) and Lesser GNU General Public License (LGPL). Currently LinuxCNC can be compiled from source or downloaded as Live-CD integrated image based on Linux Ubuntu 10.04 with RTAI kernel.

LinuxCNC has modular structure which makes it adjustable for almost any machine tool or robot with various hardware and control interfaces, low-level machine electronics such as sensors and motor drives. Basic LinuxCNC configuration is a SoftCNC architecture, which controls motor drives with step/dir signals via LPT port. With extra FPGA board LinuxCNC becomes PCNC-3 class possible of controlling both step mode or analog mode servo drives with encoder or resolver feedback. StepConf and PNCConf wizards enable fast configuration for machine tools with stepper or servo motors.

LinuxCNC incorporates four key components [3]: a motion controller (EMCMOT), a discrete IO controller (EMCIO), a task executor which coordinates them (EMCTASK) and several text-mode and graphical User Interfaces.

Built-in G-code interpreter works with the RS-274 machine tool programming language. A real-time motion planning system supports look-ahead and trajectory blending. LinuxCNC includes a few graphical and text user interfaces, the most popular is AXIS GUI which displays instrument path from G-code (fig. 1, a) and TkLinuxCNC (fig. 1, b).

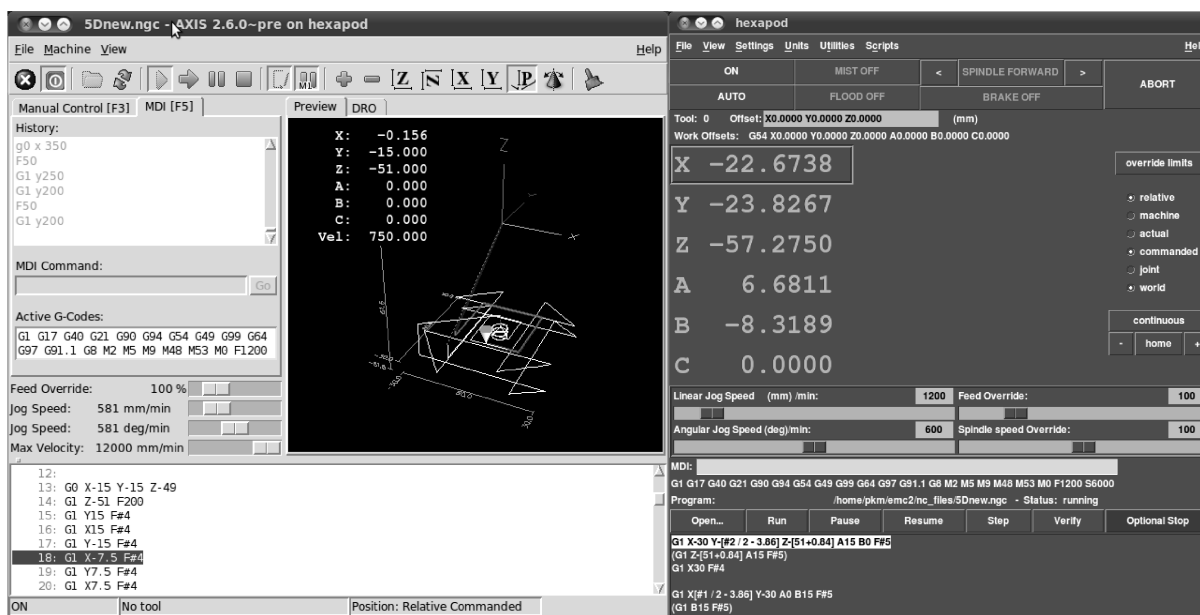


Figure 1 – LinuxCNC user interfaces: a) AXIS, b) TkLinuxCNC

Each machine is described in LinuxCNC with several configuration files. Hardware abstraction layer (.hal) file contains complete information about the way LinuxCNC interacts with connected hardware: actuators, spindle, home and sensors, control inputs and outputs etc.

Machine configuration file (.ini) describes machine parameters: coordinates, joint limits, home positions, joints and axes velocities and accelerations, PID gains, encoder scales etc. For a machine with nontrivial kinematic it's necessary to provide kinematics file (.c) which performs inverse and forward coordinate transformations.

The modular structure and open source code of LinuxCNC enable adjusting kinematics for any machine, which makes LinuxCNC very suitable to control parallel kinematics machine tools as Stewart platform, pentapod, linear delta etc [3, 4].

There are several possible scenarios for LinuxCNC to control parallel kinematic machine tool. The simplest case provides control for step motors via LPT port with software step generator. This configuration has rather unstable and limited step rate (40-60 kHz), which can not provide sufficient velocity and (or) high resolution. Besides, without position feedback it's impossible to actually control the trajectory following of the end effector.

This is why the optimal LinuxCNC configuration includes external FPGA card for realtime control and input-output. FPGA cards with PCI, PCI-e and LPT can be used, for instance Motenc [5] and MESA [6]. A variety of MESA FPGA boards with daughter I/O cards provide low-cost hardware interface for servo drives with analog velocity/torque control or pulse/direction control, incremental encoders, limit switches etc. Latest cards also support serial protocols SPI, BISS etc. MESA FPGA cards provide step rate up to 10MHz.

Common control architecture for parallel kinematic machine tool (fig. 2 a) includes a PC with LinuxCNC and connected via LPT port MESA 7143 FPGA card with 7148 6-axis analog interface card.

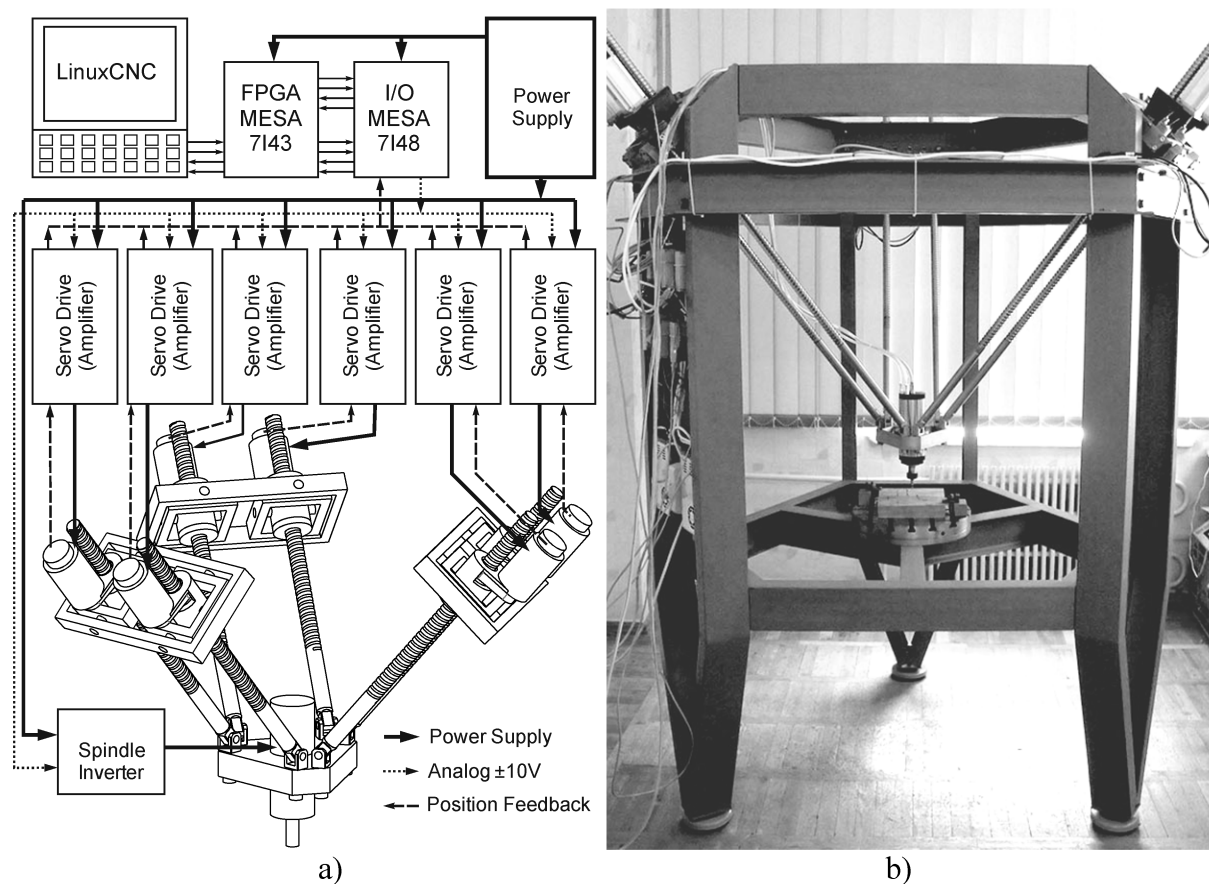


Figure 2 – Control system: a) general schematics, b) installed on Stewart platform hexapod

Analog control signals ($\pm 10V$) go from 7148 to servo drives (or amplifiers) velocity inputs, along with enable signals which power up the motors. ABZ incremental signals from motor encoders connect to encoder inputs on MESA 7148 providing feedback for joint

positions. Thus servo loop is closed within LinuxCNC, joint PID regulators with position error as input provide output velocity signals for the motors. PID parameters can be independently adjusted for each motor. Each actuator home and limit sensors connect to 7I43 inputs providing automated home position search when machine is initialized. The spindle inverter is controlled via Modbus or analog interface enabling stepless spindle speed control from within G-code program.

Above described architecture was successfully used to control Stewart platform hexapod machine tool [7] (fig. 2 b). Kinematics module genhexkins.c, hexapod.ini and hexapod.hal configuration files were adjusted to completely describe the machine kinematics.

LinuxCNC is a constantly developing system. Current stable version of LinuxCNC works with RTAI real-time kernel, but the developers are working to switch to Xenomai kernel with support for latest Ubuntu versions, including x64. There is also ongoing work to port LinuxCNC on low-cost ARM computers like BeagleBone [8] which combine ARM CPU and several Programmable Real-Time Units in a small board with a lot of I/O pins.

Conclusion: LinuxCNC is a powerful open source CNC software capable to control various machines including parallel kinematic machine tools. Several control architectures were suggested for parallel kinematics machine tool architecture parallel kinematics machine tool were tested with Stewart platform hexapod.

References

- 1 Мартинов Г.М. Современные тенденции развития компьютерных систем управления технологического оборудования / Г.М. Мартинов // Вестник МГТУ «Станкин». – 2010. – №1 (9). – С. 119-125.
- 2 Proctor F. M. Real-time Operating System Timing Jitter and its Impact on Motor Control / F. M. Proctor, W. P. Shackelford // Proceedings of the SPIE Sensors and Controls for Intelligent Manufacturing. – 2001. – Vol. 4563. – P. 10-16.
- 3 LinuxCNC.org [Electronic resource] / Home of users of LinuxCNC. – Electronic data. – United States, 2011. – Access mode : World Wide Web. – URL : <http://www.linuxcnc.org/>. – Title from title screen.
- 4 Živanović S. Methodology for Configuring Desktop 3-axis Parallel Kinematic Machine / Saša Živanović, Miloš Glavonjić, Zoran Dimić // FME Transactions. – 2009. – Vol. 37. – P. 107-115.
- 5 PCI Ethernet Motion Control & Data Acquisition Systems [Electronic resource] / Vital Systems. – Electronic data. – Phoenix, 2013. – Access mode : World Wide Web. – URL : http://www.vitalsystem.com/web/motion/motion_controllers.php. – Title from title screen.
- 6 MESA Electronics [Electronic resource] / Home. – Electronic data. – Richmond, 2011. – Access mode : World Wide Web. – URL : <http://www.mesnet.com/> – Title from title screen.
- 7 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.
- 8 BeagleBoard.org [Electronic resource] / BeagleBone. – Electronic data. – United States, 2013. – Access mode : World Wide Web. – URL : <http://beagleboard.org/Products/BeagleBone/>. – Title from title screen.

А.Н. Кириченко

Кировоградский национальный технический университет

Свободная система ЧПУ для станка параллельной структуры

Рассмотрено использование свободной системы ЧПУ LinuxCNC с открытым исходным кодом для управления станками параллельной структуры. Предложены структура и файлы конфигурации системы управления, использованной в станке параллельной структуры на основе платформы Стюарта. **станок параллельной структуры, ЧПУ, LinuxCNC, система реального времени, MESA, платформа Стюарта**

Одержано 20.05.13

УДК 007.52

І.І. Павленко, проф., д-р техн. наук, М.О. Годунко, канд.техн.наук,

І.Д. Кіріченко, студент

Кіровоградський національний технічний університет

Загальна методика розрахунку та проектування конструкцій захватних пристроїв промислових роботів

В статті представлена послідовність розрахунку та проектування захватних пристроїв роботів, яка включає в себе обґрунтований вибір умов роботи промислового робота та його захватного пристрою, опис алгоритму силового та функціонального розрахунку, аналіз конструктивних параметрів на силові та функціональні можливості захватного пристрою, та визначення параметрів двигуна його приводу.

робот, захватний пристрій, методика розрахунку, проектування

И.И. Павленко, М.О. Годунко, И.Д. Кириченко

Кировоградский национальный технический университет

Общая методика расчета и проектирования конструкций захватных приспособлений промышленных роботов

В статье представлена последовательность расчета и проектирования схватов роботов, которая включает в себя обоснованный выбор условий работы промышленного робота и его захватного устройства, описание алгоритма силового и функционального расчета, анализ конструктивных параметров на силовые и функциональные возможности захватного приспособления, и нахождение параметров двигателя его привода.

робот, захватное приспособление, методика расчета, проектирование

Ринкові умови сучасного машинобудування вимагають активного впровадження гнучких автоматизованих систем. Важливою складовою частиною їх є промислові роботи (ПР), які вважаються найбільш перспективними засобами автоматизації виробничих процесів. Виконання роботом поставлених задач здійснюється за допомогою робочого органу, а саме його захватного пристрою (ЗП), який призначено для захоплення та утримування предметів виробництва чи технологічного оснащення.

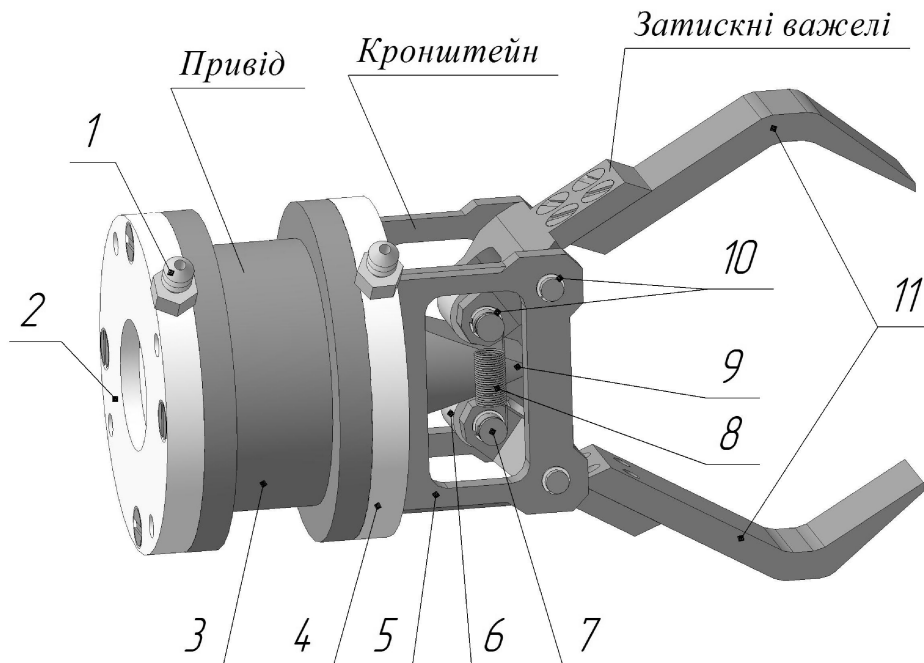
За відносно короткий час існування робототехніки створено дуже велику кількість різних виконань механічних захватних пристроїв, що обумовлено значним різновидом роботизованих операцій та деталей, з якими працюють роботи в різних умовах. Загальну будову типових механічних захватних пристроїв показано на рис.1.

Актуальним питанням в проектуванні конструкцій захватів є розробка загальної методики їх розрахунку та проектування, яку необхідно виконувати комплексно в такій послідовності:

1. Визначаються вихідні дані для розрахунку та проектування ЗП робота для роботизованого комплексу (РТК):

- рівень універсальності ЗП відповідно до універсальності РТК: спеціальний; спеціалізований; універсальний;
- форма та розміри утримуваних деталей, що повинна узгоджуватися із захватними можливостями робота;
- вага деталей, яка узгоджується з необхідною вантажністю робота;
- уточнюється варіант виконання промислового робота в РТК;

- кінематико-конструктивні особливості робота;
- тип системи координат, в якій працює робот;
- особливості виконання робочої позиції верстата;
- особливості виконання подавального та приймального пристроїв та особливості розміщення в них оброблюваних деталей.



1- штуцер; 2 – кришка; 3 – двигун привода; 4 – кришка; 5 – кронштейн; 6 – ролик; 7 – вісь; 8 – пружина; 9 – клин; 10 – стопорні кільця; 11 – затискні елементи

Рисунок 1 – Будова типових механічних ЗП

2. Визначаються умови роботи ЗП у РТК:
 - умови взяття транспортованих деталей з вихідних позицій комплексу та встановлення деталей в ці позиції;
 - просторова орієнтація вісі та площини ЗП в позиціях РТК;
 - необхідні рухи ЗП між позиціями РТК в повному циклі роботи промислового робота;
 - просторова орієнтація вісі та площини ЗП в циклі рухів промислового робота;
 - необхідні режими переміщення ЗП з утримуваною деталлю в циклі роботи ПР.
3. Складається розрахункова схема ЗП, де вказуються (позначаються):
 - тип приводу, проміжні передачі, конструктивні особливості затискних важелів та захватних елементів;
 - просторова орієнтація ЗП відповідно до вибраних варіантів транспортування згідно з циклом роботи промислового робота;
 - варіанти дії сили інерції відповідно до режимів транспортування деталей;
 - вказуються позначення параметрів розрахункової схеми.
4. Складаються рівняння рівноваги утримуваної деталі відповідно до розробленої розрахункової схеми.
5. Виконується вирішення складених рівнянь із визначення як окремих складових, так і сумарних сил затиску утримуваної захватним пристроєм деталі.

6. Виконується аналіз отриманих рівнянь сил затиску та впливу на їх величину конструктивних параметрів ЗП:

- кута затискних призм та кута приєднання їх до затискних важелів;
- діаметра утримуваної деталі та пов'язаного з ним кута відхилення затискних важелів від номінального їх положення;
- умов переміщення деталі, що визначається впливом величини сили інерції та кута напрямку дії цієї сили.

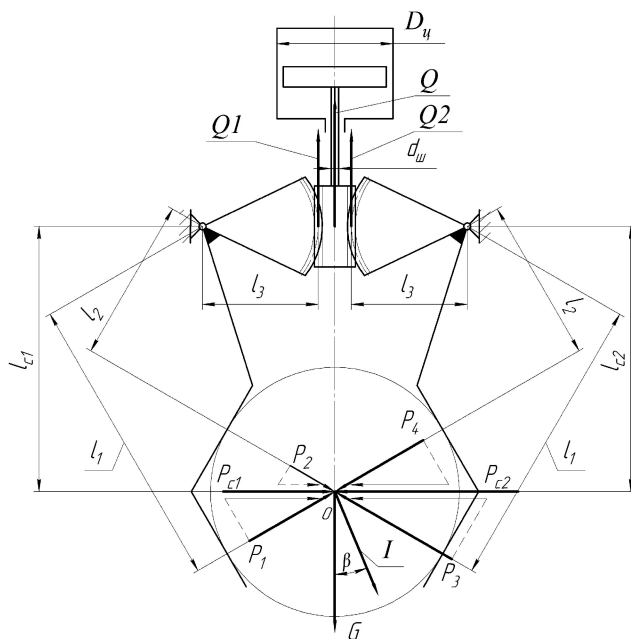
7. Виконується аналіз функціональних можливостей ЗП, яким оцінюється вплив конструктивних параметрів пристрою на:

- номінальний, максимальний та мінімальний діаметр утримуваних деталей;
- величину плечей прикладання окремих сил затиску та сумарних сил затиску;
- кут відхилення затискних важелів, а, відповідно, вершин затискних призм, від діаметра утримуваних деталей;
- величину зміщення центру утримуваних деталей від їх діаметра;
- величину довжин бокових поверхонь затискної призми;
- величину додаткового руху затискних важелів від діаметра деталей для виконання умов взяття і звільнення деталі із затискного пристрою.

8. Здійснюється розподіл загального діапазону діаметрів утримуваних деталей на окремі зони, які забезпечуються відповідним комплектом змінних затискних важелів із затискними елементами.

9. Виконується комплексна оцінка впливу конструктивних параметрів ЗП на вищенаведені показники. Тобто по відповідним залежностям [3] визначаються конструктивні параметри ЗП: кут затискних призм (α); кут приєднання призм (γ); номінальний, максимальний і мінімальний діаметр утримуваних деталей; довжина затискних важелів (L) та відстань між опорами (a).

За вибраними параметрами вирішуємо питання забезпечення необхідних сил затиску. Так, для прикладу (рис.2) рівняння рівноваги буде:



$$P_1 l_1 + P_2 l_2 + P_3 l_1 + P_4 l_2 = \\ = Q_1 \cdot l_3 + Q_2 \cdot l_3 = Q \cdot l_3$$

Оскільки $Q_1 + Q_2 = Q$, необхідна сила на приводі з урахуванням коефіцієнту запасу сил затиску (k_c):

$$Q = P_c \cdot k_c \cdot \frac{l_c}{l_3} = P_p \cdot i_c,$$

де $P_p = P_c \cdot k_c$ - розрахункова сила затиску;

i_c - передавальне відношення силового механізму.

За величиною сили на приводі визначаємо параметри приводу. Отримане значення округляємо до ближнього стандартного значення.

Рисунок 2 – Розрахункова схема ЗП

10. За величиною необхідного переміщення затискних важелів, яке залежить від діапазону діаметрів утримуваних деталей ($D_{max} - D_{min}$) та величиною додаткового

переміщення (S), необхідного для взяття (захоплення) деталі визначаємо величину переміщення приводної сили Q, а відповідно і довжину циліндра, яку також необхідно узгодити з рекомендованими градаціями [4]. Подібно визначаються параметри приводу ЗП при використанні інших проміжних передач (важільних, клинових та ін.).

Приведена загальна методика розрахунку і проектування ЗП дає можливість комплексно оцінювати вплив конструктивних параметрів ЗП на їх силові та функціональні можливості, при врахуванні різних факторів, в т.ч. для захватів різного рівня спеціалізації, при різних їх режимах роботи та конструктивних особливостях виконання.

Список літератури

1. Павленко І.І. Промислові роботи: основи розрахунку та проектування. – Кіровоград; КНТУ, 2007. – 420 с.
2. Павленко І.І. Аналіз впливу характеристик захватних пристроїв промислових роботів на силові їх навантаження / Павленко І.І., Годунко М.О. – Кіровоград: КНТУ, 2008. – С.150 – 154. – (Збірник наукових праць КНТУ. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація; вип. 20).
3. Павленко І.І. Оцінка точності положення утримуваної деталі в захватному пристрої робота / Павленко І.І., Годунко М.О. – Суми: СумДУ, 2010. – С.103-106.- (Збірник наукових праць СумДУ. Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки; вип.4).
4. Павленко І.І. Обґрунтування узгодження характеристик промислових роботів та їх захватних пристроїв/ Павленко І.І., Годунко М.О. – Кіровоград: КНТУ, 2012. – С.74 – 79. – (Збірник наукових праць КНТУ. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація; вип.25).

I.Pavlenko, M. Godunko, I.Kirichenko

Kirovograd National Technical University

General method of calculation and planning of constructions of grippers adaptations of industrial robots

The market conditions of modern engineer require active introduction of the flexible automated systems. By important component part them there are industrial works which are considered the most perspective facilities of automation of production processes. Implementation of the put tasks a robot is carried out by a working organ, namely him grippers which intended for fascination and retaining of the articles of production or technological rigging. At relatively short time of existence of robots is created very plenty of different implementations of mechanical grippers, that conditioned by the considerable variety of robotisation operations and details with which works work under various conditions.

The general question in planning of constructions of delights is development of general method of their calculation and planning, which must be executed complex. In the article the algorithm of planning and calculation of constructions of grippers of industrial robots is presented with the ground of influence of their structural parameters on power and functional descriptions. The general method of calculation and planning of grippers is resulted can be improved, but complex approach, presented in a method gives the most acceptable result of receipt of construction of grippers, estimation of influence of structural parameters of grippers on their power and functional possibilities, and also possibility to describe co-operate the resulted factors for the delights of different level of specialization, at their different office hours and structural features.

robot, grippers, method of calculation, planning

Одержано 23.04.13

УДК.504.064.045

О.В. Бевз, доц., канд. техн. наук, С.О. Магопєць, доц., канд. техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет

Оцінка дії автотранспортних потоків на акустичне середовище міської території (на прикладі міста Кіровограда)

На основі результатів проведеного аналізу рівнів шумового навантаження від транспортних потоків на вулиці Великій Перспективній м. Кіровограда, з врахуванням реальних місцевих умов, виявлено зони підвищеного рівня шуму і визначені ділянки, рівень шуму на яких перевищує гранично допустимі норми.

міський шум, рівень шуму, акустичний дискомфорт, шумові характеристики

О.В. Бевз, С.О. Магопєць
Кіровоградский национальный технический университет

Оценка действия автотранспортных потоков на акустическую среду городской территории (на примере города Кіровограда)

На основе результатов проведенного анализа уровней шумовой нагрузки от транспортных потоков на улице Большой Перспективной города Кіровограда, с учетом реальных местных условий, обнаружена зона повышенного уровня шума и определенные участки, уровень шума на которых превышает предельно допустимую норму. Получены при исследованиях шумовой нагрузки данные свидетельствуют о том, что нарушаются требования ДБН 360-92 а шум превышает допустимую норму.

городской шум, уровень шума, акустический дискомфорт, шумовая характеристика

Постановка проблеми. Машинобудівна промисловість має багатогалузеву структуру і кожній із галузей притаманні свої екологічні особливості. Переважаючим серед них є саме автомобільний транспорт.

Основними забруднювачами атмосферного повітря по вулиці Великій Перспективній є пересувні джерела, серед яких на першому місці знаходиться автотранспорт. Підвищення інтенсивності техногенного забруднення зумовлено збільшенням кількості автотранспорту в місті, погіршенням технічного стану автомобільного парку, незадовільною якістю палива, відставанням темпів розвитку вулично-шляхової мережі, труднощами щодо контролю великої кількості приватного і транзитного автотранспорту, недостатньо розвиненою законодавчою базою для ефективного управління автотранспортом, як екологічно небезпечним об'єктом. Найбільші рівні шуму 90-95 дБ наголошуються на магістральних вулицях міст з середньою інтенсивністю руху 2-3 тис. і більш транспортних одиниць за годину. Рівень вуличних шумів визначається інтенсивністю, швидкістю руху, складом транспортного потоку, архітектурно-планувальним рішенням (профіль вулиці, щільність забудови, стан покриття дороги, наявність зелених насаджень тощо).

В даній роботі наводяться результати аналізу акустичних даних щодо шумового навантаження середовища вулиці Великої Перспективної від транспортних засобів з оцінкою шкідливих викидів в повітря на прилеглих до транспортних магістралей територіях.

Аналіз основних досліджень і публікацій. В останні роки вийшло багато публікацій [1–2] за результатами досліджень і розробок щодо боротьби із шумом у містах. Однак ці публікації містять більше рекомендації загального характеру.

У той же час вітчизняний і зарубіжний досвід показує, що при розробці проектів планування й забудови міст і інших населених пунктів зовсім недостатньо використовуються містобудівні й будівельно-акустичні методи й засоби захисту від шуму.

Особливості джерел шуму, недостатність рекомендацій із шумозахисту й засобів шумозахисту в різних планувальних ситуаціях визначають актуальність теми й служать підставою для проведення подальшого дослідження.

Міський шум є складовою частиною в єдиному комплексі екологічних, соціальних, економічних, культурних, загальнодержавних і міжнародних проблем розвитку людства.

Високі рівні звуку й концентрації вихлопних газів на магістральних вулицях міст, що продовжують збільшуватися з кожним роком, викликають безліч скарг жителів будинків першої лінії забудови приміагістральних територій. Прогресуюче протиріччя між вимогами нормативів із планування й забудови населених місць, що склалося структурою існуючих міст, охорони міського середовища, економіки будівництва, часто ставить у глухий кут проектувальників. У зв'язку з цим виникає гостра необхідність розробки шумозахисних рекомендацій, які були б невід'ємною частиною проектних матеріалів для реконструкції будь-яких «спальних» районів міста.

Формування цілей. Регулювання шумового режиму на житлових територіях, що підпадають під шумове забруднення, для забезпечення комфортних умов і акустичної безпеки життєдіяльності населення під час реконструкції міської забудови шляхом створення 30-децибельних («тихих») зон у спальних районах.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати низку завдань:

- провести натурні дослідження розташування джерел шуму на житлових територіях;
- провести натурні дослідження інтенсивності руху і рівня шуму на автотранспортних магістралях, розташованих біля житлових забудов;
- побудова карт шуму.

Виклад основного матеріалу. Одним з найважливіших чинників, що визначають зони акустичного дискомфорту при русі автотранспортних потоків є їх інтенсивність. Визначено, що при інтенсивності автотранспортних потоків 10000 АТЗ/добу протягом дня в зоні впливу автодоріг виникають зони акустичного дискомфорту з рівнем шуму 60-80 дБА, а при інтенсивності більше 20000 АТЗ/добу - стійкі зони акустичного дискомфорту з рівнем шуму понад 80 дБА.

Результат дослідження транспортного навантаження на автодороги міста показаний на рис. 1.

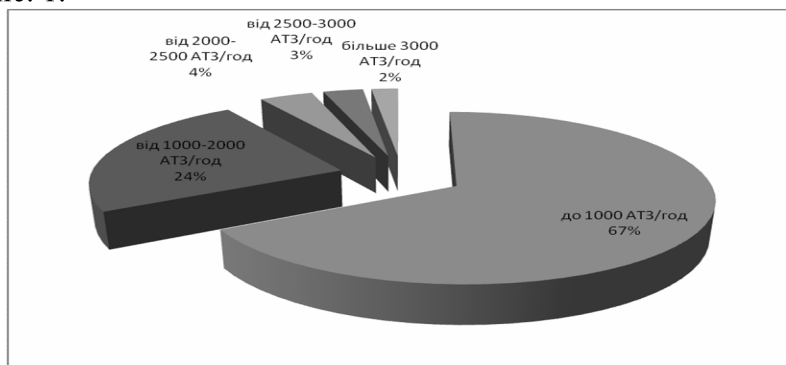


Рисунок 1 – Розподіл інтенсивності автотранспортних потоків на автодорогах м. Кіровограда

За даними моніторингу завантаженості автодоріг міста зробили вивід, що «година-пік» доводиться на період 7.30-9.00 і 16.30-19.00 годин.

Аналіз даних показує, що в цей час на 32 % автодоріг міста реєструється інтенсивність транспортних потоків понад 1000 АТЗ/год., на кожній третій з них інтенсивність більш 2000 АТЗ/год. і це наводить до утворення зон стійкого акустичного дискомфорту, які не пропадають протягом доби.

На рис. 2 показана мапа з вулицями м. Кіровограда. Інтенсивність автотранспортних потоків на деяких вулицях вказана під мапою в часи пік.

Карта дозволяє зробити вивід, що автодороги з високою інтенсивністю руху автотранспортних потоків зосереджені в центральній частині міста, де розташовані учбові, лікувальні, офісні установи і житлові будинки, в яких проживає і працює близько 60 % населення міста.

Проведення комплексного моніторингу якісного стану акустичного середовища міста надалі здійснювалося в уранішні «години піку» в буденні дні на автодорогах з інтенсивністю автотранспортних потоків більше 5000 АТЗ/добу. Для дослідження були вибрані 10 автодоріг, в зоні яких розташована основна частина житлового комплексу.

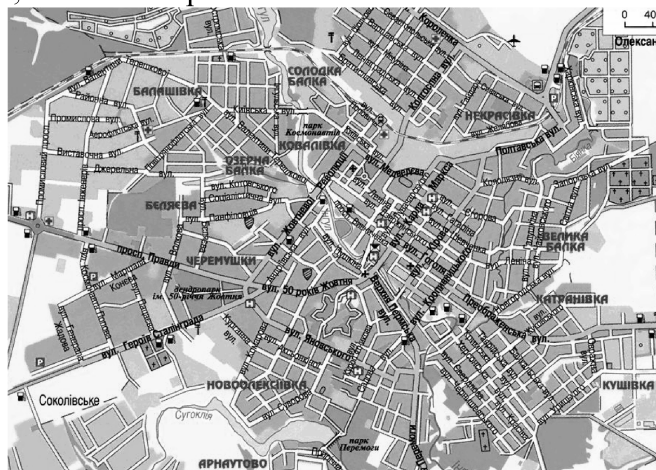


Рисунок 2 – Мапа міста Кіровограда

Таблиця 1 - Інтенсивність автотранспортних потоків на деяких вулицях вказана під мапою в часи пік

Вулиці міста	Інтенсивність АТЗ/год.
вул. Попова, вул. Жадова, вул. Мічуріна, вул. Глінки та інші	100-500
вул. Маршала Конєва, вул. Ушакова, вул. Єгорова, прос. Комуністичний вул. Габдурахманова та інші	500-1000
вул. Верхня Пермська, вул. Башкірська, вул. Київська, вул. Чорновіла, вул. Гагаріна та інші	1000-1500
вул. Яновського, вул. Кропивницького, вул. Колгоспна, проспект Винниченка, вул. 40 років Перемоги та інші	1500-2000
вул. Короленка, вул. Шевченка, вул. Гоголя, вул. Героїв Сталінграда, площ. Богдана Хмельницького та інші	2000-2500
пр. Правди, вул. Жовтневої Революції, вул. Преображенська та інші	2500-3000
вул. Перспективна(Карла Маркса), вул. Полтавська, вул. 50 років Жовтня та інші	більше 3000

За даними попередніх експериментів визначили мінімальну кількість вимірів (N_{\min}) значення еквівалентного рівня транспортного шуму на одній ділянці: $N_{\min}=15$ за 2-х місячний період.

Однією з автодоріг, по якій здійснюється основний рух автотранспорту, є вулиця Велика Перспективна. Вона розташовується від Набережної до площі Незалежності і має протяжність 1,85 км. (9 перехресть і 10 перегонів). На ній проживає більше 1 % населення міста.

У таблиці 3 наведені дані моніторингу на вулиці Великій Перспективній.

Одночасно визначалися характеристики автотранспортного потоку: інтенсивність - I (АТЗ/г), доля автобусів і мікроавтобусів в потоці – Q (%), середня швидкість потоку - V (км/г), параметри вулично-дорожньої мережі: довжина перегону – s (м), ширина проїжджої частини - l (м), ширина вулиці - l' (м), етажність забудови - H (м), коефіцієнт озеленення - $k_{оз}$ (од./100м), коефіцієнт забудови - k_3 (%) і еквівалентний рівень шуму - $L_{екв}$ (дБА).

Таблиця 2 - Результати моніторингу на перегонах вулиці Великої Перспективної

№ п/п	Найменування вулиці (ділянки)	I , АТЗ/г	Q , %	V , км/г	s , м	l , м	l' , м	$k_{оз}$, од/100 м лів/пр	H , м лів/пр	k_3 , % лів/пр	$L_{п}$, дБ А	$L_{екв}$, дБ А
1	Перспективна (пров. Василівський – вул. Преображенська)	2635	19	35	300	12	21	7/9	9/5	80/75	54	70
2	Перспективна (вул. Преображенська – вул. Гоголя)	2616	18	16	200	12	19	5/30	3/-	90/10	40	55
3	Перспективна (вул. Гоголя – вул. Тімірязева)	2590	18	22	100	12	29	10/15	3/3	90/90	46	61
4	Перспективна (вул. Тімірязева – вул. Держинського)	2401	18	31	50	12	19	6/3	9/3	90/90	52	67
5	Перспективна (вул. Держинського – вул. Дворцова)	2385	18	36	200	12	45	5/-	4/3	90/90	67	82
6	Перспективна (вул. Дворцова – вул. Шевченка)	2531	18	32	135	12	19	13/15	5/5	90/80	64	79
7	Перспективна (вул. Шевченка – вул. Гагаріна)	2581	17	34	216	12	19	13/9	3/3	85/85	66	81
8	Перспективна (вул. Гагаріна – вул. Єгорова)	2213	17	36	143	12	19	11/13	5/9	80/80	67	81
9	Перспективна (вул. Єгорова – просп. Комуністичний)	2105	17	45	297	12	22	10/12	3/5	90/90	59	73
10	Перспективна (прос. Комуністичний – вул. Василини)	2085	17	51	209	12	19	10/13	3/3	75/85	61	75

Для визначення рівня шуму автотранспортного потоку була розроблена теоретична залежність у вигляді поліноміальної моделі для оцінки дії автотранспортних потоків на акустичне середовище.

Для виявлення залежностей використані дані, отримані в ході моніторингу.

Модель оцінки і прогнозу шумового навантаження транспортних потоків, рухомих по автодорогах м. Кіровограда, побудована у вигляді полінома, що має вигляд:

$$L_{екв} = L_n + (0,005I + 0,07Q + 0,04V), \quad (1)$$

де $L_{екв}$ – еквівалентний рівень шуму автотранспортного потоку, дБА;

L_n – рівень шуму дорожнього покриття, дБА;

I – інтенсивність автотранспортного потоку, АТЗ/г;

Q – доля автобусів і мікроавтобусів в потоці, %;

V – швидкість автотранспортного потоку, км/год.

Результати досліджень шумового забруднення навколишнього середовища здійснювалося шляхом побудови карти шуму вулично-дорожньої мережі вулиці Великої Перспективної.

Оцінка шумового режиму території міста включає визначення основних джерел зовнішнього шуму. Виділяють головні джерела шуму і встановлюють їх акустичні характеристики (розрахункові рівні звуку), які реєструються на картах розрахункових рівнів шуму цих джерел (вулично-дорожні мережі (ВДМ), траси авіаліній і аеродроми, промислові підприємства тощо).

Карта шуму ВДМ має вигляд схематичного плану вулиць і доріг з нанесеною в умовних позначеннях шумовою характеристикою транспортних потоків.

Вулично-дорожні покриття по вулиці Великій Перспективній (Карла Маркса) має два типи покриття, це литий асфальтобетон та бруківка.

Рівень шуму для різних покриттів приведений в таблиці 3.

Таблиця 3 – Середні значення рівня шуму для різних типів покриття

Покриття	Швидкість, км/год.									
	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90
Литий асфальтобетон шорсткий	40	45	49	52	57	61	64	67	69,5	71,5
Литий асфальтобетон	34	39	44	47	53	56	60	63	65	68
Поверхнева обробка (8-10 мм)	44	50	55	59	65	69	74	77	79	82
Бруківка	55	59	64	69	74	77	80	82	85	89
Цементобетон шорсткий	39	44	48	51	56	60	64	66	69	71
Цементобетон канавками	41	46	50	52	57,5	61	64	67	69	71

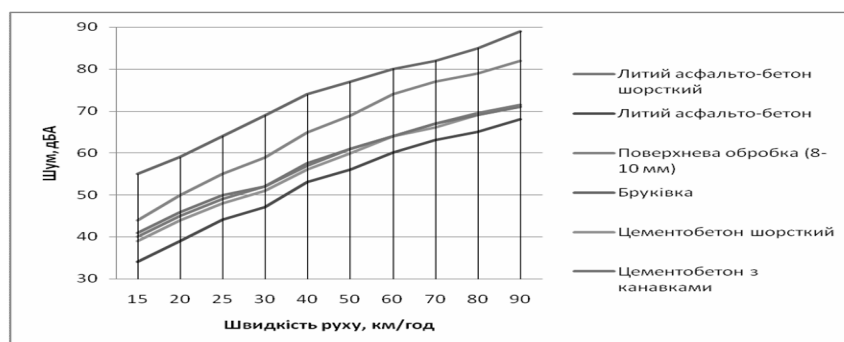


Рисунок 3 – Рівень шуму дорожнього покриття від швидкості руху транспортного засобу

Найважливішою є карта ВДМ, оскільки транспортні шуми в містах складають основний відсоток всіх зовнішніх шумів, які проникають в місця постійного знаходження людей.

Карта шуму ВДМ дозволяє визначити очікуваний рівень звуку в будь-якій точці вулиці або магістралі, а також на межі прилеглої при магістральної території, що має велике значення при плануванні заходів з шумозахисту (зміни категорій, призначення і профілю вулиць, заходи планування і забудови приміагістральних територій та ін.).

В результаті проведення експериментальних досліджень на одній з вулиць міста Кіровограда було побудовано карту шуму ВДМ цієї вулиці (рис. 4).

Отримані при дослідженнях шумового навантаження дані свідчать про те, що порушуються вимоги ДБН 360-92 «Допустимі рівні шуму на різних об'єктах, територіях різного господарського призначення». Так на території вулиці Перспективної, що прилягає до житлових будинків, лікарні, кінотеатру, магазинів, офісів, бібліотек, готелів і гуртожитків від 7 до 21 години має мати такі дані стандарту шумового забруднення, що представлені в таблиці 4.

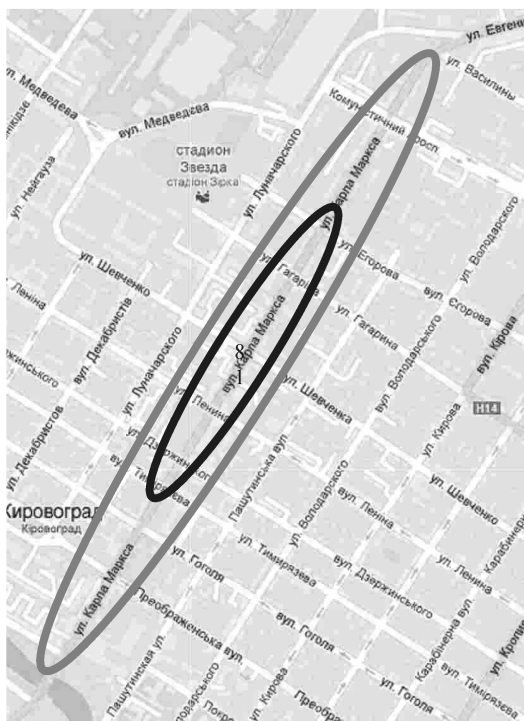


Рисунок 4 – Карта шумового забруднення вулиці Великої Перспективної (Карла Маркса)

Таблиця 4 – Допустимі рівні шуму на різних об'єктах, територіях різного господарського призначення в порівнянні з експериментальними

Вид території	Допустимі рівні звуку, дБА		Час доби	Експериментальні дослідження рівня звуку, дБА
	LA екв.	LA макс.		
Території, що безпосередньо прилягають до				
- будівель	45	60	вден	67
- лікарень			ь	81

Території, що безпосередньо прилягають до житлових будинків, будівель поліклінік, амбулаторій, будинків відпочинку, пансіонатів, будинків-інтернатів, дитячих дошкільних закладів, шкіл та інших навчальних закладів, бібліотек	55	70	вден ь	67-81
Території, що прилягають до будівель: - готелів - гуртожитків	60	75	вден ь	81 75
Майданчики відпочинку на території мікрорайонів, груп житлових будинків, будинків відпочинку, пансіонатів, майданчиків дитячих дошкільних закладів, шкіл та інших учбових закладів	45	60	вден ь	67

Примітка: Еквівалентні та максимальні рівні звуку в дБА для шуму, що створюється засобами автомобільного транспорту біля житлових будинків, готелів, гуртожитків, повернутих у бік магістральних вулиць загальноміського значення допускається приймати шум на 8 дБА вище, вказаних у позиціях 2 та 3.

Висновки. Наявні дані свідчать про перевищення максимальних показників на території вулиці Перспективної на 15-30 %. На площадках відпочинку максимальний рівень звуку дорівнює 60 дБА; на територіях, що прилягають до житлових будинків, поліклінік, закладів освіти – 70 дБА; біля гуртожитків – 75 дБА. Рівні звуку за розрахованими даними експериментальних досліджень лежать в межах від 75 до 81 дБА.

За допомогою даної карти визначено, що 65 % (1205 м) даної вулиці знаходяться в зоні акустичного дискомфорту (рівень шуму 61-75 дБА), при цьому 35 % (645 м) – зона стійкого акустичного дискомфорту (рівень шуму 79-81 дБА).

Для зниження шуму автомобільного транспорту рекомендується застосовувати два методи: зниження швидкості руху транспортних засобів, покращення регулювання вуличного потоку, заборона руху для окремих видів автомобілів по окремих трасах і в певний час доби; покращення звукоізоляції будинків і влаштування протишумових екранів; удосконалення ходової і моторної частин транспортних засобів.

Список літератури

1. Осипов Г.Л. Защита от транспортного шума в городах и населенных пунктах / Тез. докл. науч.-техн. симпозиум.-сем. Обеспечение экологической безопасности – Севастополь, 2002.
2. Угненко Е. Б. Усовершенствование методов оценки экологической безопасности окружающей природной среды при строительстве и реконструкции автомобильных дорог / Угненко Е. Б. – Харьков: ХНАДУ, 2005. – 140 с.
3. Луканин В. Н. Снижение шума автомобиля / Луканин В. Н. – М.: Машиностроение, 1981. – 158 с.

O. Bevz, S. Magopec

Kirovograd national technical university

Estimation of action of motor transport streams on the acoustic environment of city territory (on the example of city of Kirovograd)

In this work results over of analysis of acoustic data are brought in relation to the noise loading of environment of street Large Perspective from transport vehicles on adjoining territory.

On the basis of results of the conducted analysis of levels of the noise loading from transport streams in the street Large Perspective cities of Kirovograd, taking into account the real local terms, found out the area of enhance able sound-level and certain areas, a sound-level on which exceeds a possible norm maximum.

Information is got at researches of the noise loading testify that the requirements of ДБН 360-92 are violated and noise exceeds a possible norm.

For the decline of noise of motor transport it is recommended to apply two methods: decline of rate of movement of transport vehicles and improvement of sound-proofing of houses.

city noise, sound-level, acoustic discomfort, noise description

Одержано 20.05.13

УДК 621.9.06

І.А. Валявський, канд. техн. наук В.Ю.Шапошник, магістр

Кіровоградський національний технічний університет

Кінематичний аналіз верстата з паралельною кінематикою типу «дельта»

В статті розглянуто вирішення зворотної задачі кінематики для верстата з паралельною кінематикою типу «дельта».

зворотна задача кінематики, кінематичний аналіз, верстат з паралельною кінематикою, дельта

И.А. Валявский, В.Ю. Шапошник

Кировоградский национальный технический университет

Кинематический анализ станка с параллельной кинематикой типа «Дельта»

В статье рассмотрены решения обратной задачи кинематики для станка с параллельной кинематикой типа «дельта».

обратная задача кинематики, кинематический анализ, станок с параллельной кинематикой, дельта

Актуальністю проблеми підвищення точності, продуктивності, надійності та довговічності є передача енергетичних потоків та рухів декількома паралельними шляхами.

Технологія компоновки паралельної кінематикою, дозволяє істотно спростити і полегшити конструкцію верстата і створити оптимальні умови для швидкісної обробки різанням.

На обладнанні можуть виконуватися свердлильні, розточувальні, фрезерні, різьбонарізні та шліфувальні роботи.

Замкнутий кінематичний ланцюг забезпечує більш високу жорсткість всієї конструкції і менші навантаження на кожен привід, це в свою чергу призводить до підвищення точності позиціонування робочого органу. До переваг даного класу обладнання також відносяться: простота базової конструкції; простота зборки завдяки обов'язковому введенню в систему управління позицій нерухомих точок і шарнірів; ідентичність використовуваних приводів та інших компонентів, які при масовому виробництві можуть бути легко уніфіковані, що в свою чергу призведе до зниження вартості подібного обладнання; відсутність напруг згину в розсувних штангах працюють тільки на розтягування і стиснення.

Одним з найбільш перспективних видів верстатів з паралельною кінематикою є верстат типу «Дельта». Дельта – технологічне обладнання з паралельною кінематикою, побудоване на основі кінематичного з'єднання штанг, які виконані у вигляді паралелограмного механізму, а перетворення рухів реалізується шляхом примусового обертання опорних шарнірів, змонтованих на нерухомому стаціонарному блоку.

Аналіз існуючих механізмів «Дельта» показує, що усі вони підрозділяються на дві групи: з приводами обертальної дії та з лінійними приводами.

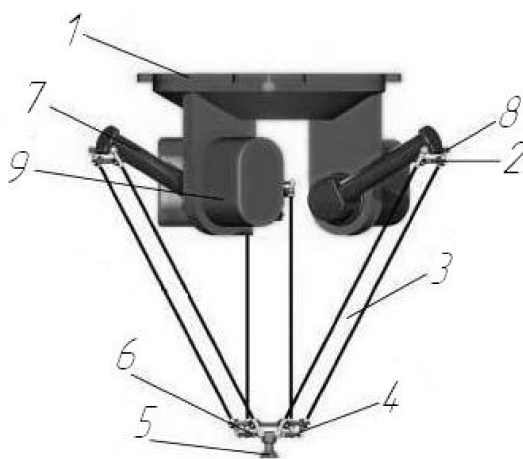
Механізми «Дельта» з приводами постійної дії значно складніші за конструктивним виконанням, ніж механізми з приводами обертального руху внаслідок використання напрямних, які мають різноманітні положення у просторі. Рух виконавчого органу здійснюється при переміщенні опорних шарнірів вздовж напрямних.

Ще одна кінематична ланка забезпечує головний рух від двигуна, розміщеного на нерухомій несучій системі обладнання, до виконавчого органу, змонтованого на рухомій платформі.

Різне розташування напрямних у просторі обумовлюється технологічними задачами та визначеною формою та розмірами робочого простору.

Технологічне обладнання та робота технічної системи з паралельною кінематикою типу «Дельта» з приводом обертального руху знайшли широке використання у харчовій, фармацевтичній промисловості та приладобудуванні.

Одним з недоліків є складність управління подібними механізмами. Потрібно в реальному режимі часу розраховувати кути повороту шарнірів для того, щоб робочий орган перемістився в задане положення. Тобто необхідно вирішувати зворотню задачу кінематики.



1 – нерухома платформа; 2 – пружина; 3 – паралелограм; 4 – кульовий шарнір; 5 – робочий орган;
6 – рухома платформа; 7 – штанга; 8 – кульовий шарнір; 9 – двигун.

Рисунок 1 – Схема верстата з примусовим обертальним рухом опорного шарніру

При повороті двигуна 9 (рис.1), пов'язані з ним кінематичні ланцюги повертаються, і за допомогою паралелограмних механізмів діють на робочий орган 5, переміщаючи його. Отже, для переміщення інструменту на задану величину необхідно лінійні параметри його переміщення перевести в кутові параметри повороту двигунів.

Введемо позначення (рис.2).

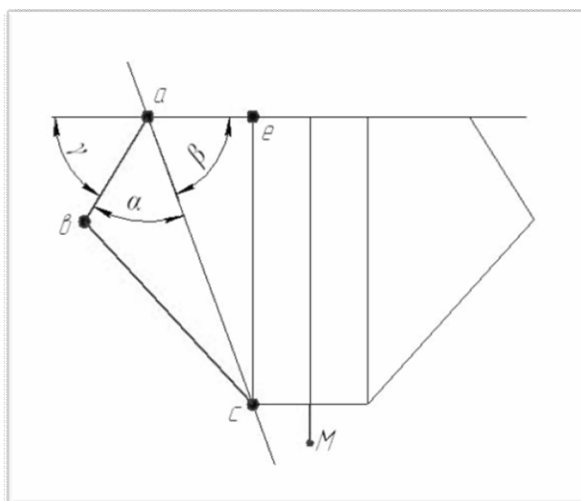
Задача зводиться до знаходження кута γ повороту шарніра а, при заданих координатах точки М.

Таким чином стаття присвячена вирішенню зворотної задачі кінематики для механізму типу «дельта», яка полягає в тому, що за заданими координатами робочого органу треба визначити кути повороту шарніра.

З розрахункової схеми (рис.2) видно, що:

$$\gamma + \beta + \alpha = 180, \tag{1}$$

звідси $\gamma = 180 - (\alpha + \beta)$.



a – точка, в якій вал двигуна з’єднаний з кінематичною ланкою; b – шарнір; c – шарнір, який з’єднаний з рухомою платформою; M – точка ВО, для якої вирішується зворотна задача

Рисунок 2 – Розрахункова схема

З положень аналітичної геометрії можна записати:

$$\alpha = \arccos\left(\frac{bc^2 + ab^2 - ac^2}{2 \cdot bc \cdot ab}\right), \tag{2}$$

В формулі [2] величини ab та bc відомі (задані конструктивно). Величину ac можна визначити за формулою, яка використовується для визначення довжини кінематичної ланки гексаподу:

Так, довжина кінематичної ланки ac:

$$l_{ac} = \sqrt{x_{ac}^2 + y_{ac}^2 + z_{ac}^2}, \tag{3}$$

де

$$\begin{aligned} x_{ac} &= x_{a(n)} - x_{a(n)} - \cos \varphi_p'' \cdot \cos \psi_p'' \cdot (x_{c(p)} - x_{M(p)}) + \\ &\quad + \cos \varphi_p'' \cdot \sin \psi_p'' \cdot (y_{c(p)} - y_{M(p)}) - \sin \varphi_p'' \cdot (z_{c(p)} - z_{M(p)}); \\ y_{ac} &= y_{A(n)} - y_{M(n)} - (\cos \theta_p'' \cdot \sin \psi_p'' + \sin \theta_p'' \cdot \sin \varphi_p'' \cdot \cos \psi_p'') \cdot (x_{c(p)} - x_{M(p)}) - \\ &\quad - (\cos \theta_p'' \cdot \cos \psi_p'' - \sin \theta_p'' \cdot \sin \varphi_p'' \cdot \sin \psi_p'') \cdot (y_{c(p)} - y_{M(p)}) + \\ &\quad + \sin \theta_p'' \cdot \cos \varphi_p'' \cdot (z_{c(p)} - z_{M(p)}); \end{aligned}$$

$$z_{ac} = z_{a(n)} - z_{M(n)} - (\sin \theta_p'' \cdot \sin \psi_p'' + \cos \theta_p'' \cdot \sin \varphi_p'' \cdot \cos \psi_p'') \cdot (x_{c(p)} - x_{M(p)}) - \\ - (\sin \theta_p'' \cdot \cos \psi_p'' - \cos \theta_p'' \cdot \sin \varphi_p'' \cdot \sin \psi_p'') \cdot (y_{c(p)} - y_{M(p)}) + \\ + \cos \theta_p'' \cdot \cos \varphi_p'' \cdot (z_{c(p)} - z_{M(p)}).$$

$(x, y, z)_n$ – нерухома система координат, пов'язана з несучою системою верстата;

$(x, y, z)_p$ – рухома система координат, пов'язана з ВО.

Наступний крок у вирішенні даної мети полягає у визначенні кута β , який знаходиться між сторонами ac і ec , за формулою:

$$\beta = \arcsin \frac{ae}{ac}. \quad (3)$$

Звідси кут γ повороту шарніру розраховується як кут між прямою ab і площиною:

$$\gamma = 180 - \left[\left(\arccos \left(\frac{bc^2 + ab^2 - ac^2}{2 \cdot bc \cdot ab} \right) + \left(\arcsin \frac{ae}{ac} \right) \right) \right]. \quad (4)$$

Кути повороту інших шарнірів визначаються аналогічно.

Висновок. Результатом кінематичного аналізу верстата-дельта є математична модель залежності довжини кінематичних ланок від поточного положення виконавчого органу у процесі формоутворення поверхонь деталей. Крім того, визначені математичні залежності утворення особливих положень розташування кінематичних ланок у просторі та вплив кутів поворотів опорних шарнірів на параметри робочого простору. Таким чином можна взяти кут повороту для кожного шарніру.

Список літератури

1. Clavel, R. (1991) *Conception d'un robot parallèle rapide à 4 degrés de liberté*. Ph.D. Thesis, EPFL, Lausanne, Switzerland
2. Bonev, I. (2001) Delta Parallel Robot — the Story of Success, Online article available at <http://www.parallemic.org/Reviews/Review002.html>
3. Клеветов Д.В. Применение механизмов с параллельной кинематической структурой в технологических процессах производства [Текст] /Д.В. Клеветов // Вооружение. Технология. Безопасность. Управление [Текст]: материалы V научно-технической конференции аспирантов и молодых ученых. Вбч. Ч. 4. – Ковров: ГОУ ВПО «КГТА им. В.А. Дегтярева», 2010. С. 59-71.

I. Valyavskaya, V. Shaposhnik

Kirovograd national technical university

Kinematic analysis of parallel kinematics machine type "delta"

Relevance of improved accuracy, efficiency, reliability and durability is the transfer of energy flows and movements of several parallel paths.

The paper considers the inverse kinematics problem for a machine with parallel kinematics of the "delta".

the inverse problem of kinematics, kinematic analysis, machine tool with parallel kinematics, the delta

Одержано 22.05.13

УДК 621.793

І.Ф. Василенко, доц., канд. техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет

Аналіз структури кераміко-металевих композиційних покриттів, нанесених контактним наварюванням порошкових дротів

У статті описано структуру та склад кераміко-металевих композиційних покриттів, одержаних контактним наварюванням порошкових дротів, показано доцільність використання для формування покриттів плакованої кераміки. Застосування таких покриттів дозволяє підвищити довговічність деталей сільськогосподарської техніки

композиційне покриття, порошковий дріт, контактне наварювання, матриця, наповнювач, мікроструктура

І.Ф. Василенко

Кировоградский национальный технический университет

Анализ структуры керамико-металлических композиционных покрытий, нанесенных контактной наваркой порошковых проволок

В статье описаны структура и состав керамико-металлических композиционных покрытий, полученных контактной наваркой порошковых проволок, показана целесообразность использования для формирования покрытий плакированной керамики. Применение таких покрытий позволяет увеличить долговечность деталей сельскохозяйственной техники

композиционное покрытие, порошковая проволока, контактная наварка, матрица, наполнитель, микроструктура

Значна кількість деталей сільськогосподарської техніки не витримує запланованого ресурсу роботи, особливо це стосується деталей типу “вал”, зокрема валів посівної техніки [4]. Одним з методів підвищення довговічності валів є нанесення композиційних покриттів (КП), яке доцільно здійснювати контактним наварюванням порошкових дротів [3].

У якості наповнювачів КП, що наносяться контактним наварюванням, доцільніше використовувати карбіди металів. Це пояснюється тим, що крім високої твердості, 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.

Основним матеріалом матриці було залізо — недорогий матеріал з високими зварювальними властивостями.

При вивченні умов формування якісного покриття розглядалась гіпотеза: процес контактного наварювання протікатиме стабільніше, розподіл наповнювача у отриманих покриттях буде більш рівномірним, якщо у осерді наварюваних порошкових дротів використовувати композиційні порошки – кераміку, плаковану електропровідним матеріалом.

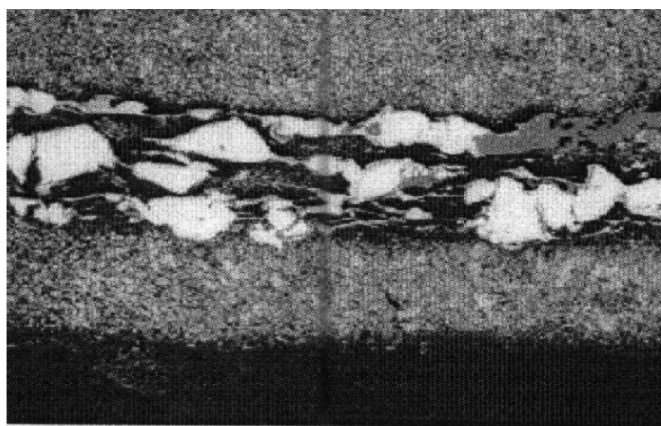
Отже, в статті досліджуються покриття, нанесені контактним наварюванням порошкового дроту, оболонка якого виготовлена зі сталі 08; а осердя містило в одному

з варіантів карбід хрому (30% об'ємних) та залізо, в іншому – плакований нікелем карбід хрому (40% об'ємних) та залізо. Співвідношення компонентів вибрано на основі [2].

Для виявлення процесів, які відбуваються при формуванні КП, проводили порівняльний аналіз структур порошкових дротів та одержаних з них контактним наварюванням покриттів. Мікроструктура наварених покриттів вивчалась як на світловому, так і на растровому мікроскопах.

При дослідженні структури дротів з плакованим і дротів з неплакованим наповнювачем на скануючому електронному мікроскопі JSM-840 було встановлено, що структура дротів, діаметр яких складає 2,0 мм, є ідентичною. У сердечнику порошкового дроту виявлено карбіди хрому, розмір яких складає від 50 до 150 мкм. Встановлено також, що карбіди хрому плаковані досить рівномірним шаром нікелю.

На рис. 1, а подано характерний вигляд мікроструктури КП з неплакованим наповнювачем (Cr_3C_2). Дисперсні частинки карбідів (світлі області) досить рівномірно розподілені в матриці. Характер розподілу частинок карбіду хрому, плакованих нікелем, аналогічний (рис. 1, б). Компонентом матриці у цьому випадку є ще й нікель (рис. 1, б).



а) x100

б) x100

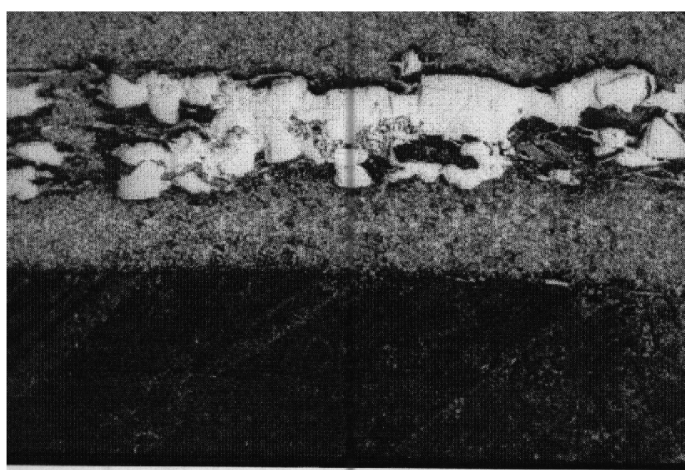
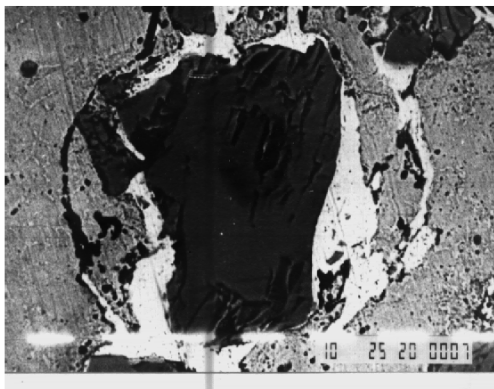


Рисунок 1 — Мікроструктура КП з неплакованим (а) та плакованим (б) наповнювачем

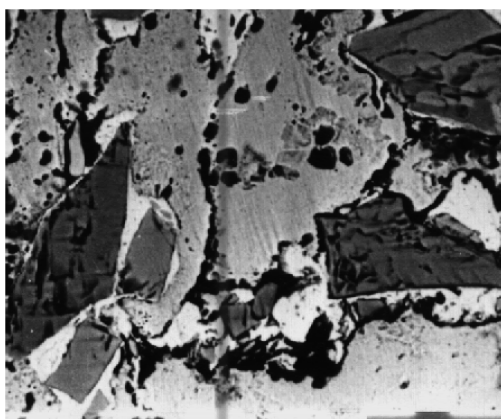
Якщо припустити, що частинки наповнювача являють собою кулі, то характер їхнього розподілу можна описати функцією Пуасона. З таким законом розподілу узгоджується і середня відстань між частинками кераміки.

Порівняння мікроструктури композиційних дротів і наварених покриттів (рис. 2, рис. 3) показує, що 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.



x1500

Рисунок 2 — Вигляд плакованої нікелем частинки наповнювача у КП



x1000

Рисунок 3 — Мікроструктура КП з наповнювачем, плакованим нікелем

Дослідження навареного КП показали, що мікроструктура матриці складається з аустеніто-мартенситу та троостито-мартенситу. Карбіди хрому в КП мають неправильну геометричну форму з розвиненою поверхнею, осколкового типу (рис. 3), що свідчить про відсутність процесу оплавлення. Наявність плакуючого шару згладжує поверхню наповнювача (рис. 2), навіть “заліковує” тріщини, які інколи виникають.

Частинки карбіду хрому досить рівномірно розташовані у матриці КП (рис. 1, рис. 3). При використанні неплакованих карбідів виявлені випадки їх безпосереднього контакту (рис. 1, а), що виключається у покриттях, зміцнених плакованою керамікою, завдяки наявності прошарку нікелю (рис. 1, б, рис. 3).

Як видно з рис. 1, б, у КП, на відміну від дротів, відсутня чітка границя між наповнювачем та матрицею: гранична зона є дуже розпливчастою. Це напевно пов'язано з деякою розчинністю карбідів у металах матриці, а також з наявністю дифузійних процесів в зоні контакту “наповнювач-матриця”.

З метою дослідження рівня міжфазної взаємодії компонентів КП, а також складу і розподілу елементів у покритті використано метод якісного та кількісного

рентгеноструктурного аналізу на шліфах наварених покриттів.

При дослідженні структурної неоднорідності в наплавленому матеріалі досить наочну картину можна одержати при фотографуванні обраної ділянки наплавлення в характеристичних променях досліджуваних елементів. При цьому можливий не тільки якісний, але і кількісний аналіз структурних складових.

Залучення методів растрової електронної мікроскопії та мікрорентгеноспектрального аналізу дозволило визначити склад фаз КП. Установлено, що в частинках, не плакованих нікелем, відбувається взаємна дифузія хрому і заліза, при цьому утворюються фази складного карбїду $(Cr,Fe)_7C_3$, що хоча й сприяє досягненню більш високого ступеня однорідності та щільності навареного матеріалу, але призводить до зниження твердості наповнювача і зносостійкості КП в цілому. У випадку використання плакованого наповнювача утворення фази карбїду $(Cr,Fe)_7C_3$ не виявили. На нашу думку, плакуючий шар нікелю запобігає процесу розчинення наповнювача у залізній матриці, при цьому спостерігається легування матриці нікелем.

Таким чином, на підставі проведених досліджень можна стверджувати, що для утворення більш щільного КП на деталях сільськогосподарської техніки з рівномірною структурою покриття і повним збереженням твердості наповнювача, а отже вищою зносостійкістю доцільно використовувати контактне наварювання порошкових дротів, осердя яких містить залізний порошок та карбїд хрому плакований нікелем.

Список літератури

1. Амелин Д. В., Рыморов Е. В. Новые способы восстановления и упрочнения деталей машин электроконтактной наваркой.— М.: Агропромиздат, 1987.— 150 с.
2. Василенко І.Ф. Зносостійкість покриттів, отриманих контактним наварюванням композиційного дроту// Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства “Підвищення надійності відновлюємих деталей машин”.— Харків: ХДТУСГ.— 2000.— Вип. 4.— С. 66-69.
3. Василенко І.Ф. Підвищення довговічності валів посівних машин композиційними покриттями. Автореферат дис.... канд. техн. наук.— Кіровоград: КДТУ, 2001.— 16 с.
4. Черновол М.І., Василенко І.Ф. Аналіз величини та характеру спрацювання валів посівних машин// Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин.— Кіровоград: КДТУ.— 2001.— Вип. 30.— С. 105-111.

I. Vasylenko

Kirovograd National Technical University

Analysis of the structure of the ceramic-metal composite coatings applied to the contact welding on cored wires

The purpose of article is the study of microstructures ceramic-metal composite coatings applied to the contact welding on cored wires, proving the suitability of such as wear-resistant coatings, and also show the benefits of using the coatings of chromium carbide clad nickel.

To identify the processes occurring during the formation of the composite coating was carried out a comparative analysis of the structures of cored wires and derived welding on the contact surfaces. The microstructure of the welded surfaces was studied as on the light and the scanning microscopes. As shown and described article coatings pictures at a magnification of 100, 1000 and 1500. Evaluated porosity coatings, uniform distribution of carbides in the coatings, as well as the microstructure of metal matrix coatings.

The studies concluded that the usefulness of using to improve the durability of parts of agricultural machines of contact welding on cored wires, the core of which contains iron powder and chromium carbide, nickel-plated.

composite coating, cored wire, contact welding, microstructure

Одержано 22.05.13

УДК 536.423.4

В.В. Горин, доц., канд. техн. наук

Одесская государственная академия технического регулирования и качества

Влияние неизотермичности теплообменной поверхности на эффективность оребрения при конденсации пара

Представлены теоретические исследования влияния неизотермичности поверхности на теплообмен при конденсации на гладкой и оребренной поверхностях
неизотермичность поверхности теплообмена, локальные коэффициенты теплоотдачи, толщина пленки, эффективность оребрения

В.В.Горін

Одеська державна академія технічного регулювання та якості

Вплив неизотермічності теплообмінної поверхні на ефективність оребрення при конденсації пари

Наведені теоретичні дослідження впливу неизотермічних поверхні на теплообмін при конденсації на гладкій та оребреній поверхнях.

Встановлено, що неизотермічність поверхні теплообміну надає істотний вплив на середні коефіцієнти тепловіддачі, приводячи до їх зниження.

неизотермічність поверхні теплообміну, локальні коефіцієнти тепловіддачі, товщина плівки, ефективність оребрення

Постановка проблемы и анализ публикаций

В современных системах кондиционирования и в теплонасосных установках процесс конденсации пары происходит преимущественно внутри горизонтальных труб и каналов. В этом оборудовании применяют в основном различные хладоны.

Не смотря на то, что с момента появления первых работ по исследованию конденсации на оребренных поверхностях опубликованы сотни новых результатов интерес к изучению процессов гидродинамики и теплообмена на таких поверхностях, особенно в случае конденсации внутри горизонтальных труб, не уменьшается. Это связано как с появлением новых хладагентов, альтернативных ранее используемым в технике хладонов R-12, R-22, так и с более точной техникой исследования режимов течения двухфазного потока внутри труб, а также с новыми методами интенсификации, такими как закрутка потока, трехмерные ребра и тому подобное.

В период 2005 – 2010 гг. опубликовано больше 200 работ с результатами новых исследований, но остались нерешенными две главных проблемы в этой области.

Первая – отсутствие методик расчета гидравлического сопротивления и теплоотдачи при конденсации внутри гладких и оребренных труб, которые с достаточной для конструирования точностью, позволят рассчитывать коэффициенты теплоотдачи и гидравлического сопротивления при конденсации рабочих веществ в теплообменном оборудовании с конденсацией в горизонтальных трубах.

Вторая – отсутствие исследований влияния неизотермичности интенсифицированных поверхностей на теплообмен с учетом двухмерного поля температур.

Постановка задачі

Начальным шагом к решению проблемы влияния неізотермичности интенсифицированных поверхностей на теплообмен является необходимость в проведении теоретических исследований этих процессов.

Результаты исследований

1. Влияния неізотермичности поверхности на интенсивность теплопереноса в тонких пленках жидкости.

Во многих процессах теплообмена со стекающими жидкими пленками существует неізотермичность поверхности по длине пробега пленки вследствие неравномерности обогрева или охлаждения стенки, переменных локальных коэффициентов теплоотдачи или толщины пленки.

Перепады температур по толщине и длине пробега x пленки чаще всего не превышают $10 \div 30$ К, поэтому параметр неізотермичности $\varphi = T_{cm} - T_{ж} \approx 1$ и можно, основываясь на результатах исследований по обтеканию жидкостью пластины, пренебречь влиянием незначительных изменений по длине пробега пленки x физических свойств жидкости на профиль скорости и температуры в пограничном слое. При нагреве, охлаждении или испарении пленки жидкости, когда отсутствует влияние температурного напора стенка - пленка ΔT_x на интенсивность процесса, локальный коэффициент теплоотдачи α_x будет стоянным по x .

Этот вывод получается также при анализе результатов решения задачи теплообмена при ламинарном пленочном течении жидкости на неізотермической поверхности в работе [1].

В [5.1] получена зависимость для локальной теплоотдачи:

$$\frac{\alpha_x}{\alpha_{из}} = 1 + 0,2\gamma_1 + 0,175\bar{\gamma}_1; \quad (1)$$

$$\gamma = \frac{T'_{cm}}{T_{cm} - T_{ил}} \delta_x Re Pr; \bar{\gamma}_1 = \frac{T'_{ил}}{T_{cm} - T_{ил}} \delta_x Re P,$$

где T'_{cm} и $T'_{ил}$ - производные температур стенки по x .

Покажем, что слагаемые γ_1 и $\bar{\gamma}_1$ чаще всего много меньше единицы. Зададим степенной закон изменения по:

$$\Delta T_x = (k + 1) \Delta \bar{T} \left(\frac{x}{l}\right)^k. \quad (2)$$

Максимальное значение производной $\frac{d\Delta T_x}{dx}$ при $k > 0$ будет при $x = l$.

Если положить линейное изменение температуры по $\alpha_x = f(\Delta T_x)(k = 1)$, то 2-е и 3-е слагаемые в (1) будут иметь соизмеримые с единицей величины при $Re Pr > 2500$ для $l = 1$ м. В диапазоне изменения чисел $Pr = 1,5-10$ число Re при этом будет значительно превышать не только критическую величину Re перехода в волновое течение, когда уже, строго говоря, несправедливо решение (1), но будет соответствовать турбулентному течению пленки, когда математическое описание задачи в [1] неприемлемо в принципе.

При короткой длине пробега пленки, например, для горизонтальной трубы и высоких k следует учитывать по (1) влияние неізотермичности на α_x . Но следует заметить, что большие k , близкие к единице, могут иметь, как показали результаты решения уравнения теплопроводности при граничных условиях 3-го рода в [2], лишь при низкой теплопроводности λ_{cm} стенки, $\lambda_{cm} \leq 16$ Вт/мК.

При конденсации пара $\alpha_x = f(\Delta T_x)$ и будет отличаться от $\alpha_{из}$, когда $\Delta T_x = const$ по x , что показано впервые в [3]. Это следует из решения уравнения

енергии для пленки конденсата. Так, при конденсации пара на вертикальной пленке при нуссельтовских допущениях для ламинарного течения конденсата имеем уравнение

$$\delta_x^3 d\delta_x = \frac{\lambda \mu \Delta T_x}{r \rho^2 g} dx. \tag{3}$$

Приняв $\delta=0$ при $x=0$, получим в результате интегрирования (3) зависимость для δ_x :

$$\sigma_x = \left[\frac{4 \mu \lambda \int_0^x \Delta T_x}{g \rho^2 r} \right]^{0,25}, \tag{4}$$

как видно, имеющую существенное отличие от зависимости, определяющей δ_x при $\Delta T_x = const$. В [4] в результате решения уравнений движения и энергии более полных, а именно: с учетом инерционных и конвективных членов, чем в постановке Нуссельта, показано, что, как и для изотермической поверхности, решение в виде (4) справедливо, когда $k = r/C_p \Delta T_x > 5$ и $Pr = 1 \div 100$.

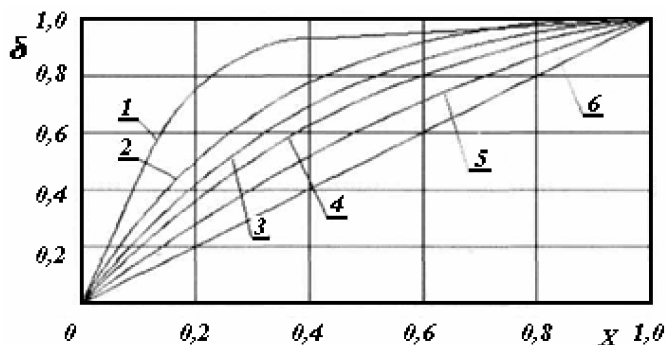
Так как $\alpha_x = \lambda/\sigma_x$ для ламинарной пленки, из (4) сразу ясно, что α_x для $T_x = var$ отличается от $\alpha_{из}$. Объяснить физически это можно, если построить зависимость изменения толщины пленки конденсата по x .

Примем закон изменения ΔT_x по x в виде (2). Используя (2) и (4), получим соотношение, определяющее изменение профиля пленки по длине пути конденсата:

$$\bar{\delta} = \frac{\delta_x}{\delta_l} = \left(\frac{x}{l} \right)^{\frac{k+1}{4}}.$$

Заметим, что зависимость (4) допускает $k > -1$, т.к. при $k \leq -1$ $\delta_x = \infty$ при $x=0$.

На рис.1 показано изменение профиля пленки по $X = x / l$ при различной степени неізотермичности. При $k > 0$ δ_x везде, за исключением начальной и конечной точек, меньше, а при $k < 0$, наоборот, больше, чем δ_x для изотермической поверхности, когда $k = 0$. Отсюда и различия в локальных α_x для изотермической и неізотермической поверхностей.



1 - степень неізотермичности $k = -0,5$; 2 - 0; 3 - 0,5; 4 - 1,0; 5 - 2; 6 - 3

Рисунок 1 - Изменение толщины пленки конденсата по длине пути

Задача о влиянии неізотермичности поверхности на $\bar{\alpha}_l$ при течении ламинарной пленки жидкости постоянной толщины решалась в [5] в сопряженной постановке для случая, когда температура пленки на свободной поверхности T_{nl} постоянная, а температура стенки на внешней поверхности изменяется по x линии. Показано, что при реальных геометрических размерах аппаратов решение задачи зависит от двух параметров: $P = l/\delta_x RePr$ и $Bi = \lambda b_{cm}/\lambda_{cm} \delta_{cm}$.

Для тонких ламинарных пленок ($Re \leq 100$) $\lg P \geq 0$ и средний $\bar{\alpha}_l$, который в [5] определен по разности температур стенки при $x=1$ и T_{nl} , вычисляется по следующей

зависимости:

$$\overline{Nu} = \frac{\overline{\alpha}_l \delta_x}{\lambda} = 0,55 \frac{1}{Bi+1}. \quad (6)$$

При $Bi \ll 1$ из (6) получается $Nu = 0,55$, а должно быть $Nu = 1$.

При конденсации пара на изотермической поверхности в [3] было показано, что на плоской поверхности $\overline{\alpha}_l$ инвариантен относительно неравномерности поля температур. Этот результат следует как из анализа рис.1 (для всех k при $x = l \delta_x/\delta_l = 1$), так и непосредственно из определения $\overline{\alpha}_l$

$$\overline{\alpha}_l = \frac{\lambda \int_0^l \frac{\Delta T_x}{\delta} dx}{l \Delta T} \quad (7)$$

используя для δ_x зависимость (4), а для ΔT_x - (2).

Для криволинейных контуров поверхности $\overline{\alpha}_l$ зависит от неизотермичности стенки, так как, согласно решению в [3], с использованием (2) имеем:

$$\frac{\overline{\alpha}_l \delta_x}{\lambda} = \left(\frac{4}{3}\right)^{3/4} \left[\int_0^l (k+1) X^k f^{1/3}(X) dx \right]^{3/4} \quad (8)$$

где $f(X)$ - форма поверхности,

$$\sigma_x = \left[\frac{3 \lambda \Delta T l \mu}{\rho^2 g r} \right]^{1/4}, \quad (9)$$

В технике чаще всего криволинейные поверхности - это горизонтальные трубы. Для них $f(X) = \sin(\pi X)$, $l = \pi d/2$. Решим численно интеграл в правой части (8) для различных k от -1 до 4.

Результаты вычислений представлены на рис.2 в виде зависимости отношения a_i к $a_{из}$, когда $k = 0$, от степени неизотермичности.

Как видно из графика, любая неизотермичность поверхности горизонтальной трубы приводит к снижению $\overline{\alpha}_l$ по сравнению с изотермической поверхностью. Для $k > 0$ при изменении k до 2 $\overline{\alpha}_l$ ниже всего на 17% $\overline{\alpha}_{из}$.

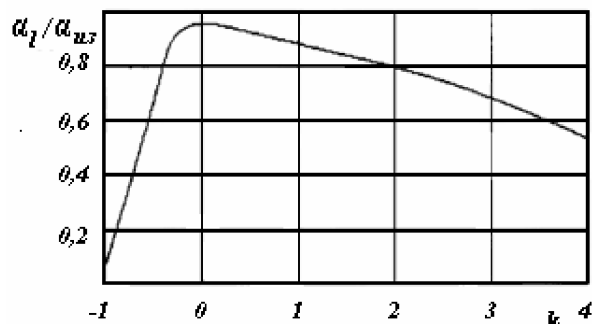


Рисунок 2 – Влияние степени неизотермичности на интенсивность конденсации пара на горизонтальной трубе

При нагреве, охлаждении, конденсации или испарении пленки жидкости в условиях отсутствия влияния T_x на α_x и учитывая, как показано выше, независимость α_x от температуры стенки, отношение $\overline{\alpha}_l$ к $\overline{\alpha}_{из}$ можно определить следующим образом:

$$\frac{\overline{\alpha}_l}{\overline{\alpha}_{из}} = \frac{\int_0^l \alpha_x \Delta T_x dx}{\overline{\alpha}_{из} \int_0^l \Delta T_x dx} \quad (10)$$

Положим $\alpha_x = a x^n$, T_x определим по зависимости (2). Тогда

$$\frac{\overline{\alpha}_l}{\overline{\alpha}_{из}} = 1 + \frac{nk}{n+k+1}. \quad (11)$$

При этом по условию определения интеграла (10) $n + \kappa + 1 > 0$. Согласно (11), при постоянном по x $\alpha_x (n = 0)$ $\bar{\alpha}_1 = \bar{\alpha}_{\text{ср}}$, если делать сравнение при одинаковых ΔT , а не по ΔT_x при $x = l$, как в [5].

В остальных случаях в зависимости от знака n и k возможны как $\bar{\alpha}_1 / \bar{\alpha}_{\text{ср}} < 0$ так и $\bar{\alpha}_1 / \bar{\alpha}_{\text{ср}} > 0$. Так, при течении пленки жидкости по горизонтальной трубе $n < 0$ и ΔT_x растет с увеличением x ($k > 0$). Важным при расчете средней теплоотдачи при течении пленки по неизотермической поверхности является определение степени неизотермичности поверхности, т. е. показателя k в зависимости (2). Эта величина может быть найдена в результате решения уравнения теплопроводности для стенки при граничных условиях 3-го рода. Поэтому k будет являться функцией как геометрических характеристик и теплопроводности $\lambda_{\text{ст}}$ стенки, так и величины и степени неравномерности α_x по x .

2. Влияния неизотермичности на теплообмен при конденсации на оребренной поверхности.

Расчеты эффективности оребрения при конденсации пара без учета возможного влияния сил поверхностного натяжения приведены в работах [6,7]. Рассмотрены ребра постоянного поперечного сечения с одномерным распределением температур по высоте ребра, при этом коэффициенты теплоотдачи при конденсации описаны зависимостями Нуссельта [8]. В [7] приведены результаты решений в виде отношения безразмерных перепадов температур $\theta = \Delta T / \Delta T_0$ от характеристического параметра ребра

$$N^2 = m = \frac{\alpha_0 P h^2}{\lambda_{\text{ст}} f},$$

где P , f и h - соответственно, периметр, площадь поперечного сечения и высота ребра, а α_0 - коэффициент теплоотдачи, который для вертикального ребра рассчитывается при $x = h$. Распределение температур по длине горизонтального цилиндрического ребра показано на рис.3.

Профили температур для вертикальных ребер, направленных вершиной вверх и вниз, лишь незначительно отличаются от профиля на рис.3. Это же относится к эффективности ребер (рис.4) [7].

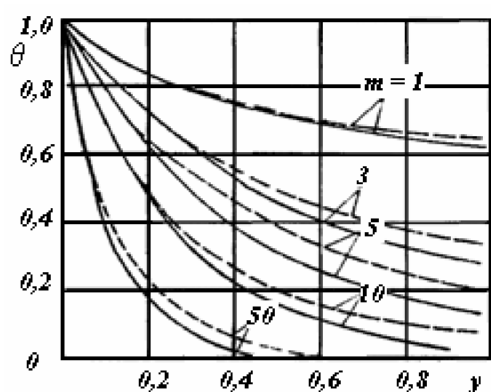
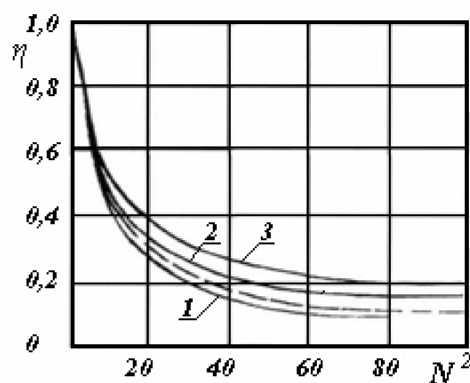


Рисунок 3 - Перепад температур в прямоугольном ребре: сплошные линии - расчет по [7] при $\alpha=f(x)$, пунктирные - по (12)



1 - ребро горизонтальное; 2, 3 - вертикальное, обращенное соответственно, торцом вверх и вниз
Рисунок 4 - Эффективность ребра при конденсации на нем пара [7]

С учетом [9] влияния неоднородности теплоотдачи по высоте ребра линии на рис. 3 и 4 совпадают с расчетом по известным [7] соотношениям для профиля

температур:

$$\theta = \frac{c h N (1-x)}{c h N}, \quad (12)$$

где $x' = x/h$, h - высота ребра; и эффективности ребра η :

$$\eta = \frac{c h N}{N}. \quad (13)$$

В (12) и (13) α_0 рассчитывается при $x = h$.

На безразмерный профиль температур θ и эффективность ребра η помимо N влияет, как известно, профиль ребра. Лучшей эффективностью обладает вогнутый параболический профиль, худшей - прямоугольный. Однако это различие заметно проявляется при больших N , согласно [7], при $N > 2$. Таким образом, основное влияние на неизотермичность ребер при конденсации будет оказывать локальная теплоотдача и высота ребра. Для жидкостей с низкой теплопроводностью, типа фреонов, для кольцевых ребер на горизонтальной трубе эффективность оребрения η близка к единице при $D_p/D_{ст} < 1,4$. Интенсивность конденсации в случае η , близким к единице, выше по сравнению с гладкой поверхностью для горизонтальной трубы из-за увеличения поверхности и за счет более высоких коэффициентов теплоотдачи на коротких участках, каковыми являются ребра.

Поэтому в конденсаторах низкокипящих жидкостей относительно высокие ребра, когда еще не проявляется эффект поверхностных сил нашли применение в промышленности. Для случая конденсации водяного пара поперечные ребра, согласно данным [7], дают низкую эффективность. Так $\eta = 0,4 - 0,5$ при $m < 10$, что для стали с $\lambda_{ст} = 50 \text{ Вт/м К}$ соответствует высоте ребра $h < 2$ мм. При такой высоте на процесс конденсации начинают оказывать влияние поверхностные силы, с одной стороны, усиливающие конденсацию на ребре, а с другой - создающие утолщенный, по сравнению с гладкой трубой, поддонный слой в случае горизонтального расположения ребер.

При продольном оребрении вертикальной поверхности, когда конденсат по ребру и между ребрами течет в одном направлении под действием силы тяжести, интенсификация конденсации может быть связана лишь с увеличением поверхности теплообмена. Анализ эффективности такого оребрения, т.е. когда пренебрегают влиянием поверхностных сил, рассмотрен в [7]. Задача решена в одномерном приближении и пренебрежении влиянием поверхностных сил. Полученные в результате решения профили температур совпадают при одинаковых m с данными для поперечных ребер.

Выводы

1. Установлено, что неизотермичность поверхности теплообмена как в гладких трубах и каналах, так и, тем более, в оребренных, оказывает существенное влияние на средние коэффициенты теплоотдачи, приводя к их снижению.

2. В случае конденсации на ребрах необходимо учитывать 2-х мерность поля температур, которая приводит к более резкому снижению температуры по высоте ребра и большему снижению среднего коэффициента теплоотдачи.

Список литературы

1. Nusselt W. Oberfachtn Kondensation des Wasserdampfes. - Zeitschrift VDI. - 1916. - Bd. 60. - P. 541-546, 568-575.
2. Котельникова О. П., Степанянц Л. Г. Параметрический метод решения задач при пленочном течении жидкости// ИФЖ. - 1983. - т. X. - № 4. - С. 632-636.
3. Лабунцов Д. Л. Обобщение теории конденсации Нуссельта на условия пространственно-неравномерного поля температур теплообменной поверхности// В кн. Теплообмен и гидравлическое сопротивление. Труды МЭИ. - 1965. - вып. 63. - С. 79-85.

4. Линхард, Дир. Ламинарная пленочная конденсация на неизотермических поверхностях, поверхностях с произвольным тепловым потоком и на ребрах// Теплопередача. Труды ASME. – 1974. - т. 96. - № 2. - С. 90-98.
5. Холпанов Л. П. и др. Сопряженный теплообмен между пленкой жидкости и твердой стенкой// ИФЖ. - т. 27. - № 6. - С. 1091-1097.
6. Михалевич А.А., Песляк В.И. Расчет эффективности оребрения в условиях конденсации теплоносителя на мелкорребристой поверхности// Доклады АН БССР. – 1975. - т. 19. - С. 420-423.
7. Зозуля Н.В., Карху В.А. Распределение температуры и коэффициент теплоотдачи при конденсации пара на прямоугольном ребре// ИФЖ. – 1967. - т. 13. - № 6. - С. 853-858.
8. Исаченко В.П. Теплообмен при конденсации. - М.: Энергия, 1977. - 236 С.

V.Gorin

Odessa State Academy of Technical Regulation and Quality

Impact nonisothermal heat transfer surfaces on the efficiency finned vapor condensation

Theoretical studies of the effect on the non-isothermal heat transfer surface condensation on smooth and ribbed surfaces.

Conducting theoretical investigations of vliyaniniya nonisothermicity intensified heat exchange surfaces

Nonisothermal heat transfer surface has a significant effect on the average heat transfer coefficient, leading to their decline.

nonisothermal heat exchange surface, film thickness, fin efficiency

Одержано 18.04.13

УДК 621.73+007

Б.Б. Кришкін, доц., канд. техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет

Оптимізація технології холодного об'ємного штампування накидних гайок рукавів високого тиску

У статті описано методику моніторингу та оптимізації конструктивних параметрів робочих деталей штампу для холодного об'ємного штампування деталі «Гайка накидна» із візуалізацією отриманих результатів за допомогою програмного комплексу DEFORM 3D
пуансон, матриця, зусилля, деформації, видавлювання, напруження

Б.Б. Крышкин, доц., канд. техн. наук

Кировоградский национальный технический университет

Оптимизация технологии холодной объемной штамповки накидных гаек рукавов высокого давления

В статье описана методика мониторинга и оптимизации конструктивных параметров рабочих деталей штампа для холодной объемной штамповки детали «Гайка накидная» с визуализацией полученных результатов при помощи программного комплекса DEFORM 3D
пуансон, матрица, усилия, деформации, выдавливание, напряжения

На ПрАТ «Гідросила Леда» (м. Кіровоград) інтенсивно впроваджуються передові енерго- та матеріалоозаощаджувальні технологічні процеси холодного об'ємного штампування деталей рукавів високого тиску замість отримання цих виробів методами механічної обробки.

З метою зменшення питомих навантажень на інструмент, моніторингу його проблемних ділянок та підвищення ефективності штампування були проведені експериментальні дослідження напружено-деформованого стану (НДС) робочих деталей найбільш навантаженого інструменту III переходу – холодного видавлювання порожнини гайки. В процесі робіт здійснювали візуалізацію отримуваних результатів за допомогою програмного комплексу DEFORM 3D.

Вигляд напівфабрикату на переході представлено на рис.1.

НДС в робочих деталях інструменту оцінювали за допомогою значень граничних деформацій на переході, використовуючи методику [1]:

$$\sum h_{III} = \frac{22 - 18}{22} = 0,1512 = 15,12 \%;$$

$$\sum D_{III} = \frac{31^2 - 27,7^2}{31^2} = 0,2942 = 29,42 \%.$$

Накопичені деформації становили:

$$e_{h_i} \rightarrow 0,054; e_{D_i} \rightarrow 0,065; e_{h_{ii}} \rightarrow 0,163; e_{D_{ii}} \rightarrow 0,35; e_h = 0,054 + 0,163 = 0,217; e_D = 0,065 + 0,35 = 0,415. \text{ Цьому відповідає } \sum E_h = 19,5 \% \text{ та } \sum E_D = 33,9 \%.$$

Максимальне питоме зусилля на переході [1]:

$$P_{III} = \sigma_s \left(\frac{D_{M^2}}{D_{n^2}} \ln \frac{D_{M^2}}{D_{M^2} - D_{n^2}} + \frac{H}{D_n} \times \frac{D_{M^2}}{D_{M^2} - D_{n^2}} \right) \left(1 + \frac{2}{3} \mu \frac{D_n}{H} \right),$$

де $H = 18$ мм – висота заготовки в кінці переходу.

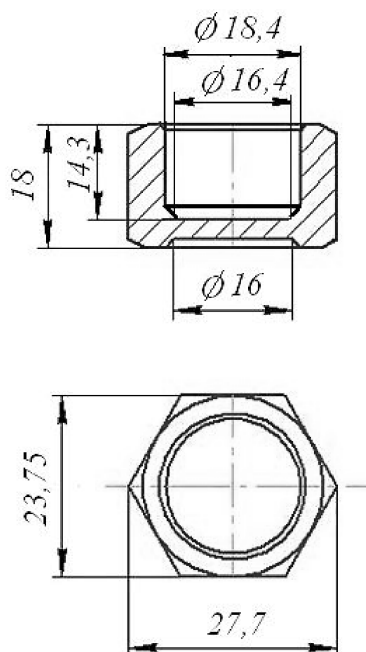


Рисунок 1 – Напівфабрикат після переходу зворотнього видавлювання

В якості параметру D_M було прийнято діаметр описаного кола шестигранника (найбільший радіальний розмір напівфабрикату). Тоді:

$$P_{III} = 540 \left(\frac{27,7^2}{22^2} \ln \frac{27,7^2}{31^2 - 22^2} + \frac{18}{22} \times \frac{27,7^2}{31^2 - 22^2} \right) \left(1 + \frac{2}{3} \times 0,12 \frac{18}{22} \right) =$$

$$= 1636,691 \text{ (МПа)}.$$

Відповідно зусилля переходу

$$P_{II} = P_{III} \times F_{II} = 1636,691 \times \frac{\pi \times 22,4^2}{4} = 644,9895 \text{ (кН)}.$$

Моніторинг умов проведення видавлювання полягав також в оцінці зміни значень технологічних зусиль в залежності від ходу деформуючого інструменту.

Початкове значення питомого зусилля

$$\rho = 890 \left(\frac{576}{1239,04} \ln \frac{576}{1239,04 - 576} + \frac{17}{24} \times \frac{576}{1239,04 - 576} \right) \left(1 + \frac{2}{3} \times 0,15 \frac{24}{17} \right) = 1143 \text{ (МПа)}.$$

Площа контактної поверхні напівфабрикату на даному переході

$$F = \pi \times R^2 = 3,15 \times 8,2^2 = 572,26 \text{ мм}^2.$$

Тоді

$$P_T = 1143 \times 572,26 = 1094481,42 \text{ (Н)}.$$

Питомий тиск на переході зворотнього видавлювання встановлювали за [1]:

$$\rho = s \left(\frac{3}{2} + \frac{D_0}{2 \times D_n} + \frac{D_0^2}{D_0^2 - D_n^2} \times \frac{h}{D_n} \right) \left(1 + \frac{2}{3} \times \mu \frac{D_n}{h} \right).$$

У тому числі по стадіях :

$$\rho_1 = 890 \left(\frac{3}{2} + \frac{36,9}{48} + \frac{1239,04}{1239,04 - 576} \times \frac{7,5}{24} \right) \left(1 + \frac{2}{3} \times 0,15 \frac{24}{7,5} \right) = 2512,02 \text{ (МПа)};$$

$$\rho_2 = 890 \left(\frac{3}{2} + \frac{36,9}{48} + \frac{1230,04}{1239,04 - 576} \times \frac{7}{24} \right) \left(1 + \frac{2}{3} \times 0,15 \frac{24}{7} \right) = 2475,98 \text{ (МПа)};$$

$$\rho_3 = 890 \left(\frac{3}{2} + \frac{36,9}{48} + \frac{1239,04}{1239,04 - 576} \times \frac{6,5}{24} \right) \left(1 + \frac{2}{3} \times 0,15 \frac{24}{6,5} \right) = 2443,94 \text{ (МПа)}.$$

Результати моніторингу представлені у вигляді графіку (див. рис.2). Із аналізу графіку видно, що максимальний тиск на робочі поверхні інструменту (пуансону та матриці) встановлюється на завершальній стадії холодного видавлювання, коли безпосередньо оформлюється донна частина перетинки (останні 2 мм), при цьому суттєвих коливань тиску вже не відбувається. Таким чином, необхідно і доцільно проводити візуалізацію напружень і деформацій в інструменті саме на ділянці ходу пуансону 20...22 мм.

Згідно технічних умов на виготовлення виробу «Гайка накидна» було обрано матеріал деталі (сталь 15) та встановлено за методикою [2] значення приконтактних температур (64°C).

Візуалізацію виконували у послідовності, яка рекомендована розробниками програмного комплексу [3]. Спочатку було проведено розбивання заготовки на кінцеві елементи. Кількість кінцевих елементів залежить від складності об'єктів дослідження. Оскільки деталь «Гайка накидна» є симетричною відносно осі Z, то прийняли для подальшої роботи 32000 точок.

Опорними точками, де очікуються суттєві зміни напружень, зусиль, тощо є точки зовнішнього контуру та на нижній торцевій поверхні виробу, тому що саме в цих місцях відбуваються найбільш значні деформаційні та кінематичні перетворення.

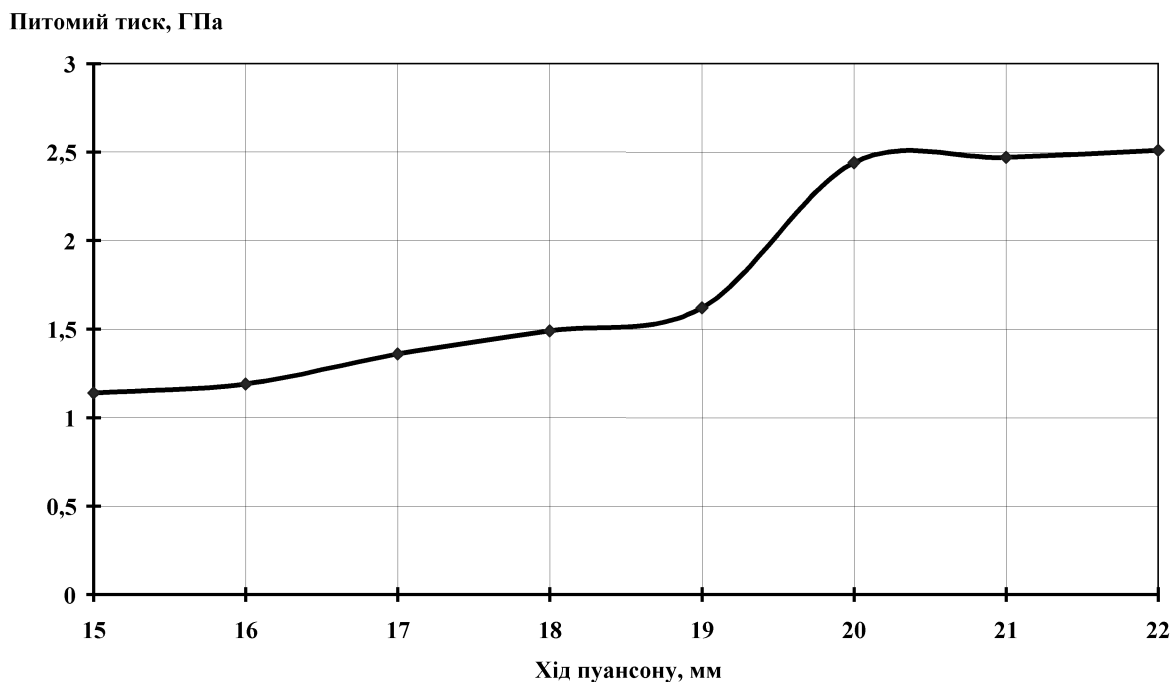


Рисунок 2 – Залежність питомого тиску зворотнього видавлювання від ходу пуансону

Для вибору типу переміщення попередньо завантажували до препроцесора тип обладнання (механічний прес горизонтального виконання), і встановлювали його конкретний типорозмір з бібліотеки обладнання, що є у складі програмного комплексу.

При моделюванні пуансону (Top die) напрямок переміщення пуансона було прийнято $-Z$ (зверху вниз*). Далі встановлювали значення робочої температури інструмента. Оскільки візуалізації підлягав процес холодного об'ємного штампування, припустили, що температура заготовки в процесі деформування не змінюється і дорівнює температурі робочої частини інструменту.

При введенні вихідних даних до препроцесора програми DEFORM мають бути визначені властивості матеріалів об'єктів. Заготовці було призначено пластичний тип матеріалу (flow stress). Додатково (якщо розрахунок неізотермічний) потрібно вводити значення термічних властивостей. Разом із тим аналогічні властивості матеріалів для інструменту вводити не потрібно, оскільки вони мають тип «Жорсткий» (при цьому розрахунок - ізотермічний), і тому вважаються жорсткими тілами. Варто зазначити, що користувачам програми DEFORM необхідно попередньо чітко визначитися з американськими або англійськими аналогами вітчизняних інструментальних та конструкційних сталей і твердих сплавів.

Наступний крок – розбиття поверхні пуансону на кінцеві елементи. Більшість точок було обрано на калібруючому пояску пуансона, оскільки тут діють найбільші навантаження (див. рис. 3, на якому інтенсивність кольорового забарвлення відповідає рівню напружень у розглядуваній точці робочого контура штампового інструменту). Для точної генерації результатів цілком достатньо прийняти кількість елементів 32000 (див. рис. 4). Необхідні точки встановлювали для твірної поверхні інструменту, для якого були задані попередньо розраховані параметри зусилля. З метою кращої візуалізації отриманих результатів дослідження, як і для деталі, було обрано декілька точок.

* якщо проводити візуалізацію параметрів обладнання, то необхідно приймати напрям $+Y$

Моделювання матриці (Bottom die) відбувалося в такій же послідовності, що і пуансону (приклад формування таблиці контрольних вузлів для матриці представлено на рис.5). Але відмінністю є те, що для матриці не потрібно задавати переміщення, оскільки вона в процесі холодного видавлювання є нерухомим елементом деформуючого інструменту.

Згенерована програмою DEFORM сітка граничних елементів представлена на рис. 6.

Результати роботи програми для визначення НДС пуансону та матриці вміщені відповідно на рис.7 та 8.

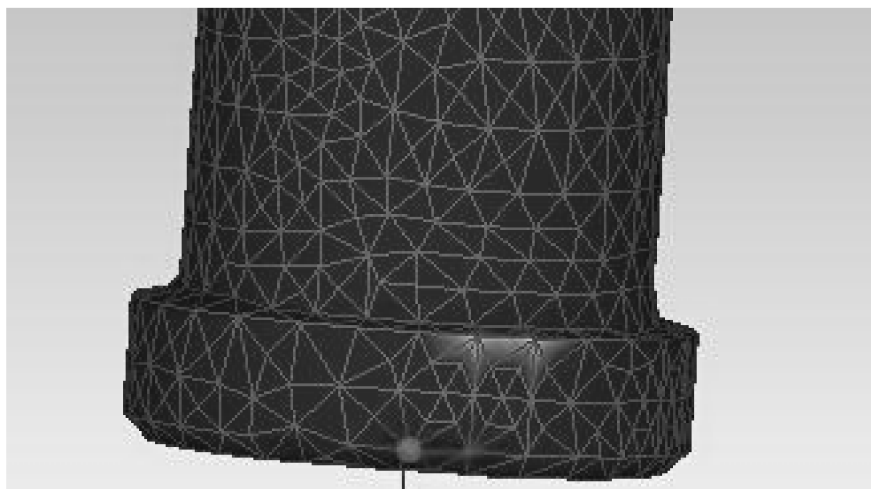


Рисунок 3 – Візуалізація інтенсивності навантаження на робочому торці пуансону

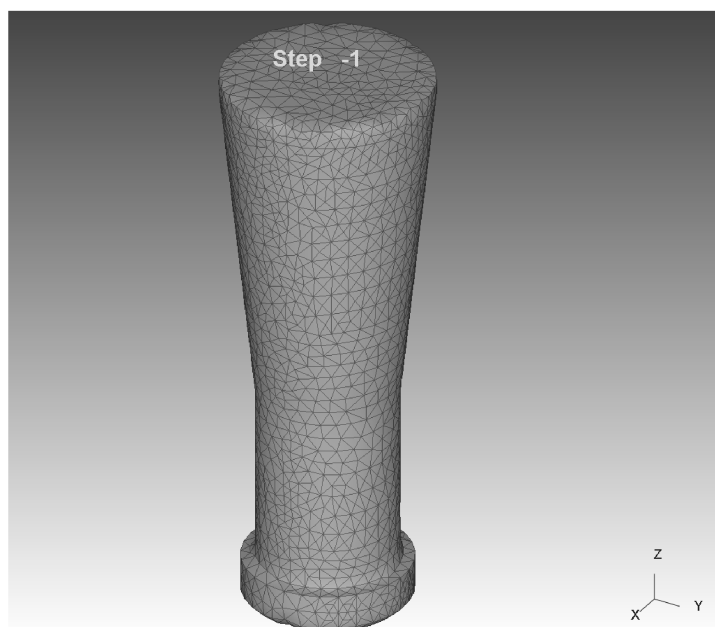


Рисунок 4 – Сітка кінцевих елементів на пуансоні

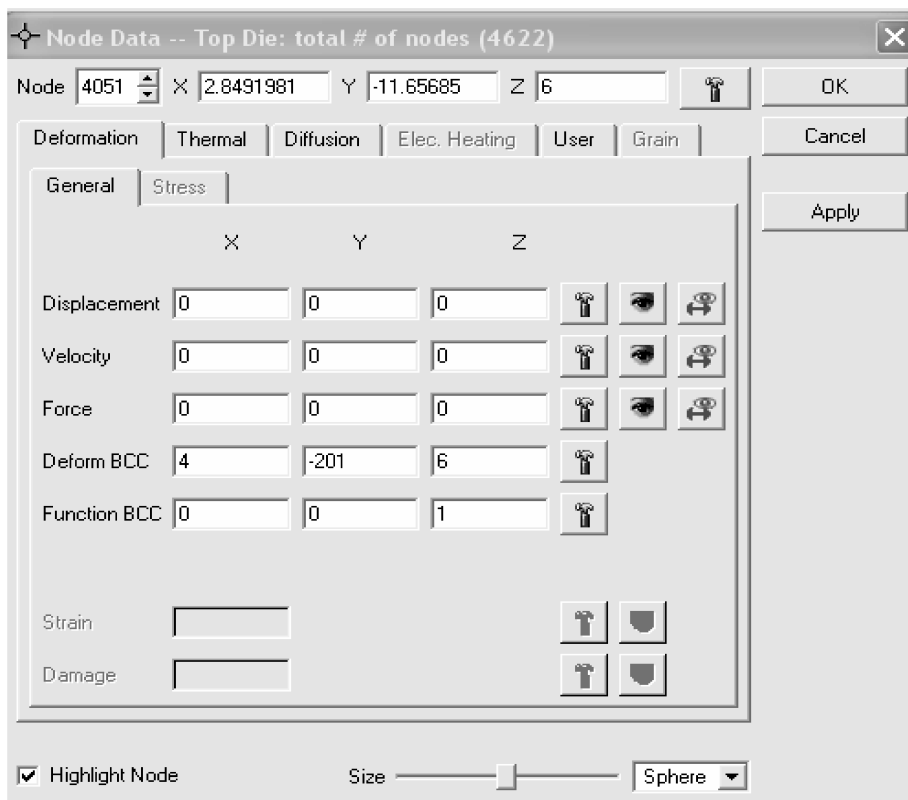


Рисунок 5 – Таблиця визначення НДС вузлів матриці

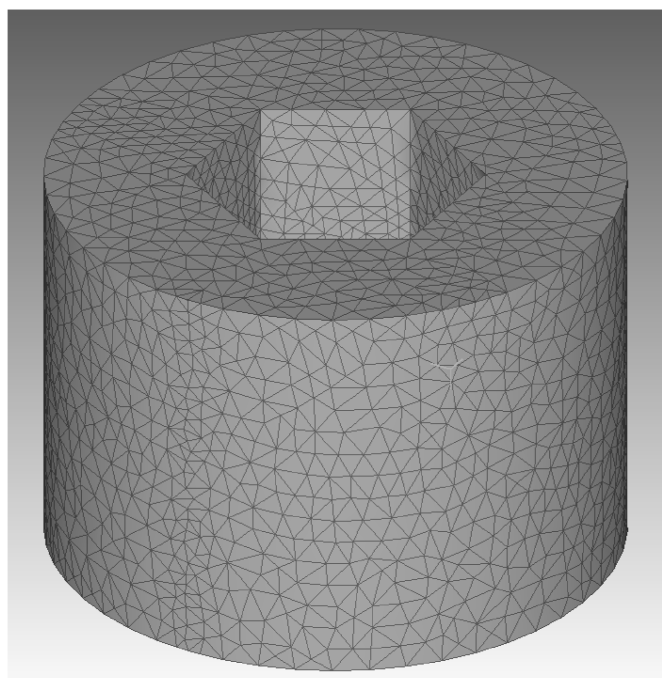


Рисунок 6 – Сітка кінцевих елементів на матриці

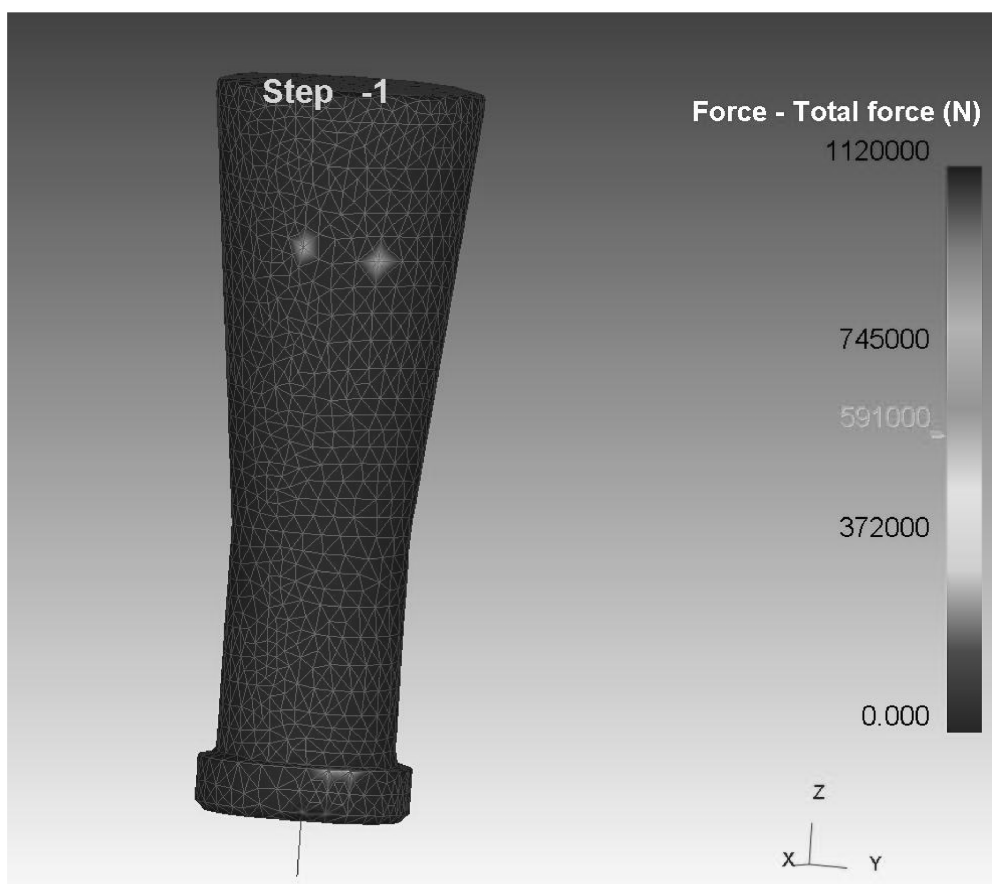


Рисунок 7 – Візуалізація зусиль у контрольних точках пуансону

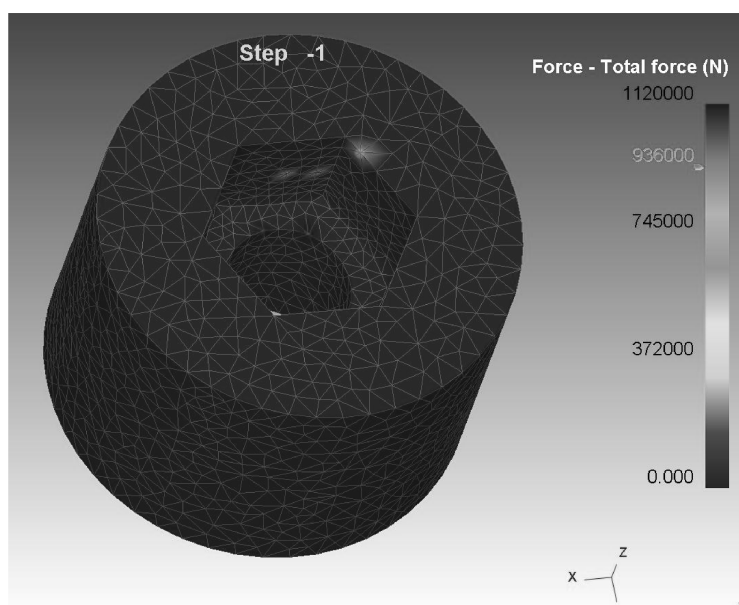


Рисунок 8 – Візуалізація зусиль у контрольних точках матриці

Таким чином, використання програмного комплексу DEFORM дає можливість не тільки візуалізувати процес багатоперехідного формоутворення виробів складних конфігурацій, але і встановлювати параметри НДС інструменту, що, в свою чергу дозволяє технологам оптимізувати геометричні характеристики технологічних переходів, значення робочого зусилля тощо.

Список літератури

1. Ковка и штамповка:Справочник. В 4-х т /Т.3. Холодная объёмная штамповка /Под ред. Г.А.Навроцкого. М.:Машиностроение, 1987. - 384с.
2. Л.А.Позняк, Ю.М.Скрынченко. С.И.Тишаев. Штамповые стали. М.:Металлургия,1980.- 244с.
3. http://www.thesis.com.ru/software/deform/deform_exp.php Оптимизация изготовления холодной объёмной штамповкой гаек с боковым рифлением с помощью программного комплекса DEFORM 3D /Белан О.А., Сидоров А.А., Белан А.А.

В.Kryshkin

Kirovograd state national university

Optimization of cold forging technology of high pressure sleeves cap nuts

The work purpose - research of cold forging technology of high pressure sleeves cap nuts. In the article methodology of determination of tensions and efforts is described in the working details of instrument for the multiposition cold by volume stamping of detail «cap nut» sleeves high-pressure with the use of programmatic complex DEFORM 3D, because of what the sequence of realization of optimization of the tensely-deformed state of punches and matrices is offered before their planning.

It is established that use of the program DEFORM 3D complex allows to carry out an exact assessment intense the deformed condition of the tool at multitransitional cold forging.

punch, matrix, efforts, deformations, cold forging, tension

Одержано 03.04.13

УДК621.735.34.001.24

Я.Б.Немировский, канд. техн. наук

Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Киев

Особенности расчета геометрических, кинематических параметров очага деформации при деформирующем протягивании

В статье рассмотрен расчет геометрических и кинематических параметров очага деформации при деформирующем протягивании.

геометрические параметры, кинематические параметры, очаг деформации, деформирующее протягивание

Я.Б. Немировский

Институт надтвердых матеріалів ім. В.Н. Бакуля НАН України, м.Київ

Особливості розрахунку геометричних, кінематичних параметрів осередку деформації при деформуючому протягуванні

В статті розглянуто розрахунок геометричних та кінематичних параметрів осередку деформації при деформуючому протягуванні.

геометричні параметри, кінематичні параметри, осередок деформації, деформуюче протягування

Схема очага деформации – один из основополагающих вопросов при изучении процесса деформирующего протягивания (ДПР). Кинематические, геометрические и энергетические параметры очага определяют энергозатраты на процесс и качество обрабатываемого изделия.

Для расчета этих характеристик на основе вариационных принципов [1] была разработана математическая модель очага деформации для заготовок с небольшой толстостенностью. Схема очага деформации, которая положена в основу разработанной модели и соответствующие ей геометрические и кинематические параметры приведены на рис. 1. Очаг деформации состоит из трех зон: контактной (2 зона) и двух внеконтактных, примыкающих к зоне контакта.

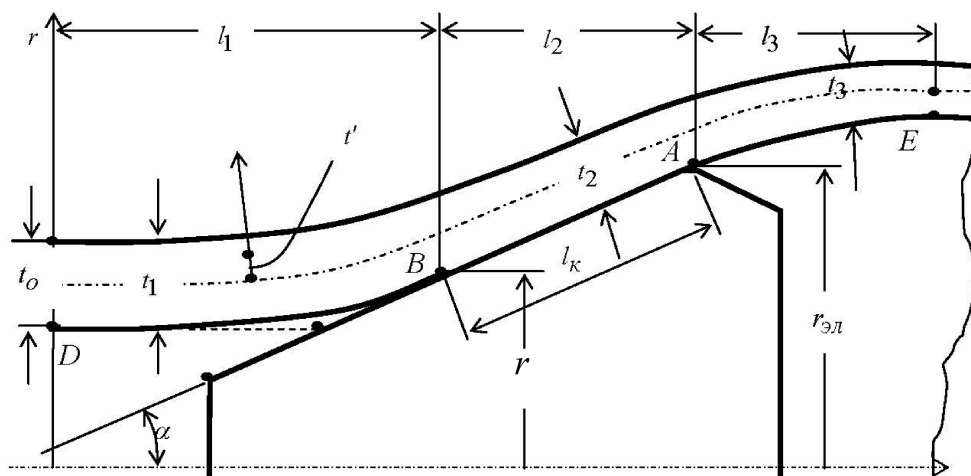


Рисунок 1 – Расчетная схема очага пластических деформаций при ДПР

Согласно разработанной модели полный функционал мощности внешних и внутренних сил

$$(W-QV_3)=\min, \quad (1)$$

где Q – осевая сила протягивания;

V – скорость течения в конце очага деформации.

Полный функционал мощности пластических деформаций определяется суммой функционалов мощности каждого из участков очага деформирования

$$W=W_1+W_2+W_3. \quad (2)$$

Значения W_1 и W_3 определяются из выражения (3).

$$W_{1,3} = 4\pi\tau_s \int_{-l_n/2}^{+l_n/2} dt' \int_{l_1+l_2}^{l_1,3} r \sqrt{\xi_\phi^2 + \xi_\phi \xi_z + \xi_z^2} dz. \quad (3)$$

Значение W_2 определяются из выражения (4).

$$W_2 = 4\pi\tau_s \int_{-l_2/2}^{+l_2/2} dt' \int_{l_1}^{l_1+l_2} V_z r' \sqrt{1-K_2 + K_2^2} dz, \quad (4)$$

где K – соотношения скорости осевой деформации срединной поверхности к скорости окружной деформации.

Следует отметить, что в пределах каждого участка очага деформации эта величина имеет свое постоянное значение K_1, K_2, K_3 .

Пять независимых параметров K_1, K_2, K_3, l_1, l_3 – являются варьируемыми параметрами. Их действительное значение обеспечивает в рассматриваемой модели минимум полной мощности.

Основные выражения, приведенные в работе [1], для описания срединной поверхности, скорости течения, толщины стенки в конце каждого из участков имеют вид

I участок ДВ (рис. 1).

$$r = r_{cp} + \frac{3}{4} \frac{tg\alpha}{l_1} z^2 - \frac{tg\alpha}{8l_1^3} z^4; \quad (5)$$

$$V_z = V_0 e^{-K_1 \int_0^{l_1} \frac{r'}{r} dz}; \quad (6)$$

$$t_{1k} = t_0 e^{(k_1-1) \int_0^{l_1} \frac{r'}{r} dz}.$$

II участок ВА

$$r = r_{cp2} + \frac{5}{8} tg\alpha l_1; \quad (7)$$

$$V_{k_2} = V_0 \left[e^{\int_0^{l_1} \frac{r'}{r} dz} \right]^{-K_1} \left[e^{\int_{l_1}^{l_1+l_2} \frac{r'}{r} dz} \right]^{-K_2} ; \quad (8)$$

$$t_{k_2} = t_0 \left[e^{\int_0^{l_1} \frac{r'}{r} dz} \right]^{(K_1-1)} \left[e^{\int_{l_1}^{l_1+l_2} \frac{r'}{r} dz} \right]^{(K_2-1)}$$

III участок АЕ

$$r = r_{cp3} + tg\alpha z_3 - \frac{tg\alpha}{2l_3^2} z_3^3 + \frac{tg\alpha}{8l_3^3} z_3^4 ; \quad (9)$$

$$V_{z_3} = V_0 \left[e^{\int_0^{l_1} \frac{r'}{r} dz} \right]^{-K_1} \left[e^{\int_{l_1}^{l_1+l_2} \frac{r'}{r} dz} \right]^{-K_2} \left[e^{\int_{l_1+l_2}^{l_1+l_2+l_3} \frac{r'}{r} dz} \right]^{-K_3} ;$$

$$t_3 = t_0 \left[e^{\int_0^{l_1} \frac{r'}{r} dz} \right]^{K_3-1} \left[e^{\int_{l_1}^{l_1+l_2} \frac{r'}{r} dz} \right]^{K_2-1} \left[e^{\int_{l_1+l_2}^{l_1+l_2+l_3} \frac{r'}{r} dz} \right]^{K_3-1} .$$

Полный функционал мощности пластических деформаций определяется из выражения (2), где каждая из слагаемых определяется соответственно по выражениям (3) и (4).

Для определения полного функционала мощности внешних и внутренних сил, согласно выражения (1), необходимо знать значение силы протягивания Q .

Однако само значение силы Q неизвестно и определяется полной энергетикой процесса с дополнительным учетом мощности трения в зоне контакта инструмента с заготовкой.

Для наших условий, соответствующие вариационные принципы теорий пластического деформируемого тела отсутствуют. Поэтому поставленная задача решалась по алгоритму последовательных приближения. При этом на каждом цикле этого алгоритма необходимые значения внешних нагрузок (сила Q и сила трения $F_{тр}$) задаются взятыми из предыдущего цикла.

Вначале был организован цикл итерационных расчетов при отсутствии сил

контактного трения, то есть $W_{тр}=0$. На каждом цикле находим минимум, соответствующий конкретному значению функционала на данном цикле при пяти варьируемых параметрах l_1, l_3, K_1, K_2, K_3 .

I цикл итераций при отсутствии трения.

1. Полагаем $Q=0$ и находим минимум функционала (1) без учета слагаемого QV_3 .

2. Вычисляем силу протягивания из условия равенства мощностей внешних и внутренних сил.

$$Q = \frac{W}{V_3}. \quad (10)$$

3. Подставляем значение Q в выражение (1) и находим минимум полного функционала при фиксированном значении найденной силы Q .

$$\Phi = (W - QV_3) = \min.$$

4. Находим Q второго приближения по зависимости (10).

5. Минимизируем Φ при новом значении Q .

Последующие приближения продолжаем до тех пор, пока значение Q двух смежных итераций не будут отличаться на заданную малую величину ε ,

$$\frac{Q_{n+1} - Q}{Q_i} < \varepsilon. \quad (11)$$

После окончания первого цикла итерационного процесса при уже найденной в отсутствии трения длине контакта $BA = l_k = \frac{l_2}{\cos \alpha}$, рассчитываем силу трения по известной [2] формуле

$$F_{тр} = \frac{Q_{i+1} f}{(f \cos \alpha + \sin \alpha)}, \quad (12)$$

где f – коэффициент трения по Кулону.

По известной силе трения рассчитываем среднее контактное касательное напряжение

$$\tau_K = \frac{F_{мп}}{S_K} = \frac{Q \cdot f}{\pi(r_{K_1} + r_{\text{э}}) \frac{l_2}{\cos \alpha} (f \cos \alpha + \sin \alpha)}. \quad (13)$$

Далее вычисляем мощность сил трения:

$$W_{мп} = \int_{l_1}^{l_1+l_2} 2\pi r \frac{dz}{\cos \alpha} \tau_K \frac{V_z}{\cos \alpha}, \quad (14)$$

где $\frac{V_z}{\cos \alpha}$ определяется по зависимости (8), а значение r_K по зависимости (7).

После вычисления $W_{мп}$ осуществляется II цикл итерационного процесса по минимизации более полного функционала с фиксированной внешней силой Q и заданными силами трения по площадке контакта протяженностью l_k .

$$\Phi = (W + W_{мп} + QV_3) = \min$$

На каждом цикле итераций находится сила Q , которая на последующем этапе используется как заданная величина. Расчет ведется до тех пор, пока не выполнится условие (11).

По результатам последней итерации определяются искомые основные и производные параметры: $l_1, l_3, K_1, K_2, K_3, l_2, l_k, W_1, W_2, W_3, W_{тр}, W_0$. Схема алгоритма расчета мощности формоизменения очага деформирования представлена на рис. 2

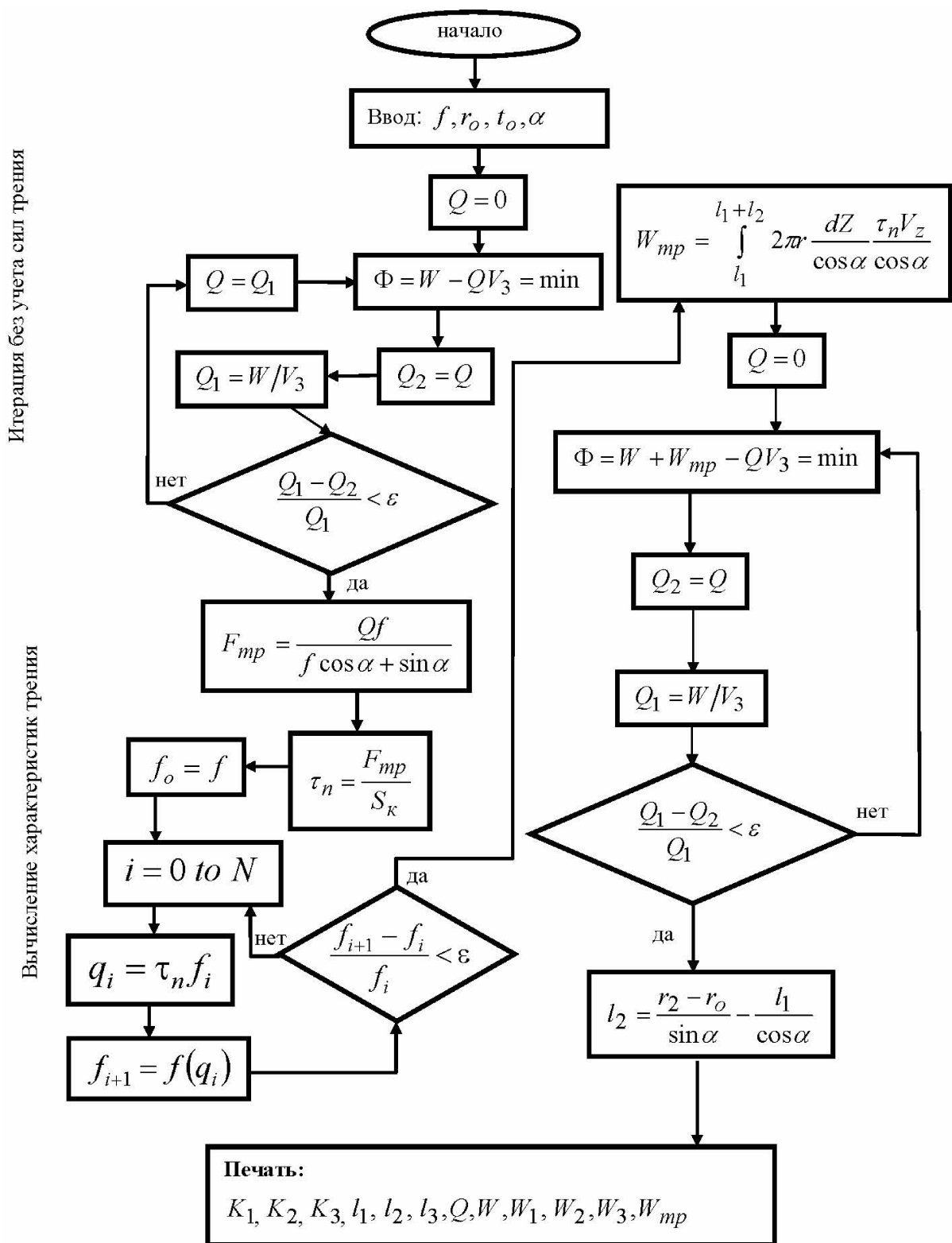


Рисунок 2 – Алгоритм расчета мощности формоизменения очага деформирования

Для реализации алгоритма была составлена программа на языке «PASCAL»*
 В результате численного моделирования на PC получены следующие наиболее важные результаты.

* Программа разработана доцентом ВГУ Балаганской Е.А.

На рис. 3 приведена зависимость длины внеконтактных зон от степени толстостенности заготовки. Хорошее совпадение расчетных и экспериментальных данных [2] наблюдается не только для тонкостенных заготовок, но и при более значительных толщинах стенки, например, более $t_0/r_0=0,5$ что расширяет область применения модели для определения рассматриваемого параметра.

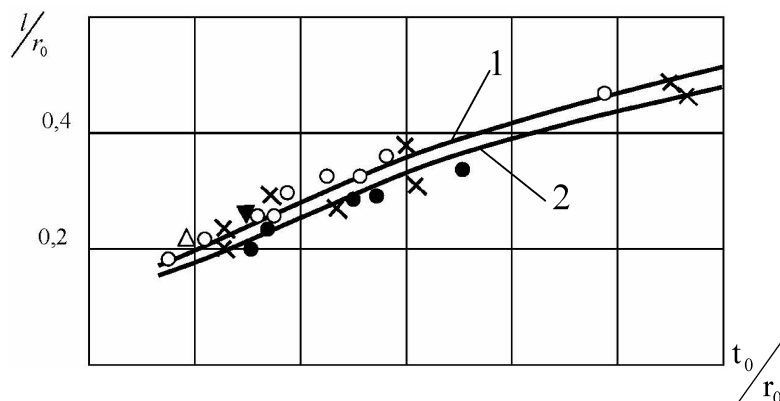
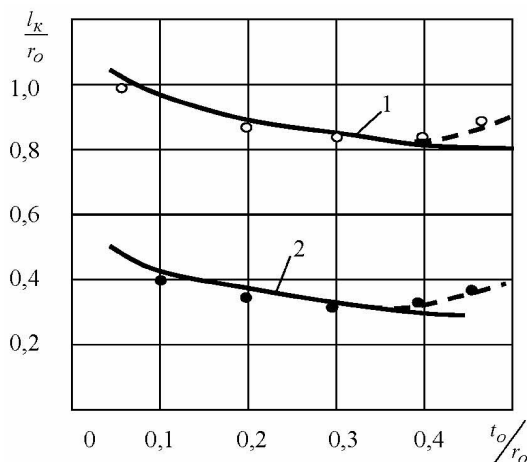


Рисунок 3 – Зависимость протяженности внеконтактных зон очага деформации от толстостенности заготовки при углах $\alpha = 2^{\circ} - 12^{\circ}$; натяг на элемент $a/d_0 = 0,0125 - 0,0375$.

1 – в.з. за инструментом, 2 – в.з. перед инструментом
данные эксперимента [2]: \circ – сплав АК6; Δ – сталь 10; \blacktriangledown – Ст3;
 \bullet – сталь 30ХНМА; \times – сталь 20.



Расчет 1 – $\alpha = 2^{\circ}$ 2 – $\alpha = 4^{\circ}$, $a/d_0 = 0,0375$

Рисунок 4 – Зависимость протяженности контакта от толщины стенки заготовки из стали 20 НВ125

Эксперимент - $\circ \bullet$

На рис. 4 показана расчетная и экспериментальная зависимости ширины контакта l от степени толстостенности заготовки. Их хорошее совпадение наблюдается до значений некоторой критической толщины стенки $t_{кр}/r_0$, при которой согласно работы [2] контактное давление достигает критической величины – $q_{кр}$, которое является физической константой обрабатываемого материала. При этом наблюдается появление локальной потери устойчивости обрабатываемого материала в виде «наплыва», что, естественно, приводит к увеличению l_k .

Рассмотрим влияние режимных факторов на ширину контакта l_k и на определяющий ее параметр высоту внеконтактной зоны $h_{в.з}$ (рис. 5а). Как показали

расчеты по разработанной модели величина $h_{в.з}$ практически не зависит от натяга. Из выражения (5) при $Z=l$ высота внеконтактной зоны зависит от толстостенности заготовки и угла α .

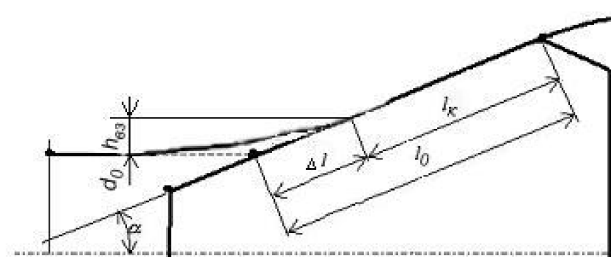
Как следует из рис. 5а

$$l_k = l_0 - \Delta l = \frac{a}{2 \sin \alpha} - \frac{h_{в.з}}{\sin \alpha}, \quad (15)$$

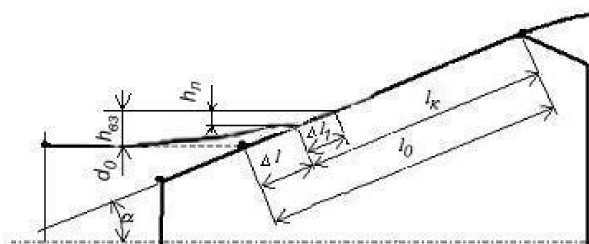
где $h_{в.з} = 5/8 l_1 \operatorname{tg} \alpha$. Согласно работе [7] $l_1 = 0.611 t_0^{0.538} r_0^{0.462}$,

тогда

$$l_k = l_0 - \Delta l = \frac{a}{2 \sin \alpha} - \frac{5/8 \cdot 0.611 t_0^{0.538} r_0^{0.462}}{\cos \alpha},$$



а)



б)

Рисунок 5 –Схема очага деформации при ДПР

а график зависимости (15) имеет вид прямой.

Расчетные и экспериментальные значения $l_k=f(a)$ рис. 6 показали хорошее совпадение только при толстостенности заготовки $t_0 < t_{кр}$ и натягах не приводящих к появлению критических контактных давлений.

Как известно [2], с уменьшением натяга контактные давления растут. Поэтому реальное физическое взаимодействие инструмента с изделием при малых натягах меняет схему очага деформации, представленную на рис. 5а. Подтвердим это следующими рассуждениями. Поскольку $h_{в.з}$, а значит и Δl не зависит от натяга, то согласно зависимости при $\frac{a}{2} \rightarrow h_{в.з}$ протяженность контакта также будет стремиться к 0.

В действительности уменьшение l_k ведет к увеличению контактного давления, которые не могут для конкретного материала превысить предельные значения критических контактных давлений. Следовательно, физически при достижении l_k некоторой малой величины, ее уменьшение прекращается за счет возникновения в контактной зоне заметной локальной пластической деформации. Подобный факт приводится в работе [3]. Величиной этой локальной пластической деформации пренебрегать нельзя, поэтому схема очага деформации при наличии в зоне контакта давления близким $q_{кр}$ будет соответствовать рис. 5 б. В этом случае расчет l_k

необходимо производить по зависимости (16).

$$l_k = l_0 - \Delta l = \frac{a}{2 \sin \alpha} - \frac{h_{\text{гз}}}{\sin \alpha} + \frac{h_{\text{л}}}{\sin \alpha}, \quad (16)$$

где $h_{\text{гз}} = 5/8 l_1 \text{tg} \alpha$. тогда

$$l_k = l_0 - \Delta l = \frac{a}{2 \sin \alpha} - \frac{5/8 \cdot 0.611 t_0^{0.538} r_0^{0.462}}{\cos \alpha} + \frac{h_{\text{л}}}{\sin \alpha}.$$

Теоретически определение высоты локальной пластической деформации в зоне контакта затруднено, а его экспериментальное определение возможно исходя из графика $l_k = f(t_0/d_0)$ например (рис. 4), где разность между расчетными значениями ширины контакта и экспериментальным после точки минимума обусловлено наличием составляющей $h_{\text{л}}/\sin \alpha$.

Поэтому, при малых натягах зависимость $l_k = f(a)$, описываемая выражением (15) нарушается, и имеет нелинейный участок описываемый выражением (16) и представленный на рис. 6. Здесь также учтено, что при $a=0, l_2=0$.

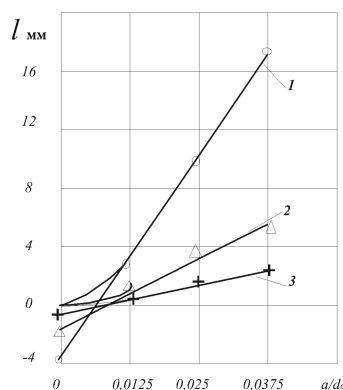


Рисунок 6 – Зависимость ширины контакта от натяга при обработке заготовок из Стали 20 размерами $t_0/d_0=0,15$ деформирующими элементами с углом α : 1 – 2°, 2 – 4°, 3 – 12°

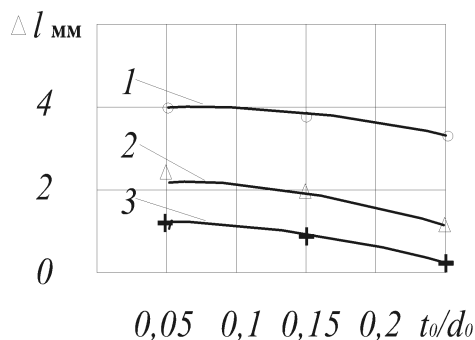


Рисунок 7 – Зависимость параметра Δl от толстостенности при обработке заготовок из Стали 20 деформирующими элементами с углом α : 1-2°, 2-4°, 3-12° с натягом $a/d_0 = 0,025$

Как следует из уравнения (16) при экстраполяции значений ширины контакта (1,2,3) на ось ординат можно получить значения Δl , то есть разности между геометрической и фактической шириной контакта.

Как следует из экспериментов (рис. 7) значение Δl зависит от толстостенности заготовки и угла α , причем с увеличением толстостенности значение Δl снижается, что указывает на рост фактической ширины контакта.

О подобном факте свидетельствуют данные, приведенные на рис. 4, где перегиб кривой $l=f(t_0)$ зависит от факторов, влияющих на контактные давления, а именно натяга на элемент и угла α .

Учитывая рост величины $h_{д}$ с уменьшением натяга, а также утверждения автора [2], что внеконтактные зоны малозаметны при натягах $a \leq 0,25$ мм, необходимо выяснить целесообразно ли использовать схему очага деформации с внеконтактными зонами а также применима ли разработанная модель очага деформации при обработке заготовок с малыми натягами.

Для этого рассмотрим изменение l_k/l_0 при деформировании заготовок из чугуна СЧ20 с малыми натягами ($a = 0,05$) (рис. 8). Во всем диапазоне накопленной деформации для всех рассматриваемых толщин стенок отношение $l_k/l_0 < 1$. Это свидетельствует во-первых: о корректности схемы очага деформации с внеконтактными зонами даже при применении малых натягов; во-вторых: об определяющем влиянии внеконтактной зоны на ширину контакта при раздаче заготовок из такого малопластичного материала как чугун.

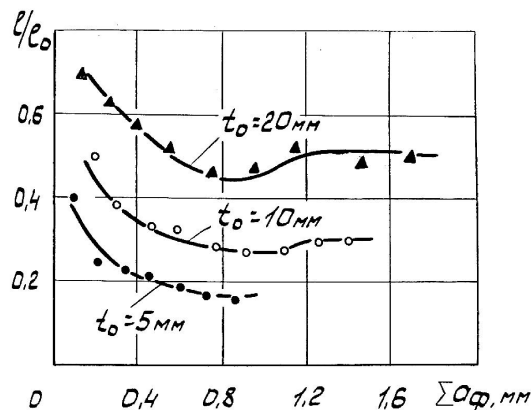


Рисунок 8 – Зависимость относительной ширины контакта от суммарного фактического натяга при деформировании заготовок из чугуна СЧ20 с $d_0 = 35,5$ мм, натяг на элемент $a = 0,05$ мм, угол $\alpha = 2^\circ$

Для более детального изучения второго утверждения проводились специальные опыты, позволившие зафиксировать состояние обрабатываемой поверхности в зоне контакта с рабочей поверхностью инструмента в процессе его установившегося движения.

Чтобы исключить влияние упругого восстановления, которое имеет место при остановке деформирующего элемента необходимо создать условия для мгновенного выхода из контакта обрабатываемой поверхности [4]. Это условие можно реализовать при мгновенном разрушении втулки вдоль оси при перемещении инструмента. Учитывая низкую пластичность чугуна, а также тот факт, что по данным работы [5] на поверхности деформируемой заготовки имеет место жесткий показатель напряженного состояния $\eta = +2$, что соответствует двусосному растяжению, требуемые условия реализуются за счет создания на наружной поверхности в требуемом месте искусственного концентратора напряжений. Он выполняется на наружной поверхности в виде неглубокой осевой канавки, находящейся в зоне установившегося движения инструмента. В момент прохождения деформирующего элемента через зону концентратора напряжений заготовка мгновенно разрушалась вдоль оси лишая деформирующий элемент контакта с обрабатываемой поверхностью. Изучение формы отпечатка проводилось на профилограммах, снятых с помощью профилографа-

профилметра «Talysurf-5».

В качестве примера на рис. 9 приведена одна из таких профилограмм. На ней четко виден участок контакта, а перед ней зону пластической локальной деформации в виде наплыва. Приведенный пример подтверждает наличие локальной пластической зоны в начале контакта обрабатываемого материала с рабочей поверхностью инструмента, даже для такого малопластичного материала как чугун.

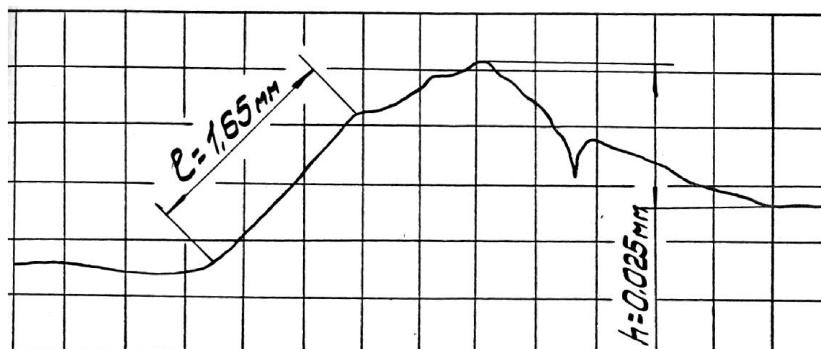


Рисунок 9 – Профилограмма контактной зоны при обработке заготовки из чугуна СЧ20 размерами $d_0=35,5 \text{ мм}$, $t_0=25 \text{ мм}$ с натягом $a=0,15 \text{ мм}$, $\Sigma a_{\phi}=1,37 \text{ мм}$, угол $\alpha=4^{\circ}$ (вертикальное увеличение - 1000, горизонтальное - 20)

Следовательно, наличие в зоне контакта высоких гидростатических давлений, обусловленных толстостенностью заготовки и присутствие там напряженного состояния близкого к всестороннему сжатию приводит к появлению в начале зоны контакта заметного участка локальной пластической деформации, снижающего высоту внеконтактной зоны и увеличивающего ширину контакта. Это явление наблюдается независимо от обрабатываемого материала, режимов раздачи, а зависит только от наличия в зоне контакта критических контактных давлений.

Поэтому при использовании разработанной модели для определения ширины контакта для случая раздачи с наличием в зоне контакта критических контактных давлений необходимо расчет осуществлять по варианту модели, который описывается зависимостью (16), то есть учитывать в расчете $h_{\text{л}}$ – высоту локальной пластической зоны.

Утверждение, высказанное в работе [2] и свидетельствующее о независимости ширины контакта от обрабатываемого материала, справедливо при определении $l_{\text{к}}$ согласно варианту (рис. 5а). В этом случае ширина контакта рассчитывается по зависимости (15) и исходя из нее определяется высотой внеконтактной зоны. Параметры этой внеконтактной зоны согласно данным [1] практически не зависят от обрабатываемого материала, а деформационное упрочнение практически не влияет на них.

В этом случае, когда раздача заготовки происходит при наличии в зоне контакта критических контактных давлений (рис. 5б) расчет ширины контакта следует вести по зависимости (16). Входящие в это выражение значение $h_{\text{в}}$ зависит от пластических свойств обрабатываемого материала, а именно чем пластичнее материал, тем больше высота наплыва $h_{\text{л}}$, возникающего в локальной зоне пластического деформирования. Это положение подтверждают экспериментальные данные, приведенные в таблице. Эти данные представляют собой геометрическую и фактическую ширину контакта и их отношение при раздаче заготовок с бесконечной толщиной стенки. Значения ширины контакта для стали взяты из работы [2].

Таблица 1 – Значения ширины контакта для различных материалов

№	Материал заготовки	Твердость	Натяг на элемент a_{ϕ}	Ширина контакта		l_k/l_0
				геометрическая l_0 , мм	фактическая l_k , мм	
	Сталь 10	110	0,05	0,36	1,92	5,3
	Сталь 38ХМЮА	300	0,05	0,36	0,6	1,65
	Сталь 40ХНМА	310	0,1	0,48	0,87	1,8
	Чугун СЧ20	170	0,05	0,36	0,5	1,38

Из нее следует, что при раздаче заготовок с бесконечной толщиной стенки ширина контакта явно зависит от обрабатываемого материала. Очевидно, преобладающее влияние высоты напльва, образованного в локальной зоне пластического деформирования на ширину контакта. Так при раздаче заготовки из пластичного материала Сталь 10 фактическая ширина контакта l_k в несколько раз превосходит геометрическую l_0 . В то же время при раздаче заготовки из такого малопластичного материала как чугун $l_k \approx l_0$. Следовательно, при развитии пластического течения, которое имеет место при деформировании заготовок с бесконечной толщиной стенки, ширина контакта при постоянном натяге определяется только свойствами обрабатываемого материала. Этим и объясняется известный факт [6] независимости ширины контакта от угла \forall при деформировании заготовок с бесконечной толщиной стенки.

Следовательно, расчет ширины контакта в зависимости от уровня критических контактных давлений необходимо производить по вариантам модели очага деформации, приведенных на рис. 5.

При раздаче одиночными деформирующими элементами управлять требуемым уровнем контактных нагрузок, которые позволяют использовать необходимый вариант схемы очага деформации, при заданной толстостенности заготовки, можно только такими технологическими факторами как натяг на элемент и угол α .

Таким образом, разработанный алгоритм и реализованный цикл расчета по разработанной модели очага деформации позволил выполнить анализ геометрических и кинематических параметров очага деформации, что позволило установить следующее:

- проведенная экспериментальная проверка разработанного алгоритма показала хорошее совпадение расчетных и экспериментальных данных при определении длины внеконтактных зон, что позволяет использовать этот расчет для определения длины внеконтактных зон в широком диапазоне изменения толстостенности заготовок;

- ширину контакта при ДПР необходимо рассчитывать по двум вариантам модели очага деформации, отличающимся между собой учетом влияния высоты напльва, возникающего в локальной зоне пластического деформирования;

- при наличии у внеконтактной зоны давлений меньше критических необходимо использовать вариант модели без учета влияния высоты напльва, при достижении контактными давлениями критических значений, расчет ширины контакта необходимо выполнять по варианту, учитывающему высоту напльва;

- установлено, что при малых натягах $a < 0,2$ мм справедлива схема очага деформации с наличием внеконтактных зон;

- показано, что влияние обрабатываемого материала на ширину контакта имеет место только при достижении контактными давлениями критических значений;

- величин критических контактных давлений определяется только свойствами обрабатываемого материала и достигается при постоянной толстостенности

изменением натяга на элемент и угла α .

Список литературы

1. Я.Б. Немировский, Ю.А. Цеханов. Применение вариационных принципов для анализа энергетических и кинематических параметров процесса деформирующего протягивания //Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков, НТУ «ХПИ», 2001.-№60.-С.154-159.
2. Розенберг О.А. Механика взаимодействия инструмента с изделием при деформирующем протягивании. – Киев: Наук. Думка, 1981.-288с.
3. С.Е. Шейкин, Ю.А. Цеханов, Е.А. Балаганская. Анализ формирования поверхностного слоя при деформирующем протягивании //Резание и инструмент в технологических системах – Харьков: НТУ «ХПИ», 2006-№70.-С.502-509.
4. Способ остановки процесса деформирующего протягивания: А.с.1395465 СССР, МКИ В24В39/02. /Я.Б.Немировский, А.В. Чернявский, А.И. Геровский. - №4141539/31-27, заявл. 31.10.86, опубл. 15.05.88, Бюл. №18. – 3с.
5. О.А. Розенберг, Ю.А. Цеханов, С.Е. Шейкин. Технологическая механика деформирующего протягивания. - Воронеж: ВГТА, 2001. – 203с.
6. В.В. Кривошея. Влияние угла рабочего конуса деформирующего элемента на процесс деформирующего протягивания цилиндрических отверстий:Автореф. дис.... Канд. техн. наук 105.03.01 ИСН АН УССР. – Киев, 1988.-16с.
7. К вопросу использования алмазов для изучения контактного взаимодействия инструмента с деталью при деформирующем протягивании/А.М. Розенберг, О.А. Розенберг, Ю.А. Цеханов, Я.Б. Немировский, В.В. Кривошея//Сверхтвердые материалы.-1984.-№3.-С.39-43.

J. Nemirovskiy

V. Bakul Institute for Superhard Materials of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev

Features of the calculation of geometric, kinematic parameters of the deformation in deforming pulling

Calculation geometrical and kinematical parameters the deforming zone of deforming broaching are showed in this article.

The algorithm of calculation geometrical kinematical parameters the deforming zone of deforming broaching are presented in this article. The variants of the calculation contact square depending on the level contact pressure are described. The occurrence of influence material of details on the contact square are showed.

Одержано 21.03.13

УДК.629.113

**О.В. Бевз, доц., канд. техн. наук, С.О. Магопец, доц., канд. техн. наук,
Д.А. Якимаха, магістрант**

Кіровоградський національний технічний університет

Дослідження надійності роботи переднього гальмівного механізму автомобіля Renault

На основі результатів проведених досліджень оцінювали ефективність роботи пари тертя – «гальмівний диск – гальмівна колодка». Дослідження проводилися на спеціальному стенді з використанням натурального гальмівного вузла автомобіля Renault «Symbol».
гальмівні колодки, гальмівний диск, температура, питома спрацювання

О.В. Бевз, С.О. Магопец, Д.А. Якимаха

Кіровоградский национальный технический университет

Исследование надежности работы переднего тормозного механизма автомобиля Renault

В данной работе приведены результаты исследований эффективности работы в лабораторных условиях пары трения - «тормозной диск - тормозная колодка». На основе результатов проведенных исследований работы пары трения - «тормозной диск - тормозная колодка» с учетом разных условий работы после окончания всех исследований проводилась оценка абсолютного и удельного износа колодок.

тормозные колодки, тормозной диск, температура, удельный износ

Постановка проблеми. Машинобудівна промисловість має багатогалузеву структуру і практично в кожній галузі використовуються гальмівні механізми. З огляду на те, що в останні роки в нашій країні, як і Європі та світі загалом, стрімко підвищуються вимоги до безпеки руху транспортних засобів в контексті постійного зростання чисельності парку автомобілів зумовленого збільшенням обсягів перевезень пасажирів і вантажів – проблема забезпечення безпеки руху автотранспортних засобів є виключно актуальною.

Останнім часом змінилися показники оцінки гальмівних властивостей автомобілів, нормативні значення їх тепер стали жорсткішими. В свою чергу ефективність гальмування визначається як конструктивними особливостями, так і експлуатаційними характеристиками вузлів і механізмів гальмівної системи.

Гальмівна система є сукупністю цілого ряду вузлів, справність кожного з яких впливає на роботу всієї системи в цілому. Але якщо працездатність, наприклад, вакуумного підсилювача або головного гальмівного циліндра можна безпомилково визначити ще до початку руху декількома натисканнями на педаль, то як зрозуміти, які гальмівні колодки забезпечать найбільш ефективне гальмування, тим більше що їх вибір зараз просто величезний. Важливим є і питання про ресурс основної пари тертя – «гальмівний диск – гальмівна колодка». Крім того, нерідкі випадки, коли вибрані колодки і мають достатній ресурс, і забезпечують нормальний процес гальмування, але після декількох тисяч напрацювання, гальмівні диски доводиться віддавати на проточку або ще дорожче - замінити.

Отже, дослідження спрямовані на підбір оптимальної пари «гальмівний диск – гальмівна колодка» є беззаперечно актуальними та своєчасними.

© О.В. Бевз, С.О. Магопец, Д.А. Якимаха, 2013

Аналіз основних досліджень і публікацій. За останні роки вийшло багато публікацій [1–2] за результатами досліджень і розробок щодо підвищення ефективності гальмування автомобілів. Однак ці публікації містять більше рекомендації загального характеру.

У той же час вітчизняний і зарубіжний досвід показує, що гальмівна система (ГС) автомобіля є найважливішим елементом його активної безпеки. Від того, наскільки точно будуть забезпечені нормативні експлуатаційні характеристики гальмівної системи будуть залежати життя людей, схоронність перевезених вантажів і самих транспортних засобів.

Формування цілей. Основною метою досліджень виступало підвищення ефективності гальмування транспортного засобу, яка оцінювалася за величинами гальмівного шляху та сповільнення автомобіля в залежності від властивостей пари тертя – «гальмівний диск – гальмівна колодка».

Гальмівна ефективність при цьому визначалася виходячи з сукупності ефективності окремих гальмувань, ефективності повторних гальмувань (FADE) і відновлення.

Методика проведення досліджень полягала у наступному: весь цикл випробувань проводився двічі (кожного разу з новим комплектом колодок і новим гальмівним диском) і складався з чотирьох основних етапів:

1. Дослідження ефективності окремих гальмувань, який в свою чергу складався з трьох випробувань.

Випробування 1. Цим випробуванням імітуються різні режими одиничних гальмувань (від слабкого до екстреного) на швидкості 100 км/год. до повної зупинки автомобіля. Початкова швидкість 100 км/год., температура колодки на початку гальмування менше 50 °С. Тиск в гальмівному циліндрі змінюється від 2 до 8 МПа з інтервалом 2 МПа.

Випробування 2. Цим випробуванням імітуються різні режими одиничних гальмувань при різних початкових швидкостях гальмування. Тиск в гальмівному циліндрі 5 МПа, температура колодки на початку гальмування менше 50 °С. Початкова швидкість змінюється від 40 до 120 км/год. з кроком 20 км/год. Вимірюється уповільнення.

Випробування 3. Мета даного випробування - оцінка ефективності гальмування при різних значеннях температури колодки. Початкова швидкість гальмування 100 км/год., тиск в гальмівному циліндрі 5 МПа. Вимірюється уповільнення при різних значеннях температури колодки (від 50 до 250 °С, з кроком 50 °С).

2. Дослідження ефективності повторних гальмувань (FADE). На даному етапі імітувався рух автомобіля по гірському серпантину. Випробування складалося з двох однакових циклів, між якими колодки охолоджувалися до початкової температури (менше 50 °С). Гальмівне зусилля підтримувалося на рівні 5 МПа, початкова швидкість гальмування складала 100 км/год., кінцева швидкість - 50 км/год., гальмування проводилося з інтервалом 45 секунд із вимірюванням сповільнення і температури колодки в кінці кожного циклу.

3. Відновлення. Програма випробувань на даному етапі повністю повторювала випробування етапу 1 (визначення ефективності окремих гальмувань). Метою даного етапу виступало прогнозування стабільності робочих характеристик гальмівних колодок впродовж всього терміну експлуатації.

4. Дослідження границі міцності з'єднання гальмівної накладки з каркасом. В даному випробуванні визначалися ті зусилля, при яких відбувався відрив фрикційного матеріалу від каркаса колодок (за нормам ЄСЕ R-90 ця величина повинна складати не менше - 5 МПа). Температура накладки вимірювалася за допомогою термопар, в

об'ємі, на відстані 2 мм від каркаса колодки. Відповідно в парі тертя температура вище приблизно на 200 °С.

Перед початком 1-го етапу випробувань проводилися припрацювання колодок, для чого здійснювалося від 50 до 100 гальмувань.

Виклад основного матеріалу. Для дослідження були вибрані колодки для автомобіля Renault «Symbol». Колодки були придбані в магазинах автозапчастин роздрібною торговельною мережі м. Кіровограда по два комплекти від кожного виробника.

Дослідження проводилися в спеціалізованій лабораторії на устаткуванні, що має сертифікат Держстандарту України. При випробуваннях були задіяні два випробувальні стенди.

Перший стенд є натуральним гальмівним вузлом (рис. 1), що складається з гальмівного супорта, гальмівного диска і двох колодок автомобіля Renault «Symbol», маховика із змінним моментом інерції (в даному випадку момент інерції відповідав моменту інерції автомобіля Renault «Symbol»), електроприводу і контрольно-вимірювальної апаратури. На цьому стенді безпосередньо перевірялася ефективність колодок в різних режимах гальмування.

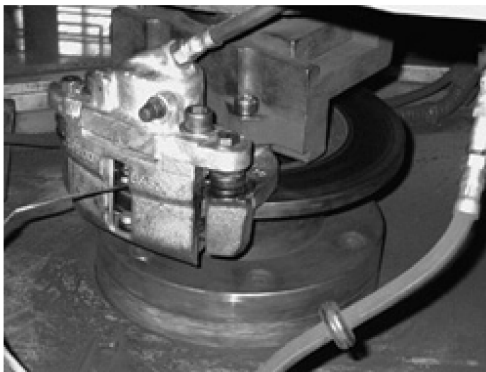


Рисунок 1 - Натуральний гальмівний вузол

На другому стенді визначалася межа міцності з'єднання гальмівної накладки з каркасом.

В якості «контр-тіла» для всіх гальмівних колодок були обрані гальмівні диски фірми TRW (Німеччина) - саме такими дисками оснащуються автомобілі Renault «Symbol» заводом-виробником.

Дослідженню піддавалися гальмівні колодки наступних виробників: фірм EBC, Ferodo, Remsa, TRW – LUCAS, Brembo та фірми TEXTAR.

Після закінчення всіх досліджень проводилася оцінка абсолютного і питомого спрацювання колодок. Результати дослідження наведені в таблиці 1, в якій величина сповільнення, для зручності сприйняття, перерахована в коефіцієнт тертя, чим вище цей коефіцієнт, тим вище ефективність гальмівних колодок. В якості відправної точки для оцінки ефективності колодок був використаний норматив ECE R-90 Євросоюзу, який свідчить, що коефіцієнт тертя має бути не менше 0,33 або для температурних випробувань 0,3.

Під час дослідження кожний виріб був випробуваний більш ніж на 60 параметрів. Так як всі значення неможливо представити, в таблиці приведені лише середні значення коефіцієнтів тертя і температур.

За даними таблиці 1 було побудовано порівнювальні графіки дослідження ефективних показників гальмівних колодок на стенді.

Таблиця 1 – Результати тестування передніх гальмівних колодок для автомобіля Renault «Symbol»

Середні коефіцієнти тертя	Модель колодок					
	EBC	Ferodo	Remsa	TRW – LUCAS	Brembo	TEXTAR
Випробування 1 $V_{\text{поч}} - 100 \text{ км/год}$ $T_{\text{поч}} - 50 \text{ }^\circ\text{C}$ P - var	0,47	0,43	0,46	0,45	0,42	0,42
Випробування 2 P - 5 МПа $T_{\text{поч}} - 50 \text{ }^\circ\text{C}$ $V_{\text{поч}} - \text{var}$	0,47	0,46	0,5	0,47	0,47	0,41
Випробування 3 (температурні випробування) T - 250 $^\circ\text{C}$	0,4	0,36	0,35	0,33	0,36	0,31
Випробування «гірський серпантин» (fade)	0,43	0,36	0,4	0,39	0,44	0,33
Температура колодки на останньому гальмуванні «гірського серпантину», $^\circ\text{C}$	262	255	216	256	239	276
Випробування відновлення	0,49	0,42	0,46	0,47	0,54	0,44
Питоме спрацювання, $\text{см}^3/10^6 \text{ кгм}$	1,5	1,9	1,39	1,87	14,45	3,42
Зусилля відриву фрикційного матеріалу від каркаса, МПа	7,52	5,3	5,9	9,02	6,31	9,88

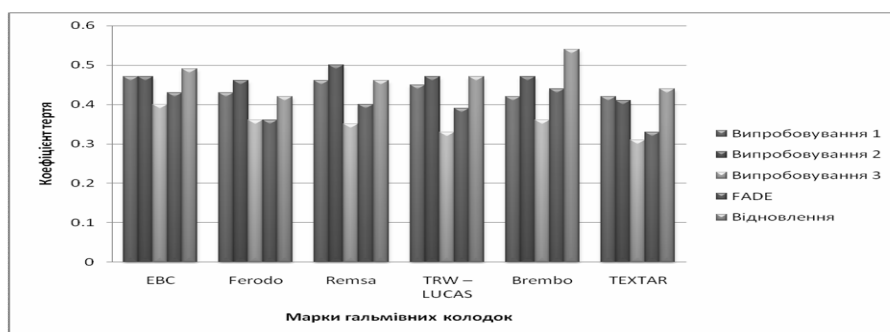


Рисунок 2 – Зміна коефіцієнтів тертя гальмівних колодок при різних етапах дослідження

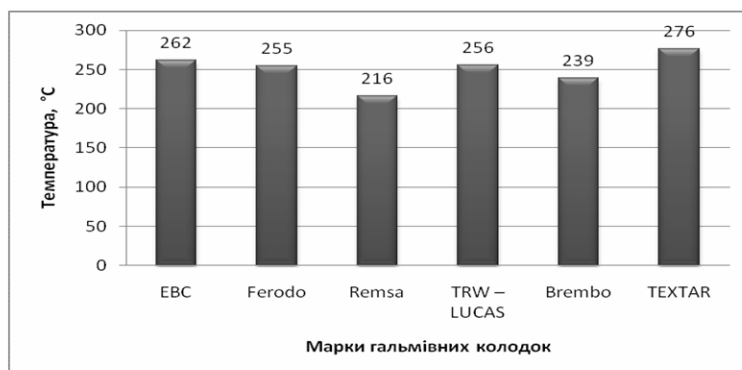


Рисунок 3 – Величини температурного режиму колодок при гальмуванні в умовах «гірського серпантину»

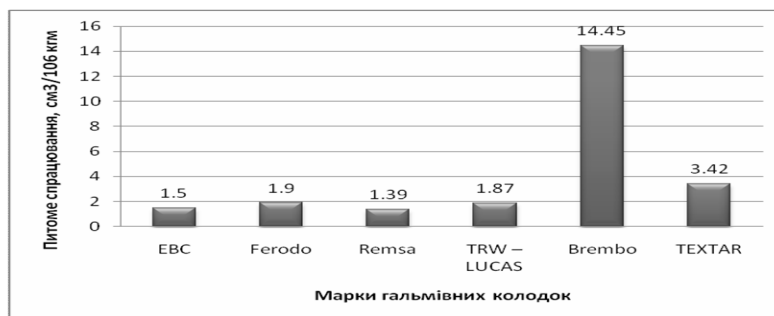


Рисунок 4 – Порівняльні графіки величин питомого спрацювання колодок під час дослідження

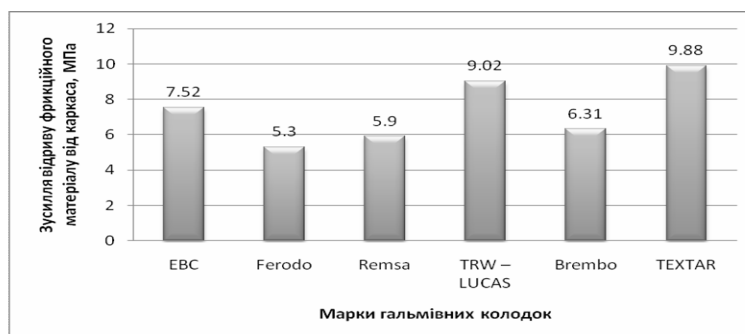


Рисунок 5 – Величини границь міцності з'єднання гальмівної накладки з каркасом

Висновки. Проводячи підсумок даних досліджень можна зробити висновок що всі колодки показали нормальний результат, але на нашу думку кращими виявилися колодки фірми EBC (Англія). Разом з тим, кожен власник в праві вирішувати які колодки він встанове на свій автомобіль.

Список літератури

1. Косѐнков А.А. Устройство тормозных систем иномарок и отечественных автомобилей. Учебное пособие. Издательство: «Феникс», 2003. – 224 с.
2. Оцінка експлуатаційних гальмових властивостей автомобілів в умовах неточності вихідних даних: монографія /А. А. Кашканов, В. М. Ребедайло, В. А. Кашканов. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 148 с.
3. М.В. Рэндалл. Тормоза. Руководство по обслуживанию, диагностике и ремонту тормозных систем. Изд: Алфамер Паблишинг, 2009. - 192 с.
4. Журнал «За рулем». Информационный сайт журнала.

O. Bevz, S. Magopec, D. Yakimaha

Kirovograd national technical university

Research of reliability of work of front brake mechanism of car Renault

In hired the results of researches of efficiency of work in the laboratory terms of pair of friction are pointed - a «brake disk is a skid».

On the basis of results of the conducted researches of work of pair of friction - a «brake disk is a skid» taking into account different terms works after completion of all researches an estimation was conducted absolute and specific wear of shoe trees.

Working out the total of these researches it is possible to draw conclusion that all shoe trees showed a normal result, but to our opinion the shoe trees of firm appeared the best EBC (England).

skids, brake disk, temperature, specific wear

Одержано 21.05.13

УДК 621.923.5

М.М. Підгаєцький, доц., канд.техн.наук, К.К.Щербина, асп.

Кіровоградський національний технічний університет

Аналіз впливу попередньої макронерівності в процесі хонінгування прецензійних отворів

В статті розглядається процес хонінгування прецензійних отворів трибрусковою хонінгувальною головкою з наявністю попередніх макронерівностей в поперечному перерізі. Представлено аналіз взаємодії трибрускової хонінгувальної головки з оброблюваним отвором в процесі виправлення макронерівностей в поперечному перерізі. С прогнозовано профілі отвору в поперечному перерізі які отримуються після обробки трибрусковою хонінгувальною головкою.

огранка, еліпс, прецензійний отворів, хонінгувальна головка

М.М. Подгаецкий, К.К. Щербина

Кировоградский национальный технический университет

Анализ исправления предварительной макронеровности в процессе хонингования прецизионных отверстий

В статье рассматривается процесс хонингования прецизионных отверстий трибрусковой хонинговальной головкой с наличием макронеровностей в поперечном сечении. Представлен анализ взаимодействия трибрусковой хонинговальной головки с обрабатываемым отверстием в процессе исправления макронеровностей в поперечном сечении. С прогнозированны профили отверстий в поперечном сечении, которые получены после обработки трибрусковой хонинговальной головкой.

огранка, эллипс, прецизионное отверстие, хонинговальная головка

Великого розповсюдження набули прецензійні отвори, особливо у деталях керуючої гідроапаратури гідравлічних машин до яких висуваються підвищені вимоги точності та шорсткості. Основною задачею процесу хонінгування прецензійних отворів є підвищення якості поверхні за рахунок виправлення попередніх геометричних відхилень в повздовжньому та поперечному перерізі. Детальніше розглянемо макронерівності в обумовлених перерізах [1].

Існують наступні макронерівності в поперечному перерізі:

- еліпс (рис.1, а);
- трійна огранка (рис.1, б);
- п'ятірна огранка (рис.1, в).

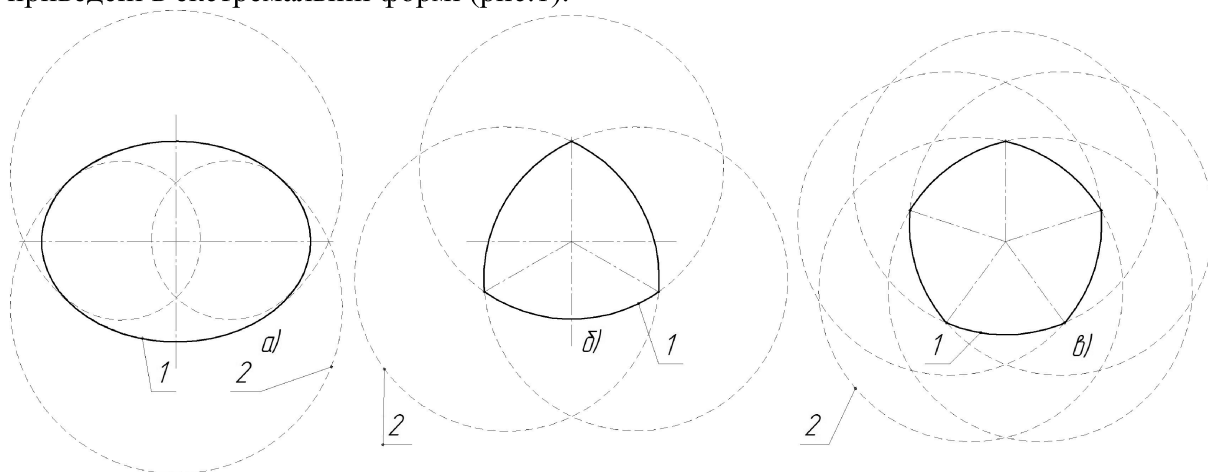
Макронерівності в повздовжньому перерізі:

- бочкоподібність;
- сідлоподібність;
- конусність.

Проведений ряд досліджень [2,3] вказує на те що різні за конструкцією хонінгувальні головки по-різному будуть впливати на процес виправлення макронерівностей в поперечному перерізі. Тому виникла необхідність проаналізувати процес виправлення макронерівностей в поперечному перерізі.

За основу приймемо трибрускову хонінгувальну головку (ТБХГ) (рис.2), яка буде кріпитися на кардану підвіску для отримання максимальної співвісності оброблюваного отвору та ТБХГ. Обумовленість вибору ТБХГ пов'язана з тим, що вона має найбільшу можливість до самоврівноваження в процесі обробки отворів.

Представленні макронерівності в поперечному перерізі, а саме еліпс та огранка приведені в екстремальній формі (рис.1).

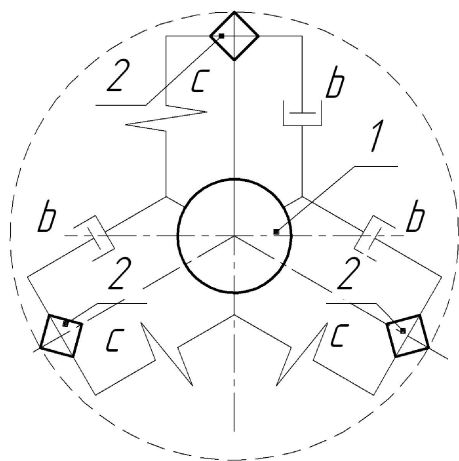


1 – контур макронерівності; 2 – сукупність кіл утворюючої макронерівності

а) еліпс; б) трійна огранка; в) п'ятірна огранка

Рисунок 1 – Макронерівності в поперечному перерізі

Слід зазначити, що обумовлені макронерівності сформовані сукупністю окружностей зі зміщеним центром (рис.1), що може негативно вплинути на процес виправлення макронерівностей. Також слід зазначити, що процес хонінгування буде проходити за *методом вільного центрування*.



1 – конус розширення; 2 – алмазний або абразивний брусок; c – пружність з'єднання бруска та конусу розширення; b – коефіцієнт демпфування між бруском та конусом розширення

Рисунок 2 – Трибрускова хонінгувальна головка

Метод вільного центрування забезпечення вільного самовстановлення інструменту по оброблюваній поверхні з рухомим центром за рахунок шарнірного з'єднання з шпинделем верстату.

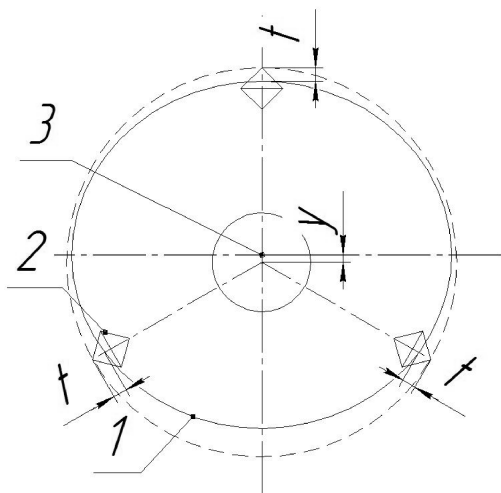
Розглянемо детальніше процес взаємодії ТБХГ з макронерівністю поперечного перерізу у вигляді еліпсу (рис.3). На основі схеми можливо визначити зміщення центру хонінгувальної головки, що обумовлено само врівноважуванням ТБХГ. Тому доцільно розглянути характер взаємодії ТБХГ і оброблюваного отвору в декількох положеннях, наприклад повернемо ТБХГ на 120 градусів з шістьма проміжними положеннями з кроком 20 градусів.

В результаті чого центр ТБХГ описує наступну фігуру (рис.4). Обумовлене зміщення центру може призвести до виникнення динамічних навантажень, що призведе виникнення автоколивань. В результаті проведеного дослідження було отримано рівняння регресії, яке описує коливання центра ТБХГ в процесі обробки:

$$y = 6.86462847 - 0.0511268708 * \chi, \quad (1)$$

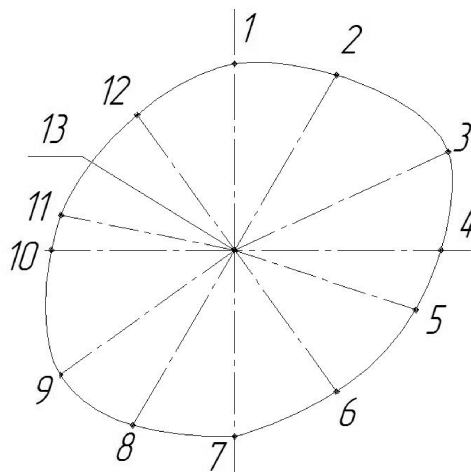
де y – величина зміщення вісі центру ТБХГ;

χ – поточне положення кута в межах одного повороту ТБХГ.



1 – контур отвору до обробки; 2 – брусок;
3 – геометричний центр отвору; t – глибина
різання; y – величина зміщення вісі центру ТБХГ

Рисунок 3 – Взаємодія ТБХГ з макронерівністю у вигляді еліпсу

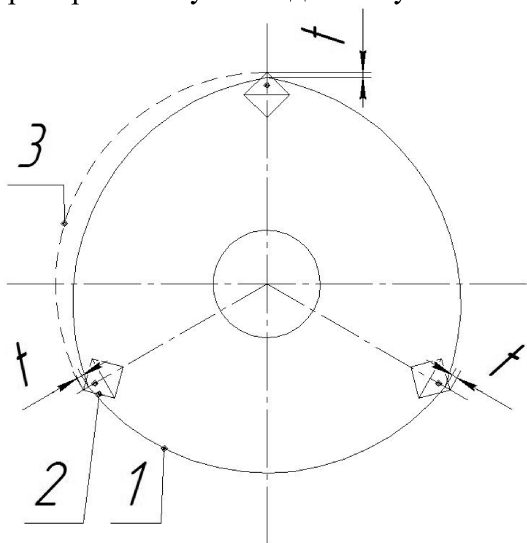


1...12 – точки описує траєкторії руху
геометричного центра хона; 13- геометричний
центр отвору; r – радіус зміщення

Рисунок 4 – Траєкторія зміщення вісі центру
ТБХГ в процесі обробки отвору з
макронерівністю у вигляді еліпса

Внаслідок цього ТБХГ не може виправити обумовлену макронерівність, що підтверджується дослідженнями представленими в роботі [2].

Розглянемо схему взаємодії ТБХГ з макронерівністю у вигляді трійної огранки (рис.5). Для отримання більш детальної картини процесу виправлення повернемо ТБХГ також на 120 градусів із збереженням тих самих умов, що і при обробці макронерівності у вигляді еліпсу.



1 – контур отвору до обробки; 2 – брусок;
3 – траєкторія руху бруска; t – глибина різання

Рисунок 5 – Взаємодія ТБХГ з макронерівністю у вигляді трійної огранки

В процесі виправлення трійної огранки постійно буде змінюватися глибина різання t , що приведе до зміни сили різання, моменту різання та питомого тиску на оброблювану поверхню. В першу чергу це призведе до підвищеного зносу алмазних чи абразивних брусків. По друге це ускладнює можливість адаптивного керування процесом в наслідок того, що ТБХГ немає зворотності дії [4]. Тобто не має можливості зменшення радіального розміру в процесі обробки. Що в свою чергу призведе до того, що існуючі системи адаптивного керування процесом хонінгування побудовані на основі виміру крутного моменту різання, не зможуть адекватно реагувати на зміну умов.

В результаті було отримано рівняння регресії зміни глибини різання в залежності від повороту ТБХГ.

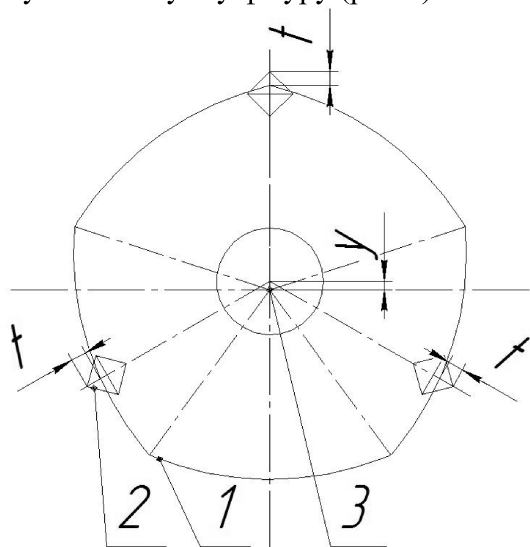
$$t = 3.744421053 - 2.493132241 - 19 * \chi . \quad (2)$$

Отже, ТБХГ буде виправляти макронерівність у вигляді трійної огранки, що також підтверджується в роботі [3], але слід зазначити що даний процес має ряд недоліків, серед яких:

- підвищення зносу алмазних чи абразивних брусків;
- не можливість використання існуючих систем адаптивного керування.

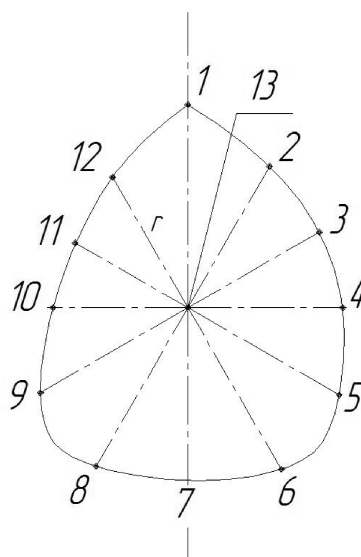
Проведемо дослідження взаємодії ТБХГ з макронерівністю у вигляді п'ятірної огранки (рис.6). Умови дослідження залишаються не змінними, як і при виправленні макронерівності у вигляді еліпсу та трійної огранки.

Характер взаємодії вказує на те, що вісь центрів ТБХГ буде змінюватися та описувати наступну фігуру (рис.7).



1 – контур отвору до обробки; 2 – брусок;
3 – геометричний центр отвору; t – глибина різання;
y – величина зміщення вісі центру ТБХГ

Рисунок 6 – Взаємодія ТБХГ з макронерівністю у вигляді п'ятірної огранки



1... 12 – точки описує траєкторії руху
геометричного центра хона; 13- геометричний
центр отвору; r – радіус зміщення

Рисунок 7 – Траєкторія зміщення вісі центру
ТБХГ в процесі обробки отвору з
макронерівністю у вигляді п'ятірної огранки

Обумовлене зміщення центру може призвести до виникнення динамічних навантажень та викликати автоколиваний. В результаті було отримано рівняння регресії, яке описує коливання центра ТБХГ в процесі обробки:

$$y = 4.13142857 - 0.000965201465 * \chi , \quad (3)$$

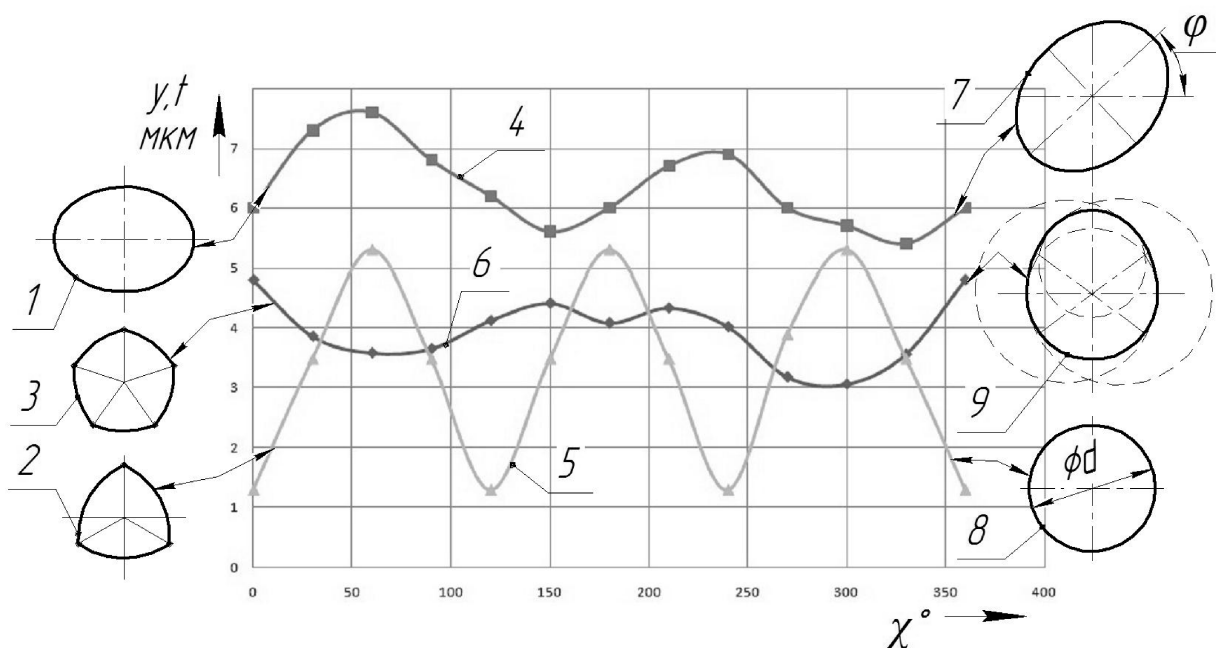
де y – величина зміщення вісі центру ТБХГ;

χ – поточне положення кута в межах одного повороту ТБХГ.

В наслідок цього ТБХГ не може виправити обумовлену макронерівність, тому отримується інша макронерівність у вигляді еліпса. Слід зазначити, що проведені дослідження, котрі представлені в роботі [3] вказують на те що хонінгувальна головка з не парною кількістю брусків досить добре виправляє макронерівність у вигляді п'ятірної огранки.

Проведенні дослідження показали, що ТБХГ не може виправити макронервність у вигляді еліпсу, що підтверджується прогнозованим профілем отвору після обробки (рис.8) за рахунок того, що центр вісі обумовленої ХГ постійно змінює своє положення. Підтвердився той факт, що ТБХГ виправляє макронервність у вигляді трійної огранки, але з рядом недоліків, що зазначалися вище. Не підтвердився факт виправлення ТБХГ макронервності у вигляді п'ятірної огранки через те, що центр вісі обумовленої хонінгувальної головки змінює своє положення (рис.8).

В результаті аналізу були отримані графіки зміни параметрів обробки в залежності від кута повороту ТБХГ та рівняння регресії, які описують даний процес за допомогою програмного продукту Statistica 6 [5].



1,2,3 – контур отвору до обробки; 4 – графік зміщення вісі центрів ТБХГ при обробці еліпсу; 5 – графік зміни глибини різання при обробці трійної огранки; 6 – графік зміщення вісі центрів ТБХГ при обробці п'ятірної огранки; 7 – прогнозований контур отвору після обробки еліпсу; 8 – прогнозований контур отвору після обробки трійної огранки; 9 – прогнозований контур отвору після обробки п'ятірної огранки; t – глибина різання; у – величина зміщення вісі центру ТБХГ

Рисунок 8 – Характеристика впливу попередньої макронервності на виправлення в процесі хонінгування

Отримані теоретичні результати потребують експериментальних досліджень для детальнішого аналізу проблем, які було визначено. Особливо це стосується виправлення макронервності у вигляді п'ятірної огранки, у зв'язку з різницею вже відомих експериментальних досліджень [3] та отриманими результатами.

Список літератури

1. Билик Ш.М. Макрогеометрия деталей машин. / Билик Ш.М. - Изд. 2-е, перераб. и доп. М. «Машиностроение» 1973 - 344 с.
2. Болгов Д.В. Повышение производительности и точности хонингования отверстий на основе совмещенной абразивно-лезвийной обработки: дис. канд. техн. наук: 05.02.08./ Болгов Дмитрий Владимирович. - Липецк 2006. – 156с.
3. Фрагин И.Е. Исследование процесса хонингования / Фрагин И.Е., Сафронов В.Г. - НииМаш. Москва, 1965.
4. Підгаєцький М.М. Особливості регулювання радіального розміру відділових різальних інструментів з допомогою оболонкової форми під дією гідростатичного тиску/ М.М. Підгаєцький,

К.К. Щербина - Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету
техніка в сільськогосподарському виробництві, галузева машинобудування, автоматизація. Вип.
24 Ч.2 – Кіровоград: КНТУ, 2011. – С. 136-140.

5. Боровиков В.П. Популярное введение в программу Statistica / Боровиков В.П. - М. КомпьютерПресс, 1998.-267с.

M. Podgaetski., K. Scherbina

Kirovograd National Technical University

Analysis of influence of previous macro inequality is in the process of honing of the precise openings

The goal of the article is a research of the process of correcting the previous macro inequality in cross section at honing with the triple bar honing head.

The process of correction of previous macro inequality was investigational in a transversal cut , namely an ellipse, triplets and quinar cut at honing with triple bar honing head. The process of correcting an ellipse and quinar cut is fragile due to the fact that the geometric center axis triple bar honing head constantly shifts during processing. The process of correcting triplets cut accompanied by specific pressure drop on the work surface, causing instability of the cutting force. There have been receiving dependency and level of regression variables process of correcting macro inequality in a transversal cut.

The analysis determined that the triple bar honing head does not remedy such macro inequality as ellipse and quinar cut.

cut, ellipse, precise openings, honing head

Одержано 08.04.13

УДК 621.7.35.5

**В.П. Пукалов, В.В. Пукалов, доценти, кандидати технічних наук,
Н.Н. Петренко, Ф.И. Златопольский, професори, кандидати технічних наук**
Кировоградский национальный технический университет

Определение соотношения между прогибом нейтральной оси и образующей при деформации осесимметричных тел

На основе метода начальных параметров разработана математическая модель деформации образующей цилиндрической поверхности калиброванных валков, лежащих на двух шарнирных опорах.

Полученный результат позволяет оптимизировать разработку процесса сортовой прокатки с заданной точностью.

прогиб, нейтральная ось, деформация, осесимметричное тело

В.П. Пукалов, В.В. Пукалов, М. М. Петренко, Ф.И. Златопольський
Кіровоградський національний технічний університет

Визначення співвідношення між прогином нейтральної осі і створюючою при деформації вісесиметричних тіл

На основі методу початкових параметрів розроблена математична модель деформації створюючої циліндрової поверхні каліброваних валків, що лежать на двох шарнірних опорах.

Отриманий результат дозволяє оптимізувати розробку процесу сортового прокатування із заданою точністю.

прогин, нейтральна вісь, деформація, вісесиметричне тіло

По оцінкам спеціалістів, на території України зосереджена четверть світових запасів чорноземів. Чорноземи займають площу 60,4 млн. га, з них майже 70% – це сільськогосподарські угіддя, в структурі яких близько 80% припадає на пашню. Тому можна з впевненістю говорити про те, що масове або крупносерійне сучасне виробництво сільськогосподарської техніки, є одним з найважливіших умов розвитку України. Випуск сільськогосподарської техніки в необхідних об'ємах можливо тільки з використанням високопродуктивних технологічних процесів, одним з яких є сортова і листовая прокатка.

Дослідження в цій області дозволяють зробити висновок про те, що процес прокатки достатньо вивчений. Однак, в процесі закономірного розвитку фундаментальної науки, прикладна її частина, в даному випадку прокатне виробництво, потребує подальших планованих досліджень, зокрема, дослідження деформації каліброваних валків.

В результаті розрахунково-експериментальних досліджень Розоренова В.А. [1] було встановлено, що поперечне стиснення горизонтальних волокон бочки, викликає зменшення прогибу по діаметральному напруженню в середньому на 5 – 13%, при переході від осі валка до навантаженої формуючої бочки валка. Ці результати отримані для досліджуваного відношення діаметра до довжини бочки 0,5 – 1,1.

Запитання про теоретичні дослідження дійсного розподілу напруження в сеченнях коротких балок і визначення прогинів нейтральної осі і формуючої циліндричної поверхні детально розглянуті в теорії еластичності при інтегруванні диференціального рівняння двохвимірних задач (2):

$$\frac{\partial^4 \varphi}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 \varphi}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 \varphi}{\partial y^4} = 0. \quad (1)$$

Карман прийшов до функції, яка дає розподіл напружень в нескінченній балці, коли епюра вигинаючих моментів складається з дуже вузького прямокутника.

В загальному випадку навантаження балки вертикальними силами, прикладеними на верхній межі балки, відповідна епюра вигинаючих моментів може бути розділена на елементарні трикутники, а відповідна функція напружень може бути отримана шляхом інтегрування функції Кармана вздовж довжини балки. Напруження σ_x можна розбити на дві частини: одну з них можна обчислити за елементарною балочною формулою, друга характеризує локальний ефект поблизу точки прикладення сили.

Згідно з принципом Сен-Венана остання величина швидко падає з збільшенням відстані від точки прикладення навантаження, і на відстані, рівній висоті балки, її можна нехувати.

Визначимо прогин циліндричної поверхні вала.

Розглянемо вал з постійним діаметром d , опираючий на дві кульові опори. Відстань між опорами дорівнює L (рис. 1).

Відомо, що для плоскої задачі нормальне і дотичне напруження, виникаючі в будь-якому поперечному сеченні вала під дією зосередженої сили, визначаються за рівняннями [2]:

$$\sigma_x = \frac{M}{I_M} y; \quad (2)$$

$$\sigma_y = 0; \quad (3)$$

$$\tau_{xy} = \frac{Q}{3I_M} (c^2 - y^2), \quad (4)$$

где M и Q – изгибающий момент и поперечная сила, вычисленные обычным путём;

I_M – момент инерции вала;

$2c = d$ – диаметр вала.

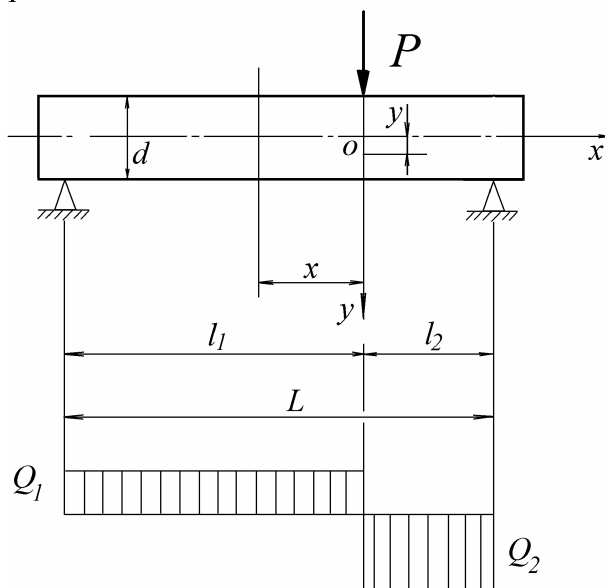


Рисунок 1 – Схема нагружения и определения отношения между прогибом нейтральной оси образующей цилиндрической поверхностей калиброванных валков

Если координаты Ox и Oy выбраны так, что они совпадают с осью вала и действующей силой, тогда можно определить изгибающий момент в сечении, находящемся на расстоянии x от вертикальной координаты Oy по следующему уравнению:

$$M(x) = Q_1 (l_1 - x). \quad (5)$$

Очевидно, что уравнения (5) применяется только на левой части балки (1). Подставляем значения $M(x)$ из уравнения (5) в уравнения (2 – 4), находим

$$\sigma_x = Q(l_1 - x) \frac{y}{I_M}; \quad (6)$$

$$\sigma_y = 0; \quad (7)$$

$$\sigma_{xy} = \frac{Q_1}{3I_M} (c^2 - y^2). \quad (8)$$

Из формулы закона Гука для плоской задачи [3] после подстановки в них значения напряжений (6 – 8), находим:

$$\varepsilon_x = \frac{Q_1 l_1 y}{EI_M} - \frac{Q_1 x y}{EI_M};$$

$$\varepsilon_y = \frac{-\mu Q_1 l_1 y}{EI_M} + \frac{\mu Q_1 y x}{EI_M};$$

$$\gamma_{xy} = \frac{2Q_1(1+\mu)c^2}{3EI_M} - \frac{2Q_1(1+\mu)y^2}{3EI_M},$$

где μ – коэффициент Пуассона.

Из формул Коши [4] получаем:

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{Q_1 l_1 y}{EI_M} - \frac{Q_1 x y}{EI_M}; \quad (9)$$

$$\frac{\partial v}{\partial y} = \frac{-\mu Q_1 l_1 y}{EI_M} + \frac{\mu Q_1 y x}{EI_M}; \quad (10)$$

$$\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} = \frac{2Q_1(1+\mu)c^2}{3EI_M} - \frac{2Q_1(1+\mu)y^2}{3EI_M}, \quad (11)$$

где u – перемещения в горизонтальном направлении;

v – перемещения в вертикальном направлении.

Интегрируя уравнения (9 и 10) находим:

$$u = \frac{Q_1 l_1 y x}{EI_M} - \frac{Q_1 y x^2}{2EI_M} + f_1'(y); \quad (12)$$

$$v = \frac{-\mu Q_1 y^2 x}{2EI_M} + \frac{\mu Q_1 l_1 y^2}{2EI_M} + f_1'(x). \quad (13)$$

После подстановки перемещения может существовать при произвольных значениях u и v только в том случае, если стоящие в квадратных скобках, постоянны:

$$\left[\frac{Q_1 l_1 x}{EI_M} - \frac{Q_1 x^2}{2EI_M} + f_1'(x) \right] + \left[\frac{2Q_1(1+\mu)y^2}{3EI_M} - \frac{\mu Q_1 y^2}{2EI_M} + f_1'(y) \right] = \frac{2Q_1(1+\mu)c^2}{3EI_M}. \quad (14)$$

Полученное равенство может существовать при произвольных значениях x и y , только в том случае, если выражения, стоящие в квадратных скобках, постоянны:

$$\frac{Q_1 l_1 x}{EI_M} - \frac{Q_1 x^2}{2EI_M} + f_1'(x) = E_1, \quad (15)$$

$$\frac{2Q_1(1+\mu)y^2}{3EI_M} - \frac{\mu Q_1 y^2}{2EI_M} + f_1'(y) = E_2. \quad (16)$$

Кроме того, из уравнения (14) вытекает следующая зависимость между постоянными:

$$E_1 + E_2 = \frac{2Q_1(1+\mu)c^2}{3EI_M}.$$

Интегрируя уравнения (15) и (16) находим :

$$E_1 x - \frac{Q_1 l_1 x^2}{2EI_M} + \frac{Q_1 x^3}{6EI_M} + A_1 = f_1(x);$$

$$E_2 y - \frac{2Q_1(1+\mu)y^3}{3 \cdot 3EI_M} + \frac{\mu Q_1 y^3}{6EI_M} + A_2 = f_1(y)$$

Подставляя полученные функций в формулу (13), получаем :

$$v = \frac{\mu Q_1 y^2 x}{2EI_M} + \frac{\mu Q_1 l_1 y^2}{2EI_M} + E_1 x - \frac{Q_1 l_1 x^2}{2EI_M} + \frac{Q_1 x^3}{6EI_M} + A_1 \quad (17)$$

Для определения произвольных постоянных A_1 , E_1 рассматриваем левую часть балки. Тогда при $x = l_1$, $y = \frac{d}{2}$

$$v_1 = 0. \quad (18)$$

Известно из курса сопротивления материалов (4), что если действующая сила на балку, имеющую постоянный диаметр, находится на расстоянии l_1 от левой опоры, и при $l_1 > l_2$, тогда отсутствует поворот нейтральной оси при \bar{x} , равный:

$$\bar{x} = \sqrt{\frac{L^2 - l_2^2}{3}},$$

т. е. при расстоянии от начальных координат, равном x_0 :

$$x_0 = l_1 - \sqrt{\frac{L^2 - l_2^2}{3}}. \quad (19)$$

Тогда можно написать

$$\left(\frac{dv}{dx} \right)_{\substack{y=0 \\ x=x_0}} = 0. \quad (20)$$

Исходя из уравнения (17) и уравнения (18 – 20) и после математического преобразования, находим:

$$E_1 = \frac{Q_1 l_1^2}{3EI_M} (2 - \lambda_1);$$

$$A_1 = \frac{Q_1 l_1^3}{3EI_M} (\lambda_1 - 1),$$

где $\lambda_1 = L/l_1$.

Подставив значения E_1 , A_1 в уравнения (17) и после математических преобразований находим:

$$v = \frac{Q_1}{6EI_M} [2l_1^2(2 - \lambda_1)x - 3l_1x^2 + x^3 + 2l_1^3(\lambda_1 - 1)] - \frac{\mu Q_1}{2EI_M} (l_1 - x)y^2. \quad (21)$$

При подстановке $y = 0$, находим уравнения изогнутой нейтральной оси левой части балке:

$$v_0 = \frac{Q_1}{6EI_M} [2l_1^2(2 - \lambda_1)x - 3l_1x^2 + x^3 + 2l_1^3(\lambda_1 - 1)]. \quad (22)$$

Исходя из уравнений (21, 22) и после преобразований при $\mu = 0.3$ находим:

$$v = v_0 \left[1 - 0.225 \left(\frac{d}{L} \right)^2 \xi_0 \right], \quad (23)$$

где

$$\xi_0 = \frac{\lambda_1^2 (1 - \psi_1)}{\psi_1^3 - 3\psi_1^2 + 2\psi_1(2 - \lambda_1) + 2(\lambda_1 - 1)}, \quad (24)$$

$$\psi_1 = x/l_1.$$

Значение ψ_1 изменяется в пределах от нуля до единицы.

При рассмотрении короткой части вала можно определить коэффициенты E_1 и A_1 из следующих предварительных условий;

1. $v_2 = 0$ при $x = l_2$, $y = d/2$;

2. $(v_2)_{y=0} = (v_1)_{y=0}$.

Исходя из этих условий и после определения E_1 и A_1 находим, что уравнение (23) является справедливым для короткой части вала. Это уравнения можно представить в следующем виде:

$$v = v_0(1 - \beta_0), \quad (25)$$

где

$$\beta_0 = 0.225 \left(\frac{d}{L} \right)^2 \xi_0. \quad (26)$$

По уравнению (23) можно определить процент разницы между прогибом нейтральной оси и образующей цилиндрической поверхности Φ_0 , %

$$\Phi_0 = \frac{v_0 - v}{v_0} \cdot 100 = 100\beta_0. \quad (27)$$

Очевидно, что максимальное значение Φ_0 соблюдается при максимальном значении ξ_0 для определенного значения (d/L) .

Максимальное значение ξ_0 определяется по следующему уравнению:

$$d\xi_0/d\psi_0 = 0. \quad (27)$$

Тогда находим:

$$\psi^3 - 3\psi^2 + 3\psi - 1 = 0. \quad (29)$$

Решив эти уравнения, находим, что значение $\psi = 1$, обеспечивает минимальное значения ξ_0 . Поскольку значения ψ_0 изменяется от единицы до нуля, находим, что значение $\psi_0 = 0$ обеспечивает максимальное значение ξ_0 . Это значит, что максимальная разность между прогибом нейтральной оси и образующей соблюдается в месте приложения усилия и эта разница уменьшается по мере приближения к месту опоры:

$$\xi_{\max} = \frac{\lambda^2}{2(\lambda - 1)}. \quad (30)$$

Таким образом, можно сказать, что на основе метода начальных параметров с учётом сдвига на прогиб разработана математическая модель деформированного состояния образующей цилиндрической поверхности калиброванных валков, лежащих на двух шарнирных опорах, учитывающих влияния концентраций напряжения на прогиб валка.

Список литературы

1. Розорёнов В.А. Исследование деформированного состояния валковой системы клетей кварто листовых станов. Труды Вниметмаш.– 1972, – 630с., С. 83 – 99.
2. Тимошенко С.П., Гудьер Дж.. Теория упругости. Пер. с англ. (Под ред Г.С.Шапиро, – 2 изд. – М.: Наука – 1979 – 560с.
3. Самуль В.П. Основы теорий упругости и пластичности. – М. Высокая школа, 1970. – 288с.
4. Северденко В.П., Бахтинов Ю.Б., Бахтинов В.Б. Валки для профильного проката. – М: Metallurgy, 1979 – 224 с.

V. Pukalov, V. Pukalov. N. Petrenko, F. Zlatopolskyy

Kirovograd National Technical University

Determination of betweenness bending of neutral axis and formative during deformation of axisymmetrical bodies

The purpose of work is a calculation of betweenness bending of neutral axis and formative axisymmetrical bodies – rollers, in the process of rolling.

On the basis of method of initial parameters the mathematical model of deformation of formative cylindrical surface of the calibrated rollers, lying on two joint supports is developed.

The got result allows to optimize development of process of high quality rolling with the set exactness.
bending, neutral axis, deformation, axisymmetrical body

Одержано 25.10.12

УДК 621.9.04: 621.9.02

**О.І. Скібінський, доц., канд. техн. наук, В.І. Гуцул, доц., канд. техн. наук,
А.А. Гнатюк, магістр**
Кіровоградський національний технічний університет

Визначення периметрів і площ перерізів робочих профілів коліс епіциклоїдальних передач внутрішнього зачеплення.

В статті описано методи аналітичного визначення периметрів і площ перерізів робочих профілів коліс епіциклоїдальних передач внутрішнього зачеплення, досліджено основні співвідношення геометрії кривих профілів та отримані рівняння для обчислення периметрів та площ профілів, описано практичне значення цих параметрів.

периметр робочого профілю, площа перерізу, еквідистанта до епіциклоїди, огинаюча семейства

А.И. Скибинский, В.И. Гуцул, А.А.Гнатюк
Кировоградский Национальный Технический Университет

Определение условий существования сопряженной огибающей семейства эквидистант укороченных эпициклоид в циклоидальной передаче внутреннего зацепления

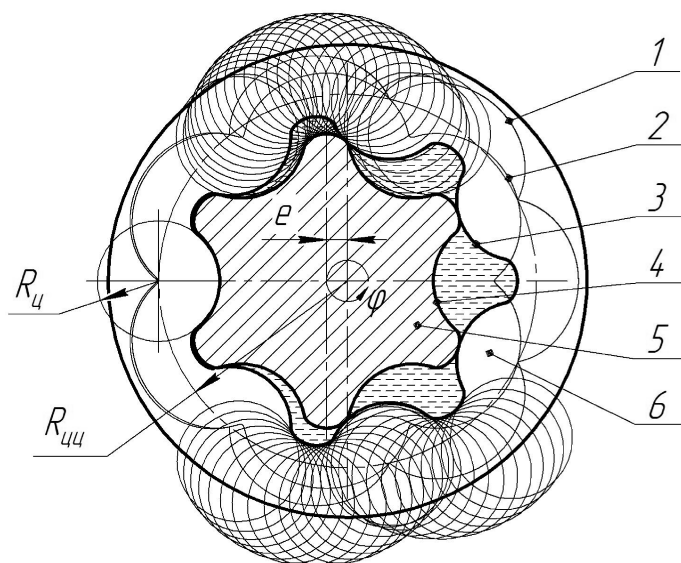
В статье описан метод аналитического определения периметров и площадей сечений рабочих профилей деталей эпициклоидальных передач внутреннего зацепления, исследованы основные соотношения геометрии кривых профилей, а так же получены уравнения для вычисления периметров и площадей профилей, описано практическое значение этих параметров.

периметр рабочего профиля, площадь сечения эквидистанта эпициклоиды, огибающая семейства

Периметри і площі перерізів робочих профілів деталей епіциклоїдальних передач внутрішнього зачеплення – одні з найважливіших параметрів, що впливають на експлуатаційні характеристики як самої передачі, так і героторних машин, до складу яких вони входять. Ці два параметра є визначальними майже для всіх кількісних та якісних характеристик передачі, наприклад для таких як робочий об'єм, гідравлічний радіус передачі (відношення площі перерізу, котрий займає рідина до периметру цього перерізу), враховуються при визначенні гідравлічних втрат в забійних двигунах для буріння і т.д. Найбільш ефективним методом розрахунку геометричних параметрів профілів героторних передач є чисельне інтегрування, також в літературі [3] можна зустріти формули для наближеного обчислення.

При розрахунку довжин дуг і периметрів, вирази зводяться до складних еліптичних інтегралів, котрі вирішуються чисельними методами за допомогою комп'ютерів (в середовищах MathLab, MathCad) або з використанням посібників спеціальних функцій, що створює певні складнощі. Тому виникає необхідність в пошуку універсальних, точних і водночас ефективних розрахункових формул для периметрів і площ профілів циклоїдальних передач.

Героторна передача (рис. 1) складається з нерухомого статора 5 і рухомого ротора 6, що здійснює планетарний рух всередині статора. Профіль ротора 4 є еквідистанта до вкороченої епіциклоїди 2, а профіль статора 3 утворюється як огинаюча положень ротора або як еквідистанта до огинаючої сімейства вкорочених епіциклоїд 1. Очевидно, що корисний об'єм героторної передачі (об'єм що займає рідина) буде рівний різниці площ поперечних перерізів статора S_c і ротора S_p помноженій на висоту передачі h .



1 – огинаюча сімейства епіциклоїд; 2 – епіциклоїда; 3 – робочий профіль статора (еквідистанта до огинаючої сімейства епіциклоїд); 4 – робочий профіль ротора (еквідистанта до епіциклоїди); 5 – ротор із числом зубців z_1 ; 6 – статор із числом зубців $z_2=z_1+1$

Рисунок 1 – Загальна схема позацентроїдного епіциклоїдального зачеплення з позначенням основних параметрів

Для визначення периметру і площі перерізу циклоїдального профілю ротора, розглянемо два співвідношення із теорії еквідистантних кривих [2]. Маємо дві замкнуті плоскі криві – вкорочену епіциклоїду АВ (показаний фрагмент) з довжиною дуги L_E та еквідистанту до неї $A'B'$ (робочий профіль ротора), яка віддалена на відстань $R_{ц}$ (рис. 2). Обидві криві мають спільні центри кривизни у відповідних точках, а отже і спільну еволюту. Одна з властивостей еволюти говорить, що приріст довжини її дуги dl рівний приросту радіуса кривизни $d\rho$ лінії, центри кривизни якої, утворюють дану еволюту, тобто:

$$AM = \rho(\varphi_1), \quad BN = \rho(\varphi_2), \quad d\rho = \rho(\varphi_2) - \rho(\varphi_1) = dl. \quad (1)$$

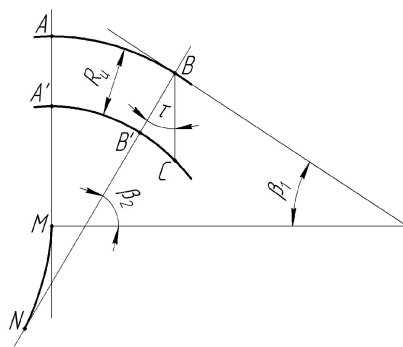


Рисунок 2 – Розрахункова схема еквідистантних кривих і їх еволюти.

Нехай $\rho_E = \rho_E(\varphi)$ і $L_E = L_E(\varphi)$ – радіус кривизни і довжина дуги епіциклоїди АВ, а $\rho_1 = \rho_1(\varphi)$ і $l_1 = l_1(\varphi)$ – відповідно радіус кривизни і довжина дуги еволюти MN. Позначимо також кути, утворені дотичними до епіциклоїди та її еволюти у відповідних точках з віссю ox як β_1 і β_2 . Враховуючи, що $d\rho_E = dl_1$, отримаємо:

$$dL_E / \rho_E = dl_1 / \rho_1, \quad (2)$$

$$\rho_1 = \rho_E \cdot \frac{dl_1}{dL_E} = \rho_E \cdot \frac{d\rho_E}{dL_E} = \frac{d\rho_E}{d\beta_1}. \quad (3)$$

З іншої сторони $d\rho_E = (\rho_E(\varphi_2) - R_y) - (\rho_E(\varphi_1) - R_y) = d\rho_{pn}$, де $\rho_E - R_y$ – радіус кривизни робочого профілю ротора ρ_{pn} (еквідистанти епіциклоїди $A'B'$). На основі останньої рівності запишемо:

$$\rho_E \cdot \frac{d\rho_E}{dL_E} = (\rho_E - R_y) \cdot \frac{d\rho_{pn}}{dL_{pn}} = (\rho_E - R_y) \cdot \frac{d\rho_E}{dL_{pn}} = (\rho_E - R_y) \cdot \frac{d\rho_E}{dL_E} \cdot \frac{dL_E}{dL_{pn}}, \quad (4)$$

де L_{pn} – довжина дуги робочого профілю ротора.

З формули (4) знаходимо:

$$dL_{pn} = \left(1 - \frac{R_y}{\rho_E}\right) \cdot dL_E. \quad (5)$$

Але $dL_E = \rho_E \cdot d\beta_1$. Враховуючи останню рівність, формула для визначення довжини циклоїдального профілю ротора приймає вигляд:

$$L_{pn} = \int_0^{L_E} dL_E - R_y \cdot \int_0^{2\pi} d\beta_1 = L_E - 2 \cdot \pi \cdot R_y. \quad (6)$$

Довжина дуги епіциклоїди в даному випадку виражається інтегралом:

$$L_E = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \sqrt{x'(\varphi)^2 + y'(\varphi)^2} d\varphi. \quad (7)$$

Параметричні рівняння вкороченої епіциклоїди мають вигляд:

$$x(\varphi) = R_{uy} \cos(\varphi/z_2) + e \cdot \cos \varphi, \quad (8)$$

$$y(\varphi) = R_{uy} \sin(\varphi/z_2) + e \cdot \sin \varphi. \quad (9)$$

Перші похідні від координат $x(\varphi)$ і $y(\varphi)$:

$$x'(\varphi) = -e \cdot \sin \varphi - (R_{uy}/z_2) \cdot \sin(\varphi/z_2), \quad (10)$$

$$y'(\varphi) = e \cdot \cos \varphi + (R_{uy}/z_2) \cdot \cos(\varphi/z_2). \quad (11)$$

Підставивши значення похідних $x'(\varphi)$ та $y'(\varphi)$ у формулу (7), після перетворення маємо формулу периметру епіциклоїди:

$$L_E = \sqrt{\frac{1}{z_2^2}} \cdot \int_0^{2\pi \cdot z_2} \sqrt{R_{\text{щ}}^2 + (e \cdot z_2)^2 + 2 \cdot R_{\text{щ}} \cdot e \cdot z_2 \cdot \cos\left(\frac{\varphi \cdot z_1}{z_2}\right)} d\varphi. \quad (12)$$

Первісна від підінтегральної функції не виражається через елементарні функції, але довжина L_E рівна довжині дуги еліпса з піввісьями a і b :

$$a = R_{\text{щ}} - e \cdot z_2, \quad (13)$$

$$b = R_{\text{щ}} + e \cdot z_2. \quad (14)$$

Для обчислення периметру еліпса використаємо формулу Рамануджана (друга апроксимація):

$$L_E = \pi \cdot (a + b) \cdot \left[1 + \frac{c}{10 + \sqrt{4 - c}}\right], \quad c = 3 \cdot \frac{(a - b)^2}{(a + b)^2}. \quad (15)$$

Підставляючи значення a і b у формулу (15), виконавши спрощення, матимемо формулу для наближеного обчислення периметру вкороченої епіциклоїди:

$$L_E = 2 \cdot \pi \cdot R_{\text{щ}} \cdot \left[1 + \frac{3 \cdot (e \cdot z_2)^2}{R_{\text{щ}}^2 \cdot \left(10 + \sqrt{4 - (3 \cdot (e \cdot z_2)^2 / R_{\text{щ}}^2)}\right)}\right]. \quad (16)$$

А підставивши значення (16) у вираз (6), дістаємо остаточну формулу для визначення периметру еквідистанти епіциклоїди (профілю ротора):

$$P_p = 2 \cdot \pi \cdot R_{\text{щ}} \cdot \left[1 + \frac{3 \cdot (e \cdot z_2)^2}{R_{\text{щ}}^2 \cdot \left(10 + \sqrt{4 - (3 \cdot (e \cdot z_2)^2 / R_{\text{щ}}^2)}\right)}\right] - 2 \cdot \pi \cdot R_r. \quad (17)$$

Цікаво відмітити, що незалежно від параметрів зачеплення, периметр профілю статора більший за периметр еквідистантного профілю ротора на величину $8e$, тобто:

$$P_c = P_p + 8e. \quad (18)$$

Далі, аналізуючи схему (рис. 2), можна обчислити і площу обмежену еквідистантою. Для цього прийемо раніше введене позначення $AB=dL_E$. Кут τ , утворений нормаллю та довільним постійним напрямком відліку позначимо $d\tau$. Площа, обмежена епіциклоїдою, її еквідистантою, та двома нормалями буде визначатись наступним чином:

$$S(ABB'A') = S(ABCA') - S(BB'C). \quad (19)$$

Поклавши $S(ABB'A') = dS'$ і представивши $S(BB'C)$ як площу сектора з кутом $d\tau$ кола, радіусом R_r , а $S(ABCA')$ як прямокутник зі сторонами dL_E і R_r , будемо мати:

$$dS' = R_r \cdot dL_E - (R_r^2/2) \cdot d\tau. \quad (20)$$

Звідки отримуємо інтеграл (а після інтегрування маємо формулу для площі, обмеженої епіциклоїдою та її еквідистантою):

$$S' = R_r \cdot \int_0^{L_E} dL_E - (R_r^2/2) \cdot \int_0^{2\pi} d\tau = R_r \cdot L_E - \pi \cdot R_r^2. \quad (21)$$

Площа кутового сектора обмеженого вкороченою епіциклоїдою може бути знайдена за формулою:

$$S_E = \frac{1}{2} \cdot \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} (x(\varphi) \cdot y'(\varphi) - x'(\varphi) \cdot y(\varphi)) d\varphi. \quad (22)$$

Підставивши значення $x(\varphi)$ і $y(\varphi)$ та їх похідні у формулу (22), виконавши перетворення, маємо вираз:

$$S_E = \frac{1}{2 \cdot z_2} \cdot \int_0^{2 \cdot \pi \cdot z_2} \left(e^2 \cdot z_2 + R_{\text{щ}}^2 - e \cdot R_{\text{щ}} \cdot \cos\left(\frac{\varphi \cdot z_1}{z_2}\right) - e \cdot z_2 \cdot R_{\text{щ}} \cdot \cos\left(\frac{\varphi \cdot z_1}{z_2}\right) \right) d\varphi. \quad (23)$$

А після інтегрування:

$$S_E = \pi \cdot R_{\text{ци}}^2 + \pi \cdot e^2 \cdot z_2. \quad (24)$$

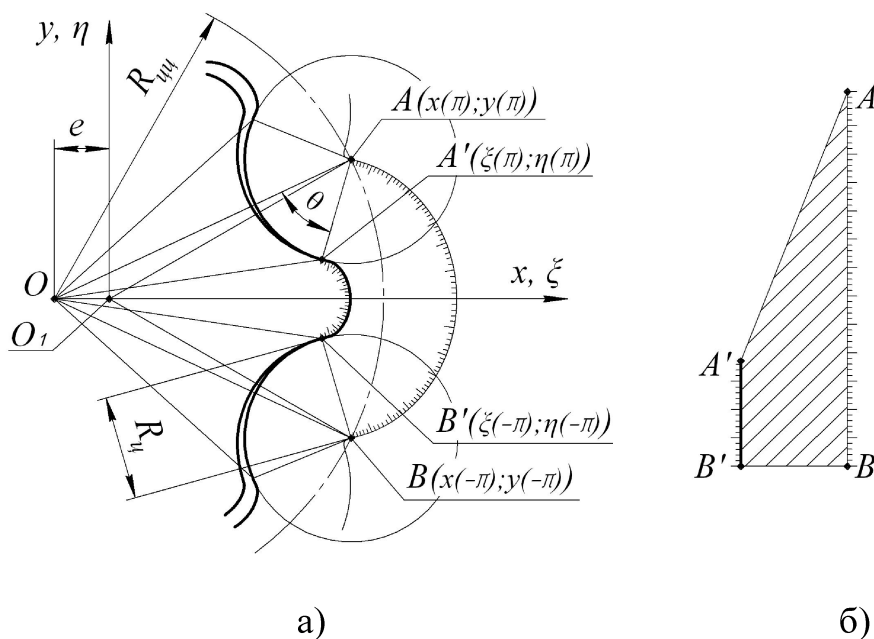
Різниця площ S_E і S' дає шукану площу, обмежену профілем ротора. Підставляючи всі знайдені компоненти у співвідношення (21), дістанемо остаточну формулу для визначення площі перерізу ротора:

$$S_p = \pi \cdot R_{\text{ци}}^2 + \pi \cdot e^2 \cdot z_2 - \pi \cdot R_{\text{ц}} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot R_{\text{ци}} \cdot \left(1 + \frac{3 \cdot (e \cdot z_2)^2}{R_{\text{ци}}^2 \cdot (10 + \sqrt{4 - (3 \cdot (e \cdot z_2)^2 / R_{\text{ци}}^2)})} \right) - R_{\text{ц}} \right). \quad (25)$$

Формула (25) має похибку обчислень, пропорційну похибці формули Рамануджана ($\sim 0,02\%$).

Для обчислення площі перерізу статора, проаналізуємо схему (рис. 3, а). Огинаюча сімейства вкорочених епіциклоїд не є циклоїдальною кривою, і має ряд особливостей геометрії, які істотно відрізняються від епіциклоїди. Вона поєднує в собі ділянки вершини епіциклоїди на проміжку $(-\pi; \pi)$ і ділянки з постійною кривизною. Відповідно і еквідистанта до цієї кривої має вершину зубця аналогічну профілю ротора, а увігнута частина профілю є дуга з постійним радіусом кривизни, рівним $R_{\text{ц}}$.

Площа перерізу статора може бути обчислена чисельним інтегруванням або шляхом розбиття її на більш прості геометричні складові з послідовним підсумовуванням.



а) – розрахункова схема циклоїдальної передачі; б) – еквівалентна трапеція для визначення площі криволінійної ділянки

Рисунок 3 – Розрахункова схема для визначення площі перерізу статора

Зі схеми (рис. 3, а) площа перерізу статора визначатиметься за наступною формулою:

$$S_c = z_2 \cdot \left(\int_{0_1}^{\pi_2} (x(\varphi) \cdot y'(\varphi) - x'(\varphi) \cdot y(\varphi)) d\varphi \right) + 2S(\Delta OO_1A) - S(A'B'BA) - \theta \cdot R_{\text{ц}}^2. \quad (26)$$

Перша складова формули (26) – інтеграл, що виражає площу криволінійного сектору (O_1AB) епіциклоїди. Після інтегрування дістанемо:

$$\int_{0_1}^{\pi_2} (x(\varphi) \cdot y'(\varphi) - x'(\varphi) \cdot y(\varphi)) d\varphi = \frac{\pi}{z_2} \cdot (z_2 \cdot e + R_{\text{вн}}^2) + \frac{R_{\text{вн}}}{z_1} \cdot (e + e \cdot z_2) \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot z_1}{z_2}\right). \quad (27)$$

Подвійна площа трикутника OO_1A :

$$2S(\Delta OO_1A) = e \cdot R_{\text{вн}}^2 \cdot \sin(\pi/z_2). \quad (28)$$

Площа фігури $A'B'BA$, що обмежена ділянкою епіциклоїди, її еквідистантою та двома нормальми чисельно рівна площі трапеції (рис. 3, б). Так як $P_c = P_p + 8e$, довжини ділянок AB і $A'B'$ будуть дорівнювати:

$$l(AB) = \frac{L_E + 8 \cdot e}{z_2}; \quad l(A'B') = \frac{L_E - 2 \cdot \pi \cdot R_{\text{ч}} + 8 \cdot e - 2 \cdot z_2 \cdot \theta \cdot R_{\text{ч}}}{z_2}. \quad (29)$$

де θ – кут між променем, що з'єднує центр статора і центр його зубця та нормаллю до епіциклоїди, на якій лежить даний центр (задається в радіанах). Площа трапеції $A'B'BA$ визначатиметься наступним чином:

$$S(A'B'BA) = \frac{R_{\text{ч}}}{z_2} (L_E + 8 \cdot e - \pi \cdot R_{\text{ч}} - R_{\text{ч}} \cdot z_2 \cdot \theta). \quad (30)$$

Підставляючи всі знайдені компоненти у формулу (26) і виконуючи спрощення маємо остаточну формулу для визначення площі перерізу статора:

$$S_C = \pi \cdot (z_2 \cdot e^2 + R_{\text{вн}}^2 + R_{\text{ч}}^2) - R_{\text{ч}} \cdot (L_E + 8 \cdot e) + z_2 \cdot e \cdot R_{\text{вн}} \cdot \left(\frac{z_2 + 1}{z_1} \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot z_1}{z_2}\right) + \sin\left(\frac{\pi}{z_2}\right) \right). \quad (31)$$

В результаті проведених розрахунків, отримані формули, які дозволяють визначати площі і периметри робочих профілів деталей епіциклоїдальної передачі внутрішнього зачеплення. Формули не містять в своєму складі спеціальних функцій і еліптичних інтегралів, що прискорює та спрощує розрахунки. Користуючись ними, можливо досліджувати будь – які кількісні та якісні показники передачі – механічні, гідравлічні та інші, в залежності від області її використання.

Список літератури

1. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике / Выгодский М.Я. – М.: Наука, 1975. - 872 с.
2. Савелов А.А. Плоские кривые / Савелов А.А. – М.: Физматгиз, 1960. - 293 с.
3. Гусман М. Т. Забойные винтовые двигатели / Гусман М. Т., Балденко Д. Ф. – М., ВНИИОЭНГ, 1972.– 89 с
4. Litvin F.L. Gear Geometry and Applied Theory, Prentice Hall/ Litvin F.L. - New Jersey, 1994. - 724p.

O. Skibinskiy, V. Gutsul, A. Gnatuk

Kirovograd National Technical University

Appoint of perimeters and areas of sections details of epicyclic transmission internal gear.

The aim of the article is a receipt of universal formulas for the calculation of perimeters and areas of section of details in epicyclic transmission internal gear.

In the article described method of analytical determination of perimeters and areas of sections details of epicyclic transmission internal gear, basic correlations of geometry of the crooked profiles and similarly got equalizations for a calculation of perimeters and areas of profiles is outlined equidistant curves of the shortened epicycloids and tangent curve to family of equidistant curves of the shortened epicycloids, described the practical value of the got dependences.

In got formulas is not had in the composition of the special functions and elliptic integrals, that accelerates and simplifies calculations. Using the got formulas, maybe to prospect any parameters of transmission : mechanical, hydraulic and much other.

perimeter of job profiles, area of section, equidistant curve of the epicycloid, tangent curve to family

Одержано 24.04.13

УДК621.735.34.001.24

Я.Б.Немировский, канд. техн. наук

Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, г.Киев

Особенности деформирующего протягивания разнотолщинных заготовок

В статье представлены результаты исследований по деформирующему протягиванию разнотолщинных заготовок
деформирующее протягивание, модель, разнотолщинность

Я.Б. Неміровський

Институт надтвердих матеріалів ім. В.Н. Бакуля НАН України, м.Київ

Особливості деформуючого протягування різнотолщинних деталей

В статті представлені результати досліджень по деформуючому протягуванні різнотолщинних деталей.

деформуюче протягування, модель, різнотолщинність

Высокопроизводительный и экономичный процесс деформирующего протягивания (ДПР) используется для обработки отверстий в осесимметричных заготовках. Если ДПР является финишной операцией, то она ответственна за размер отверстия и погрешности готовой детали. В том случае, когда она является черновой, формообразующей операцией точность обработанного отверстия определяет припуск под последующую мехобработку. В этом случае необходимо уточнить существующие модели [1] по определению предельных деформаций при ДПР. Они не учитывают величину предельно допустимых по ГОСТу отклонений размеров толщины стенок обрабатываемых разнотолщинных заготовок. При раздаче такой трубы вначале деформируется тонкостенный участок, а толстостенный может оставаться жестким (недеформируемым). Это, естественно, снижает ресурс практичности заготовки и может привести к локальному разрушению заготовки или потере устойчивости деформирования материала, т.е. образования шейки. В свою очередь недостаточная степень деформации может привести к появлению недопустимых погрешностей.

Целью работы является построение теоретической модели деформированного состояния при раздаче разнотолщинных заготовок, позволяющей учесть влияние разнотолщинности на выбор минимально необходимой деформации, обеспечивающей деформирование всего объема заготовки.

Рассмотрим случай (рис.1), когда заготовка является разнотолщинной в окружном направлении и начальная толщина стенки заготовки изменяется по некоторому монотонному закону

$$t_0=t_0(\varphi), \text{ где } 0 \leq \varphi \leq \pi$$

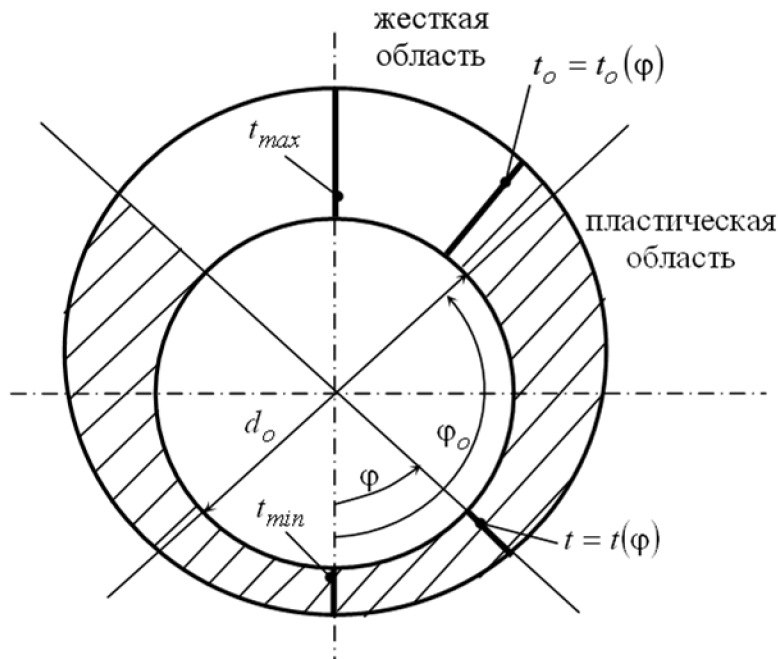


Рисунок 1 – Расчетная схема раздачи заготовки с переменной толщиной стенки

В области $-\varphi_0 \leq \varphi \leq \varphi_0$ (рис.1), материал деформируется пластически, что обеспечивается равномерной раздачей заготовки с натягом a и степенью раздачи a/d_0 .

При малых натягах пластическая деформация заготовки возникает в самом тонком месте, соответствующем t_{0min} , а $\varphi=0$. Затем по мере роста натяга угол охвата пластической области увеличивается за счет деформационного упрочнения материала заготовки.

Рассмотрим возможные случаи при деформировании разнотолщинных заготовок с малыми степенями деформации. Полагая процесс деформации в каждой точке сечения рассматриваемой заготовки достаточно монотонным, расчеты и анализ будем вести используя деформационную теорию пластичности [2].

Для случая раздачи заготовок из упрочняющегося материала связь между величиной пластической зоны, определяемой φ_0 и степенью раздачи ε

$$\varphi_0 = \varphi_0(\varepsilon). \quad (1)$$

При определенной степени разнотолщинности $\Delta = \frac{t_{max} - t_{min}}{t_{cp.}}$; $t_{cp.} = \frac{t_{max} - t_{min}}{2}$

деформации ε и способности материала к упрочнению пластическая область может охватить весь объем заготовки, т.е. угол φ_0 монотонно возрастает от 0 (начало раздачи) до $\varphi=\pi$.

Если же функция (1) имеет в диапазоне $0 \leq \varphi \leq \pi$ промежуточный максимум, то в точке соответствующей этому максимуму, произошла «остановка» в развитии пластической зоны, то есть началась ее локализация, что предшествует разрушению обрабатываемого материала. Поэтому сам факт остановки в развитии пластической зоны является явным технологическим браковочным признаком, который необходимо использовать, как ограничивающее условие при выполнении технологических расчетов. Кроме того, для конкретного материала заготовки в зависимости от его способности к деформационному упрочнению, а также от предельно допустимой деформации, ограниченной пластическими свойствами материала и видом напряженного состояния, существует минимально допустимая степень разнотолщинности, при которой нельзя пластически деформировать весь объем

заготовки. Это указываем на то, что заготовки необходимо проверять в состоянии поставки по их разнотолщинности, и отбраковывать при условии превышения минимально допустимой разнотолщинности.

Для решения вышеперечисленных проблем используем модель равномерной раздачи которая успешно использовалась авторами [3] для исследования изменения конечных размеров отверстия при ДПР инструментом с малым углом конусности.

Рассмотрим раздачу заготовки с небольшой толщиной стенки, когда вдоль нее напряженно-деформированное состояние можно считать однородным и соответствующим одноосному растяжению с окружной деформацией e_φ и соответствующего напряжению σ_φ . Средняя деформация при натяге $\forall \leq 0,15 d_0$

$$\varepsilon = a/d_0. \quad (2)$$

Исследуем зависимость между степенью деформации ε и размером пластической области – φ_0 . Исходная длина окружности отверстия $C_0 = \pi d_0$; после раздачи она равна

$$C = \pi(d_0 + a). \quad (3)$$

С другой стороны длину C после раздачи можно рассчитать как сумму длин двух дуг: дуги недеформируемой части $C_1 = (\pi - \varphi_0)d_0$ и дуги окружности пластической области с углом охвата $2\varphi_0$.

Очевидно, что

$$dC_2 = dC_0(1 + l_\varphi), \quad (4)$$

где dC_2 , dC_0 – дифференциалы длины пути деформированной и недеформированной дуги соответственно.

Полная длина деформированного участка

$$C_2 = 2 \int_0^{\varphi_0} dC_2 = d_0 \int_0^{\varphi_0} (1 + e_\varphi) d\varphi. \quad (5)$$

Тогда полная длина окружности обработанного отверстия

$$C = C_1 + C_2 = (\pi - \varphi_0)d_0 + d_0 \int_0^{\varphi_0} (1 + e_\varphi) d\varphi. \quad (6)$$

Приравнивая выражения (3) и (6)

$$\pi(d_0 + a) = (\pi - \varphi_0)d_0 + d_0 \int_0^{\varphi_0} (1 + e_\varphi) d\varphi. \quad (7)$$

И выполнив небольшое преобразование, получим

$$\varepsilon = \frac{1}{\pi} \int_0^{\varphi_0} e_\varphi d\varphi. \quad (8)$$

Учтем влияние обрабатываемого материала на связь степени раздачи с угловым размером пластической области. В случае $\varphi = \varphi_0$ материал заготовки не деформирован, а следовательно не получил деформационного упрочнения. То есть интенсивность напряжений σ_0 равна исходному пределу текучести $\sigma_0 = \sigma_T$.

Рассмотрим случай раздачи заготовки, когда $\varepsilon_z = 0$, то есть осевые деформации отсутствуют. Для тонкостенной трубы радиальные напряжения $\sigma_r \ll \sigma_\varphi$.

Тогда интенсивность напряжений

$$\sigma_0 = \frac{\sqrt{3}}{2} \sigma_\varphi, \quad (9)$$

а интенсивность деформаций

$$e_0 = \frac{2}{\sqrt{3}} e_\varphi \quad (10)$$

$$\text{или } e_{\varphi} = \frac{\sqrt{3}}{2} e_0 \quad (11)$$

Пусть кривая упрочнения материала заготовки описывается известным уравнением:

$$\sigma_{\varphi} = \sigma_T B e_0^n. \quad (12)$$

Из выражения (12) получаем

$$e_0 = \left(\frac{\sigma_T}{B} \right)^{\frac{1}{n}} \left(\frac{\sigma_0}{\sigma_T} - 1 \right)^{\frac{1}{n}}. \quad (13)$$

Установим связь σ_0 с толщиной стенки заготовки. Из условия безмоментного состояния равновесия $\sigma_{\varphi} t = \text{const}$ для сечения с φ и сечения φ_0

$$\sigma_T t_0(\varphi_0) = \sigma_{\varphi} t_0(\varphi). \quad (14)$$

Из выражения (14)

$$\sigma_{\varphi}(\varphi) = \sigma_T \frac{t_0(\varphi_0)}{t_0(\varphi)}. \quad (15)$$

С учетом выражения (9)

$$\sigma_0 = \sigma_T \frac{t_0(\varphi_0)}{t_0(\varphi)}. \quad (16)$$

Подставляя (16) в (13) находим

$$e_0 = \left(\frac{\sigma_T}{B} \right)^{\frac{1}{n}} \left(\frac{t_0(\varphi_0)}{t_0(\varphi)} - 1 \right)^{\frac{1}{n}}. \quad (17)$$

Из выражения (11)

$$e_{\varphi} = \frac{\sqrt{3}}{2} \left(\frac{\sigma_T}{B} \right)^{\frac{1}{n}} \left(\frac{t_0(\varphi_0)}{t_0(\varphi)} - 1 \right)^{\frac{1}{n}}. \quad (18)$$

Окончательное интегральное уравнение (8)

$$\varepsilon = \frac{1}{\pi} \frac{\sqrt{3}}{2} \left(\frac{\sigma_T}{B} \right)^{\frac{1}{n}} \left(\frac{t_0(\varphi_0)}{t_0(\varphi)} - 1 \right)^{\frac{1}{n}} d\varphi. \quad (19)$$

Выражение (19) есть искомое соотношение между степенью раздачи ε и угловым размером пластической области φ_0 . Задавая различные значения φ_0 , используя известные для различных материалов законы упрочнения (B , σ_T , n), а также законы изменения толщины стенки $t_0(\varphi)$, можно получить требуемые зависимости $\varepsilon(\varphi_0)$ для различных разнотолщинностей.

Для примера рассмотрим простейший случай переменности толщины стенки с одним периодом ее изменения (рис. 1).

Наружная поверхность заготовки представлена в виде окружности, эксцентрично смещенной относительно отверстия.

В результате численных расчетов по зависимости (19) для стали 45 с $\sigma_T=350$ МПа, $B=788$ МПа, и $n=0,48$ получены зависимости ε от φ_0 (рис. 2).

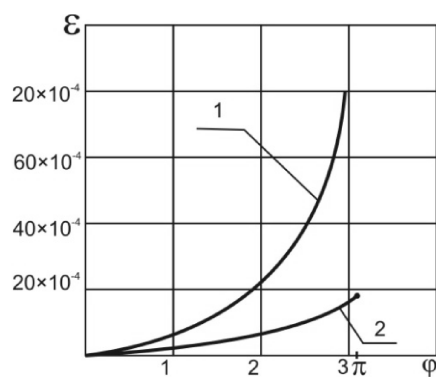


Рисунок 2 – Зависимость деформации сечения от угла φ_0 материал заготовки сталь 45 с параметрами кривой течения $\sigma_T=350$ мПа, $V=790$, $n=0,48$. Разнотолщинность Δ : 1 – 0,1; 2 – 0,05

Из него следует, что с увеличением разнотолщинности возрастает степень деформации, необходимая для пластического деформирования всего объема заготовки, т.е. при $\varphi=\pi$.

Также расчеты по разработанной модели, приведенные на рис. 3, показали, что предельная разнотолщинность, при которой сечение заготовки полностью переходит в пластическое состояние, $\Delta=0,25$ (звездочкой отмечена точка, соответствующая началу потери устойчивости течения материала (образованию шейки) в самом тонком месте сечения). То есть при $\Delta>0,25$ пластически деформировать все сечение заготовки из стали 45 нельзя. Это приводит к часто встречающемуся браковочному признаку – наличию необработанного участка поверхности отверстия.

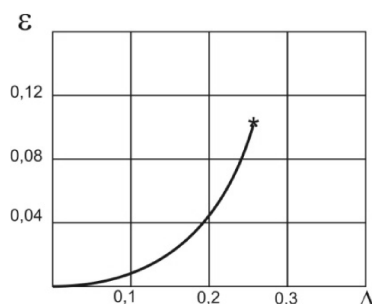


Рисунок 3 – Зависимость суммарной деформации, при которой пластическая зона охватывает весь объем заготовки от разнотолщинности заготовки для стали 45 с параметрами кривой течения $\sigma_T=350$ мПа, $V=790$, $n=0,48$

По результатам проведенных исследований разработан алгоритм определения минимально необходимой деформации для деформирования всего объема заготовки (рис. 4).

Вначале производится подготовка исходных данных, к которым относятся: материал заготовки, размеры, исходная разнотолщинность, определяемая допуском на толщину стенки.

Далее определяем экспериментально или по справочным данным уравнение кривой течения обрабатываемого материала, а также данные для расчета пластичности при коэффициенте жесткости напряженного состояния $\eta=2$. Последнее осуществляется либо по стандартным характеристикам материала – относительному удлинению после разрыва δ_p в %, либо по испытаниям на двухосное растяжения [4]. В первом случае по данным [4]

$$e_{пр}=C\delta_p,$$

где $C=0,0065$ – коэффициент, учитывающий влияние схемы напряженного состояния.

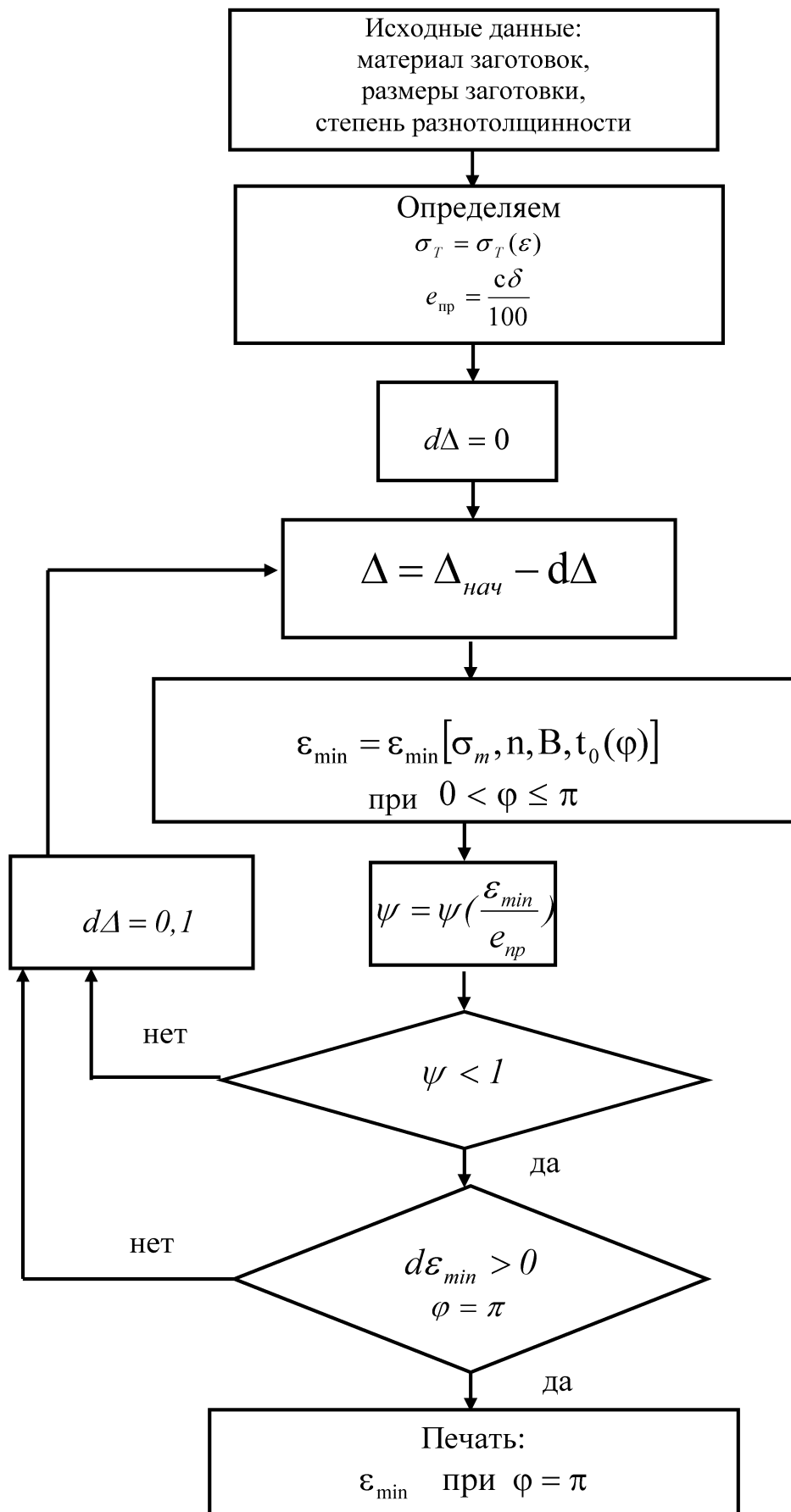


Рисунок 4 – Алгоритм для расчета минимально необходимой деформации для деформирования всего объема заготовки

Вначале производится подготовка исходных данных, к которым относятся: материал заготовки, размеры, исходная разнотолщинность, определяемая допуском на толщину стенки.

Далее определяем экспериментально или по справочным данным уравнение кривой течения обрабатываемого материала, а также данные для расчета пластичности при коэффициенте жесткости напряженного состояния $\eta=2$. Последнее осуществляется либо по стандартным характеристикам материала – относительному удлинению после разрыва δ_p в %, либо по испытаниям на двухосное растяжения [4]. В первом случае по данным [4]

$$e_{np} = C\delta_p,$$

где $C=0,0065$ – коэффициент, учитывающий влияние схемы напряженного состояния.

Как показано исследованиями [4], при раздаче тонкостенных заготовок, на их наружной поверхности реализуется жесткая схема напряженного состояния, приближающаяся к схеме двухосного растяжения. При таких условиях идет интенсивное приращение ресурса использованной пластичности даже при небольших значениях накопленных деформаций. Это усугубляется исходной разнотолщинностью заготовки. То есть при неблагоприятном сочетании разнотолщинности ресурса пластичности, его степени несоосности заготовки может либо разрушиться, либо остаться частично недеформированной.

Степень использования ресурса пластичности при раздаче одним элементом [4]

$$\psi = \frac{\varepsilon_{\min}}{(1 + t_{\min}) C \delta_p}. \quad (20)$$

Далее выполняем расчеты по зависимости (19) для определения ε_{\min} при $\varphi=\pi$.

По полученному значению ε_{\min} из выражения (20) определяем ψ . При положительном результате $\psi < 1$ определяется минимальная деформация, необходимая для деформирования всего объема заготовки.

Если $\psi(\varepsilon_{\min}) \geq 1$ необходимо уменьшать разнотолщинность заготовки переходом на другой типоразмер заготовки; за счет выбора заготовок с меньшим допуском на толщину стенки, предварительной обточкой по наружному диаметру или вводить операцию промежуточного отжига.

Разработанный на базе выполненных исследований алгоритм необходимо использовать при расчете и выборе заготовки, необходимой для получения готовой детали после операции ДПР, а также для определения минимально необходимой деформации, позволяющей обеспечить пластическое деформирование всего объема заготовки.

Список литературы

1. Цеханов Ю.А., Соловьев О.В. Оценка деформируемости при деформирующем протягивании тонкостенных труб //Синтез и применение сверхтвердых материалов. – Киев: ИСМ АИ УССР, 1988. – С. 77-80.
2. Качанов Л.М. Основы теории пластичности. – М.: Наука, 1978. - 174с.
3. Розенберг А.М., Розенберг О.А., Кривошея В.В. Расчет усадки отверстия при деформирующем их протягивании в деталях с бесконечной толщиной стенки //Вестник машиностроения, - 1986. - №7. - С.42-44.
4. Розенберг О.А., Цеханов Ю.А., Шейкин С.Е. Технологическая механика деформирующего протягивания. – Воронеж; ВГТА, 2001. – 203с.

J. Nemirovskiy

V. Bakul Institute for Superhard Materials of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev

At calculation and preparation choice for deforming all volume preparation

The results the investigations of deforming broaching of the variation of tube wall are presented in the article.

The influence of tube variation on wall upon development of blank plastic zone under deforming broaching is studied. The mathematical model of this process in developed and computer modeling was made.

The results the work can be used in manufacturing at the calculation and blank choice for deforming broaching and deformation broaching and deformation choice for all volume blank.

deforming broaching, model

Получено 26.02.13

УДК 621.976.4:331.482

Е.И. Чемерис, канд. техн. наук

Кировоградский институт регионального управления и экономики

Механизм безопасности клепального прессы

В данной работе предлагается механизм безопасности клепального прессы и анализируются особенности его работы.

операции склепывания, операторы-штамповщики, устройства безопасности

Є.І. Чемерис, канд. техн. наук

Кіровоградський інститут регіонального управління та економіки

Механізм безпеки клепального пресу

В даній роботі пропонується механізм безпеки клепального пресу та аналізуються особливості його роботи.

операції склепування, оператори-штампувальники, пристрої безпеки

Техническое решение относится к устройствам, обеспечивающим исключение травм пальцев рук оператора при работе на клепальных прессах с пневматическим приводом ползуна и предназначенным для склепывания листовых деталей заклепками [1-3].

Наиболее близким техническим решением к предлагаемому является механизм, содержащий матричный столик, запрессованный в верхнюю часть станины корпус, в котором расположены подпружиненный наружный ползун, выполненный взаимодействующим с рычагом, и подпружиненный внутренний ползун, в нижней части которого выполнен боек [1].

Недостатком известного технического решения является то, что оно не полностью обеспечивает безопасность работы оператора.

Указанный недостаток обусловлен тем, что рабочая зона при склепывании соответствующих листовых деталей, как правило, не защищена какими-либо ограждениями, а сами рабочие органы (инструменты) не оснащены устройствами для защиты рук операторов от травм.

Отсутствие обычных защитных средств (ограждений, вспомогательных приспособлений и т.д.) объясняется неудобствами их использования, так как оператор вынужден производить все действия в зоне деформирования. Характер движения рук оператора в зоне при соединении деталей перед их склепкой (их взаимная ориентация, ввод заклепки и т.д.) отличается сложностью. Поэтому отведение рук оператора в зону неизбежно приведет к необходимости выполнения оператором дополнительных движений, а, следовательно, и неудобствам и снижению производительности его труда.

Другим техническим решением является установка на прессе так называемой выдвижной матрицы, способствующей отведению рук оператора из зоны деформирования. Анализ работы данного приспособления позволяет сделать вывод, что 100% безопасности труда оно не обеспечивает, так как пальцы рук оператора при работе вполне могут оказаться в зоне деформирования. Это может произойти потому, что захват деталей перед их клепкой пальцами можно осуществить по-разному, при этом пальцы оператора могут оказаться не только на периферии деталей, но и в зоне ввода заклепки. Кроме этого, оператор вынужден при каждой клепке выполнять дополнительные движения – подвод данной матрицы в зону деформирования, что в конечном итоге снижает производительность и увеличивает утомляемость рабочего.

Отсюда следует, что гарантией безопасной работы оператора может быть только механизм безопасности, функционально связанный с рабочим органом пресса, т.е. с его ползуном.

Цель работы. В данной работе предлагается механизм безопасности клепального пресса и анализируются особенности его работы.

Материалы и результаты исследования. Предлагаемый механизм безопасности с адаптивным управлением ползуна обеспечивает безопасность труда, близкую к 100%, при этом в технологическом процессе отсутствуют какие-либо приспособления, поэтому все приемы рабочего остаются прежними, а значит и производительность его труда не снижается.

На рис.1 изображена кинематическая схема рассматриваемого пресса, на рис.2 – предлагаемый механизм безопасности.

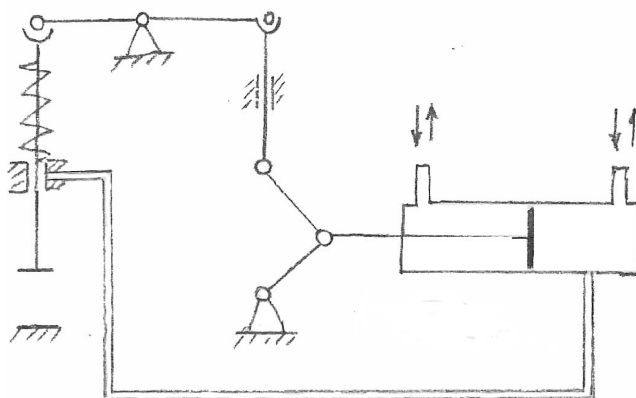


Рисунок 1 – Кинематическая схема пресса, оснащенного механизмом безопасности

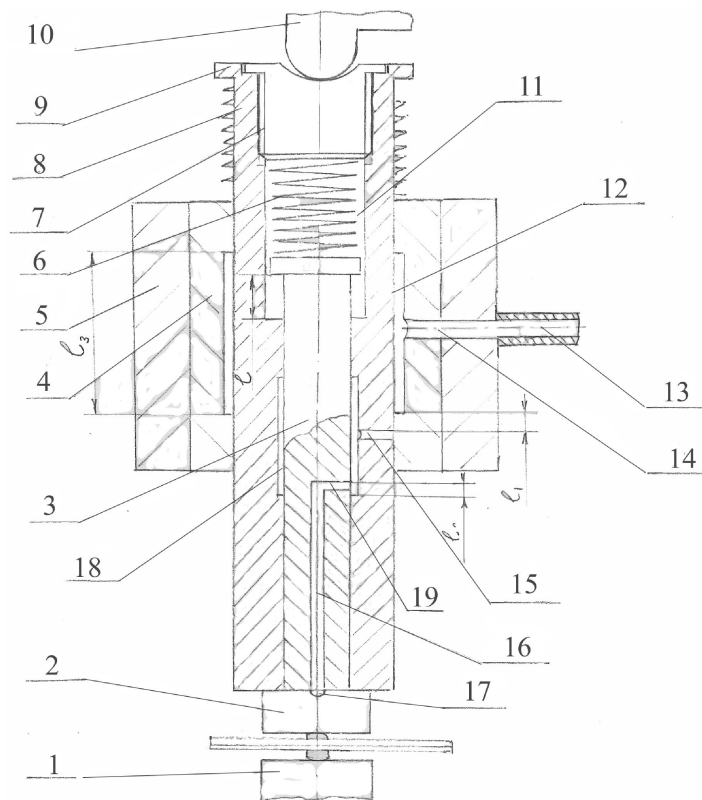


Рисунок 2 – Схема механизма безопасности в положении, соответствующему концу стадии деформирования

Принцип работы механизма основан на падении давления воздуха правой полости пневмоцилиндра прессы при попадании пальцев оператора в рабочую зону прессы под боек ползуна. Механизм состоит из наружного ползуна 9, перемещающегося при нагружении от рычага 10 в цилиндрической полости корпуса 4, запрессованного в верхнюю часть станины прессы 5. Наружный ползун имеет внутреннюю цилиндрическую полость, снабженную кольцевой расточкой 18, внутри которой перемещается внутренний ползун 3. Внутренняя полость корпуса 4 также снабжена кольцевой расточкой 12. Сопряжение корпуса 4 с наружным ползуном 9, а так же сопряжение внутреннего ползуна 3 с наружным ползуном 9 выполнены прецизионными по скользящей посадке и в них постоянно поддерживается смазка. Материалом ползуну, а также корпуса 4 является закаленная сталь с низким коэффициентом трения (аналогично направляющим узлам штампа).

Для подъема наружного ползуна вверх по окончании стадии деформирования между верхней плоскостью корпуса 4 и заплечиками наружного ползуна установлена пружина 8. Внутренний ползун имеет на нижнем конце боек 2. В ненагруженном состоянии боек 2 не соприкасается с нижним торцом наружного ползуна и выдвинут из последнего на расстояние 1 с помощью пружины 6, заключенной в полости 11 между верхним торцом внутреннего ползуна с заплечиками и нижним торцом пробки с заплечиками 7, на верхнем торце которой имеется сферическое углубление для передачи усилия от рычага 10 при нагружении. С нижней стороны внутреннего ползуна по его оси выполнено отверстие 16, имеющее выход сверху через канал 19. Кольцевая расточка 12 сообщена со штуцером 13 через канал 14. Штуцер 13 соединен с правой полостью пневмоцилиндра резиновым шлангом высокого давления. Кольцевая расточка 18 сообщена с наружной поверхностью ползуна 9 каналом 15.

На верхней плоскости бойка 2 имеется канавка 17, сообщенная с каналом 16.

Предлагаемый механизм осуществляет адаптивное регулирование усилия,

развиваемого бойком 2 в процессе нагружения прессы.

При нормальном режиме течения операции с момента начала нагружения ползун 9 перемещается вниз, преодолевая усилие пружины 8. при этом правая полость пневмоцилиндра не сообщена с атмосферой, так как канал 19 плотно закрыт внутренней поверхностью наружного ползуна и воздух из правой полости поступает только к кольцевой выточке 17 через канал 15, кольцевую выточку 12 и канал 14, сообщенной с правой полостью пневмоцилиндра. С момента соприкосновения нижней плоскости бойка с верхним торцом заклепки, запрошенной оператором и прижатой ее головкой к матричному столику 1, начинается перемещение внутреннего ползуна вверх до упора верхней плоскости бойка 2 в нижний торец наружного ползуна. Верхняя кромка канала 15 должна опуститься ниже нижней кромки расточки 18. После данного упора боек произведет деформирование заклепки. На всем протяжении процесса воздух не выходит из правой полости пневмоцилиндра через систему каналов в атмосферу.

Правильная настройка устройства достигается соответствующим конструктивным расположением матричного столика 1 по отношению к обоим ползунам. Для этого конструктивно совмещают верхнюю кромку канала 19 с нижней кромкой расточки 18 и при таком положении располагают верхнюю кромку канала 15 ниже нижней кромки расточки 12 на ≈ 2 мм. При этом нижний торец бойка должен войти в соприкосновение с верхним торцом заклепки. Отсюда полный вылет бойка из наружного ползуна 9 должен быть

$$l \approx l_2 \approx d_{19} + S,$$

где d_{19} - диаметр канала 19;

S - запас хода для гарантированного перекрытия данного канала, $S \approx 2$ мм.

Величина l_3 должна быть достаточной для нормального хода ползуна. С учетом особенностей технологической операции, т.е. удобства завода склепываемых листовых деталей между рабочими поверхностями бойка и матрицы, данная величина должна быть равна

$$l_3 \approx 30 \div 35 \text{ мм.}$$

После окончания деформирования воздух, как и в имеющейся конструкции прессы, поступит в левую полость цилиндра через дроссель с обратным клапаном и рычаг 10, а вместе с ним и ползун 9 поднимется в исходное положение под действием пружины 8.

При попадании пальцев под зону бойка пружина 6 при опускании ползуна 9, сжимая пальцы под небольшим усилием (\approx до 10 кг) соединит канал 16 с полостью расточки 18 раньше времени закрытия канала 15 поверхностью корпуса 4. При этом правая полость пневмоцилиндра окажется сообщенной с отверстием 16, т.е. с атмосферой. Давление в данной полости резко упадет, что приведет к возврату рычага 10, а значит и наружного ползуна в исходное положение. Пружина 8 должна иметь достаточное усилие для резкого возврата ползуна 9 при падении давления, а пружина 6 – небольшое, но достаточное для перемещения ползуна 3.

Сообщение правой полости пневмоцилиндра с атмосферой происходит потому, что диаметр пальца человека составляет $\approx 15 \div 25$ мм и в момент его соприкосновения с бойком в зоне последнего верхняя кромка канала 15 будет находиться выше нижней кромки расточки 12 на минимальном расстоянии ≈ 13 мм, при этом с данного момента также начнется движение ползуна 3 вверх; через ≈ 2 мм начнется сообщение канала 19 с расточкой 18, значит в последний момент верхняя кромка канала 15 будет находиться

на гарантированно минимальном расстоянии ≈ 11 мм выше нижней кромки расточки 12.

Диаметры каналов 15, 16, 19 должны быть достаточно большими для обеспечения резкого падения давления в правой полости пневмоцилиндра ($\approx 8 \div 10$ мм). Возврат наружного ползуна в исходное положение под действием пружины 8 будет сопровождаться одновременным выходом внутреннего ползуна под действием пружины 6 до полного закрытия канала 19. При продолжающемся нагнетании воздуха давление в правой полости пневмоцилиндра будет возрастать с момента закрытия канала 19, но, поскольку пружина 8 практически не обладает инерцией по сравнению со сжатым воздухом, то она возвратит наружный ползун в исходное положение до того момента, когда давление в правой полости снова возрастет до исходного значения, достаточного до очередного сжатия пружины 8.

За время возврата наружного ползуна оператор успеет инстинктивно убрать пальцы из зоны деформирования, а небольшое давление пружины 6 на пальцы до момента срабатывания механизма безопасности не окажет травмирующего действия. Если оператор по каким-то причинам не уберет пальцы из зоны деформирования до очередного нагружения, то действие механизма безопасности повторится.

Общий путь перемещения наружного ползуна с момента начала нагружения складывается из трех стадий:

$$L = L_1 + L_2 + L_3,$$

где L_1 – путь, пройденный наружным ползуном с момента начала нагружения до момента начала сопротивления рабочей поверхности бойка с верхним торцом заклепки, $L_1 \approx 12$ мм (у предлагаемой конструкции);

L_2 – путь, пройденный наружным ползуном с момента начала указанного соприкосновения до момента упора верхнего (нерабочего) торца бойка в нижний торец наружного ползуна, $L_2 \approx 12$ мм (у предлагаемой конструкции);

L_3 – путь, пройденный наружным ползуном за время деформирования заклепки, $L_3 \approx 1 \div 2$ мм.

Конструктивно диаметры ползунов могут составлять: внутреннего – $\approx 20 \div 25$ мм, наружного – $\approx 35 \div 45$ мм.

Выводы. Таким образом, предлагаемый механизм осуществляет адаптивное управление усилием ползуна прессы в зависимости от изменяющегося режима работы.

Преимуществом данного предложения является безотказное срабатывание механизма защиты от травмы оператора при практическом отсутствии его на ход процесса.

Список литературы

1. А.А. Афанасьев, В.В. Березкин, М.С. Гутаревич и др. Оборудование для ремонтных мастерских колхозов и совхозов.– М.: Колос, 1978. – С.209-212.
2. Г. Лесенко, Ю. Паньковський, В.Петров. Инженерно-технические средства безопасности труда.– К.: Техніка, 1986.– 129с.
3. М.Е. Цуцков, В.М. Ардасенов и др. Средства защиты рук рабочего на машиностроительных предприятиях.– М.: Машиностроение, 1983. – 111с.

E.Chemeris

Kirovohrad Institute of Regional Management and Economy

The mechanism of safety of riveting press

The objective of the article is the description of the construction of the mechanism of riveting press and

research of its operation.

As a result of the research done by the author on the work of operators on riveting the details on riveting press, technical recommendations to provide safety of the work was suggested.

The suggested mechanism provides adaptive control of the slide-block strain according to the changing operating mode.

The advantage of the recommendation is reliable response of the safety mechanism which avoids injuring an operator while practical influence the process of work.

riveting operations, operators of stampers, safety devices

Получено 04.03.13

УДК 681.518.5:303.732.4:663.4

Л.О. Власенко, доц., канд. техн. наук, М.Д. Місюра, доц., канд. техн. наук, А.П. Ладанюк, проф., д-р техн. наук, В.Д. Кишенько, проф., канд. техн. наук
Національний університет харчових технологій, м. Київ

Автоматизоване керування технологічним комплексом виробництва пива на основі сценарно-цільового підходу

Наведено результати проведення системного аналізу на основі сценарно-цільового підходу для технологічного комплексу (ТК) виробництва пива. В результаті роботи розроблені А- та С-сценарії, проведено імітаційне моделювання за допомогою апарату прографів.

системний аналіз, сценарно-цільовий підхід, прографи, А-сценарій, С-сценарій, прогнозування, коригуючі дії

Л.А. Власенко, М.Д. Мисюра, А.П. Ладанюк, В.Д. Кишенько

Національний університет пищевых технологий, г. Киев

Автоматизированное управление техническим комплексом производства пива на основании сценарно-целевого подхода

Приведены результаты проведения системного анализа технологического комплекса (ТК) пивного производства на основании сценарно-целевого подхода. Результатом работы являются разработанные А- и С-сценарии и проведенное с помощью аппарата прографов имитационное моделирование.

системный анализ, сценарно-целевой подход, прографы, А-сценарий, С-сценарий, прогнозирование, корректирующие действия

Вступ. Сценарно-цільовий підхід [1] на основі сценаріїв дозволяє адекватно оцінити ситуації, що виникають в досліджуваній системі, провести прогнозування, визначити залежності зміни параметрів від зовнішніх умов, обрати найкращий варіант перебігу подій за рахунок проведення багатоваріантного ситуаційного аналізу об'єкта керування і його поведінки.

Пивоварне виробництво є однією з важливих галузей харчової промисловості [2], що характеризується рядом проблем: відсутність комплексно-інтегрованого підходу, синергія процесів, наявність неврахованих невизначеностей, в тому числі і ситуаційних, незадовільне співвідношення «ефективність виробництва – затратені

ресурси на виробництво», використання систем лише локального регулювання і контролю для окремих технологічних змінних при управлінні технологічними процесами (ТП).

Мета: Підвищення ефективності функціонування ТК виробництва пива на основі сценарно-цільового підходу.

Постановка задачі дослідження.

Пивоварне виробництво відноситься до неперервно-періодичного, а це ставить такі вимоги до систем керування: чітке формування мети керування і комплексу критеріїв керування; розробка адекватних і повних математичних моделей об'єкта керування; вибір структури системи керування з розробкою логічної і динамічної підсистем; синтез алгоритмів керування для оптимізації технологічних процесів; можливість технічної реалізації системи керування.

Сценарний підхід ґрунтується на виборі найкращого варіанту переходів від початкової ситуації до кінцевої з урахуванням внутрішніх переходів між проміжними ситуаціями, зовнішніх і внутрішніх впливів, а також проміжних цілей.

Виходячи з того, що сценарій – це спосіб досягнення поставлених цілей з урахуванням факторів впливу середовища, в якому знаходиться система, його використання дозволяє прослідкувати весь цей шлях покроково з урахуванням різноманітних факторів впливу і збурень.

Методика та результати дослідження.

На першому кроці розроблюється А-сценарій, в якому описується в загальному вигляді структура, цілі, фактори, що впливають на досягнення цілей. На другому кроці проводиться динамічне моделювання на основі А-сценарія за допомогою прографів. В разі виникнення некоректностей або помилок проводиться корекція А-сценарію. На третьому кроці А-сценарій перетворюється в С-сценарій, де відбувається структурування об'єктів і ресурсів, вводяться класи об'єктів, проводиться опис переходів між ними, вводяться інтегральні показники функціонування ТК. На наступному кроці проводиться імітаційне моделювання С-сценарію, результатом якого є оцінка досягнення поставлених цілей. В разі незадоволення С-сценарієм поставлених вимог проводиться його коригування.

1. Розробка А-сценарію для ТК пивзаводу.

При розробці А-сценарію насамперед визначаються цілі, які необхідно задовольнити в процесі функціонування ТК [3]. Для ефективного функціонування пивзаводу та виготовлення якісного пива різних сортів необхідно задовольнити в ході виробництва цілі, що наведені в табл. 1. Причому на етапі розробки А-сценарію цілі, що ставляться перед системою носять доволі глобальний характер і можуть бути при необхідності додатково уточнені шляхом розгортання в дерево цілей.

Таблиця 1 – Цілі ТК виробництва пива

Позначення	Зміст цілі
C1	Виготовити пиво, що відповідає заданим показникам якості
C2	Зменшити технологічні втрати в процесі виробництва пива
C3	Підвищити продуктивність пивзаводу

А-сценарій не розкриває внутрішню структуру об'єктів, взаємозв'язки в системі і задається набором:

$$AS = \langle F, P, \hat{O}, R, C \rangle, \quad (1)$$

де F – множина операцій;

P – множина потоків;

Ф – множина факторів, що впливають на виконання сценарію;

R – множина ресурсів;

C – множина цілей.

Основні фактори, що наведені в табл. 2, впливають на виконання цілей, поставлених перед ТК і відповідно на режим його роботи.

Таблиця 2 – Фактори, що впливають на процес виробництва пива

Позначення	Зміст фактору
Ф1 – Ф6	Вологість солоду, екстрактивність і ферментативність солоду і сусла, якість помелу, прозорість сусла, ступінь зброджування і фільтрації.

Об’єктні потоки, що діють в А-сценарії, наведені в табл. 3.

Таблиця 3 – Основні об’єктні потоки

Позначення	Зміст
P1 – P9	Витрата води, солоду, несолоджених матеріалів, затору, сусла, пари, дріжджів, нефільтрованого пива, готового пива

На основі аналізу роботи ТК та вищенаведених даних сформовано А-сценарій (рис. 1).

В сценарії A_0 виробництва пива на вхід поступають потоки об’єктів $P_1 – P_8$, а на виході формується потік готової продукції P_9 . Крім того, кожен рівень А-сценарію ($A_1 – A_4$) обов’язково описується атрибутами, які для обраного ТК наведені в табл. 4.

Таблиця 4 – Атрибути об’єктів

Клас	Позначення атрибута	Зміст атрибута
A1	a1.1 a1.3	Ступінь подрібнення солоду Вологість солоду
A2	a2.1 a2.7	Температура затирання солоду Час кип’ятіння сусла
A3	a3.1 a3.4	Якість дріжджів Час бродиння
A4	a4.1 a4.2	Мутність пива Органолептичні показники

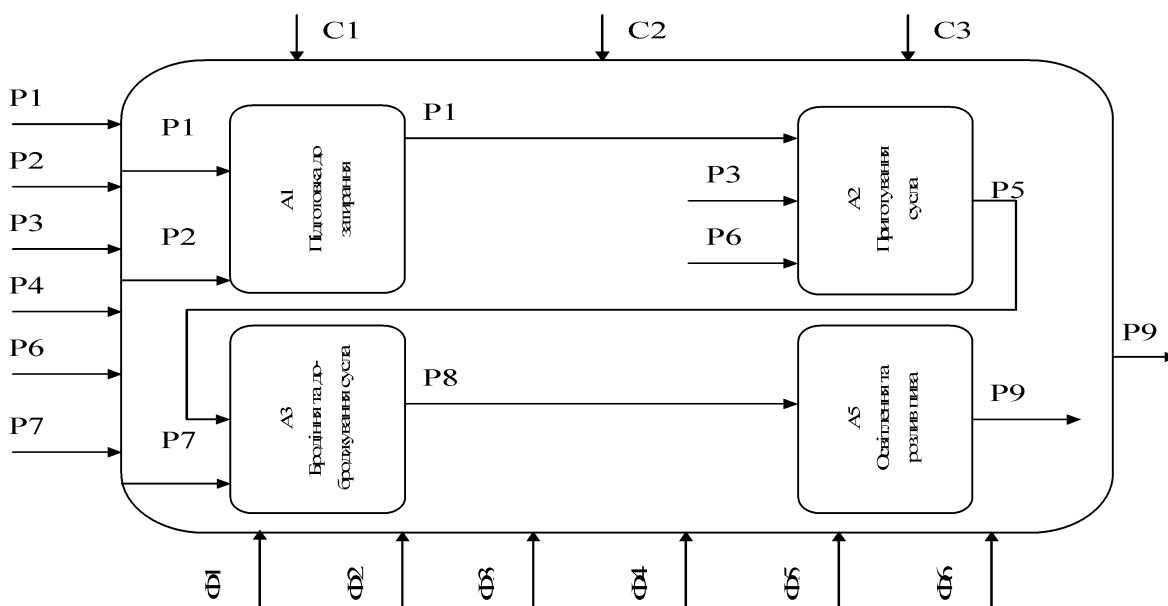


Рисунок 1 – А-сценарій роботи ТК пивоварного виробництва

2. Перетворення А-сценарію в прографи.

На другому етапі проводиться аналітичне чи динамічне моделювання, для цього А-сценарій перетворюється в прографи базовий і табличний [4]. Для прикладу розглянуто варильне відділення пивоварного заводу.

Моделювання на даному етапі дослідження дозволяє виявити помилки на ранніх стадіях і уникнути пов'язаних з цим втрат. [5]. Динамічне моделювання на основі А-сценарію для варильного відділення пивзаводу проводиться за допомогою прографів.

2.1. Побудова базового прографу.

На першому кроці будується цільовий сценарій роботи ТК варильного відділення, який визначається набором:

$$A = \langle F, C, T, \alpha, \beta \rangle, \tag{2}$$

де T – множина переходів;

$\alpha : T \times F \cup F \times T \rightarrow \{0, 1\}$ – функція інциденцій «операції – переходи»;

$\beta : F \rightarrow 2^C$ – функція розподілу цілей (2^C – множина всіх підмножин C).

На основі (2) побудовано цільовий сценарій варильного відділення на основі графу операцій (рис.2), що складається з операцій (табл. 5), цілей (табл. 6), переходів і зв'язків між ними, а також чітко прослідковується послідовність виконання операцій. Цільовий сценарій – це своєрідна компіляція властивостей статичних і динамічних моделей у вигляді графа операцій, причому статика забезпечує візуальну ілюстрацію послідовності виконання операцій, а динаміка проводиться за допомогою міток (маркерів), які знаходяться в вершинах.

Таблиця 5 – Операції підсистеми варильного відділення

Позначення	Зміст операції
f_1	Подрібнення зерна
f_2	Приготування затору
f_4	Приготування сусла
f_8	Аерування сусла

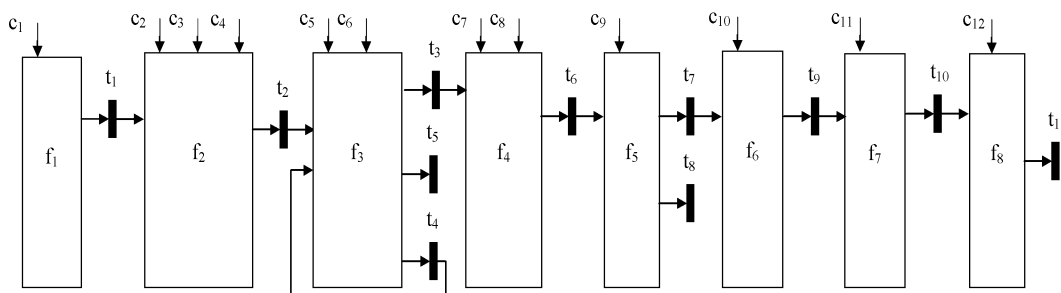


Рисунок 2 – Цільовий сценарій роботи варильного відділення

Таблиця 6 – Цілі підсистеми варильного відділення

Позначення	Зміст цілі
c_1	Подрібнити зерно до заданого ступеню подрібнення
c_2	Забезпечити густину затору 11% СР
$c_3 - c_{12}$	Підтримувати необхідні значення технологічних змінних варильного відділення

На наступному кроці будується базовий програф. Його основою є цільовий сценарій (рис. 3). Базовий програф описується набором:

$$B = \langle F, C, T, O, R, P, S, \Theta, \gamma, \delta, \varepsilon, \pi \rangle, \quad (3)$$

де O – множина об'єктів;

$S \subseteq O \times T$ – множина подій;

$\Theta = \{0, 1, \dots, h\}$ – часова шкала;

$\gamma: P \times F \cup F \times P \rightarrow \{0, 1\}$ – функція інциденцій «операції – позиції»;

$\delta: R \times F \cup F \times R \rightarrow \{0, 1\}$ – функція інциденцій «операції – ресурси»;

$\varepsilon: P \rightarrow O$ – функція розміщення об'єктів за позиціями; $\pi: S \rightarrow 2^{\Theta}$ – функція часових міток позицій (2^{Θ} – множина всіх підмножин Θ).

На основі аналізу варильного відділення виділено ресурси (табл. 7), які необхідно затратити для того, щоб операції (табл. 5) відбулись і в результаті їх виконання було досягнуто цілі (табл. 6) і отримано об'єкти (табл. 8).

Таблиця 7 – Ресурси підсистеми варильного відділення

Позначення	Зміст ресурсів
r_1	Зерно
r_2	Електроенергія
r_9	Стиснене повітря

Таблиця 8 – Об'єкти підсистеми варильного відділення

Позначення	Зміст об'єктів
o_1	Подрібнене зерно
o_2	Затор
o_5	Охмелене сусло
o_{10}	Готове сусло

В таблиці 9 описуються переходи базового прографа, що обробляють ресурси і об'єкти. Переходи прографа виконуються або автоматично за допомогою програмного забезпечення, або безпосередньо людиною. Будь-який перехід відбувається в три етапи: на першому – миттєво вилучається необхідна кількість ресурсів і/чи об'єктів з вхідних позицій; на другому – відбувається формування вихідних ресурсів і/чи об'єктів шляхом розміщення вилучених ресурсів в самому переході; на третьому – ресурси і/чи об'єкти вносяться у вихідні позиції переходу.

Таблиця 9 – Події підсистеми варильного відділення

Позначення	Зміст подій
s_1	Передати o_1 від f_1 до f_2 в момент часу τ_1
s_3	Передати o_3 від f_3 до f_4 в момент часу τ_3
s_4	Передати o_3 від f_3 до f_3 в момент часу τ_4
s_5	Вилучити o_4 з f_5 в момент часу τ_5
s_2, s_6-s_{11}	Описуються аналогічно

На основі результатів вищенаведеного аналізу виведено базовий програф для варильного відділення (рис. 3):

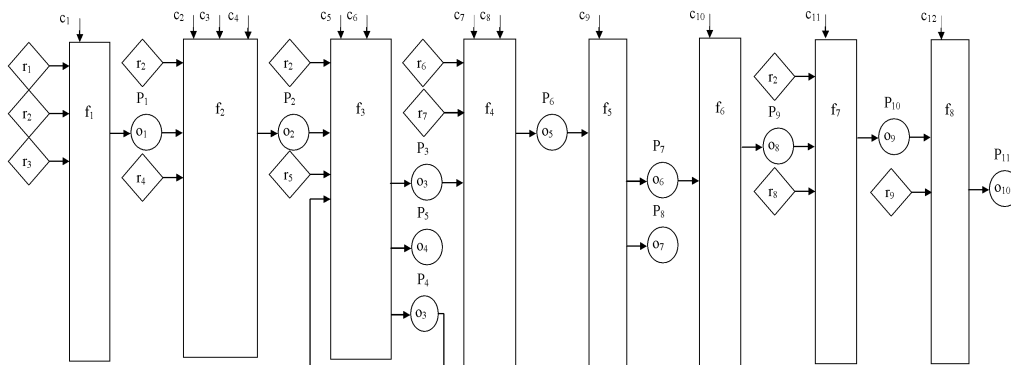


Рисунок 3 – Базовий програф варильного відділення

В зв'язку з тим, що на базовому прографі не вказуються атрибути позицій, то він дає лише загальне уявлення про структуру і поведінку системи.

2.2. Табличний програф

Ресурси і об'єкти характеризуються набором ознак (атрибутів), значення яких представлені за допомогою лінгвістичних змінних, для чого використано метод лінгвістичної апроксимації.

Для створення С-сценарію, за допомогою якого обирається найкращий варіант розвитку подій, розроблено табличний програф, в якому об'єкти і ресурси представлені у вигляді таблиць. Крім того, в табличному прографі враховано тип операцій: фактичний чи прогнозний, виконання яких принципово відрізняються. Для фактичних операцій задані умови запуску, час виконання, умови закінчення, алгоритм корекції заповнення вхідних і вихідних таблиць. Для прогнозних операцій задано прогнозний інтервал з обов'язковим часовим початком відліку, на якому проводиться динамічна оцінка параметрів системи [4].

На рис. 4 наведено фрагмент табличного прографа для виконання фактичної операції приготування сусла f_4 . В базовому прографі (рис. 3) ресурси r_6, r_7 і об'єкти o_3, o_5 замінюються відповідними таблицями.

Умова запуску для даного фрагменту табличного прографу записані з урахуванням правила, згідно з яким об'єкт однієї операції може бути ресурсом іншої:

$$\Psi_{\text{заї одне}}^{f_4} = (o_{3,3} < o_{3,5}) \wedge (o_{3,4} < o_{3,4\text{max}}), \tag{4}$$

де $o_{3,4\text{max}}$ – максимально допустимі часові затрати на проведення варки сусла.



Рисунок 4 - Фрагмент табличного прографу варильного відділення

Згідно (4) на момент запуску операції f_4 у відділенні є необхідна кількість сусла для варіння $o_{3,3}$ і часові затрати $o_{3,4}$, що заплановані, не можуть перевищувати максимально допустимих меж.

Час Δ_4 виконання операції f_4 - випадкова величина, яка розраховується залежністю:

$$\Delta_4 = \lambda[o_{3,4\min}, o_{3,4\max}], \quad (5)$$

де λ - функція випадкового вибору на інтервалі часових затрат.

Умова закінчення f_4 виражається формулою:

$$\Psi_{\text{çàâèè-âèèÿ}}^{f_4} = (v = v_{\text{èèè}} + \Delta_4), \quad (6)$$

де $v, v_{\text{èèè}}$ - відповідно поточний і початковий моменти часу виконання операції $f_4 (v, v_{\text{èèè}} \in \Theta)$.

Дії, які відбуваються в момент початку операції f_4 :

- визначення кількості сусла ω_4 для виконання f_4 , як випадкової величини на інтервалі $[o_{3,3\min}, o_{3,3\max}]$:

$$\omega_4 = \lambda[o_{3,3\min}, o_{3,3\max}]; \quad (7)$$

- визначення кількості сусла, що залишилось після вилучення необхідної його кількості з операції f_3 :

$$o_{3,5} = o_{3,5} - \omega_4. \quad (8)$$

Дії, які умовно віднесені до закінчення виконання операції f_4 , направлені на заповнення рядків таблиці o_5 (рис. 5):

- в рядки $o_{5,1}, o_{5,2}$ записуються якісні показники сусла, що надходить на варіння;

- в рядки $o_{5,3}, o_{5,4}$ записуються фактичні фінансові ω_4 і часові Δ_4 затрати на варіння сусла відповідно, тобто виконується присвоєння:

$$o_{5,3} = \omega_4, o_{5,4} = \Delta_4, \quad (9)$$

- в рядок $o_{5,5}$ записується умова початку запуску відліку часу проходження процесу дифузії процесу відокремлення сусла і хмелевої дробини f_5 .

3. Розробка С-сценарію варильного відділення

В С-сценарії розкривається структура об'єкта, його атрибутів (властивостей), станів, переходів і правил. Він задається набором:

$$CC = \langle F, P, \hat{O}, R, C, S, T \rangle, \quad (10)$$

де S — множина станів[1].

В С-сценарій введені обмеження на область зміни значень обраних атрибутів і операцій, що містять в собі певну кількість однакових об'єктів з однаковим набором атрибутів з відмінними значеннями. Кожний клас містить в собі дані про атрибути об'єктів і правила, що описують їх «життєвий цикл». Міжопераційні зв'язки відображають перетворення об'єктів і їх передачу між операціями.

При формуванні С-сценаріїв керування (рис. 5) виробництвом пива станом або сценарієм S_i системи А назовемо набір активних компонентів

$$S_i = \{p_i^{k1}, p_i^{k2}, \dots, p_i^{kr}\} \subseteq P, \quad (11)$$

де, для $\forall p_i^k \in P_{ij}$, $p_i^k \in S_i$, якщо стан p_i^k : активний перехід від стану до стану здійснюється стрибком, за допомогою активізації іншого набору життєвих станів.

Процес функціонування подібної системи є недетермінованим, оскільки заздалегідь неможливо з повною достовірністю прогнозувати який з наборів може бути активізований в і-й момент часу. Цей процес може бути формалізований у вигляді концептуальної моделі, фрагмент якої представлений на рис. 5.

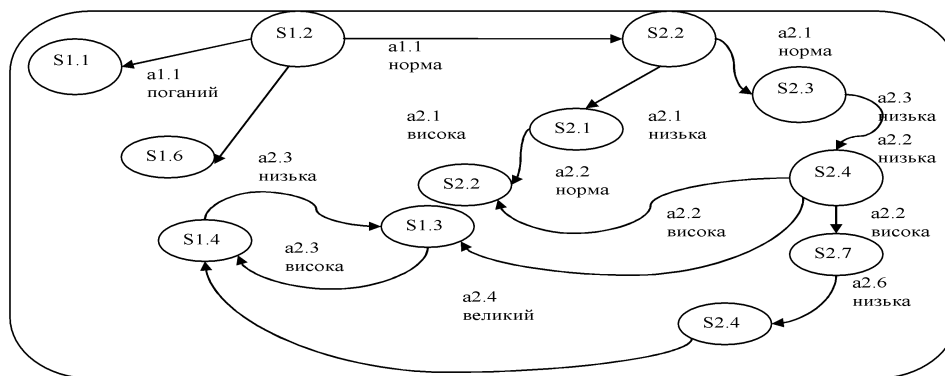


Рисунок 5 – Приклад С-сценарію керування для варильного відділення

Висновки: Проведений в три етапи системний аналіз ТК виробництва пива на основі сценарно-цільового підходу довів доцільність і необхідність його застосування. На першому етапі ТК описується за допомогою А-сценарію, що забезпечує: виявлення зв'язків між технологічними елементами, які входять до його складу; їх вплив на ситуації, що виникають; на другому етапі проводиться його (А-сценарію) деталізація в базовому і табличному прографах і аналіз особливостей поведінки ТК при різних умовах; на третьому етапі відбувається реалізація, розроблених ефективних алгоритмів керування на основі проведеного системного аналізу, сучасних інформаційних технологій і застосування різних інтелектуальних механізмів, за допомогою С-сценарію. Результатом є підвищення ефективності функціонування ТК пивоварного виробництва і скорочення часу на прийняття правильних управлінських рішень.

Список літератури

1. Юдицкий С.А. Сценарный подход к моделированию поведения бизнес-систем/ С.А. Юдицкий - М.: Синтег, 2001. - 108 с.
2. Вольфганг Кунце Технология солода и пива [Текст]/ Вольфганг Кунце – Санкт- Петербург : Профессия, 2009. – 1064 с.
3. Місюра М.Д. Сценарне керування технологічними процесами виробництва пива / М.Д. Місюра, В.Д. Кишенько // Наукові праці НУХТ. – К. : НУХТ, 2009. – №28. – С. 53–55.
4. Юдицкий С.А. Сценарно-целевой подход к системному анализу / С.А. Юдицкий. // Автоматика и

- телемеханика. - 2001. - №4. – С. 163-175.
5. Ладанюк А.П. Інформаційне забезпечення задачі оцінки стану складного технологічного об'єкта / А.П. Ладанюк, Р.О. Бойко, Л.О. Власенко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки, вип. 117. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. – 2011. – С. 73-74.

L. Vlasenko, M. Misyura, A. Ladanyuk, V. Kishenko

National University of Food Technologies, Kiev

Automated management of complex technical production of beer on the basis of a scenario-oriented approach

The improving the efficiency of TC beer production from scriptwriting-targeted approach.

The results of system analysis for beer production technical complex on the base of scenario-oriented approach are given. The results of work are A- and C-scenarios are developed and simulation was conducted with the help of prograf set.

Conducted in three phases systematic analysis of TC beer production from scriptwriting-purpose approach proved the feasibility and necessity of its use. In the first phase TC is described by A script that provides: the links between technological elements that are its members, and their impact on the situation arising, the second stage is it (a script) specification in the base and prografs and tabular analysis of the behavior of TC under different conditions, the third stage is the implementation developed efficient algorithms based management conducted a systematic analysis of modern information technology and the use of various intellectual mechanisms by C-script. The result is to increase the efficiency of TC brewing industry and reduce the time to make the right decisions.

systems analysis, scenario-oriented approach, prograf, A-scenarios, C-scenarios, forecasting, corrective action

Одержано 05.12.12

УДК 681.325

В.М.Лукашенко, проф. д-р техн. наук, М.В. Чичужко, асп., В.А. Лукашенко, магистр

Черкасский государственный технологический университет

Многокритериальная качественная оценка фирм изготовителей микроконтроллеров

При разработке систем управления объектами разных уровней сложности большое внимание уделяется микроконтроллерам, которые позволяют конструировать современные устройства. Представлена систематизация микроконтроллеров по фирмам изготовителям. Построены знаковые модели зависимостей основных технических показателей микроконтроллеров различных фирм изготовителей в безразмерных координатах.

микроконтроллеры, качественная оценка, знаковая модель

В.М.Лукашенко, М.В. Чичужко, В.А. Лукашенко

Черкаський державний технологічний університет

Багатокритеріальна якісна оцінка фірм виготовлювачів мікроконтролерів

При розробці систем управління об'єктами різних рівнів складності велика увага приділяється мікроконтролерам, які дозволяють конструювати сучасні пристрої. Представлена систематизація мікроконтролерів по фірмам виробникам. Побудовано знакові моделі залежностей основних технічних показників мікроконтролерів різних фірм виробників в безрозмірних координатах.

мікроконтролери, оцінка якості, знакова модель

Актуальность. Микроконтроллеры (МК) широко используются в вычислительных комплексах, позволяют лучше и с наименьшими затратами решать локальные задачи управления производственными процессами в области машиностроения, а также лазерными технологическими комплексами. МК позволяют конструировать современные устройства, обладающие рядом преимуществ: минимальные габариты, низкая стоимость, совместимость с персональными компьютерами через стандартные интерфейсы и высокая надежность [1].

В настоящее время существует множество фирм, которые изготавливают микроконтроллеры. Авторами выбраны для исследования фирмы наиболее известные: Atmel, Microchip, Fujitsu, Texas Instrument.

Весомый вклад в развитие микроконтроллерной техники внесли работы А.Евстигнеева, В.Локазюка, В.Корнеева, Є.Крылова, С.Гаврилюка, В.Ульриха, Н.Зайца и др. Однако, в этих работах недостаточно отображено, как из множества фирм - производителей быстро выбрать ту фирму, микроконтроллеры которой наиболее подходят потребителю по необходимым технико-экономическим показателям. Поэтому систематизация для быстрого выбора микроконтроллера с соответствующими параметрами является задачей актуальной.

Целью работы является создание знаковой многокритериальной модели технических показателей микроконтроллеров для различных фирм изготовителей.

Решение проблемной задачи.

Для выполнения поставленной цели необходимо:

1. Создать перечень основных фирм изготовителей микроконтроллеров с основными техническими показателями;
2. Определить условные критерии на основе теории неполного подобия и размерностей;
3. Построить знаковую модель зависимостей основных технических показателей микроконтроллеров различных фирм изготовителей в безразмерных координатах, которая позволяет потребителю выбрать соответствующую фирму изготовителя современных микроконтроллеров.

Одним из важных решений, от которых зависит весь проект, является выбор фирмы-изготовителя микроконтроллера. Для этого используются многочисленные критерии, некоторые из которых представлены в этой статье. Поиск фирмы-производителя микроконтроллеров, которая удовлетворяла бы всем требованиям, обычно включает подбор технических коммерческих журналов, литературы; проводится анализ цены. Проведен анализ современных фирм - производителей микроконтроллеров и разработана знаковая модель основных технических показателей в безразмерных координатах (рис.2).

Создан перечень основных технических параметров современных микроконтроллеров по фирмам – производителям (табл.1).

Таблица 1 - Перечень основных технических показателей микроконтроллеров различных фирм изготовителей

№	Параметры	Рабочее напряжение U, В	Рабочая частота f, Мгц	Постоянный ток между VCC и GND I, мА	Мощность рассеивания P _p , Вт
	Изготовитель				
1	Atmel	3,6-6	2-16	100-400	108,7-282,6
2	Microchip	4-7,5	4-80	80-300	108,7-282,6
3	Fujitsu	3,6-5,5	10-16	50-66	280-282,6
4	Texas Instruments	3,6-5,5	5-60	9,6-66	282-652

Обобщенная математическая модель по основным показателям имеет вид:

$$F(U_{\max}, U_{\min}; f_{\max}, f_{\min}; I_{\max}, I_{\min}; P_{p\max}, P_{p\min}) = 0, \quad (1)$$

где U_{\max}, U_{\min} - максимальные и минимальные значения рабочего напряжения МК соответственно, В;

f_{\max}, f_{\min} - максимальные и минимальные значения рабочей частоты МК соответственно, Гц;

I_{\max}, I_{\min} - максимальные и минимальные значения постоянного тока между VCC и GND МК соответственно, мА;

$P_{p\max}, P_{p\min}$ - максимальные и минимальные значения мощности рассеивания МК соответственно, Вт;

Учитывая отсутствие математической зависимости между приведенными параметрами микроконтроллеров (1), предлагается использовать теорию неполного подобия и физического моделирования и на основании эвристического метода создать условные критерии подобия. [3] Общий вид критерия подобия через определенные величины имеет вид:

$$K_i = \frac{S_{\max} - S_{\min}}{S_{\max}}, \quad (2)$$

где индексы max и min отвечают выбранному параметру, при этом K_i – условный критерий, который является безразмерной величиной. Эти величины будут характеризовать соответствующие технические показатели. Тогда критериальное уравнение для всех микроконтроллеров принимает вид:

$$f((U_{\max} - U_{\min})/U_{\max}; (f_{\max} - f_{\min})/f_{\max}; (I_{\max} - I_{\min})/I_{\max}; (P_{p\max} - P_{p\min})/P_{p\max}) = 0, \quad (3)$$

где $K_U = (U_{\max} - U_{\min})/U_{\max}$ - величина, характеризующая диапазон рабочего напряжения в относительных единицах;

$K_f = (f_{\max} - f_{\min})/f_{\max}$ - величина, характеризующая диапазон рабочих частот в относительных единицах;

$K_I = (I_{\max} - I_{\min})/I_{\max}$ - величина, характеризующая диапазон постоянного тока в относительных единицах;

$K_{Pp} = (P_{p\max} - P_{p\min})/P_{p\max}$ - величина, характеризующая диапазон мощности рассеивания в относительных единицах.

Результаты расчета условных критериев приведены в табл. 2.

Таблица 2 - Перечень условных критериев основных технических показателей микроконтроллеров различных фирм изготовителей

№	Параметры	K_U	K_f	K_I	K_{Pp}
	Изготовитель				
1	Atmel	0,40	0,88	0,75	0,62
2	Microchip	0,47	0,95	0,73	0,62
3	Fujitsu	0,35	0,38	0,24	0,01
4	Texas Instruments	0,35	0,92	0,85	0,57

По результатам (табл.2) строится график зависимостей основных технических показателей микроконтроллеров различных фирм изготовителей в безразмерных координатах.

График знаковой модели зависимости основных параметров в безразмерных координатах представлен на рис.1. Примечание: цифры 1, 2, 3, 4 соответствуют цифрам в табл. 2.

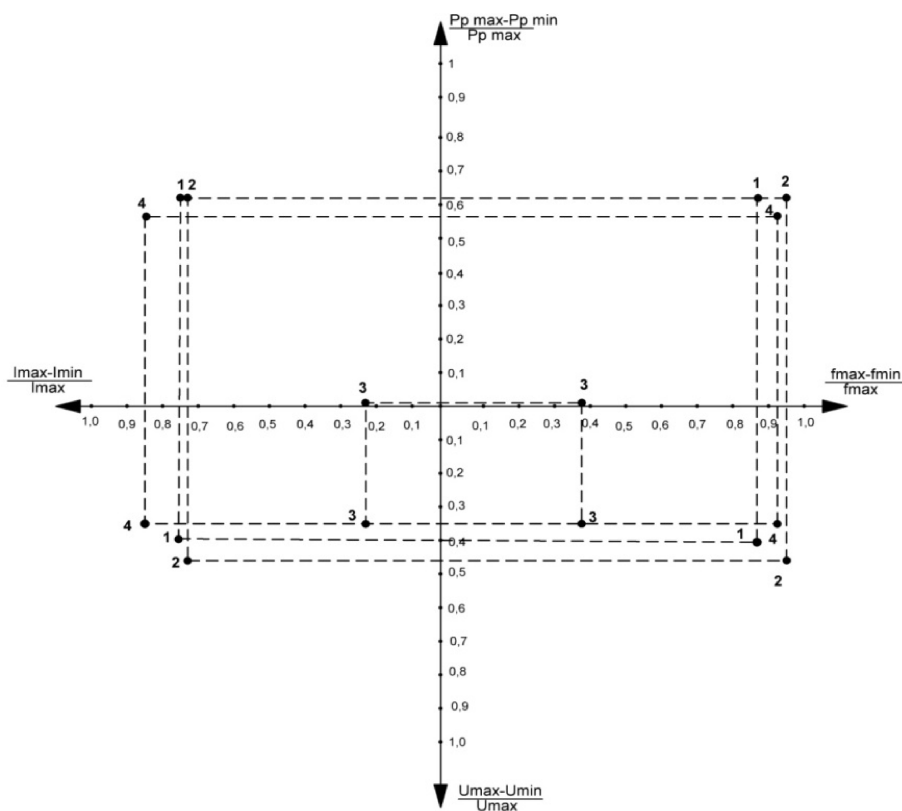


Рисунок 1 - Знаковая модель основных технических показателей (K_U , K_I , K_{Pp} , K_f) микроконтроллеров различных фирм изготовителей в безразмерных координатах

Из графика (рис. 1) видно, что лидером среди фирм изготовителей микроконтроллеров по показателям, характеризующим диапазон рабочего напряжения, диапазон рабочих частот, мощности рассеивания – является фирма Microchip, а по показателю постоянного тока между VCC и GND - Texas Instruments.

Таблица 3 - Качественная оценка микроконтроллеров по фирмам изготовителям

	Преимущества	Недостатки	Рекомендуемое использование
Atmel	Производительность приближающаяся к 1 MIPS/МГц, усовершенствованная RISC-архитектура, 32 РОН, отдельные шины памяти команд и данных, внутрисхемно программируемая Flash-память программ, память данных EEPROM, блокировка режима программирования, широкий диапазон рабочих частот (0..20МГц), широкий диапазон напряжений питания (1,8..6,0В), режимы энергосбережения, альтернативные способы тактирования, упрощенная структура программ, широкий диапазон ассортимента и динамическое развитие по улучшению характеристик МК	Несовершенная система защиты энергонезависимой памяти данных, проблемы с помехоустойчивостью, сложности в системе команд	Компьютерные сети, медицина, связь, автомобили, космос, военные устройства, изделия Smart Card и считыватели к ним, игрушки, игровые приставки, зарядные устройства, бытовая техника, пульты дистанционного управления, контроллеры защиты доступа в мобильный телефон, спутниковые навигационные системы, промышленные системы контроля и управления, офисная техника, комплектующие ПК

Продовження таблиці 3

Microchip	Широкий диапазон питающих напряжений, режим низковольтного программирования, самопрограммируемые, различные варианты памяти программ, легкое согласование между семействами МК, кратчайшее время выхода на рынок, низкая стоимость разработки, хорошая преемственность внутри и между семействами, программная совместимость, совместимость по выводам, общие универсальные библиотеки и стеки наиболее популярных протоколов, всевозможные вариации периферии, широкий выбор объема памяти, температуры, легкое освоение, богатая периферия, широкий выбор корпусов	Неэффективная архитектура, ограниченная система команд (хотя есть и расширенные версии МК)	Батарейные устройства, сложные системы реального времени, энергоограниченные приложения, управление двигателями и преобразователями энергии, импульсные источники питания, для работы со звуком, для управления дисплеями
Fujitsu	CMOS-технология изготовления, низкое энергопотребление, обработка до 256 аппаратных и программных прерываний, восемь уровней приоритета прерываний, меньший размер исходного кода, возможность остановки пересылки портом – устраняет пересылку нежелательных данных	Не эффективная CISC-архитектура, большая система команд (351 инструкция), низкая скорость выборки команд	В критичных к быстродействию применениях – от новейших разработок домашней и офисной электронной техники, систем безопасности и средств связи до промышленных применений младших уровней традиционно использующих 32-разрядные микроконтроллеры
Texas Instruments	Низкое потребление мощности, различные варианты памяти программ, два работающих параллельно ядра ARM Cortex-R4 с возможностью выполнения операций с плавающей точкой, высокоскоростная обработка данных, малые габариты, гибкость при настройке, высокая производительность, 8 процессорных ядер, относительно простая архитектура, дополнительный конвейер команд запускается до логического ветвления программы, не нуждается в прерываниях. Разработаны в соответствии со стандартом IEC 61508 и имеют класс надёжности SIL-3, а также со стандартом ISO 26262 и имеют класс надёжности ASIL-D. Обладают расширенными возможностями подключения Ethernet, CAN и USB	Необходимы навыки работы с параллельными алгоритмами, сложности освоения новой архитектуры.	Рассчитаны на экономичную реализацию функций обеспечения безопасности. Аттестованы АЕС-Q100 для использования в автомобилестроении и поддерживают сети LIN и CAN. Используются в системе безопасности транспорта: на железных дорогах, в аэрокосмических и автомобильных системах. Рассчитаны на обеспечение самых высоких уровней производительности и безопасности для устройств промышленной автоматизации, медицинских приборов, сервоприводов и сетевых приложений.

Проведена качественная оценка МК по фирмам изготовителям, которая представлена в таблице 3. Это позволяет выбрать микроконтроллер конкретной фирмы изготовителя, наиболее подходящей для решения поставленной задачи [5]. Таблица позволяет выбрать микроконтроллер из наиболее распространенных фирм производителей, который будет уже выделяться одним или несколькими важными критериями качества: повышенным быстродействием, низким энергопотреблением, высокой точностью, высокой надежностью, легким программным сопровождением и т.п., что в свою очередь определяет высокую конкурентоспособность.

Выводы

1. Создан перечень основных фирм изготовителей микроконтроллеров с основными техническими показателями;
2. Определены условные критерии на основе теории неполного подобия и размерностей;
3. Построены знаковые модели зависимостей основных технических показателей микроконтроллеров различных фирм изготовителей в безразмерных координатах;
4. Определены лучшие фирмы изготовители современных микроконтроллеров. К ним относятся фирмы: Microchip по показателям рабочего напряжения, рабочих

частот, мощности рассеивания, фирма Texas Instruments по показателю постоянного тока между VCC и GND.

Таким образом, предложена знаковая модель позволяющая уменьшить время выбора соответствующей фирмы современных микроконтроллеров с наилучшими показателями $U_{\max}, U_{\min}; f_{\max}, f_{\min}; I_{\max}, I_{\min}; P_{p \max}, P_{p \min}$ на базе теории неполного подобия и размерностей.

В дальнейшем исследовании необходимо рассмотреть энергетические и температурные резервы МК с целью их усовершенствования, при этом учитывать экономические показатели МК различных фирм изготовителей.

Список литературы

1. Евстигнеев А.В. Микроконтроллеры AVR семейства classic фирмы «ATMEL». – М.: ДОДЭКА-XXI, 2002. – 228 с.
2. Схемотехніка електронних систем: У 3 кн. Кн. 3. Мікропроцесори та мікроконтролери: Підручник / В.І. Бойко, А.М. Гуржій, В.Я. Жуйков та ін. – 2-ге вид., допов. і переробл. – К.: Вища шк., 2004. – 399 с.
3. Лукашенко А.Г. Эффективный метод організації бази даних на основі теорії неповної подібності та розмірностей / Шеховцов Б.А., Зубко І.А., Сокур О.П., Лукашенко В.М. / *Materiály VII Mědzynárodní vedesko-praktická konference «Moderní vymoženosti vědi-2011»*, 27.01.2011-05.02.2011 г. : тезисы докл. Прага: «Education and Science», 2011. – Том 10. – С. 73-76.
4. Лукашенко А.Г., Швидкодійний метод візуалізації вибору сучасних мікроконтролерів // Рудаков К.С., Юпин Р.Є., Лукашенко Д.А. / «Восточно-Европейский журнал передовых технологий» № 4/9(52). 2011, стр. 63.
5. Лукашенко А.Г. Систематизация структур современных микроконтроллеров для лазерных технологических комплексов / Лукашенко В.М., Юпин Р.Е., Лукашенко Д.А., Лукашенко В.А. / «Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин», Кіровоград, 2012,- Вип.42. – с.95-99.

V.M.Lukashenko, M.Chichuzhko, V.Lukashenko

Cherkassy State Technological University

Multicriteria quality assessment manufacturing companies microcontrollers

The aim of work is to create a sign multicriteria model of microcontrollers' technical figures for various manufacturers.

One of the important decisions that affect the entire project is the choice of the microcontrollers' manufacturer. It has been used multiple criteria, some of which are presented in this article. It has been carried out an analysis of modern manufacturers of microcontrollers and developed a systematisation of microcontrollers' producers. It has been created sign models of dependencies for main microcontrollers' technical figures of various manufacturers in dimensionless coordinates. It has been defined conditional criteria based on a theory of incomplete similarity and dimensions.

It has been presented a qualitative assessment of microcontrollers' manufacturers, what allows selecting a required microcontroller much easier.

microcontrollers, quality assessment, significant model

Одержано 21.03.13

УДК 681.542.35

А. М. Мацуй, доц., канд. техн. наук, В. О. Кондратець, проф., канд. техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет

Дослідження нелінійної системи автоматичного управління подачею води у кульовий млин, що подрібнює піски класифікатора

Обґрунтована функціональна схема системи автоматичного управління подачею доданої води у кульовий млин, що подрібнює піски двоспірального класифікатора, та її складові елементи. Показано, що вона повинна містити обчислювальний блок, який формує змінне задаюче діяння на витрату доданої води, та ідеалізований елемент, що спрацьовує при занадто низьких рівнях вхідного сигналу і має характеристику без гістерезису.

кульовий млин, ідеалізований релейний елемент, автоматичне управління

А. Н. Мацуй, В. А. Кондратець
Кировоградский национальный технический университет

Исследование нелинейной системы автоматического управления подачей воды в шаровую мельницу, которая измельчает пески классификатора

Обоснована функціональна схема системи автоматичного управління подачею добавляемой води в шаровую мельницу, которая измельчает пески двухспирального классификатора, и ее составные элементы. Показано, что она должна содержать вычислительный блок, который формирует переменное задающее воздействие на расход добавляемой воды, и идеализированный релейный элемент, срабатывающий при достаточно низких уровнях входного сигнала и имеющий характеристику без гистерезиса.

шаровая мельница, идеализированный релейный элемент, автоматическое управление

В Україні серед сировини металургійної галузі все більше зростає частка, отримана збагаченням бідних залізних руд. Серед них значний обсяг складає видобуток з підвищеною міцністю мінералів, який переробляють на рудозбагачувальних фабриках з застосуванням технологічних схем подрібнення – стержневий млин у розімкнутому циклі, кульовий млин – у замкнутому циклі з двоспіральним класифікатором. При цьому кульовий млин несе основне навантаження, подрібнюючи піски двоспірального класифікатора. Відомо, що на результати роботи кульових млинів сильно впливає співвідношення тверде/рідке, яке необхідно підтримувати на певному рівні у тих чи інших технологічних умовах. Відсутність засобів автоматичного управління розрідженням пульпи у таких кульових млинах приводить до значних перевитрат електричної енергії, молольних тіл та футерівки, що є фактором відчутних економічних збитків. Такий стан роботи подрібнювального обладнання не узгоджується з вимогами законодавства України про ресурсозберігаючі технології в енергетиці, промисловості та, зокрема, у гірничій галузі. Оскільки дана публікація спрямована на розв'язання поставлених задач, її тема є актуальною. Матеріали даної публікації отримані у процесі виконання науково-дослідної роботи “Система комп'ютерної ідентифікації співвідношення тверде/рідке при подрібненні пісків класифікатора” (державний реєстраційний номер 0107U005470).

Системи автоматичного регулювання розрідження пульпи, розроблені для інших технологічних схем, для даного циклу подрібнення не підходять. Для кульових млинів, що подрібнюють піски класифікатора, запропоновано лише один пристрій [1], однак можливість забивання каналу при експлуатації практично не дозволяє його використовувати. Запропонований авторами даної публікації підхід реалізації інформаційного засобу [2] та пристроїв його реалізації [3, 4] дозволяють ідентифікувати співвідношення тверде/рідке з необхідною точністю, однак питання автоматичного управління подачею води безпосередньо у кульовий млин залишились не розв'язаними.

Метою даної роботи є теоретичне обґрунтування особливостей подачі води у технологічний процес для стабілізації співвідношення тверде/рідке та системи автоматичного управління подачею води безпосередньо у кульовий млин, що подрібнює піски класифікатора.

Дослідження кульового млина, що подрібнює піски класифікатора, як керованого об'єкта по каналу розрідження пульпи розглянуто у роботі [5], де показано, що технологічний агрегат, виведений з рівноваги східчастим входним діянням, приходить у новий усталений стан за різні проміжки часу. Перехідний процес триває найдовше у випадках найменших піскових навантажень. Відносно швидко він закінчується при найбільших граничних піскових навантаженнях. При середніх піскових навантаженнях найменша тривалість перехідного процесу складає близько 830 с, найбільша – 1330 с. Враховуючи, що наприклад, при середньому значенні піскового навантаження 450 т/год матеріал через кульовий млин проходить впродовж 154,8 с, перехідний процес триває значно довше. Це означає, що при відхиленнях на вході кульового млина, на його виході ще тривалий час буде невідповідність розрідження пульпи приписаному значенню. Такий стан керованого об'єкта практично не дозволяє підтримувати задане співвідношення тверде/рідке на вході кульового млина шляхом подачі всієї витрати необхідної води безпосередньо у технологічний агрегат. Тому задане співвідношення тверде/рідке необхідно забезпечувати на вході у кульовий млин. Тут же слід отримувати і інформацію про значення керованого параметра. Зважаючи на це, в якості регульованого об'єкта при керуванні співвідношенням тверде/рідке у кульовому млині, що подрібнює піски класифікатора, повинен виступати приймальний пристрій завиткового живильника разом з пісковим жолобом двоспірального механічного класифікатора. У роботі [6] показано, що здійснити принцип керування за відхиленням співвідношення тверде/рідке у приймальному пристрої від заданого значення у даному об'єкті не можливо.

Аналіз показав, що дану задачу можливо розв'язати змішаним керуванням – подачею води у пісковий жолоб та невеликої кількості безпосередньо у кульовий млин, використовуючи властивості керованого об'єкта. По-перше, витрата пісків у двоспіральному класифікаторі змінюється занадто повільно, а тиск у магістралі подачі води практично зовсім не змінюється. По-друге, рівень пульпи у приймальному пристрої завиткового живильника однозначно визначається витратою пісків у пісковому жолобі при певній незмінній подачі води у нього. У таких умовах середнє значення рівня пульпи у приймальному пристрої завиткового живильника однозначно визначає продуктивність по пісках [7]. Співвідношення тверде/рідке буде певним лише при мінімальному значенні витрати пісків. Збільшення витрати пісків приведе до зростання співвідношення тверде/рідке. Можливо задатись певним прирощенням співвідношення тверде/рідке ΔK_{TP} , далі якого процес продовжуватись не буде. Припинити прирощення K_{TP} можливо ввімкненням ще одного джерела подачі води у пісковий жолоб класифікатора. Так можливо продовжувати до найбільшого значення витрати пісків, фіксуючи прирощення K_{TP} і рівня пульпи ΔH . Якщо витрата пісків буде зменшуватись, то, навпаки, додаткові джерела слід відмикати. Подача води у пісковий

жолоб на його вході дозволяє уникнути негативного впливу транспортного і ємкісного запізнювання. Однак тут повна інваріантність не досягається у межах компенсації значення $\Delta K_{T/P}$. Частку води для компенсації $\Delta K_{T/P}$ можливо подавати безпосередньо у приймальний пристрій завиткового живильника, що викличе негативний вплив ємкісного запізнювання приймального пристрою завиткового живильника. Позбавитись цього впливу можливо подачею компенсуючої витрати води безпосередньо у кульовий млин, оскільки вона незначна. При цьому буде виключене ємкісне запізнювання і буде гарантованим ефективне перемішування цієї доданої води і пульпи з завиткового живильника у завантажувальному пристрої кульового млина. Промодельоємо процес додавання води у кульовий млин, прийнявши $\Delta K_{T/P} = const$.

Практичним досвідом експлуатації даного циклу подрібнення руди встановлено, що, в залежності від технологічних умов, густину пульпи у кульовому млині можуть підтримувати в межах 1800...1900 г/л, 2000...2100 г/л, 1900...2100 г/л. Піскове навантаження в основному не виходить за межі 250...450 т/год, а густина руди знаходиться у межах 3,2...3,4 г/см³. Розглянемо роботу кульового млина при середніх показниках – густині руди 3,3 г/см³, густині пульпи 2050 г/л і пісковому навантаженні 238...450 т/год або 72...136 м³/год.

Для відомої об'ємної витрати руди Q_{vp} можливо знайти об'ємну витрату води Q_{ve} , яка буде дорівнювати

$$Q_{ve} = Q_{vp} \frac{(\delta_p - \gamma_{II})}{(\gamma_{II} - \delta_e)}, \quad (1)$$

де δ_p , γ_{II} , δ_e – відповідно густини руди, пульпи і води.

З використанням (1) встановлюємо, що для певної витрати руди і прийнятої густини пульпи співвідношення тверде/рідке складає 2,77. Це буде заданим співвідношенням $K_{(T/P)з} = 2,77$, яке необхідно підтримувати у кульовому млині.

Об'ємну витрату води можливо також визначити через співвідношення тверде/рідке у пульпі

$$Q_{ve} = \frac{\delta_p}{\delta_e} \cdot \frac{Q_{vp}}{K_{P/B}}, \quad (2)$$

звідки

$$Q_{vp} = \frac{\delta_e}{\delta_p} \cdot K_{P/B} \cdot Q_{ve}. \quad (3)$$

У процесі автоматичного керування співвідношенням тверде/рідке у приймальному пристрої завиткового живильника не повинно бути нижчим певного мінімального значення $K_{(T/P)min}$, яке більше $K_{(T/P)з}$. Однак, воно не повинно бути більшим певного найбільшого значення $K_{(T/P)max}$, при якому пульпа ще легко транспортується через завитковий живильник. Прийmemo $K_{(T/P)min} = 2,9$, а $K_{(T/P)max} = 3,3$. Тоді $\Delta K_{T/P} = const = 0,4$.

Прийmemo найменшу продуктивність по піскам 238 т/год. Тоді для забезпечення $K_{(T/P)} = 2,9$ необхідно подавати у пісковий жолоб класифікатора витрату води $Q_{ve} = 82,1$ м³/год. Це буде вихідний стан роботи технологічного агрегату. При зростанні витрати пісків буде збільшуватися співвідношення тверде/рідке в приймальному пристрої завиткового живильника, оскільки зазначена витрата води не змінюється. Таке

зростання можливо допустити до $K_{(T/P)max}=3,3$ і після цього включити магістраль подачі додаткової води. Відповідно залежності (3) встановлюємо, що при прийнятих значеннях δ_p і $K_{(T/P)max}$ об'ємні витрати руди і води співпадають, тобто $Q_{vb} = Q_{vp}$. Це означає, що без подачі додаткової води об'ємну витрату пісків можливо збільшувати з $72,2 \text{ м}^3/\text{год}$ до $82,1 \text{ м}^3/\text{год}$. Після досягнення $Q_{vp} = 82,1 \text{ м}^3/\text{год}$ необхідно подати додаткову воду з першого додаткового каналу, що забезпечує розрідження пульпи до $K_{(T/P)min}=2,9$. Витрата води відповідно залежності (2) складе $93,44 \text{ м}^3/\text{год}$, з яких додаткова витрата води з першого додаткового каналу буде дорівнювати $11,327 \text{ м}^3/\text{год}$. По цій же залежності повна витрата води до досягнення $K_{(T/P)z} = 2,77$ буде $97,81 \text{ м}^3/\text{год}$, а безпосередньо у кульовий млин буде направлено $3,85 \text{ м}^3/\text{год}$. В момент найбільшого значення $K_{(T/P)max}$ витрата води у кульовий млин буде $13,8 \text{ м}^3/\text{год}$. Моделюючи даний процес до найбільшого значення витрати пісків – $450 \text{ т}/\text{год}$, отримуємо відповідні технологічні параметри, які зведені у табл.1. З даних табл.1 видно, що при $\Delta K_{T/P}=0,4$ необхідно організувати вихідний канал подачі води у пісковий жолоб класифікатора з незмінною продуктивністю $82,1 \text{ м}^3/\text{год}$ і п'ять додаткових каналів відповідно з витратами $11,3$; $12,9$; $14,7$; $16,7$ і $19,0 \text{ м}^3/\text{год}$. Витрата води у кульовий млин при різних витратах пісків може приймати значення $3,85 \dots 13,8$; $4,37 \dots 15,7$; $5,0 \dots 17,9$; $5,7 \dots 20,4$; $6,4 \dots 23,2$ та $7,4 \dots 26,4 \text{ м}^3/\text{год}$. Це незначна кількість води порівняно з загальною витратою у пісковий жолоб класифікатора. Вона складає лише $4,7 \dots 16,8 \%$ від води у пісковому жолобі або $4,0 \dots 14,4 \%$ загальної витрати води. Невелика кількість доданої води у горловину кульового млина і ефективно її перемішування з осередненою пульпою приймального пристрою завиткового живильника не виключають збурень на вході технологічного агрегату, що гарантує високу якість автоматичного керування. Однак при такому керуванні можливо отримати високу якість за умов допустимої похибки вимірювання параметрів. Засіб ідентифікації повинен забезпечувати отримання співвідношення тверде/рідке у приймальному пристрої завиткового живильника та середнього значення рівня пульпи у ньому з похибками, що не перевищують допустимі для даних процесів значення. Як встановлено [2, 3, 4], похибки запропонованих засобів задовольняють даним вимогам. Ще однією умовою забезпечення високої якості стабілізації необхідного співвідношення тверде/рідке у кульовому млині є надання певних характеристик системі автоматичного управління подачею води у технологічний агрегат, що подрібнює піски двоспірального класифікатора.

Таблиця 1 - Параметри моделювання процесу подачі додаткової води в пісковий жолоб класифікатора при зміні витрати пісків

Витрата води через окремі додаткові канали, $\text{м}^3/\text{год}$	Сумарна витрата води у пісковий жолоб, $\text{м}^3/\text{год}$	Витрата води у кульовий млин, $\text{м}^3/\text{год}$	
		Min	Max
82,1	82,1	3,85	13,8
11,3	93,4	4,37	15,7
12,9	106,3	5,0	17,9
14,7	121,0	5,7	20,4
16,7	137,7	6,4	23,2
19,0	156,7	7,4	26,4

Відповідно з розглянутим, задаюче діяння системи автоматичного управління подачею води у кульовий млин буде змінною у часі величиною. Його значення буде дорівнювати

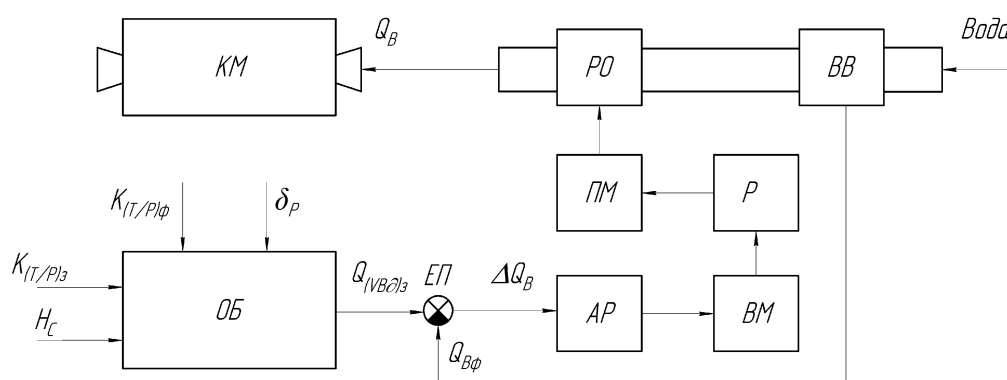
$$Q_{(вс\delta)_3} = \frac{\frac{\delta_p}{\delta_B} k H_c}{\left(K_{(T/P)_3} - \frac{\delta_p}{\delta_B} \right)} \cdot \frac{(K_{(T/P)_3} - K_{(T/P)\phi})}{\left(2K_{(T/P)_3} - K_{(T/P)\phi} - \frac{\delta_p}{\delta_B} \right)}, \quad (4)$$

де $K_{(T/P)\phi}$ – фактичне значення співвідношення тверде/рідке у приймальному пристрої завиткового живильника, яке є змінною величиною;

H_c – осереднене значення рівня середовища у приймальному пристрої завиткового живильника;

k – константа, що характеризує завитковий живильник, м²/год.

Алгоритм (4) визначення доданої води у кульовий млин, що подрібнює піски класифікатора, дозволяє розробити функціональну схему системи автоматичного управління цим процесом (рис.1).



КМ – кульовий млин; РО – регулювальний орган; ВВ – витратомір води; ПМ – перетворювальний механізм; Р – редуктор; ОБ – обчислювальний блок; ЕП – елемент порівняння; АР – автоматичний регулятор; ВМ – виконавчий механізм; ΔQ_B – керуюче діяння по витраті води; $Q_{B\phi}$ – фактична витрата води; Q_B – витрата доданої води у кульовий млин

Рисунок 1 – Функціональна схема системи автоматичного управління подачею води у кульовий млин, що подрібнює піски двоспирального класифікатора

Для подачі води у кульовий млин (рис.1) застосована магістраль, що включає відрізок трубопроводу, регулювальний клапан з таким же стандартним умовним діаметром та магніто-індуктивним витратоміром 8045. Компонівка вузлів кульового млина дозволяє здійснити подачі різниці води у завантажувальну горловину за схемою: вихідний патрубок – регулювальний орган – проміжний патрубок – витратомір води – магістраль. Тоді довжина проміжного патрубку буде самою короткою – сім діаметрів трубопроводу. Розрахунки показують, що для забезпечення нормального функціонування системи автоматичного управління подачею води у кульовий млин умовний діаметр регулювального органу повинен дорівнювати 50 мм. Такий же умовний діаметр повинні мати вихідний і проміжний патрубки та витратомір води і магістраль.

Аналіз показав, що найбільш ефективною для даних умов управління подачею води у кульовий млин буде релейна система з ідеалізованим релейним елементом. Такий релейний елемент можливо реалізувати на контролері. Він спрацьовує і відпускає практично при однаковому сигналі на вході. Іншою його перевагою є те, що релейний елемент може спрацьовувати при занадто низьких рівнях сигналу $\pm \Delta Q_B$ на вході, що також створює передумови підвищення якості процесу керування. Такий підхід автоматичного управління буде ефективним ще й тому, що керуюче діяння практично буде мати схильність зміни до певних меж в одному напрямі, що видно з

даних табл.1, де витрата води у кульовий млин у кожному процесі змінюється від *min* до *max* або навпаки.

Ідеальний релейний елемент не спотворить своїх характеристик якщо до його складу ввести безконтактний реверсивний пускач, узгоджувальні ланцюги контролера. В цілому релейний елемент передбачає цифрову операцію формування порогового рівня по сигналу неузгодженості витрати води $\pm \Delta Q_{ВП}$ з наступним цифровим формуванням вихідного сигналу контролера. Ці операції, спрацювання узгоджувальних ланцюгів і безконтактного реверсивного пускача відбуваються практично миттєво. Досягнення рівня $\pm \Delta Q_{ВП}$ приводить до спрацювання релейного елемента і формування на виході сигналу змінного струму, наприклад при використанні безконтактного реверсивного пускача ПБР-2, $U_{П} = 220$ В прямої або оберненої фази. Ідеалізований релейний елемент є єдиною нелінійною ланкою системи, оскільки всі інші можуть бути лінійними.

Якість регулювання в значній мірі визначається зоною нечутливості ідеалізованого релейного елемента $\pm \Delta Q_{ВП}$, оскільки процеси змінюються в основному повільно, а ввімкнення виконавчого механізму буде здійснюватися при досягненні $+\Delta Q_{ВП}$ або $-\Delta Q_{ВП}$. Відключення буде здійснюватися при досягненні дещо меншого значення. Якість регулювання буде тим вищою, чим вужча зона нечутливості, однак поріг спрацювання нульовим бути не може. Аналіз показує, що поріг спрацювання можна прийняти на рівні 1% від найбільшого значення першого діапазону подачі води $3,85 \dots 13,8$ м³/год, тобто $\Delta Q_{ВП} = \pm 0,138$ м³/год. За таких умов найбільша помилка буде при дозуванні витрати $3,85$ м³/год, що складе у відхиленнях співвідношення руда/вода $\pm 0,16$ %. В інших діапазонах подачі води в кульовий млин похибка буде меншою.

До інших елементів системи автоматичного керування витратою води в кульовий млин вимоги менш жорсткі. Тому приймемо ці засоби з стандартного їх ряду – двосідловий клапан з ходом штока 25 мм, виконавчий механізм типу ПР1-М з реверсивним асинхронним електричним двигуном змінного струму та редуктором, перетворювальний механізм обертових рухів у поступальні. Кут повороту вихідного вала складає 180°, а час півоберту – 10; 30; 60; 90; 120 с. Виходячи з того, що при ввімкненні подачі додаткової води та її вимкненні перехідний процес в об'єкті вимагає швидкого реагування контуру подачі води в кульовий млин, виконавчий механізм повинен переміщувати шток клапана з якомога більшою швидкістю. Це вимагає встановлення мінімального часу півоберту, тобто 10 с, що відповідає передавальному відношенню редуктора 0,02.

Лінійна частина системи включає ряд послідовно з'єднаних елементів – електродвигун виконавчого механізму, редуктор, перетворювальний механізм, регулювальний орган з патрубком, витратоміром і вимірювальний пристрій. Всі елементи, крім електродвигуна, є підсилювальними динамічними ланками. Передаточне відношення конструктивно можливо змінювати лише в редукторі, однак в даній ситуації воно повинно бути конкретним – 0,02. Тому передавальну функцію лінійної частини системи можна подати у вигляді залежності

$$W_L(p) = \frac{k_L}{p(T_M p + 1)}, \quad (5)$$

де k_L – передавальний коефіцієнт лінійної частини;

T_M – електромеханічна стала часу двигуна.

Для даного виконавчого механізму з обмоткою типу білячого колеса і частотою струму в ланцюзі обмотки збудження 50 Гц стала часу T_M складає $0,1 \dots 0,2$ с.

Дана нелінійна система автоматичного регулювання досліджувалася методом

гармонічного балансу. Умови, яким повинна задовольняти нелінійна система у випадку застосування методу гармонічного балансу, виконуються. На рис.2 наведені частотні характеристики лінійної частини системи і нелінійного елемента. Вони отримані при сталих часу $T_M = 0,1$ с і $T_M = 0,2$ с, а також при значенні передавального коефіцієнта $k_{\mathcal{L}} = 27,5$, що відповідає параметрам елементів системи. Амплітудно-фазові частотні характеристики лінійної частини системи будувалися за виразом

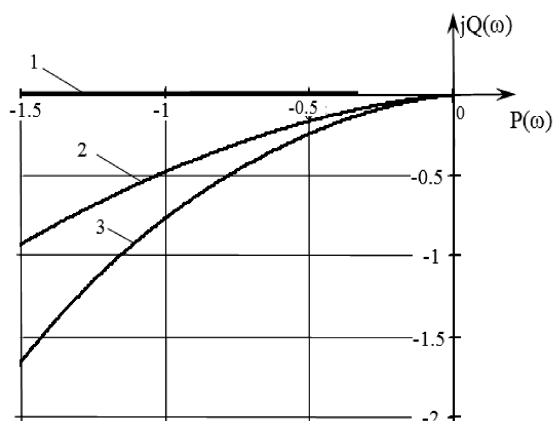
$$W_{\mathcal{L}}(j\omega) = \frac{27,5}{j\omega(T_M j\omega + 1)}, \quad (6)$$

де T_M приймала значення 0,1 с і 0,2 с.

Зворотна амплітудна характеристика нелінійного елемента була побудована відповідно рівнянню

$$-\frac{1}{y(A)} = -\frac{\pi \cdot A^2}{4U_y \sqrt{A^2 - \Delta Q_{ВП}^2}}, \quad (7)$$

де A – амплітуда автоколивань, виражена в одиницях витрати води, яка змінювалася від 0,3 до ∞ , м³/год;



1 – зворотна амплітудна характеристика;
2, 3 – амплітудно – фазові частотні характеристики лінійної частини відповідно при $T_M = 0,2$ с і $T_M = 0,1$ с

Рисунок 2 – Частотні характеристики лінійної частини і нелінійного елемента

$$\Delta Q_{ВП} = 0,138 \text{ м}^3/\text{год}, U_y = 220 \text{ В.}$$

З рис.2 видно, що частотні характеристики $-1/y(A)$ і $W_{\mathcal{L}}(j\omega)$ не перетинаються при можливих і бажаних параметрах елементів, підтверджуючи відсутність автоколивань і стійкість системи. Отже, система при невеликих рівнях порогу спрацювання стійка і володіє високою швидкістю переміщення штока регульовального органа, що гарантує високу якість керування.

Таким чином, проведені дослідження показали, що найкращі результати автоматичного управління розрідженням пульпи у кульовому млині, що подрібнює піски двоспірального класифікатора, можливо отримувати регулюванням порівняно невеликої витрати води безпосередньо у технологічний агрегат

системою релейного типу з ідеалізованим релейним елементом та обчислювальним блоком, що за рівнем пульпи та фактичним співвідношенням тверде/рідке у приймальному пристрої завиткового живильника, заданим співвідношенням тверде/рідке та густиною руди формує змінне задаюче діяння на витрату доданої рідини. Ідеалізований релейний елемент і обчислювальний блок реалізований на контролері. Ідеалізований релейний елемент спрацьовує при занадто низьких рівнях вхідного сигналу і має характеристику без гістерезису, що підвищує якість автоматичного управління.

Дані дослідження відкривають перспективу створення високоякісних систем автоматичного управління розрідженням пульпи у кульових млинах, що подрібнюють піски двоспірального класифікатора.

Список літератури

1. А.с. 388790 (СССР), МКИ В 03 б 11/00. Устройство для автоматического контроля загрузки и стабилизации разжижения пульпы в мельнице / Ф.Н. Дегтярев, А.А. Мерзляков, В.А. Кондратец, В.И. Новохатько, Н.И. Кучма, Т.И. Гуленко (СССР).- 1420849/29-33; заявл. 30.03.70; опубл. 05.07.73, Бюл. №29.
2. Деклараційний пат. 7741 Україна, МКВ 7В 03В 11/00. Спосіб автоматичного контролю розрідження пульпи в млинах, що подрібнюють піски механічних класифікаторів / Кондратець В.О., Мацуй А.М.; заявник та патентовласник Кіровоградський національний технічний університет.- №20041007979; заявл. 01.10.2004; опубл. 15.07.2005, Бюл.№7.
3. Пат. 87374 Україна, МПК G 01 F 23/00. Спосіб вимірювання рівня рідких середовищ з хвильовими коливаннями / Кондратець В.О., Мацуй А.М.; заявник та патентовласник Кіровоградський національний технічний університет.- №u200712196; заявл. 05.11.07; опубл. 10.07.09, Бюл.№13.
4. Пат. 62133 Україна, МПК G 01 L 7/00. Спосіб вимірювання тиску рідких середовищ з хвильовими коливаннями / Кондратець В.О., Мацуй А.М.; заявник та патентовласник Кіровоградський національний технічний університет.- №u201101692; заявл. 14.02.2011; опубл. 10.08.2011, Бюл.№15.
5. Кондратець В.О. Дослідження кульового млина, що подрібнює піски класифікатора, по каналу розрідження пульпи / В.О. Кондратець, А.М. Мацуй // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць КНТУ.- 2008.- №20.- С. 86-93.
6. Кондратець В.О. Особливості інформаційного забезпечення завиткового живильника як керованого об'єкта / В.О. Кондратець, А.М. Мацуй // Вісник Криворізького технічного університету: зб. наук. праць.- 2011.- Вип.28.- С. 200-204.
7. В.О. Кондратець Дослідження умов ідентифікації розрідження пульпи при подрібненні пісків класифікатора / В.О. Кондратець, А.М. Мацуй // Академический вестник.- 2007.- №19.- С. 44-49.

A. Matsui, V. Kondratets

Kirovograd National Technical University

Study of nonlinear systems of automatic control the supply of water in a ball mill that grinds the sand classifier

The aim is to study the automatic control system of water supply in a ball mill that grinds the sand classifier.

It is shown that the stabilization of dilution of the pulp in a ball mill, which grinds sands double-qualifier is necessary to organize an incomplete invariant ratio control solid / liquid in the receiver cochlear feeder and final input to the ball mill feed into the neck of a small amount of water. Proposed a non-linear system of automatic control supply of water added to the ball mill containing idealized relay element and a computer unit, which in terms of the pulp and the actual ratio of solid / liquid in the receiver cochlear feeder, set ratio solid / liquid and the density of the ore forming variable sets the effect on water consumption . Idealized relay element and computing unit implemented in the controller. Idealized relay element operates at extremely low levels of the input signal and has the feature without hysteresis.

The proposed automatic control system is stable and has high quality.

ball mill, idealized relay element, automatic control

Одержано 25.03.13

УДК 531.1

М.М. Мельніченко, асп., М.С. Мірошніченко, канд. техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет

Ю. Б. Беляєв, проф., д-р техн. наук

Національний університет харчових технологій, м.Київ

Методика врахування динаміки приводу при складанні моделі механізму з паралельною кінематикою

В статті розв'язано актуальну задачу розробки моделі динаміки механізму з паралельною кінематикою побудованого на базі платформи Хью-Стюарта з приводами від вентиляних двигунів. Отримані результати можуть бути використані для керування механізмами подібного типу.

динаміка, гексапод, вентиляні приводи

Н. Мельниченко, М. Мирошніченко

Кіровоградський національний технічний університет

Ю. Беляєв

Національний університет харчових технологій, м.Київ

Методика учета динамики привода при составлении модели механизма с параллельной кинематикой

В статье исследована актуальная задача динамики механизма с параллельной кинематикой построенного на базе платформы Хью-Стюарта. Полученные результаты могут быть использованы для управления оборудованием построенным на базе подобного типа

Динамика, гексапод, вентиляные приводы

Вступ. Останнім часом станкове обладнання почало стрімко удосконалюватися, на що вказує використання схем з паралельною кінематикою [1]. Однією з таких схем являється шестикоординатна платформа Хью-Стюарта, схема якого показана на рис. 1. В даному механізмі рухома платформа з'єднана з нерухою основою шістьма штангами змінної довжини, кожна штанга з'єднана з основою і рухомою платформою за допомогою шарнірних з'єднань (рис. 1).

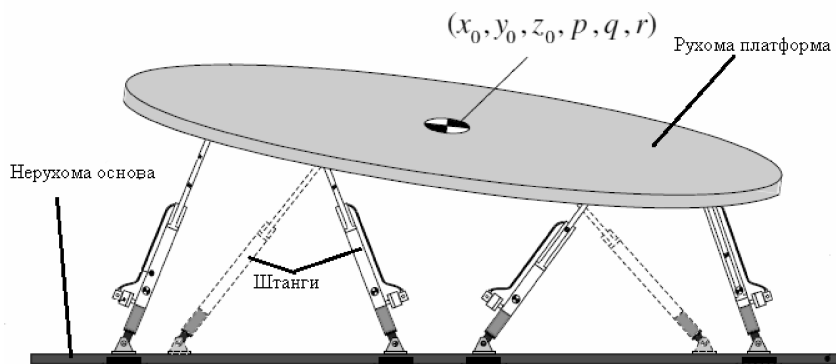


Рисунок 1 - Схематичне зображення платформи Хью-Стюарта

Перспективність механізмів побудованих на базі платформи Хью-Стюарта не викликає сумнівів, а при їх дослідженні виникає потреба в дослідженні її динамічних характеристик. Динамічний аналіз дозволяє врахувати масу і інерційність рухомої платформи під час її руху. Незважаючи на те, що платформа Хью-Стюарта застосовується не одне десятиліття в різних галузях [1], майже відсутні публікації присвячені дослідженню її динаміки і зовсім відсутні роботи, що розглядають динаміку платформи з вентильними електродвигунами у якості приводів зміни довжини штанг. У зв'язку з цим, виникає необхідність дослідити динаміку платформи Хью-Стюарта керованої такими двигунами.

Постановка задачі. Дано шестикоординатну платформу Хью-Стюарта з шістьма штангами, що змінюють свою довжину за допомогою вентильних двигунів. У якості перетворювача обертового руху двигуна у поступальний рух штанги змінної довжини використано передачу типу «гвинт-гайка». Мета цієї статті полягає у визначенні моделі динаміки узагальненого об'єкта керування «двигун-платформа» у вигляді системи диференціальних рівнянь, що пов'язує зміну напруг, що подається на вентильні приводи, із змінами координат центру мас платформи.

Основний матеріал. Для досягнення поставленої мети було розглянуто модель динаміки платформи запропоновану у статті [2]

$$J^{-1}[M(x)\ddot{x} + V(x, \dot{x}) + G + F_{fr}(\dot{x})] = F_p, \quad (1)$$

де $x=(x_0, y_0, z_0, p, q, r)^T$ - вектор узагальнених координат платформи;

x_0, y_0, z_0 – декартові координати куди повинен переміститися центр мас платформи;
 p, q, r – кути повороту платформи навколо осей X, Y, Z системи координат пов'язаної з платформою;

$M(x)$ – позитивно визначена матриця розмірності 6×6 інерції системи, яка характеризує мас-інерційні параметри платформи;

$V(x, \dot{x})$ - представляє вектор розмірності 6×1 і характеризує відцентрові сили і сили Коріоліса;

$F_{fr}(x)$ - вектор сил тертя розмірності 6×1 ; T – знак транспонування;

$G(x)$ – вектор сили тяжіння;

J – матриця Якоби;

$F_p=(F_{p,1}, F_{p,2}, F_{p,3}, F_{p,4}, F_{p,5}, F_{p,6})$ – вектор сил, що діють вздовж штанг змінної довжини, елементи цього вектора мають додатній знак при збільшенні довжини штанги, та від'ємний при зменшенні.

Для доповнення рівняння (1) передаточною функцією вентильного двигуна була перебудована структурна схема такого двигуна, наведена у роботі [3], так, щоб на її вході діяла напруга $U_{y,i}$, а на виході виникала зміна сили $F_{p,i}$ (рис. 2).

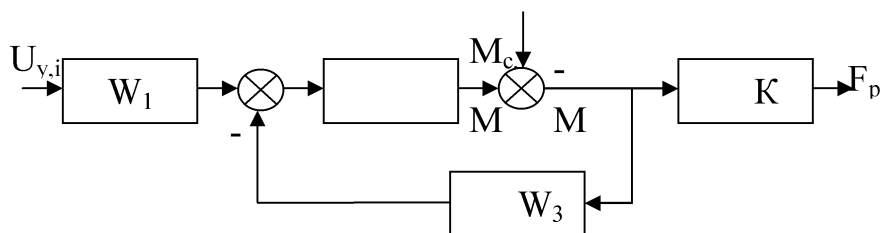


Рисунок 2 – Перебудована структурна схема вентильного приводу

Перетворювач енергії представлений ланкою W_1 і служить для перетворення електроенергії, що надходить з мережі, в електроенергію з такими показниками(напруга, частота, тощо), які необхідні для роботи електромеханічного перетворювача (ланка W_2), який в свою чергу перетворює електричну енергію в

механічну, ланкою К представлено редуктор типу «гвинт-гайка», а ланка W_3 – механічна частина двигуна.

Далі користуючись правилами перетворення структурних схем [4] було визначено дві передаточні функції вентильного двигуна: за сигналом керування W_{21} , та за моментом сил опору W_{22} , та були представлені у наступному вигляді

$$W_{11} = \frac{W_{111}}{W_{110}} \text{ де } W_{111} = J_{np}p \cdot K_{nw} \cdot K_m \cdot K ; W_{110} = T_3 \cdot J_{np}p^2 + J_{np}p + K_m, \quad (2)$$

$$W_{12} = \frac{W_{121}}{W_{120}} \text{ де } W_{121} = T_3 \cdot J_{np}p^2 + J_{np}p ; W_{120} = T_3 \cdot J_{np}p^2 + J_{np}p + K_m, \quad (3)$$

що дозволило визначити зв'язок між силою $F_{p,i}$, та сигналом керування $U_{y,i}$ і моментом сил опору $M_{c,i}$ у вигляді

$$F_{p,i} = W_{11} U_{y,i} + W_{12} M_{c,i} = \frac{W_{111}}{W_{110}} U_{y,i} + \frac{W_{121}}{W_{120}} M_{c,i}, \quad (4)$$

Рівняння (4) дало можливість знайти вектор F_p розмірності 6×1 , який включає сили всіх шести штанг, що діють на рухому платформу. Зазначений вектор сил зв'язаний з вектором сигналів керування $U_y = (U_{y,1}, U_{y,2}, U_{y,3}, U_{y,4}, U_{y,5}, U_{y,6})$ та вектором моментів сил опору $M_c = (M_{c,1}, M_{c,2}, M_{c,3}, M_{c,4}, M_{c,5}, M_{c,6})$

$$F_p = F_p^U + F_p^C = W_{21} U_y + W_{22} M_c = \frac{W_{111}}{W_{110}} \begin{bmatrix} U_{y,1} \\ U_{y,2} \\ \vdots \\ U_{y,6} \end{bmatrix} + \frac{W_{121}}{W_{120}} \begin{bmatrix} M_{c,1} \\ M_{c,2} \\ \vdots \\ M_{c,6} \end{bmatrix}, \quad (5)$$

Підстановка виразу (5) до правої частини рівняння (1) дозволила отримати розв'язок поставленої задачі у вигляді системи нелінійних диференціальних рівнянь, яка після скорочення дробів прийняла вигляд

$$W_{110} \cdot J^{-1} \cdot [M(x)\ddot{x} + V(x, \dot{x}) + G + F_{fr}(\dot{x})] = W_{111} \begin{bmatrix} U_{y,1} \\ U_{y,2} \\ \vdots \\ U_{y,6} \end{bmatrix} + W_{121} \begin{bmatrix} M_{c,1} \\ M_{c,2} \\ \vdots \\ M_{c,6} \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Рівняння (6) дає змогу побудувати структурну схему платформи керованої вентильними приводами, яка матиме наступний вигляд (рис. 3)

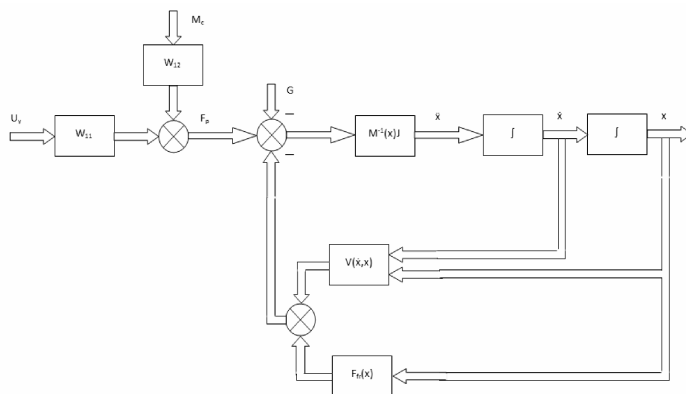


Рисунок 3 – Структурна схема платформи керованої вентильними приводами

В цій структурній схемі ланка W_{11} – це передаточна функція вентильного двигуна за сигналом керування, W_{12} – передаточна функція вентильного двигуна за моментом сил опору, G – вектор сил тяжіння, $V(x, \dot{x})$ – оператор відцентрових сил та сил Кориоліса, $F_{fr}(x)$ – оператор сил тертя, $M(x)J$ – оператор мас-інерційних параметрів платформи і матриця Якоби. Отже було отримано модель, на вході якої діє вектор елементами якого є сигнали керування вентильними приводами, а на виході вектор координат центру мас платформи Хью-Стюарта.

Висновок. Таким чином поєднання відомих рівнянь динаміки платформи Хью-Стюарта та відомостей про передаточні функції вентильних двигунів за сигналом керування та за моментом опору на валу, дозволило отримати зв'язок між зміною напруги керування на вході двигунів та координатами центру мас платформи.

Список літератури

1. В.Л. Афонин Обработкаывающее оборудование нового поколения. Концепция проектирования / В.Л. Афонин, А.Ф. Крайнев, В.Е Ковалев и др.; под ред В.Л. Афонин. – М.: Машиностроение, 2001. – 256 с.
2. I.Davliakos Model-based control of 6-dof electrohydraulic Stewart-Gough platform / I.Davliakos, E.Papadopoulos/ Mechanism and Machine Theory, 2007.
3. В.И Доманов Элементы систем автоматики. Учебное пособие / В.И. Доманов, А.В. Доманов/ Ульяновск, 2007.
4. А.А Воронов. Основы теории автоматического управления.- М.: «Энергия», 1980. -312 с

N.Melnychenko, U. Belyaev, M. Miroshnichenko

The treatment of the dynamics of the drive mechanism in the model to be parallel kinematics

The purpose of this paper is to model the dynamics of certain generalized control object "engine platform" as a system of differential equations that relates the change voltages applied to the valve actuators, as amended coordinate center of mass platform.

In the article studied the dynamics of the actual problem with parallel kinematics mechanism now can not Hugh Stewart. The results can be used to control equipment built on the basis of a similar type.

Thus the combination of known dynamics equations platform-Hugh Stewart and information about the transfer function for brushless signal control and a torque on the shaft resistance, yielded the relationship between the change in voltage control input and coordinate motor center of mass of the platform.

dynamics, hexapod, valve actuators

Одержано 25.04.2013

УДК 658.011.56

В.О. Кондратець, проф., канд. техн. наук, О.М. Сербул, доц., канд. техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет

Теоретичне дослідження розрідження пісків односпірального класифікатора джерелом з незмінною витратою води

Приведені результати теоретичного дослідження розрідження пісків односпірального класифікатора джерелом з незмінною витратою води. Встановлено, що, враховуючи особливості роботи технологічної схеми, можливо застосувати джерело подачі води у пісковий жолоб класифікатора з незмінною і обґрунтованою продуктивністю.

пісковий жолоб, класифікатор, стабілізація, незмінна витрата води

В.А. Кондратец, А.Н. Сербул

Кировоградский национальный технический университет

Теоретическое исследование разжижения песков односпирального классификатора источником с неизменным расходом воды

Приведены результаты теоретического исследования разжижения песков односпирального классификатора источником с неизменным расходом воды. Установлено, что, учитывая особенности работы технологической схемы, возможно применить источник подачи воды в песковый желоб классификатора с неизменной и обоснованной производительностью.

песковый желоб, классификатор, стабилизация, неизменный расход воды

Чорна металургія України з кожним роком споживає все більшу частку збагаченої бідної руди. Одним з найбільш важливих технологічних процесів на рудозбагачувальних фабриках є подрібнення вихідної руди. На нього витрачається майже половина електроенергії, яку споживає підприємство і яка постійно дорожчає. Схеми подрібнення, що містять кульовий млин першої стадії і односпіральний механічний класифікатор, які працюють у замкнутому циклі, отримали найбільше поширення. Тому роботі таких циклів подрібнення приділялась значна увага. Не дивлячись на це, вони працюють далеко не в оптимальному режимі, перевитрачаючи електричну енергію, кулі, футерівку та не виробляючи належну кількість готового продукту, що не відповідає законодавству України про ресурсозберігаючі технології в енергетиці та промисловості. Враховуючи, що дана робота спрямована на розв'язання поставлених задач ресурсозбереження, її тема є актуальною. Матеріали даної статті являють собою частку результатів науково-дослідної роботи "Комп'ютерно інтегрована система автоматичного регулювання співвідношення руда/вода в кульових млинах з циркулюючим навантаженням" (0105U008334), яка є складовою плану наукової тематики Кіровоградського національного технічного університету і розв'язує одне з питань даної технічної проблеми.

Складовою даної проблеми виступає задача автоматичної стабілізації розрідження пульпи у кульовому млині, оскільки від цього залежать як самі умови подрібнення руди, так і транспортування матеріалу. У роботі [1] відзначається, що оптимальну продуктивність кульового млина, при якій здійснюється найбільший вихід готового продукту, можливо отримати лише при певних його завантаженні та

співвідношенні руда/вода. У роботі [2] стверджується, що при подрібненні руд крупністю більше 13 мм найвища продуктивність кульового млина забезпечується при вмісті води 25...30 %, а при більш дрібному матеріалі – 30...50 %. Крім цього на вміст води впливає і тип руди, що переробляється. Нині, в залежності від умов, вміст води у млині визначає оператор, а підтримати встановлене його значення при ручному управлінні він не може, оскільки неперервно змінюються технологічні параметри і відсутній контроль самого співвідношення руда/вода.

Розробкою таких засобів учені і практики займаються давно. У різні часи саме такі засоби розробляли Андреев Є.Є., Архангельська І.М., Гогсадзе В.Б., Дмитрієв В.І., Кононенко Г.Г., Маніон В.В., Марюта О.М., Матюхін В.П., Морозов Є.Ф., Савілов А.П., Саганенко А.А., Сітало В.М. та інші. Розроблені або запропоновані засоби і підходи не знайшли розповсюдження на рудозбагачувальних фабриках за різними причинами. Спосіб ідентифікації співвідношення руда/вода у кульовому млині з циркулюючим навантаженням [3], запропонований в останній час, дозволяє більш ефективно здійснити автоматичне регулювання цього параметра, однак результати його розрахунку сильно залежать від точності визначення витрати пульпи у пісковому жолобі та води у нього, що є проблематичним. Крім цього при зміні витрати води у пісковий жолоб негативно впливає транспортне запізнювання у процесі автоматичного регулювання. Позбавитись даних недоліків дозволяє використання джерела води з незмінною витратою, однак можливість реалізації такого підходу управління ніхто не досліджував.

Метою даної роботи є теоретичне встановлення можливості подачі незмінної витрати води у пісковий жолоб односпірального класифікатора при стабілізації розрідження пульпи у кульовому млині, що подрібнює піски з вихідною рудою.

Одним з найбільш важливих завдань при автоматичному регулюванні співвідношення руда/вода у кульовому млині, що працює у замкнутому циклі з односпіральним класифікатором запропонованим підходом, є ідентифікація розрідження пульпи. Ідентифікацію розрідження пульпи на вході кульового млина

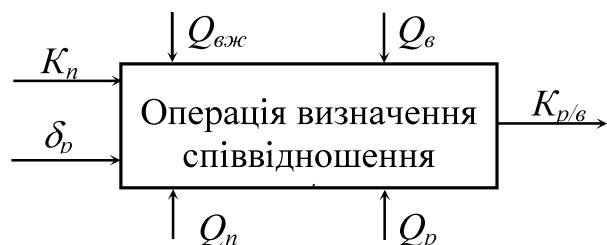


Рисунок 1 – Схематичне зображення алгоритму ідентифікації співвідношення руда/вода на вході кульового млина

можна здійснити за шістьма параметрами (рис. 1) – вологістю пісків односпірального класифікатора K_n , густиною руди δ_p , витратою води в пісковий жолоб $Q_{вж}$, витратою води у кульовий млин Q_v , об'ємною витратою пульпи у пісковому жолобі Q_n , масовою витратою руди у кульовий млин Q_p . Рівняння, за яким визначають співвідношення руда/вода на вході у кульовий млин, має наступний вигляд

$$K_{p/в} = \frac{A \cdot (Q_n - Q_{вж}) + Q_p}{Q_{вм} + Q_{вжм} + K_n [A \cdot (Q_n - Q_{вж})]}, \quad (1)$$

де $A = \delta_p / (1 + K_n (\delta_p / \delta_в))$ – стала для конкретної технологічної ситуації;

$\delta_в$ – густина води.

Як було встановлено [4], для певного родовища і типу класифікатора вологість пісків є незмінною величиною. У тривалих промислових дослідженнях за умов широкої зміни циркулюючого навантаження вологість пісків склала 12 %. Тоді $K_n = 0,12$. Відомою звичайно є і руда, що подрібнюється, тобто густина руди δ_p є визначеною величиною. Тоді цілком визначеним є і параметр A у залежності (1). Витрати матеріальних потоків Q_n , $Q_{вж}$, Q_v і Q_p підлягають вимірюванню. Виміряти витрату пульпи Q_n нині не можливо здійснити з високою точністю. Як показав аналіз залежності (1),

співвідношення руда/вода $K_{p/g}$ можливо визначити з необхідною для технологічного процесу точністю при достатньо низькій точності вимірювання витрати пульпи у пісковому жолобі за рахунок низького рівня похибок вимірювання $Q_{вжс}$, Q_g і Q_p . Відносні похибки вимірювання цих параметрів не повинні перевищувати 1,0 %. Отже, витрату води $Q_{вжс}$ у пісковий жолоб необхідно вимірювати з відносною похибкою у 1,0 %, що проблематично, зважаючи на малий діаметр труби у даній магістралі. Ще більш проблематичним є автоматичне регулювання змінної витрати води у пісковий жолоб класифікатора з такою низькою похибкою. Крім того, при визначенні параметра $K_{p/g}$ на вході кульового млина при зміні $Q_{вжс}$ буде впливати транспортне запізнювання, викликаючи додаткову похибку. Тому практично єдиним виходом досягнення необхідної високої точності забезпечення $Q_{вжс}$ є стабілізація цього параметра на певному рівні з достатньо малою похибкою на вході у пісковий жолоб. Недостаючу воду можна компенсувати по магістралі подачі води Q_g безпосередньо у кульовий млин.

При подачі $Q_{вжс} = const$ на вході у пісковий жолоб в наслідок непостійності циркулюючого навантаження буде змінюватися густина пульпи. Густина пульпи у пісковому жолобі односпірального класифікатора при цьому визначається залежністю

$$\gamma_n = \frac{Q_{MM}}{Q_{VM}} = \frac{k_{цм}(1+K_n)Q_p + Q_{вжс}}{k_{цм} \left(\frac{1}{\delta_p} + \frac{K_n}{\delta_g} \right) Q_p + \frac{Q_{вжс}}{\delta_g}}, \quad (2)$$

де Q_{MM} , Q_{VM} – відповідно масова та об'ємна витрати матеріалу у пісковому жолобі класифікатора;

$k_{цм}$ – коефіцієнт, що характеризує значення циркулюючого навантаження у частці живлення кульового млина рудою.

З рівняння (2) слідує, що при зростанні циркулюючого навантаження ($k_{цм}$) густина пульпи у пісковому жолобі буде збільшуватись. При певному її значенні може ускладнитись рух матеріалу у пісковому жолобі та завитковому живильнику. Щоб цього не трапилось, необхідно визначати витрати води в пісковий жолоб класифікатора $Q_{вжс} = const$ з умов максимально допустимої густини пульпи для даного технологічного процесу при найбільшому значенні циркулюючого навантаження. Тоді при зменшенні циркулюючого навантаження густина пульпи буде зменшуватись в певних межах, однак повинна гарантуватись умова можливості підтримання заданого співвідношення руда/вода у кульовому млині.

Враховуючи, що циркулююче навантаження, наприклад на збагачувальних фабриках Криворізького басейну, складає 50...150 %, можна прийняти його найбільше значення 200 %, а коефіцієнт $k_{цм} = 2,0$. З цих міркувань можливо записати значення масової витрати води у пісковий жолоб класифікатора

$$Q_{вжс} = \frac{k_{цм\max} Q_p}{\left(\frac{\gamma_n}{\delta_g} - 1 \right)} \left[(1+K_n) - \gamma_n \left(\frac{1}{\delta_p} + \frac{K_n}{\delta_g} \right) \right]. \quad (3)$$

Приймаючи значення $\gamma_{n\max} = 2,5 \text{ т/м}^3$, $Q_p = 260 \text{ т/год}$, $K_n = 0,12$, $\delta_p = 3,3 \text{ т/м}^3$, отримуємо $Q_{вжс} = 24,27 \text{ т/год}$ або $Q_{вжс} = 24,3 \text{ т/год}$.

Розглянемо динаміку зміни густини пульпи в різних режимах роботи замкнутого циклу. Графіки зміни густини пульпи в пісковому жолобі класифікатора при $Q_{вжс} = 24,3 \text{ т/год}$ приведені на рис. 2. З рис. 2 видно, що густина пульпи при зменшенні циркулюючого навантаження змінюється зі значень, наближених до $2,5 \text{ т/м}^3$ до значень $2,01...2,05 \text{ т/м}^3$ в усьому діапазоні змін витрати руди у кульовий млин. Даний діапазон зміни густини пульпи у пісковому жолобі класифікатора цілком задовольняє умовам

транспортування матеріалу. При таких значеннях густин пульпа є рухомою і не розшаровується.

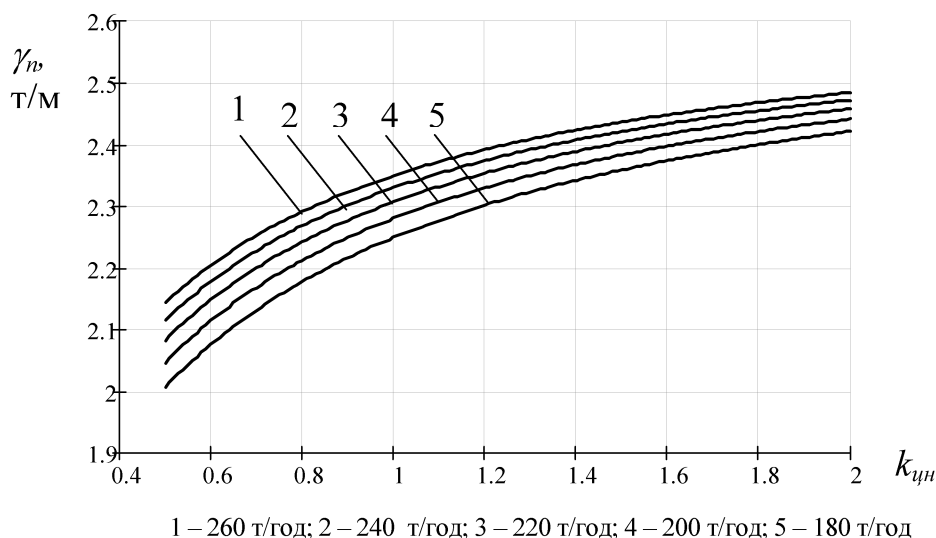


Рисунок 2 – Залежність густини пульпи γ_n у пісковому жолобі класифікатора від величини циркулюючого навантаження при $Q_{вжс} = 24,3$ т/год та різних витратах руди у кульовий млин

Крім того, характеристики матеріалу у пісковому жолобі класифікатора повинні узгоджуватись з необхідним режимом розрідження пульпи у кульовому млині. Тобто, повинна виконуватись умова можливості підтримання заданого значення співвідношення руда/вода у кульовому млині, наприклад $K_{p/в} = 4,3$.

Для перевірки можливості підтримання заданого значення розрідження пульпи у кульовому млині отримана залежність

$$Q_v = \frac{Q_p}{K_{p/в}} \left[1 + k_{цил} (1 - K_n \cdot K_{p/в}) \right] - Q_{вжс}, \quad (4)$$

де Q_v – масова витрата води у кульовий млин.

Для вибраного режиму роботи замкнутого циклу і різній витраті руди у кульовий млин за залежністю (4) у процесі комп'ютерного моделювання визначалися значення масової витрати води у технологічний агрегат для отримання заданого співвідношення руда/вода $K_{p/в} = 4,3$, які занесені до табл. 1. Задане співвідношення руда/вода у кульовому млині можливо витримати за умови, коли у технологічний агрегат необхідно додавати воду. Якщо вода у пісковому жолобі класифікатора буде подана надлишково, то задане співвідношення витримати не можливо, оскільки надлишок рідини з пульпи необхідно видаляти. З даних табл. 1 витікає, що за всіх розглянутих режимів роботи подрібнювального каскаду умова підтримання необхідного співвідношення руда/вода $K_{p/в} = 4,3$ не виконується, оскільки, наприклад при витраті руди $Q_p = 180$ т/год і найменших значеннях циркулюючого навантаження отримано від'ємне значення подачі води Q_v у кульовий млин. Тобто, у пісковому жолобі виникло надлишкове розрідження пульпи. Однак це не означає, що цикл подрібнення не може працювати за умови $Q_{вжс} = const$, оскільки на вході кульового млина витрата руди не може змінюватись у таких широких межах як показано на рис. 2. Звичайно продуктивність змінюється у межах 180...220 т/год або 220...260 т/год при менш міцних рудах. У діапазоні зміни живлення кульового млина 220...260 т/год цикл подрібнення може працювати при $Q_{вжс} = 24,3$ т/год. Для нижнього діапазону 180...220 т/год необхідно вибрати інше значення $Q_{вжс} = const$. Це можна

зробити за залежністю (3) при $Q_p = 220$ т/год; $k_{цн\max} = 2,0$; $\gamma_n = 2,5$ т/м³. Таке значення незмінної витрати води у пісковий жолоб класифікатора буде дорівнювати $Q_{вжс} = 18,33$ т/год.

Таблиця 1 – Залежність витрати води у кульовий млин (для досягнення $K_{p/в} = 4,3$) від циркулюючого навантаження при різній витраті вихідної руди

$k_{цн}$	Витрата води у кульовий млин, т/год				
	$Q_p = 180$ т/год	$Q_p = 200$ т/год	$Q_p = 220$ т/год	$Q_p = 240$ т/год	$Q_p = 260$ т/год
0,5	27,7	33,46	49,4	56,1	62,8
0,6	29,7	35,72	53,9	61,0	68,1
0,8	33,8	40,82	62,9	70,8	78,7
1,0	37,8	44,72	71,9	80,6	89,4
1,2	41,9	49,2	80,9	90,5	100,0
1,4	45,9	53,7	89,9	100,3	110,7
1,6	50,0	58,23	98,9	110,1	121,3
1,8	54,0	62,73	107,9	119,9	131,9
2,0	57,5	67,23	116,9	129,7	142,6

За залежністю (4) при $Q_{вжс} = 18,33$ т/год у нижньому діапазоні можливих значень витрати руди у кульовий млин отримаємо витрати води у технологічний агрегат і занесемо їх до табл. 2. З даних табл. 2 видно, що при зміні $Q_{вжс} = const$ витрата води у технологічний агрегат при всіх витратах руди у кульовий млин стає додатною. Тобто, у пісковому жолобі не створюється надмірне обводнення пісків спірального класифікатора і у кульовому млині гарантовано можливо витримувати необхідне співвідношення руда/вода, наприклад таке, що дорівнює $K_{p/в} = 4,3$.

Таблиця 2 – Залежність витрати води у кульовий млин (для досягнення $K_{p/в} = 4,3$) від циркулюючого навантаження при $Q_{вжс} = 18,33$ т/год і витраті вихідної руди 180...220 т/год

$k_{цн}$	Витрата води у кульовий млин, т/год		
	$Q_p = 180$ т/год	$Q_p = 200$ т/год	$Q_p = 220$ т/год
0,5	33,7	39,4	45,2
0,6	35,7	41,7	47,7
0,8	39,7	46,2	52,6
1,0	43,8	50,7	57,6
1,2	47,8	55,2	62,6
1,4	51,9	59,7	67,5
1,6	56,0	64,2	72,4
1,8	60,0	68,7	77,4
2,0	64,0	73,2	82,4

При роботі циклу подрібнення вихідної руди може змінюватися і її густина δ_p , впливаючи на густину пульпи (2) і значення незмінної витрати води у пісковий жолоб класифікатора (3). Зростання густини руди δ_p приводе до збільшення густини пульпи γ_n

у пісковому жолобі та до необхідного збільшення незмінної витрати води у нього, яке буде залишатись попереднім. Це може привести до ускладнення умов транспортування пульпи у пісковому жолобі односпірального класифікатора при найбільшій витраті руди у кульовий млин. Перевіримо це при $Q_p = 180 \dots 220$ т/год як найбільш імовірному діапазоні зміни витрати вихідної руди у кульовий млин. На рис. 3 показані залежності зміни густини пульпи у пісковому жолобі односпірального класифікатора від величини циркулюючого навантаження при $Q_{в.ж.с} = 18,33$ т/год і $Q_p = 220$ т/год і 280 т/год та різних густинах руди δ_r . Як видно з рис. 3, відхилення густини руди до $3,5$ т/м³ відносно середнього значення $3,3$ т/м³ значно збільшує густину пульпи у пісковому жолобі. При витраті руди у кульовий млин 220 т/год при $k_{цн} = 2,0$ густина пульпи у пісковому

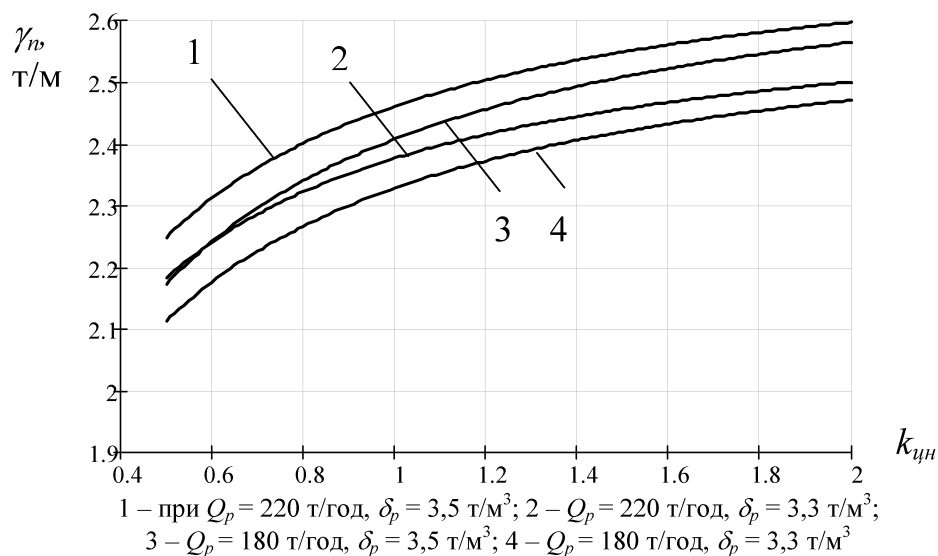


Рисунок 3 – Залежність густини пульпи у пісковому жолобі односпірального класифікатора від величини циркулюючого навантаження при $Q_{в.ж.с} = 18,33$ т/год та різних густинах і витратах руди у кульовий млин

жолобі односпірального класифікатора стає $2,6$ т/м³. Майже такою вона є і при $Q_p = 180$ т/год – $2,56$ т/м³. При малих циркулюючих навантаженнях густина пульпи у пісковому жолобі знаходиться у межах $2,11 \dots 2,25$ т/м³ в усьому діапазоні змін продуктивності кульового млина по руді. Пульпа при густинах $2,56 \dots 2,6$ т/м³ та близьких до них є сильно в'язкою і нетранспортабельною. Отже, при збільшенні густини руди від $3,3$ т/м³ до $3,5$ т/м³, якщо це може мати місце у конкретному родовищі, подрібнювальний каскад увійде у аварійний режим, що не допустимо.

Промодельюємо процес при можливому найвищому значенні густини руди $\delta_r = 3,5$ т/м³ і відхиленні її до середнього значення $\delta_r = 3,3$ т/м³. Витрата води у пісковий жолоб односпірального класифікатора при $Q_p = 220$ т/год і $\delta_r = 3,5$ т/м³ відповідно (3) складає $Q_{в.ж.с} = 31$ т/год. Дані моделювання за цих умов занесемо до табл. 3.

З даних табл. 3 видно, що при налагодженні процесу на густину $2,5$ т/м³ у пісковому жолобі односпірального класифікатора при $Q_p = 220$ т/год і $\delta_r = 3,5$ т/м³ і $k_{цн\max} = 2,0$ зміна циркулюючого навантаження приводить до зменшення густини пульпи, але її значення залишаються достатньо високими. Зменшення витрати руди у кульовий млин до 180 т/год не приводить до суттєвих змін густини пульпи. При $Q_p = 220$ т/год і зменшенні густини руди до $3,3$ т/м³ не відбувається суттєвих змін у густині пульпи. Найменше значення густини пульпи у пісковому жолобі класифікатора отримано при найменшому циркулюючому навантаженні ($k_{цн} = 0,5$) і найменшій

витраті руди у кульовий млин $Q_p = 180$ т/год і $\delta_p = 3,3$ т/м³. Воно склало $\gamma_n = 1,91$ т/м³. Це ще велике значення густини пульпи, коли вона вільно рухається і не розшаровується. Для досягнення заданого співвідношення руда/вода $K_{p/в} = 4,3$ у кульовий млин необхідно додати додаткової води $Q_в = 20,99$ т/год. Тобто, тут витримуються умови як транспортування, так і розрідження пульпи у кульовому млині.

Таблиця 3 – Залежність густини пульпи у пісковому жолобі односпірального класифікатора від циркулюючого навантаження при зміні густини руди у діапазоні витрати руди у кульовий млин 180...220 т/год

$k_{\text{гпн}}$	Густина пульпи γ_n , т/м ³ у пісковому жолобі односпірального класифікатора при:			
	$Q_p = 180$ т/год, $\delta_p = 3,3$ т/м ³	$Q_p = 220$ т/год, $\delta_p = 3,3$ т/м ³	$Q_p = 180$ т/год, $\delta_p = 3,5$ т/м ³	$Q_p = 220$ т/год, $\delta_p = 3,5$ т/м ³
0,5	1,91	1,99	1,95	2,04
0,6	1,98	2,06	2,03	2,12
0,8	2,09	2,16	2,15	2,23
1,0	2,17	2,24	2,23	2,31
1,2	2,23	2,29	2,30	2,36
1,4	2,28	2,33	2,35	2,41
1,6	2,31	2,36	2,39	2,45
1,8	2,34	2,39	2,42	2,48
2,0	2,37	2,41	2,45	2,5

Це дозволяє подавати воду на вхід піскового жолоба односпірального класифікатора від високостабільного джерела витрати, дозволяючи підвищити точність визначення співвідношення руда/вода у кульовому млині за рахунок виключення операції вимірювання витрати та впливу транспортного запізнювання. Високоточне джерело витрати води у пісковий жолоб односпірального класифікатора можливо побудувати на підставі розробленого гідравлічного перетворювача потоку рідини [5], застосувавши інваріантну систему регулювання рівня рідини у даному гідравлічному перетворювачі [6].

Таким чином, теоретично встановлена можливість стабілізації витрати води у пісковий жолоб односпірального класифікатора при стабілізації розрідження пульпи у кульовому млині, що подрібнює піски разом з вихідною рудою. Густина пульпи у пісковому жолобі односпірального класифікатора визначається витратою руди у кульовий млин, значенням циркулюючого навантаження та густиною твердого. Використовуючи запропонований підхід і аналітичні залежності можливо практично у будь-яких технологічних умовах обґрунтувати незмінну витрату води у пісковий жолоб односпірального класифікатора, при якій у широкому діапазоні зміни витрати руди у кульовий млин, її густини та циркулюючого навантаження буде забезпечене надійне транспортування пульпи та її розрідження у технологічному агрегаті. Це дає можливість підвищити точність ідентифікації співвідношення руда/вода у кульовому млині за рахунок виключення операції вимірювання витрати води у пісковий жолоб та впливу транспортного запізнювання. Розроблені підходи дозволяють здійснити високоточний пристрій подачі незмінної витрати води у пісковий жолоб односпірального класифікатора.

Проведені дослідження відкривають перспективу розробки засобу ідентифікації співвідношення руда/вода підвищеної точності на вході кульового млина, що працює у замкнутому циклі з односпіральним класифікатором.

Список літератури

1. Бонч-Бруевич А.М. Бесконтактные элементы самонастраивающихся систем /Бонч-Бруевич А.М., Быков В.Л., Чинаев П.И. – М.: Машиностроение, 1967. – 292 с.
2. Скоров В.А. Обогащение руд /Скоров В.А. – М.: Недра, 1969. – 276 с.
3. Пат. 59644 Україна, МКВ 7 В 03 б 11/00, В 02 с 25/00. Спосіб автоматичної стабілізації розрідження пульпи в млинах з циркулюючим навантаженням /Кондратець В.О., Сербул О.М.; заявник і патентовласник Кіровоградський національний технічний університет. – № 2002118758; заявл. 15.11.2002; опубл. 15.04.2005, Бюл. № 4.
4. Кондратець В.О. Дослідження вмісту вологи в пісках спірального механічного класифікатора з метою автоматичного керування технологічним процесом /В.О. Кондратець, Р.П. Ткаченко, О.М. Сербул //Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць КДТУ. 2002. – Вип. 11. – С. 6-10.
5. Сербул О.М. Теоретичне дослідження гідравлічного перетворювача потоку рідини як регульованого об'єкта системи стабілізації витрат /О.М. Сербул, В.О. Кондратець // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць КДТУ. 2003. – Вип. 12. – С. 325-330.
6. Кондратець В.О. Теоретичні дослідження статички інваріантної САР рівня рідини в гідравлічному перетворювачі /В.О. Кондратець, О.М. Сербул //Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць КДТУ. 2003. – Вип. 13. – С. 251-257.

V. Kondratets, A. Serbul

Kirovograd National Technical University

Theoretical study of liquefaction of sands one scroll classifier source with constant water flow

The aim is to establish the possibility of filing a constant flow of water in a sand trough classifier with stabilization diluting the slurry in a ball mill that grinds the sand with the base ore.

The possibility of stabilizing the flow of water in the gutter sand one scroll classifier with stabilization diluting the slurry in a ball mill that grinds the sand along with the base ore. Using the proposed approach and analytical expressions can in almost any operating conditions justify the fixed cost of water in the gutter sand one scroll classifier, where a broad range of flow ore ball mill, its density and the circulating load for reliable transport of slurry and liquefaction of production vessels .

The implementation of this approach to improve the accuracy of identification ratio ore/water in a ball mill by eliminating transaction flow measurement in sand trough and effect of the transport delay.

sand trough classifier, stabilization, constant water flow

Одержано 26.03.13

УДК 62.9+007

Б.Б. Кришкін, доц., канд. техн. наук, М.П. Теплюк, магістрант

Кіровоградський національний технічний університет

Вібромоніторинг холодновисаджувальних автоматів

У статті описано методику вібраційного моніторингу високошвидкісних холодновисаджувальних автоматів із застосуванням програмного комплексу 20-sim. Запропоновано оптимальну послідовність процедур вібромоніторингу з метою підвищення точності на довговічності роботи обладнання.

вібрації, амплітуда, частота, моделювання, холодновисаджувальний автомат, швидкість

Б.Б. Крышкин, Н.П. Теплюк

Кировоградский национальный технический университет

Вибромониторинг холодновысадочных автоматов

В статье описана методика вибрационного мониторинга высокоскоростных холодновысадочных автоматов с использованием программного комплекса 20-sim. Предложена оптимальная последовательность процедур вибромониторинга с целью повышения точности и долговечности работы оборудования

вибрации, амплитуда, частота, моделирование, холодновысадочный автомат, скорость

Динамічні навантаження, що виникають в елементах кінематичної схеми високошвидкісного штампувального обладнання (зокрема, в холодновисаджувальних автоматах) часто стають причиною зменшення гарантійних термінів експлуатації холодновисаджувальних автоматів (ХВА), особливо тоді, коли тривалість робочого циклу становить менше 0.3 – 0,5 с.

Відомі методи оцінки динамічних навантажень у приводі штампувальних машин [1] передбачають частотний аналіз нелінійних динамічних систем, які описують певні періоди роботи ХВА з урахуванням певних параметрів, які в процесі експлуатації ХВА важко, а іноді – і взагалі неможливо – оцінити із достатнім ступенем достовірності.

З метою зменшення працемісткості вібраційного моніторингу були проведені експериментальні дослідження ефективності застосування для зазначених задач програмного комплексу 20-sim, розробленого в TWENTE UNIVERSITY of TECHNOLOGY, Enschede, The Netherlands [2]. Програмний комплекс працює під керуванням операційної системи Windows-XP на комп'ютерах з процесором i486DX-4 та вище при об'ємі оперативної пам'яті не менше 16 Мб. Оскільки у вітчизняній літературі відсутня інформація щодо використання зазначеного вище програмного комплексу у практиці моніторингових робіт, далі стисло викладемо особливості і можливості 20-sim.

Файл "20-sim" має об'єм 7,87 Мб і після запуску сам встановлює програмний комплекс на комп'ютер. Після завершення установки програмний комплекс розміщується в папці "20-sim" на диску, який обрано користувачем. Одночасно в меню робочого столу (**Пуск Программы 20-sim 2.3**) розташовуються команди доступу до основних файлів програми, які призначені для:

- допомоги (**20-sim Help**);
- керівництво користувача (**20-sim Manual**);
- демонстрації можливостей програми (**20-sim Pro 2.3 demo**);

- власне роботи (**20-sim Pro 2.3**);
- демонстрації прикладів моделей (**Demo Models**);
- навчання користувачів (**Tutorial**).

В процесі вивчення прикладних можливостей програмного комплексу 20-sim було прийняте рішення щодо його застосування на початковому етапі вібромоніторингу, з метою вибору оптимальної моделі динамічної системи ХВА і визначення закономірностей впливу умов проведення процесу холодного висаджування на динамічні характеристики роботи вузлів ХВА.

В якості вихідної моделі (тут і надалі наводяться результати досліджень вібраційної сталості двохударного ХВА А1214) було обрано схему з двома елементами, що обертаються (маховик і шків електродвигуна) та інерційною ланкою (повзун), що рухається поступово. Наявність вібраційних коливань, які виникатимуть під час роботи моделі, враховували пружним елементом (пружина) в інерційній ланці. Математична модель такої системи в інтерфейсі програми 20-sim представлена на рис. 1.

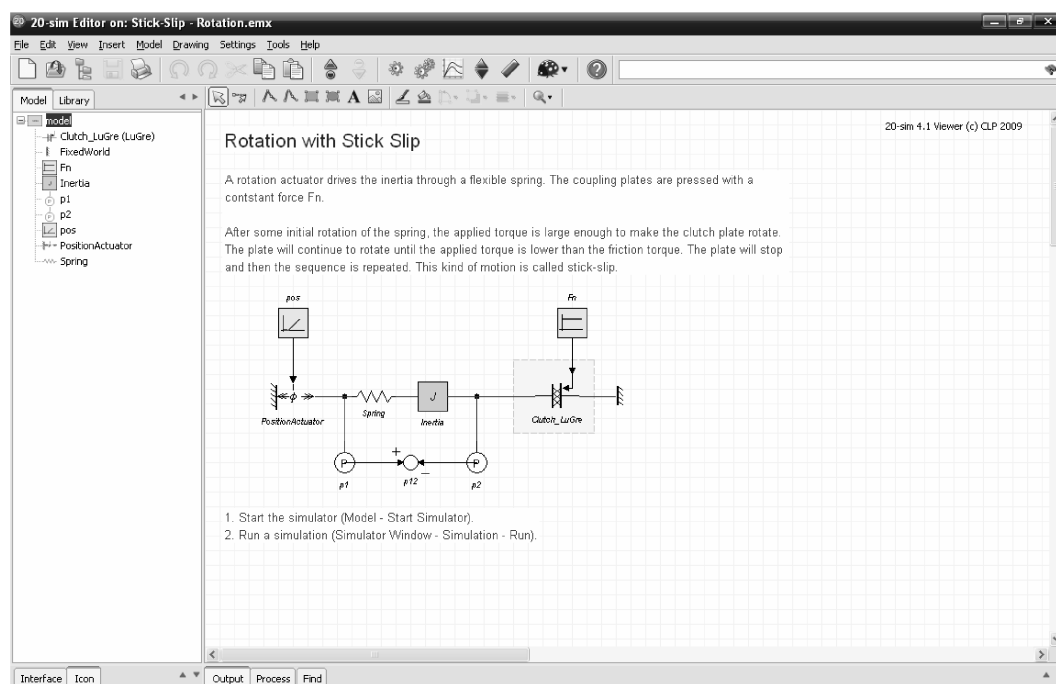


Рисунок 1 – Математична модель ХВА, який перебуває під впливом вібраційних факторів

На наступному етапі моделювання встановлювали фактори, які найбільш суттєво впливають на вібраційні процеси. Серед цих факторів були прийняті наступні:

- технічна характеристика ХВА;
- робоче зусилля на повзуні в кінці робочого ходу;
- сили інерції;
- початкова фаза обертання валу електродвигуна;
- крок моделювання;
- умови тертя;
- спосіб візуалізації вібрацій;
- гальмівні фактори елементів приводу.

Необхідно зазначити, що перелік цих факторів не є вичерпним і може корегуватися в залежності від поставлених задач.

Особливістю роботи ХВА є наявність вібрацій, які виникають внаслідок вмикання електродвигуна в процесі його початкового пуску і вібрацій, які виникають

при доланні інерції клинопасової передачі. Якісна зміна вібрацій при вмиканні головного валу ХВА з передачею руху на клинопасову передачу представлена на рис. 2.

Для порівняння наведемо моделювання вібрацій при стабільній роботі клинопасової передачі (усталений режим роботи ХВА), який вміщено на рис.3.

Порівнюючи графіки рис. 2 та рис. 3, можна дійти до висновку, що, хоча абсолютні значення амплітуд вібрацій із збільшенням часу роботи ХВА зростають, їх амплітуда та частота не змінюються, що дає підстави для проведення вібромоніторингових процедур впродовж відносно невеликих тривалостей роботи ХВА. Зазначимо, що існуючі методики [1] не дозволяють якісно відслідковувати вібраційні процеси в елементах обладнання за короткий час.

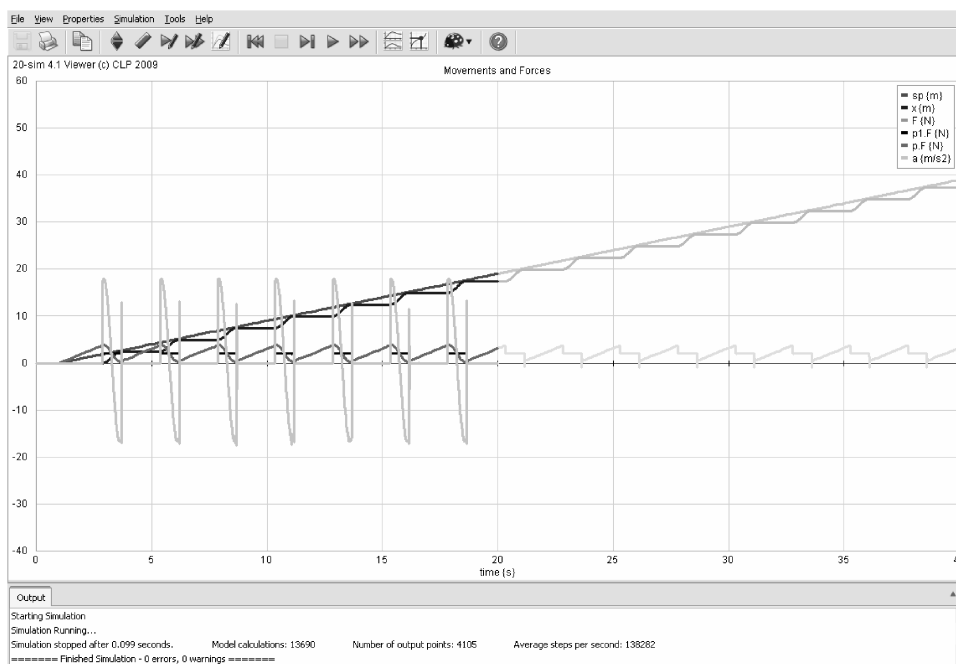


Рисунок 2 – Характер вібрацій при вмиканні електродвигуна і клинопасової передачі

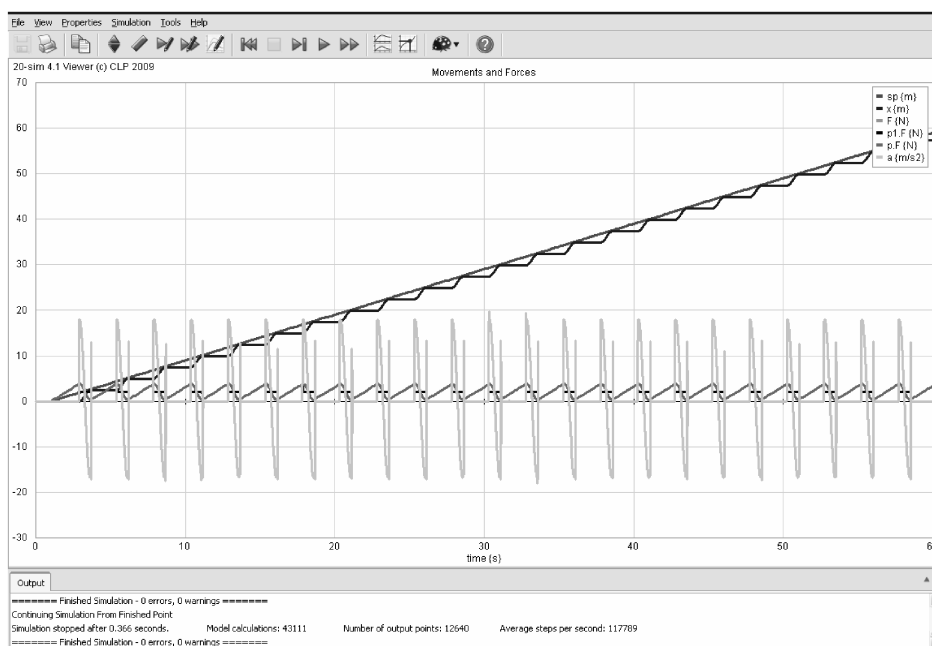


Рисунок 3 - Характер вібрацій при усталеному режимі роботи ХВА

На наступному етапі моделювання встановлювали характер вібрацій у станині ХВА під час виконання машиною основної технологічної операції. На рис. 4 та 5 представлені результати візуалізації вібрацій в початковий та кінцевий момент переміщення повзуну.

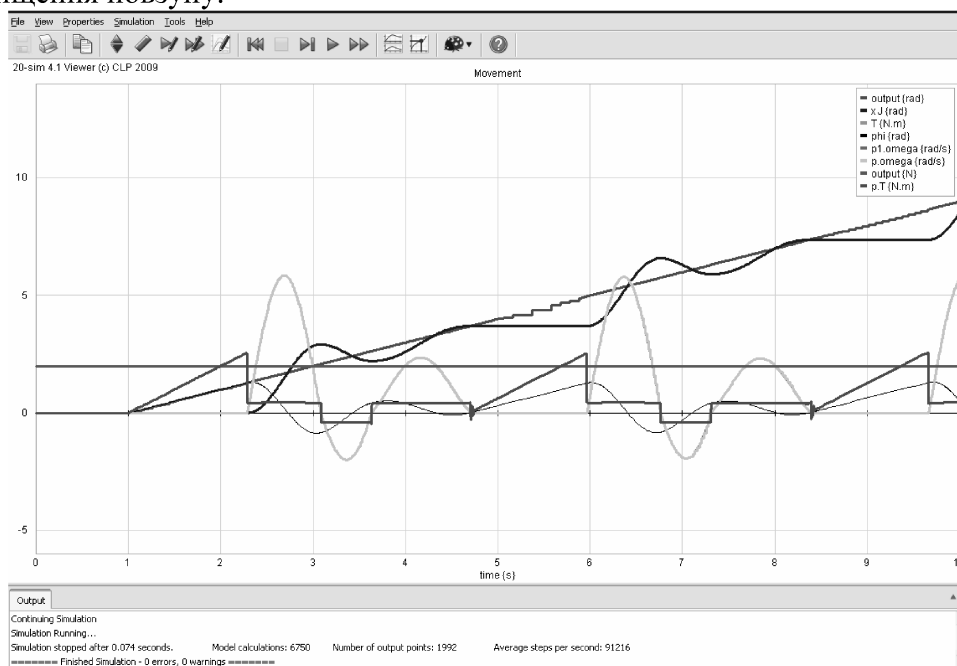


Рисунок 4 – Вібрації елементів станини ХВА A1214 в початковий момент робочого ходу повзуну

Порівнювальний аналіз результатів моделювання дає можливість стверджувати, що кількісні показники вібрацій (амплітуда та частота) наприкінці робочого ходу значно менші. Цей висновок характерний для правильно спроектованих (з урахуванням динамічних навантажень) станин ХВА. Для порівняння нами були проведені аналогічні процедури моделювання стосовно зменшеної за розмірами моделі ХВА A1212. Результати не показали аналогічних закономірностей, причому абсолютний рівень амплітуди та частоти для ХВА A1212 виявляється набагато вищим, що непрямим чином свідчить про неможливість використовувати даний типорозмір ХВА при виконанні точних холодновисаджувальних операцій.

На завершальному етапі моделювання були встановлені дві небезпечних (з точки зору абсолютних значень вібрацій) зони, розміщення та тривалість яких ясна з рис. 5. При цьому зона I відповідає вібраціям, які виникають при вмиканні електродвигуна ХВА (з передаванням частини вібронавантаження на шків та клинопасову передачу), а зона II – вібраціям, які супроводжують переміщення повзуну на ділянці робочого ходу.

Отримана внаслідок імітаційного моделювання на комплексі 20-sim інформація дала можливість перейти на наступного етапу вібромоніторингу – встановлення амплітуд і частот вібрацій, а також визначення фактичних значень віброшвидкостей та віброприскорень. Графіки граничних та середньоквадратичних значень вказаних параметрів стосовно ХВА A1214, побудовані за методикою [3], представлені на рис. 7 та 8.

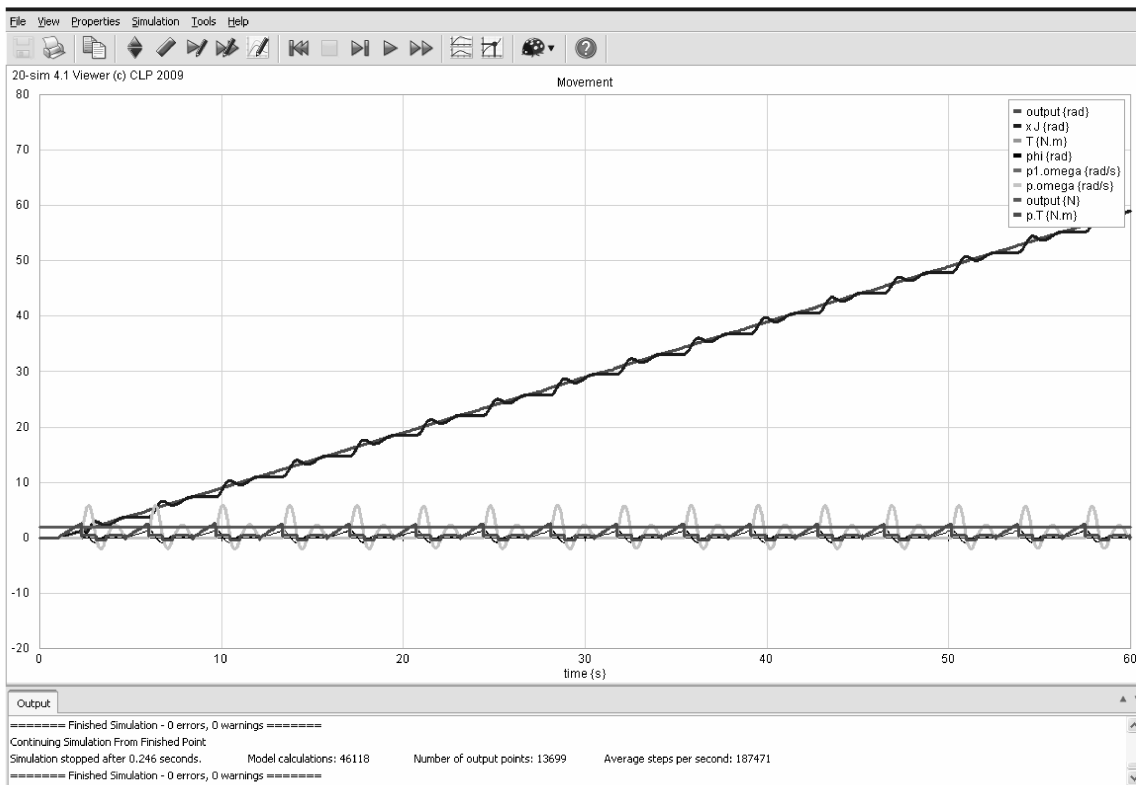


Рисунок 5 – Вібрації елементів станини ХВА А1214 в кінцевий момент робочого ходу повзуну

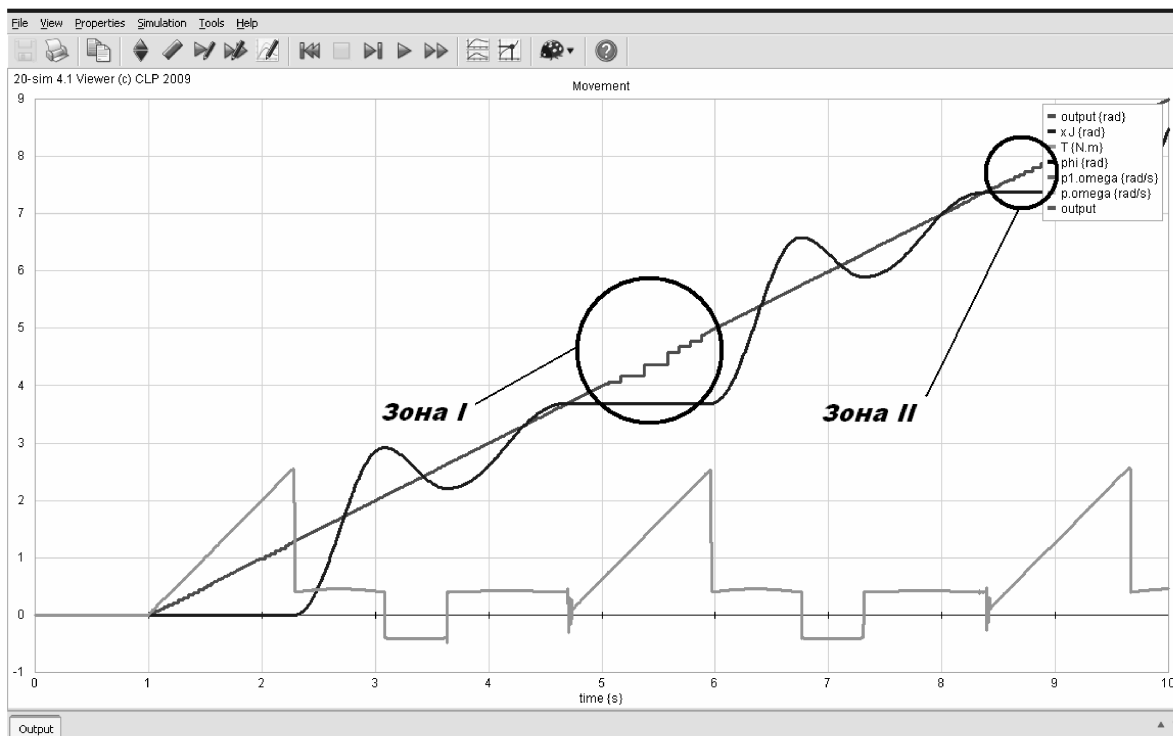


Рисунок 6 – Небезпечні зони у кінематичному ланцюзі ХВА А1214

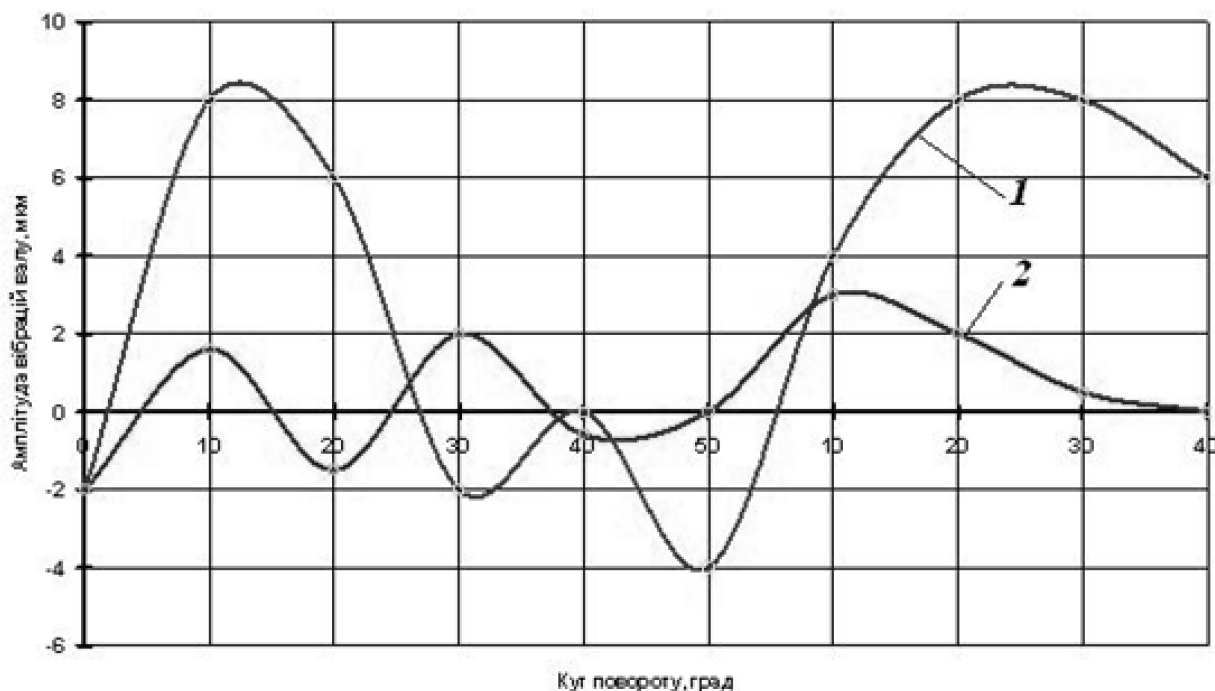
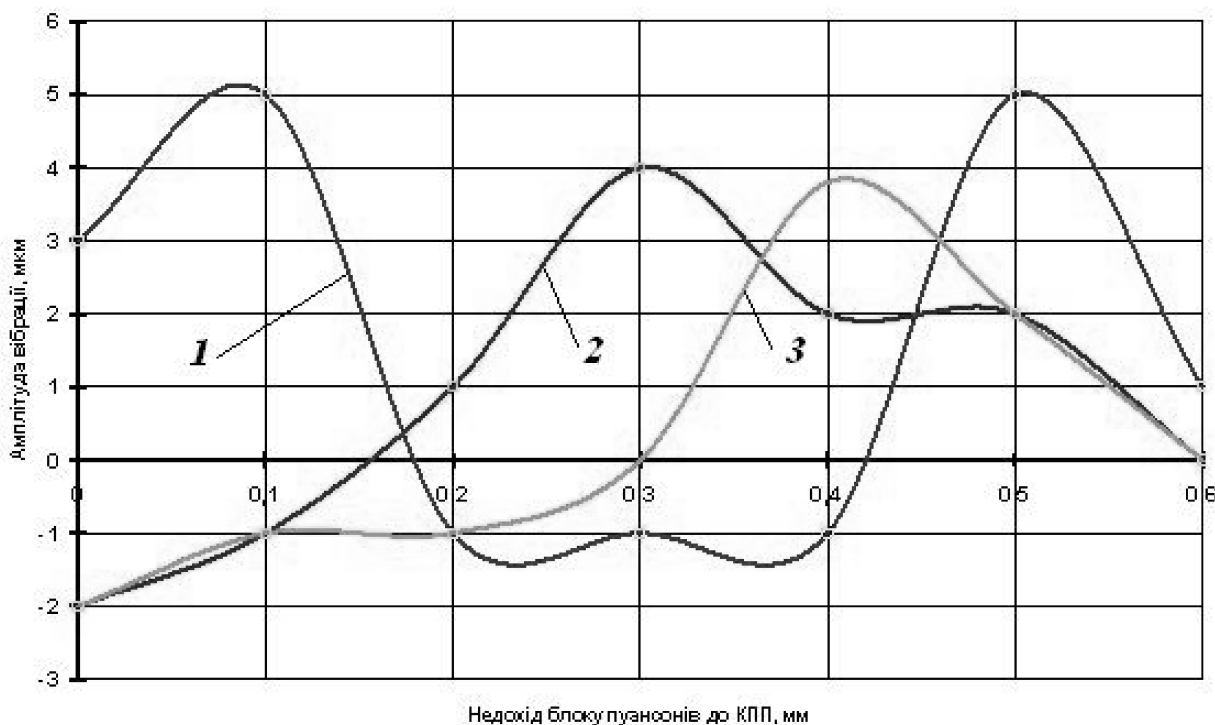


Рисунок 7 – Амплітуди вібрацій шків електродвигуна ХВА А1214: 1 – Другий удар; 2 – Перший удар



1 – Другий удар; 2 – Перший удар; 3 – Сумарний графік
Рисунок 8 – Амплітуди вібрацій станини ХВА А1214

Таким чином, використання програмного комплексу 20-sim дає можливість значно зменшити працемісткість процедур вібраційного моніторингу штампувального обладнання, яке в процесі роботи відчуває значний вплив динамічних навантажень.

Отримані графіки дозволяють не тільки візуалізувати коливальні процеси у різних елементах схеми обладнання, але і визначити екстремальні значення амплітуд, частот вібрацій, а також рівень віброшвидкостей і віброприскорень. На підставі отриманих даних можна розвивати вібраційний моніторинг ХВА у напрямі зменшення абсолютних значень цих параметрів. Зокрема, передбачається доцільним горизонтальне (замість вертикального) встановлення віброопор під діюче обладнання [4].

Список літератури

1. Кривошипные кузнечно-прессовые машины / В.И. Власов, А.Я. Борзыкин, И.К. Букин-Батырев и др. Под ред. В.И. Власова. – М.: Машиностроение, 1982.- 424 с..
2. Зверьков В. П., Павлов С. П. Моделирование динамических систем с использованием программы «20-sim». М.: МЭИ, 1997. – 103 с.
3. А. Ширман, А. Соловьёв. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования, М., Б.и.,1996. - 244 с.
4. Стандарт OHSAS 18004-2008 “Настанови щодо досягнення ефективного додержання вимог з охорони праці” Британського інституту стандартів.

В. Kryshkin, М. Tepljuk

Kirovograd state national university

Vibromonitoting of upsetting machines

An aim of work is research and analysis of procedures of the oscillation monitoring of high-speed stamping equipment, in particular, upsetting automats.

In the article the results of estimation of level and intensity of vibrations are presented in the elements of drive of automat of A1214, got with the use of programmatic complex 20 - sim. It is shown that the design of shake processes with the use of such complex allows not only considerably to decrease labour intensiveness of monitoring procedures but also to provide universality and flexibility of subsequent calculations of vibrospeed and vibroacceleration.

Materials, expounded in the article, can be useful to the researchers and exploitations of high-speed stamping equipment.

vibrations, amplitude, frequency, design, upsetting automat, speed

Одержано 3.04.13

УДК 62.505

S.I. Osadchy, V.A. Zozulya

Kirovograd National Technical University

A.S. Timoshenko

Kirovograd Flight Academy National Aviation University

Multidimensional structural identification at regular signals

New structural identification algorithm at a regular signals for the multidimensional objects with unstable poles is discussed in this article. This algorithm is based on the use of transformation of Laplace for the decision of reverse control task. It allows to find the object transfer matrices from the control input and from the indignation input as a result of the quadratic functional minimization.

identification, transfer function, matrix, vector, Laplace

С.І. Осадчий, В.А. Зозуля

Кіровоградський національний технічний університет

А.С. Тимошенко

Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету

Багатовимірна структурна ідентифікація при регулярних сигналах

Новий алгоритм структурної ідентифікації багатовимірних можливо нестійких об'єктів при регулярних сигналах розглянуто у статті. Зазначений алгоритм заснований на використанні перетворення Лапласу для розв'язання зворотної задачі керування. Він дозволяє знаходити матриці передатних функцій об'єкта від регульованого входу та від збурення в результаті мінімізації квадратичного функціоналу якості.

ідентифікація, передатна функція, матриця, вектор, Лаплас

From the automatic theory point of view there are many mobile control objects with two multidimensional entrances (control signals u and disturbances ψ) and one output vector x (fig.1) with unstable poles. Such objects dynamics is characterized with the help of two transfer function matrix W_u and W_ψ . Knowledge of these matrices allows successfully design the optimum control systems. A lot of methods for the structural identification of the multidimensional objects dynamics with a stochastic entrances signals is today well-known [1, 2]. At the same time the structural identification of dynamics with vector regular signals requires comfortable algorithms development.

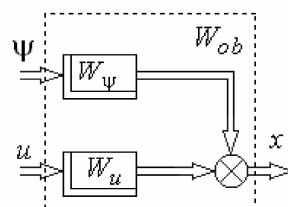


Figure 1 - Block diagram of the multidimensional object

The main purpose of present research is to determinate the mathematical model, which characterizes interrelation between the control signals, disturbances and output vector which a help of identification.

Let consider that vectors u , ψ and x components are measured fully. At this case, the structural identification task can be formulated as follows: after the known vectors u , ψ and x components records find the transfer function matrixes W_u W_ψ , and also estimate the vectors u and ψ influence on the vector x .

The solution of the problem is found as a result of the develop an algorithm for structural identification of multivariable dynamic object with regular input signals.

Let the identification object dynamics is characterized by matrix transfer functions W_{ob} (Fig. 2), which may have unstable poles. Suppose that as a result of the processing of input and output vectors regular components are defined Laplace transforms \hat{U}_p and \hat{X}_p

$$\hat{U}_p = L\left\{\begin{bmatrix} \psi \\ u \end{bmatrix}\right\}, \quad \hat{X}_p = L\{x\}. \quad (2)$$

In the case of the object instability in the vector \hat{X}_p components will be presented unstable poles of \hat{U}_p and unstable poles of W_{ob} . So it appears the possibility to define a diagonal polynomial matrix W_2 as a result of the left-hand removal of unstable poles \hat{X}_p [3], which differ from the unstable poles \hat{U}_p , such that

$$\hat{Y}_p = W_2 \cdot \hat{X}_p. \quad (3)$$

In this case, the vector \hat{Y}_p with image vector \hat{U} expresses the equation

$$\hat{Y}_p = F_{1p} \cdot \hat{U}_p, \quad (4)$$

where F_{1p} - matrix transfer function, all the poles of which are located in the left half-plane (LHP) of complex variable s

$$F_{1p} = W_2 \cdot W_{ob}. \quad (5)$$

Thus identification problem consists in determining such physically implement F_{1p} that reaches the minimum to the quality functional

$$J = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot j} \cdot \int_{-j\infty}^{j\infty} \text{tr}(\varepsilon \cdot \varepsilon_* \cdot A) \cdot ds, \quad (6)$$

where ε – identification error which is arose from errors models \hat{U}_p and \hat{Y}_p and is equal to

$$\varepsilon = F_{1p} \cdot \hat{U}_p - \hat{Y}_p, \quad (7)$$

A – positive definite polynomial weight matrix .

To solve this problem the ratio (7) must be submitted in vector-matrix form

$$\varepsilon = \begin{bmatrix} F_{1p} & -E_n \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{U}_p \\ \hat{Y}_p \end{bmatrix}. \quad (8)$$

The Hermitian conjugate vector ε^* from equation (6) is

$$\varepsilon^* = \begin{bmatrix} \widehat{U}_p & \widehat{Y}_p \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} F_{1p} \\ -E_n \end{bmatrix}. \quad (9)$$

As a result of substituting expressions (8), (9) in the formula (6) identification quality functional takes the following form

$$J = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot j} \cdot \int_{-j\infty}^{j\infty} \text{tr} \left\{ \begin{bmatrix} F_{1p} & -E_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \widehat{U}_p \cdot \widehat{U}_{p^*} & \widehat{U}_p \cdot \widehat{Y}_{p^*} \\ \widehat{Y}_p \cdot \widehat{U}_{p^*} & \widehat{Y}_p \cdot \widehat{Y}_{p^*} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} F_{1p^*} \\ -E_n \end{bmatrix} \cdot A \right\} \cdot ds. \quad (10)$$

Positive definite polynomial matrix A may be presented as a product of Hermitian conjugate [4] polynomial matrices with a help of factorization

$$A = A_{0^*} \cdot A_0, \quad (11)$$

such that the determinant of the matrix A_0 has only zeros with negative real parts. Since the product of vectors $\widehat{U}_p \cdot \widehat{U}_{p^*}$ is a singular matrix ($|\widehat{U}_p \cdot \widehat{U}_{p^*}| = 0$), then it can not be done all the steps of factorization [3]. The procedure proposed at article [5] have been used to overcome this difficulty. The result of consistent execution reduction poles and decreasing the order of polynomials stages from algorithm described in [3] makes possible to introduce the product $\widehat{U}_p \cdot \widehat{U}_{p^*}$ as follows

$$\widehat{U}_p \cdot \widehat{U}_{p^*} = D \cdot L \cdot D^*. \quad (12)$$

As a result, finding the pseudo inverse matrix L to L^+ in accordance with the algorithm [6] make it possible to define e first variation of the quality functional as

$$\begin{aligned} \delta J = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot j} \cdot \int_{-j\infty}^{j\infty} \text{tr} \{ & A_{0^*} \cdot [A_0 \cdot F_{1p} \cdot D - A_0 \cdot \widehat{Y}_p \cdot \widehat{U}_p \cdot D_*^{-1} \cdot L^+] \cdot L \cdot D_* \cdot \delta F_{1p^*} + \\ & + \delta F_{1p} \cdot D \cdot L \cdot [D_* \cdot F_{1p^*} \cdot A_{0^*} - L^+ \cdot D^{-1} \cdot \widehat{U}_p \cdot \widehat{Y}_p \cdot A_{0^*}] \cdot A_0 \} \cdot ds. \end{aligned} \quad (13)$$

With a help of separation product

$$H = A_0 \cdot \widehat{Y}_p \cdot \widehat{U}_{p^*} \cdot D_*^{-1} \cdot L^+, \quad (14)$$

can be represented as a sum of three functions:

$$A_0 \cdot \widehat{Y}_p \cdot \widehat{U}_{p^*} \cdot D_*^{-1} \cdot L^+ = H_0 + H_+ + H_-. \quad (15)$$

where matrix H_0 – the results of division of polynomials numerators of elements H to polynomials denominators; fractional rational matrix H_+ with analytic only in the right half-plane (RHP) poles; fractional rational H matrix with analytic in LHP poles.

Thus, expression (13) is reduced to

$$\delta J = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot j} \cdot \int_{-j\infty}^{j\infty} \text{tr} \{ A_{0^*} \cdot [A_0 \cdot F_{1p} \cdot D - (H_0 + H_+ + H_-)] \cdot L \cdot D_* \cdot \delta F_{1p^*} +$$

$$+ \delta F_{1p} \cdot D \cdot L \cdot [D_* \cdot F_{1p} \cdot A_{0*} - (H_0 + H_+ + H_-)_*] \cdot A_0 \cdot ds, \quad (16)$$

and the condition of the functional (10) minimum on the class of analytic functions in the RHP variations δF_{1p} is determined from (16) in the following form

$$A_0 \cdot F_{1p} \cdot D = H_0 + H_+. \quad (17)$$

Consequently, the desired matrix transfer functions F_{1p} can be calculated on the basis of the algorithm

$$F_{1p} = A_0^{-1} \cdot (H_0 + H_+) \cdot D^{-1}. \quad (18)$$

In that case the object W_{ob} transfer functions matrix is shown in the form

$$W_{ob} = W_2^{-1} \cdot F_{1p} \quad (19)$$

if we take into account the W_2, F_{1p} with (18).

The algorithm for structural identification of the multidimensional object by analyzing the regular components of vectors \hat{u}_p and \hat{x}_p provides the following operations:

- search matrix W_2 with reversed as a result of left-hand removal of unstable poles of X_p , which differ from the poles U_p ;
- factorization of weight matrix A from (17);
- identification of analytical complex variable matrix D in RHP based on (12);
- calculation of $H_0 + H_+$ as a result of separation (15);
- calculation F_{1p} based on equation (18);
- identifying W_{ob} .

In this way, we substantiate the algorithm for structural identification the model of multidimensional object with arbitrary dynamics in a matrix of transfer functions W_{ob} with regular exposure.

Conducted Researches of the multivariable object dynamics made it possible to obtain the following scientific and practical result:

- substantiate a new algorithm for structural identification of dynamic multivariate models moving object, including unstable, which allows to determine the structure and parameters of the transfer function matrix of this object with regular vectors "input-output".

references

1. Azarskov V.N. The methodology of constructing optimal systems stochastic stabilization: Monograph / V.N. Azarskov, L.N. Blokhin, L.S. Zhitetsky / Ed. Blokhin L.N. - K.: NAU Book Publishers, 2006. – 440p. -Bibliography.: p.416-428 (in Russian) .
2. Osadchiy S.I. Technology of Structural Identification and Subsequent Synthesis of Optimal Stabilization Systems of Unstable Dynamic Objects/ L.N. Blokhin, S.I. Osadchiy, Yu. N. Bezkorovainyi // Journal of Automation and Information Sciences. – 2007. – V.39. – N.11.- Pp. 57-66.
3. Davis M.C. Factoring the spectral matrix // IEEE Trans. Automat. Cointr. – 1963.- AC-8, N 4. – p. 296-305.
4. Gantmaher F.R. Theory matrixs.-4th ed. - Nauka, 1988.- 552p. (in Russian).
5. Kucera V. Discrete line control: the polynomial equation approach. – Praha: Akademia, 1979. – 206p.
6. Aliev F.A. Time and frequency methods for the synthesis of optimal regulators /F.A. Aliyev, V.A. Bordyug, V.B. Larin - Baku: Institute of Physics of the Academy of Sciences, 1988. – 46p. (in Russian).

С.И. Осадчий, В.А. Зозуля

Кировоградский национальный технический университет

А.С. Тимошенко

Кировоградская летная академия Национального авиационного университета

Многомерная структурная идентификация при регулярных сигналах

Новый алгоритм структурной идентификации многомерного возможно неустойчивого объекта при регулярных сигналах рассмотрен в статье. Указанный алгоритм основан на использовании преобразования Лапласа для решения обратной задачи управления. Он позволяет находить матрицы передаточных функций объекта от регулируемого входа и от возмущения в результате минимизации квадратичного функционала качества.

идентификация, передаточная функция, матрица, вектор, Лаплас

Одержано 23.05.13

УДК 681.513.6; 681.5.015

**Ю.М. Пархоменко, канд. техн. наук, В.О. Кондратец, проф., канд. техн. наук,
М.Д. Пархоменко, доц.**

Кіровоградський національний технічний університет

Обґрунтування вибору параметра регулювання норми висіву системою автоматичного керування зерновими сівалками

У статті приведені результати теоретичного обґрунтування параметра регулювання норми висіву системою автоматичного керування зерновими сівалками з котушковими висівними апаратами. Отримані і проаналізовані залежності інтенсивності висіву від швидкості руху сівалки, робочої довжини котушки і передаточної величини, а також щільності розподілу зерна вздовж рядка висіву від робочої довжини котушки і передаточної величини. Показано, що в якості параметра регулювання САК процесом висіву зернової сівалки доцільно прийняти щільність розподілу зерна вздовж рядка висіву, яка лінійно залежить від керуючого діяння - робочої довжини котушки висівного апарата.

система автоматичного керування, параметр регулювання, зернова сівалка, щільність

Ю.М. Пархоменко, В.А. Кондратец, М.Д. Пархоменко

Кіровоградський національний технічний університет

Обоснование выбора параметра регулирования нормы высева системой автоматического управления зерновыми сеялками

В статье приведены результаты теоретического обоснования параметра регулирования нормы высева системой автоматического управления зерновыми сеялками с катушечными высевающими аппаратами. Получены и проанализированы зависимости интенсивности высева от скорости движения сеялки, рабочей длины катушки и передаточной величины, а также плотности распределения зернового потока вдоль рядка высева от рабочей длины катушки и передаточной величины. Показано, что в качестве параметра регулирования САУ процессом высева зерновой сеялки целесообразно принять плотность распределения семян вдоль рядка высева, которая линейно зависит от управляющего воздействия – рабочей длины катушки высевающего аппарата.

система автоматического управления, параметр регулирования, зерновая сеялка, плотность

Аграрний сектор України є стратегічною і найбільш ефективною галуззю народного господарства, яка за підсумками 2012 року єдиною зберегла позитивне

сальдо зовнішньої торгівлі (6,8 млрд. дол. США) в основному за рахунок експорту зернових (36,6%) [1]. В той же час за даними Державної служби статистики України урожай зернових культур у 2012 році скоротився порівняно з 2011 роком на 18,6% - до 46,17 млн. тонн, а прогноз урожаю на 2013 рік збільшено на 20% - до 55,5 млн. тонн. Серед головних причин такої нестабільності названо складні погодно-кліматичні умови та недостатнє матеріально-технічне забезпечення. Для збільшення обсягів виробництва зерна і отримання більш стабільних урожаїв програмою “Зерно України – 2015” визначено ряд основних напрямків розвитку зернового господарства, до яких входить і підвищення рівня наукових розробок та впровадження передових ресурсоощадних індустріальних технологій [2]. Оскільки сівба відноситься до основних технологічних процесів в рослинництві, то і тема статті, направлена на вдосконалення засобів підвищення якості висіву зерновими сівалками, є актуальною. Тематика публікації відповідає програмі “Технічні засоби нового покоління для сільськогосподарського виробництва”, включеної до переліку Державних цільових наукових та науково-технічних програм (п. 5.7, п. п. 5.7.1), визначених законом України “Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки”. Стаття містить матеріали, що являють собою частину результатів наукових досліджень, отриманих у процесі виконання науково-дослідної роботи “Система комп’ютерної ідентифікації технологічного процесу висіву насіння зерновими сівалками” (державний реєстраційний номер 0107U005469), яка є складовою частиною тематичного плану Кіровоградського національного технічного університету.

В Україні найпоширенішими є сівалки, які обладнуються механічними висівними системами. Типовим представником цих машин є зернова сівалка СЗ-3,6 з котушковим висівним апаратом. Такі сівалки доволі значною номенклатурою виробляють практично всі світові фірми [3]. За конкретних умов (відсутності тряски, вібрації, запиленості тощо) зернова сівалка, яка представляє собою систему з розімкнутим циклом керування, забезпечує стабільну норму висіву і рівномірний розподіл зернин вздовж рядка. Однак, як показали дослідження [4], на роботу висівних апаратів зернової сівалки в польових умовах діє цілий ряд зовнішніх факторів, які впливають на якість сівби шляхом неперервної зміни норми висіву. Найбільш вагомим регулярним фактором є коефіцієнт заповнення жолобків котушки, залежний від наявного обсягу зерна в бункері, типу фракції посівного матеріалу та запиленості жолобків. Самостійно сівалка не може виправити таке положення, що приводить до зниження якості висіву, зменшення врожайності і витрат посівного матеріалу. Автоматизацією процесу висіву у різні роки займалися Г.М. Бузенков, Е.А. Біляєв, В.Б. Біляков, В.Г. Демидов, С.В. Кардашевський, М.Г. Кінкер, В.В. Логін, Л.М. Макаревич, Л.Г. Сакало та ін., однак якість процесу висіву залишалась низькою.

Для подолання цього недоліку на зернові сівалки необхідно встановлювати такі системи автоматичного керування процесом висіву, які б оперативного реагувати як на фракцію посівного матеріалу, так і на характер зміни щільності розподілу зернового потоку на довільних ділянках поля і забезпечували сталість норми висіву в допустимих агрономічними межах, однак таку задачу ніхто не розв’язував..

Метою даної роботи є обґрунтування вибору параметра регулювання норми висіву системою автоматичного керування зернової сівалки з котушковими висівними апаратами.

Оскільки налаштування на задану норму висіву Q (кг/га) усіх висівних апаратів сівалки здійснюється одночасно і синхронно, а контроль якості висіву забезпечується лише по одному рядку, то в якості параметра регулювання можна прийняти або інтенсивність зернового потоку на виході сошника Q_c (шт/с), або щільність розподілу зерна вздовж рядка висіву Q_m (шт/м), які визначаються на підставі заданої норми висіву

Q (кг/га).

Згідно з аналітичними дослідженнями, динамічна модель зернового потоку, що формується на виході котушкового висівного апарата сівалки СЗ-3,6А, визначається залежною від часу інтенсивністю $\lambda(k, L_k, t)$ [5, 6]. Вказана залежність є періодичною, пропорційною терміну розвантаження T_j k -го жолобка. Оскільки порційність зернового потоку по мірі його переміщення по насіннепроводу згладжується, то на рівні дна борозни інтенсивність зернового потоку $\lambda(k, L_k, t)$ можна розглядати як незалежну від часу величину $Q_c(L_k, V_c, i)$

$$Q_c = \frac{L_k \cdot \omega_k \cdot \gamma \cdot 10^{-3}}{2 \cdot A} \cdot \left[\frac{S_T \cdot \mu}{\omega_k} + \frac{d_k \cdot (1 - e^{-b_0 \cdot C_1})}{b_0} \right], \text{ шт/с} \quad (1)$$

де S_T - середня за період T_j площа розвантаження сектора k - го жолобка;

$\omega_k = 2 \cdot V_c \cdot i / D_k \cdot 3,6$ - кутова швидкість обертання котушки (рад/с), залежна від швидкості руху сівалки V_c (км/год) та передаточної величини i ;

$T_j = \pi \cdot D_k \cdot 3,6 / V_c \cdot i \cdot z$ - період розвантаження k - го жолобка.

γ - об'ємна маса зерна, г/дм³;

A - маса 1000шт. насіння, г;

μ - коефіцієнт заповнення жолобків;

d_k - діаметр котушки, мм;

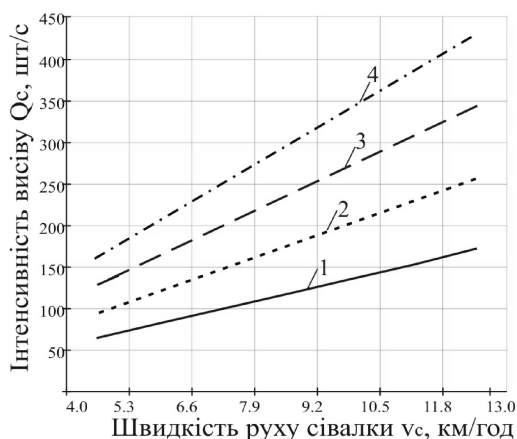
b_0 - коефіцієнт пропорційності, залежний від величини, форми та внутрішнього коефіцієнту тертя насіння (для пшениці та жита $b_0 = 0,3 \div 0,35$);

C_1 - відстань до денця котушки, мм;

z - число жолобків котушки;

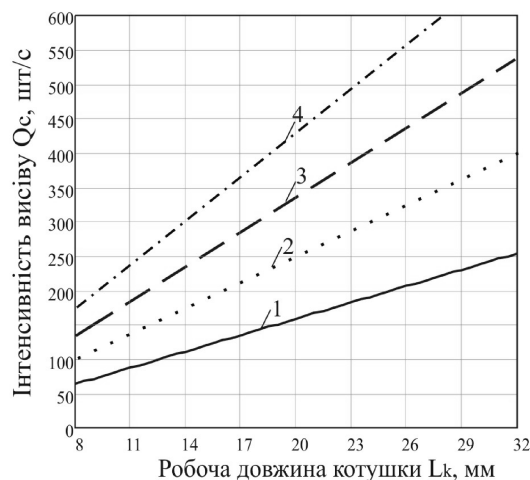
L_k - робоча довжина котушки, мм;

Графіки залежності інтенсивності зернового потоку Q_c від швидкості руху сівалки V_c при $i = 1,15$, робочої довжини котушки L_k при $i = 1,15$ та передаточної величини i при постійній швидкості $V_c = 7,2 \text{ км/год}$ відповідно представлено на рис.1 –рис. 3.



1 – 8мм; 2 – 12мм; 3 – 16мм; 4 – 20мм

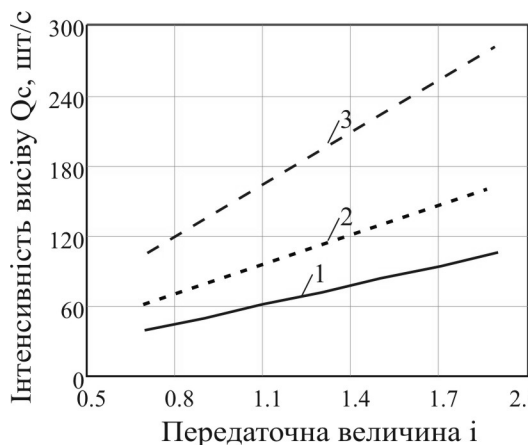
Рисунок 1 - Залежність інтенсивності висіву від швидкості руху сівалки



1 – 4,6км/год; 2 – 7,2км/год;

3 – 9,8км/год; 4 – 12,4км/год

Рисунок 2 - Залежність інтенсивності висіву від робочої довжини котушки



1 – 4,6км/год; 2 – 7,2км/год; 3 - 12,4км/год

Рисунок 3 - Залежність інтенсивності висіву від передаточної величини при різних V_c

Як видно з графіків, залежність інтенсивності Q_c від кожного окремого параметра V_c , L_k або i є лінійною. Для побудови одновимірної системи керування інтенсивністю зернового потоку необхідно, щоб в ній регулювання здійснювалося зміною лише одного вхідного параметра - робочої довжини котушки L_k , передаточної величини i або швидкості руху сівалки V_c при фіксованих значеннях інших

факторів. Однак забезпечити такий режим роботи системи практично не можливо, оскільки швидкість руху сівалки в польових умовах не може бути постійною, що приводить до необхідності регулювання в умовах нелінійності, викликаній одночасною дією двох

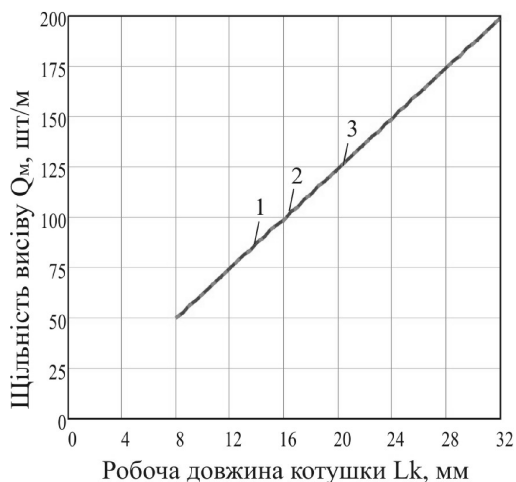
вхідних факторів - робочої довжини котушки L_k і швидкості руху сівалки V_c - $Q_c(L_k, V_c, i = const)$ або швидкості V_c і передаточної величини i - $Q_c(L_k = const, V_c, i)$. Тому інтенсивність зернового потоку Q_c не може бути обраною в якості параметра регулювання досліджуваної САК.

Другим показником оцінки якості сівби може виступати щільність розподілу зернового потоку вздовж рядка висіву Q_m (шт/м)

$$Q_m = 3,6 \cdot Q_c / V_c = \frac{\gamma \cdot 10^{-3}}{A \cdot D_k} \cdot \left[\frac{S_j \cdot \mu}{2 \cdot \pi} + \frac{d_k \cdot (1 - e^{-b_0 C_1})}{b_0} \right] \cdot i \cdot L_k, \quad (2)$$

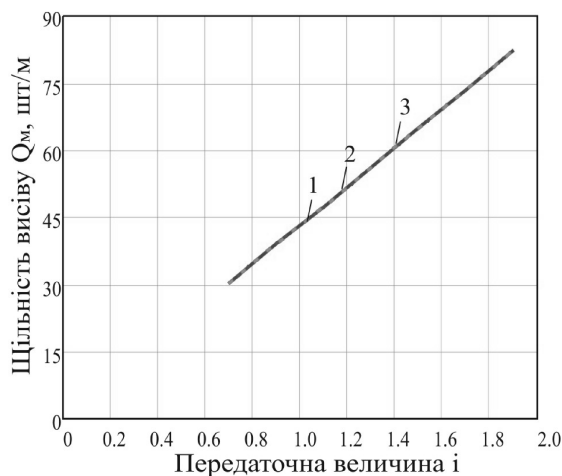
де S_j - площа поперечного перетину жолобка, мм².

Графіки залежності щільності Q_m від робочої довжини котушки $L_k \in 8 \dots 32$ мм при різних швидкостях руху сівалки $V_c = 4,6; 7,2; 12,4$ км/год та фіксованому значенні передаточної величини $i = 1,15$, а також від передаточної величини $i \in 0,7 \dots 1,92$ при різних швидкостях та фіксованому значенні робочої довжини котушки $L_k = 8$ мм представлено на рис. 4 та рис. 5.



1 – 4,6км/год; 2 – 7,2км/год; 3 - 12,4км/год

Рисунок 4 - Залежність щільності від робочої довжини котушки при $i = 1,15$



1 – 4,6км/год; 2 – 7,2км/год; 3 - 12,4км/год

Рисунок 5 - Залежність щільності від передаточної величини при $L_k = 8$ мм

Як видно з графіків, щільність розподілу зернового потоку Q_m також лінійно залежить від робочої довжини котушки L_k при фіксованій величині i та від передаточної величини i при постійній L_k і не залежить від зміни швидкості руху сівалки V_c , тобто $Q_m(L_k, V_c, i) = Q_m(L_k, i)$, тому цей показник є найбільш прийнятним в якості параметра регулювання одновимірної САК.

Зважаючи на те, що передаточне відношення i між кутовими швидкостями котушки ω_k та опорно-приводного колеса сівалки $\omega_{ок}$ ($\omega_k = i \cdot \omega_{ок}$) задається через ступеневу або безступеневу (варіатор) коробки передач, то для забезпечення його оперативного і плавного перерегулювання в процесі сівби необхідно внести зміни в конструкцію самої сівалки, що не бажано. З іншого боку, одночасне переміщення робочої довжини котушок усіх висівних апаратів сівалки можна здійснювати за допомогою актуатора, закріпленого на її несучій рамі, що не потребує доробок діючої конструкції сівалки. Оскільки передаточне відношення i та відстань до денця котушки C_1 для кожного поля та типу посівного матеріалу можуть встановлюватися перед початком сівби і залишатися незмінними до її завершення як при традиційній, так і при точній технології землеробства, то щільність розподілу зерна вздовж рядка висіву Q_m (шт/м) можна розглядати як лінійно залежну від робочої довжини котушки L_k функцію

$$Q_m = b'_m \cdot L_k, \quad (3)$$

де b'_m - умовно сталий коефіцієнт пропорційності, залежний від передаточної величини i , відстані до денця котушки C_1 , конструктивних параметрів висівної системи, посівного матеріалу та коефіцієнта заповнення жолобків.

Отримана залежність (3) вказує на можливі шляхи та засоби регулювання щільності розподілу зернового потоку при висіванні зернових культур в польових умовах в разі її відхилення від заданого значення. Наприклад, за сигналом системи автоматичного керування (САК) встановленої на зерновій сівалці актуатор може змістити робочу довжину котушок висівних апаратів на задану величину ΔL_k , пропорційну величині відхилення щільності розподілу зернового потоку ΔQ_m .

Практичних засобів оперативного вимірювання щільності розподілу зерна безпосередньо вздовж рядка висіву під час сівби на сьогодні не існує. Існуючі безконтактні датчики можуть фіксувати лише моменти перетину зернинами площини їх контролю. Якщо подібний датчик, здатний реєструвати до 350...400 зернин в секунду, встановити на виході насіннепроводу або в площині сошника, то з його допомогою можна визначати інтенсивність досліджуваного зернового потоку Q_c (шт/с) шляхом підрахунку числа зареєстрованих зернин за фіксований інтервал часу. Виходячи з залежності (2), значення щільності розподілу зернового потоку Q_m (шт/м) можна було б розраховувати на підставі вимірювань за фіксований інтервал часу Δt (с) значень інтенсивності зернового потоку Q_c (шт/с) та швидкості руху сівалки V_c (км/год). Однак даний спосіб визначення щільності є громіздким і неточним, оскільки потребує одночасного вимірювання значень двох параметрів – інтенсивності і щільності з наступним виконанням над ними операції ділення. При цьому відрізок шляху $\Delta S_i = \Delta t \cdot V_{ci} / 3,6$ (м) при кожному вимірюванні буде різним, оскільки швидкість руху сівалки V_c (км/год) безперервно змінюється.

Другий спосіб визначення поточного значення щільності розподілу зерен в рядку Q_m (шт/м) полягає у підрахунку числа зареєстрованих датчиком зернин N_i (шт)

вісіяних апаратом на фіксованій довжині пройденого сівалкою шляху ΔS (м). Для формування сигналів відліку початку та кінця фіксованого інтервалу виміру ΔS можна прив'язатися до опорно – приводного або додаткового колеса сівалки. За фіксований інтервал бажано прийняти відстань $\Delta S = 10$ м, що спрощує розрахунок

$$Q_m = N_i / \Delta S = N_i / 10 \text{ (шт/м)}. \quad (4)$$

Даний спосіб є більш зручним і точним у виконанні.

Виходячи з розглянутого, приходимо до висновку, що в якості параметра регулювання норми висіву системою автоматичного керування зернової сівалки доцільно прийняти щільність розподілу зернового потоку вздовж рядка висіву Q_m (шт/м), яка лінійно залежить від керуючого діяння - робочої довжини котушки висівного апарата. Цей вибір обґрунтовується також тим, що крім загально прийнятої норми висіву Q (кг/га), щільність розподілу відноситься до основних агротехнічних показників оцінки якості висіву зернових сівалок, оскільки згідно з агрономогами на одному погонному метрі рядка повинна укладатися задана кількість зернин з практично однаковою відстанню. Нерівномірний розподіл зерен вздовж рядка висіву, їх розрідження або загушення призводять до втрати врожайності.

Перспективою подальших досліджень є розробка системи автоматичного керування нормою висіву, яка забезпечить рівномірність розподілу зерен вздовж рядка висіву і значне підвищення врожайності зернових культур.

Список літератури

1. Іщенко Г. Аграрії розширили експортні ринки / Іщенко Г. // газета «Урядовий кур'єр». – 11.12.2012.
2. Програма “Зерно України – 2015”. – К.: ДІА, 2011. – 48 с.
3. Шустік Л. Пропозиції сівалок провідних виробників на Європейському ринку / Л. Шустік, В. Погорілий // Журнал «Пропозиція». – Вид. дім «Юнівест Медіа», 2003 – №4. – С. 159-164.
4. 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.
5. Пархоменко Ю.М. Теоретичне дослідження статистики зернового потоку котушкового висівного апарата / Ю.М. Пархоменко // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць КНТУ. – 2007. - №19. - С. 151 -156
6. Пархоменко Ю.М. Визначення математичної моделі процесу формування зернового потоку на виході котушкового висівного апарата / Ю.М. Пархоменко, В.О. Кондратець, М.Д. Пархоменко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвідомч. наук.-техн. зб-к. – 2011. - Вип. №41.- С. 62-68.

Y. Parhomenko, V. Kondratic, M. Parhomenko
Kirovograd National Technical University (Ukraine)

Justification of the choice of the parameter control seeding rate automatic control system grain seeders

The aim is to justify the choice of control parameters seeding rate of the automatic control system with coil-grain sowing machines. The paper presents the results of a theoretical study of the parameter control seeding rate automatic control system grain seeders with the coil sowing machines.

Obtained and analyzed according to the intensity of the speed of the seed drill, the working length of the coil and the transfer value and the density of the grain flow along the row seeding of the working length of the coil and the transfer value. It is shown that, as a control parameter of the ACS process seed corn planter is advisable to take the density distribution of seeds along the row seeding, which is a linear function of the control action - the working length of the coil sowing.

Rightly selected control parameter - the density distribution of seeds along the row seeding allows for the automatic control seeding rate that will ensure even distribution of seeds and a significant increase in productivity.

automatic control system, the control parameter, the grain drill, density

Одержано 22.04.13

УДК 621.391

В.В. Сидоренко, проф., д-р техн. наук, Р.М. Минайленко, канд. техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет

Аналіз методів підвищення продуктивності стрічкової ковшової зернової норії

В статті представлено огляд існуючих способів підвищення продуктивності стрічкової ковшової зернової норії. Запропоновано спосіб підвищення продуктивності норій, за рахунок створення автоматизованої системи керування навантаженням норії, яка здійснює керування навантаженням норії з урахуванням впливу випадкових завад. Проведено моделювання методів обробки сигналу навантаження норії на основі якого для обробки сигналу навантаження використано критерій відношення правдоподібності двох гіпотез, що дає змогу своєчасно виявляти зміни навантаження норії і проводити його регулювання з метою підтримання на заданому рівні.

норія, навантаження, автоматизована система контролю навантаження норії

В.В. Сидоренко, Р.М. Минайленко

Кіровоградський національний технічний університет

Анализ методов повышения продуктивности ленточной ковшовой зерновой нории

В статье представлен обзор существующих методов повышения продуктивности ленточной ковшовой зерновой нории. Предложено метод повышения продуктивности норий за счет создания автоматизированной системы управления нагрузкой нории которая осуществляет управление нагрузкой нории с учетом воздействия случайных помех. Проведено моделирование методов обработки сигнала нагрузки нории на основании которого для обработки сигнала нагрузки предложено критерий отношения правдоподобия двух гипотез, что дало возможность своевременно обнаруживать изменения нагрузки нории и проводить ее регулирование с целью поддержки на заданном уровне.

нория, нагрузка, автоматизированная система контроля нагрузки нории

Найважливішим обладнанням підприємств збереження і переробки зерна є вертикальний стрічковий ковшовий транспортер (норія). Входячи до складу технологічних ліній переміщення зерна норія визначає час виконання операції переміщення, істотно впливаючи на її питомі енерговитрати і продуктивність. Особливе значення операції переміщення зерна набувають в зв'язку з помітним розвитком сировинної бази, збільшенням вантажних потоків і підвищенням вимог до раціонального використання енергоресурсів [1].

Аналіз існуючих способів підвищення продуктивності норій показав, що теперішній час пропонується:

1. Застосовувати регульований асинхронний електропривод в норіях. Тобто, щоб кожній зміні транспортованого продукту відповідала певна потужність приводу. Це є актуальним для підприємств збереження і переробки зерна з різними видами зернових культур, що зберігаються [2].

2. Підвищувати швидкість транспортування продукту від 2,2 м/с до 5,2 м/с, що, безумовно, приведе до збільшення кількості зіпсованого зерна. Крім того, потрібно буде змінювати конструкцію голівки норії для усунення пересипання зерна у зворотному напрямку (для норій, що вже експлуатуються).

3. Змінювати конструкцію самих норій (норія Фадєєва), що не завжди є можливим, оскільки при проектуванні технологічних приміщень підприємств збереження і переробки зерна зміни в конструкції норій не передбачались.

4. Російська компанія “ПРОМРАДАР” пропонує змінювати старі прилади контролю норій на мікрохвильові пристрої, що дає можливість більш якісно проводити контроль параметрів норій, так як пристрої такого типу не мають безпосереднього контакту з продуктом і їх досить легко можна замінити при виході з ладу [3,4,5,6].

В статті пропонується підвищити продуктивність норій, які вже експлуатуються, шляхом врахування впливу випадкових завад, породжених динамікою роботи норії. Аналіз систем керування навантаженням норій показав, що випадкова мультиплікативна складова випадкових завад сприймається існуючими системами керування як частина корисного сигналу, що приводить до його спотворення і виникнення хибних спрацювань систем захисту норій від перевантажень [7].

Для моделювання сигналу навантаження норії в роботі була використана програма Signal Explorer [8]. Особливість програми в тому, що програмний код, а також параметри і коефіцієнти в програмі, ідентичні програмному коду, параметрам і коефіцієнтам, що використовуються в системі керування об'єктом. Це дозволяє проводити дослідження і моделювання проєктованої системи керування, в умовах максимально наближених до реальних, що збільшує ефективність і зменшує час розробки. В програмі передбачено можливість додавання випадкових завад в реальний сигнал, що досліджується і в сигнал функціонального генератора. Частота дискретизації приймається рівною частоті досліджуваного сигналу. Кожний сигнал може мати назву і одиниці вимірювання.

Програма Signal Explorer дозволяє виконувати перетворення сигналів у форму, потрібну для подальшої обробки (рис.1) :

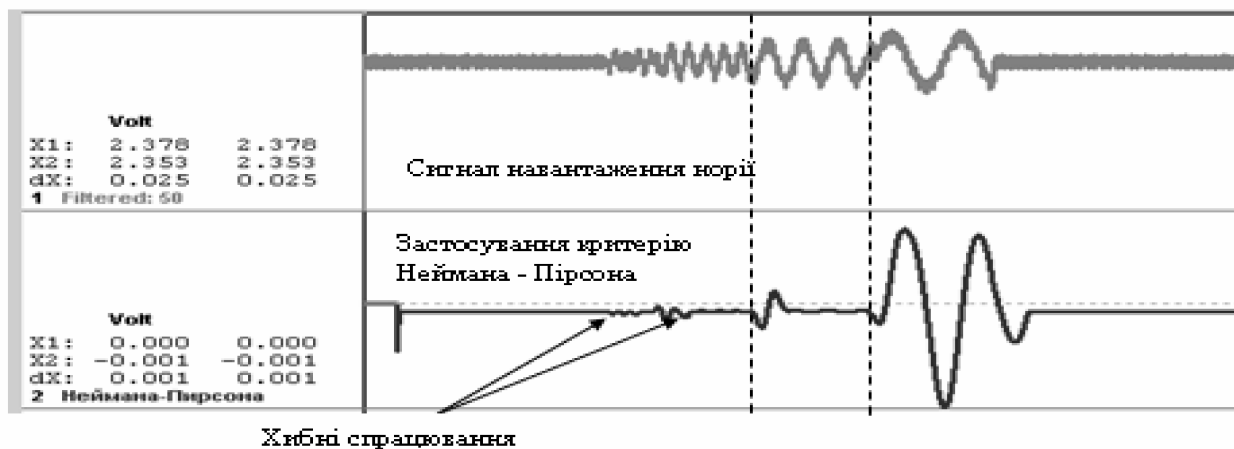


Рисунок 1 - Результати моделювання сигналу навантаження норії з допомогою програми Signal Explorer

Результати моделювання показують, що застосування критерію Неймана-Пірсона в АСК навантаженням норії для виявлення стрибка навантаження приводить до появи хибних спрацювань системи захисту від перевантажень. А виявлення стрибка навантаження, який призводить до появи аварійних ситуацій в норії відбувається в момент його виникнення.

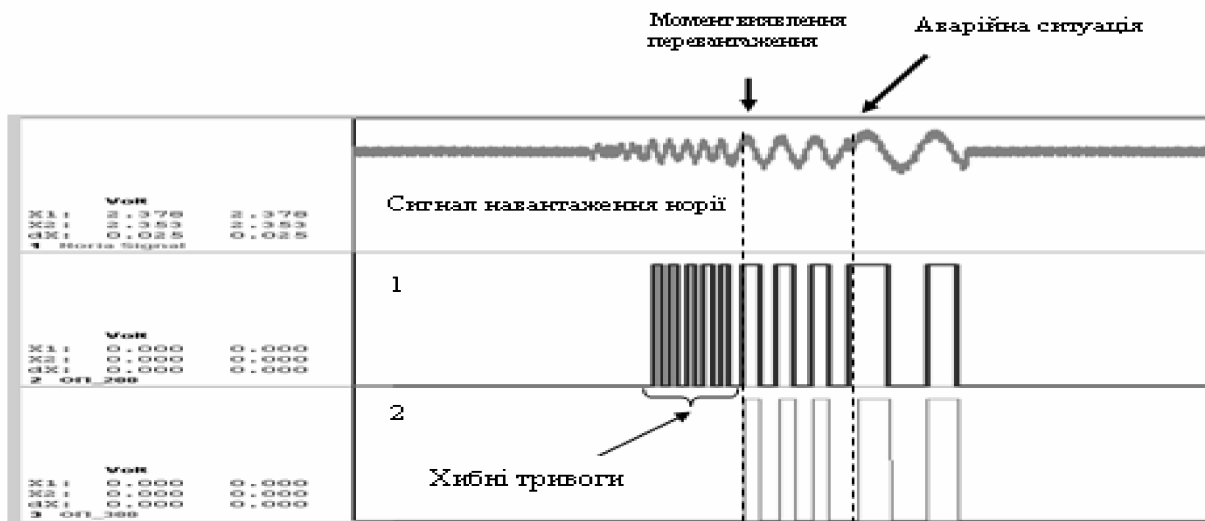
На рис. 2 проведено порівняльний аналіз застосування критерію Неймана-Пірсона і критерію відношення правдоподібності двох гіпотез.

З рис. 2 видно, що при застосуванні в АСК навантаженням норії критерію відношення правдоподібності дозволяє виявити момент виникнення перевантаження до початку його появи, за час достатній для прийняття рішення системою керування про зменшення навантаження норії.



Рисунок 2. - Результати моделювання застосування критерію Неймана-Пірсона і критерію відношення правдоподібності

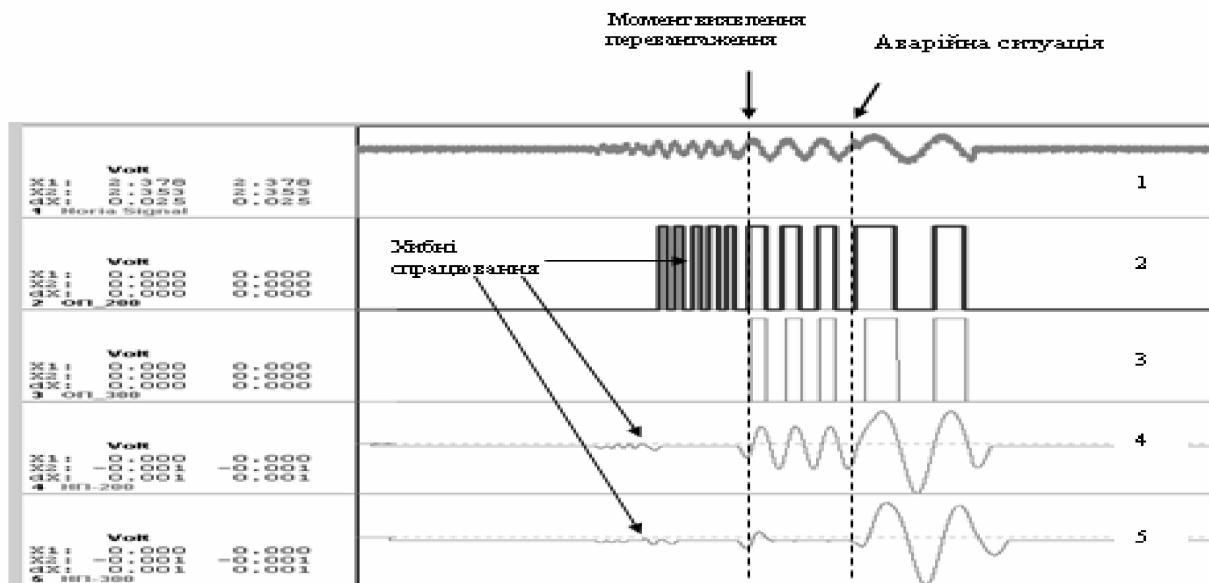
На рис.3 представлено результати моделювання критерію відношення правдоподібності двох гіпотез в сегменті спостереження 200 відліків в сегменті і 300 відліків в сегменті. В результаті моделювання зроблено висновок, що при збільшенні кількості відліків до 300, зменшується кількість хибних спрацювань системи захисту від перевантажень, при частоті дискретизації 1 кГц.



- 1- критерій відношення правдоподібності 200 відліків в сегменті;
- 2 -критерій відношення правдоподібності 300 відліків в сегменті

Рисунок 3 - Результати моделювання сигналу навантаження норії з допомогою програми Signal Explorer

На рис.4 проведено порівняльний аналіз застосування критерію Неймана-Пірсона та критерію відношення правдоподібності двох гіпотез при різній кількості відліків, в результаті якого встановлено, що критерій відношення правдоподібності двох гіпотез задовільняє вимогам поставленим до АСК навантаженням норії.



- 1 – сигнал навантаження норії; 2 – застосування критерію відношення правдоподібності (200 відліків в сегменті); 3 – застосування критерію відношення правдоподібності (300 відліків в сегменті); 4 – застосування критерію Неймана-Пірсона (200 відліків в сегменті); 5 – застосування критерію Неймана-Пірсона (300 відліків в сегменті)

Рисунок 4 - Результати моделювання навантаження норії з допомогою програми Signal Explorer

Отримані в роботі результати показують, що застосування критерію відношення правдоподібності для обробки сигналу навантаження норії приводить до зменшення хибних спрацювань системи захисту норії від перевантажень і дозволяє за рахунок завчасного виявлення перевантажень, спричинених випадковими завадами, підтримувати продуктивність норії близькою до паспортної.

Список літератури

1. Птушкин А.Т., Новицкий О.А. Автоматизация производственных процессов в отрасли хранения и переработки зерна: /А.Т. Птушкин, О.А. Новицкий [2-е изд., допол. и перераб.]. М.: Агроатомиздат, 1985. – 318 с.
2. Строгина Ю.Б. Совершенствование электропривода вертикальных установок конвейерного транспорта: автореф. дис. на получение науч. степени канд. техн. наук: спец. 05.09.03 “Электротехнические системы и комплексы”/ Ю.Б. Строгина - Краснодар, 2004. - 20 с.
3. Пмордар / Промышленные датчики и приборы управления / www.promradar.ru.
4. Агромаш / www.agromash.su.
5. Agrovektor / www.agrovektor.com.
6. Прохоренков А.М., Качала Н.М. Анализ характеристик случайных процессов в информационно-измерительных системах // Успехи современного естествознания. – 2005. – № 7. – С. 28-29
7. Сидоренко В.В. Применение теории статистических гипотез для управления перемещением рабочего инструмента в станке размерной обработки электрической дугой / В.В. Сидоренко, Н.В. Смирнова // Матеріали 12 Міжнародної науково-технічної конференції SAIT 2010 [“Системний аналіз та інформаційні технології”], (Київ, 25-29 травня 2010 р.). – К.: УНК “ІПСА” НТУУ “КПІ”, 2010. – С. 313.
8. Смирнова Н.В. Автоматизована система керування процесом розмірної обробки деталей електричною дугою: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.13.07 “Автоматизація процесів керування”/ Н. В. Смирнова - Кіровоград, 2011. - 20 с.

V.Sidorenko, R.Minailenko

Kirovograd National Technical University

Analysis of methods of increase of the productivity of band corn scooper

Proposed to improve the performance of elevators that are operated by consideration of the influence of random noise generated by the dynamics of the hole.

The review of existent methods of increase of the productivity of band scooper is presented in the article. The method of increase of the productivity of norias is offered due to creation of automated control the system loading of noria which carries out a management loading of noria taking into account influence of casual hindrances. The design of methods of the signal of loading of noria processing is conducted on the basis of which for the signal of loading processing the criterion of relation of verisimilitude of two hypotheses is offered, that enabled in good time to find out the changes of loading noria and conduct its adjusting with the purpose of support at set level.

Applying the criterion of likelihood ratio for signal processing load Paternosters leads to a reduction of false positives paternoster system protection against overloads and allowing through early identification of congestion caused by random noise, Paternosters maintain performance close to the nameplate.
hole, load, load control automated system Nora

Одержано 16.05.13

УДК 658.5.012

**А.А. Стенин, проф., д-р техн. наук, Е.Ю. Мелкумян, канд. техн. наук,
В.В. Курбанов, асп., Т.Г. Шемсединов, асп.**

Национальный технический университет Украины «КПИ»

Информационно-логическая модель процесса управления инновационным развитием социотехнических систем

В данной статье предлагается информационно-логическая модель процесса управления инновационным развитием социотехнических систем (СТС). Суть предлагаемого подхода заключается в том, что инновационное развитие СТС интерпретируется, как информационный объект, который содержательно и структурно меняется в процессе его создания.

социотехническая система, информационно-логическая модель

О.А. Стенін, К.Ю. Мелкумян, В.В. Курбанов, Т.Г. Шемсединов

Національно технічний університет України «КПІ»

Інформаційно-логічна модель процесу управління інноваційним розвитком соціотехнічних систем

В основу інформаційно-логічної моделі процесу управління інноваційним розвитком СТС в даній роботі покладена модель науково-дослідних робіт. Зміст запропонованого підходу полягає в тому, що інноваційний розвиток СТС інтерпретується, як інформаційний об'єкт, який в процесі створення змінюється як змістовно, так і структурно. Тому, процес інноваційного розвитку може бути описаний впорядкованою послідовністю станів СТС, що розробляється, останній з яких представляє собою готову систему.

соціотехнічна система, інформаційно-логічна модель

Введение

На рубеже XXи XXI веков экономический рост государства определяется ведущей ролью научно-технического прогресса и интеллектуализацией основных факторов производства. При этом задача по достижению высоких экономических результатов не может быть решена без переориентации экономики страны на инновационный путь развития. В настоящее время инновационная деятельность провозглашена в качестве приоритетного направления государственной экономической политики Украины. Важным экономическим элементом экономики являются социотехнические системы (СТС).

Понятие социотехнических систем [5] было введено в 1960 году английскими учёными Эриком Тристом и Фредом Эмери. Под СТС понимается система, в которой функционирует социальная часть, т.е. люди (человек) и техническая часть (машины, компьютеры, оборудование и т.д.). Общество, организации и предприятия, а также их подструктуры также могут рассматриваться как сложные социотехнические системы.

Для простых СТС, проведение которых достаточно изучено или хотя бы стабильно, основным направлением инновационного процесса является совершенствование стандартных функций, процессов и средств управления. Как правило это происходит через развитие информационной инфраструктуры (средств электронного документооборота, информационных, справочных, экспертных систем, средств коммуникаций и т.д.) и усиления кадрового состава (подбор, переподготовка, замена). Однако для большинства СТС, включающего сложное оборудование и большой штат персонала, проблема управляемости кроется не столько в способе реализации функций управления, сколько в понимании роли человеческого фактора, проявляющего существенный элемент неизвестного, нового и нестабильного в своём поведении. Ключевой проблемой при разработке таких СТС является обеспечение роста компетенции сотрудника, под которой будем понимать обладание всеми необходимыми знаниями для принятия эффективных решений. Другими словами, инновации в виде новой техники и технологий требуют инноваций в мышлении работника СТС.

Фактор неопределённости эргатического элемента СТС является одной из главных проблем при инновационном развитии СТС. Большое число степеней свободы СТС приводит к тому, что все варианты функционирования, происходящие в СТС не могут проявиться, и, соответственно, быть изученными в обозримом промежутке времени; Более того, процессы количественного или качественного изменения СТС, протекающие иногда значительными темпами, вызывают необходимость пересматривать имеющиеся знания о СТС и базирующиеся на них принципы управления.

Согласно [1], знания СТС на сегодняшний день принципиально не полны и должны постоянно обновляться. Применительно к СТС в наибольшей мере проявляется неэффективность априорного подхода к их развитию и, в первую очередь, к системам управления. Поэтому, прогноз в их развитии имеет большое значение. Известно[4], что знания об объекте управления определяют структуру процесса выработки решений, принципы наблюдения и воздействия на объект. Это справедливо для любой системы управления. Однако СТС обладают важной особенностью – знания о них имеют сравнительно большую динамическую составляющую, настолько большую, что зачастую её требуется учитывать даже в оперативном управлении.

В работах [2.3], под инновациями в широком смысле понимается рентабельное использование новшеств в виде новых технологий, видов продукции и услуг, организационно–технических и социально–экономических решений производственного, финансового, коммерческого, административного или иного

характера. Выделяют две важнейших характеристики инновации–новизна (научно-технический аспект) и коммерческий успех (экономический аспект).

Отсюда, инновационное развитие СТС – это разработка СТС с привлечением инноваций в данной предметной области с учётом их жизненного цикла.

Естественно, жизненный цикл инноваций должен быть больше периода создания СТС.

Постановка задачи. Для анализа методов и средств управления инновационным развитием СТС необходимо иметь формализованную информационно-логическую модель процесса управления инновационным развитием СТС. Только на основе такой модели можно разработать эффективные методы инновационного развития СТС. Информационно-логическая модель должна учитывать многоальтернативность и возможность коррекции управляющих воздействий на любом из этапов разработки СТС.

Решение задачи. В основу информационно-логической модели процесса управления инновационным развитием СТС в данной работе положена модель научно-исследовательских работ. Суть предлагаемого подхода заключается в том, что инновационное развитие СТС интерпретируется, как информационный объект, который содержательно и структурно меняется в процессе его создания. Следовательно, процесс инновационного развития может быть описан упорядоченной последовательностью состояний разрабатываемой СТС, последнее из которых представляет готовую систему.

$$S_0 \rightarrow S_1 \rightarrow S_2 \rightarrow \dots \rightarrow S_i \rightarrow \dots \rightarrow S_n, \quad (1)$$

при этом каждое состояние S_i характеризуется некоторой совокупностью параметров $m_i^1 m_i^2 \dots m_i^m$, где $i = \overline{0, n}$.

Каждое состояние S_i характеризует степень завершенности разработки СТС.

Будем, в дальнейшем, полагать, что каждому промежуточному состоянию S_i соответствуют две интегральные оценки P_i и Q_i , которые исчерпывающе характеризуют степень завершенности инновационного развития СТС с количественной и качественной сторон. Очевидно, что функции P и Q на упорядоченном множестве состояний S_i ($i = \overline{0, n}$) должны иметь возрастающий характер.

Для полноты описания процесса инновационного развития будем предполагать, что интегральные оценки P и Q независимы друг от друга.

Далее, процесс разработки разбиваем на отдельные подпроцессы (шаги разработки), соответствующие принятым согласно (1) этапам разработки. Обозначим приращение интегральных характеристик, достигнутое на i -м этапе через ΔP_i и ΔQ_i .

Процесс управления инновационным развитием СТС состоит в том, что на каждом шаге задаётся управляющее её воздействие $u(i)$, которое определяет значения ΔP_i и ΔQ_i , и переводит степень развития СТС из состояния (P_{i-1}, Q_{i-1}) в состояние (P_i, Q_i) . Управление $u(i)$ можно рассматривать как выбор одного из альтернативно возможных способов обеспечения инновационного развития. При этом перевод в новое состояние СТС реализуется выполнением определённого множества процедур.

Естественно, что на каждом шаге i на управляющее воздействие $u(i)$ налагается ряд ограничений естественного и искусственного характера. Иначе, $u(i)$ может принимать значения из некоторого множества возможных управляющих воздействий, т.е.

$$u(i) \in V(i). \quad (2)$$

Будем считать, что для $i = 0$ $P_0 = Q_0 = 0$.

Значения интегральных характеристик на последующих шагах определим формулами:

$$\begin{cases} P_i = \varphi(u(k), P_{i-1}); \\ Q_i = \gamma(u(k), Q_{i-1}); \\ (P_i, Q_i) = f(u(i), (P_{i-1}, Q_{i-1})); i = \overline{1, n} \end{cases} \quad (3)$$

Под (P_i, Q_i) будем понимать множество всех состояний СТС, в которое его можно перевести из начального состояния за i шагов, пользуясь управляющим воздействием $u(k) \in V(k)$, $k = \overline{1, i}$.

Такое множество назовём множеством достижимости (P_i, Q_i) , которое определяется с помощью рекуррентных соотношений вида:

$$\begin{cases} (P_k, Q_k) = F[u(k), (P_{k-1}, Q_{k-1})] \\ u(k) \in V(k), k = \overline{1, i}, i = \overline{1, n} \end{cases} \quad (4)$$

В задании на инновационное развитие обязательно указываются требования, которым должна удовлетворять СТС после окончания её разработки. Исходя из этого можно определить показатели P_n и Q_n , характеризующие конечное состояние разработки, которое должно принадлежать некоторой области допустимых значений (P_n, Q_n) , т.е.

$$(P_n, Q_n) \in (P_n^*, Q_n^*). \quad (5)$$

Таким образом, процесс разработки с управляющими воздействиями $V(u(i))$, будет допустимым, если $u(i)$ переведут СТС из начального состояния в конечное, которое будет удовлетворять условию (5).

Исходя из этого, для успешного достижения цели инновационного развития необходимо выполнение условия:

$$(P_i, Q_i) \cap (P_i^*, Q_i^*) \neq \emptyset, i = \overline{1, n}. \quad (6)$$

Условие (6) означает, что множество всех состояний разработки СТС должно находиться во множестве допустимых состояний СТС в соответствии с предъявленными требованиями. В противном случае, при изменившемся инновационном прогнозе необходимо либо изменить техническое задание на разработку, изменив тем самым, (P_i^*, Q_i^*) , $i = \overline{1, n}$, либо расширить область возможных управляющих воздействий $u(i)$, $i = \overline{1, n}$.

Пусть в результате выполнения $(i - 1)$ шагов процесс разработки СТС перешёл в состояние (P_{i-1}, Q_{i-1}) . Тогда множество допустимых управляющих воздействий на i -м шаге определится следующим образом:

$$\begin{cases} V^*(i) = \{u(i) : (P_i, Q_i) = f[u(i), (P_{i-1}, Q_{i-1})]\} \\ (P_i, Q_i) \in (P_i^*, Q_i^*), i = \overline{1, n} \end{cases} \quad (7)$$

В результате процесс управления инновационной разработкой СТС в окончательном виде можно записать как:

$$u(i) \in V(i) \cap V^*(i), i = \overline{1, n}. \quad (8)$$

Условие (8) означает, что с точки зрения инновационного развития СТС возможно изменение управляющих воздействий в допустимых значениях в соответствии с изменениями текущих и конечных требований.

Заключение. В работе показано, что для анализа и выбора методов и средств инновационного развития СТС необходимо иметь информационно-логическую модель процесса управления инновационным развитием СТС. Только на основе такой модели можно разработать эффективные методы инновационного развития СТС. Следует отметить, что, поскольку процесс разработки является многоальтернативным, то возникает проблема многокритериальности, которая требует привлечения интеллектуальных СППР. Это обусловлено тем, что, во-первых, наличие в СТС человеческого фактора вносит большую долю неопределённости, и, во-вторых, необходимо посмотреть весь спектр допустимых решений в данной области функционирования СТС.

Список литературы

1. Орлов А.И., Орлова Л.А. Современный подход к управлению инновациями и инвестициями / в сб. Экономика XXI века – 2012, №12.– С. 3-26.
2. Сафронов И.В. Понятия «инновация» и «инновационная деятельность»: сущность и содержание / - Тамбов: В сб. ун-та им. В.И.Вернадского, №4(14), 2008 – т.1. – С.217-225.
3. Маренков Н.Л. Инноватика. – М.: Комкнига, 2005. – 304с.
4. Бовин А.А. и р. Управление инновациями в организациях. – М.: Омега –Л., 2006. – 415с.
5. Рябушкина В.С. Социотехнические системы: вопросы теории и практики, зарубежный опыт. – Воронеж: Воронежский государственный университет. 2004.-41с.

A. Stenin, K. Melkumian, V.Kurbanov, T. Shemsedinov
National Technical University of Ukraine "Kyiv Politechnic Institute"

The logical data model of the control process of innovative development of sociotechnical systems

The goal of this article is to get the formal logical data model of the control process of innovative development of sociotechnical systems (STS). This model will takes into account that control actions are multialternative and have the able to correct at any point STS development.

In the proposed approach, innovative development of STS is interpreted as a data object that changes its content and structure in the process of its creation. As a consequence, the process of innovative development is an ordered sequence of states of the STS that is being developed. The last one of these states represents the final system.

It is shown that only through logical data model of the control process of innovative development of STS it is possible to develop effective methods of development. Since described process is multialternative it is lead to the multicriterion problem. It is necessary to use the intelligent decision-support system because the presence of the human factor in STS lead to fuzziness and need to look over all possibilities.

sociotechnical systems, the logical data model

Одержано 02.04.13

УДК 519.71

Л.С. Ямпольський, проф., канд. техн. наук
Національний технічний університет України «КПІ»

Нечітка ітераційна метаідентифікація штучних нейросіток в мультиагентному середовищі

На основі розробленого реляційного класифікатора запропонований універсальний підхід до вибору задовольняючої топології нейросіток, яка відповідає вимогам модельованої прикладної задачі. Реалізація підходу базується на використанні гнучкої інтелектуалізованої мультиагентної системи з багатозільовою конфігурацією її складових з функціями метаідентифікації. Розкрита взаємодія компонент системи в процесі їх функціонування
агенти/мультиагенти з функціями метаідентифікації, агентно-орієнтована підсистема, гнучка інтелектуалізована мультиагентна конфігурація, експертна система, логічна модель поетапного синтезу, набір вирішальних класифікаційних ознак, нечітка метаідентифікація, продукційні правила, рейтингове оцінювання, сітка Петрі, топологія нейросітки, чисельні процедури, штучна нейросітка, фаззи-контролер

Л.С. Ямпольский
Национальный технический университет Украины «КПИ»
Нечеткая итерационная метаидентификация искусственных нейросеток в мультиагентной среде

На основе разработанного реляционного классификатора предложен универсальный подход к выбору удовлетворяющей топологии нейросеток, которая соответствует требованиям моделируемой прикладной задачи. Реализация подхода базируется на использовании гибкой интеллектуализированной мультиагентной системы с многоцелевой конфигурацией ее составляющих с функциями метаидентификации. Раскрыто взаимодействие компонентов системы в процессе их функционирования.
агенты / мультиагенты с функциями метаидентификации, агентно-ориентированная подсистема, гибкая интеллектуализированных мультиагентная конфигурация, экспертная система, логическая модель поэтапного синтеза, набор решающих классификационных признаков, нечеткая метаидентификация, продукционные правила, рейтинговое оценивание, сетка Петри, топология нейросетки, многочисленные процедуры, искусственная нейроситка , фаззи-контроллер

Характеристика проблеми. Як і у будь-якій іншій галузі знань, інтелектуальний прорив у широкому використанні *нейротехнологій* (НТ) стає можливим, коли для його реалізації витримані *необхідні і достатні* умови [6]. Ці умови виконуються завдяки як зацікавленості прикладних користувачів у нових підходах до розуміння функцій природного (біологічного) інтелекту шляхом створення математичної моделі самосвідомості та усвідомлення своїх можливостей у розв'язанні складних інтелектуальних задач (*необхідна умова*), так і досягненням в області інструментальних (апаратних, програмних, методологічних тощо) засобів для побудування ефективних за швидкістю, точністю моделювання і потужності (розмірності) *штучних нейросіток* (ШНС) (*достатня умова*).

Означення 1. *Штучні нейронні сітки* – математичні моделі та їх програмні і/або апаратні реалізації, виконані за принципом організації біологічних нейросіток, уявляють собою систему з'єднаних і взаємодіючих простих процесорів (*штучних нейронів* (ШН)).

Розширення інструментального “асортименту” різновидів ШНС, яке можна спостерігати останніми роками, дозволяючи більш “тонко” і професійно підходити до вибору їх моделей/топологій, адекватних умовам вибору прикладної задачі, разом з тим ускладнюють цей процес через його багатоваріантність. За недостатньої професійної

підготовленості користувача це може призводити до значних додаткових матеріальних (апаратних, обчислювальних) і/або часових витрат. Отже, розрив між *об'єктивною доцільністю* використання новітніх досягнень в НТ для розв'язання прикладних задач і *суб'єктивною непоінформованістю* кінцевого користувача обмежує можливості ефективнішого використання ШНС. Через це ШНС використовуються в двох варіантах: будується нейросітка, яка розв'язує певний клас задач; під кожний екземпляр задачі створюється деяка нейросітка, яка знаходить квазіоптимальний розв'язок цієї задачі. Проте, в обох випадках прийняття рішення покладається на користувача.

Постановка задачі. Покращення ситуації нам уявляється в створенні умов для автоматизованого синтезу адекватних прикладній задачі ШНС і полягає в наступному:

- формуванні *набору вирішних класифікаційних ознак* (НВКО) і створенні *класифікатора ШНС*;

- побудуванні чіткої логічної *моделі поетапного синтезу* (МПС) ШНС;

- створенні строгої *узагальненої моделі вибору типових топологій* (УМВТТ)

ШНС для конкретних прикладних задач, що базується на формалізованих моделях подання знань [1] з використанням НВКО та *агентно-орієнтованого підходу* [5].

Означення 2. *Набір вирішних класифікаційних ознак ШНС* – така їх мінімально допустима сукупність, яка є *необхідною* для формалізації процесу подання основних властивостей і вибору задовольняючих топологій нейросіток і *достатньою* для адекватного обслуговування вимог (критеріїв оцінки) з боку прикладної розв'язуваної задачі.

Означення 3. *Модель поетапного синтезу ШНС* – така послідовність їх перебирання в просторі НВКО, яка, будучи виконувана користувачем і/або *мультиагентною підсистемою автоматизованого вибору* (МАПАВ), відтворює принципи агентно-орієнтованого підходу та автономно дозволяє виокремити топологію/топології ШНС, здатну/здатні задовольнити критерії обслуговування властивостей розв'язуваної задачі.

В даній статті обґрунтована можливість використання мультиагентної моделі із вбудованим реляційним механізмом для перебирання *інтелектуалізованими агентами* (ІА) критеріїв обслуговуваності вимог з боку прикладних задач. Така постановка може реалізовуватися на основі логічної МПС штучних нейронних сіток, адекватних прикладним задачам (ШНС) [4].

Формування набору вирішних класифікаційних ознак. Проведений аналітичний перегляд основних напрямків розвитку НТ, а також результати численних досліджень в інших джерелах (наведені в [4], присвячених даній проблемі, дозволяють сформулювати НВКО і запропонувати класифікатор ШНС, які в сукупності сприятимуть послідовності обґрунтування вибору відповідностей “розв'язувана прикладна задача – топологічна модель ШНС”.

Досвід роботи по створенню агентно-орієнтованого інтерпретатора ШНС [4] дозволяє стверджувати, що наведений нижче перелік НВКО є і необхідним, і достатнім для розв'язання поставленої задачі і містить: *тип вхідної; базову модель ШН; структуру; архітектуру; методи навчання; настроювання ваг; критерії оцінки.*

Класифікація штучних нейронних сіток. Запропонований НВКО потребує уточнення деяких тверджень, означень:

Означення 4. *Аналогова вхідна інформація* – інформація на вході ШНС, подана у формі дійсних чисел;

Означення 5. *Двійкова вхідна інформація* – інформація на вході ШНС у вигляді нулів та одиниць.

Отже, можна виділити два основних підходи до реалізації ШНС: *цифровий* та *аналоговий*. Перевагою аналогових реалізацій є: *висока швидкість, надійність та економічність*. Проте сфера можливого масового використання навчуваних аналогових нейронних сіток досить вузька. Це обумовлене великою складністю апаратної реалізації

високоєфективних навчаючих алгоритмів і необхідністю спеціальної підготовки потенційних користувачів для оптимальної організації адаптивного процесу. У той же час, широке розповсюдження можуть отримати аналогові нейрокомп'ютери/нейросітки з фіксованою або незначно підналагоджуваною структурою зв'язків – *нейропроцесори*;

Твердження 1. Задача створення *нейропроцесорів* зводиться до навчання цифрової моделі ШНС необхідній поведінці на звичайному цифровому комп'ютері;

Означення 6. Базова модель ШНС – математична та її програмна і/або апаратна реалізація, на основі яких будується ШНС;

Твердження 2. Архітектура ШНС визначається кількістю шарів і ШН у шарі.

З позицій архітектурного побудування ШНС важливу роль відіграє *нелінійність активаційної функції* через те, що, якби вона не володіла даною властивістю або не входила в алгоритм роботи кожного нейрона, результат функціонування будь-якої *n*-шарової ШНС зводився б до добутку вхідного вектора **X** сигналів x_i на матрицю вагових коефіцієнтів. Тобто фактично така ШНС була б еквівалентна одношаровій ШНС з ваговою матрицею **W** єдиного шару.

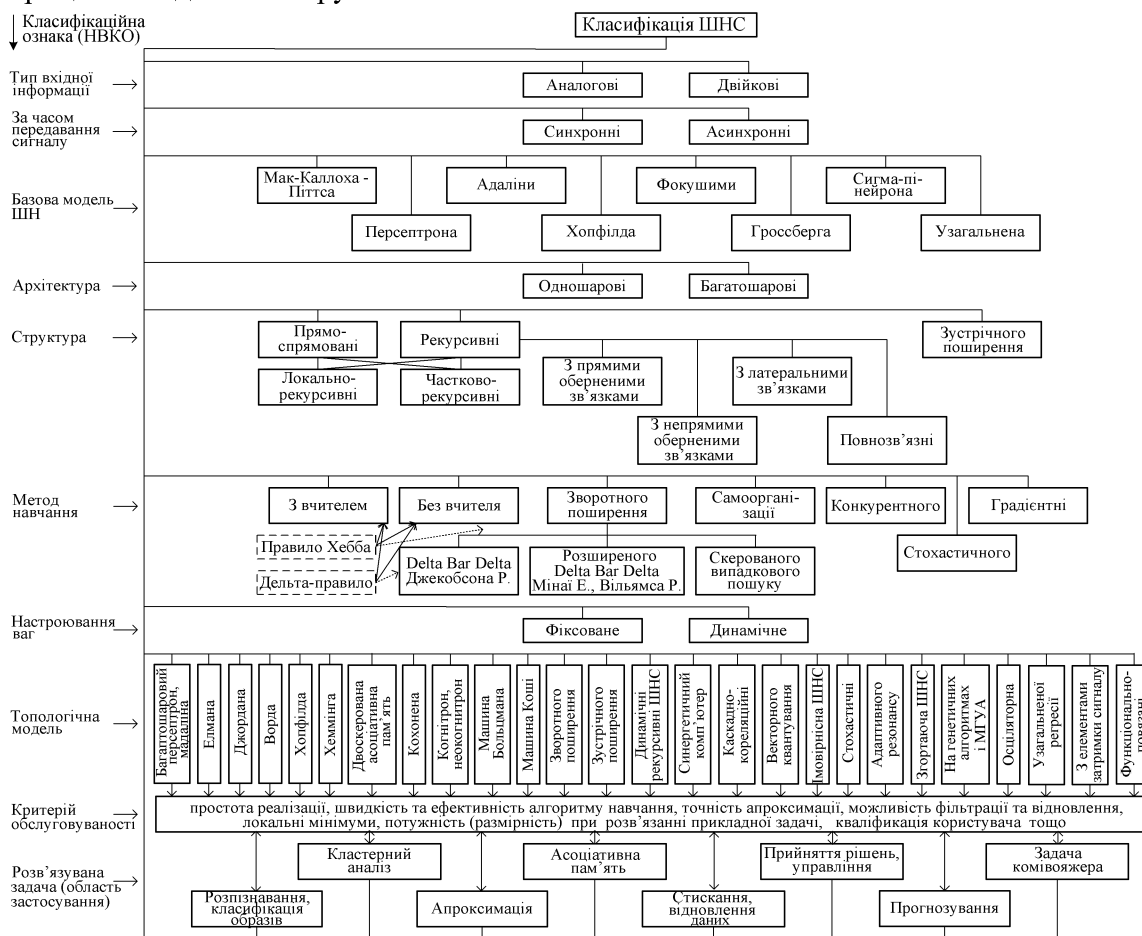


Рисунок 1 – Класифікація ШНС з бажаним НВКО

Означення 7. Активаційна функція – функція $f_a(*)$, яка визначає правило переходу нейрона, що знаходиться в момент часу τ в стані $g(\tau)$, у новий стан $g(\tau+1)$ при надходженні вхідних сигналів x_i .

В ряді ШНС активаційна функція може залежати не тільки від вагових коефіцієнтів зв'язків $w_{i,j}$, але й від часу $\tau_{i,j}$ передавання сигналу по каналах зв'язку. Тому у загальному випадку активаційна/передавальна функція зв'язку $C_{i,j}$ від елемента u_i до елемента u_j має вигляд: $C^*_{i,j} = f[w_{i,j}(t), u^*_i(t - \tau_{i,j})]$. Тоді для *синхронної нейросітки* час $\tau_{i,j}$ передавання кожного зв'язку або дорівнює нулю, або фіксований сталій τ . В *асинхронній нейросітці* час $\tau_{i,j}$ передавання для кожного зв'язку між елементами u_j та u_i

свій, але також сталий.

Твердження 3. Структура ШНС визначається напрямом та охопленням зв'язків між шарами та окремими нейронами, тобто характером зв'язків.

Визначення кількості проміжних шарів і кількості нейронів в них є важливим при моделюванні сітки. Зазвичай, застосовуючи архітектуру до визначених проблем, використовують загальні правила, а саме:

1. Кількості входів та виходів сітки визначаються кількостями вхідних та вихідних параметрів досліджуваного об'єкту. На відміну від зовнішніх шарів, у прихованому шарі $n_{\text{прих}}$ кількість нейронів вибирається емпірично. В більшості випадків достатня кількість нейронів становить $n_{\text{прих}} \leq n_{\text{вх}} \leq n_{\text{вих}}$, де $n_{\text{вх}}$, $n_{\text{вих}}$ – кількість нейронів у вхідному і у вихідному шарах.

2. Якщо складність у відношенні між отриманими та бажаними даними на виході збільшується, кількість нейронів прихованого шару повинна також збільшитись.

3. Якщо модельований процес може розділятися на багато етапів, потрібен додатковий прихований шар/шари. Якщо процес не розділяється на етапи, то додаткові шари можуть привести до невірної загальної рішення.

Оскільки всі ШНС базуються на концепції функціонування ШН, правил та механізмів їх з'єднань, а також передатних функцій щодо процедури активації, існує подібність між різними структурами або архітектурами нейросіток. Більшість змін походить з різних правил навчання, реалізація яких визначається *алгоритми навчання*, де відбувається підгонка моделі сітки до наявних навчальних даних;

Твердження 4. Штучні нейронні сітки не програмуються у звичайному сенсі – вони навчаються;

Означення 8. *Навчання з вчителем* – таке навчання ШНС, яке припускає існування цільового вектора – бажаного виходу ШНС для кожного вхідного вектора і виконується із залученням правил навчання: Хебба, дельта-правила/його модифікацій, алгоритму зворотного поширення похибки тощо;

Твердження 5. Разом вхідний та цільовий вектори утворюють *навчаючу пару*, і зазвичай сітка навчається на деякому сполученні таких пар;

Означення 9. *Навчання без вчителя* – таке навчання, яке відбувається за відсутності цільового вектора, а *навчаючий алгоритм* при цьому підналагоджує ваги таким чином, щоб отримати узгоджені вектори на виході ШНС, причому подання досить близьких вхідних векторів дає однакові вектори на виході;

Означення 10. *Навчання з використанням алгоритму зворотного поширення похибки (АЗПП)* – це навчання, яке, використовуючи поширення принципів дельта-правила, реалізує градієнтний метод опуклого функціоналу похибки в багат шарових ШНС із структурою прямого поширення на моделях ШН з диференційованими функціями активації;

Твердження 6. *Мета навчання ШНС* за алгоритмом АЗПП полягає в знаходженні на багатовимірній поверхні найнижчої точки, яка відповідатиме глобальному мінімуму.

Для розуміння навчання за АЗПП пояснимо поняття *поверхні станів*. Кожному значенню синаптичних ваг і порогів сітки (вільних параметрів моделі кількістю N) відповідає один вимір в багатовимірному просторі. Вимір $N+1$ -ий відповідає похибці сітки. Для різноманітних сполучень ваг відповідну похибку сітки можна зобразити точкою в $N+1$ -вимірному просторі, всі ці точки утворюють деяку поверхню станів, яка має складну будову і неприємні властивості. Зокрема, наявність локальних мінімумів (точки, найнижчі в своєму певному околі, але вищі від глобального мінімуму), пласкі ділянки, сідлові точки і довгі вузькі яри. Аналітичними засобами неможливо визначити розташування глобального мінімуму на поверхні станів, тому навчання нейросітки по суті полягає в дослідженні цієї поверхні. Відштовхуючись від початкової конфігурації ваг і порогів (від випадково обраної точки на поверхні), алгоритм навчання поступово

відшукує глобальний мінімум. Обчислюється вектор градієнту поверхні похибок, який вказує напрямком найкоротшого спуску по поверхні з заданої точки. Складність застосування АЗПП полягає у виборі довжини кроків переходу вектора градієнта поверхні похибок, через що або зростає кількість ітерацій і разом з тим час пошуку (при замалих кроках, або *epoch*), або зростає ймовірність “перестрибування” оптимального розв’язку чи руху в невірному напрямку (при занадто великих кроках). Ітеративний процес навчання припиняється або коли *пройдена визначена кількість epoch*, або коли *похибка досягає визначеного рівня малості*, або коли *похибка перестає зменшуватись* (користувач сам вибирає потрібний критерій зупинення процесу).

Твердження 7. *Похибка для конкретної топології ШНС з варійовуваними значеннями синаптичних ваг і порогів сітки (так званих вільних параметрів топології ШНС) визначається шляхом проходження через неї всієї навчальної множини і порівняння спродукованих на виході значень з цільовими/бажаними. Множина похибок утворює функцію похибок, яку можна розглядати як похибку сітки. В якості функції похибок найчастіше використовують суму квадратів похибок.*

Означення 11. *Навчання шляхом самоорганізації* – таке навчання, за яким аналогічні вхідні сигнали збуджують сусідні нейрони, і такий “колективізм” може здійснюватися завдяки оберненим зв’язкам. Ваги змінюються на кожному кроці навчання, і їх змінювання залежить як від сусідніх вхідних образів, так і ймовірного розподілення, за яким пропонуються для навчання допущені вхідні образи;

Означення 12. *Сітки з фіксованими зв’язками* – такі, у яких вагові коефіцієнти W призначаються відразу, виходячи з умов задачі, і $dW/dt = 0$;

Означення 13. *Сітки з динамічними зв’язками* – такі, у яких в процесі навчання відбувається налагодження синаптичних ваг, причому $dW/dt \neq 0$;

Означення 14. *Топологія ШНС* – це модель нейросітки з певними архітектурою, структурою, методами навчання і настроювання ваг, побудована на основі певних моделей ШН;

Твердження 8. *Топологічні властивості (ТВ) ШНС не змінюються при будь-яких структурно-архітектурних перетвореннях без втрати суттєвості певного виду нейросіток. Прикладом ТВ ШНС є розмірність/потужність останніх, що визначається кількісною характеристикою: шарів, нейронів у шарі, зворотних зв’язків, входів та виходів сітки (а отже, кількістю опрацьовуваних “образів”) тощо;*

Означення 15. *Топологічний простір ШНС* – множина моделей сіток будь-якої топології, в якій через НВКО визначені граничні значення ТВ ШНС.

Логічна модель поетапного синтезу ШНС. Наведена на рис. 2 схема містить, з урахуванням запропонованого НВКО, відображення послідовності їх урахування при ітераційній процедурі синтезу ШНС на основі *конкретної унікальної послідовності дій (КУПД) інтелектуалізованих агентів (ІА) в процесі функціонуванні МАПАВ.*

Заключна процедура поетапного синтезу ШНС зводиться до перевірки інтелектуалізованими агентами умов виконання *критеріїв обслуговуваності* поточним вектором можливостей конкретної топології ШНС вимог задачі.

Твердження 9. *Конкретна унікальна послідовність дій, що приводить до мети, шукається агентом кожного разу з урахуванням відповідних критеріїв обслуговуваності властивостей розв’язуваної задачі.*

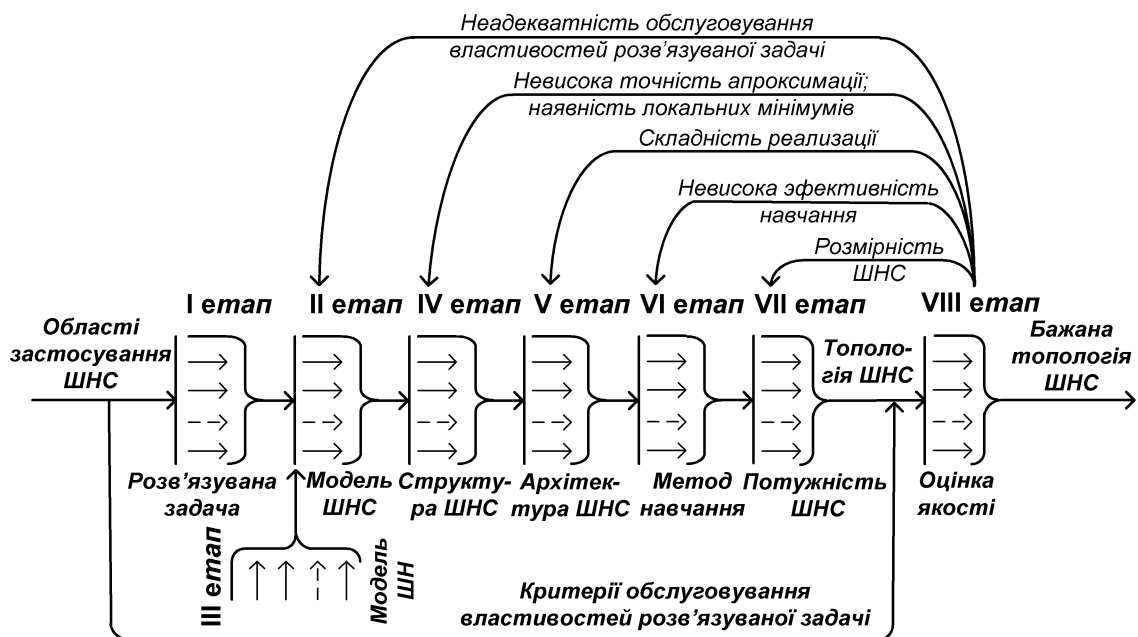


Рисунок 2 – Логічна модель поетапного синтезу ШНС

Означення 16. *Критерій обслуговуваності* – показник задоволення топологією ШНС вимог з боку розв’язуваної задачі і професійної відповідності користувача.

Концепція нечіткої метаідентифікації в задачах вибору ШНС. Пропонується нижче підхід не є протиставленням більш загальним схемам розподіленого штучного інтелекту, які детально розглядаються в роботі [5]. В даному випадку ідея полягає в тому, щоб, розглядаючи нечіткі ідентифікуючі компоненти як складні *агентно-орієнтовані підсистеми (АОП)*, використати переваги нечіткого підходу до керування процесом ідентифікації самими АОП. При цьому завдання *нечіткої метаідентифікації* полягає в динамічному побудованні з існуючих *функціонально-спеціалізованих інтелектуалізованих агентів (ФСІА)* таких *гнучких інтелектуалізованих мультиагентних конфігурацій (ГІМАК)* АОП, які найкращим чином задовольняють умови прикладної задачі.

Означення 17. *Інтелектуалізований агент/мультиагент* – це програмно-апаратний або програмно-емуляційний автономний компонент АОП, який функціонує за певним сценарієм/алгоритмом на основі КУПД в інтересах досягнення поставленої користувачем перед нею мети.

Твердження 10. *Алгоритм дії ФСІА* може мінятися і коректуватися по ходу виконання завдання заради досягнення мети.

Означення 18. *Агентно-орієнтована підсистема* – це складна підсистема ГІМАК, в якій функціонують два або більше ФСІА, орієнтованих на розв’язання задач ідентифікації за певною вирішальною класифікаційною ознакою ШНС і утворюючих *агентно-орієнтоване середовище*.

Означення 19. *Функціонально-спеціалізований інтелектуалізований агент* – це ІА з функціями метаідентифікації в просторі *вирішальних класифікаційних ознак ШНС*.

Реалізація вищезначеної ідеї можлива за допомогою побудовання ГІМАК, особливостями якої є: використання об’єктно-орієнтованих ФСІА всіляких типів, реалізуючих складові класифікатора ШНС [4]; високий ступінь паралелізму; децентралізована структурна і параметрична метаідентифікація в межах АОП (рис. 3).

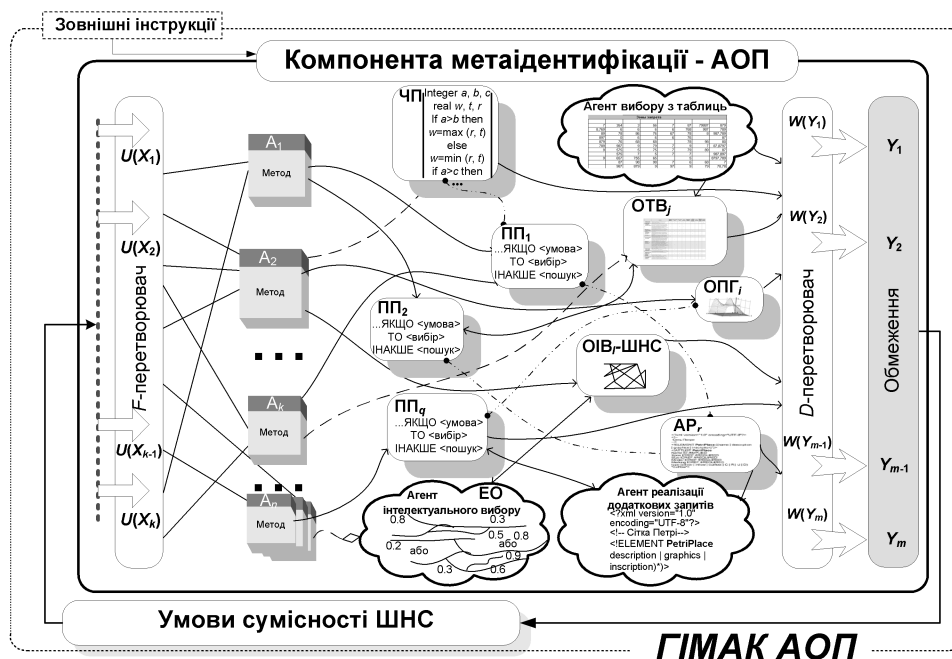


Рисунок 3 – Структура ГІМАК АОП

Для узагальнення підходу розглядається більш складний випадок нечіткої метаідентифікації класифікаційних ознак ШНС щодо вимог з боку прикладної задачі. В разі чіткої взаємозалежності “вимога – ознака” реалізація процесу спрощується.

Означення 20. Гнучка інтелектуалізована мультиагентна конфігурація – така мультиагентна конфігурація, яка: містить агенти $A^{(M)}$ з функціями метаідентифікації, які реалізують механізм розподіленого динамічного виявлення “ступеня важливості” інших агентів із всілякою природою; формує різні закони ідентифікації; забезпечує паралельність роботи агентів різнорідних “шарів”; реагує на зміни стану зовнішнього середовища (вихідних умов задачі) шляхом піднастроювання загального виходу у відповідності з ідентифікацією, задовольняючою поточний набір умов на вході.

Означення 21. Агенти з функціями метаідентифікації – такі ФСІА, які спроможні приймати рішення по: активації інших агентів ГІМАК; формуванню виведень щодо задоволення поточного набору умов на вході ГІМАК.

Твердження 11. Сукупність певним чином організованих ФСІА, забезпечуючих визначений НВКО рівень ідентифікації ШНС, утворюють мультиагентне середовище відповідної АОП.

Мультиагентна структура ГІМАК АОП (рис. 1) формується з множини $A = \{A_1, \dots, A_n\}$ зв'язаних між собою ФСІА. На вхід АОП від зовнішніх джерел (в тому числі, і від користувача) надходить множина $U^{(x)} = \{U(X_1), \dots, U(X_k)\}$ значень вхідних змінних $X = \{X_1, \dots, X_k\}$, які відображують умови обслуговуваності властивостей (інформаційне поле) прикладної задачі. Фаззі (F)-перетворювач (“чіткий \rightarrow нечіткий”) трансформує U^x у множину факторів $F^{(x)} = \{F_1^{(x)}, \dots, F_l^{(x)}\}$ (є нечіткими множинами, заданими на значеннях вхідних змінних) з відповідними факторами достовірності (ступенями приналежності за експертними оцінками) $C^{(x)} = \{C_1^{(x)}, \dots, C_l^{(x)}\}$. Дефаззі (D)-перетворювач (“нечіткий \rightarrow чіткий”) трансформує множину своїх вхідних факторів $F^{(y)} = \{F_1^{(y)}, \dots, F_p^{(y)}\}$ і відповідних факторів достовірності $C^{(y)} = \{C_1^{(y)}, \dots, C_p^{(y)}\}$ у множину $W^{(x)} = \{W(Y_1), \dots, W(Y_k)\}$ значень умов сумісності $Y = \{Y_1, \dots, Y_m\}$ пропоновуваної ГІМАК

АОП топології ШНС із заданим на вході набором властивостей прикладної задачі (детально процедури фаззи-перетворення наведено в [8]).

Компоненти ГІМАК АОП та їх взаємодія в процесі функціонування. Функціонування ГІМАК АОП формується із загального “внеска” її компонент – ФСІА (див. рис. 3): продукційних правил (ПП), експертних оцінок (ЕО), об’єктів інтелектуального вибору ОІВ – штучних нейросіток (ИНС), чисельних процедур (ЧП), об’єктів вибору з табличних даних (ОВТ), об’єктів побудування графіків (ОПГ), реалізації (АР) – якщо експерт або відповідний агент робить висновок щодо необхідності уведення нових правил, обмежень тощо. Базуючись на вхідних даних і меті ідентифікації в залежності від етапу послідовності синтезу топології ШНС [4-7], ГІМАК АОП реалізує на виході модель базового інтелектуального нейрона, структуру, архітектуру, метод навчання, потужність ШНС і як наслідок – її топологію, задовольняючу адекватності обслуговування властивостей розв’язуваної задачі, точності апроксимації, складності реалізації, розмірності та швидкодії, рівня кваліфікації користувача.

Прийнявши за H, G відповідно набори (імена) змінних на вході і виході, а за Z — набір з усіх змінних (вхідних і на виході включно), приймаючих участь у міжагентному інформаційному обміні $Z \supset H, Z \supset G$, а також враховуючи, що структура ГІМАК АОП формується з множини $A = \{A_1, \dots, A_n\}$ взаємозв’язаних ФСІА, тоді, використавши множини компонент зі складових $S_i \subset S \cup A$ (вхідних відносно цього агента A_i) і дій $M_i \subset M \cup A$ (на виході відносно A_i), формальний опис i -го агента A_i можна подати у вигляді:

$$A_i = (T_i, D_i, U_i, W_i, S_i, M_i, B_i, E_i),$$

де T_i — тип агента (ЕС, НС, ЧП тощо); D_i — тип умови для активації (наприклад: D_1 — зміною вхідних даних агента; D_2 — естафетною умовою, тобто завершенням поточного прогону визначених попередніх агентів; D_3 — незалежною активацією, в тому числі відповідно до часового закону; D_4 — у відповідь на запит від іншого агента, і так далі); U_i, W_i — набори вхідних і вихідних змінних агента A_i відповідно; B_i, E_i — набори розташованих вище відносно A_i (чий вказівки він виконує) і підлеглих (відносно A_i) агентів відповідно. При цьому:

$$\forall A_i \in A: (U_i \cap W_i = \emptyset) \wedge (S_i \neq \emptyset) \wedge (A_i \neq \emptyset) \wedge (U_i \neq \emptyset, U_i \subset H \cup (\cup W_j)) \wedge \\ \wedge (W_i \neq \emptyset, W_i \subset G \cup (\cup U_j)),$$

а реалізація $|B_i| > 0$ вказівок вищерозташованого агента є припустимою. Для відображення факту можливості активації A_i рішенням інших ФСІА вважаємо, що значення спеціальної “перемикаючої” змінної $\bar{\theta} \in U_i \setminus (H \cup G)$ визначає стан (“активний”, “очікування”) агента A_i .

Агенти мультиагентного середовища ГІМАК АОП можуть характеризуватися: використовуюваною моделлю – N_1 (тобто НС, ПП, ЧП тощо); типом подання — N_2 (наприклад, числовий, символічний або більш детально: фреймовий, семантичний и т. д. Ясно, що N_1 и N_2 тісно зв’язані); особливостями виконання — N_3 (як окремі фізичні (мікросхеми, комп’ютери) або віртуальні об’єкти (в межах цієї ж програми), і так далі).

Тип N_2 передбачає необхідність проміжних перетворень даних, інтеграцію множин чисельних значень і формування символічних умов для логічного виведення, а також навпаки — перетворення фактів (виведень) у чисельні значення (у випадку нечітких уявлень це відповідає перетворенням “чіткий \rightarrow нечіткий” і “нечіткий \rightarrow чіткий” відповідно). Ці перетворення можуть бути або “вбудованими” у загальне функціонування ФСІА, або виконуються спеціальними процедурами трансформацій. Сам ФСІА, у свою чергу, може також мати мультиагентну структуру. Так, для

реалізації перетворень “нечіткий → чіткий”, наприклад, за наявності невизначеності при ідентифікації етапів синтезу ШНС такий ФСІА може виконуватися у вигляді фаззи-контролера [8]. При цьому кожний такий агент A_i формується з множини специфікацій SP якісних правил $SP_i = \{R_{i1}, R_{i2}, \dots, R_{ik}\}$, наприклад, у формі: “ЯКЩО вхідній вимозі відповідає множина X значень змінних, ТО відгуковій реакції вектора ідентифікації у фазовому просторі відповідає множина Y ”. Для математичного опрацювання таких правил необхідні операції взаємодії між окремими нечіткими множинами, які належать до частини “ТО”. Тоді продукування рішень для фаззи-контролерів характеризується взаємодією задаваних експертом вхідних і вихідних функцій належності, причому, операції “І” и “АБО” використовуються як зв’язка в правилах у множинах, елементи яких належать до різних основних множин.

Узагальнена модель гнучкої інтелектуалізованої мультиагентної системи вибору ШНС. Наведена на рис. 4 узагальнена модель гнучкої інтелектуалізованої мультиагентної системи (ГІМАС) об’єднує необхідну для формування алгоритму синтезу ШНС і достатню для задоволення вимог з боку розв’язуваних/модельованих прикладних задач сукупність цільових компонент метаідентифікації: АОП_{БМ ШН}, АОП_Г, АОП_Д, АОП_С, АОП_{МН}, АОП_Т – базової моделі штучного нейрона, архітектури, структури, метода навчання, топології ШНС та інших (за переліком НВКО [4]).

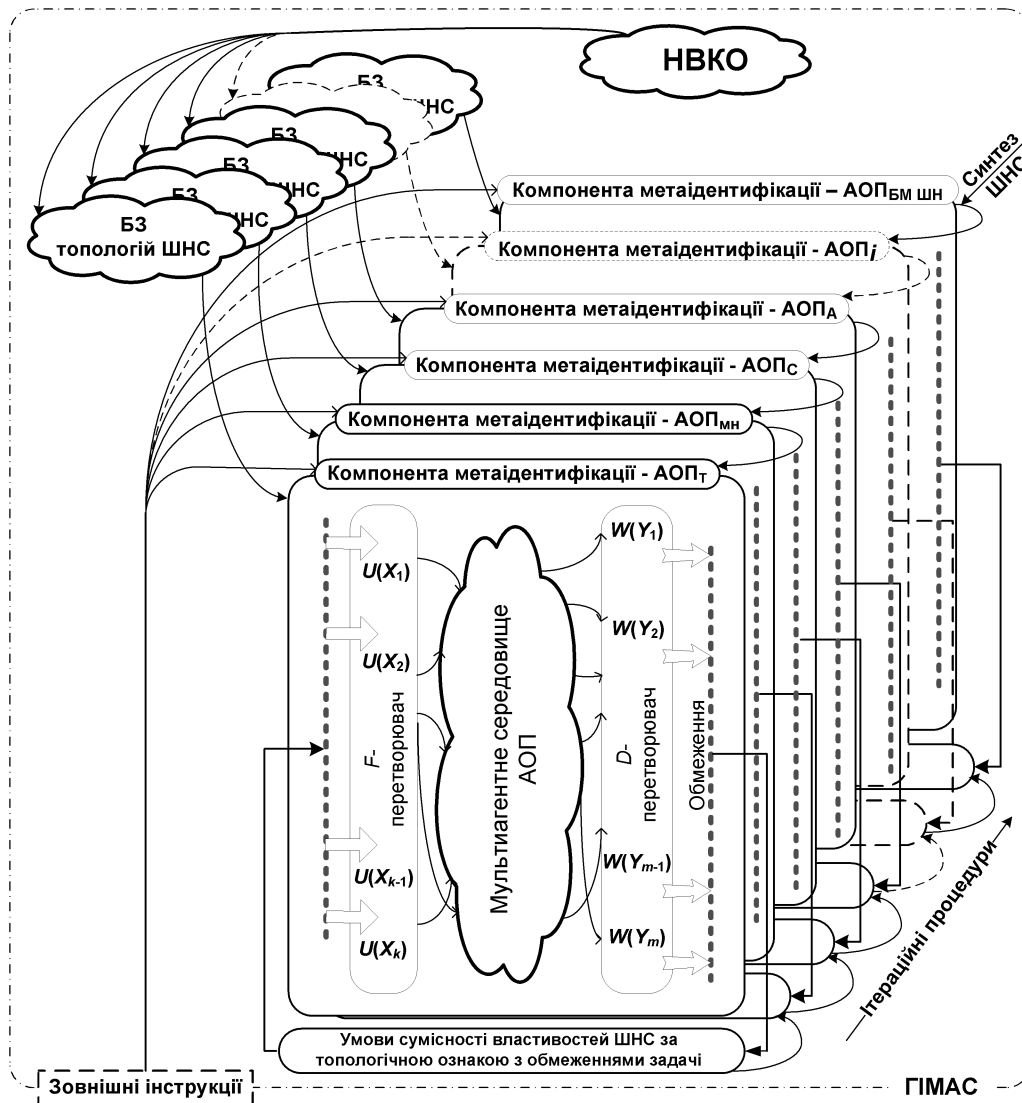


Рисунок 4 – Узагальнена модель ГІМАС вибору ШНС

Означення 22. Гнучка інтелектуалізована мультиагентна система – це сукупність ГІМАК АОП, в якій реалізується модель поетапного синтезу ШНС з такою послідовністю їх перебирання в просторі НВКО, яка, будучи виконувана користувачем і/або внутрішнім ініціюючим джерелом, відтворює принципи агентно-орієнтованого підходу та автономно дозволяє виокремити топологію/топології ШНС, здатну/здатні задовольнити критерії обслуговування властивостей розв’язуваної задачі.

Заключна процедура поетапного синтезу ШНС в ГІМАС зводиться до реляційного перебирання ФСІА умов виконання критеріїв обслуговуваності поточним вектором можливостей конкретної топології ШНС вимог з боку прикладної задачі.

Саме перевірка при реалізації покрокового алгоритму синтезу ШНС виконання умов задоволення певною компонентою АОП вимог/обмежень поставленої задачі найчастіше виявляється причиною появи лінгвістичних невизначеностей, опрацювання яких і потребує використання методів і засобів нейро-фаззі-технологій із залученням для розв’язання проблеми процедур фаззіфікації та дефаззіфікації [8].

Ітераційні процедури дозволяють більш “тонко” відфільтровувати в процесі ідентифікації такі остаточні рішення, які у визначеній обмеженнями задачі мірі задовольняють критерій узгодженості за даною властивістю синтезованої ШНС.

Необхідні компоненти для підтримки процесів ідентифікації на кожному з кроків алгоритму синтезу ШНС надходять з відповідних баз знань (БЗ), а після узгодження з умовами задачі нові реалізації поповнюють ці БЗ, розширюючи таким чином коло прикладних задач, для яких є вже готові розв’язки.

Агентно-орієнтований вибір умов “розв’язувана задача – топологія ШНС”. На рис. 5 наведена УМВТТ, заснована на реляційних відношеннях [3] між окремими компонентами НВКО, формування якого уявляє першу складність реалізації моделі.

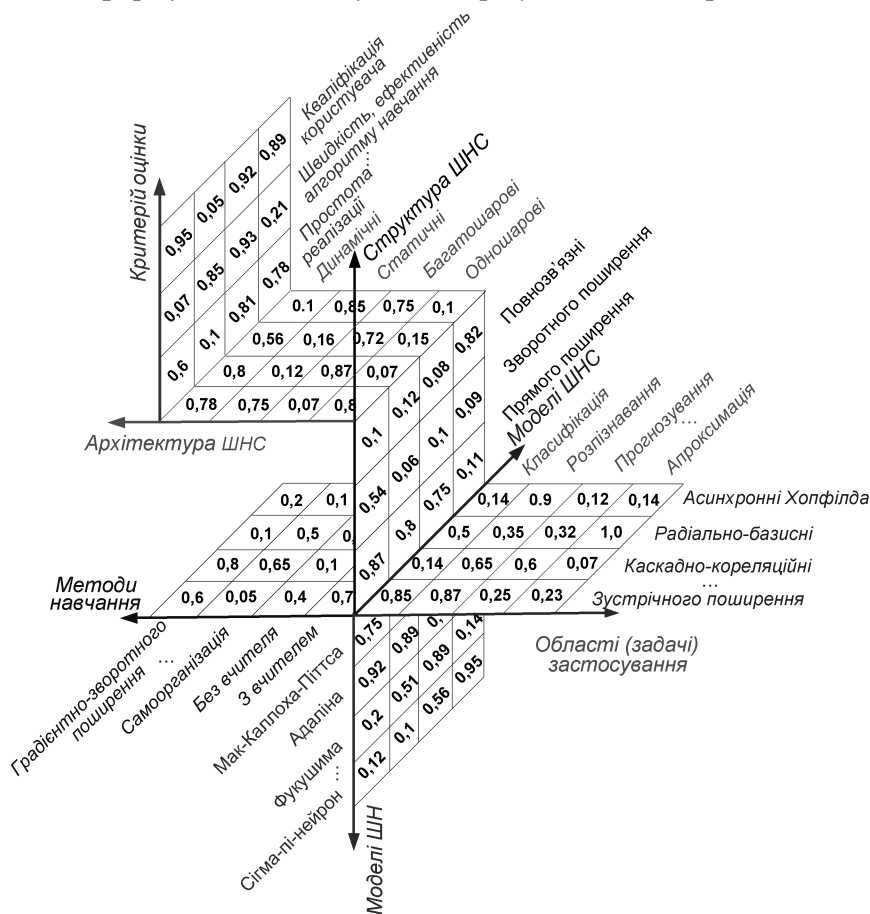


Рисунок 5 – Інтерпретаційна УМВТТ ШНС

Друга складність полягає у кількісному визначенні вагомості реляційних зв'язків між вирішними класифікаційними ознаками і реалізується експертним рейтинговим оцінюванням альтернативних варіантів із застосуванням методів ранжирування та попарних порівнянь [5]. Відповідні дослідження потребують глибоких і ретельних проробок щодо однозначності розв'язання цієї частини задачі адекватного вибору ШНС. На рис. 5 наведені умовні кількісні результати попередніх опрацювань джерельних даних, які, не претендуючи на строгість експертного оцінювання, можна розглядати як приклад загальної методики дій при розв'язанні задачі адекватного вибору ШНС в інтерпретаційній моделі.

Узагальнення та висновки. Можна констатувати, що з найпоширеніших сфер застосування ШНС є *розпізнавання образів*. Це тим важливіше враховувати через те, що у більшості інших застосувань задача розпізнавання, навіть не будучи метою використання у явному вигляді, все ж припускає цю процедуру при надходять на вхід образах з наступною їх класифікацією, кластеризацією тощо.

З іншого боку, будь-яке застосування ШНС для розв'язання прикладних задач асоціюється з механізмом *прийняття рішень при керуванні*, рівно як і прийняття рішень, в свою чергу, базується на перебиранні можливих варіантів і виборі задовольняючого заданий показник ефективності. А це й є визначенням такого стану ШНС, яке відповідає “образу” ефективного керування [2].

Прогнозування можна віднести до так званої “імпровізуючої” властивості ШНС у вигляді узагальнення і виокремлення схованих взаємозв'язків між даними на вході і виході. Інакше кажучи, якщо у вхідній виборці даних є сховані закономірності їх впливу на змінювання даних на виході, то можна використовувати ШНС як *прогнозуючий інструмент*. А вже далі, на підставі цієї прогнозуючої функції, ШНС може приймати рішення при керуванні, в тому числі, і процесом реалізації алгоритму поетапного вибору адекватної модельованій задачі топології, перебуваючи в складі ГІМАС в якості ФСІА.

Твердження 12. В ГІМАС при виконанні етапів синтезу ШНС формування умов переходу до наступної компоненти метаідентифікації може реалізовуватися певними топологіями ШНС з функціями ФСІА.

Отже, реалізація ГІМАК АОП і узагальненої ГІМАС на основі запропонованого *необхідного* для формалізації процесу вибору топології ШНС та *достатнього* для адекватного задоволення вимог (критеріїв оцінки) обслуговуваності з боку модельованої прикладної задачі НВКО, а також узагальнена модель ГІМАС вибору ШНС є основою для автоматизації цього процесу, що дозволить усунути суб'єктивний фактор некомпетентності користувача і реалізувати в автоматизованому виді логічну схему поетапного синтезу ШНС.

Список літератури

1. Барцев С.И. Адаптивные сети обработки информации / Барцев С.И., Охонин В.А. – Красноярск: Ин-т физики СО АН СССР, 1986. Препринт № 59Б. – 20 с.
2. Чернодуб А.Н. Обзор методов нейроуправления / Чернодуб А.Н., Дзюба Д.А. // Проблемы программирования. – 2011. – № 2. – С. 79-94
3. Ямпольский Л.С. Автоматизированные системы технологической подготовки робототехнического производства / Ямпольский Л.С., Калинин О.М., Ткач М.М. – К.: Вища шк., 1987. – 271 с.
4. Ямпольський Л.С. Обґрунтування вибору топологій нейросіток в прикладних задачах // В зб.: Адаптивні системи автоматичного управління. — Дніпропетровськ: Системні технології, № 20 (40). — 2012. — С. 159 - 179
5. Ямпольський Л.С., Ткач Б.П., Лісовиченко О.І. Системи штучного інтелекту в плануванні, моделюванні та управлінні. – К.: ДП «Вид. Дім «Персонал», 2011. – 544 с.
6. Bellifemine F.L., Caire G. and Greenwood D. Developing Multi-Agent Systems with JADE. – Wiley, 2007.

L.S. Jampolskiy

National Technical University of Ukraine «KPI»

Fuzzy iteration metaidentification of an artificial NeuroNets in the multiagent environment

The main purpose of an article consists in a development of the new artificial neuron network's topology determination methodology.

The universal approach of the NeuroNets' satisfactory topology automated choice, which corresponds to the demands of the modeling applied problem (or task), is proposed. The approach's realization based on using of the flexible automated multiagent system with multiobject configuration of its components with the metaidentification's functions. The peculiarities of the system's components interaction in its function are uncovered

metaidentification, neuron network, multiagent environment, topology, fuzzy controller

Одержано 22.04.13

УДК 681.516.54

О. П. Голик, канд. техн. наук, Р. В. Жесан, доц., канд. техн. наук, І. А. Березюк, канд. техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет

Підхід до розв'язання задачі автоматизації процесу керування електропостачанням автономних споживачів в умовах невизначеності

Запропоновано підхід, який полягає у використанні методів та засобів, які б дозволяли системі автоматичного керування приймати рішення на основі знань про ситуації або випадки, які виникали раніше.

електропостачання, автономний споживач, відновлюване джерело енергії, невизначеність, система автоматичного керування

Е. П. Голик, Р. В. Жесан, И. А. Березюк

Кировоградский национальный технический университет

Подход к решению задачи автоматизации процесса управления электроснабжением автономных потребителей в условиях неопределенности

Предложен подход, который заключается в использовании методов и способов, которые бы позволили системе автоматического управления принимать решения на основе знаний о ситуациях или случаях, которые возникали ранее.

электроснабжение, автономный потребитель, возобновляемый источник энергии, неопределенность, система автоматического управления

Вступ. Згідно світових тенденцій широкого розповсюдження надуває перехід від централізованого електропостачання до децентралізованого в різних галузях господарства. Для України такий шлях є, насамперед, раціональним в галузі електропостачання автономних споживачів (АС).

Наразі, енергозабезпечення таких споживачів здійснюється за допомогою центральних енергетичних систем (ЦЕС), які були побудовані ще за часів СРСР. Будь-яке обладнання має свій ресурс роботи, в тому числі й ЦЕС, багато з яких вичерпали цей ресурс або знаходяться на його межі.

Таким чином, при енергозабезпеченні АС виникають наступні проблеми, пов'язані з:

- відсутністю ЦЕС на місцевості;
- відсутністю можливості під'єднання до ЦЕС, внаслідок територіальної розповсюдженості АС та вартості необхідних технічних засобів.

Для розв'язання цієї проблеми слід вже сьогодні впроваджувати відповідні рішення щодо використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ).

До ВДЕ належать енергія сонячна, вітрова, геотермальна, енергія хвиль та припливів, гідроенергія, біомаси, газу з органічних відходів, газу каналізаційно-очисних станцій, біогазів, та вторинні енергетичні ресурси, до яких належать доменний та коксівний газ, газ метан дегазації вугільних родовищ, перетворення скидного енергопотенціалу технологічних процесів [1].

Перераховані вище джерела енергії мають як позитивні, так і негативні якості. До переваг можна віднести територіальну розповсюдженість більшості їх видів, екологічна чистота. Експлуатаційні витрати по використанню ВДЕ не вміщують паливної складової, оскільки енергія цих джерел так би мовити «безкоштовна».

Негативні якості – це мала густина потоку (питома потужність) та мінливість у часі більшості ВДЕ. Перша обставина змушує створювати великі площі енергоустановок, що «перехоплюють» потік енергії, які використовуються (приймаючі поверхні сонячних установок, площі вітроколеса, протяжні греблі приливних електростанцій та ін.). Це призводить до великої матеріалоемності схожих пристроїв, а значить, і до збільшення питомих капіталовкладень у порівнянні з традиційними енергоустановками. Правда, підвищення капіталовкладень згодом окупаються за рахунок низьких експлуатаційних затрат.

Більш повну картину щодо використання ВДЕ можна представити у вигляді, наведеному на рис. 1.

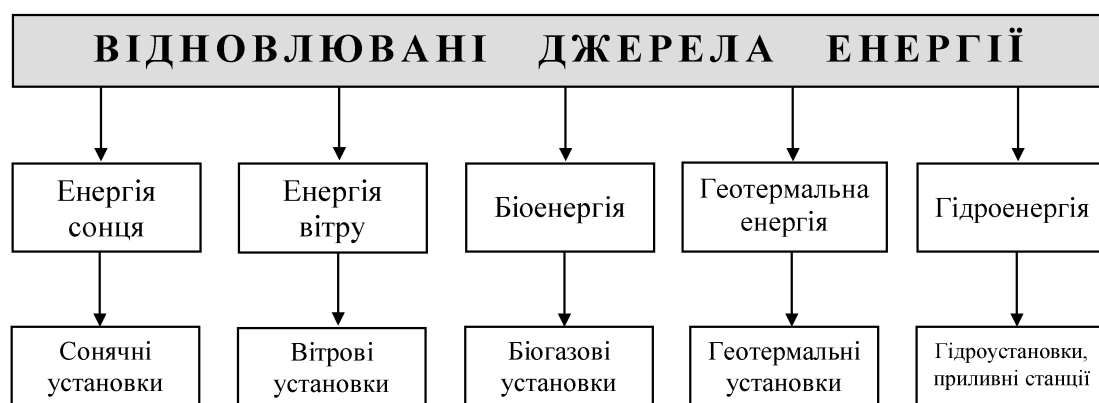


Рисунок 1 – Класифікація ВДЕ та установок для їхнього використання

Вибір того чи іншого ВДЕ для автономного електропостачання (АЕП) залежить від наявності енергетичних ресурсів ВДЕ в місцевості, де розташований АС.

Аналіз та узагальнення світової практики використання ВДЕ для АЕП показав, що доцільним є комбіноване використання ВДЕ разом з традиційними установками на базі двигунів внутрішнього згорання, що дозволяє суттєво економити паливе та знизити витрати на нього, у порівнянні з використанням лише установки з двигуном внутрішнього згорання.

Вимоги до процесу АЕП на основі ВДЕ. Найдоцільнішим способом енергозабезпечення АС є створення власних джерел та систем автономного електропостачання (САЕП).

САЕП на основі ВДЕ повинні відповідати наступним основним вимогам [2-6]:

1. У відповідності до енергетичних потреб забезпечувати необхідну кількість енергії.
2. Забезпечувати необхідну якість електричної енергії (напругу 220 В та частоту 50 Гц).
3. Бути простими та надійними в експлуатації.
4. Бути ремонтпридатними та забезпечувати швидку ліквідацію можливих аварій.
5. Повинні мати системи гарантованого живлення, які призначені для накопичення енергії та надання енергії належної якості.
6. В періоди надходження енергії САЕП повинна, окрім електропостачання АС, забезпечувати накопичення енергії в обсягах, достатніх для випадку відсутності надходження енергії.
7. У випадку відсутності надходження енергії електропостачання здійснювати лише для об'єктів, які мають максимальний пріоритет.
8. Керування САЕП повинно бути автоматизоване і здійснюватись таким чином, щоб максимально ефективно використовувати енергію ВДЕ.

Коротко прокоментуємо деякі вимоги та одночасно відзначимо шляхи їх задоволення.

Забезпечення необхідної кількості енергії, у відповідності до енергетичних потреб, можливе лише при визначенні графіків енергетичних навантажень АС протягом певного періоду та дослідженні кліматичних і метеорологічних умов місцевості, де розташований АС, з метою оцінки наявності та придатності ВДЕ.

Задана якість електроенергії необхідна для нормальної роботи всіх пристроїв та обладнання, для яких здійснюється електропостачання. Підтримання в САЕП показників якості електроенергії в допустимих межах сприяє зменшенню її втрат.

Висока якість електроенергії забезпечується правильним вибором потужностей та кількості енергоустановок, якістю електрообладнання та встановленням необхідних регулюючих та захисних пристроїв.

Наявність в САЕП систем гарантованого живлення дозволяє виконувати надійне та безперервне електропостачання, шляхом включення до її складу систем акумуляування енергії і систем стабілізації та контролю показників якості електричної енергії.

Оскільки САЕП не повинна відволікати споживача (наприклад, фермера) від його основної справи (виробництва с/г продукції) така система повинна бути автоматизована. Автоматизована САЕП повинна виконувати функції перерозподілу енергії від енергоустановок, враховуючи енергетичні потреби в конкретний момент часу. Все це забезпечить максимально ефективне використання ВДЕ для електропостачання АС.

Аналіз останніх досліджень. Дослідженню САЕП на основі ВДЕ, розробці науково-технічних передумов використання ВДЕ для електропостачання АС присвячені роботи: Будзка І. О., Васька П. Ф., Головка В. М., Джуми А., Жесана Р. В., Каплуна В. В., Кирпатенка І. М., Козирського В. В., Кудрі С. О., Ліщинської Т. Б., Плешкова С. П., Праховника А. В., Рєзцова В. Ф., Розанова Ю. К., Сенька В. І., Шидловського А. К., Яндульського О. С. та ін. Однак більшість цих робіт присвячена ефективності та раціональному використанню ВДЕ; методам та способам перетворення ВДЕ в різні види (електрична, теплова); ефективності використання автономних джерел енергії.

В результаті аналізу відомих засобів автоматизації процесу керування АЕП на основі ВДЕ було виявлено, що існуючі наукові розробки не задовольняють всім вимогам, які висувають до процесу. Основною проблемою є неможливість прогнозувати та узгоджувати процес енергоспоживання з процесом електропостачання АС таким чином, щоб керування процесом електропостачання було автоматичне, і при цьому енергетичні потреби АС були максимально забезпечені за рахунок ВДЕ та мінімальним використанням установки з двигуном внутрішнього згорання.

Оскільки, як правило, більшість ВДЕ мають випадковий характер надходження, так само як і енергетичні потреби АС, то можна зробити висновок, що САЕП працює в умовах невизначеності.

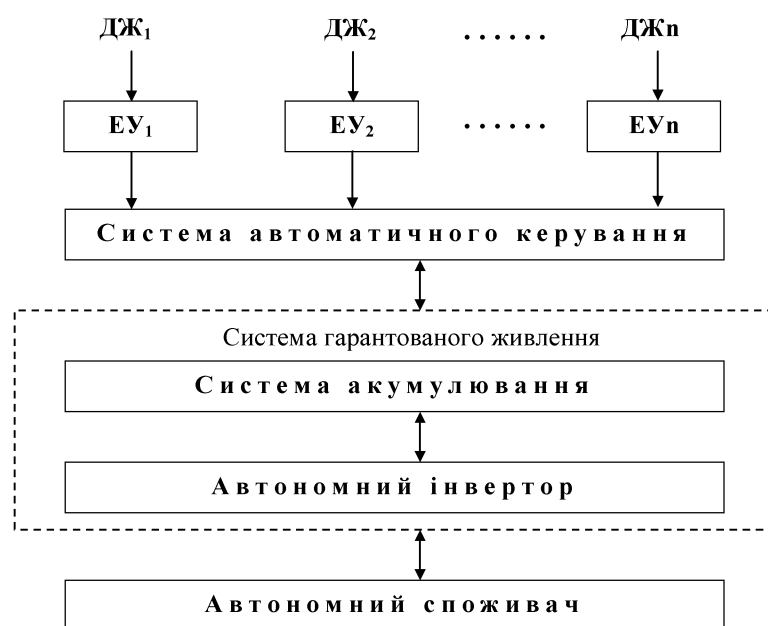
Метою роботи є визначення методів та способів, які дозволяють здійснювати автоматичне керування процесом АЕП в умовах невизначеності.

Постановка задачі. В загальному вигляді структуру САЕП на основі ВДЕ можна представити у вигляді, наведеному на рис. 2 [7].

Система акумуляування має в своєму складі акумуляторні батареї, контролер заряду батарей, зарядний пристрій та ін. автономний інвертор, який входить до складу системи гарантованого живлення, також має у своєму складі стабілізатор напруги, перетворювач струму та інші пристрої, необхідні для надання електроенергії належної якості.

Вибір конкретного типу обладнання в основному залежить від метеорологічних та кліматичних умов місцевості, де планується впроваджувати САЕП, енергетичних потреб та матеріальних ресурсів, якими володіє АС.

Оскільки майже всі елементи САЕП, такі як перетворюючі установки, акумуляторні батареї, автономний інвертор та інше обладнання та периферійні пристрої існують на споживчому ринку, то немає необхідності в їх розробці. Потрібно буде лише обрати відповідні типи обладнання, яке б задовольняло вимогам споживача. Таким чином, виникає задача – розробити систему автоматичного керування (САК) САЕП.



Дж₁, Дж₂, ..., Дж_n – джерела енергії; ЕУ₁, ЕУ₂, ..., ЕУ_n – енергетичні установки

Рисунок 2 – Структура САЕП фермерського господарства

Основною задачею керування процесом АЕП на основі ВДЕ є – визначати, яке джерело енергії необхідно використати для задоволення енергетичних потреб АС в певний момент часу. Таким чином, повинна бути присутня людина-експерт, фахівець в даній галузі, яка має оцінювати та порівнювати кількість енергії, яка необхідна споживачу, з кількістю енергії, що надходить від енергетичних установок в даний момент часу. Після чого експерт повинен прийняти рішення щодо використання того чи іншого джерела енергії, яке здатне в даний момент часу задовольнити енергетичні потреби АС. Оскільки енергетичні потоки джерел енергії та енергетичні потреби АС мають випадковий характер надходження, то людині-експерту досить складно своєчасно прийняти відповідне рішення, що призводить до аварійних відключень системи і, як наслідок, неможливості забезпечити енергетичні потреби АС та раціонально використовувати джерела енергії.

Світова практика показала що, доцільним є функцію людини-експерта виконувати за допомогою САК.

Підхід до розв'язання задачі. Метою створення будь-якої САК є керування поведінкою об'єкта керування, у якості якого може виступати пристрій (сукупність пристроїв) або динамічний процес, в нашому випадку САК повинна виконувати перерозподіл генерованої енергії від енергоустановок до АС, у відповідності з його енергетичними потребами. Тобто, можемо сказати, що об'єктом керування в даній САЕП є – процеси виробництва та споживання електричної енергії в умовах електропостачання АС від ВДЕ.

Таким чином, вхідними параметрами об'єкта керування є:

- кількість енергії, яка потрібна АС (енергетичні потреби);
- кількість енергії, що генерується енергоустановками (енергетичні потоки).

Вихідним параметром є вибір енергетичного потоку (або потоків), який може в даний момент часу забезпечити енергетичні потреби АС.

Аналіз різних «класичних» методів побудови математичної моделі об'єкта керування показав, що за їх допомогою неможливо створити цілком адекватну математичну модель, пояснюється це наступним чином.

«Класичні» підходи до автоматичного керування полягають в тому, що можна отримати складну, але точну аналітично задану форму функціональної залежності вхідних та вихідних сигналів системи керування з подальшим уточненням значень коефіцієнтів, що в неї входять. Однак використання таких методів керування розповсюджується, як правило, на прості об'єкти керування, які мають очевидні властивості, тобто об'єкти, які не складно формалізувати. На практиці типовими є об'єкти керування, які складно формалізувати. Їх властивості апріорі погано відомі або змінюються в процесі функціонування. Внаслідок недостатньої кількості інформації про об'єкт та середовище, в якому він функціонує, спроби отримати точну модель поведінки такого об'єкта не представляється можливим.

В останній час активно розвивається «некласичний» підхід до теорії керування. Цей підхід пов'язаний з використанням алгоритмів та методів інтелектуального керування на основі нечіткої логіки, нейронних мереж та генетичних алгоритмів.

Оскільки вхідні параметри об'єкта керування неможливо описати за допомогою «класичних» методів (внаслідок стохастичної зміни даних параметрів у часі), то можна використати методи, які б дозволяли САК приймати рішення на основі знань про ситуації або випадки (прецеденти), які виникали раніше. Таким чином, при розгляданні нової проблеми (поточного випадку) відшуковують схожий прецедент. Замість того щоб кожний раз шукати розв'язок спочатку, можна спробувати використати рішення, яке було прийнято в схожій ситуації, можливо адаптувавши його до поточного випадку.

У ситуації, коли відомих параметрів об'єкта керування та оточуючого середовища недостатньо для однозначного визначення поведінки цього об'єкта,

керування необхідно здійснювати не за параметрами об'єктами, а за його станом, який більш повно визначає тенденцію його подальшої поведінки. При цьому виникає необхідність у ідентифікації стану об'єкта керування за його відомими параметрами. В даному підході розглядаються ситуації коли замість точного вигляду математичної моделі об'єкта керування доступна тільки апріорна інформація про стани об'єкта керування, керуючих впливах на нього та результатах дій.

В методах прийняття рішень за прецедентами, інформація про стан об'єкта – це опис проблеми, а видача керуючого впливу є розв'язанням проблеми. Тоді результат керуючого впливу необхідно розглядати як результат використання рішення. Це означає, що пропонується підхід до інтеграції методів видобутку даних, виведення на основі прецедентів та адаптивного керування в єдиній самонавчальній системі, що дозволяє керувати об'єктами, які складно формалізувати.

В такому підході стан об'єкта керування порівнюється з прецедентами з раніше накопиченої бази даних. На основі деякої міри близькості обирається один із схожих прецедентів. Керуючий вплив використовується напряду або адаптується до поточного випадку, виходячи з міри близькості прецеденту. Результат діяння також прогнозують по прецеденту. Підсумок впливу заноситься в базу прецедентів для подальшого використання. Одночасно ставиться і більш часткова задача вибору міри близькості для визначення подібності об'єкта керування з прецедентами. Шукана міра близькості повинна сприяти обмеженню перебору можливих варіантів при виборі керуючих впливів.

Метою розв'язання задачі керування є виявлення способу зміни в часі вхідних параметрів, при яких вихідні параметри забезпечували б поставлену мету керування. При такому підході ми можемо опиратись лише на ті дані про об'єкт керування, які доступні у відповідний момент часу (ці дані можуть змінюватись в результаті оновлення інформації під час керування), та забезпечують виконання певних загальних вимог протікання процесу керування.

Тобто, САК повинна виконувати перерозподіл енергії від енергоустановок згідно енергетичних потреб АС. Оскільки енергетичні потоки та енергетичні потреби мають стохастичний характер надходження, то САК доводиться приймати рішення в умовах значної невизначеності.

Таким чином, пропонується підхід до розв'язання задачі автоматизації процесу керування електропостачанням АС від ВДЕ, який полягає у використанні методів, які б дозволяли системі автоматичного керування приймати рішення на основі знань про ситуації або випадки, які виникали раніше, зокрема, методи нечіткої логіки з нейромережною адаптацією.

Для створення САК процесом АЕП на основі ВДЕ, з використанням методів нечітких множин та нейронних мереж, необхідно попередньо провести навчання нейронної мережі.

Для цього необхідно володіти інформацією про діапазони зміни вхідних та вихідних параметрів об'єкта керування.

З метою визначення діапазонів зміни цих параметрів необхідно проводити аналіз можливостей задоволення енергетичних потреб АС та встановити взаємозв'язок між процесами енергоспоживання та електропостачання АС.

Для встановлення даного взаємозв'язку необхідно володіти інформацією про кількість енергії, що потрібна споживачу, та кількість енергії, що надходить від енергетичних установок в певні моменти часу.

Інформацію про кількість енергії, що необхідна споживачу, отримують шляхом визначення кількості, потужності та тривалості роботи електроприймачів у АС.

Для визначення кількості енергії, що генерують енергоустановки, необхідно володіти інформацією про потужності енергоустановок в умовах, де розташований АС.

Потужність енергетичних установок залежить від енергетичних потенціалів джерел енергії, тому необхідно проводити дослідження кліматичних та метеорологічних умов місцевості, де знаходиться АС.

Висновки. В результаті проведених досліджень обґрунтовано ефективний підхід до розв'язання складної науково-технічної задачі – автоматизації процесу керування АЕП на основі ВДЕ. Запропонований підхід відрізняється від відомих тим, що використання математичного апарату нечіткої логіки з нейромережною адаптацією, який було використано для створення САК, дозволило прогнозувати та узгоджувати процеси енергоспоживання та електропостачання АС від ВДЕ.

Запропонований в роботі підхід до розв'язання задачі автоматичного керування процесом АЕП на основі ВДЕ, може бути використаний для автоматизації процесу керування електропостачанням будь-яких об'єктів, які використовують для електропостачання різноманітні автономні джерела енергії.

Список літератури

1. Закон України «Про альтернативні джерела енергії» № 555-IV від 20.02.2003 року (із змінами, внесеними згідно із Законом № 601-VI (601-17) від 25.09.2008 р., Відомості Верховної Ради України, 2009, № 13).
2. Васильев Ю. С. Экология использования возобновляющихся энергоисточников / Васильев Ю. С., Хрисанов Н. И. – Л.: ЛГТУ, 1991. – 343 с.
3. Ганелин А. М. Экономия электроэнергии в сельском хозяйстве / Ганелин А. М. – М.: Колос, 1983. – 141 с.
4. Использование энергии Солнца и ветра в сельском хозяйстве Украины / [Корчемный Н. А., Машевский В. П., Головкин В. М., Макиевская В. Е.] – К.: Облполиграфиздат, 1989. – 102 с.
5. Будзко И. А. Электроснабжение сельского хозяйства / Будзко И. А., Зуль Н. М. – М.: Агропромиздат, 1990. – 496 с.
6. Правила устройства электроустановок. – Х.: Изд-во «Форт», 2009. – 704 с.
7. Голик О. П. Пошук оптимальних рішень щодо комбінацій енергетичних потоків у автоматизованій системі керування автономним енергопостачанням на основі відновлюваних джерел енергії в умовах невизначеності / О. П. Голик, Р. В. Жесан, Т. Ф. Шмельова // Управление, автоматизация и окружающая среда [Текст]: Материалы международной науч.-техн. конф., Севастополь, 24-28 мая 2010 г. / М-во образования и науки Украины, Севастоп. нац. техн. ун-т [и др.; редкол.: Пашков Е. В. (предс.) и др., науч. ред. Барабанов А. Т.] – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2010. – С. 214-218.

O Golik, R Zhesan, I Berezyuk

Kirovograd National Technical University, Kirovograd

Going near the decision of task of process control of automation the power supply of autonomous users in the conditions of vagueness

The purpose of the article is determination of methods and methods which allow to carry out automatic control of power supply a process in the conditions of.

Offered approach differs from known that the use of mathematical vehicle of fuzzy logic is with neuron adaptation, which was used for creation of the system of automatic control, allowed to forecast and coordinate the processes of energy consumption and power supply of autonomous users from refurbishable energy sources.

Offered approach in-process near the decision, can be used for automation of process of management the power supplies of any objects, which use different autonomous energy sources for a power supply.

power supply, autonomous user, refurbishable energy source, vagueness, system of automatic control

Одержано 10.04.13

УДК 621.311

В.П. Калинин, доц., канд. техн. наук, М.Т. Кокорина, асп.

Институт энергосбережения и энергоменеджмента, Национальный технический университет Украины «Киевский Политехнический Институт»

Оценка рисков генерации энергии из возобновляемых источников

В работе приведена классификация рисков, которые могут возникнуть в процессе работы предприятий энергетической отрасли. Для анализа использован метод анализа сетей, разработанный Т. Саати. Метод позволяет определить, какая из стратегий является приоритетной в общем процессе оценки рисков, а также, какая стратегия наиболее приемлема для группы и отдельных рисков. Проведен анализ рисков по трем стратегиям: принятие, перенос и уменьшение риска.

оценка рисков, возобновляемая энергетика, метод анализа сетей

В.П. Калінчик, М.Т. Кокоріна

Институт энергосбережения та енергоменеджменту, Національний технічний університет України «Київський Політехнічний Інститут»

Оцінка ризиків генерації енергії з відновлюваних джерел енергії

У роботі наведено класифікацію ризиків, які можуть виникнути в процесі роботи підприємств енергетичної галузі. Для аналізу використано метод аналізу мереж, розроблений Т. Саати. Метод дозволяє визначити, яка із стратегій є пріоритетною в загальному процесі оцінки ризиків, а також, яка стратегія найбільш прийнятна для групи і окремих ризиків. Проведено аналіз ризиків за трьома стратегіями: прийняття, перенесення і зменшення ризику.

оцінка ризиків, відновлювана енергетика, метод аналізу мереж

Функционирование генерирующих компаний на рынке энергии Украины в новых конкурентных условиях неизбежно сопровождается наличием неопределенности и, как следствие, различных видов рисков. Опыт оценки рисков энергетических компаний с целью повышения финансовой устойчивости и инвестиционной привлекательности компаний невелик. Риски и неопределенности возникают во всех проектах связанных с энергетикой, особые сложности имеют проекты возобновляемой и нетрадиционной энергетики. Риски имеют сильное влияние на каждой стадии проекта – начиная с концепции проекта, технико-экономического обоснования, проектирования и планирования, проведения торгов и тендеров, строительстве и на этапе функционирования [1].

Исследование сущности рисков, выявление их причин и классификацию проводили Дж.М. Кейнс, М. Фридмен, Ф. Найт, А. Маршалл, Д. Мессен, А.П. Альгин, П.К. Грабовый, Р.М. Качалов. Вопросами поиска оптимальных критериев классификации рисков в энергетике занимаются Бейден С., Н.В. Хохлов, Н.В. Клочкова, В. П. Розен, В.А. Белобров, В.И. Эдельман и др. Однако в работах исследователей не рассмотрены вопросы функционирования энергетических предприятий с учетом использования возобновляемых и нетрадиционных источников энергии.

Целью данной работы является определение и оценка набора групп и подгрупп рисков, которые могут возникнуть в процессе работы предприятий энергетической отрасли.

В современной литературе по риск-менеджменту приводятся различные варианты классификации рисков. Подавляющее большинство авторов выделяет

следующие риски: организационные, рыночные, кредитные, юридические, технико-производственные риски.

В случае энергогенерирующих компаний, данные критерии не позволяют охватить все множество рисков. Существует масса других рисков, связанных, например, с операционной деятельностью, влиянием на окружающую среду и т.д.

Поэтому большинство рисков компаний, оперирующих на рынке электроэнергии, по мнению авторов, могут быть разделены на 9 групп или кластеров: рабочий персонал, операционные, собственность, окружающая среда, законодательство, финансовые, рынок, стратегические и политические риски. Они оцениваются по возможности использования одной из трех стратегий – уменьшение риска, перенос риска и принятие риска.

В процессе оценки рисков и анализа решений широко применяется метод анализа сетей (МАС), разработанный Т.Саати [2]. Метод используется для оценки ключевых факторов риска и анализа последствий выбранных альтернативных решений. Также МАС позволяет внедрять различные факторы и критерии – материальные и нематериальные – которые характеризуют оценку рисков. В методе анализа сетей не накладываются ограничения на виды зависимостей между элементами модели. Ключевым понятием в рамках данного метода является влияние, т.е. воздействие одного элемента на другой [3].

МАС представляет собой универсальную теорию измерений влияния в шкале отношений с учетом зависимостей и обратных связей. Сеть представляет собой набор компонентов, которые являются аналогами уровней в иерархии. Компоненты, связанные направленными дугами, могут располагаться в произвольном порядке. В процессе парных сравнений объектов в одном компоненте выявляется доминирование влияния элементов пары на третий элемент, принадлежащий этому или другому компоненту. Кроме того, в сетевых задачах компоненты могут рассматриваться как взаимодействующие объекты, которые влияют друг на друга относительно некоторого критерия или свойства более высокого порядка. Критериями для проведения сравнений являются либо элементы уровней, либо неявно сформулированная главная цель. При сравнении элементов в сетях задается вопрос: какой из двух объектов сильнее влияет на некоторый третий объект в смысле управляющего критерия[2].

В методе аналитических сетей выделяются две части. Первая – это выбор управляющих критериев с построением управляющих иерархий и сетей. Вторая – построение сетей взаимного влияния элементов и кластеров. Для каждого управляющего критерия строится своя сеть. Формирование кластеров, элементов и связей осуществляется экспертами и лицами принимающими решение (ЛПР) в рамках конкретной предметной области.

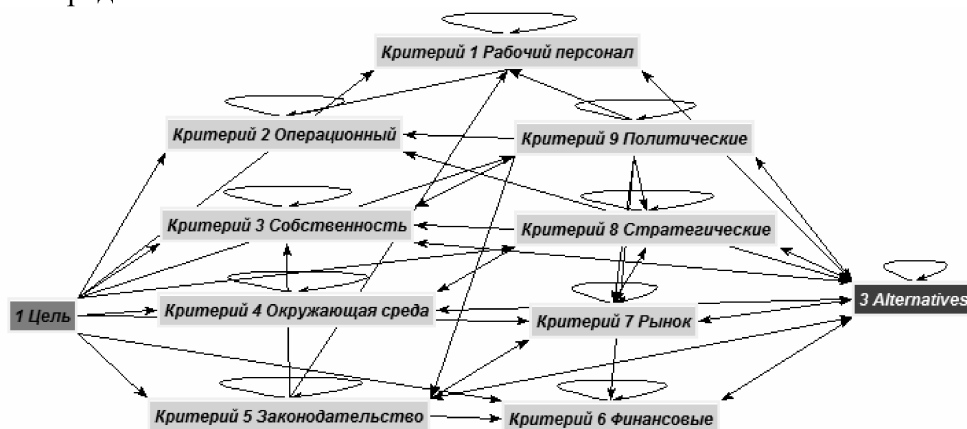


Рисунок 1 – Схема сетевой задачи анализа рисков возобновляемой энергетики

На рисунке 1 представлена схема сетевой задачи, которая показывает связи (влияние) между группами рисков и альтернативами. Стрелка от одного кластера к другому показывает, что все или некоторые элементы первого кластера влияют на все или некоторые элементы второго кластера. Круговые циклы соответствуют взаимному влиянию между элементами одного кластера

Для более точного анализа каждый из 9 кластеров-критериев содержит набор рисков (табл. 1).

Таблица 1 – Классификация рисков

Группа риска	Риски[4], [5]
1. Рабочий персонал	1.1. Квалификация и опыт 1.2. Безопасность работы 1.3 Забастовки 1.4 Ошибки и потеря поставщиков
2. Операционный	2.1 Поломка установки 2.2 Погодные условия 2.3 Увеличение дисбаланса сети 2.4 Доступность сервиса для технического оборудования 2.5 Подключение к сети 2.6 Неверный выбор технологического оборудования 2.7 Нерегулярные профилактика и ремонт 2.8 Возникновение отклонений в информационных системах и системах внутреннего контроля
3. Собственность	3.1 Внешняя безопасность установок и производственных объектов 3.2 Кредитный риск 3.3 Пожарная безопасность
4. Окружающая среда	4.1 Нарушение естественного обитания животных и птиц 4.2 Визуальное и шумовое загрязнение
5. Законодательство	5.1. Изменение в энергетической политике 5.2 Изменение тарифов 5.3 Ответственность за качество продукции 5.4 Ограничение торговли 5.5 Иски акционеров 5.6 Ограничение государственного субсидирования 5.7 Риски антимонопольного регулирования 5.8 Регулирования в области безопасности
6. Финансовые	6.1 Увеличение эксплуатационных затрат 6.2 Нарушение условий контракта 6.3 Инфляция 6.4 Дефолт
7. Рынок	7.1 Потеря клиентов 7.2 Увеличение конкуренции 7.3 Снижение спроса на продукцию
8. Стратегические	8.1 Разработка и воплощение неверных бизнес-решений 8.2 Неспособность управленческого аппарата принимать правильные решения с учётом изменений внешних факторов.
9. Политические	9.1 Политическая нестабильность 9.2 Изменение таможенной политики

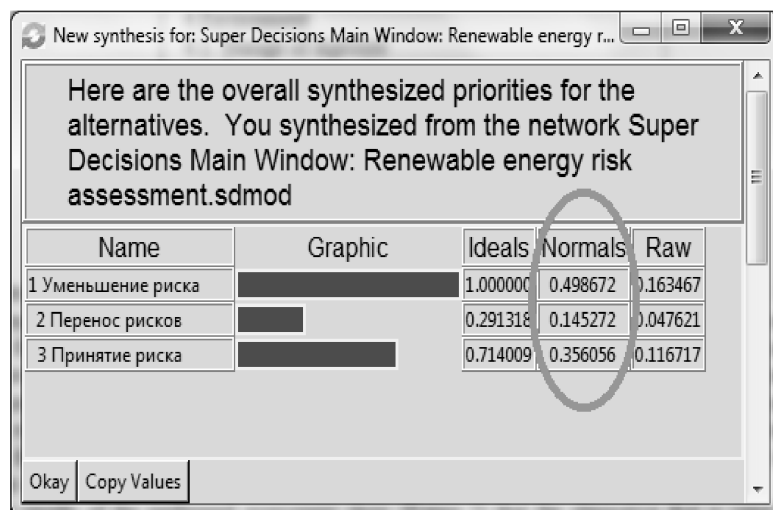
Данная система оценки рисков также включает 3 альтернативы, которые находятся на одном уровне с девятью кластерами: уменьшение риска, перенос риска и

принятие риска. Эти альтернативы определяют возможный выбор при оценке рисков. Для анализа и определения наиболее приоритетных альтернатив как для модели в целом, так и для групп и отдельных рисков с помощью MAC используется программное обеспечение Super Decisions [6].

Исходя из рис. 1 и табл.1 политические риски имеют влияние на все кластеры помимо рисков окружающей среды. Политическая нестабильность влияет на забастовки рабочих и потерю поставщиков оборудования, комплектующих и т.д. Относительно операционных рисков, политическая нестабильность имеет влияние на процессы подключения к сети неверный выбор технологического оборудования и увеличение дисбаланса сети, например в связи с забастовками персонала и т.д. Все группы рисков и альтернативы имеют внутреннюю зависимость – один элемент кластера влияет на другие элементы данного кластера, например риск «7.2 увеличение конкуренции» в кластере «Рынок» имеет непосредственное влияние на риски «7.1 Потеря клиентов» и «7.3 Снижение спроса на продукцию», так как это взаимосвязанные процессы.

После определения влияния кластеров и узлов, производится экспертная оценка рисков. В MAC интенсивность влияния оценивается экспертами с помощью процедуры попарного сравнения. Техника попарного сравнения наиболее универсальный метод измерения, так как он может быть использован при отсутствии или разных единицах измерения и стандартов. Сравнение двух объектов по отношению к общему атрибуту (критерию или др.) эксперт определяет относительное предпочтение одного объекта над другим, выбирая подходящую оценку из фундаментальной шкалы, например шкала относительной важности Саати. В таком случае важность или значимость одного элемента над другим может быть измерена [7].

Ключевые результаты проведенных попарных сравнений (рис. 2), показывают, что альтернатива, имеющая наивысшую оценку 0,499– это уменьшение рисков.



Возможность уменьшения последствий возникновения рисков, относящихся к данной альтернативе является наиболее приоритетной для ЛПП. Риски, вероятность возникновения которых невозможно ни уменьшить ни делегировать, находятся на втором месте (приоритет 0,356). Риски, которые могут быть перенесены или делегированы другим ответственными лицам имеют наименьшее значение 0,145.

Рисунок 2 – Ключевые результаты оценки альтернатив

На рис. 3 изображено соответствие альтернатив группам риска. Как видно из диаграммы, риски связанные с рабочим персоналом, возможно уменьшить (0,453), например нанимая на работу квалифицированный персонал или улучшая безопасность сотрудников. Но также существуют риски, которые должны быть приняты (0,428) такие как забастовки и потеря поставщиков. Шесть рисков, такие как, рабочий персонал (0,453), операционный (0,573), собственность (0,602), окружающая среда (0,664), рынок (0,740) и стратегические (0,707) имеют большой потенциал для уменьшения по сравнению с другими альтернатива. В группе политических рисков

очень высокое значение имеет альтернатива принятия риска (0,809), также как и законодательных рисков(0,602), это значит, что ни компания ни ЛПР не могут повлиять на решения и законы принимаемые государством. Рыночные риски могут быть уменьшены на 74% за счет верного маркетингово плана, эффективного продвижения продукта и плана продаж.

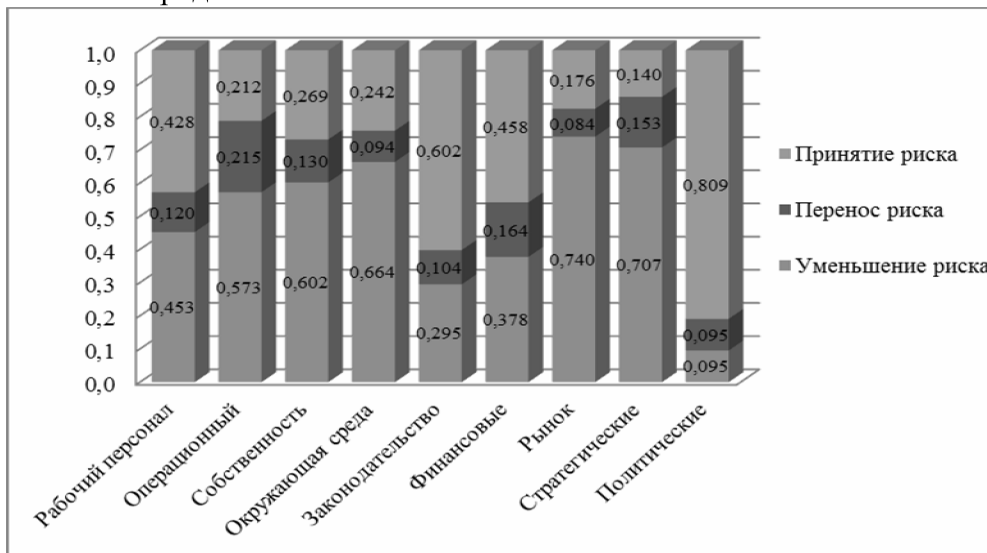


Рисунок 3 – Соответствие альтернатив группам риска

Влияние групп рисков на систему в целом также имеют различные значения (рис. 4). Наибольшее влияние на систему имеют два кластера: операционный (0,267) и политический (0,258). Влияние группы операционных рисков связано с функционирование и бесконечными рабочими циклами производства и энергосистемы в целом, что влечет за собой постоянный риск поломок, дисбаланса сети, перебои поставки энергоресурсов, комплектующих и т.д. Группа политических рисков влияет на процессы производства энергии из возобновляемых и нетрадиционных источников энергии со стороны нестабильной политической, налоговой, законодательной систем, что в итоге отпугивает потенциальных инвесторов и т.д.

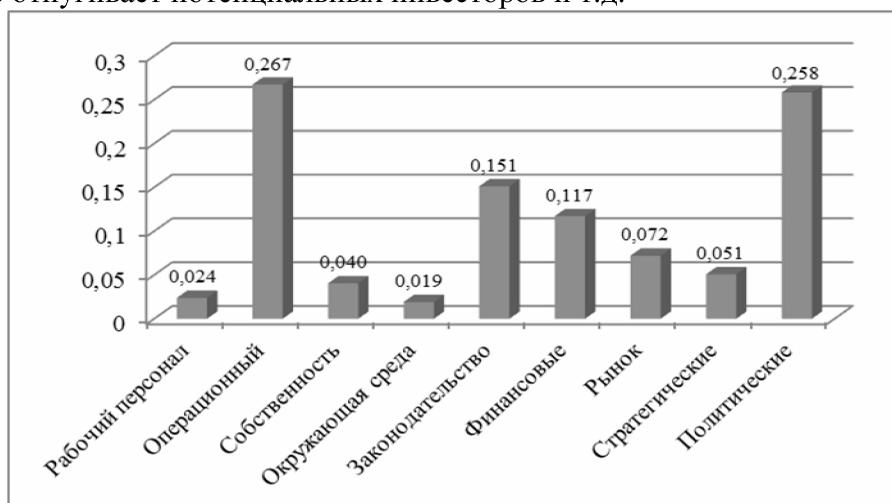


Рисунок 4 – Влияние критериев

Выводы

Использование метода аналитических сетей Саати в риск-менеджменте дает возможность провести оценку рисков с учетом не только материальных, но и

нематериальных факторов, а также учесть множество зависимостей между рисками и альтернативами.

В данной работе проведено оценку 9 групп рисков связанных как с внедрением проектов возобновляемой энергетики, так и функционирование производств. Исходя из проведенной оценки, можно сделать выводы, что большинство рисков, такие как рабочий персонал, операционный, собственность, окружающая среда, рынок и стратегические могут быть уменьшены. Но законодательные и политические риски должны быть приняты.

Список литературы

1. С. Кумпайсал, З. Чен. Оценка рисков недвижимости: Применение метода анализа сетей. Ливерпуль, Великобритания.
2. Саати Томас Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети. Пер. с англ. / Науч. ред. А. В. Андрейчиков, О. Н. Андрейчикова. — М.: Издательство ЛКИ, 2008. — 360 с.
3. Д. Эргу, Г. Коу, Я. Ши. Метод анализа сетей в оценке рисков и анализе решений. Компьютеры и исследование операций. Китай, март 2011.
4. Х. Клейн, В. Ружгрок. Моделирование рисков инвестиций в возобновляемую энергетику. Нидерланды, июль 2004.
5. О.С. Павлова. Риск-менеджмент на российских энергетических предприятиях// Вестник научно-технического развития.- 2011.- № 6 (46).- С. 34-43.
6. Программное обеспечение Super Decisions: <http://www.superdecisions.com>
7. Саати Томас Л. Основы метода анализа сетей. Япония, Август 1999.

V. Kalinich, M. Kokorina

Institute for Energy Saving and Energy Management, National Technical University of Ukraine "Kiev Polytechnic Institute"

Risk assessment of energy generation from renewable energy sources

The aim of this work is to identify and evaluate a set of risk groups and subgroups that may occur in energy industry.

This article provides a classification of risks that may occur in renewable energy. Risk analysis made by using the Analytic Network Process (ANP) and corresponding software Super Decisions, developed by T. Saaty. The method allows to determine what strategy has more priority in the overall process of the risk assessment, and which strategy is most appropriate for the group or certain risks. The risk assessment made by using the following strategies: to reduce risks, to transfer risks, and to undertake risks.

Nine group of risks in renewable energy production were analyzed: personnel, operational, property, environmental, legislative, financial, market, strategic and political risks.

risk assessment, renewable energy, Analytic Network Process

Одержано 22.05.13

УДК 621.73 (035)

**В. М. Боков, проф., канд. техн. наук, М. І. Попова, доц. канд. техн. наук,
Р. С. Лисенко, магістрант**

Кіровоградський національний технічний університет

Використання осіннього листя для виготовлення альтернативних видів палива

Розроблено маловитратну технологію пресування брикетів із осіннього листя, та вперше запропоновано, досліджено і розроблено технологію прямого видавлювання із них пеллет. **осіннє листя, пеллети, брикети, здрібнювання, пряме видавлювання, пресування в закрити матрицю, густина листя після пресування, оснащення, випробування на горіння**

В. М. Боков, М. И. Попова, Р. С. Лысенко

Кировоградский национальный технический университет

Использование осенних листьев для изготовления альтернативных видов топлива

Разработано малозатратную технологию прессования дров из осенних листьев, и впервые предложено, исследовано и разработано технологию прямого выдавливания из них пеллет. **осенние листья, пеллеты, брикеты, измельчение, прямое выдавливание, прессование в закрытую матрицу, плотность листьев после прессования, приспособления, испытание на сгораемость**

Обґрунтування напрямку дослідження. Дрова, як паливо, можна отримати із листя шляхом пресування. За даними [1] працює компанія BioFuels International, яка перетворює опале листя в поліна. В кінцевий продукт (перед пресуванням) додають 30 % воску, який є речовиною, що зв'язує та додатковим пальним. В наслідок додавання воску, вартість 10 полінів (12 кг) складає 56 \$. Зрозуміло, що така ціна полінів неприйнятна на Україні.

В роботі розвивається ідея пресування дров із опалого листя без додавання воску. З фізичної точки зору, отримання *твердого* брикету із листя без використання речовин, що з'єднують, означає зближення окремих елементів клітковини до такої відстані, коли починають діяти міжмолекулярні та міжатомні зв'язки. Це можливо здійснити лише методом пресування з використанням відносно великих тисків. При пресування по-суті відбувається безперервне підвищення густини клітковини. В природі густина порід дерев лежить в межах від 0,14 до 1,33 г/см³ [2, с. 536]. З великою імовірністю можна стверджувати, що для отримання *твердого* брикету із листя треба досягти при пресуванні густини, що відповідає більш твердим породам ($\rho > 1$ г/см³). Доцільність цього підтверджується тим, що твердий брикет з більшою густиною, при рівних розмірах, має більшу масу, отже більшу кількість речовини, що горить.

Крім того, дрова із опалого листя, на нашу думку, можна отримувати у вигляді пеллет. Пеллети принципово відрізняються від твердих брикетів як формою (круглі стержні діаметром 5...10 мм, довжиною 10...50 мм), так і густиною (густина пеллет як правило не перевищує 1 г/см³). Пеллети із тирси, тріски, лузги соняшника, соломи зернових є сьогодні альтернативою твердому паливу – вугіллю – в розвинутих країнах, зокрема в країнах Європи. Але інформація, щодо виготовлення пеллет із опалого листя в Україні, в Європі і в світі, відсутня. На нашу думку, це – привабливий напрямок розвитку енергетики.

Мета роботи: розробка маловитратної технології виготовлення дров (брикетів та пеллет) із опалого листя без додавання сторонніх речовин, зокрема воску. Це дасть можливість значно (приблизно у 90...100 разів) зменшити ціну дров, що суттєво для центрального регіону України.

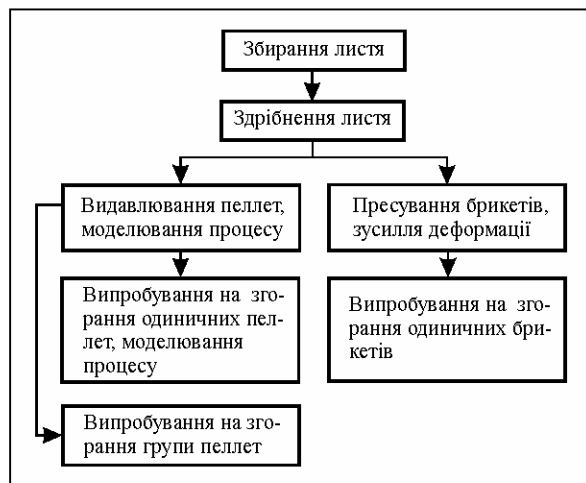
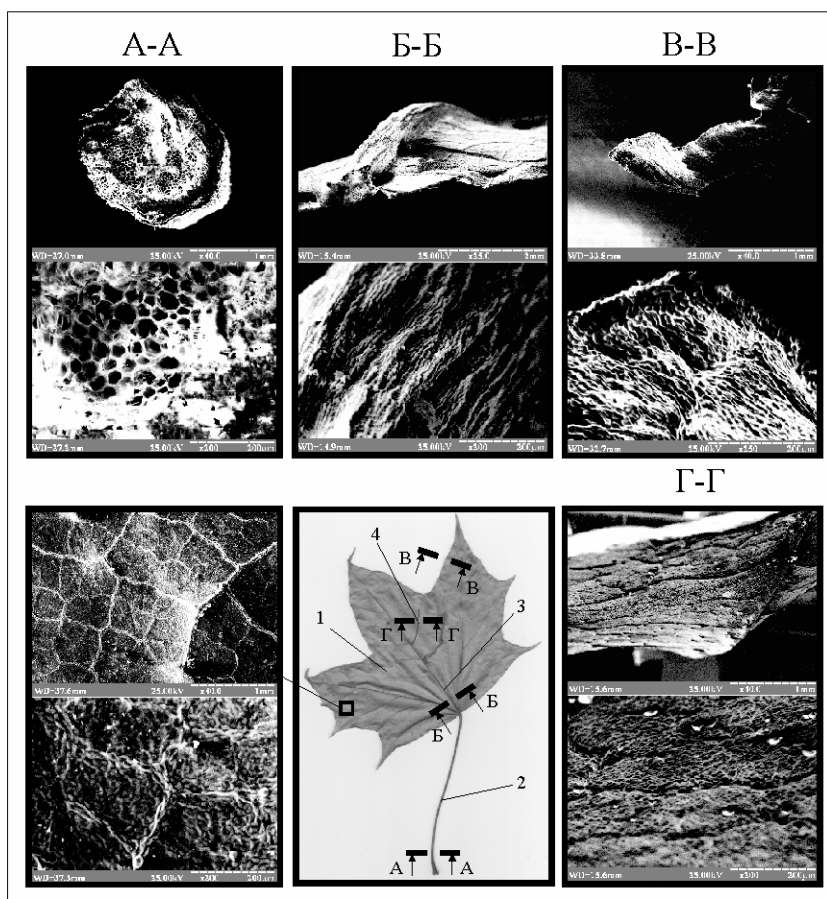


Рисунок 1 - Послідовність дослідження

Задачі та методика дослідження. З урахуванням технології виготовлення, методика експериментального дослідження процесу виготовлення дров із опалого листя включає в себе етапи, що наведені на рис. 1.

Результати дослідження. Для виготовлення пеллет та брикетів використовувалося опале листя клену. Густину мокрого листя у мішку (густину сировини) визначали як середнє арифметичне від густини листя в п'яти мішках. Вона становила $0,14 \text{ г/см}^3$.



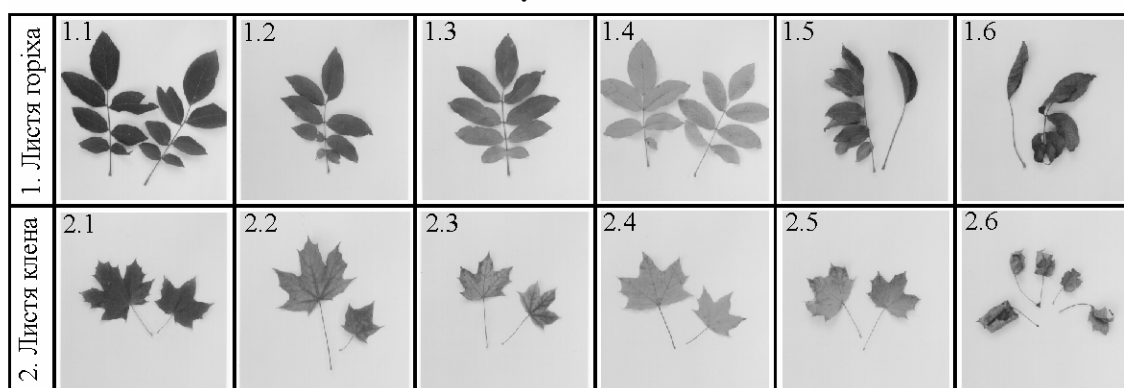
1 - пелена; 2 - ніжка; 3, 4 - капілярні потовщення, відповідно I та II порядку
Рисунок 2 - Структура осіннього листя клена у фрактографіях його елементів

Як бачимо, некомпактне осіннє листя займає великий об'єм. Крім того, осінній лист, зокрема лист клена, за своєю структурою неоднорідний (рис. 2): плоска пелена, товщина якої не перевищує 0,1 мм; відносно тверда ніжка, діаметр якої лежить в межах від 1 до 2 мм; відносна жорсткість листа, що характеризується відношенням найбільшої

її ширини до товщини пелени, досягає 2000; на пелені листа віялоподібно відходять від ніжки затверділі капілярні потовщення (товщиною до 0,5 мм) для постачання листів рідиною, які надають листу додаткову жорсткість; речовина основи листа – клітковина.

Крім того, як показано в табл. 1, опале осіннє листя не однорідне за ступеню зав'ялості. Тому, для утворення більш міцної структури пеллет та брикетів за рахунок використання однорідної маси сировини, перед пресуванням осіннє листя піддають здрібненню, зокрема з використанням шнекового здрібнювача (перше ущільнення в напрямку підвищення густини). Густина опалого мокрого листа після здрібнення підвищується в 6,5 рази (до 0,92 г/см³).

Таблиця 1 - Осіннє листя за ступеню зів'янення



Для прямого видавлювання пеллет та пресування брикетів в закриту матрицю використовувалася універсальний експериментальний штамп (рис. 3), що складається з наступних основних деталей: пуансона 1 для видавлювання та пресування; корпус-матриці 2; комплекту змінних матриць 3, 4, 5, 6, 7, 8, які дозволяють дискретно варіювати факторами h (15, 25, 35 мм) та α (60°, 90°, 120°); деталі «дно» 9, яка є частиною закритої матриці для пресування.

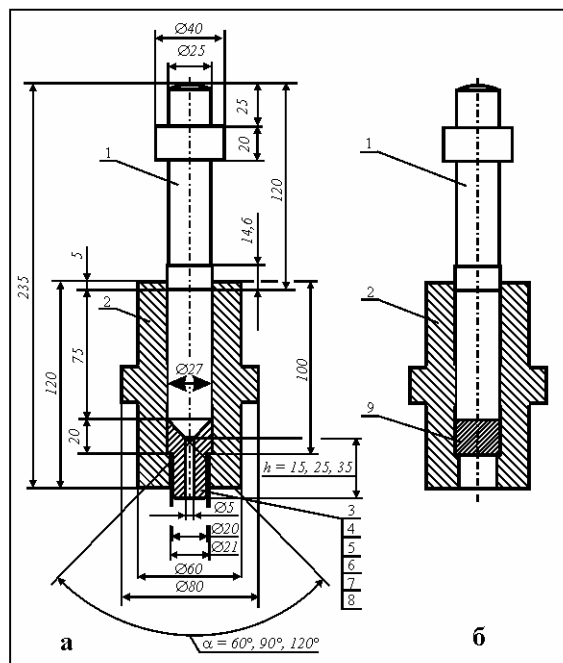


Рисунок 3 - Експериментальний штамп

Для прямого видавлювання пеллет (рис. 3, а), штамп працює таким чином. В робочу порожнину корпус-матриці 2 встановлюється певна змінна (3...8) матриця, що відповідає матриці планування експерименту, та завантажується опале листя після попереднього здрібнення та ущільнення. Далі в цю ж порожнину вставляється пуансон 1. В такому вигляді штамп встановлюється на випробувальну машину УІП-50 та навантажується. При стисненні сировинної маси остання видавлюється із робочого отвору змінної матриці діаметром 5 мм та накопичується в піддоні, який встановлюють під штампом. Зусилля видавлювання пеллет записується на паперовий носій.

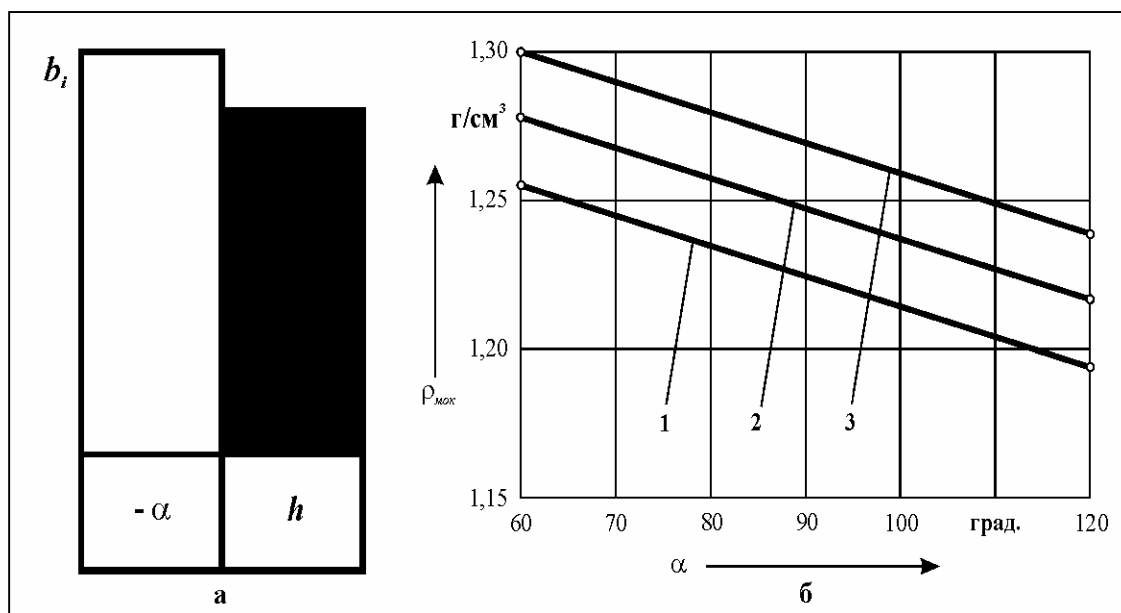
За результатами двофакторного $[h(x_1), \alpha(x_2)]$ експерименту отримано математичну модель густини мокрих пеллет $\rho_{мок}(y_1)$ після прямого видавлювання

$$y_1 = 1,247 + 0,0275x_1 - 0,0325x_2, \quad (1)$$

де значення факторів у кодовому (x_i) і натуральному (X_i) масштабах зв'язані співвідношеннями:

$$x_1 = \frac{X_1 - 25}{10}; \quad (2) \quad x_2 = \frac{X_2 - 90}{30}. \quad (3)$$

Із моделі (1) виходить, що найбільший вплив на $\rho_{мок}$ виявляє кут матриці на вході здрібненого листа в робоче вікно α , із зменшенням якого густина збільшується (рис. 4). Таким чином, кут α треба розглядати як основний керуючий фактор. Вплив довжини робочого вікна матриці для прямого видавлювання h на $\rho_{мок}$ трохи менший, але має суттєве значення. З його підвищенням густина мокрих пеллет збільшується.



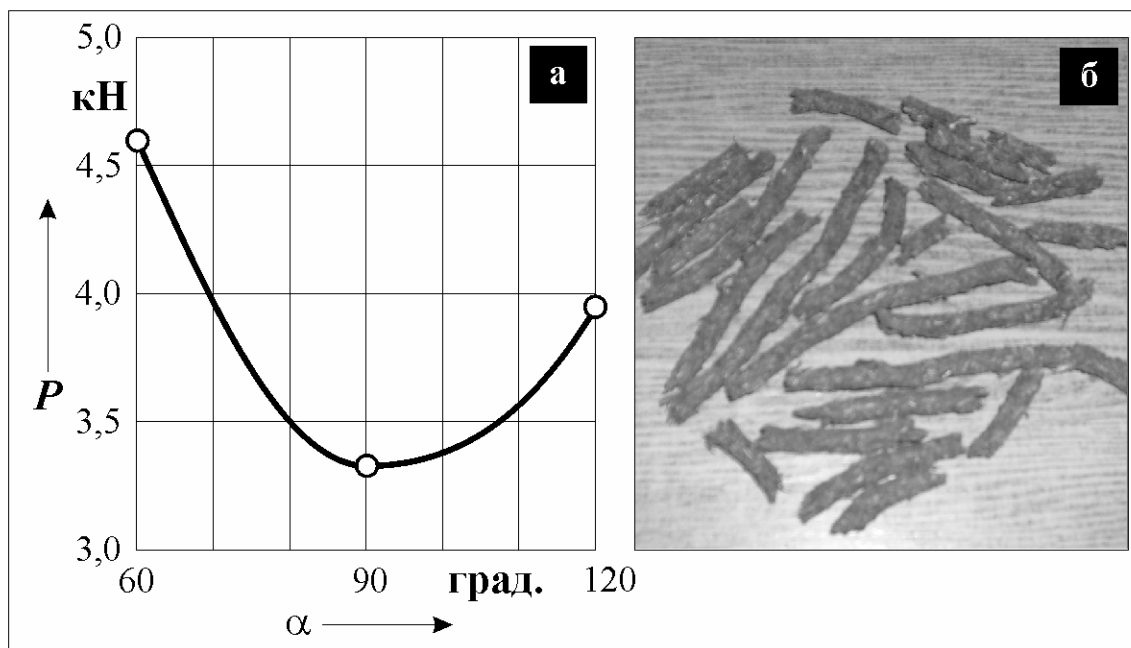
а - ступінь впливу факторів; б - графічна залежність; 1 - $h = 15$ мм, 2 - $h = 25$ мм, 3 - $h = 35$ мм
Рисунок 4 - Залежність густини мокрих пеллет після прямого видавлювання $\rho_{мок}$ від α та h

В рамках експерименту густина мокрих пеллет $\rho_{мок}$ змінювалася у межах від 1,19 до 1,30 г/см³, що приблизно в 1,3...1,4 рази перевищує густину опалого мокрого листа після здрібнення та попереднього ущільнення ($\rho_m = 0,92$ г/см³). Останнє підтверджує доцільність використання метода прямого видавлювання для виготовлення пеллет.

В результаті аналізу фіксованого зусилля прямого видавлювання пеллет P при постійній (середній) довжини робочого вікна h , отримано графічну залежність P від кута матриці на вході здрібненого листа в робоче вікно α (рис. 5). Як бачимо, при $\alpha = 90^\circ$ вона має екстремум, який характеризується найменшим зусиллям видавлювання пеллет. Таким чином, з точки зору економічності витрачання енергії, кут $\alpha = 90^\circ$ є оптимальним.

Слід відмітити, що густина отриманих мокрих пеллет в наслідок природного сушіння з часом зменшилася до $\rho_{сух}$.

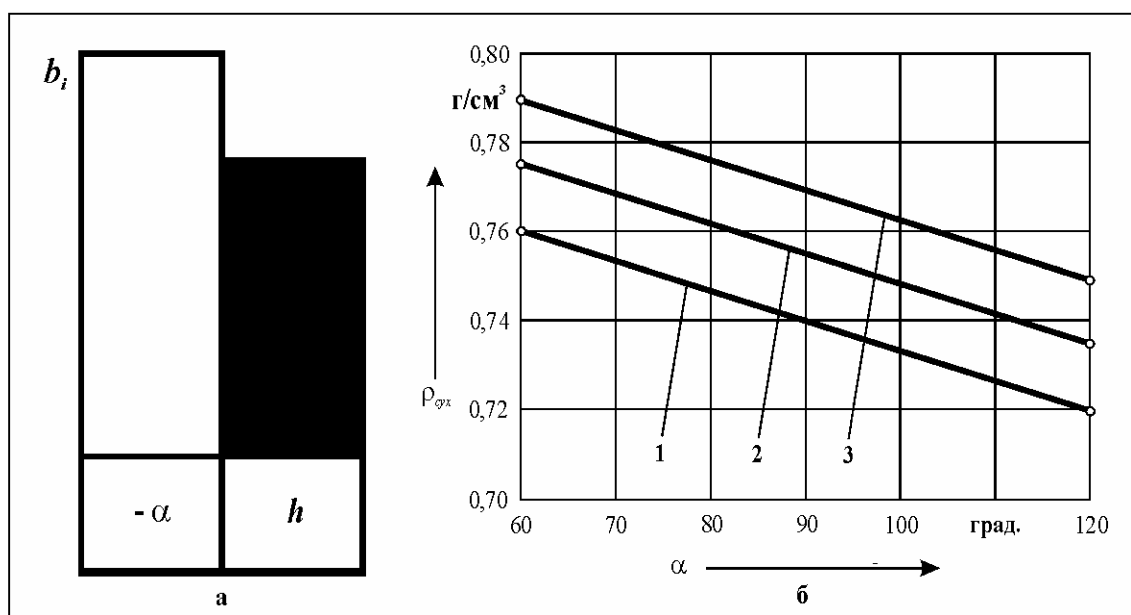
Сухі пеллети, як паливо, є кінцевих продуктом виробництва. Математична модель густини сухих пеллет $\rho_{сух}(y_2)$ має вигляд:



а - графік залежності; б - пелети із листя

Рисунок 5 - Залежність зусилля прямого видавлювання пеллет P від кута α матриці

$$y_2 = 0,755 + 0,015x_1 - 0,02x_2 \quad (4)$$



а - ступінь впливу факторів; б - графічна залежність; 1 - $h = 15$ мм, 2 - $h = 25$ мм, 3 - $h = 35$ мм

Рисунок 6 - Залежність густини сухих пеллет після прямого видавлювання $\rho_{сух}$ від α та h

Як бачимо (рис. 6), найбільший вплив на $\rho_{сух}$ виявляє кут матриці на вході здрібненого листя в робоче вікно α , із зменшенням якого густина збільшується. Таким чином, кут α і в даному разі треба розглядати як основний керуючий фактор. Вплив довжини робочого вікна матриці для прямого видавлювання h на $\rho_{сух}$ трохи менший, але має суттєве значення. З його підвищенням густина сухих пеллет збільшується. В рамках експерименту густина сухих пеллет $\rho_{мок}$ змінювалася у межах від 0,72 до 0,79

г/см³, що відповідає густині компактної деревини клена. Останнє підтверджує можливість використання таких сухих пеллет як палива.

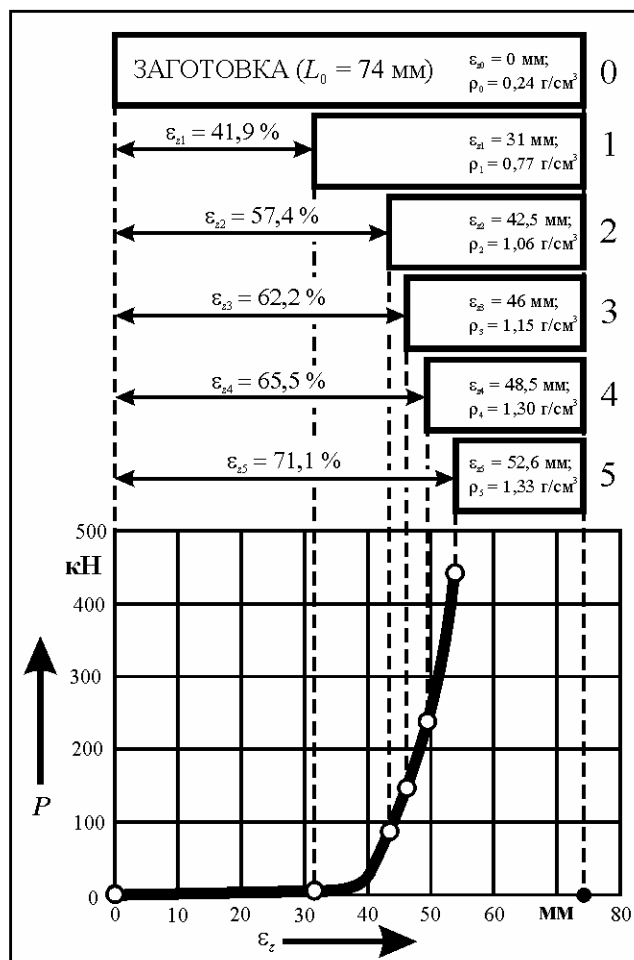


Рисунок 7 - Залежність зусилля пресування в закрити матрицю брикетів із сухого здрібненого листа P від величини деформації ϵ_z

робочої поверхні під пуансоном) визначали тиск пресування p та будували графічну залежність від нього густини брикету (рис. 9).

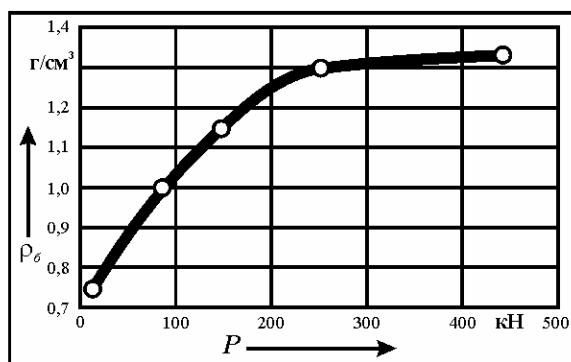


Рисунок 8 - Залежність густини брикетів із сухого здрібненого листа ρ_δ від зусилля пресування P

Пресування брикетів здійснювали в закрити матрицю за допомогою експериментального штампа (див. рис. 3, б). В якості сировини використовувалося здрібнене, попередньо ущільнене сухе листя клена, густиною 0,24 г/см³. Метою дослідження є визначення оптимального тиску пресування брикетів (твердого тіла) із осіннього листя без додавання будь-яких домішок.

В циліндричну матрицю завантажували сировину та пресували брикети з різною ступеню деформації ϵ (рис. 7), яка дискретно змінювалася в межах від 41,9 % до 71,1 %. За фіксованими значеннями зусилля пресування P та розрахунковими значіннями густини брикетів ρ будували залежність $\rho_\delta = f(P)$, що наведено на рис. 8.

Як бачимо, підвищувати зусилля пресування вище 440 кН недоцільно, так як густина брикетів практично не підвищується вище 1,33 г/см³. Слід відмітити, що найбільша природна густина дерева, як показано в роботі [2, с. 536], також не перевищує 1,33 г/см³.

Далі за результатами досліджень зусилля пресування та з урахуванням площі перерізу закритої матриці (площі

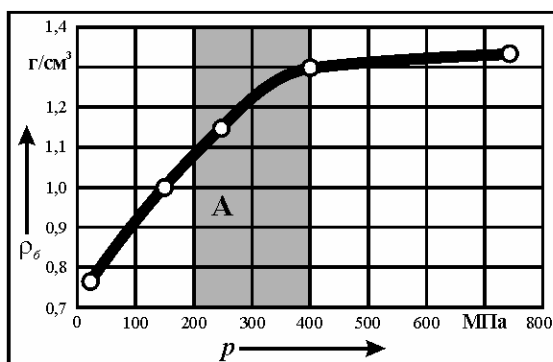
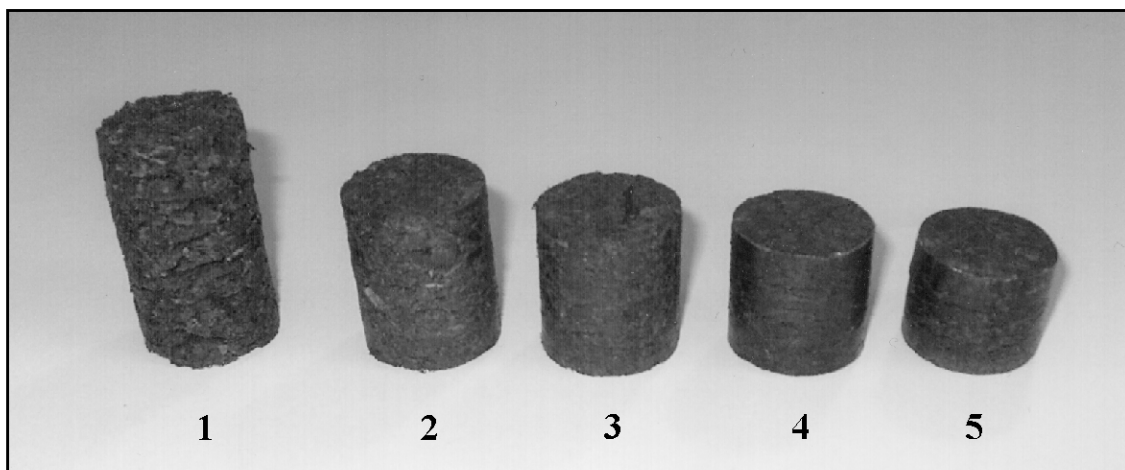
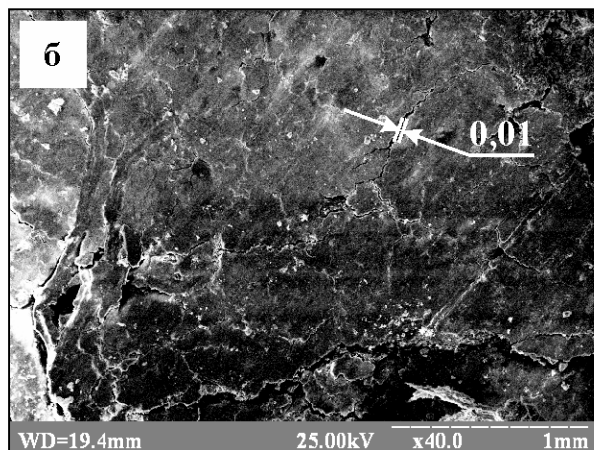
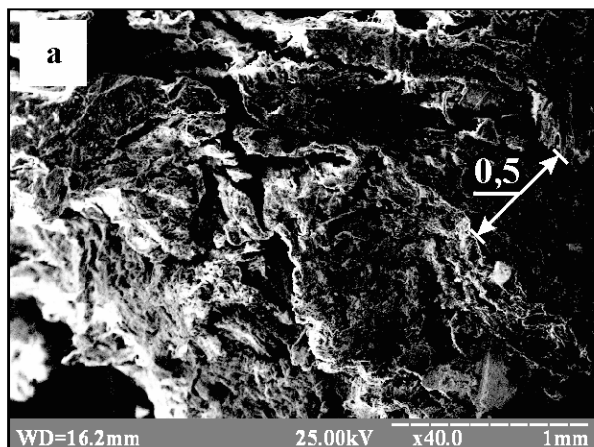


Рисунок 9 - Залежність густини брикетів із сухого здрібненого листа ρ_δ від тиску пресування p

Для визначення зони оптимальних тисків пресування брикетів із сухого здрібненого листя вивчалася структура брикетів різної густини (рис. 10) на предмет отримання достатньо міцного твердого тіла. Фрактографії їх поверхонь наведено на рис. 3.11).



1 - $\rho_6 = 0,77 \text{ г/см}^3$; 2 - $\rho_6 = 1,06 \text{ г/см}^3$; 3 - $\rho_6 = 1,15 \text{ г/см}^3$; 4 - $\rho_6 = 1,30 \text{ г/см}^3$; 5 - $\rho_6 = 1,33 \text{ г/см}^3$
Рисунок 10 - Брикети із сухого здібленого листя різної густини



а - зразок 1, $\rho_6 = 0,7 \text{ г/см}^3$; б - зразок 5, $\rho_6 = 1,33 \text{ г/см}^3$
Рисунок 11 - Фрактографії поверхонь брикетів різної густини із сухого здібленого листя

Як бачимо, із підвищенням густини пресування брикетів ρ ширина тріщин на поверхні зменшується у напрямку від 0,5 мм (див. зразок 1) до 0,01 мм (див. зразок 5). Крім того, зменшується і кількість тріщин. Зрозуміло, що при цьому міцність брикету збільшується. Більш того, в результаті дослідження встановлено, що достатню міцність мають брикети із листя, густина яких є не менш $1,0 \text{ г/см}^3$. Верхня межа густини брикетів обумовлена раціональним витрачанням енергії на їх пресування та обмежена величиною $1,30 \text{ г/см}^3$.

Таким чином, встановлено, що оптимальний тиск пресування брикетів (твердого тіла) із осіннього листя без додавання будь-яких домішок лежить у межах від 200 до 400 МПа (див. рис. 9, зона А) та забезпечує отримання брикетів густиною від $1,0$ до $1,3 \text{ г/см}^3$.

Для випробування пеллет на горіння розроблено пристрій. На металевий стіл симетрично та радіально відносно центрального отвору

розкладаються одночасно п'ять пеллет, що попередньо отримані в дослідах 1, 2, 3, 4, 0 та зважені. Далі запалюють знизу по центру отвору спиртовий пальник 1. Тривалість горіння для усіх пеллет – однакова та складає три хвилини. Після того пальник гасять та вимірюють залишкову масу кожної пеллети.

За показники інтенсивності горіння пеллети прийнято:

- коефіцієнт зменшення маси λ_n , що відповідає долі (у відсотках) маси, яка втрачена під час примусового горіння протягом трьох хвилин:

$$\lambda_n = \frac{(m_{до} - m_{після}) \cdot 100}{m_{до}} = \frac{\Delta m \cdot 100}{m_{до}}, \quad (5)$$

де $m_{до}$, $m_{після}$ – маса пеллети, відповідно, до та після горіння, г;

Δm – маса пеллети, що втрачена під час горіння, г;

- швидкість горіння V_n , що характеризує масу пеллети, яка згоріла в одиницю часу:

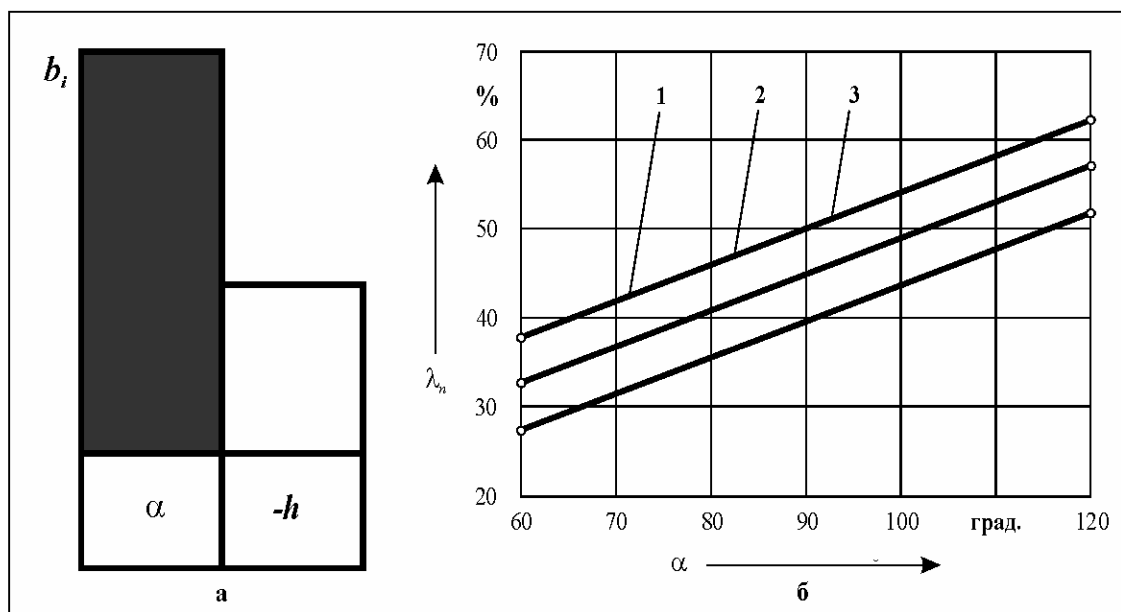
$$V_n = \frac{m_{до} - m_{після}}{t}, \quad (6)$$

де t – час горіння пеллети, хв. В експерименті $t = 3$ хв.

Отримано математичну модель коефіцієнта зменшення маси пеллети після горіння λ_n (y_3):

$$y_3 = 45,05 - 5,6x_1 + 11,85x_2. \quad (7)$$

Як бачимо (рис. 12), коефіцієнт λ_n залежить, головним чином, від кута матриці на вході здрібненого листа в робоче вікно α , причому, із зменшенням α коефіцієнт λ_n зменшується. Таким чином, фактор α треба розглядати як головний, керуючий. Вплив довжини робочого вікна матриці для прямого видавлювання h на λ_n приблизно в 2 рази менший. Із підвищенням h коефіцієнт λ_n зменшується. В умовах експерименту коефіцієнт зменшення маси пеллети після горіння λ_n змінювався у межах від 28,9 до 63,8 %.

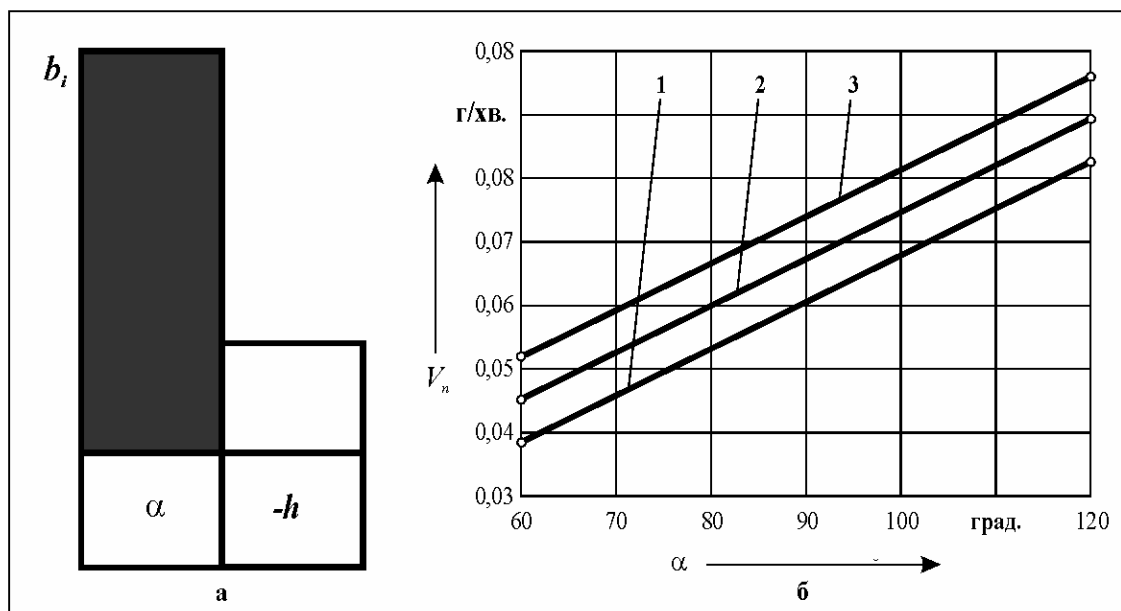


а - ступінь впливу факторів; б - графічна залежність; 1 - $h = 35$ мм, 2 - $h = 25$ мм, 3 - $h = 15$ мм
Рисунок 12 - Залежність коефіцієнта зменшення маси пеллети після горіння λ_n від α та h

Отримано математичну модель швидкості горіння пеллети V_n (y_4):

$$y_4 = 0,068 - 0,00675x_1 + 0,02175x_2. \quad (8)$$

Із моделі (8) виходить (рис. 13), що швидкість горіння V_n залежить, головним чином, від кута матриці на вході здрібненого листа в робоче вікно α , причому, із зменшенням α швидкість V_n зменшується. Таким чином, фактор α треба розглядати як головний, керуючий. Вплив довжини робочого вікна матриці для прямого видавлювання h на λ_n приблизно в 3,2 рази менший. Із підвищенням h коефіцієнт λ_n зменшується. В умовах експерименту швидкість горіння пеллети V_n змінювалася у межах від 0,043 до 0,1 г/хв.



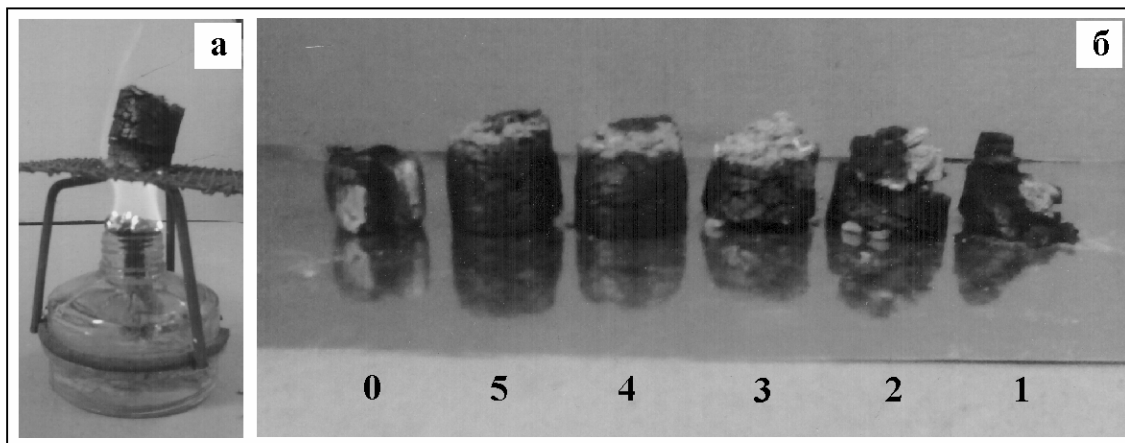
а - ступінь впливу факторів; б - графічна залежність; 1 - $h = 35$ мм, 2 - $h = 25$ мм, 3 - $h = 15$ мм
Рисунок 13 - Залежність швидкості горіння пеллети V_n від α та h

За результатами проведених додаткових випробувань на згорання групи сухих пеллет, густиною $\rho_{\text{сух}} = 0,76$ г/см³, встановлено, що коефіцієнт зменшення маси пеллет після восьмихвилинного горіння λ_n склав 73,07 %, а швидкість горіння групи пеллет V_n була зафіксована на рівні 0,66 г/хв.

Випробування однакового об'єму і форми брикетів із осіннього листа на згорання здійснювали з використанням пристрою, що показано на рис. 14, а. Інтенсивність горіння брикетів оцінювали: за коефіцієнтом зменшення маси λ_b , що відповідає долі (у відсотках) маси, яка втрачена під час примусового горіння протягом восьми хвилин; за швидкістю горіння V_b , що характеризує масу брикету, яка згоріла в одиницю часу. Для порівняння інтенсивності горіння брикетів використовувався «зразок 0» із дерева «Клен». Результати випробування зведено в таблицю 2.

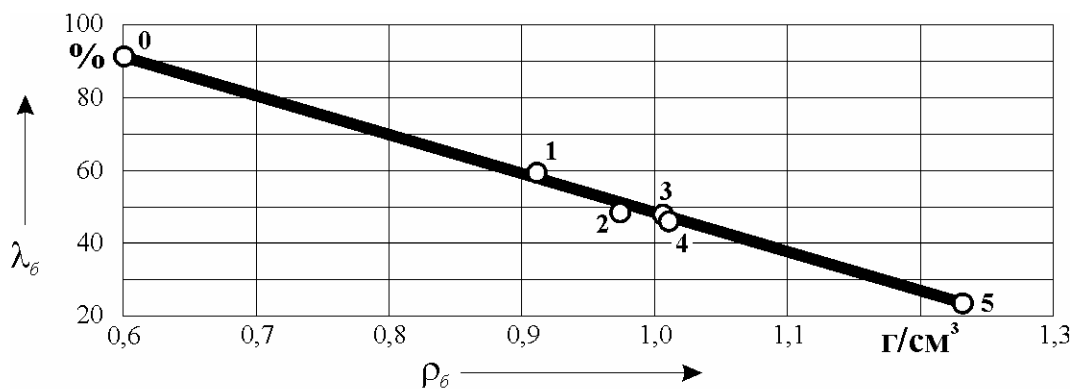
Таблиця 2 - Результати випробування сухих брикетів із осіннього листа на згорання

Показники	Зразок 0 із дерева	Брикет				
		Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3	Зразок 4	Зразок 5
$\rho_{\text{сух}}$, г/см ³	0,6	0,92	0,97	1,01	1,07	1,23
λ_b , %	91,2	59,5	49,0	48,4	47,8	23,0
V_b , г/хв.	1,1	0,8	0,71	0,65	0,61	0,38



а - пристрій; б - брикети після згорання (0 - зразок із дерева; 1...5 - зразки брикетів із листя)
Рисунок 14 - Випробування брикетів із осіннього листя на згорання

Як бачимо із таблиці 2, із підвищенням густини брикету ρ_b показники інтенсивності горіння λ_b та V_b знижуються. Останнє підтверджується лінійною графічною залежністю коефіцієнта зменшення маси брикету із листя λ_b від ρ_b , що наведена на рис. 15.



0 - зразок із дерева; 1...5 - зразки брикетів із листя
Рисунок 15 – Залежність коефіцієнта зменшення маси брикету λ_b від густини брикету ρ_b

Показано, що брикети з густиною 1,23 г/см³ горять в 3 рази довше, порівняно з зразком із дерева «Клен». Отже, брикети із листя за інтенсивністю горіння можна порівнювати з м'яким вугіллям.

Висновок. В результаті виконання роботи:

- удосконалено технологію пресування брикетів із осіннього листя за рахунок розробки маловитратної технології їх пресування без додавання сторонніх речовин, зокрема воску;
- вперше запропоновано, досліджено та розроблено технологію прямого видавлювання пеллет із осіннього листя.

Список літератури

1. Газета «Бизнес» №38 (817), 22 сентября 2008 года
2. Гофман Ю. В. Законы, формулы, задачи физики. Справочник / Юрий Владимирович Гофман. – К.: Наукова думка, 1977. – 576 с.

V. Bokov, M. Popova, R. Lysenko
Kirovograd National Technical University

Usage of autumn leaves for production of alternative types of fuel

The objective of the work is the elaboration of low-cost technology of making firewood (briquettes and pellets) of fallen leaves without adding other material, particularly wax.

The article presents the results of experimental research of the process of production of firewood using fallen leaves, which include the following stages:

- for producing pellets: collection of leaves; grinding leaves; pressing-out pellets and modeling the process; test on burning of some pellets and modeling the process; test on burning of the group of pellets;
- for briquettes: collection of leaves; grinding leaves; pressing briquettes and determination of effort of deformation; test on burning of some briquettes.

Conclusion:

- the technology of pressing briquettes of autumn leaves was improved due to the development of low-cost technology of pressing without adding other material, particularly wax, which allows to lower the price in 90...100 times;
- the technology of direct pressing-out of pellets of autumn leaves was suggested, studied and developed for the first time.

autumn leaves, pellets, briquettes, direct pressing-out, pressing

Одержано 16.04.13

УДК 681.5

О.В. Козлов, асп.

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова

Автоматизація процесів керування технологічним комплексом екопірогенезису

В статті наведені результати аналізу основних задач керування технологічним процесом екопірогенезису (ЕПГ), на основі якого проведений синтез функціональної структури та селективних технологічних параметрів (як керованих координат) ієрархічної комп'ютеризованої системи автоматичного керування (ІКСАК) комплексу ЕПГ. Застосування ІКСАК з запропонованою функціональною структурою дає змогу значно підвищити точність керування основними технологічними параметрами, ефективність роботи та економічні показники комплексу ЕПГ.

екопірогенезис, система автоматичного керування, технологічний комплекс

А.В. Козлов

Національний університет кораблестроения им. адм. Макарова

Задачи и структурная организация системы управления технологическим комплексом экопирогенезиса

В статье приведены результаты анализа основных задач управления технологическим процессом экопирогенезиса (ЭПГ), на основе которого проведен синтез функциональной структуры и селективных технологических параметров как управляемых координат иерархической компьютеризированной системы автоматического управления (ИКСАУ) комплекса ЭПГ. Применение ИКСАУ с предложенной функциональной структурой позволяет значительно повысить точность управления основными технологическими параметрами, эффективность работы и экономические показатели комплекса ЭПГ.

экопирогенезис, система автоматического управления, технологический комплекс

Вступ. Забруднення навколишнього середовища є найактуальнішою проблемою сучасності, викликаною стрімким розвитком промисловості та ростом урбанізації в багатьох країнах світу. Серед найбільш ефективних шляхів вирішення даної проблеми необхідно виділити принципово нову технологію утилізації відходів з отриманням альтернативного палива, яка отримала назву «екопірогенезіс» [1]. Дана технологія об'єднує процеси багатоконтурного циркуляційного піролізу (БЦП) [2] та термостабільної двозонної газифікації (ТДГ) [3] в одну технологічну лінію, що дозволяє повністю утилізувати весь об'єм органічної частини твердих відходів та низькосортного вугілля в екологічно безпечних й енергозберігаючих режимах. Також застосування даної технології дозволяє отримувати на виході рідкі та газоподібні фракції альтернативного палива, придатні для використання у двигунах внутрішнього згорання без додаткового очищення [4].

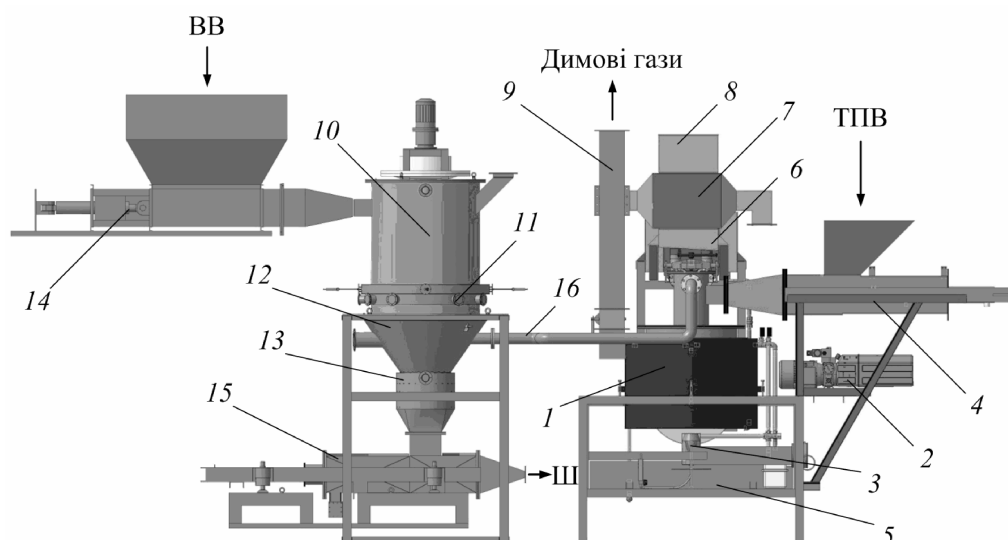
Для реалізації технології ЕПГ використовуються спеціалізовані технологічні комплекси, які, в свою чергу, являють собою складні багатоконпонентні технічні об'єкти і потребують наявності спеціальної ієрархічної комп'ютеризованої системи автоматичного керування [5]. Комплексна автоматизація технологічних комплексів даного типу дозволяє значно підвищити їх ефективність роботи та економічні показники.

Розв'язання задачі синтезу ІКСАК технологічним комплексом ЕПГ доцільно здійснювати на основі аналізу основних властивостей та технічних характеристик технологічного процесу ЕПГ з селекцією параметрів (сигналів, координат), що підлягають керуванню [5, 6].

Метою даної статті є аналіз основних задач автоматизації процесів керування технологічним комплексом ЕПГ, а також синтез функціональної структури та селективних технологічних параметрів (як керованих координат) ієрархічної комп'ютеризованої системи автоматичного керування комплексом ЕПГ.

Принципова схема комплексу ЕПГ. Типовий комплекс ЕПГ (рис. 1) складається з двох взаємопов'язаних технологічних вузлів: ДГГ та БПУ – для переробки вологих та твердих полімерних відходів, відповідно [1].

Принцип дії ДГГ полягає в наступному [3]: вологі відходи завантажуються в корпус газогенератора 10 за допомогою плунжерної системи завантаження 14. На газові пальники фурмового поясу 9 подається зріджений газ, який згорає і запалює завантажені відходи. При частковому горінні відходів в умовах нестачі кисню в верхній (зворотній) зоні ДГГ 12 відбувається процес газифікації, під час якого утворюється генераторний газ (ГГ) і шлак Ш. Шлак Ш з високою температурою (900-1000°C) надходить до нижньої (прямої) зони газифікації 13, де він змішується з перегрітим водяним паром, який утворюється і подається до зони 13 за допомогою парогенератора (на рис. 1 не показаний). В результаті потрапляння перегрітого водяного пару на гарячий шлак Ш утворюється горючий водяний газ, який потрапляє в верхню зону газифікації 12 і змішується з генераторним газом. Утворений в результаті змішення газ з температурою близько 600°C подається через щільний пояс видалення газу та патрубок 16 до піролізного реактора БПУ. Відпрацьований шлак, в свою чергу, видаляється з нижньої зони газифікації 13 за допомогою плунжерної системи вивантаження 15.



1 – піролізний реактор багатоконтурної піролізної установки (БПУ); 2 – маслостанція гідроприводів завантаження відходів комплексу ЕПГ; 3 – газовий пальник, призначений для нагріву піролізного реактора БПУ; 4 – плунжерна система завантаження твердих полімерних відходів (ТПВ); 5 – система вентиляції газового пальника БПУ; 6, 7, 8 – перший, другий та третій контури охолодження багатоконтурної циркуляційної системи (БЦС) БПУ, відповідно; 9 – труба, призначена для викиду димових газів; 10 – двозонний газогенератор (ДГГ); 11 – фурмовий пояс ДГГ; 12 – верхня (зворотна) зона газифікації; 13 – нижня (пряма) зона газифікації; 14 – плунжерна система завантаження вологих відходів (ВВ); 15 – плунжерна система вивантаження шлаку (Ш) з газогенератора; 16 – патрубок, через який генераторний газ потрапляє до піролізного реактора

Рисунок 1 - Принципова схема узагальненого комплексу ЕПГ

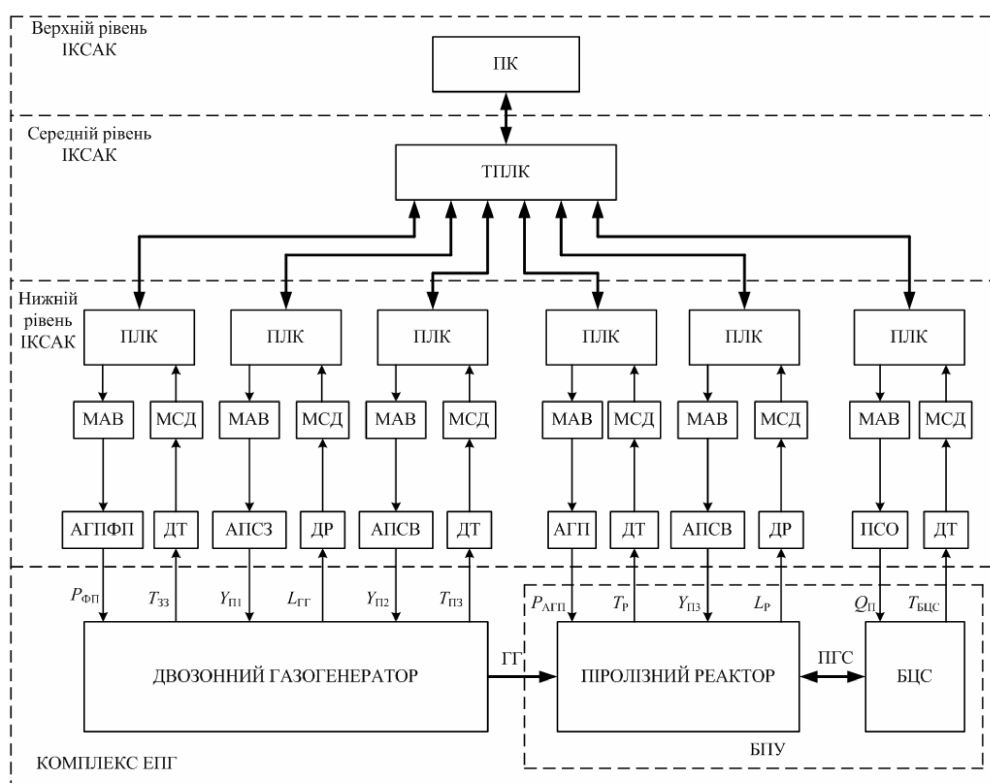
Принцип дії БПУ полягає в наступному [2]: тверді полімерні відходи завантажуються в піролізний реактор 1 за допомогою плунжерної системи завантаження 4. Зріджений газ подається на газовий пальник 3, димові гази високої температури якого нагрівають реактор 1. Завантажені ТПВ також нагрівають від гарячого генераторного газу, який потрапляє до піролізного реактора 1 через патрубок 16. При нагріві до 600-800°C полімерні відходи в реакторі починають розкладатися згідно з процесом піролізу. Парогазова суміш (ПГС) з температурою 500-550°C, яка утворилась в процесі розкладання відходів реакторі 1 і яка містить компоненти важких фракцій вуглеводнів, разом з генераторним газом отриманим в процесі газифікації, в якому містяться важкі смоли і частково діоксини, надходить до першого контуру охолодження БЦС 6 з температурою 350°C. При цьому діоксини і важкі вуглеводні, в тому числі і важкі смоли, температури конденсації яких вище 350°C, конденсуються і у вигляді рідкої фракції стікають в реактор 1, де вони піддаються повторному нагріву і відповідно додатковій деструкції. Молекулярна маса таких компонентів знаходиться в межах 800-1500. Більш легкі компоненти, які утворилися після повторного нагріву і мають температуру конденсації меншу за 350°C, не конденсуються у першому контурі і переходять у другий контур 7 з температурою охолодження 250°C. Паралельно відбувається процес конденсації і повернення важких рідких фракцій в реактор 1. Молекулярна маса сконденсованої рідини з другого контуру зменшується до 500-800. На третій контур 8 потрапляють компоненти з температурою конденсації більше 130°C і, відповідно, з молекулярною масою 200-500. Після 3-го контуру 7 утворюється ПГС легких фракцій з температурою конденсації нижче 130°C і молекулярною масою не більше 150, що забезпечує повний розклад важких фракцій вуглеводнів, які утворилися як при піролізі так і при газифікації ТПВ. Далі легкі фракції вуглеводнів надходять до вихідного конденсатору (на рис. 1 не показаний) з температурою охолодження до 35°C, що забезпечує конденсацію і розділення всіх легких рідких фракцій на рідке пальне і

синтез-газ. В свою чергу рідке пальне збирається в спеціальному гідробаку (на рис. 1 не показаний), а отриманий синтез-газ частково або повністю використовується для власних потреб (для стабілізації процесу газифікації вологих відходів у ДГГ і для нагріву піролізного реактора БПУ).

Основні задачі керування та функціональна структура ІКСАК комплексу ЕПГ. Для забезпечення безперервного проходження технологічного процесу ЕПГ, а також отримання на виході рідкого палива з необхідною молекулярною масою та синтез-газу високої якості необхідно з певною точністю керувати температурними режимами в прямій та зворотній зонах ДГГ, в піролізному реактору та БЦС БПУ, а також рівнями завантаженості корпусу ДГГ та піролізного реактору БПУ. Розглядаючи даний технологічний комплекс як багатопараметричний об'єкт керування можна сформулювати наступні задачі його автоматичного керування: стабілізація температури в верхній (зворотній) зоні ДГГ; стабілізація рівня завантаженості корпусу ДГГ; стабілізація температури в нижній (прямій) зоні ДГГ; стабілізація температури нагріву піролізного реактора БПУ; стабілізація рівня завантаженості піролізного реактора БПУ; стабілізація температури вихідної (контрольної) точки БЦС БПУ; автоматичне керування режимами роботи комплексу ЕПГ.

Для реалізації вищенаведених задач автоматичного керування комплексом ЕПГ доцільно застосувати ІКСАК, функціональна схема якої зображена на рис. 2. Дана ІКСАК (рис. 2) реалізує трирівневе керування технологічним комплексом ЕПГ. На верхньому рівні за допомогою спеціалізованого людино-машинного інтерфейсу ПК здійснюється моніторинг параметрів технологічного процесу та формування керуючої програми, відповідно заданому режиму роботи комплексу. Керування на середньому рівні здійснюється технологічним ПЛК, який узгоджує роботу виконавчих механізмів, що входять до складу комплексу, зокрема формує задані значення керованих координат ДГГ та БПУ. Нижній рівень даної системи являє собою сукупність підсистем автоматичного керування (ПСАК), які забезпечують стабілізацію вищенаведених координат за допомогою ПЛК, МАВ, МСД, різноманітних датчиків та виконавчих механізмів.

Аналіз алгоритмів та схемотехнічних рішень для проектування і реалізації ІКСАК технологічного комплексу ЕПГ показує доцільність використання принципів інтелектуального управління, що спираються на теорії штучних нейронних мереж та нечіткої логіки [7, 8, 9]. Системи керування й моніторингу, що розроблені на базі штучних нейронних мереж та нечіткої логіки, на даний час успішно використовуються в таких областях, як: керування різнотипними технологічними процесами та транспортом, медична та технічна діагностика, фінансовий менеджмент, біржове прогнозування, розпізнавання образів та ін. [10, 11, 12].



ПК – промисловий комп’ютер; ПЛК – програмований логічний контролер; ТПЛК – технологічний ПЛК; МАВ – модуль аналогового виводу; МСД – модуль збору даних; АГП – автоматизований газовий пальник; АГПФП – автоматизовані газові пальники фурмового поясу ДГГ; АПСЗ – автоматизована плунжерна система завантаження відходів до корпусу ДГГ та піролізного реактора БПУ; АПСВ – автоматизована плунжерна система вивантаження шлаку з нижньої зони ДГГ; ПСО – повітряна система охолодження БЦС БПУ; ДТ – датчик температури; ДР – датчик рівня; $P_{ФП}$ – сумарна потужність нагріву автоматизованих газових пальників фурмового поясу ДГГ; $P_{АГП}$ – потужність нагріву автоматизованого газового пальника піролізного реактора БПУ; $Y_{П1}$, $Y_{П2}$ та $Y_{П3}$ – лінійні переміщення плунжерів автоматизованих систем завантаження та вивантаження ДГГ та БПУ, відповідно; $T_{ЗЗ}$ та $T_{ПЗ}$ – температури в зворотній та прямій зонах ДГГ, відповідно; T_P та $T_{БЦС}$ – температури піролізного реактора та вихідної точки БЦС БПУ, відповідно; $L_{ГГ}$ та L_P – рівні завантаженості корпусу ДГГ та піролізного реактора БПУ, відповідно; $Q_{П}$ – значення витрати охолоджуючого повітря

Рисунок 2 - Функціональна схема ІКСАК комплексу ЕПГ

Висновки. В результаті проведеного аналізу задач керування і основних змінних технологічного процесу ЕПГ встановлено, що найбільш важливими керованими координатами комплексної системи керування є температури в прямій та зворотній зонах ДГГ, температури нагріву піролізного реактора та контрольної точки БЦС БПУ, а також рівні завантаженості корпусу ДГГ та піролізного реактора БПУ.

Застосування ІКСАК з запропонованою функціональною структурою дає змогу значно підвищити точність керування основними технологічними параметрами ДГГ та БПУ, а також якість отриманого на виході рідкого палива та синтез-газу, що в свою чергу суттєво підвищує ефективність роботи та економічні показники всього комплексу ЕПГ. Подальші наукові дослідження доцільно проводити в напрямку синтезу запропонованої ІКСАК технологічного комплексу ЕПГ на основі засобів штучного інтелекту.

Список літератури

1. Маркіна, Л.М. Впровадження екологічно безпечної технології екопірогенезису при утилізації органічних побутових відходів з одержанням альтернативного палива [Текст] / Л.М. Маркіна //

- Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: Матеріали міжнародної науково-технічної конференції. – Миколаїв: НУК, 2011. – С. 457-460.
2. Пат. 52840 Україна, МПК F23G5/027, C10G1/00. Спосіб утилізації органічних відходів [Текст] / Маркіна, Л.М., Рудюк, М.В., Бабій, В.П.; заявл. 19.03.2001; опубл. 15.01.2003, Бюл. №1. – 5 с.
 3. Пат. 77954 Україна, МПК F23B99/00, C10G3/20. Газогенератор двозонний [Текст] / Маркіна, Л.М., Рижков, С.С., Рудюк, М.В., Кондратенко, Ю.П., Коробко, О.В., Козлов, О.В.; заявл. 03.05.2012; опубл. 11.03.2013, Бюл. №5. – 9 с.
 4. Рижков, С.С. Експериментальні дослідження утилізації органічних відходів методом багатоконтурного циркуляційного піролізу [Текст] / С.С. Рижков, Л.М. Маркіна // Збірник наукових праць НУК. – 2007. – № 5. – С. 100-106.
 5. Кондратенко, Ю.П. Аналіз комплексу задач та координат керування технологічним процесом екопірогенезису [Текст] / Ю.П. Кондратенко, О.В. Козлов // Технічні вісті. Вип.1(33), 2(34), 2011. – С. 13-16.
 6. Кондратенко, Ю.П. Функціональна структура та комп'ютерні компоненти системи керування багатоконтурною піролізною установкою [Текст] / Ю.П. Кондратенко, О.В. Козлов // Вісник НУК, загальний за 2011 рік. – Миколаїв: НУК, 2012. – С. 413-423.
 7. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы [Текст] / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский // Пер. с польск. И.Д. Рудинского. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 452 с.: ил.
 8. Медведев, В.С. Нейронные сети. MATLAB 6 [Текст] / В.С. Медведев, В.Г. Потемкин // Под общ. ред. В.Г. Потемкина. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. – 496 с.
 9. Пегат, А. Нечеткое моделирование и управление [Текст] / А. Пегат. – М.: БИНОМ Лаборатория Знаний, 2009. – 798 с.
 10. Ямпольський, Л.С., Ткач, Б.П., Лісовиченко, О.І. Системи штучного інтелекту в плануванні, моделюванні та управлінні [Текст] / Л.С. Ямпольський, Б.П. Ткач, О.І. Лісовиченко. – К.: ДП «Видавничий дім «Персонал», 2011. – 544 с.
 11. Каргин, А.А. Введение в интеллектуальные машины [Текст] / А.А. Каргин // Книга 1. Интеллектуальные регуляторы. – Донецк: Норд-Пресс, ДонНУ, 2010. – 526 с.
 12. Герасимов, Б.М., Грабовский, Г.Г., Рюмшин, М.А. Нечеткие множества в задачах проектирования, управления и обработки информации [Текст] / Б.М. Герасимов, Г.Г. Грабовский, М.А. Рюмшин. – К.: Техніка, 2002. – 140 с.

O. Kozlov

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Tasks and structural organization of the ecopyrogenesis technological complex control system

The article presents the analysis of the main control tasks of the ecopyrogenesis (EPG) technological process, on the basis of which the synthesis of the functional structure and selective technological parameters as controlled coordinates of the EPG complex hierarchical computerized automatic control system (HCACS) is conducted.

Application of the HCACS with the proposed functional structure makes it possible to significantly improve the accuracy of control of the main technological parameters, efficiency and economic performance of the EPG complex.

Одержано 16.04.13

УДК 681.513.5

О.П. Лобок, канд. фіз.-мат. наук, Б.М. Гончаренко, д-р техн. наук

Національний університет харчових технологій

Л.Г. Віхрова, канд. техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет

Синтез оптимального мінімаксного керування лінійними багатовимірними об'єктами за умови неточного і неповного їх вимірювання

У роботі розглядається задача оптимального керування лінійними об'єктами, що функціонують в умовах невизначеності. Передбачається, що невизначеність пов'язана з неточністю знань про початковий стан об'єкта та з неконтрольованими зовнішніми збурюваннями, що діють на об'єкт. За умови неповних і неточних вимірів вектора стану об'єкта та у припущенні, що всі невизначені фактори належать деякій обмеженій області, знайдено мінімаксне управління у вигляді регулятора від оцінки стану, яка є виходом мінімаксного фільтра типу Калмана-Бьюсі.

мінімаксне оцінювання та управління, еліпсоїд допустимих збурень, квадратичний критерій оптимальності, матричне диференціювання, принцип максимуму, функція Гамільтона, матричне рівняння типу Ріккати

А.П. Лобок, Б.М. Гончаренко

Національний університет пищевих технологий

Л.Г. Вихрова

Кировоградский национальный технический университет

Синтез оптимального минимаксного управления линейными многомерными объектами в условиях неточного или неполного их измерения

В работе рассматривается задача оптимального управления линейными объектами, функционирующими в условиях неопределенности. Предполагается, что неопределенность связана с неточностью знаний о начальном состоянии объекта и с неконтролируемыми внешними возмущениями, действующими на объект. При условии неполных и неточных измерений вектора состояния объекта и в предположении, что все неопределенные факторы принадлежат некоторой ограниченной области, найдено минимаксное управление в виде регулятора от оценки состояния, которая является выходом минимаксного фильтра типа Калмана-Бьюси.

минимаксное оценивание и управление, эллипсоид допустимых возмущений, квадратичный критерий оптимальности, матричное дифференцирование, принцип максимуму, функция Гамильтона, матричное уравнение типа Риккати

Вступ. Реальні об'єкти управління в більшості випадків функціонують в умовах певної невизначеності. При цьому часто відносно збурень, що діють на об'єкт, немає достовірної інформації щодо природи самих збурень (детерміновані, стохастичні, періодичні тощо). В цьому випадку доцільно віддати перевагу мінімаксному або гарантованому управлінню, яке забезпечує певну якість перехідних процесів за найгірших зовнішніх збурень.

Аналіз останніх досліджень. В роботах [1-3] вперше розглядалися задачі мінімаксного управління та оцінювання за умови, що зовнішні збурення належать деякій обмеженій області у вигляді еліпсоїда в n -вимірному просторі.

Мета статті. В даній роботі дається подальший розвиток цих результатів на випадок неповних та неточних вимірів вектора стану об'єкта управління.

Виклад основного матеріалу. Розглянемо об'єкт управління, який описується наступною лінеаризованою математичною моделлю виду

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = A(t)x(t) + B(t)u(t) + K(t)f_1(t), & t_0 < t \leq T, \\ x(t_0) = Lx^0, \end{cases} \quad (1)$$

де $x(t) \in R^n$ – n -вимірний вектор відхилень реальних значень фізико-технічних параметрів об'єкта від їх номінальних значень (вектор стану), $u(t) \in R^m$ – m -вимірний вектор-функція управління, $f_1(t) \in R^{m_1}$ – невідомий m_1 -вимірний вектор зовнішніх збурень, що діють на об'єкт, $x^0 \in R^{m_0}$ – також невідомий m_0 -вимірний вектор початкових умов; $A(t) \in R^{n \times n}$, $B(t) \in R^{n \times m}$, $K(t) \in R^{n \times m_1}$, $L \in R^{n \times m_0}$ – матриці відповідних розмірностей з відомими коефіцієнтами; R^n , $R^{n \times m}$ – евклідові простори відповідно n -вимірних векторів та матриць розмірності $n \times m$.

Нехай спостереження за станом об'єкта описується співвідношенням

$$y(t) = C(t)x(t) + f_2(t), \quad (2)$$

де $C(t) \in R^{m_2 \times n}$ – матриця, що визначає елементи вектора стану об'єкта $x(t)$, які вимірюються з похибками (неповно, неточно); $f_2(t) \in R^{m_2}$ – вектор похибок спостережень.

Відносно невідомих збурювальних чинників $f_1(t), f_2(t)$ і вектора початкових умов x^0 припустимо, що вони обмежені областю $S_{\lambda(t)}$ у вигляді гіпереліпсоїда виду

$$(x^0, f_1, f_2) \in S_{\lambda(t)} = \left\{ (P_0 x^0, x^0) + \int_{t_0}^t (P_1(\tau) f_1(\tau), f_1(\tau)) d\tau + \int_{t_0}^t (P_2(\tau) f_2(\tau), f_2(\tau)) d\tau \leq \lambda^2(t) \right\}, \quad (3)$$

де $P_0 \in R^{m_0 \times m_0}$, $P_1(\tau) \in R^{m_1 \times m_1}$, $P_2(\tau) \in R^{m_2 \times m_2}$ – задані додатно-визначені симетричні вагові матриці; $\lambda(t)$ – відома скалярна функція, що визначає об'єм і динаміку зміни розміру еліпсоїда, (\cdot, \cdot) – скалярний евклідовий добуток векторів.

Введемо в розгляд наступний критерій якості функціонування об'єкта управління

$$J_c(u) = \sup_{(x^0, f_1, f_2) \in S_{\lambda(T)}} I_c(u), \quad (4)$$

де $I_c(u)$ – інтегрально-квадратичний функціонал виду

$$I_c(u) = \int_{t_0}^T [(H(t)x(t), x(t)) + (D(t)u(t), u(t))] dt + (Vx(T), x(T)), \quad (5)$$

в якому $H(t) \in R^{n \times n}$, $D(t) \in R^{m \times m}$, $V \in R^{n \times n}$ – відомі додатно-визначені симетричні вагові матриці.

Критерій (4) враховує найбільш несприятливі збурення, які можуть діяти на об'єкт управління.

Елементи вагових матриць $H(t)$, $D(t)$, V визначають “вагу” відповідної складової у критерії якості (5), причому ця “вага” пропорційна значенням відповідних складових цих матриць.

Оскільки вектор стану $x(t)$ є невідомим, а відомий тільки вектор спостережень $y(t)$, то управління $u(t)$ будемо шукати у вигляді

$$u(t) = R(t)\hat{x}(t), \quad (6)$$

де $R(t)$ – матриця зворотного зв'язку (матриця підсилення), $\hat{x}(t)$ – вектор оцінки координат стану об'єкта $x(t)$, який є виходом наступного фільтра

$$\begin{cases} \frac{d\hat{x}(t)}{dt} = F(t)\hat{x}(t) + G(t)y(t), \\ \hat{x}(t_0) = 0. \end{cases} \quad (7)$$

В рівнянні (7) $F(t) \in R^{n \times n}$, $G(t) \in R^{n \times m_2}$ – невідомі шукані матриці, що визначають структуру фільтра, $y(t)$ – вектор спостережень (2).

Для врахування похибок оцінювання вектора стану об'єкта введемо в розгляд функціонал виду

$$J_e(\hat{x}) = \sup_{(x^0, f_1, f_2) \in S_{\lambda(T)}} I_e(\hat{x}), \quad (8)$$

де $I_e(\hat{x})$ – середньо-квадратична похибка, що визначається формулою

$$I_e(\hat{x}) = \int_{t_0}^T (W(t)(x(t) - \hat{x}(t)), x(t) - \hat{x}(t)) dt \quad (9)$$

з заданою додатно-визначеною симетричною ваговою матрицею $W(t) = W^T(t) > 0$.

Критерій (8) враховує найнесприятливіші збурення, які впливають на похибку оцінювання вектора стану $x(t)$.

На основі двох критеріїв (4) та (8) утворимо узагальнений критерій

$$J(u, \hat{x}) = J_c(u) + J_e(\hat{x}). \quad (10)$$

Тепер остаточно сформулюємо задачу. Необхідно знайти оптимальне управління $u(t)$ у вигляді (6), (7), яке мінімізує функціонал (10). Таке управління будемо називати мінімаксом, а сформульовану задачу коротко запишемо так

$$J(u, \hat{x}) \rightarrow \min_{u, \hat{x}}. \quad (11)$$

Зауважимо, що оскільки структура управління $u(t)$ задається співвідношеннями (6), (7), з невідомими шуканими матрицями $R(t)$, $F(t)$, $G(t)$, то оптимізаційна задача (11) еквівалентна задачі матричної оптимізації

$$Q(R, F, G) \rightarrow \min_{R, F, G}, \quad (12)$$

де введено позначення $Q(R, F, G) \equiv J(u, \hat{x})$.

Для розв'язання даної задачі перетворимо спочатку функціонал $Q(R, F, G)$. Для цього, враховуючи співвідношення (2), (6), рівняння (1) та (7) запишемо у вигляді блочної системи

$$\begin{cases} \frac{dz(t)}{dt} = \bar{A}(t)z(t) + \bar{B}(t)f(t), \\ z(t_0) = \bar{L}x^0, \end{cases} \quad (13)$$

де введені наступні позначення

$$\bar{A}(t) = \left(\begin{array}{c|c} A(t) & B(t)R(t) \\ \hline G(t)C(t) & F(t) \end{array} \right), \quad \bar{B}(t) = \left(\begin{array}{c|c} K(t) & 0 \\ \hline 0 & G(t) \end{array} \right),$$

$$z(t) = \begin{pmatrix} x(t) \\ \hat{x}(t) \end{pmatrix}, \quad f(t) = \begin{pmatrix} f_1(t) \\ f_2(t) \end{pmatrix}, \quad \bar{L} = \begin{pmatrix} L \\ 0 \end{pmatrix}.$$

Перетворимо також область $S_{\lambda(t)}$, якій належить вектор зовнішніх збурень $f(t)$ і вектор початкових умов x^0

$$(x^0, f) \in S_{\lambda(t)} = \left\{ (x^0, f) : (P_0 x^0, x^0) + \int_{t_0}^t (P(\tau) f(\tau), f(\tau)) d\tau \leq \lambda^2(t) \right\}, \quad (14)$$

де $P(t) = \text{diag}(P_1(t), P_2(t))$.

Розглянемо матрицю $T = \begin{pmatrix} E & | & 0 \\ \hline - & | & - \\ E & | & -E \end{pmatrix}$, де E – одинична матриця, і виконаємо

заміну змінних

$$r(t) = T \cdot z(t) = \begin{pmatrix} x(t) \\ x(t) - \hat{x}(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x(t) \\ e(t) \end{pmatrix}. \quad (15)$$

Тут $e(t) = x(t) - \hat{x}(t)$ – похибка оцінювання.

Якщо застосувати матричне перетворення (15) до системи (13), то одержимо

$$\begin{cases} \frac{dr(t)}{dt} = A_c(t)r(t) + B_c(t)f(t), \\ r(t_0) = L_c x^0, \end{cases} \quad (16)$$

де

$$A_c(t) = T \bar{A}(t) T^{-1} = \begin{pmatrix} A(t) + B(t)R(t) & | & -B(t)R(t) \\ \hline A(t) - G(t)C(t) + B(t)R(t) - F(t) & | & -B(t)R(t) + F(t) \end{pmatrix}, \quad (17)$$

$$B_c(t) = T \bar{B}(t) = \begin{pmatrix} K(t) & | & 0 \\ \hline - & | & - \\ K(t) & | & -G(t) \end{pmatrix}, L_c = T \bar{L} = \begin{pmatrix} L \\ - \\ L \end{pmatrix}. \quad (18)$$

Друге рівняння системи (16) описує динаміку похибки оцінювання стану системи. Похибка оцінювання $e(t)$ не повинна залежати від стану системи $x(t)$, а лише від завад $f_1(t)$ і $f_2(t)$. Якщо завади відсутні, тобто, $x^0 = 0, f_1(t) = 0, f_2(t) = 0$, то похибка оцінювання $e(t)$ повинна дорівнювати нулю. Аналіз системи (16) показує, що це можливо лише за умови

$$F(t) = A(t) - G(t)C(t) + B(t)R(t). \quad (19)$$

Отже, невідомими залишились матриці $R(t)$ і $G(t)$.

Продовжимо перетворення. Враховуючи співвідношення (6),(15), критерій $I_c(u)$ можна записати у вигляді

$$I_c(u) = \int_{t_0}^T (H_c(t)r(t), r(t)) dt + (V_c r(T), r(T)), \quad (20)$$

де $H_c(t) = T^T \bar{H}(t) T, V_c = T^T \bar{V} T, \bar{H}(t) = \text{diag}(H(t), R^T(t)D(t)R(t)), \bar{V} = \text{diag}(V, 0)$.

Аналогічно, функціонал $I_e(\hat{x})$ можна перетворити до наступного

$$I_e(\hat{x}) = \int_{t_0}^T (W_e(t)r(t), r(t)) dt, \quad (21)$$

$$\text{де } W_e(t) = T^T \bar{W}(t) T, \bar{W}(t) = \begin{pmatrix} W(t) & | & -W(t) \\ \hline - & | & - \\ -W(t) & | & W(t) \end{pmatrix}.$$

Для розкриття операції \sup в критеріях (4) та (8) використаємо нерівність Коші-Шварца [2,3], за допомогою якої можна отримати наступну формулу

$$\sup_{(x^0, f) \in S_{\lambda(t)}} (a(t), r(t))^2 = \sup_{(x^0, f) \in S_{\lambda(t)}} (a^T(t)r(t))^2 = \lambda^2(t)(S(t)a(t), a(t)), \quad (22)$$

де $a(t) \in R^{2n}$ – довільний заданий вектор, $S(t)$ – симетрична додатно-визначена матриця, яка є розв'язком матричного рівняння

$$\begin{cases} \frac{dS(t)}{dt} = A_c(t)S(t) + S(t)A_c^T(t) + B_c(t)P^{-1}(t)B_c^T(t), \\ S(t_0) = L_c P_0^{-1} L_c^T. \end{cases} \quad (23)$$

Використовуючи спектральний розклад матриць, основні властивості операції supremum та формулу (22), одержимо оцінку зверху функціонала якості $J_c(u)$

$$\begin{aligned} J_c(u) &= \sup_{(x^0, f_1, f_2) \in S_{\lambda}} I_c(u) \leq \int_{t_0}^T \sup_{(x^0, f_1, f_2) \in S_{\lambda(t)}} (H_c(t)r(t), r(t)) dt + \sup_{(x^0, f_1, f_2) \in S_{\lambda(T)}} (V_c r(T), r(T)) \leq \\ &\leq \int_{t_0}^T \lambda^2(t) \text{tr}[S(t)H_c(t)] dt + \lambda^2(T) \text{tr}[S(T)V_c], \end{aligned}$$

де $\text{tr}[\cdot]$ – операція слід матриці, тобто сума її діагональних елементів.

Позначимо через $L_c(R, G)$ праву частину останньої нерівності

$$L_c(R, G) = \int_{t_0}^T \lambda^2(t) \text{tr}[S(t)H_c(t)] dt + \lambda^2(T) \text{tr}[S(T)V_c].$$

Тоді оцінка функціоналу $J_c(u)$ може бути записана так $J_c(u) \leq L_c(R(t), G(t))$.

Функціонал похибки оцінювання стану об'єкта $J_e(\hat{x})$ оцінимо зверху таким чином

$$J_e(\hat{x}) = \sup_{(x^0, f_1, f_2) \in S_{\lambda}} I_e(\hat{x}) \leq \int_{t_0}^T \sup_{(x^0, f_1, f_2) \in S_{\lambda(t)}} (W_e(t)r(t), r(t)) dt \leq \int_{t_0}^T \lambda^2(t) \text{tr}[S(t)W_e(t)] dt.$$

Якщо ввести позначення

$$L_e(R, G) = \int_{t_0}^T \lambda^2(t) \text{tr}[S(t)W_e(t)] dt,$$

то остання нерівність запишеться так $J_e(\hat{x}) \leq L_e(R, G)$.

З останніх співвідношень випливає, що узагальнений функціонал $Q(R, F, G)$ задовольняє нерівності $Q(R, F, G) \leq L(R, G)$, де

$$L(R, G) = L_c(R, G) + L_e(R, G) = \int_{t_0}^T \lambda^2(t) \text{tr}[S(t)(H_c(t) + W_e(t))] dt + \lambda^2(T) \text{tr}[S(T)V_c]. \quad (24)$$

Таким чином, приходимо до оптимізаційної задачі

$$L(R, G) \rightarrow \min_{R, G} \quad (25)$$

при обмеженнях у вигляді матричного диференціального рівняння (23).

Для розв'язання цієї задачі застосуємо матричний принцип максимуму Понтрягіна, відповідно до якого сформуємо функцію Гамільтона виду

$$\begin{aligned} H(R(t), G(t), S(t), \Psi(t)) &= -\lambda^2(t) \text{tr}[S(t)(H_c(t) + W_e(t))] + \\ &+ \text{tr}[\Psi(t)(A_c(t)S(t) + S(t)A_c^T(t) + B_c(t)P^{-1}(t)B_c^T(t))], \end{aligned} \quad (26)$$

де $\Psi(t) = \Psi^T(t)$ – спряжена від'ємно-визначена матриця, яка задовольняє матричне рівняння

$$\begin{cases} \frac{\partial \Psi(t)}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial S(t)} H(R(t), G(t), S(t), \Psi(t)), \\ \Psi(T) = -\frac{\partial}{\partial S(T)} \{ \lambda^2(T) \text{tr}[S(T)V_c] \}. \end{cases} \quad (27)$$

Матриці $R(t), G(t)$ знаходяться з умови максимізації функції Гамільтона (26)

$$R(t), G(t): H(R(t), G(t), S(t), \Psi(t)) \rightarrow \max_{R(t), G(t)} \cdot \quad (28)$$

Використовуючи формули матричного диференціювання, систему (27) можна перетворити до наступної

$$\begin{cases} \frac{\partial \Psi(t)}{\partial t} = -A_c^T(t)\Psi(t) - \Psi(t)A_c(t) + \lambda^2(t)(H_c(t) + W_e(t)), \\ \Psi(T) = -\lambda^2(T)V_c. \end{cases} \quad (29)$$

Для розв'язання оптимізаційної задачі (28) відносно шуканих матриць $R(t)$ та $G(t)$ використаємо необхідну умову екстремуму

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial R(t)} \{ H(R(t), G(t), S(t), \Psi(t)) \} = 0, \\ \frac{\partial}{\partial G(t)} \{ H(R(t), G(t), S(t), \Psi(t)) \} = 0. \end{cases}$$

Після знаходження матричних похідних, з останньої системи можна визначити шукані матриці

$$R(t) = -\lambda^{-2}(t)D^{-1}(t)B^T(t)\Psi(t), \quad G(t) = S(t)C^T(t)P_2(t), \quad (30)$$

де $S(t)$ – симетрична додатно-визначена матриця, яка задовольняє наступне матричне диференціальне рівняння типу Ріккати

$$\begin{cases} \frac{dS(t)}{dt} = A(t)S(t) + S(t)A^T(t) - S(t)C^T(t)P_2(t)C(t)S(t) + K(t)P_1^{-1}(t)K^T(t), \\ S(t_0) = LP_0^{-1}L^T, \end{cases} \quad (31)$$

а $\Psi(t)$ – спряжена матриця, яка є розв'язком наступного матричного диференціального рівняння, що інтегрується в зворотньому часовому напрямку

$$\begin{cases} \frac{d\Psi(t)}{dt} = -A^T(t)\Psi(t) - \Psi(t)A(t) + \lambda^{-2}(t)\Psi(t)B(t)D^{-1}(t)B^T(t)\Psi(t) - \lambda^2(t)H(t), \\ \Psi(T) = \lambda^2(T)V. \end{cases} \quad (32)$$

Зауважимо, що рівняння (31) та (32) визначаються з системи (23), (29) після виконання ряду матричних перетворень, враховуючи їх блочну структуру.

Підставляючи матриці $R(t)$ та $G(t)$, що визначаються за формулами (30), в співвідношення (19), одержимо останню шукану матрицю $F(t)$, яка визначає структуру фільтра (7)

$$F(t) = A(t) - S(t)C^T(t)P_2(t)C(t) - \lambda^{-2}(t)B(t)D^{-1}(t)B^T(t)\Psi(t). \quad (33)$$

При цьому мінімальне значення функціоналу $L_c(R, G)$, що обмежує критерій якості функціонування об'єкта, визначається формулою

$$L_c^{\min}(R, G) = \lambda^2(T) \text{tr}[S(T)V] + \int_{t_0}^T \{ \lambda^2(t) \text{tr}[S(t)H(t)] + \text{tr}[S(t)\Psi(t)S(t)C^T(t)P_2(t)C(t)] \} dt$$

Оскільки регулятор (6) побудовано у вигляді зворотного зв'язку від оцінки стану, то певний інтерес становить похибка оцінювання мінімаксного фільтра (7), (30),

(33). Використовуючи співвідношення (30), можна показати, що мінімальне значення верхньої межі функціоналу похибки оцінювання вектора стану об'єкта визначається за наступною формулою

$$L_e^{\min}(R, G) = \int_{t_0}^T \lambda^2(t) \operatorname{tr}[S(t)W(t)] dt,$$

де $S(t)$ – розв'язок матричного рівняння (31).

Висновки. В роботі одержано конструктивний розв'язок задачі синтезу оптимального мінімаксного управління лінійними об'єктами, що функціонують в умовах зовнішніх збурень, які належать заданій обмеженій області у вигляді еліпсоїда в n – вимірному просторі. Управління знайдено у вигляді зворотного зв'язку від оцінки вектора стану, який є розв'язком мінімаксного фільтра, подібного до фільтра Калмана-Бьюсі. Структура одержаного мінімаксного управління виявилась подібною до структури оптимального управління лінійними стохастичними об'єктами, але одержана за інших припущень щодо збурюючих чинників.

Список літератури

1. Кириченко М.Ф. Аналітичне конструювання мінімаксних регуляторів у лінійних системах / М.Ф. Кириченко//ДАН УРСР, С.А.– 1978.– №1, С. 45-48.
2. Кириченко Н.Ф. Минимаксный подход к рекуррентному оцениванию состояний линейных динамических систем/Н.Ф. Кириченко, А.Г. Наконечный//Кибернетика.-1977.– №4, –С. 52-55.
3. Кириченко М.Ф. Про мінімаксні оцінки станів лінійних динамічних систем/Н.Ф. Кириченко, А.Г. Наконечний//ДАН УРСР, С.А. – 1977.–№7, С. 23-26.
4. Слезенко А.М.. Дослідження оптимального мінімаксного управління лінійними динамічними системами, що функціонують в умовах невизначеності / А.М. Слезенко, О.П. Лобок // Програма і матеріали 78 міжнародної наукової конференції молодих вчених, аспірантів і студентів "Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті", 2-3 квітня 2012р.– К.:НУХТ,2012.– ч. 2.–316-317с.

O. Lobok, B. Goncharenko

National University of Food Technologies

L. Vihrova

Kirovograd National Technical University

Synthesis of optimal minimax control linear multidimensional objects in the conditions of their inexact and incomplete measuring

Real control objects in most cases operating under some uncertainty. It is often relatively perturbations acting on the object, there is no reliable information on the nature of most perturbations (deterministic, stochastic, periodic, etc.). In this case it is advisable to prefer minimax or guaranteed by the management, which provides a quality of transients in the worst external disturbances.

In the given work provides further development of these results to the case of incomplete and inaccurate measurements of the state vector control object.

The problem of optimal control is in-process examined by linear objects functioning in the conditions of vagueness. It is assumed that a vagueness is related to inaccuracy of knowledge about the initial state of object and with out-of-control external indignations operating on an object. On condition of the incomplete and inexact measuring of vector of the state of object and in supposition, that all indefinite factors belong to some limited area, a minimax control is found as a regulator from the estimation of the state, that is the exit of minimax filter of type of Kalman-Bucy.

The paper obtained a constructive solution to the problem of synthesis of optimal minimax control of linear objects, operating under external perturbations which are given limited area in the form of an ellipsoid in -dimensional space. Management found in the form of feedback from the evaluation of the state vector, which is the solution of minimax filter, similar to the filter Kalman-Byusi. The structure of the resulting minimax control appeared similar to the structure of the optimal control of linear stochastic objects, but derived from other assumptions about the disturbing factors.

minimax estimation and control, ellipsoid of possible perturbations, quadratic criterion of optimality, matrix differentiation, principle of maximum, Hamiltonian, matrix equalization of type of Riccati

УДК 621.315.175

С.В. Овчаров, доц., канд. техн. наук

Таврійський державний агротехнологічний університет

Р.В. Телюта, ст. викл, канд. техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет

А.В. Буряк, викл.

ВНЗ Кіровоградський технікум механізації сільського господарства

Дослідження динаміки руху приводного обладнання вітроенергетичної установки вітрильного типу

Запропоновано нову конструкцію перетворення механічної енергії вітру в електричну.
енергія вітру, вітроенергетична установка, перетворювач механічної енергії, установка вітрильного типу

С.В. Овчаров

Таврийский государственный агротехнологический университет

Р.В. Телюта,

Кировоградский национальный технический университет

А.В. Буряк

ВУЗ Кировоградский техникум механизации сельского хозяйства

Исследование динамики движения приводного оборудования ветроэнергетической установки парусного типа

Предложена новая конструкция преобразования механической энергии ветра в электрическую.
энергия ветра, ветроэнергетическая установка, преобразователь механической энергии, установка парусного типа

Вступ. Перетворенню механічної енергії вітру в електричну присвячено багато робіт.

Одним з недоліків запропонованих конструкцій є неповне використання вітрової енергії, яке складає не більше 40%.

Постановка задачі. Тому завданням є розробка технічних засобів перетворення механічної енергії вітру в електричну, які забезпечують повне використання його енергії.

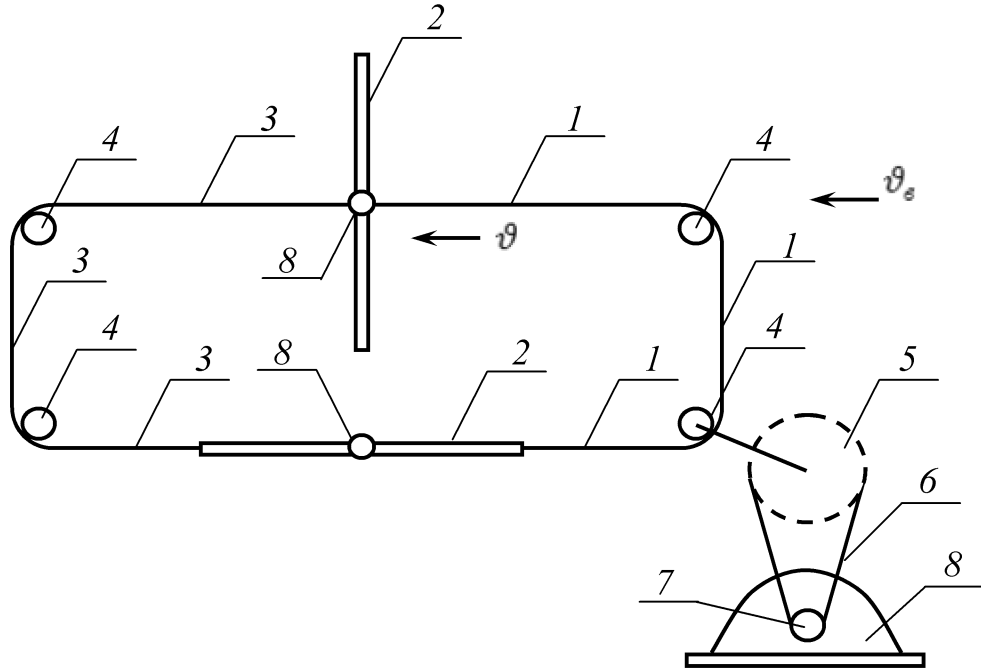
Аналіз публікацій. Існуючі перетворювачі механічної енергії вітру в електричну використовують різні конструктивні особливості [1,2,3]. Недоліком цих пристроїв є їх висока вартість і ненадійність в роботі.

Мета статті. Удосконалення конструкції перетворювачів механічної енергії вітру в електричну.

Основна частина. Для перетворення енергії вітру в електричну енергію шляхом використання асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором у генераторному режимі, що працює на мережу, запропонована вітроенергетична установка вітрильного типу. Кінематична схема зазначеної установки наведена на рисунку 1.

Верхнє вітрило, наприклад, перебуває у вертикальній положенні, тобто перпендикулярно напрямку вітру або перебуває під кутом до нього. Нижнє вітрило в цьому випадку перебуває в горизонтальній положенні. Сила вітру, що діє на верхнє

вітрило, приводить систему в рух і цеп 1 рухається вліво зі швидкістю ϑ . У крайньому лівому положенні верхнє вітрило перевертається в горизонтальне положення. У цей же самий час нижнє вітрило повертається у вертикальне положення й цеп 1 починає рухатися у зворотному напрямку. У крайньому лівому положенні нижнього вітрила воно повертається в горизонтальне положення. У це ж саме час верхнє вітрило повертається у вертикальне положення й усе повторюється.



1 – цеп; 2 – вітрила; 3 – трос; 4 – мала зірочка; 5 – велика зірочка; 6 – мала цеп; 7 – мала зірочка; 8 – електродвигун

Рисунок 1- Кінематична схема вітроенергетичної установки парусного типу

Рух цепу 1 передається малій 4 і великій зірочці 5. За допомогою іншого цепу 6 рух, збільшуючись за швидкістю, передається малій зірочці 7, яка перебуває на валу електродвигуна 8.

Двигун 8 робить обертовий рух, віддаючи електричну енергію в мережу при кутовій швидкості його обертання $\omega > \omega_0$.

Дослідимо динаміку руху приводу описаної системи, для чого складемо диференціальне рівняння її руху:

$$M_{\delta} + M_c = M_e, \tag{1}$$

де M_{δ} – динамічний момент, $H \cdot m$;

M_c – момент опору електродвигуна, що працює в режимі генератора, $H \cdot m$;

M_e – момент, що розвивається вітрилом і прикладений до маленької зірочки, $H \cdot m$.

Момент динамічний запишемо в такий спосіб:

$$M_{\delta} = J \frac{d\omega}{dt}, \tag{2}$$

де J – момент інерції системи, приведений до малої зірочки, $кг \cdot м^2$;

ω – кутова швидкість обертання малої зірочки, $рад/с$;

t – поточний час, $с$.

Момент опору:

$$M_c = M_n \frac{\omega - \omega_0}{\omega_0 - \omega_n}, \quad (3)$$

де M_n – номінальний момент електродвигуна, *Н·м*;

ω_0 – синхронна кутова швидкість, *рад/с*;

ω_n – номінальна кутова швидкість електродвигуна, *рад/с*;

ω – поточна кутова швидкість малої зірочки, *рад/с*;

M_c – поточний момент опору електродвигуна, що працює в режимі генератора,

Н·м.

Момент, що розвивається вітроустановкою:

$$M_6 = 0,5\rho S\vartheta_6^2 r, \quad (4)$$

де ρ – щільність повітря, *кг·м⁻³*;

S – площа вітрила, *м²*;

ϑ_6 – швидкість вітру, *м/с*;

r – радіус малої зірочки, *м*.

Підставляємо (2), (3) і (4) в (1) і одержуємо:

$$J \frac{d\omega}{dt} + M_n \frac{\omega - \omega_0}{\omega_0 - \omega_n} = 0,5\rho S\vartheta_6^2 r. \quad (5)$$

Перетворимо (5) до наступного виду:

$$T \frac{d\omega}{dt} + \omega = \omega_y, \quad (6)$$

де

$$T = \frac{J(\omega_0 - \omega_n)}{M_n}, \quad (7)$$

$$\omega_y = \omega_0 + \frac{0,5\rho S\vartheta_6^2 r(\omega_0 - \omega_n)}{M_n}, \quad (8)$$

У рівнянні (6)

T – постійна часу електромеханічної системи, *с*;

ω_y – усталена кутова швидкість малої зірочки, *рад/с*.

Розв'язавши рівняння (6), знаходимо закон зміни кутової швидкості малої зірочки, починаючи від стану спокою:

$$\omega = \omega_y (1 - e^{-\frac{t}{T}}), \quad (9)$$

У режимі, що встановився

$$\omega = \omega_y, \quad (10)$$

Знайдемо значення встановленої кутової швидкості прийнявши наступні значення параметрів системи:

$P_{2n} = 4000 \text{ Вт}$; $n_n = 710 \text{ об/хв}$; $n_0 = 750 \text{ об/хв}$; $\rho = 1,29 \text{ кг/м}^3$; $\vartheta_6 = 10 \text{ м/с}$; $r = 0,025 \text{ м}$; $S = 10 \text{ м}^2$; $\omega_0 = 78,75 \text{ рад/с}$; $\omega_n = 74,45 \text{ рад/с}$; $M_n = 53,65 \text{ Н·м}$.

Підставляємо задані значення параметрів в (8):

$$\omega_y = 78,75 + \frac{0,5 \cdot 1,29 \cdot 10 \cdot 10^2 \cdot 0,025(78,75 - 74,75)}{53,65} = 129 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Знаходимо лінійну швидкість руху цепу в режимі, що встановився:

$$\mathcal{G} = \omega_y r. \quad (11)$$

$$\mathcal{G} = 129 \cdot 0,025 = 3,2 \frac{\text{м}}{\text{с}},$$

У цьому випадку швидкість вітру повинна бути рівної $\mathcal{G}_g = 13,2$ м/с. Знайдемо потужність, що розвивається вітроустановкою:

$$P_g = F_g \mathcal{G}, \quad (12)$$

де

$$F_g = 0,5 F \mathcal{G}_g^2, \quad (13)$$

$$F_g = 0,5 \cdot 1,29 \cdot 10 \cdot 10^2 = 645 \text{ Н}.$$

$$P_g = 645 \cdot 3,2 = 2064 \text{ Вт}.$$

Висновки. Таким чином, проведені дослідження показують, що запропонована система перетворення механічної енергії в електричну може бути реалізована.

Список літератури

1. Овчаров С.В. Динаміка вітроенергетичної установки з вертикальною віссю. // Праці / Таврійська державна агротехнічна академія. / С.В.Овчаров, О.Ю. Михайленко – Вип.8. Т.10. - Мелітополь: ТДАТА, 2008. – 86 – 91с.
2. Овчаров С.В. Экспериментальное исследование параметров ветроэнергетической установки с вертикальной осью. // Праці / Таврійська державна агротехнічна академія. / С.В.Овчаров, Е.Ю. Михайленко. – Вип.10. Т.4. - Мелітополь: ТДАТУ, 2010. – 107 – 113 с.
3. Овчаров С.В. Конструктивные особенности ВЭУ с поворотными лопастями и вертикальной осью. // Праці / Таврійська державна агротехнічна академія. / С.В.Овчаров, Е.Ю. Михайленко. – Вип.11. Т.3. - Мелітополь: ТДАТУ, 2011. – 94 – 98 с.

S. Ovcharov

Taurian State Agrotechnical University

R. Teluta

Kirovograd National Technical University

A. Buryak

HEI Kirovograd College of Agricultural Mechanization

Research of driving equipment motion dynamics with wind energetic options of the wind-driven type

There are many works is sanctified to about converting of mechanical wind power into electric. One of lacks of the constructions which offered is partial using of wind energy, which makes not more than 40%.

For converting of wind power into electric energy by the use of asynchronous electric motor with a short-circuited rotor in the generator mode which works on a network, the wind-driven power plant of the wind-driven type is offered. There are shown an example of kinematics chart of the wind-driven power plant, and also principle of its work. Theoretical research is conducted dynamics of motion of drive in the described system.

The research is conducted show that the offered system of transformation of mechanical energy in electric can be realized.

wind power, wind-driven power plant, transformer of mechanical energy, power plant of the wind-driven type

Одержано 11.04.13

УДК 620.4+658.22

П.Г.Плешков, доц., канд. техн. наук, П.Г. Стець, асп.

Кіровоградський національний технічний університет

Аналіз енергоресурсної бази Кіровоградської області, перспективи використання власних паливно-енергетичних ресурсів та відновлюваних джерел енергії для енергозабезпечення області

В статті проведено аналіз енергетичного потенціалу викопного палива Кіровоградської області. Визначено необхідність створення точної карти енергетичних потенціалів відновлюваних джерел енергії. Запропоновано спосіб зниження вартості енергії та підвищення надійності енергозабезпечення через підвищення частки використання власних енергоресурсів в паливно-енергетичному балансі області. **енергоспоживання, паливні енергоресурси, викопне паливо, відновлювані джерела енергії, житлово – комунальний комплекс, карта енергетичних потенціалів, енергозбереження**

П.Г.Плешков, П.Г.Стець

Кіровоградский национальный технический университет

Анализ энергоресурсной базы Кировоградской области, перспективы использования собственных топливно-энергетических ресурсов и возобновляемых источников энергии для энергообеспечения области

В статье проведен анализ энергетического потенциала ископаемого топлива Кировоградской области. Определена необходимость создания точной карты энергетических потенциалов восстанавливаемых источников энергии. Предложен способ снижения стоимости энергии, и повышение надежности энергообеспечения через повышение части использования собственных энергоресурсов в топливно-энергетическом балансе области.

енергопотребление, топливные энергоресурсы, ископаемое топливо, возобновляемые источники энергии, жилищно-коммунальный комплекс, карта энергетических потенциалов, энергозбережение

Вступ. Протягом останнього десятиріччя спостерігається тенденція невпинного зросту об'ємів споживання викопного палива. Оскільки запаси його обмежені, а в процесі їх вичерпування технологія видобування ускладнюється, то зростає і їх ціна. Однією з найважливіших умов сталого та динамічного розвитку області є вирішення проблем зменшення енергозалежності та скорочення енергоємності виробництва. На території Кіровоградської області розвідані родовища більш ніж двох десятків різноманітних видів корисних копалин [1,2], серед них наступні паливно-енергетичні ресурси: буре вугілля, горючі сланці та торф; також в Кіровоградській області зосереджено 83% усіх українських запасів уранової руди. Область має досить високий потенціал своїх власних паливних енергоресурсів, але в паливно-енергетичному балансі області переважає частка імпортованих енергоресурсів, зокрема кам'яного вугілля, природного газу та мазуту. Це обумовлює високу енергозалежність області, структурну недосконалість обласного паливно-енергетичного комплексу, знижує ефективність його функціонування та уповільнює фінансовий розвиток області - як наслідок, маючи високий потенціал за паливними енергоресурсами область

залишається енергозалежною. Тому, проблема стимулювання використання власних енергоресурсів з кожним роком буде загострюватись.

Актуальність теми. Невпинне підвищення вартості енергоресурсів спричиняє підвищення уваги суспільства до використання енергії, отриманої з відновлюваних джерел. У випадку коли видобуток або імпорт традиційних джерел енергії є економічно неефективним, використання нетрадиційних відновлюваних джерел енергії більш вигідне. Кіровоградська область має достатній для забезпечення свої потреб енергоресурсний потенціал, але інтенсифікація видобутку викопних енергоресурсів, особливо уранової руди, здатна значно погіршити стан навколишнього середовища області, що значно підвищує пріоритетність використання нетрадиційних відновлюваних джерел енергії, зокрема використання енергії вітру, сонця, переробки відходів сільгосподарського виробництва, лісоводства, деревообробки та застосування малих гідроелектростанцій. Використання вітрової та сонячної енергії вимагає створення уточненої карти енергетичних потенціалів області за цими видами енергії, оскільки в окремих випадках більш економічно доцільним буде застосування інших, кліматично незалежних видів енергії, а за попередніми дослідженнями, враховуючи географічні особливості області, найбільш стабільними та ефективними є комбіновані системи із використанням декількох джерел енергії [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій Детальний опис геологічної структури регіону, та обсягів наявних у ньому викопних ресурсів можна знайти в роботі [1,2], але дані застаріли, та не враховують новітніх досліджень. В роботі [3] проводиться дослідження системи живлення із комбінованим використанням декількох джерел енергії, проводиться порівняння декількох типів систем живлення. В роботі [4] проводиться дослідження енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії країни в цілому, наведено приклад комбінованої енергосистеми, проведено розрахунок вартості енергії при використанні різних комбінацій джерел енергії, проведено порівняння частки альтернативних джерел енергії в паливно - енергетичних балансах країн Європейського Союзу та України. В [5] проводиться попередній аналіз потенціалу області за викопними та відновлюваними джерелами енергії.

Основні матеріали дослідження. В Кіровоградській області поширені родовища бурого вугілля, які відносяться до Дніпровського буровугільного басейну. Товщина шарів вугілля досягає 20 м. В області зосереджено 90 % запасів вугілля (3,3 млрд. т) Дніпровського басейну. Родовища відомі в Олександрії, Балаховці, Петровому, Михайлівці, Бандурівці. На даний час видобуток вугілля в області не ведеться [2].

В області горючі сланці знайдені в 60-х роках поблизу села Бовтишка Олександрівського району. Запаси сланців складають близько 3 млрд. т. Болтишське родовище горючих сапропелітових сланців знаходиться у центральній частині України на межі Кіровоградської та Черкаської областей. В складі їх органічної речовини є сапропелітові матеріали. Пористість сланців 40-50%, густина 1,8-2,0 г/см³, зольність 52-65%, теплота згорання – 8,4 МДж/кг. Запаси цього родовища складають близько 3,8 млрд. т. Потужність продуктивних пластів горючих сланців досягає 400 м. Кількість горючих речовин в українських горючих сланцях 12—35 %, теплота згорання 3,75—10,0 МДж/кг, середній вихід летких речовин — 50 % на органічну масу, вміст водню і кисню в горючій речовині відповідно 6,5—7,5 % та 16—20 %. Вміст сірки на суху масу 1,5—3,5 % (65 % — сульфіди та дисульфіди, 5—15 % — сульфати). За попередніми розрахунками вартість отримання 1 тонни сланцевої смоли з врахуванням на видобуток та переробку сланців становить 200 — 250 доларів США. Проте, при комплексному використанні всіх продуктів переробки (газу, мінеральної частини) позитивний економічний ефект може бути більшим [2].

В Кіровоградській області знаходяться невеликі родовища торфу, що розташовані в заболочених плавнях річок Мала Вись та Велика Вись, в долинах річок близько Новомиргорода, біля Онуфріївки. Маловисківське та Великовисківське родовища містять низинний тип торфу, зольність його становить 33 %, питомою теплотою згоряння 2,160 МДж/кг. Нині видобуток торфу не ведеться.

Серед найкрупніших уранових родовищ області слід виділити: Новокостянтинівське, Мічуринське, Ватутинське, Северинське; розвідано також цілий ряд інших, на базі яких утворено власну мінерально-сировинну базу атомної енергетики України. Усі родовища, за наявними в них запасами, відносяться до великих. Переробка урану здійснюється до стадії «окис-закис». В смт. Смоліно, на базі Новокостянтинівського родовища, планується побудова комбінату по переробці уранової руди в ядерні паливні елементи, із залученням російських інвестицій. Власне, як джерело енергії – уран в Кіровоградській області використовуватись не може, оскільки область не має своїх АЕС. Інтенсифікація видобутку уранової руди здатна значно погіршити екологічну обстановку області.

Розміщення родовищ паливних енергоресурсів Кіровоградської області схематично зображено на рис. 1.



1.буре вугілля, 2 - торф, 3 - горючі сланці, 4 – уранова руда
Рисунок 1 - Карта розповсюдження викопних енергоресурсів Кіровоградської області

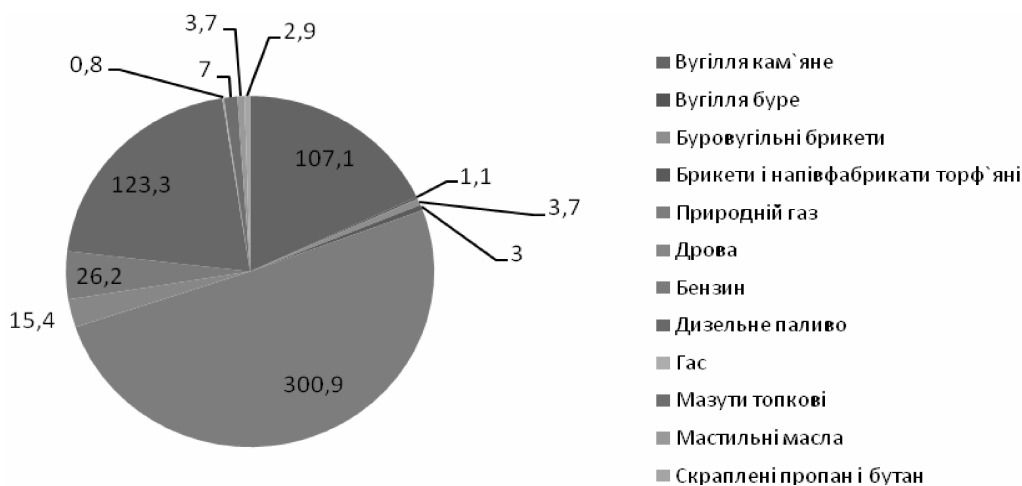


Рисунок 2 - Структура споживання паливно-енергетичних ресурсів за 2011 рік (т. умов. п.) [4]

Як наведено на приведеному рис.2 – споживання бурого вугілля досягло в 2011 році 123,3 т. умов. палива, торфу 7 т. умов. палива кам'яного вугілля - 300,9 т. умов. палива – дані ресурси можна замінити за рахунок видобування горючих сланців, сланцевого газу та відновлення видобутку бурого вугілля. При використанні не імпортованих паливно-енергетичних ресурсів, а власних – вартість отриманої в результаті енергії можна значно знизити. За даними [5] частка рівна 40,6 % всіх імпортованих в область енергоресурсів використовується безпосередньо як паливо. Обсяги споживання кам'яного та бурого вугілля, скраплених пропану та бутану, природного газу – безпосередньо як палива, можна значно знизити при застосуванні для опалення житлових будівель теплових насосів та сонячних колекторів.

Кіровоградська область знаходиться у II зоні сонячної активності. Середня сонячна активність на території Кіровоградської області складає 1250 кВт год/ (кв.м рік), або близько 8 кВт/сонячну годину. Кількість сонячних годин протягом року коливається від 1-2 у грудні до 8-9 у літні місяці. Тому найбільш перспективним є застосування сонячних колекторів для підігрівання води у комунально-побутових та інших установах із значною витратою гарячої води у неопалювальний період [5].

Умовою успішного впровадження вітроенергетичних установок є середньорічна швидкість вітру не менше ніж 4,25 м/с. Новітні тихохідні вітроенергетичні установки здатні генерувати номінальний рівень своєї потужності вже при 3,7 м/с, але їх установка потребує більших капіталовкладень. За даними Кіровоградського обласного центру з гідрометеорології Державної гідрометеорологічної служби України, середньорічна швидкість вітру по Кіровоградській області – 2,4 – 4,1 м/с [4].

Територією Кіровоградської області протікає 438 річок загальною довжиною 5,6 тис.км. В області працюють ГЕС потужністю: Кременчуцька - 625,0 МВт; Тернівська - 1,95 МВт; Гайворонська - 5,7 МВт; Червонохутірська - 3,3 МВт; Новоархангельська - 1,3 МВт; Березівська - 0,16 МВт. Можливий потенціал гідроенергетики Кіровоградської області складає 170 млн. кВт год/рік. З них економічно доцільних – 50,32 млн.кВт год/рік [5].

Висновок: родовища викопного палива зосереджені у північних та центральних районах області, а за потенціалом відновлюваних джерел переважають південні. Дані по потенціалу енергії вітру та сонячного випромінення отримані розрахунковим шляхом і являють собою усереднене значення. В окремих випадках – зокрема для: Гайворонського, Ульянівського районів – потрібно враховувати вплив р. Південний Буг; Світловодського, Олександрійського, Онуфріївського, Петрівського районів – вплив р. Дніпро; для Кіровоградського, Знам'янського, Олександрійського районів – вплив місцевої промисловості. З вищевказаного слідує: необхідно провести дослідження місцевої метео-статистичної інформації, провести контрольні заміри в опорних точках – на межі досягнення стаціонарних метеостанцій, врахувати локальні особливості ландшафту і на основі цих даних створити уточнену карту енергетичних потенціалів області (по районах) по енергії вітру та сонячного випромінення. Це дозволить з високою точністю оцінювати економічну доцільність використання даних типів відновлюваних джерел для отримання енергії в обраному для розміщення енергоустановок районі.

Список літератури

1. А. П. Стукало «Геологическая карта кристаллического основания северо-западной и центральной частей Украинского щита. Масштаб 1:500 000» // - К.: Мин. геол. УССР, 1974.
2. Мала гірнича енциклопедія. В 3-х т. / За ред. В. С. Білецького. — Донецьк: Донбас, 2004.
3. М.В. Кубкін, В.П. Солдатенко, П.Г.Стець Вибір системи електропостачання з відновлюваними джерелами енергії.: КНТУ, Кіровоград.- 2010.
4. П.Г. Плешков Підвищення енергоефективності сільськогосподарського виробництва на основі комплексної електроенергетичної системи. : КНТУ, Кіровоград.- 2010.

5. Програма енергоефективності Кіровоградської області на період до 2015 року: - Кіровоград: ОДА, – 2012.

P.Pleshkov, P.Stetc

Kirovograd State Technical University

The analysis of power potential base of Kirovograd region and forecasts of using it own fossil fuel and renewable power sources for power supplies

The first aim of this article is to show the demands of our region in importable energy sources and the potential of own fossil fuel which is not used. The second - is to find the way to replace importable fuel by renewable energy sources and prepare the base direct calculation of their potential.

The analysis of power potential of fossil fuel of the Kirovograd area is conducted in the article. The necessity of creation of exact map of power potentials of renewable energy sources is certain. The method of decline of energy cost, and increase reliability of energy producing through the increase of part of the use of own resources, is offered in fuel and energy balance of area. Deposits of fossil fuel in the areas concentrated north and central districts, and the south prevail after potential of renewable sources. The wind power and sun radiation given on potential are got a calculation way, and show itself a medium value.

From foregoing follows: it is necessary to conduct research of local meteorology information, conduct control intentions in supporting points - on verge of reach of stationary weather-stations, to take into account the local features of landscape, and on the basis of these data to create the specified map of power potentials of area (on districts) for wind and sun radiation powers. It will allow to estimate financial viability of the use of these types of refurbish able sources for the receipt of energy in a select for placing of power stations with high exactness.

energy saving, fossil fuel, renewable energy sources, communal complex, map of power potentials, energy-savings

Одержано 28.03.13

УДК 681.513.5

О.П. Лобок, канд. фіз.-мат. наук, Б.М. Гончаренко, д-р техн. наук,

Н.М. Савіцька, асист.

Національний університет харчових технологій, м. Київ

Мінімаксне управління лінійними багатовимірними об'єктами зі стаціонарними зовнішніми збуреннями

В роботі розглядається задача гарантованого, тобто мінімаксного управління об'єктами керування, які описуються системами лінійних диференціальних рівнянь з інтервальними зовнішніми збуреннями та збуреннями в початковий момент часу, причому припускається, що зовнішні збурення є стаціонарними. Інтервальні збурення пропонується апроксимувати еліпсоїдом мінімального об'єму, в результаті чого початкова задача мінімаксного управління апроксимується субоптимальною задачею мінімаксного управління з еліпсоїдальними збуреннями, для розв'язання якої можна застосувати відомі підходи.

лінійні системи, мінімаксний регулятор, оптимальне керування, інтервальні збурення, еліпсоїд допустимих збурень, функція Лагранжа

А.П. Лобок, Б.Н. Гончаренко, Л.Г. , Н.М. Савицкая

Національний університет тицевих технологій, г. Киев

Минимаксное управление линейными многомерными объектами со стационарными внешними возмущениями

В работе рассматривается задача гарантированного, т.е. минимаксного управления объектами управления, которые описываются системами линейных дифференциальных уравнений с интервальными внешними возмущениями и возмущениями в начальный момент времени, причем предполагается, что внешние возмущения являются стационарными. Интервальные возмущения предлагается аппроксимировать эллипсоидом минимального объема, в результате чего исходная задача минимаксного управления аппроксимируется субоптимальной задачей минимаксного управления с эллипсоидальными возмущениями, для решения которой можно использовать известные подходы.

линейные системы, минимаксный регулятор, оптимальное управление, интервальные возмущения, эллипсоид допустимых возмущений, функция Лагранжа

Вступ. Реальні об'єкти управління часто-густо функціонують в умовах певної невизначеності. Ця невизначеність може бути різної природи, наприклад, стохастична – з відомими чи невідомими статистичними характеристиками, детермінована – з еліптичною чи інтервальною областю допустимих збурень, комбінована, тощо. Побудова багатовимірних регуляторів для таких неповністю визначених об'єктів взагалі є досить важкою задачею.

В роботах [1-3] розглядався клас задач мінімаксного управління системами зі збуреннями, що належать деякій множині у вигляді багатовимірного гіпереліпсоїду. Якщо ж збурення не належать гіпереліпсоподібній множині, то конструктивні результати одержати досить важко. На практиці збурення, відхилення або неточності часто задаються у вигляді певних інтервалів або в у вигляді n -вимірних паралелепіпедів, які будемо називати інтервальними областями невизначеності. Тому, щоб одержати конструктивні результати, необхідно ці інтервальні обмеження апроксимувати зверху деякими гіпереліпсоїдами. Звичайно, що при такій апроксимації збільшується область допустимих збурень і отже, оптимальне мінімаксне управління буде апроксимоване субоптимальним управлінням. Основною задачею при цьому є побудова багатовимірних еліпсоїдів мінімального об'єму, які апроксимують інтервальні області невизначеності.

Мета статті. В даній роботі будується еліпсоїд мінімального об'єму, який охоплює інтервальні збурення в початковий момент часу та стаціонарні збурення, що діють на об'єкт управління в процесі його функціонування. Одержаний еліпсоїд допустимих збурень дає можливість будувати мінімаксні регулятори, які забезпечують певну якість перехідних процесів за найбільш несприятливих збурень, що діють на об'єкт управління.

Виклад основного матеріалу. Розглянемо об'єкт управління, який описується наступною лінеаризованою системою звичайних диференціальних рівнянь

$$\begin{cases} \frac{dx(t)}{dt} = A(t)x(t) + B(t)u(t) + K(t)f, & t_0 < t \leq T, \\ x(t_0) = Lx^0, \end{cases} \quad (1)$$

де $x(t) \in R^n$ – вектор стану об'єкта в момент часу t , $u(t) \in R^m$ – вектор керувальних дій, $f \in R^l$ – вектор зовнішніх впливів (або збурень), $x^0 \in R^r$ – вектор стану об'єкта в початковий момент часу t_0 , $A(t) \in R^{n \times n}$, $B(t) \in R^{n \times m}$, $K(t) \in R^{n \times l}$, $L \in R^{n \times r}$ – відомі матриці; R^n ($R^{n \times n}$) – n ($n \times n$) - вимірний евклідов простір векторів (матриць) відповідної розмірності.

Припустимо, що вектор зовнішніх збурень f та вектор початкового наближення x^0 є невідомими векторами, елементи яких задовольняють інтервальним обмеженням виду

$$\begin{cases} f \in \Omega_f = \{f : f = (f_1, f_2, \dots, f_l)^T, a_i \leq f_i \leq b_i, i = 1, 2, \dots, l\}, \\ x^0 \in \Omega_{x^0} = \{x^0 : x^0 = (x_1^0, x_2^0, \dots, x_r^0)^T, c_i \leq x_i^0 \leq d_i, i = 1, 2, \dots, r\}, \end{cases} \quad (2)$$

де a_i, b_i, c_i, d_i – відомі граничні значення збурюючих чинників.

Нехай спостереження за компонентами вектора стану $x(t)$ описуються рівнянням

$$y(t) = C(t)x(t), \quad (3)$$

де $y(t) \in R^s$ – вектор результатів вимірів, $C(t) \in R^{s \times n}$ – задана матриця спостережень.

Розглянемо інтегрально-квадратичний функціонал виду

$$J(u) = \int_0^T (x^T(t)P(t)x(t) + u^T(t)D(t)u(t)) dt + x^T(T)P_T x(T), \quad (4)$$

де $P(t) = P^T(t) \geq 0, D(t) = D^T(t) > 0, P_T = P_T^T \geq 0$ – задані вагові матриці.

Задача полягає в тому, щоб знайти управління $u(t)$ у вигляді

$$u(t) = R(t)y(t), \quad (5)$$

тобто у вигляді регулятора від спостережуваних координат $y(t)$, яке мінімізує наступний критерій

$$I(u) = \sup_{f \in \Omega_f, x^0 \in \Omega_{x^0}} J(u). \quad (6)$$

Управління $u^0(t)$, яке задовольняє умові

$$I(u^0) = \inf_u I(u) = \inf_u \sup_{f \in \Omega_f, x^0 \in \Omega_{x^0}} J(u) \quad (7)$$

будемо називати оптимальним мінімаксним управлінням.

В такій постановці задачі з інтервальними обмеженнями (2) одержати конструктивні результати досить важко. Тому інтервальні області допустимих збурень Ω_f та Ω_{x^0} апроксимуємо одним еліпсоїдом мінімального об'єму. Для цього спочатку розглянемо $(l+r)$ -вимірний паралелепіпед збурень виду

$$\Omega_\eta = \{\eta : \eta = (f, x^0); f \in \Omega_f, x^0 \in \Omega_{x^0}; \alpha_i \leq \eta_i \leq \beta_i, i = 1, 2, \dots, l+r\}, \quad (8)$$

в якому

$$\alpha_i = \begin{cases} a_i, & 1 \leq i \leq l, \\ c_i, & l+1 \leq i \leq l+r, \end{cases} \quad \beta_i = \begin{cases} b_i, & 1 \leq i \leq l, \\ d_i, & l+1 \leq i \leq l+r, \end{cases}$$

і нагадаємо, що довільний еліпсоїд може бути описаний рівнянням

$$(\eta - \eta_0)^T H (\eta - \eta_0) = 1, \quad (9)$$

де η_0 – центр еліпсоїда, а H – симетрична додатно визначена матриця, яка визначає орієнтацію та розмір еліпсоїда.

Наша задача буде полягати в тому, щоб знайти матрицю H та вектор η_0 , при яких еліпсоїд (9) апроксимує паралелепіпед (8), причому буде мати мінімальний об'єм.

Враховуючи, що осі паралелепіпеда (8) паралельні координатним осям, неважко прийти до висновку, що центр шуканого еліпсоїда визначається за формулою

$$\eta_{0i} = \frac{1}{2}(\alpha_i + \beta_i), i = 1, 2, \dots, l+r, \quad (10)$$

а матриця H повинна бути діагональною, тобто $H = \text{diag}(h_1, h_2, \dots, h_{l+r})$.

Приймаючи це до уваги, а також те, що вершини паралелепіпеда (8) повинні знаходитись на поверхні шуканого еліпсоїда, з (9) можна одержати

$$\sum_{i=1}^{l+r} \left(\frac{\beta_i - \alpha_i}{2} \right)^2 \cdot h_i = 1. \quad (11)$$

Оскільки об'єм еліпсоїда (9) з діагональною матрицею H визначається за формулою

$$V_{l+r} = C_{l+r} \prod_{i=1}^{l+r} h_i^{-\frac{1}{2}},$$

де $C_{l+r} = \pi^{(l+r)/2} / \Gamma((l+r)/2 + 1)$ – константа, яка залежить лише від розмірності простору $(l+r)$ і не залежить від величин h_1, h_2, \dots, h_{l+r} , то задачу пошуку еліпсоїда мінімального об'єму формалізовано можна представити як оптимізаційну задачу

$$C_{l+r}^{-2} V_{l+r}^2 = \prod_{i=1}^{l+r} h_i^{-1} \rightarrow \min_{h_i}$$

з обмеженням (11).

Для розв'язання цієї задачі використаємо метод множників Лагранжа, у відповідності до якого будемо функцію Лагранжа вигляду

$$L(h_1, h_2, \dots, h_{l+r}, \lambda) = \prod_{i=1}^{l+r} h_i^{-1} - \lambda \left[\sum_{i=1}^{l+r} \left(\frac{\beta_i - \alpha_i}{2} \right)^2 \cdot h_i - 1 \right], \quad (12)$$

де λ – множник Лагранжа.

Оптимальні параметри h_1, h_2, \dots, h_{l+r} та множник λ визначаються з умови мінімізації функції Лагранжа (12)

$$L(h_1, h_2, \dots, h_{l+r}, \lambda) \rightarrow \min_{h_i, \lambda}. \quad (13)$$

Використаємо для розв'язання задачі (13) необхідну умову екстремуму

$$\begin{cases} \frac{\partial L(h_1, h_2, \dots, h_{l+r}, \lambda)}{\partial h_j} = -h_j^{-2} \prod_{\substack{i=1+r \\ i \neq j}}^{l+r} h_i^{-1} - \lambda \left(\frac{\beta_j - \alpha_j}{2} \right)^2 = 0, \\ \frac{\partial L(h_1, h_2, \dots, h_{l+r}, \lambda)}{\partial \lambda} = 1 - \sum_{i=1}^{l+r} \left(\frac{\beta_i - \alpha_i}{2} \right)^2 \cdot h_i = 0. \end{cases} \quad (14)$$

З першого рівняння системи (14) визначимо множник Лагранжа

$$\lambda = -h_j^{-2} \prod_{\substack{i=1+r \\ i \neq j}}^{l+r} h_i^{-1} \left(\frac{2}{\beta_j - \alpha_j} \right)^2 = -h_j^{-1} \prod_{i=1}^{l+r} h_i^{-1} \left(\frac{2}{\beta_j - \alpha_j} \right), \quad j = 1, 2, \dots, l+r,$$

використовуючи який, з системи (14) можна одержати наступне співвідношення

$$h_i \left(\frac{\beta_i - \alpha_i}{2} \right)^2 = h_j \left(\frac{\beta_j - \alpha_j}{2} \right)^2 \quad \text{для всіх індексів } i, j = 1, 2, \dots, l+r. \quad (15)$$

Тоді, приймаючи до уваги вираз (15), з рівності (11) одержимо

$$\sum_{i=1}^{l+r} \left(\frac{\beta_i - \alpha_i}{2} \right)^2 \cdot h_i = (l+r) \cdot h_j \left(\frac{\beta_j - \alpha_j}{2} \right)^2 = 1,$$

звідки

$$h_i = \frac{4}{l+r} (\beta_i - \alpha_i)^{-2}, \quad i = 1, 2, \dots, l+r. \quad (16)$$

Неважко показати, що оптимальні параметри (16) задовольняють також достатнім умовам мінімізації функції Лагранжа (13), де $(l+r)$ – розмірність простору зовнішніх збурень.

Таким чином, оптимальний еліпсоїд мінімального об'єму, який апроксимує паралелепіпед збурень (8), визначається співвідношеннями (9), (10), (16).

Повернемося тепер безпосередньо до задачі побудови мінімаксного регулятора. Для еліпсоїда мінімального об'єму введемо позначення

$$S_\eta = \{ \eta : \eta \in R^{l+r}, (\eta - \eta_0)^T H (\eta - \eta_0) \leq 1 \}, \quad (17)$$

де $\eta_0 = (\eta_{01}, \eta_{02}, \dots, \eta_{0(l+r)})^T$, $H = \text{diag}(h_1, h_2, \dots, h_{l+r})$, а величини η_{0i} та h_i обчислюються за формулами (10) та (16).

Тоді початковий критерій (6) можна апроксимувати функціоналом

$$I_S(u) \square \sup_{\eta \in S_\eta} J(u) \geq \sup_{f \in \Omega_f, x^0 \in \Omega_{x^0}} J(u) = I(u). \quad (18)$$

Для розв'язання задачі побудови субоптимального мінімаксного управління з критерієм $I_S(u)$ спочатку перетворимо функціонал $J(u)$. Для цього, використовуючи співвідношення (3) та (5), перетворимо спочатку систему (1) до наступної

$$\begin{cases} \frac{dx(t)}{dt} = (A(t) + B(t)R(t)C(t))x(t) + K(t)f, & t_0 < t \leq T, \\ x(t_0) = Lx^0, \end{cases} \quad (19)$$

і запишемо розв'язок цієї системи у вигляді

$$x(t) = G(t, t_0)Lx^0 + \int_{t_0}^t G(t, \tau)K(\tau)d\tau \cdot f, \quad (20)$$

де $G(t, \tau)$ – фундаментальна матриця системи (19), яка є розв'язком матричного рівняння

$$\begin{cases} \frac{\partial G(t, \tau)}{\partial t} = (A(t) + B(t)R(t)C(t))G(t, \tau), \\ G(\tau, \tau) = E, \end{cases}$$

в якому E – одинична матриця.

Приймаючи до уваги формули (3), (5), (20), функціонал $J(u)$ можна представити у вигляді

$$J(u) = \eta^T F \eta,$$

де

$$F = F(R) = \int_{t_0}^T W^T(t) (P(t) + C^T(t)R^T(t)D(t)R(t)C(t))W(t)dt + W^T(T)P_T W(T),$$

а матриця $W(t) \in R^{n \times (l+r)}$ задовольняє рівнянню

$$\begin{cases} \frac{dW(t)}{dt} = (A(t) + B(t)R(t)C(t))W(t) + (0 : K(t)), \\ W(t_0) = (L : 0). \end{cases}$$

Якщо інтервальна область допустимих збурень (8) центрована, тобто $\alpha_i = -\beta_i$, то $\eta_0 = 0$ і отже, функціонал $I_S(u)$ можна перетворити так

$$I_S(u) = \sup_{\eta \in S_\eta} J(u) = \sup_{\eta^T H \eta \leq 1} \eta^T F \eta = \lambda_{\max}(FH^{-1}),$$

де $H = (l+r)^{-1} \cdot \text{diag}(\beta_1^{-2}, \beta_2^{-2}, \dots, \beta_{l+r}^{-2})$, $\lambda_{\max}(FH^{-1})$ – максимальне власне значення матриці FH^{-1} .

Таким чином, задача синтезу субоптимального мінімаксного управління зводиться до наступної оптимізаційної задачі

$$I_S(u) = I_S(R) = \lambda_{\max}(F(R)H^{-1}) \rightarrow \min_R. \quad (21)$$

Якщо матриця зворотного зв'язку R шукається в класі постійних матриць, то задача (21) відноситься до класу задач нелінійного програмування. Якщо ж елементи матриці R залежать від часу t , то задача (21) є задачею варіаційного числення.

Останню задачу взагалі не можна віднести до простих задач, але в даному випадку вдається позбутись операції $\sup\text{remum}$, що суттєво спрощує розв'язання вихідної задачі синтезу мінімаксного управління.

Висновки. В даній роботі пропонується оптимальна апроксимація інтервальної області допустимих збурень еліпсоїдом мінімального об'єму. В результаті такої апроксимації початкова задача оптимального мінімаксного управління зведена до значно простішої задачі субоптимального мінімаксного управління зі збуреннями, що належать еліпсоїдальній множині. Остання задача може бути розв'язана числовими методами нелінійного програмування або методами варіаційного числення.

Список літератури

1. Черноусько Ф.Л. Оценивание фазового состояния динамических систем. Метод эллипсоидов/Ф.Л. Черноусько. –М.:Наука. Глав. ред. физ.-мат. лит-ры,1988.–320с.
2. Кунцевич В.М. Управление в условиях неопределенности: гарантированные результаты в задачах управления и идентификации/В.М. Кунцевич. –К.: Наук. думка, 2006. – 264 с.
3. Лобок О.П. Аналітичне моделювання динаміки температурного режиму камери хлібопекарської печі як багатовимірною об'єкта керування/О.П. Лобок, Б.М. Гончаренко, А.М.Слезенко; –К.: НУХТ, Наук. Праці, №47, 2013. 145 –149 с.
4. Конструктивные методы оптимизации. ч. 4. Выпуклые задачи/Р. Габасов, Ф.М. Кириллова, О.И. Костюкова, В.М. Ракецкий.–Мн.:Изд-во "Университетское",1987.–223с.

O. Lobok, B. Goncharenko, N. Savitska

National University of Food Technologies, Kiev

Minimax control linear multidimensional object with a stationary external perturbation

The construction of the minimum volume ellipsoid that covers the interval perturbation at the initial time and stationary perturbation acting on an object management during its operation. The resulting ellipsoid allowable perturbation gives the opportunity to build minimax controllers to ensure a certain quality of transients in the most adverse disturbances acting on the object management.

The paper considers the problem of guaranteed i.e. minimax facility management control systems, described by linear differential equations with interval external disturbances and perturbations in the initial time and assume that the external perturbation is stationary. Interval perturbation proposed approximate minimum volume ellipsoid, causing the initial problem minimax control problem is approximated suboptimal minimax control with ellipsoidal perturbations, for which the solution can apply known approaches.

An optimal approximation interval region of admissible perturbations minimum volume ellipsoid. As a result, the initial approximation minimax optimal control problem is reduced to a much simpler problem of suboptimal minimax control with perturbations belonging ellipsoidal set. The latter problem can be solved by numerical methods of nonlinear programming methods or variations.

linear systems, minimax control, optimal control, interval perturbation, ellipsoid allowable perturbation, Lagrangian function

Одержано 14.02.13

УДК 681.513.2

Н.В. Смирнова, канд.техн. наук, В.В. Смирнов, доц., канд. техн. наук
Кировоградский национальный технический университет

Обнаружение изменения параметров объекта управления с использованием массива прецедентов

Приведено описание процесса обнаружения скачка напряжения дуги с учетом данных о предшествующих принятых статистических гипотезах с использованием массива прецедентов.
статистические гипотезы, прецедент, объект управления

Н.В. Смірнова, В.В. Смірнов

Кіровоградський національний технічний університет

Виявлення зміни параметрів об'єкта управління з використанням масиву прецедентів

Наведено опис процесу виявлення стрибка напруги дуги з урахуванням даних про попередні прийняті статистичні гіпотези з використанням масиву прецедентів.
статистичні гіпотези, прецедент, об'єкт управління

В процессе управления объектами с нелинейными и неустойчивыми режимами работы необходимо учитывать множество факторов, влияющих на устойчивость работы объекта управления в заданной точке характеристики или участка траектории. Суммарное воздействие различных возмущающих воздействий на объект управления учитывается регулятором или системой управления. Для компенсации возникающих отклонений вырабатывается определенное управляющее воздействие, не всегда приводящее к ожидаемому результату вследствие либо кратковременности возмущающего воздействия, либо вследствие запоздалой реакции системы управления на возмущение. Поэтому обнаружение развития процесса дестабилизации объекта управления с минимальным временем задержки является актуальной задачей.

Анализ исследований и публикаций. Эффективными методами обнаружения изменения параметров объекта управления являются статистические методы, в частности, критерий отношения правдоподобия, который был использован в системе управления режимом горения дуги процесса размерной обработки деталей электрической дугой (РОД). Было установлено, что скопление продуктов эрозии вызывает кратковременные изменения тока и напряжения дуги, обусловленные кратковременными короткими замыканиями дуги, что в общем случае, не приводят к нарушению процесса обработки [1]. Тем не менее, возникающая аддитивная помеха (ложная тревога), наряду с аддитивной помехой, обусловленной пульсациями источника питания, дестабилизирует работу регулятора.

Для решения задачи своевременного обнаружения изменения напряжения дуги с минимумом ложных тревог [2] был использован критерий отношения правдоподобия в реализации Пейджа и Хинкли [3], который позволил минимизировать время запаздывания в обнаружении изменения среднего значения напряжения дуги. Изменение среднего значения напряжения дуги от $U_{д\text{ ср}}$ до максимального значения $U_{д\text{ max}}$ эквивалентно принятию гипотез. В основу теории проверки статистических гипотез положен критерий отношения правдоподобия [4]:

$$L(r) = \prod_{k=r}^n \frac{P_1(u_k)}{P_0(u_k)}, \quad (1)$$

$$\text{где } p_i(u_k) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(u_k - \mu_i)^2}{2\sigma^2}\right\} \quad (i = 0, 1).$$

Логарифмирование выражения (1) дает статистику критерия:

$$L_n(r) = \frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma^2} \sum_{k=r}^n (u_k - \frac{\mu_1 + \mu_0}{2}) = \frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma^2} \sum_{k=r}^n (u_k - \mu_0 - \frac{\mu_1 - \mu_0}{2}) = \frac{1}{\sigma^2} S_r^n(\mu_0, \nu), \quad (2)$$

где r – момент изменения напряжения дуги U_δ ;

μ_0 – математическое ожидание напряжения дуги в рабочей точке;

μ_1 – математическое ожидание напряжения дуги U_δ при обрыве или коротком замыкании;

ν – значение изменения напряжения дуги U_δ , с учетом знака;

$$S_r^n(\mu_0, \nu) = \nu \sum_{k=r}^n (u_k - \mu_0 - \frac{\nu}{2}) - \text{накопительная сумма.}$$

В этом случае, критерий g_n для принятия гипотез H_0, H_1 имеет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} g_0 = \max_{1 \leq r \leq n} S_r^n(\mu_0, \nu) - S_r^n(\mu_0, \nu) \\ g_1 = S_r^n(\mu_0, \nu) - \min_{1 \leq r \leq n} S_r^n(\mu_0, \nu) \end{array} \right. \left| \begin{array}{l} H_0 = g_n \leq \lambda \\ H_1 = g_n > \lambda \end{array} \right., \quad (3)$$

где λ – пороговое значение критерия для принятия гипотезы H_0 или H_1 ;

g_0 – значение критерия при уменьшении U_δ ;

g_1 – значение критерия при увеличении U_δ .

В соответствии с соотношениями (3) определение момента изменения совпадает с последним моментом времени, при котором достигается минимальное значение S_r^n , при этом принимается гипотеза H_0 , если значение критерия g_n меньше порогового значения λ , или H_1 , если значение критерия больше порогового значения λ .

На основании принятой гипотезы осуществлялась коррекция величины управляющего воздействия для привода рабочего инструмента.

Постановка задачи. Использование статистических методов для решения задачи своевременного обнаружения изменения параметров объекта управления с минимумом ложных тревог позволяет достичь желаемого результата. Однако, результаты накопления статистических данных и принятия гипотез в интервале наблюдения не сохраняется и в дальнейшем не учитывается. То есть, для следующего интервала наблюдения необходимо вычислять новую статистику и принимать нужную гипотезу без учета предыдущих результатов. Было бы целесообразно запоминать результаты предыдущих вычислений и с их учетом прогнозировать направление изменения параметров объекта управления для принятия решений системой управления, используя метод прогнозирования на основе прецедентов [5].

Основная часть. В основе метода лежит модель прогнозирования в форме выработки экспериментальных данных, например, принятые гипотезы H_0 или H_1 , которые являются множеством экспериментальных данных, а возникновение скачка напряжения дуги $U_{d, max}$ может характеризовать причину X и следствие Y процесса P , для которого необходимо осуществить прогноз [5].

Множество $\{P\}$ ситуаций контролируемых процессов можно представить как объединение двух подмножеств событий, характеризующих причину $\{X\}$ и следствие $\{Y\}$:

$$\{P\} = \{X\} \cup \{Y\}. \tag{4}$$

Данные подмножества могут отличаться своими мощностями, содержать различные события, но всегда отличаются, как минимум, одним элементом, характеризующим время свершения события.

В свою очередь, весь информационный массив $\{R\}$, на основании которого строится прогноз, можно представить как объединение множеств $\{P\}$

$$\{R\} = \bigcup_{i=1}^N \{P\}_i, \tag{5}$$

где N - число наблюдаемых ранее ситуаций, подобных наблюдаемой и следствие которой необходимо спрогнозировать.

Совокупность наблюдаемых процессов можно представить в виде протокола наблюдений:

$$\{R\} = \langle X, Y^{t+1} \rangle = \langle Y_i^t, Z_i, K_i, Y_i^{t+1}, i = 1, \dots, N \rangle, \tag{6}$$

где $X = [Y^t, Z, K]^t$ – вектор причин контролируемого объекта (пульсации источника питания, продукты эрозии в межэлектродном промежутке и т.д);

$Y^t = (y_1^t, \dots, y_n^t)$ – вектор параметров объекта, принимаемых в качестве исходных в i -й зафиксированной ситуации (ранее принятые гипотезы H_0 или H_1 для накопительных сумм);

$Z_i = (z_1, \dots, z_m)$ – вектор факторов прогнозного фона зафиксированной ситуации, либо интегральный показатель прогнозного фона предшествующего периода (вероятность возникновения скачка с учетом ранее принятых гипотез H_0 и H_1);

$K_i = (k_1, \dots, k_l)$ – вектор управляющего воздействия (УВ) для объекта, в i -й зафиксированной ситуации, либо интегральный показатель УВ предшествующего периода;

$Y_i^{t+1} = (y_i^{t+1}, \dots, y_n^{t+1})$ – вектор параметров объекта, принимаемых в качестве следствия в i -й зафиксированной ситуации (принятые гипотезы H_0 или H_1).

Процесс формирования прецедента в общем виде представлен на рис. 1.

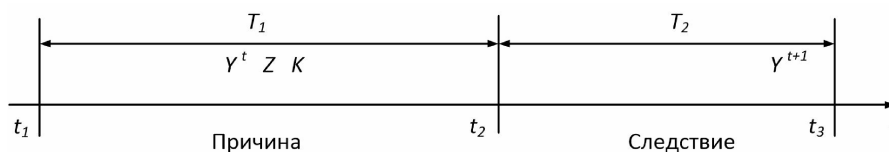
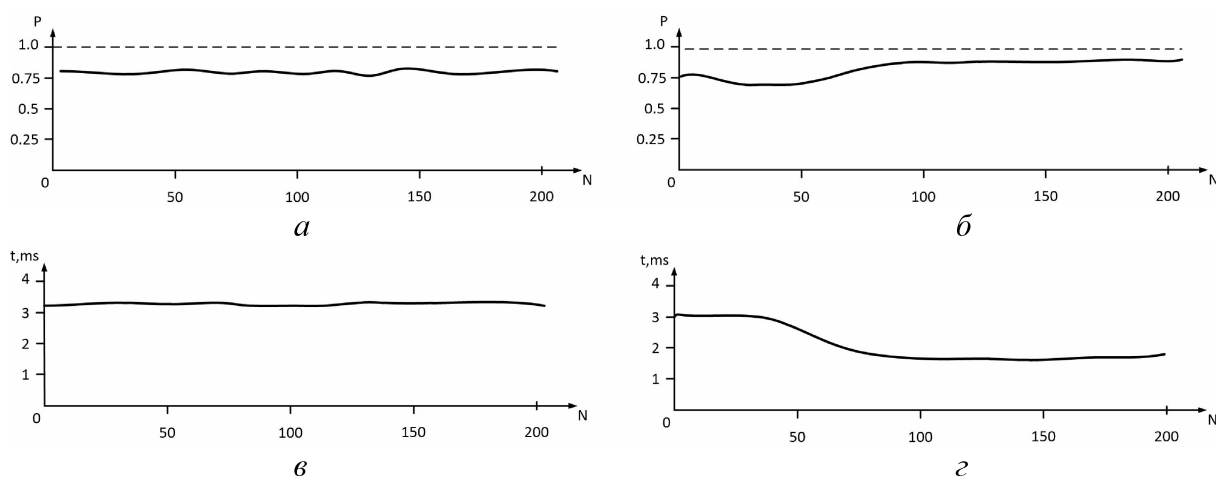


Рисунок 1 - Процесс формирования прецедента

Временной интервал $T_1 = [t_1, t_2]$ обозначен как период основания прогноза. Значения компонент векторов Y^t , Z и K могут быть получены инвариантно моменту измерения (либо интегрально) в пределах T_1 . Временной интервал $T_2 = [t_2, t_3]$ является периодом прогнозирования. Получение прогнозных характеристик предполагается в момент $t_3 \in t_2$. Длительность интервалов $[t_1, t_2]$ и другие характеристики прецедента зависят от требований к параметрам прогноза, например, к минимизации времени задержки обнаружения изменения напряжения дуги $U_{d,cp}$ при минимуме ложных тревог.

Для проверки эффективности метода обнаружения изменения параметров объекта управления (скачка напряжения дуги) на основании данных массива прецедентов было проведено программное моделирование в среде программной системы "Signal Explorer" [2]. Протокол наблюдений (б) был реализован виде трех двумерных массивов P , X , Y в терминах языка программирования C++. В сигнал напряжения дуги добавлялись аддитивные помехи в форме трапеции амплитудой 10-20% от напряжения дуги длительностью 10-50 мс. Осуществлялось сравнение результатов моделирования с использованием только критерия отношения правдоподобия (рис. 2 а, в) и с использованием массива прецедентов (рис. 2 б, г).



P – обнаружение скачка напряжения дуги; N – количество прецедентов в массиве;
 а, в – обнаружение скачка без учета прецедентов; б, г – обнаружение скачка с учетом прецедентов

Рисунок 2 – Результаты моделирования процесса обнаружения скачка напряжения дуги

В процессе моделирования массив прецедентов протокола наблюдений модифицировался путем добавления сформированных прецедентов. При этом вектор факторов прогнозного фона Z_i корректировался на основании данных проверки соответствия принятой гипотезы H_0 и H_1 и принятого прогноза Z вероятности P возникновения скачка.

Результаты моделирования показали, что при количестве прецедентов в массиве более 50 достоверность обнаружения скачка напряжения дуги увеличилась с 0,8 до 0,9 (рис. 2 а и б соответственно), а при количестве более 80 остается на достигнутом уровне. Задержка обнаружения скачка уменьшилась со значения 3,2 мс до 2 мс (рис. 2 в и г). При дальнейшем увеличении количества прецедентов улучшения качества прогноза и уменьшения времени задержки обнаружения скачка напряжения дуги не происходит.

Выводы. Использование прецедентов в процессе обнаружения изменения параметров объекта управления позволяет повысить достоверность обнаружения изменений, вызванных возмущающими воздействиями и уменьшить время задержки обнаружения. Поскольку вычислительные мощности современных микроконтроллеров

являются достаточными для реализации «интеллектуальных» регуляторов и систем управления, то представляется целесообразным проведение дальнейших исследований в области применения элементов искусственного интеллекта для управления объектами с нелинейными и неустойчивыми режимами работы.

Список литературы

1. Геворкян Г. Г. Экспериментальное исследование механизма эвакуации продуктов эрозии и его влияние на производительность и точность электроэрозионной обработки: автореф. дис. канд. техн. наук. / Г. Г. Геворкян – М., 1969. – 20 с.
2. Смірнова Н.В. Автоматизована система керування процесом розмірної обробки деталей електричною дугою: автореф. дис. канд. техн. наук. Н.В. Смірнова – Кіровоград, 2011. – 20 с.
3. Hinkley D.V. Inference about the Change – Point from Cumulative Sum – Tests, *Biometrika* / D.V. Hinkley. – 1971. – P. 58, 3, 509-523.
4. Обнаружение изменения свойств сигналов и динамических систем / [М. Бассвиль, А. Вилски, А. Банвенист и др.]; пер. с англ. И. Б. Вильховченко. – М.: Мир, 1989. – 278 с.
5. Назаров А.В. Нейросетевые алгоритмы прогнозирования и оптимизации систем / А.В. Назаров, А.И. Лоскутов – СПб.: Наука и техника, 2003. – 384 с.

N. Smirnova, V. Smirnov

Kirovograd National Technical University

The control object parameters changes using an array of precedents detecting

The purpose of this article is to solve the problem the object control parameters change detecting with short time and a minimum false alarms.

The statistical hypothesis testing theory application allows us to solve this problem, however, the hypotheses acceptance result, reliable observations in the current segment is not included in the following observation. A precedent application that allows you to take into account the results of previous observations improves the accuracy arc voltage surges detection and the false alarms number minimize. The process of a change in the arc parameters detecting using a precedents array modeled.

The simulation results are positive, suggesting the need for further research in the area of "smart" controllers and control systems.

statistical hypothesis, precedent, controlled object

Получено 22.04.13

УДК 621.822.172:621.7.079

Д.Ю. Федориненко, доц., д-р техн. наук

Чернігівський державний технологічний університет

Автоматичне керування положенням шпинделя на гідростатичних підшипниках

Запропонована система автоматичного керування положенням шпинделя на основі регульованих радіальних гідростатичних підшипників та програмованих клапанів витрат рідини. Розроблено лінеаризовану математичну модель системи та отримані характеристики її якості.

автоматичне керування, шпиндель, гідростатичний підшипник, клапан витрат, характеристики якості

Д.Ю. Федориненко

Черниговский государственный технологический университет

Автоматическое управление положением шпинделя на гидростатических подшипниках

Предложена система автоматического управления положением шпинделя на основе регулируемых радиальных гидростатических подшипников и программируемых клапанов расхода жидкости. Разработана линеаризованная математическая модель системы и получены характеристики ее качества.

автоматическое управление, шпиндель, гидростатический подшипник, клапан расхода, характеристики качества

Перспективним шляхом підвищення точності та продуктивності процесів обробки різанням є застосування керованих в процесі експлуатації верстата гідростатичних підшипників (ГСП) шпиндельних вузлів, які поряд з високою жорсткістю та демпфуючою здатністю дозволяють ефективно керувати вихідними параметрами точності обертання шпинделя, забезпечують розширення технологічних можливостей верстатів шляхом поєднання чорнкової та чистової обробки. Однак, незважаючи на накопичений досвід у створенні шпиндельних ГСП, є ряд невирішених питань, зокрема створення систем автоматичного керування, які б забезпечували точність положення шпинделя в межах часток мікрометра в процесі обробки на верстаті засобами адаптованими до промислових умов. Отже, підвищення точності обробки на верстатах на основі розробки та впровадження нових систем автоматичного керування положенням шпинделя на опорах регульованого типу є актуальною проблемою сучасного машинобудування.

В роботі [1] запропонована технічна ідея підтримання величини мастильного прошарку в ГСП на постійному рівні під навантаженням з боку процесу різання на основі застосування нових конструкцій опор, де початковий зазор змінюється за рахунок витрати рідини або за рахунок геометрії опори. Там же відмічається, що керування величиною мастильного шару в процесі механічної обробки дає можливість підвищити жорсткість опор та розширити область їх застосування.

Авторами роботи [2] розглянуті підходи щодо керування точністю обертання шпинделя на ГСП, розроблені засоби автоматизації процесу регулювання діаметральним зазором на основі нових конструкцій підшипників, відмічено перспективність адаптивного керування точністю механічної обробки на базі керованих шпиндельних ГСП.

З метою автоматизації керування вихідними характеристиками точності верстата запропонований електрогідравлічний привод [3] регульованих радіальних ГСП шпинделя. Недоліком зазначеної системи є використання в каналі зворотного зв'язку вузла порівняння на основі показників віброприскорення шпиндельної бабки з реалізацією первинного перетворювача у вигляді акселерометра. Така структура не завжди дозволяє адекватно оцінити фактичний рівень коливань шпинделя, адже сигнал з корпусу бабки містить багатокомпонентну адитивну шумову складову, що пов'язана з робочими процесами у коливальній підсистемі всього шпиндельного вузла.

Метою роботи є розробка та дослідження системи автоматичного керування положенням шпинделя на основі регулювання витратних характеристик гідростатичних опор з програмованими клапанами витрат рідини.

Для автоматизації процесу забезпечення стабільної товщини мастильної плівки запропонована система автоматичного керування (САК) положенням шпинделя на основі регулювання витратних характеристик ГСП з каналом зворотного зв'язку за переміщенням шпинделя (рис. 1). Використання каналу зворотного зв'язку за переміщенням шпинделя дозволяє компенсувати пружні, температурні зміщення шпинделя під навантаженням з боку процесу різання.

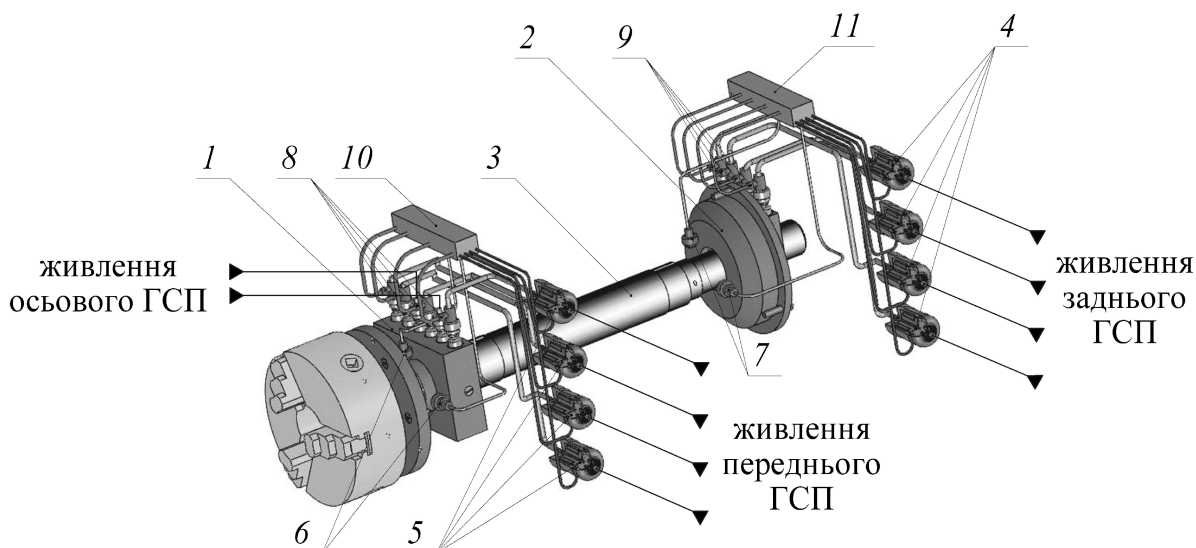


Рисунок 1 – Принципова схема САК положенням шпинделя з регулюванням витратних характеристик ГСП

САК складається власне з переднього 1 та заднього 2 регульованих радіальних чотирьохкарманних ГСП, на яких встановлено шпиндель 3. Застосування двох регульованих конструкцій радіальних опор шпинделя обумовлено необхідністю компенсації як силового, так і моментного зовнішнього навантаження.

Біля опор шпинделя розміщено у двох взаємоперпендикулярних площинах по дві пари прецизійних безконтактних лазерних вимірювачів 6 та 7. Вимірювачі 6, 7 приєднані до мікропроцесорних регуляторів 10, 11, що реалізовані на програмованих логічних інтегральних схемах (ПЛІС). До зазначених ПЛІС надходять також сигнали з вимірювачів динамічного тиску рідини 8, 9, що вбудовані у систему живлення біля кожного карману радіальних ГСП. Лазерні вимірювачі 6, 7 визначають зміщення шпинделя за віссю OY – Δy та вздовж осі OX – Δx . Відповідно до сигналу з вимірювачів ПЛІС визначає величину та напрямок відхилення шпинделя і, згідно до алгоритму керування, збільшує пропускну здатність окремих програмованих клапанів витрат рідини 4, 5 прямої дії на величини Δq_x , Δq_y таким чином, щоб компенсувати зовнішнє навантаження.

Основою алгоритму роботи САК є залежність коректувальних витрат рідини Δq від величини та напрямку зміщень шпинделя. Наприклад, за віссю ОХ коректувальні витрати рідини знаходяться так

$$\Delta q_x = \frac{1}{S_{\text{эф}}} \left(m_{ш} \frac{d^2 \Delta x}{dt^2} + h_{шx} \frac{d \Delta x}{dt} + c_{шx} \cdot \Delta x \right) + Q_4 (R_4 - R_2) \quad (1)$$

де $S_{\text{эф}}$ – ефективна площа карманів опори;

$m_{ш}$ – маса шпинделя, приведена до точки дії сил різання;

$h_{шx}, h_{шy}, c_{шx}, c_{шy}$ – еквівалентні коефіцієнти демпфування ($h_{ш}$) та жорсткості ($c_{ш}$) шпинделя за відповідними напрямками;

$Q_1 \dots Q_4$ – витрати мастила через відповідні кармани ГСП на момент вимірювання (при ексцентричному положенні шпинделя);

$R_1 \dots R_4$ – опори витіканню мастила з відповідних карманів у момент вимірювання.

Значення переміщень $\Delta x, \Delta y$, швидкостей $d \Delta x / dt, d \Delta y / dt$, прискорень $d^2 \Delta x / dt^2, d^2 \Delta y / dt^2$ визначаються в режимі реального часу за показниками вимірювачів відстані, встановлених по осях ОХ та ОУ відповідно. Значення еквівалентних коефіцієнтів демпфування $h_{ш}$ та жорсткості $c_{ш}$ шпинделя можуть бути обчислені за рекомендаціями [4].

Величина витрат рідини Q_i з карманів підшипника, що входить до формули (1), наближено обчислюється за залежністю [5]:

$$Q_i = \frac{p_{ki} \cdot \delta_0^3 \cdot D \cdot \varphi_{k\tau}}{12\mu \cdot l_1} \cdot \left[(1 - \varepsilon K_\varphi)^3 + C_L (1 - \varepsilon \cdot \cos \varphi_{\tau i})^3 \right],$$

де p_{ki} – тиск рідини у i -му кармані;

δ_0 – радіальний статичний зазор;

D – діаметр опорної поверхні ГСП;

μ – коефіцієнт динамічної в'язкості рідини;

l_1 – ширина аксіальної перемички карману (рис. 2);

ε – відносний ексцентриситет в опорі;

K_φ, C_L – постійні коефіцієнти ($K_\varphi = \frac{2}{\varphi_{k\tau}} \cdot \sin \frac{\varphi_{k\tau}}{2}$; $C_L = \frac{2(l_0 + l_1)}{D \cdot \varphi_{k\tau}}$);

$\varphi_{\tau i}$ – кут, що визначає положення середини тангенціальної перемички i -го карману у полярній системі координат;

l_0 – ширина карману;

$\varphi_{k\tau}$ – кут, що охоплює карман та половину довжини тангенціальних перемичок, суміжних з карманом;

φ_e – кут, який вказує напрямок зміщення шпинделя в ГСП.

Гідравлічний опір R_i обчислюється у вигляді

$$R_i = \frac{12\mu \cdot l_1}{D \cdot \delta_0^3 \cdot \varphi_{k\tau} \left[(1 - \varepsilon K_\varphi)^3 + C_L (1 - \varepsilon \cdot \cos \varphi_{\tau i})^3 \right]}.$$

Величина тиску у карманах опори p_{ki} визначається ПЛІС (див. рис. 1) на основі аналогово-цифрового перетворення сигналу з вимірювачів динамічного тиску рідини у режимі реального часу. Відносний ексцентриситет та напрямок зміщення шпинделя у ГСП можна визначити з наступних тригонометричних залежностей: $\varepsilon = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} / \delta_0$, $\varphi_e = \arctg(\Delta y / \Delta x)$.

У загальному випадку для n -карманного підшипника отримані значення коректувальних витрат рідини Δq_i надходять до навантаженого карману опори за відповідним напрямком.

Запропонована САК відноситься до цифрового типу, в якій відбувається квантування сигналів за часом та рівнем. Характерною рисою САК є інерційність гідромеханічної частини системи по відношенню до цифрової. Так, частоти спрацьовування пропорційних клапанів витрат знаходяться в межах 40...200 Гц, у той же час частоти цифрової обробки інформації мають порядок у МГц. У цьому випадку, як зазначається в роботі [6], впливом квантування на динаміку САК можна знехтувати. Отже, для дослідження цифрової САК витратними характеристиками можна застосовувати математичний апарат аналізу лінійних неперервних систем.

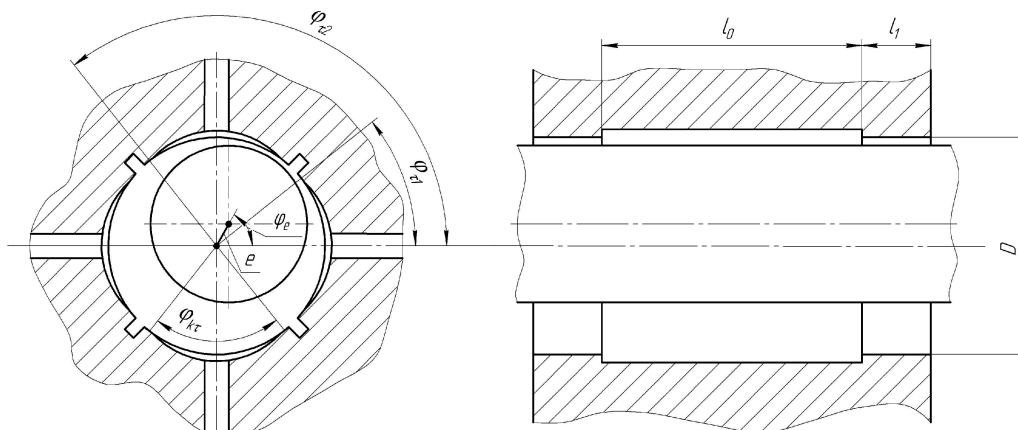


Рисунок 2 – Схема до визначення Q_i в радіальному ГСП

На рис. 3 у спрощеному варіанті показана структурна схема лінеаризованої САК положенням шпинделя для переднього регульованого ГСП. Входами регулятора є напруження U_x, U_y , пропорційні зміщенню шпинделя. На виході мікропроцесорний регулятор формує сигнали U_i , що надходять до пропорційних клапанів, які, у свою чергу, змінюють свою пропускну здатність Δq_i у відповідності до алгоритму регулювання. У результаті формуються відповідні значення несучої здатності P_Σ у регульованій опорі для компенсації зовнішнього навантаження P на шпиндель.

Розглянемо математичний опис елементів САК, приведені на рис. 3.

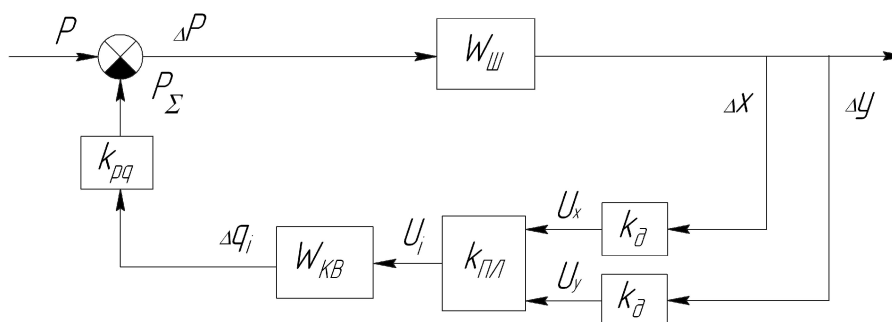


Рисунок 3 – Структурна схема САК положенням шпинделя для переднього регульованого ГСП

Передавальна функція шпинделя $W_{ш}$ має вигляд [7]

$$W_{ш} = \frac{k_{ш}}{T_{1ш}^2 \cdot s^2 + T_{2ш} \cdot s + 1},$$

де $k_{ш}$ – коефіцієнт передачі (статична податливість шпинделя), що визначається за рекомендаціями [7];

$T_{1ш}, T_{2ш}$ – постійні часу, $T_{1ш}^2 = m_{ш}/c_{ш}$, $T_{2ш} = h_{ш}/c_{ш}$;

s – оператор Лапласа.

Коефіцієнти підсилення k_{∂} , $k_{нл}$ характеризують відповідно оптичний вимірювач відстані, ПЛІС і визначаються за паспортними даними на устаткування.

Передавальна функція W_{KB} пропорційного клапану витрат рідини може бути представлена у вигляді послідовно розташованих ланок (рис. 4), що характеризують електронний драйвер клапана $k_{ед}$, електромеханічний перетворювач (ЕМП) $W_{ем}$ та голчастий дросель $k_{\partial p}$. Електронний драйвер клапана витрат формує постійний струм I , який надходить до котушок пропорційного електромагніту залежно від сигналу U з оптичного вимірювача відстані.

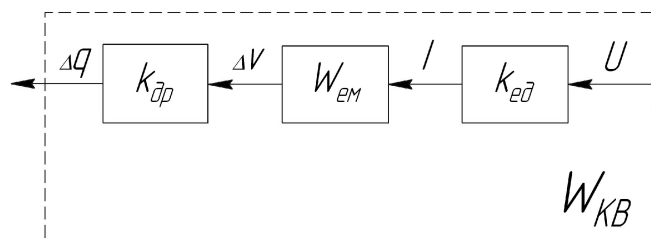


Рисунок 4 – До визначення передавальної функції клапану витрат рідини

Передавальна функція ЕМП $W_{ем}$ пропорційного клапану має вигляд [1]

$$W_{ем} = \frac{k_1}{T_1^2 \cdot s^2 + T_2 \cdot s + 1},$$

де k_1 – коефіцієнт передачі, $k_1 = k_i/c_{np}$;

T_1, T_2 – постійні часу, $T_1^2 = m_p/c_{np}$; $T_2 = h_e/c_{np}$;

k_i – крутість тягової характеристики [8];

c_{np} – жорсткість пружини, що центрує;

m_p – маса рухомої частини ЕМП;

h_e – коефіцієнт демпфування [8].

Враховуючи, що клапан містить механічний компенсатор тиску, який підтримує постійну різницю тисків Δp на дроселі, коефіцієнт підсилення голчастого дроселя (за переміщенням голки) може бути представлений так

$$k_{\partial p} = \mu_e \pi d_{om} \sin\left(\frac{\alpha_{кз}}{2}\right) \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}},$$

де μ_e – коефіцієнт витрат рідини;

d_{om} – діаметр отвору дроселя під голку;

$\alpha_{кз}$ – кут конуса голки;

ρ – густина рідини.

Таким чином, передавальна функція пропорційного клапану витрат буде $W_{KB} = k_{ед} W_{ем} k_{ор}$.

Коефіцієнт підсилення регульованого ГСП за витратами рідини (при $\varepsilon \rightarrow 0$) може бути знайдений у вигляді

$$k_{pq} = \frac{DL}{2} R_i \sum_{i=1}^{n_k} \cos(\varphi_{\tau ki} - \varphi_e),$$

де L – опорна довжина підшипника;

n_k – кількість карманів для підводу рідини.

Для дослідження характеристик якості САК запропоновано використання вбудованої системи ЛТІ Viewer пакета Simulink [9]. На основі моделювання засобами ЛТІ Viewer отримана перехідна характеристика САК (рис. 5, а).

У результаті аналізу графіка перехідної характеристики встановлено: час перехідного процесу – 0,04 с ($\delta_s = 0,05 A_s$, де A_s – значення амплітуди, що встановилося); швидкодія – 25 Гц; перерегулювання – 38,2%; затухання за період – 85,1%. За годографом амплітудно-фазово частотної характеристики системи (рис. 5, б) у розімкненому стані встановлено, що система є сталою. Отримані характеристики запасу сталості системи: за амплітудою 12,9 дБ; за фазою $\gamma_c = 45^\circ$. Характеристики якості доповнені амплітудною частотною та фазовою частотною характеристиками системи (рис. 5, в), за якими визначена ширина смуги пропускання частот $L_{CЧ} = 18$ Гц; максимальна амплітуда коливань – $A_{max} = 4,14$ дБ при частоті 37,6 Гц.

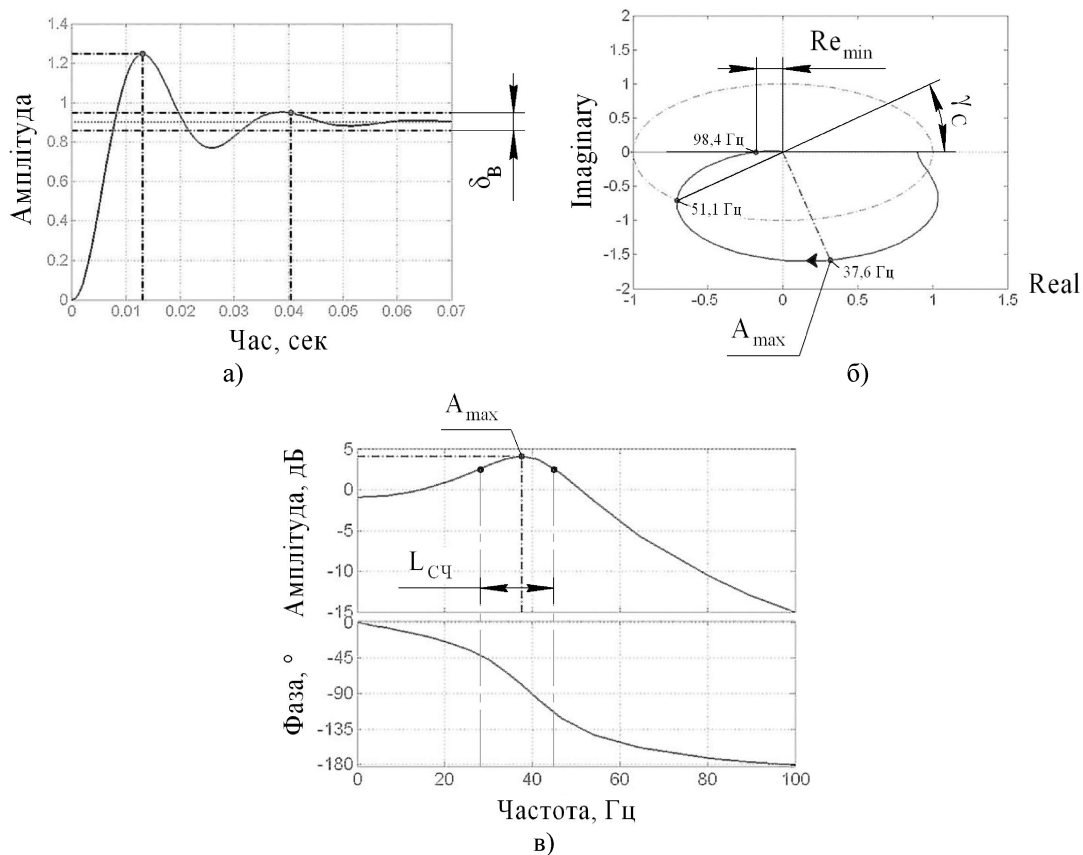


Рисунок 5 – Динамічні характеристики САК положенням шпинделя з регулюванням витрат рідини

Підсумовуючи отримані результати, слід зазначити, що САК є швидкодіючою, причому лімітуючим елементом (найбільш інерційним) з точки зору обмеження швидкодії є гідромеханічна частина системи. У системі наявне перерегулювання у межах 38,2%, проте коливальний процес швидко затухає за час 0,04 с. Запас сталості у цілому задовольняє мінімальним вимогам до САК металорізальних верстатів ($L_{Amin}=8$ дБ; $\gamma_{Cmin}=30^\circ$ [10]). Однак збільшення коефіцієнту передачі за каналом зворотного зв'язку за будь-якою координатою може привести до втрати сталості САК.

З метою забезпечення високої надійності та підвищення точності обробки в широкому діапазоні зовнішніх навантажень найбільш доцільним є використання цифрових САК положенням шпинделя на регульованих ГСП, які завдяки швидкодіючим електронним пристроям та цифровому алгоритму керування можуть бути легко вбудовані в сучасні верстати з ЧПК.

Список літератури

1. Регульовані гідростатичні підшипники для шпиндельних вузлів / Ю.О. Сахно, Д.Ю. Федориненко, С.В. Бойко, В.С. Волик. – Ніжин: ТОВ «Видавництво «Аспект-Поліграф», 2009. – 172 с.
2. Струтинський В.Б. Керування точністю обертання шпинделя на гідростатичних опорах з адаптивним регулюванням / В.Б. Струтинський, Д.Ю. Федориненко // Промислова гідравліка і пневматика. – 2009. – №2(24). – С. 66 – 70.
3. Пат. 90579 UA, МПК F15B 9/00. Електрогідравлічний привод керування зазором в гідростатичній опорі / Сахно Ю.О., Федориненко Д.Ю., Бойко С.В., Волик В.С.; заявник і патентовласник Чернігівський державний технологічний університет. – № а 2008 10426; заявл. 15.08.2008; опубл. 11.05.2010, Бюл. № 9.
4. Кедров С.С. Колебания металлорежущих станков / С.С. Кедров. – М.: Машиностроение, 1978. – 199 с.
5. Детали и механизмы металлорежущих станков / [Каминская В.В., Левина З.М. и др]; под ред. Д.Н. Решетова. – М.: Машиностроение, 1972. – 519 с. – (Шпиндели и их опоры, механизмы и детали приводов; т. 2).
6. Зайцев Г. Ф. Теория автоматического управления и регулирования / Г.Ф. Зайцев. – К.: Вища школа, 1989. – 431 с.
7. Струтинський В.Б. Статистична динаміка шпиндельних вузлів на гідростатичних опорах: монографія / В.Б. Струтинський, Д.Ю. Федориненко. – Ніжин: ТОВ „Видавництво „Аспект-Поліграф”, 2011. – 464 с.
8. Электротехнический справочник / [кол. авторов]; под ред. И. Н. Орлова. – [7-е изд.]. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 712 с. – (Электротехнические изделия и устройства; т. 2).
9. Дьяконов В.П. Simulink 5/6/7: Самоучитель / В.П. Дьяконов. – М.: ДМК–Пресс, 2008. – 784 с.
10. Петраков Ю.В. Автоматичне управління процесами обробки матеріалів різанням / Ю.В. Петраков. – К.: УкрНДІАТ, 2003. – 383 с.

D. Fedorynenko

Chernihiv State Technological University

Automatic control spindle position on hydrostatical bearings

The purpose of work is development and research of the automatic control position system of spindle on the basis of expense descriptions adjustment of hydrostatical supports with the programmable valves flow of liquid.

Scheme solutions of the system of automatic control spindle position are offered on the basis of the adjustable radial hydrostatical bearings and programmable valves flow of liquid. The linearized mathematical model is developed and transmission functions are definite, that allows us to study workings processes in the control system. On the basis of modeling means of MatLab Simulunk dynamic descriptions of the system are obtained, in particular transitional and frequency characteristics.

Digital control the system by spindle position is developed on the adjustable hydrostatical bearings can be used in machine-tools with CNC.

automatic control, spindle, hydrostatical bearings, programmable valves

Одержано 19.04.13

УДК 681.511.4

Ю.О.Єрмолаєв, доц., канд. техн. наук., Г.В.Савеленко, асист.

Кіровоградський національний технічний університет

Синтез регуляторів позиційного електропривода подачі електрода-інструмента на верстатах РОД з використанням стандартних налаштувань

У статті розглядається система підлеглого регулювання параметрів системи електропривод широтно-імпульсний багатокординатний (ЕШІМ-1) – двигун постійного струму. Наведена структура системи підлеглого регулювання по положенню та запропонований її математичний опис. Розглянутий синтез регуляторів даної системи на базі модульного і симетричного критеріїв оптимізації контурів регулювання координат по струму, швидкості та переміщенню з використанням методу стандартних налаштувань.

система автоматичного управління, підлегле регулювання параметрів, позиційний електропривод, синтез регулятора, передаточна функція контуру

Ю.О.Єрмолаєв, Г.В.Савеленко

Кіровоградський національний технічний університет

Синтез регуляторів позиційного електропривода подачі електрода-інструмента на станках РОД с использованием стандартных настроек

В статье рассматривается система подчиненного регулирования параметров системы электропривод широтно-импульсный многокоординатный (ЭШИМ-1) – двигатель постоянного тока. Приведена структура системы подчиненного регулирования по положению та предложено ее математическое описание. Рассмотрен синтез регуляторов рассматриваемой системы на базе модульного и симметричного критериев оптимизации контуров регулирования координат по току, скорости и перемещению с использованием метода стандартных настроек.

система автоматического управления, подчиненное регулирование параметров, позиционный электропривод, синтез регулятора, передаточная функция контура

Постановка проблеми. В статті [1] розглянуто опис САУ подачі електрода-інструмента (ЕІ) на верстаті розмірної обробки дугою (РОД).

Система управління приводом подачі ЕІ фактично працює в режимі позиціонування, при якому задачею системи є переміщення ЕІ із одного фіксованого положення в інше. Характер переміщення при цьому не суттєвий, головним є тільки мінімальне значення перерегулювання по положенню [7].

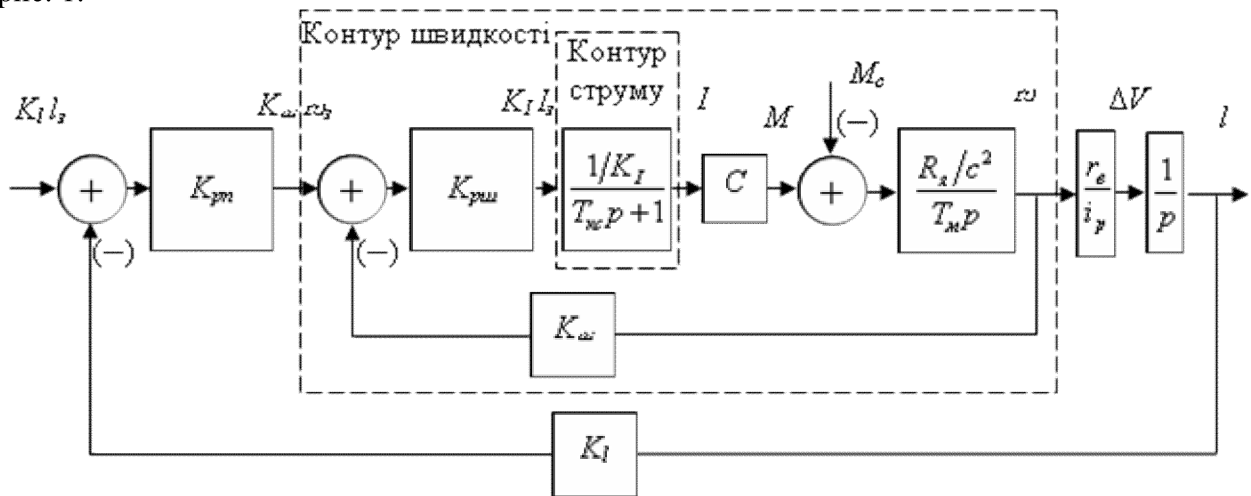
Аналіз останніх досліджень і публікацій. В теорії автоматизованого електропривода широковідомий принцип підлеглого регулювання параметрів, коли система автоматичного управління будується як багатоконтурна. Позиційний мікроелектропривод, як правило, має три контурну структуру. Зовнішній контур положення керує внутрішнім контуром швидкості, який в свою чергу, формує завдання на контур струму якоря двигуна. Питання побудови позиційного мікропривода з традиційними регуляторами струму і швидкості достатньо широко розглядаються в [2, 3, 7]. Якщо електропривод працює в режимі малих переміщень, то регулятор положення виконується частіше всього пропорційним [4, 5, 8]. Таке рішення обумовлене частіше всього тим, що механізми подач свердлильних верстатів, деяких розточних верстатів та верстатів РОД, для запобігання поломки інструмента ними, не допускають перерегулювання по положенню, або це перерегулювання повинно бути

досить незначним.

Мета роботи. Для розробленої структурної схеми позиційного електропривода переміщення електрода-інструмента верстату РОД, виконуючи умови технічного і симетричного оптимумів та використовуючи стандартну методику синтезу систем підлеглого регулювання, виконати синтез регуляторів струму, швидкості та положення для конкретної системи ЕШМ-ДПТ.

Основні матеріали дослідження. Стандартна процедура синтезу систем підлеглого регулювання передбачає «згортання» кожного внутрішнього контуру регулювання при переході до синтезу зовнішнього контуру при відомих недоліках цього методу.

Структурна схема системи підлеглого регулювання по положенню зображена на рис. 1.



$K_{pm}, K_{pш}$ – коефіцієнти підсилення регуляторів положення та швидкості; K_I, K_{ω}, K_I – коефіцієнти оберненого зв'язку по струму, швидкості і положенню; C – коефіцієнт, що зв'язує момент з струмом двигуна; R_s – опір якорного ланцюга; i_p – передаточне число редуктора; r_e – радіус валу вихідного механізму; T_{sc} – постійна часу контуру струму; T_m – електромеханічна постійна часу приводу

Рисунок 1 – Структурна схема позиційного електроприводу

На верстаті РОД в якості приводного двигуна електропривода подачі ЕІ використовується двигун типу ДП-60-90-4-24-Р11-Д0940-УХЛ4 з незалежним збудженням від постійних магнітів, в якості перетворювача використовується ЕШМ-1, який на структурній схемі контуру замінений аперіодичним ланцюгом. Це відповідає наближеному представленню як релейного так і аналогового контуру струму якоря. Оптимізація параметрів контуру струму проводиться при наступних припущеннях:

- режим струму якорного ланцюга двигун-перетворювач неперервний;
- не враховується вплив внутрішнього оберненого зв'язку по ЕДС двигуна.

В контурі струму електромагнітна постійна якорного ланцюга T_j є компенсуючою, а постійна часу T_n керуючого перетворювача – не компенсуючою постійною часу контуру і позначимо T_n як T_{kc} . Тоді передаточна функція регулятора струму [2, 5]:

$$W_{pm}(p) = \frac{R \cdot (T \cdot p + 1)}{2T_{\omega} K_I K_d p} = K_{pc} + \frac{1}{T_i p}, \quad (1)$$

де R_s – опір якорного ланцюга, Ом; T_j – електромагнітна постійна якоря, с; T_{kc} – постійна часу контуру струму, с; K_I – коефіцієнт оберненого зв'язку по струму; K_n – коефіцієнт підсилення регулятора перетворювача; K_{pc} – коефіцієнт підсилення регулятора струму; T_i – постійна часу інтегруючої частини, с.

Коефіцієнт підсилення регулятора струму визначаємо:

$$K_{pn} = \frac{R \cdot T}{2T_{\epsilon n} K_I K_d} \quad (2)$$

Постійну часу інтегруючої частини визначаємо з співвідношення:

$$\check{N}_I = \frac{\check{N}}{K_{pn}} \quad (3)$$

Коефіцієнт підсилення керованого перетворювача визначаємо:

$$K_d = \frac{U_I}{U_{\epsilon a \max}} \quad (4)$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку по струму визначається з співвідношення:

$$K_{\cdot} = \frac{U_{\check{d}r \max}}{I_{\check{a}d}} \quad (5)$$

де $U_{r \max}$ – напруга насичення регулятора швидкості, В; $I_{\text{доп}}$ – допустимий (максимальний) струм двигуна постійного струму.

При синтезі регулятора швидкості передаточна функція замкнутого контуру струму з достатнім ступенем точності (зважаючи на малу некомпенсовану постійну часу $T_{\text{кв}}$) апроксимується виразом:

$$W_{\epsilon n}(p) = \frac{1/K_I}{2T_{\epsilon n}^2 p^2 + 2T_{\epsilon n} p + 1} = \frac{1/K_I}{2T_{\epsilon n} p + 1} \quad (6)$$

Тоді некомпенсована мала постійна часу в контурі швидкості є величина $T_{\mu} = 2T_{\text{кв}}$, а компенсована постійна часу – T_M .

Згідно умови технічного (модульного) оптимуму бажана передаточна функція розімкнутого контуру має вигляд:

$$W_{\check{a}}(p) = \frac{1/K_{\omega}}{2T_{\mu} p (T_{\mu} p + 1)} \quad (7)$$

Або за вимогами симетричного оптимуму:

$$W_{\check{a}}(p) = \frac{1/K_{\omega}}{2T_{\mu} p (T_{\mu} p + 1)} \frac{4T_{\mu} p + 1}{4T_{\mu} p} \quad (8)$$

Поділивши бажану передаточну функцію на передаточну функцію контуру швидкості, отримаємо згідно модульного оптимуму наступне:

$$W_{\check{d}r}(p) = \frac{1/K_{\omega} (T_{\epsilon n} p + 1) \check{N}_{\epsilon}}{2T_{\mu} p (T_{\mu} p + 1) 1/K_{\cdot} R} \quad (9)$$

Приймаючи $T_{\mu} = T_{\text{кв}}$, знайдемо коефіцієнт підсилення регулятора швидкості:

$$W_{\check{d}r}(p) = K_{\check{d}r} = \frac{\check{N}_{\epsilon} \check{N}_I}{2T_{\epsilon n} K_{\omega} R} \quad (10)$$

Проведемо заміну контуру швидкості аперіодичним ланцюгом з передаточною функцією:

$$W_{\epsilon r}(p) = \frac{1/K_{\omega}}{2T_{\epsilon n} p + 1} \quad (11)$$

Знайдемо коефіцієнт підсилення регулятора положення. Бажана передаточна функція для контуру положення:

$$W_{\check{a}r}(p) = \frac{1/K_I}{2T_{\mu} p (T_{\mu} p + 1)} \quad (12)$$

При діленні бажаної передаточної функції на передаточну функцію контуру положення отримаємо:

$$W_{df}(p) = \frac{1/K_l(T_{ei}p+1)p}{2T_{\mu}p(T_{\mu}p+1)1/K_{\omega}K_p} \quad (13)$$

При $T_{\mu}=2T_{kc}$ отримуємо:

$$W_{pd}(p) = K_{pd} = \frac{K_{\omega}}{4T_{ei}K_dK_l} \quad (14)$$

Виконаємо розрахунок системи, наведеної на рисунку 1, враховуючи наступні дані системи: $K_l = 0,36$; $K_{\omega} = 0,024$ В·с/рад; $K_d = 0,2$ В/мм; $K_n = 2,4$; $T_m = 30 \cdot 10^{-3}$ с; $T_{\gamma} = 4,54 \cdot 10^{-3}$ с; $R_{\gamma u} = 4,67$ Ом; $c = 0,03927$ Н·м/А; $r_{\sigma} = 0,025$ м; $i_p = 2280$. В результаті розрахунку по формулам (2, 10, 14) знайдемо:

- коефіцієнт підсилення регулятора струму $K_{pc} = 0,365$;
- коефіцієнт підсилення регулятора по швидкості $K_{pu} = 0,189$;
- коефіцієнт підсилення регулятора по положенню $K_{pn} = 275,23$.

Отримані коефіцієнти передачі регуляторів забезпечують при обробці малих переміщень перерегулювання по положенню не більше 5%

Висновки

1. В статті приведена структурна схема системи підлеглого регулювання параметрів для привода переміщення електрода-інструмента, який працює в режимі позиціонування.

2. Наведена методика синтезу системи позиціонування з ціллю визначення передаточних функцій регуляторів та їх параметрів.

3. Приведений приклад вирішення задачі для конкретного приводу.

Список літератури

1. Ермолаєв Ю.О., Савеленко Г.В. Розробка САУ електромеханічного приводу верстата типу "ДУГА" на базі "ЭШИМ-1" // Збірник наукових праць КНТУ. Вип.15. Кіровоград: КНТУ, 2004. – С. 270-273.
2. Шрейнер Р.Т. Системы подчиненного регулирования электроприводов. Ч.1. Электроприводы постоянного тока с подчиненным регулированием координат / Р.Т. Шрейнер. – Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. проф.-пед. ун-та, 1997. – 279 с.
3. Гарнов В.К., Рабинович В.Б., Вишневецкий Л.М. Унифицированные системы автоуправления электроприводами в металлургии. Л.-М.: Из-во «Металлургия», 1971. – 216 с.
4. Динаміка двомасових систем стабілізації режиму в електродугових печах: монографія /Я.Ю. Марущак, А.О. Лозинський, А.П. Кушнір. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. – 224 с.
5. Симаков Г.М. Системы автоматического управления электроприводами: учеб. пособие /Г.М. Симаков. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006. – 116 с.
6. Электроприводы постоянного тока с вентильными преобразователями / С.К. Козырев и др. М., 1981. – 157 с.
7. Башарин А.В. Управление электроприводами. /А.В. Башарин, В.А. Новиков, Г.Г. Соколовский. – Л.: Энергоатомиздат, 1982. – 392 с.
8. Охоткин Г.П. Развитие теории динамических процессов и разработка быстродействующих полупроводниковых преобразователей для электропривода: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук : 05.09.12., 2006. – 422 с.

Y. Ermolaev, G. Savelenko

Kirovograd National Technical University

Synthesis of controllers position of the electric supply to the electrode-tool on the machine dimensional processing of arc with the standard settings

Developed the structural schema for electric drive positional moving electrode-tool of dimensional processing arc machine fulfilling the conditions of technical and symmetric optimums and using the standard method of synthesis of subordinate regulation.

Developed the structural schema of positional electric drive performed synthesis regulators currents, speeds and positions a particular system electric drive pulse width modulation multi-coordinate - DC motor by fulfilling the conditions of technical and symmetric optimums and using the standard method of synthesis of subordinate regulation

Describes methods of synthesis positioning system for the purpose of determination of transfer functions of regulators and their parameters. Describes of examples of solving problems for a particular occasion.

automatic control system, subordinate regulation of parameters, positional electric drive, the synthesis of the regulator, the transfer function of the contour

Одержано 19.04.13

УДК 621.391.83

В.А. Бісюк, викл.

Кіровоградський національний технічний університет

Програмне забезпечення АСК процесу індукційного нагрівання і наплавлення композиційних покриттів

Проведено дослідження процесів індукційного нагрівання та наплавлення. В ході досліджень визначено технологічні параметри, що впливають на якість поверхні, що підлягає обробці – це температура і тривалість процесу ІНН, а відповідно напруга та частота струму на індукторі.

Запропоновано АСК технологічним процесом індукційного наплавлення, яка розроблена на основі програмованої мікроконтролерної системи та відповідного програмного забезпечення.

Індукційне наплавлення, композиційне покриття, керування технологічним процесом, програмне керування, програмне забезпечення.

В.А. Бісюк, викл.

Кіровоградський національний технічний університет

Програмне забезпечення АСК процесу індукційного нагрівання і наплавлення композиційних покриттів

Проведено исследование процессов индукционного нагрева и наплавки. В ходе исследований определены технологические параметры, влияющие на качество поверхности, подлежащей обработке - это температура и продолжительность процесса ИНН, а соответственно напряжение и частота тока на индукторе.

Предложено АСК технологическим процессом индукционной наплавки, которая разработана на основе программируемой микроконтроллерной системы и соответствующего программного обеспечения.

Индукционная наплавка, композиционное покрытие, управление технологическим процессом, программное управление, программное обеспечение

Постановка проблеми

В останні роки у зв'язку зі стрімкими темпами розвитку мікроелектроніки і, як наслідок, появою нових швидкодіючих засобів автоматизації стало можливим створення автоматизованих і автоматичних систем керування таких процесів, автоматизація яких раніше вважалася економічно недоцільною або технічно нездійсненною, в тій ступені, у якій вона відповідала б вимогам конкретного виробництва. Складність конструювання технологічного обладнання з автоматичною системою управління часто обумовлена занадто складним способом вимірювання технологічних параметрів і складністю алгоритму керування, останнє є визначальною причиною для відмови від автоматизації швидкодіючих процесів, коли часовий інтервал між керуючими впливами повинен становити мілісекунди і менше. До таких процесів належать і деякі процеси індукційного нагрівання та наплавлення (ІНН).

Також слід зазначити активне прагнення виробників до впровадження автоматизації на всіх стадіях виробництва. Все частіше метою автоматизації є підвищення якості виробленої продукції, в той час як раніше переважно це було підвищення продуктивності. Завдання автоматизації індукційного наплавлення є актуальним в різних галузях машинобудування, таких як виготовлення сільськогосподарської техніки, залізничного транспорту та інш.

Відповідно актуальним є питання розробки системи автоматичного керування (АСК) процесами індукційного наплавлення, яка орієнтована на стабілізацію показника якості цього процесу і в повній мірі використовує можливості сучасної мікроконтролерної електроніки та програмного забезпечення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Як показано в [1, 2, 3] збурюючий вплив на технологічний об'єкт в процесі нагрівання різних енергетичних, конструктивних і технологічних параметрів всього обладнання обумовлюють коливання процесу ІНН біля номінальних значень й можуть досягти значної величини. Для стабілізації параметрів процесу і, відповідно підвищення якості продукції створюються системи автоматичного керування зі зворотнім зв'язком та корегуючими (регульованими) параметрами, що забезпечуються впровадженням відповідних технічних засобів, а також програмного та інформаційного забезпечення [5, 6, 7]. Для підвищення ефективності АСК індукційним наплавленням необхідно всесторонньо дослідити механізми виділення і передачі тепла, алгоритми і засоби програмного керування.

Метою даної роботи є дослідження властивостей технологічного процесу індукційного нагрівання деталей та нанесення композиційних покриттів (КП) і можливостей розробки та впровадження АСК з відповідним програмним забезпеченням.

Виклад основного матеріалу

Розглянемо процеси, що протікають при індукційному наплавленні. Механізми виділення і передачі тепла при індукційному наплавленні можна класифікувати і охарактеризувати наступним чином:

1. Виділення тепла в деталі, за рахунок виникнення джерел тепла на поверхні деталі внаслідок дії електромагнітного випромінювання.

1.1 Глибину проникнення ВЧ поля в поверхню деталі можна розрахувати виходячи з температури поверхні та експериментальних залежностей властивостей матеріалу, що нагрівається від температури.

1.2 На потужності джерел тепла позначається потужність генератора, зазор і властивості деталі, які у тому числі залежать від температури поверхні.

1.3 Питома потужність (потужність, що припадає на 1 кв. см поверхні) є найбільш інформативним параметром для процесу нагрівання, тому що вона визначає характер і ефективність протікання процесу.

2 Поширення тепла в деталі, пояснюється механізмом теплопровідності.

2.1 Можна виділити корисне тепло, яке передається за допомогою теплопровідності, це нагрівання деталі в напрямку руху індуктора. Таке нагрівання інтенсифікує ряд сприяючих наплавленню процесів. По-перше, відбувається попереднє нагрівання і випаровування вологи з шихти. По-друге, нагрівається подальша зона наплавлення, і нагрівання до температури наплавлення відбувається швидше. По-третє, відбувається більш глибоке прогрівання, що дозволяє легуючим елементам, які містяться в шихті глибоко проникати в структуру металу.

2.2 Частину тепла, переданого внаслідок теплопровідності можна віднести до втрат. Втрати тепла відбуваються внаслідок нагрівання областей деталі, які не підлягають процесу наплавлення. При недостатній питомій потужності ці втрати можуть становити більшу частину загальної потужності, що вкладається в деталь.

3 Передача тепла від зони деталі, що нагрівається до порошку шихти і розплаву, відноситься до механізмів тепловіддачі і теплопередачі, і може бути класифікована залежно від напрямку.

3.1 Теплопередача від деталі до шихти вимагається для активації хімічних окисно-відновлювальних процесів у зоні наплавлення.

3.2 Тепловіддача в навколишнє середовище є головним джерелом втрат енергії при процесах ІНН, проведених без захисного середовища. Незважаючи на утворення шлаків на поверхні розплаву, що сприяють збереженню тепла в зоні наплавлення, випромінювання при температурі 1200°C може складати 1000 Вт на 1 кв. см. поверхні. Найбільший градієнт температури знаходиться в зоні розплавлення, тому з одного боку, досягається максимальна температура деталі, з іншого боку в безпосередній близькості до поверхні розплаву перебуває мідна трубка індуктора, охолоджувана водою з температурою не вище 20°C. Таке розташування елементів викликає тепловий потік, що перевищує потужність випромінювання з поверхні або тепловіддачу в навколишнє середовище в будь-якій іншій зоні деталі.

Розглянемо фактори, що впливають на протікання процесу наплавлення. Під факторами розуміються всі фізичні величини, які можна виразити кількісно. Для процесу індукційного наплавлення ці величини можна класифікувати на три групи: теплові, механічні та електричні. Розглянемо їх більш детально:

1) Механічні, це найбільш наочна група параметрів, всі параметри цієї групи є регульованими.

- 1.1) Швидкість руху деталі V , [м / с];
- 1.2) Зазор між індуктором і деталлю δ [м];
- 1.3) Висота насипання порошку h [м] (входить в зазор).

2) Теплові.

- 2.1) Температура деталі T [К];
- 2.2) Температура повітря T_v [К];
- 2.3) Температура води в індукторі T_n [К].

Також теплові параметри можна доповнити нерегульованими тепловими властивостями деталі і шихти такими, як коефіцієнти теплопровідності, температуропровідності і тепловіддачі.

3) Електричні.

- 3.1) Потужність активна (споживана від мережі) P_a [Вт];
- 3.2) Потужність вихідна (потужність на виході генератора включає в себе як активну, так і реактивну складову, співвідношення активної і реактивної потужності залежить від зазору і електромагнітних властивостей деталі) P [ВА];
- 3.3) Струм в індукторі I [А];
- 3.4) Частота струму f [Гц];
- 3.5) Глибина проникнення високочастотного струму в деталь Δ [м].

Це основні електричні параметри, в них не перераховані електромагнітні властивості деталі (електричний опір, магнітна проникність), тому що вони, в першу чергу, залежать від складу матеріалу сталі та шихти. У процесі індукційного наплавлення не розглядається питання приготування шихти, тому параметри, пов'язані зі складом, є нерегульованими.

З перерахованих параметрів можна виділити кілька основних параметрів, за допомогою яких можна керувати процесом. При проведенні процесу нагрівання можливий контроль параметрів, наведених на (рис. 1). Це: струм індуктора I , напруга на індукторі U , зазор між індуктором і деталлю δ , швидкість переміщення деталі V , температура поверхні деталі T . Множенням струму і напруги індуктора можна отримати сукупний параметр - потужність. Також можна виміряти потужність, споживану по ланцюгу постійного струму на вході високочастотного інвертора, що потужність можна вважати активною складовою повної потужності установки.

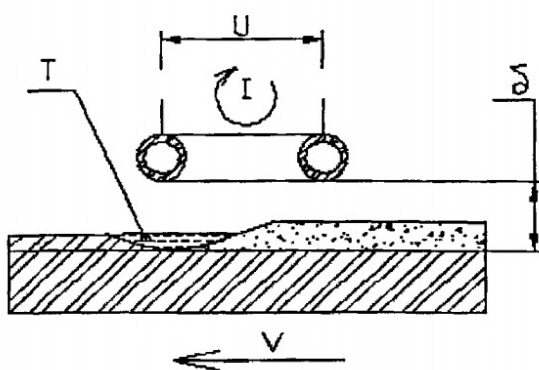


Рисунок 1 – Параметри процесу індукційного наплавлення

Визначити ступінь впливу параметрів на процес і один на одного можна використовуючи аналітичні залежності [4], що зв'язують ці параметри: опір контуру і індуктора; струм; глибина проникнення; потужність, що виділяється в деталі; рівняння теплопровідності; рівняння теплопередачі; рівняння втрат на випромінювання; експериментальні довідкові залежності властивостей матеріалів і параметрів процесу. Аналізуючи відомі залежності можна прийти до висновку про взаємний вплив досліджуваних параметрів. Більш наочно взаємний вплив параметрів показано на (рис. 2).

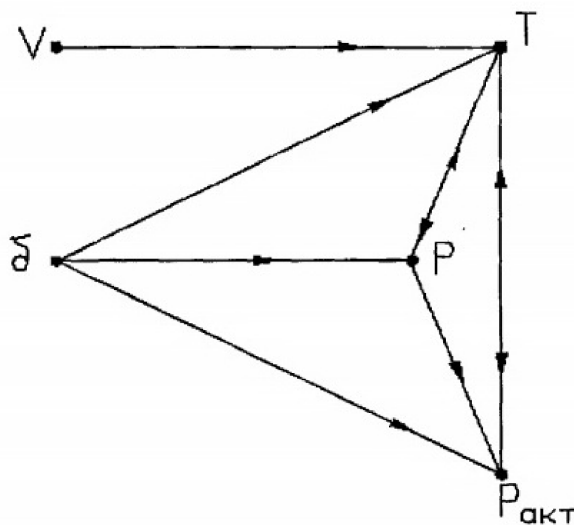


Рисунок 2 – Взаємний вплив параметрів процесу індукційного наплавлення

Якщо врахувати всі аналітичні залежності, то взаємозв'язки параметрів процесу можна вважати нелінійними, а всі наведені параметри слід враховувати при оцінці показника якості. Винятком є тільки споживана потужність, яку можна виключити, у зв'язку з тим, що вона менш інформативна, ніж потужність індуктора. Це пояснюється наявністю проміжних елементів, в яких відбуваються втрати енергії у вигляді тепла. Основним показником якості одержуваної деталі є зносостійкість. Цей параметр повністю характеризує здатність деталі витримувати ударні навантаження і тертя. Для визначення зносостійкості деталей їх ставлять на випробування в стенді тертя.

Головною метою автоматичного керування режимом індукційного наплавлення є підтримання незмінним заданого показника якості. Під показником якості мається на увазі величина зворотна розрахунковому значенню відносної нерівності поверхні. Таким чином, мінімальне значення показника якості може бути визначено як мінімальне значення нерівності.

Основними критеріями вибору способу регулювання показника якості є складний характер взаємозв'язків параметрів процесу і відсутність можливості точного моделювання процесу, зважаючи на неможливість розрахунку показника якості.

При такій поведінці об'єкта керування, регулювання показником якості повинно забезпечуватися зміною і контролем всіх параметрів, управління якими видається технологічно можливим. Оскільки в якості факторів, що впливають на протікання процесу були визначені потужність нагрівання і частота струму на індукторі, то слід розробити механізми регулювання цих параметрів.

З метою компенсації взаємного впливу параметрів процесу і забезпечення можливості динамічного керування процесом запропоновано апаратне та програмне забезпечення АСК процесом ІНН, в якій для кожного з параметрів організовано свій програмно керований регулятор (рис. 3).

До складу системи входять:

- Керуючий мікроконтролер AVR32;
- Контур керування напругою на індукторі;
- Перетворювач частоти струму;
- USB інтерфейс.

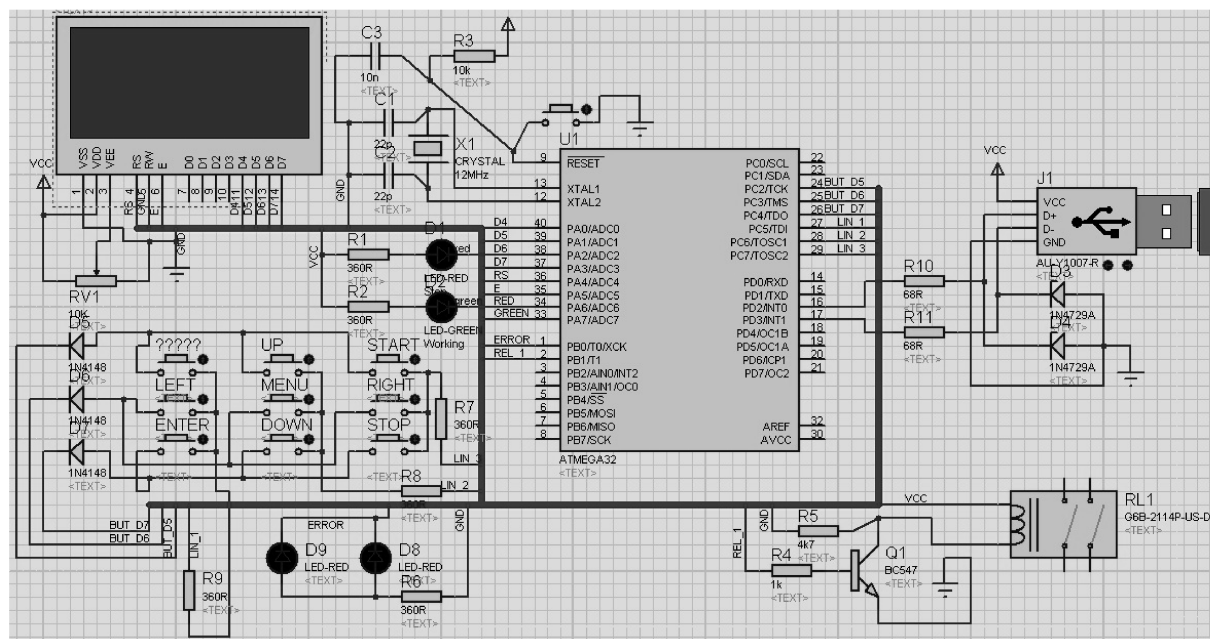


Рисунок 3 – Схема системи керування параметрами процесу ІНН

Введення початкових параметрів процесу в оперативну пам'ять мікроконтролеру і виведення та збереження проміжних і кінцевих параметрів та результатів процесу виконується через USB інтерфейс з бази даних (БД) під керуванням програмного модулю розміщеного на керуючій ЕОМ (рис.4).

id	Name	Mark_shiht	Mark_steal	Start_T	Min_T	Max_T	Nominal_voltage	Start_frequency	Nominal_current	Time_work
1	name	mark1	steal1	23	23	23423	2343	23453	234	234
2	name2	mark2	steal2	34	3434	342	5435	646	324	324
3	name3	mark3	steal3	2	32	33	45	5	54	54
4	name4	mark4	steal4	34	1	54	435	546	3	43
5	name5	mark5	steal5	545	432	53	435	46	324	45
6	name6	mark6	steal6	345	3	435	32	65	54	3
7	name7	mark7	steal7	2	56	656	53452	54	324	43
8	name8	mark8	steal8	656	6	7675	435	344	23	4
9	name9	mark9	steal9	43	65	435	34	3	4	5

Рисунок 4 – БД параметрів технологічного процесу ІНН

Поля БД містять інформацію про код або назву номенклатури деталі, марку шихти, марку сталі, початкову температуру процесу, мінімально необхідне та максимально допустиме значення температури поверхні деталі, початкове значення напруги та частоти струму на індукторі та задану тривалість процесу (в мс).

Висновки

Проведені дослідження процесів ІНН показали фактори, що впливають на протікання процесу наплавлення, виявлено їх взаємозалежності. Визначено можливості керування параметрами, які істотно впливають на якість оброблених деталей.

Програмно керована АСК технологічним процесом індукційного наплавлення на основі програмованої мікроконтролерної системи дозволяє динамічно (не зупиняючи процес) змінювати керовані параметри і зберігати інформацію про хід процесу для моніторингу та подальшої обробки.

Список літератури

1. Кривочуров Н.Т. /Способы контроля тепловложения при индукционной наплавке/ Кривочуров Н.Т. /Иванайский В.В., Иванайский Е.А., Деризин В.Я.; //Вестник Алтайского государственного аграрного университета/ Вып. 14 Механизация и электрификация сельского хозяйства - Барнаул. - 2007. - С. 61-62.
2. Аулін В.В. /Керування та моніторинг процесів приготування композиційних матеріалів та нанесення композиційних покриттів на деталі машин/ Аулін В.В, Віхрова Л.Г., Бісюк В.А., Бобрицький В.М.; //Вісник Харківського нац. техн. університету сільск. господарства./ Вип. 37. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. Том 2. – Харків. – 2005.- С.174-178.
3. Безменов Ф.В. Некоторые особенности протекания процесса нагрева цилиндрических деталей при заданных значениях температуры на поверхности и глубине закалки/ Безменов Ф.В. // Индукционный нагрев. – 2008. - №5. – С. 3-11.
4. Новгородцев А.Б. /Теория электромагнитного поля/ Новгородцев А.Б.// С.Пб.: Изд. СПбГТУ, 1995. – 222с.

V. Bisuk

Kirovograd National Technical University

Software ASC process of induction heating and welding of composite coatings

With the rapid pace of development of microelectronics and, consequently, the advent of high-speed automation made possible the creation of automated systems and automatic control of such processes, the automation of previously considered uneconomical or technically impracticable, to the extent where it would meet the requirements of a particular production. The difficulty of designing technological equipment with automatic control system is often a too complicated way to measure process parameters and the complexity of the control algorithm, the latter is decisive reason for rejecting high-speed automation processes when the time interval between the control action must be a millisecond or less. These processes include some process of induction heating and welding.

The aim of this work is to study the properties of the process of induction heating parts and applying composite coatings and capacity development and implementation of ACS with the appropriate software.

Increasingly, automation is to improve the quality of products, whereas previously it was mostly better performance. Task automation induction welding is relevant in various branches of engineering, such as the manufacture of agricultural machinery, railways, etc. Accordingly, the question of drawing automatic control system induction welding process that is focused on stabilizing the quality of the process and fully takes advantage of modern electronics and microcontroller software.

Studies have shown processes INN factors influencing the flow of welding process, found their interdependence. Definitely more control over the parameters that significantly affect the quality of the parts. Software-driven ACS induction welding process based programmable microcontroller system enables dynamically (without stopping the process) managed to change the settings and save information about the process for monitoring and further processing.

Induction welding, composite coating, process control, program management, software

Одержано 19.04.13

УДК 674.05:621.91

Т.Г. Руденко, здобувач

Кіровоградський національний технічний університет

Модель систем електроприводів деревообробного верстата

У статті дана методика розрахунку моменту навантаження на привод фрези. Запропоновано імітаційну модель, яка дозволяє дослідити реакцію систем електроприводів на зовнішнє збурення у вигляді моменту навантаження. Проведено аналіз осцилограм струму статора асинхронного двигуна приводу фрези і результатів натурного випробування.

деревообробка, електропривод, статичний момент, моделювання

Т.Г. Руденко

Кировоградский национальный технический университет

Модель систем электроприводов деревообрабатывающего станка

В статье дана методика расчета момента нагрузки на привод фрезы. Предложена имитационная модель, которая позволяет исследовать реакцию системы электропривода на внешнее возмущение в виде момента нагрузки. Проведен анализ осциллограмм тока статора асинхронного двигателя привода фрезы и результатов натурного испытания.

деревообработка, электропривод, статический момент, моделирование

© Т.Г. Руденко, 2013

Постановка проблеми. В роботі [1] обґрунтовано використання систем автоматичного регулювання приводами поздовжньо-фрезерних верстатів. Важливим етапом є розробка імітаційних та математичних моделей об'єктів керування та дослідження їх реакції на зовнішні збурення, що в умовах обробки деревини – анізотропного матеріалу, фізичні властивості якого залежать від великої кількості параметрів, – є складною й актуальною науково-дослідною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналітичні дослідження та моделювання проведено на прикладі поздовжньо-фрезерного верстата виробництва «АСТРА» (м. Кіровоград), в якому обробка деревини здійснюється торцевою фрезою шляхом поздовжньо-поперечного різання [2].

Теоретичні та експериментальні дослідження процесів різання деревини, проведені Ф. М. Манжосом, А. Л. Бершадським, І. Т. Глебовим, В. В. Амаліцьким, Є. Г. Івановським та іншими, дають можливість визначити силу взаємодії різця та деревини.

Мета роботи: аналітичне визначення збурюючого впливу на привод фрези з боку вузла різання. Співставлення реакцій по струму статора моделі і реальної осцилограми при прикладанні статичного моменту.

Основні матеріали дослідження.

Методи вирішення задачі. В [3, 4] показано, що середня дотична сила різання на дузі контакту при фрезеруванні одним лезом для макрослоїв ($a_c \geq 0,1$ мм)

$$F_{x_{зуб}} = a_n a_w (a_p p + k a_c) b, \quad (1)$$

де a_n – коефіцієнт, що враховує породу деревини;

a_w – коефіцієнт, що враховує вологість деревини;

a_p – коефіцієнт затуплення лез фрезерного інструмента;

p – фіктивна сила різання, Н/мм;

k – дотичний тиск стружки на передню поверхню леза, МПа;

a_c – товщина шару, що зрізується, мм;

b – ширина шару, що зрізується, мм.

Для поздовжньо-поперечного різання:

$$p = 0,98 + 0,59 \cos^2 \varphi_c, \quad (2)$$

$$k = 0,029\delta + C \cdot V - 0,59 + (0,167\delta + (0,069 - C)V - 4,81) \cos^2 \varphi_c,$$

де φ_c – кут скосу на середині дуги контакту, який вимірюється між ріжучою кромкою та волокнами деревини;

δ – кут різання, град;

V – швидкість різання, м/с;

C – розрахунковий коефіцієнт, $C=0,069$.

Для точних розрахунків швидкість різання визначається як сума швидкостей подачі V_s та головного руху:

$$V = R_{cp} \omega_f + V_s, \quad (3)$$

де ω_f – кутова швидкість фрези, рад/с;

R_{cp} – середній радіус фрезерування, м.

Середня дотична сила різання F_x за один оберт фрези визначається за виразом:

$$F_x = F_{x \text{ зуб}} z, \quad (4)$$

де z – кількість лез фрези.

Обертаючий момент, потрібний для виконання процесу різання, Н·м:

$$M_{cf} = \frac{F_x V}{\omega_f}. \quad (5)$$

Підставивши вирази (1 - 4) у (5), отримаємо:

$$M_{cf} = z a_n a_\omega b (\alpha_p [0,98 + 0,59 \cos^2 \varphi_c] + a_c [0,029\delta + 0,069(R_{cp} \omega_f + V_s) - 0,59 + (0,167\delta - 4,81) \cos^2 \varphi_c]) (R_{cp} \omega_f + V_s) \frac{1}{\omega_f}. \quad (6)$$

Для зручності подальших розрахунків вираз (6) було представлено в системі СІ, розраховано середні значення технологічних параметрів, що відповідають даному типу верстатів, за винятком a_n та b , які мають найбільший вплив на величину моменту навантаження і задаються для кожного випробування окремо. Швидкість подачі V_s визначено через кутову швидкість двигуна привода подачі ω_p . Після перетворень отримано статичний момент навантаження привода фрези:

$$M_{cf} = a_n b (9545.25 + 32.63 \omega_p + 5186.68 \frac{\omega_p}{\omega_f} + 0.38 \frac{\omega_p^2}{\omega_f} + 29.56 \frac{\omega_p^2}{\omega_f^2} + 1.08 \cdot 10^{-3} \frac{\omega_p^3}{\omega_f^2}). \quad (7)$$

В силу жорсткості природної механічної характеристики двигуна привода фрези кутову швидкість ω_f практично можна вважати незмінною в порівнянні з частотою обертання двигуна привода подачі, а її величину рівною номінальному значенню, тобто $\omega_f = 307,72$ рад/с. Таким чином отримано залежність моменту навантаження привода фрези від швидкості обертання двигуна привода подачі:

$$M_{cf}(\omega_p) = a_n \cdot b (9545.25 + 49.48 \omega_p + 1.55 \cdot 10^{-3} \omega_p^2 + 1.14 \cdot 10^{-8} \omega_p^3). \quad (8)$$

Очевидно, що доданками $1.55 \cdot 10^{-3} \omega_p^2$ та $1.14 \cdot 10^{-8} \omega_p^3$ через їх малу значимість можна знехтувати:

$$M_{cf}(\omega_p) = a_n \cdot b (9545.25 + 49.48 \cdot \omega_p). \quad (9)$$

Статичний момент навантаження привода подачі можна представити наступним чином:

$$M_{cp} = (0.55 \cdot F_x + 0.5 \cdot m \cdot g) \frac{r_\theta}{i_p \cdot \eta_p}, \quad (10)$$

де $g=9,81$ прискорення вільного падіння;

r_θ – радіус приводного вала конвеєра;

i_p – коефіцієнт передачі;

η_p – сумарний ККД приводу подачі.

Виконавши підстановки та розкривши дужки отримуємо:

$$M_{cp} = a_n \cdot b(46.58 + 0.24 \cdot \omega_p + 2.98 \cdot 10^{-6} \cdot \omega_p^2) + 0.01 \cdot m. \quad (11)$$

Коефіцієнтом $2.98 \cdot 10^{-6} \omega_p^2$ можна знехтувати, спростивши таким чином вираз:

$$M_{cp} = a_n \cdot b(46.58 + 0.24 \cdot \omega_p) + 0.01 \cdot m. \quad (12)$$

Залежності (9) та (12) було використано при побудові імітаційної моделі системи керування деревообробним верстатом (рис. 1). Сигнал навантаження M_{cf} подається на вхід T_m блоку асинхронної машини з коротко замкнутим ротором AUP160S2, параметри якого відповідають номіналам асинхронного двигуна привода фрези [5, 6]. Блок асинхронної машини AUP80A2 моделює двигун привода подачі. Кутова швидкість ротора двигуна подачі AUP80A2, виділена за допомогою блоку Machines Measurement Demux1, надходить на вхід блоку K_p і змінюється пропорційно заданій швидкості подачі. Сигнал M_{cp} , який моделює навантаження на привод подачі під час фрезерування, подається на вхід T_m блоку AUP80A2. Значення струму статора двигуна привода подачі на даному етапі не є важливим, однак зміни навантаження можуть викликати зміну швидкості подачі, тому M_{cp} враховано в моделі.

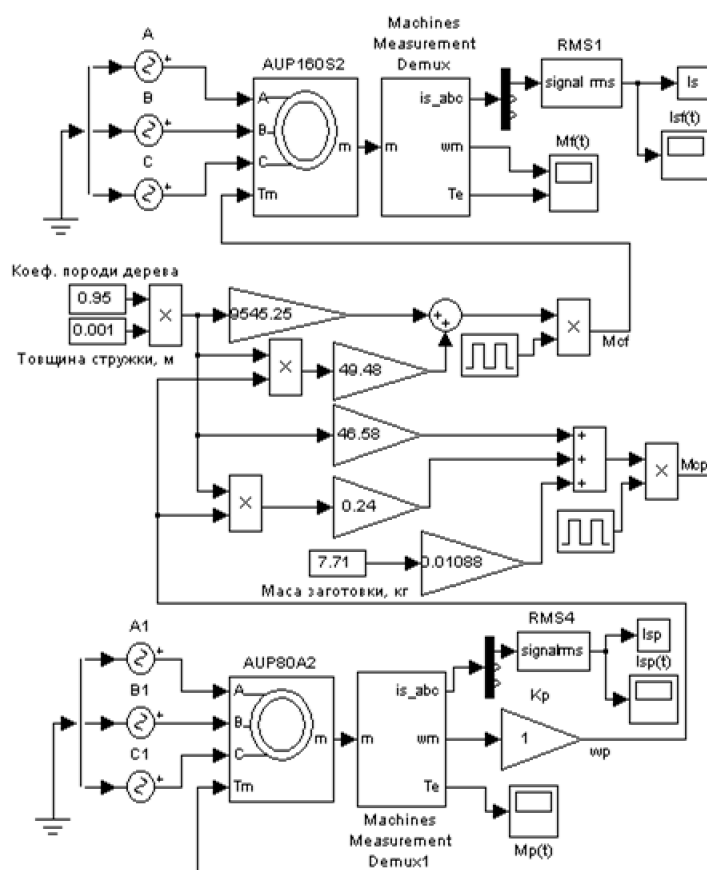
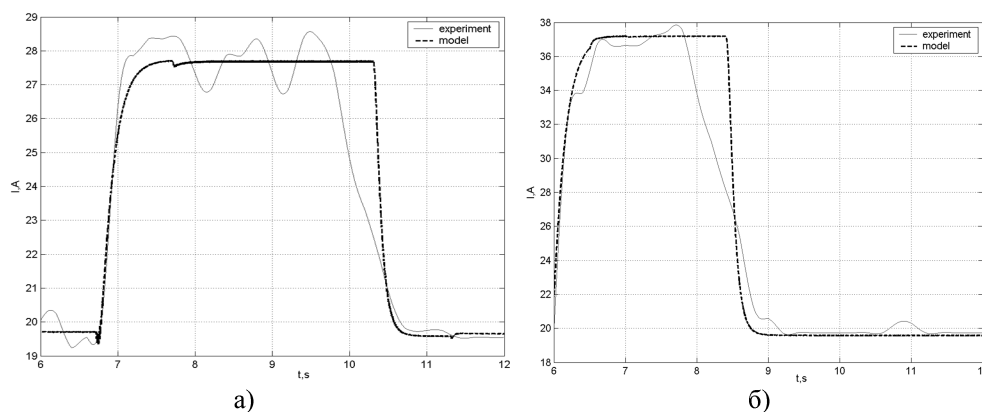


Рисунок 1 – Імітаційна модель систем керування деревообробним верстатом

Осцилограми струму статора асинхронного двигуна привода фрези, отримані шляхом моделювання та експериментальним шляхом, показано на рис. 2.



а) обробка смереки, $b = 1$ мм, швидкість подачі 27 м/хв., довжина заготовки 2,1 м; б) обробка дуба, $b = 3$ мм, швидкість подачі 19 м/хв., довжина заготовки 1,2 м

Рисунок 2 – Осцилограми струму статора асинхронного двигуна привода фрези, отримані шляхом моделювання та експериментальним шляхом

Висновки. Модель, отримана за запропонованою методикою, дозволяє визначити збурюючий вплив по навантаженню на привод фрези. Введення даного збурення в розроблену імітаційну модель системи викликає реакцію по струму, подібну до реакції реального привода.

Список літератури

1. Руденко Т. Г. Розробка автоматизованої системи керування обробкою деревини на поздовжньо-фрезерних верстатах [Текст] / Руденко Т. Г., Єрмолаєв Ю. О., Шалімов В. О. // Техніка в сільськогосподарському виробництві. Галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць КНТУ. – Кіровоград: КНТУ. – 2012. – Вип. 25, Ч. II. – С. 272–275.
2. Лебедев Ю. В. Ламель и облицовочный щит: технологии получения и применяемое оборудование [Электронный ресурс] / Юрий Васильевич Лебедев – Режим доступа: <http://astrawood.net/statyi/lamel-i-oblicovochniy-schit-primenyuемое-oborudovanie>.
3. Глебов И. Т. Резание древесины [Текст]: учеб. пос. / Иван Тихонович Глебов – СПб.: Издательство «Лань», 2010. – 256 с. – ISBN 978-5-8114-0996-9.
4. Глебов И. Т. Расчет режимов фрезерования торцевой фрезой [Электронный ресурс] / Иван Тихонович Глебов // Лесной вестник. – 2007. – №1. – С. 71–74. – Режим доступа: <http://elibrary.ru/item.asp?id=9957401>.
5. Герман-Галкин С. Г. Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК [Текст] / Сергей Германович Герман-Галкин. – СПб.: КОРОНА-Век, 2008. – 368 с. – ISBN 978-5-903383-39-9.
6. Єрмолаєв Ю. О. Визначення параметрів асинхронних двигунів з побудовою статичних характеристик для приводів фрезерувального верстата СФ-АСТРА-РК8 [Текст] / Ю. О. Єрмолаєв, Т. Г. Руденко // Техніка в сільськогосподарському машинобудуванні, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць КНТУ. – Кіровоград: КНТУ. – 2010. – Вип. 23. – С. 71-77.

T. Rudenko

Kirovograd National Technical University, Kirovograd

Model systems of electric drives woodworking machine

The purpose of work is analytical determination disturbing influences on the milling drive from cutting unit and comparison reactions the stator current of the model and the real oscillograms during giving static moment.

The creating mathematical and simulation models of control objects and studying their response to perturbations is an important step in the design of control systems. This paper presents computation of the mathematical model of the woodworking machines electric drives load. The simulation model was constructed on the basis of the equations using computer software, allowing explore the reaction of electric drives on changes wooden workpieces parameters. The oscillograms of stator current an asynchronous motor of milling cutter, obtained by simulation and by result of natural tests are shown.

Thus the model obtained by the proposed method allows determine the load on the cutters drive. Using this load in simulation model of the system causes a change in the stator current engine, similar to the reaction in real drive.

wood processing, electric drive, static moment, modelling

Одержано 15.04.13

УДК 622.648.621.876.7

О.Г.Собінов, ас.

Кіровоградський національний технічний університет

Побудова спрощеної математичної моделі для автоматизованої системи управління баштовою сушаркою

У статті запропоновано спрощену математичну модель сушіння зерна, яка визначає швидкість пересування вертикального зернового шару у баштовій сушарці.

швидкість пересування зернового шару, автоматизована система управління, баштова сушарка, математична модель

А.Собинов

Кіровоградский национальный технический университет

Построение упрощенной математической модели для автоматизированной системы управления башенной сушилкой

В статье предлагается упрощенная математическая модель сушки зерна, которая определяет скорость передвижения вертикального зернового слоя в башенной сушилке.

скорость передвижения зернового слоя, автоматизированная система управления, башенная сушилка, математическая модель

Процес сушіння є одним з найважливіших і найпотрібніших елементів у виробництві зернових, олійних та бобових культур, без якого неможливо забезпечити кондиційну вологість зернового матеріалу і, відповідно його довготривале зберігання, збереження харчових та посівних властивостей.

Системи управління більшості сушарок забезпечують напів ручний режим керування – виведення на режим оператором вручну і подальше підтримання цього режиму автоматикою. При цьому зростають вимоги до кваліфікації оператора та виникають втрати якості зерна. Тому потрібні сушарки у яких система управління забезпечувала б автоматичний вихід на потрібний режим сушіння при будь яких початкових даних.

Стан зернової маси характеризується вологістю, засміченістю і температурою. У процесі сушіння слід контролювати вологість, температуру зерна, схожість (для посівного зерна), кількість і якість клейковини (для пшениці) і інші показники, які залежать від температури нагрівання зерна, швидкості та тривалості сушіння.

Цю потребу задовольняє баштова сушарка виробництва фірми “Астра” м.Кіровограда [6]. Основною властивістю цієї конструкції сушарки є сушіння зерна в потоці. Зерно нагрівається у поперечному потоці гарячого повітря(агента) при його русі

під дією власної ваги вздовж колони, і охолоджується зовнішнім повітрям в окремій зоні [5]. Швидкість відвантаження(пересування) зерна регулюється спеціальним пристроєм.

При цьому ефективність роботи зерносушарки визначається значною мірою якістю системи автоматичного управління. Система автоматичного управління повинна забезпечувати своєчасну і надійну інформацію про характеристики зерна, яке піддається сушінню, сушильного агента, режимних та інших параметрах, а також своєчасно реагувати на всі відхилення від заданих значень вологості, температури і якості зерна в процесі сушіння і на виході з сушильної камери.

З іншого боку, система управління повинна бути ефективною за рахунок підвищення продуктивності сушарок, поліпшення якості зерна та зменшення витрат на сушіння.

Один із шляхів інтенсифікації сушки - це ведення процесу на максимально допустимих температурах нагрівання зерна, залежно від подальшого використання зерна.

З урахуванням показників ефективності загальний алгоритм функціонування процесу сушіння можна визначити наступним чином: забезпечення заданої величини видалення вологи при збереженні якості зерна шляхом підтримання температури нагріву зерна не вище припустимої, з нормованими або мінімальними витратами на сушіння при заданій продуктивності сушарки[2].

Для створення ефективної системи автоматичного управління процесом сушіння потрібна математична модель, яка б дозволила у першому наближенні досягти перелічених вище вимог.

Сучасні моделі сушіння колоїдно-пористих матеріалів, до яких відноситься зерно[1] базується на математичній моделі Філоненко

$$\tau = \frac{1}{N} \left[\omega_1^c - \omega_2^c + A \int_{\omega_2^c}^{\omega_{кр.}^c} \frac{d\omega}{(\omega_2^c - \omega_p^c)^n} + B (\omega_{кр.}^c - \omega_2^c) \right] \varphi, \quad (1)$$

де N – швидкість сушіння $(d\omega/d\tau)_n = N$

ω_p^c – рівновісний вміст матеріалу;

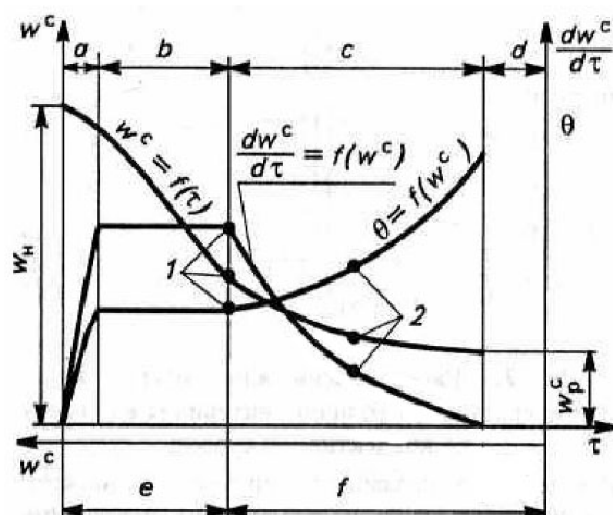
ω_1^c – вміст у першій критичній точці(перший період сушіння);

ω_2^c – вміст у другій критичній точці(другий період);

$\omega_{кр.}^c$ – критичний вміст матеріалу;

A, B – константи рівняння, які визначаються експериментально для заданого матеріалу та методу сушіння.

Графічне пояснення до математичної моделі (1)



a – період нагріву; b – період постійної швидкості сушіння;
 c – період спадної швидкості сушіння; d – область рівноважного стану;
 e – область вологого стану; f – область гігроскопичного стану;
 1 і 2 – перша та друга критична точки

Рисунок 1 – Графічне зображення процесу сушіння зерна (типового колоїдно капілярно-пористого тіла)

За даним рівняння на сучасному вивчені та вдосконаленні математичної моделі кінетики відомі роботи [3][4].

Але не вдаючись до оцінювання безперечної правильності прийнятої моделі потрібно зауважити, що практичне застосування даної моделі вимагає проведення великої кількості експериментів і перевірки поведінки конкретного матеріалу з метою встановлення параметрів за рівнянням (1), і тому її використання для введення як базової для системи керування сушінням у баштових сушарках не може бути прийнятною.

Попереднє зауваження пов'язане з тим, що у більшості випадків практичного сушіння зерна оператори сушарок встановлюють режими виходячи з власного досвіду, який пов'язаний не з параметрами теоретичних графіків, а виходячи з параметрів – початкової вологості зерна ω_n , кінцевої вологості зерна ω_k і температурних режимів T_a - температура агента сушіння, T_z – температура зерна, V – швидкість переміщення зерна у баштовій сушарці, якими реально може оперувати оператор.

Для того щоб оператор міг здійснювати керування процесом опираючись на данні, пов'язані з параметрами температурного стану зерна та агента, розробимо математичну модель сушіння, яка буде пов'язувати час сушіння з температура теплового агента та температурою зерна.

Якщо враховувати, що сушіння зерна проводиться у межах значень вологості $\leq 30\% \geq 8-14\%$ (менше значення для масляничних культур), то за теоретичною (рис.1) кривою можна вважати що процес проходить у межах періодів a, b, та приблизно середини періода c-другої критичної точки. При цьому, якщо не зважати на період a (рис.1) – стадію попереднього нагрівання, то спробуємо побудувати спрощену математичну модель сушіння зерна в баштовій сушарці на засадах теплового балансу, який враховує температурні параметри процесу.

Розглянемо рівняння теплового балансу - потік гарячого повітря проходячи скрізь шар зерна втрачає (віддає) частину свого тепла.

$$dQ_z = \vartheta_3 (T_{\text{вых}} - T_{\text{вх}}) m_3 - \text{енергія на нагрів сухої частки зерна};$$

$$dQ_a = \vartheta_6 (T_{\text{вых}} - T_{\text{вх}}) (m_3 \cdot \rho + m_3 d\rho) - \text{енергія на нагрів не випаруваної вологи};$$

$$\begin{aligned}
 dQ_{\text{исп}} &= -r_{\text{исп}} m_3 d\rho - \text{енергія на випаровування}; \\
 dQ_{\text{нап}} &= \vartheta_{\text{нап}} (T_{\text{ен}} - T_{\text{вх}}) m_3 (-d\rho) \text{ енергія на нагрів пару}; \\
 dQ &= \text{тепло витрачене на сушку (нагрів плюс випаровування)}. \\
 \text{Енергія, яку віддало повітря } dQ_{\text{воз}} &= m_{\text{воз}} (T_{\text{ва}} - T_{\text{вн}}) \vartheta_{\text{воз}}; \tag{2}
 \end{aligned}$$

$$m_{\text{в}} = m_3 \rho;$$

$$m_{\text{нап}} = m_3 d\rho,$$

де ρ – відносна вологість;

$m_{\text{в}}$ – маса води в зерні;

$m_{\text{нап}}$ – маса пару.

Швидкість подачі тепла пропорціональна різниці температур

$$dQ = k_2 (T_{\text{ва}} - T_{\text{вх}}) dt, \tag{3}$$

де $T_{\text{вх}}$ – початкова температура зерна;

$T_{\text{вих}}$ – кінцева температура зерна;

$T_{\text{ва}}$ – температура повітря в середині;

$T_{\text{вн}}$ – температура повітря на виході із зерн.

$$T(t) = T_{\text{вх}}, \quad T_{\text{вих}} = T(t) + dT;$$

$$k_2 (T_{\text{ва}} + T(t)) dt = \vartheta_3 m_3 dT + \vartheta_6 m_3 (\rho + d\rho) \Delta T - r_{\text{исп}} m_3 d\rho - \vartheta_{\text{нап}} (T_{\text{ен}} - T(t)) m_3 d\rho;$$

$$k_2 (T_{\text{ва}} + T(t)) = m_3 \left[\frac{dT}{dt} (\vartheta_3 + \vartheta_6 (\rho + d\rho)) - (r_{\text{исп}} + \vartheta_{\text{нап}} (T_{\text{ен}} - T(t))) \frac{d\rho}{dt} \right], \tag{4}$$

тут $d\rho$ – відпускаємо як нескінченно малу.

$$\frac{k_2}{m_3} (T_{\text{ва}} + T(t)) = \frac{dT}{dt} (\vartheta_3 + \rho \vartheta_6) - (r_{\text{исп}} + \vartheta_{\text{нап}} (T_{\text{ен}} - T(t))) \frac{d\rho}{dt},$$

де $\frac{dT}{dt}$ – швидкість нагріву зерна;

$\frac{d\rho}{dt}$ – швидкість зміни вологи;

$\Gamma_{\text{вип}}$ – відносне випаровування.

Виразимо $m_{\text{воз}}$ через швидкість прокачки повітря $v_{\text{воз}}$

$$m_{\text{воз}} = v_{\text{воз}} dt.$$

$$\text{З рівняння (2) та (3) } v_{\text{воз}} \vartheta_{\text{воз}} (T_{\text{ва}} - T_{\text{вн}}) dt = k_2 (T_{\text{ва}} + T_{\text{вх}}) dt;$$

$$v_{\text{воз}} \vartheta_{\text{воз}} (T_{\text{ва}} - T_{\text{вн}}) = k_2 (T_{\text{ва}} + T(t)).$$

Температура повітря після нагріву зерна

$$T_{\text{вн}} = T_{\text{ва}} - \frac{k_2}{v_{\text{воз}} \vartheta_{\text{воз}}} (T_{\text{ва}} + T(t));$$

$$\begin{cases} \frac{k_2}{m_3} (T_{\text{ва}} - T) = \frac{dT}{dt} (\vartheta_3 + \rho \vartheta_6) - \left(r_{\text{исп}} + \vartheta_{\text{нап}} \left(T_{\text{ва}} - \frac{k_2}{v_{\text{воз}} \vartheta_{\text{воз}}} (T_{\text{ва}} - T) \right) \right) \frac{d\rho}{dt}; \\ \frac{d\rho}{dt} = k_1 (\rho - \rho_{\text{воз}}). \end{cases}$$

$$\frac{k_2}{m_3} (T_{\text{ва}} - T) = \frac{dT}{dt} (\vartheta_3 + \rho \vartheta_6) - \left(r_{\text{исп}} + \vartheta_{\text{нап}} \left(T_{\text{ва}} - \frac{k_2}{v_{\text{воз}} \vartheta_{\text{воз}}} (T_{\text{ва}} - T) \right) \right) k_1 (\rho - \rho_{\text{воз}});$$

$$\begin{cases} \frac{dT}{dt} = \frac{\frac{k_2}{m_3}(T_{\text{ва}} - T) + \left[\left(r_{\text{исп}} + \vartheta_{\text{нар}} \left(T_{\text{ва}} - \frac{k_2}{v_{\text{воз}} \vartheta_{\text{воз}}} (T_{\text{ва}} - T) \right) \right) \right] k_1 (\rho - \rho_{\text{воз}})}{\vartheta_3 + \rho \vartheta_a}, \\ \frac{d\rho}{dt} = k_1 (\rho - \rho_{\text{воз}}) \end{cases}, \quad (5)$$

із якої, в припущенні малості змінної ρ , отримаємо (6)

$$T = T_{\text{на}} - \frac{1}{k} e^{-t \frac{k_2 m_3 - k_1}{\vartheta_3 - \rho \vartheta_3}}. \quad (6)$$

Для визначення оптимальної швидкості переміщення зерна при сушці складемо систему рівнянь, які характеризують температуру зерна за деякий проміжок часу.

$$\begin{cases} T_3(0) = T_{\text{на}} (1 - e^{-k t_0}); \\ T_3(\tau) = T_{\text{на}} (1 - e^{-k(t_0 + \tau)}). \end{cases} \quad (7)$$

де $T_3(0)$ – початкова температура зерна;

$T_3(\tau)$ – температура після прогріву за час τ .

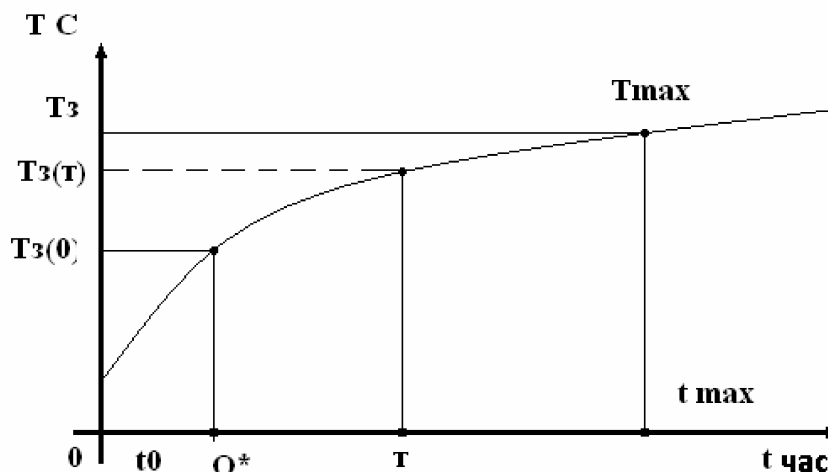


Рисунок 2 – До побудови системи рівнянь (7)

Рішення системи рівнянь (6) дає наступне рівняння яке визначає температуру зерна в довільний час нагріву

$$T_3(t) = T_a \left[1 - \left(1 - \frac{T_3(0)}{T_a} e^{-\frac{1}{\tau} \ln \frac{T_a - T_3(0)}{T_a - T_3(\tau)} t} \right) \right]. \quad (8)$$

Це рівняння дозволяє визначити оптимальну швидкість переміщення зерна в колоні сушарки. Для цього слід наслідувати наступний алгоритм:

- заміряємо в довільний момент часу, після початку процесу сушіння (з урахуванням першого етапу [1]), температуру зерна;
- чекаємо деякий (τ) час, поки зерно нагріється на 10^0 - 15^0 С;
- заміряємо $T_3(\tau)$;
- заміряємо T_a ;
- задаємо T_{max} – максимальну температуру зерна на виході;

- знаючи повний об'єм колони (об'єм зерна, яке нагрівається) V_k отримаємо значення швидкості переміщення (відгрузки) зерна

$$v = \frac{V_k}{\tau} \frac{\ln \frac{T_a - T_z(0)}{T_a - T_z(\tau)}}{\ln \frac{T_a - T_z(0)}{T_a - T_{max}}} \cdot k_z, \text{ м} \cdot \text{с} \quad (9)$$

де k – коефіцієнт пропорційності, який залежить від матеріалу, який сушиться.

Рівняння (8) дозволяє встановити швидкість переміщення зерна для забезпечення технологічних параметрів близьких до оптимальних для даного типу зернових сушарок.

Отримана математична модель дозволяє оператору (автомату) встановлювати швидкість переміщення зерна v у сушарці при заданих для даного типу і виду зерна та при відомих T_a , T_z і ω_n (початкова вологість зерна).

На основі розробленої моделі запроваджено у виробництво систему автоматичного управління для баштових сушарок фірми "Астра" [5], які впроваджені в декількох сільськогосподарських підприємствах України де успішно використовуються на протязі трьох збиральних сезонів.

При цьому автор не вважає дану модель досконалою. Вона потребує подальших як теоретичних так і експериментальних уточнень.

Список літератури

1. Лыков А.В. Теория сушки М.: Энергия, 1968.- 472с.
2. Станкевич Г.М., Страхова Т.В., Атаназевич В.І. Сушіння зерна. К.: Либідь, 1997. -352с.
3. Ефремов Г.И. Обобщенные зависимости для первого и второго периодов сушки материалов в тонком слое.//Тепломассобмен. МИФ-2000, Минск, 2000,- Т .9, - С. 129 – 135.
4. Рудобашта С.П., Кузьмина Н.В. Малыгин Е.Н. Математическое моделирование и оптимизация конвективной сушки// Теор. Основы хим.технологии. 1989. -Т. 23. № 3.-С.325-330.
5. Собінов О.Г. Автоматизація управління баштовими сушарками ТОВ "Астра".//Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. -2011. Т.41. Частина 2.- С.237-245.
6. <http://astrawood.net/zernosushilki/>

A.Sobinov

Kirovograd State Technical University

Uproschennyi building a mathematical model for the control system avtomatezyrovannoy bashennoy sushylkoy

The article presents a simplified mathematical model of drying, which determines the speed vertykalnoho grain layer in the tower dryer.

The got mathematical model allows an operator (to the automat) to set speed of moving of grain in a dryer at set the temperature of agent of drying, settemperature and humidity of grain.

speed grain layer, automated control system, tower dryer, mathematical model

Одержано 18.04.13

УДК 004.7

К.С. Ткаченко, асп.

Севастопольский национальный технический университет

Проекционный алгоритм стохастической аппроксимации с использованием соседних вариантов для оптимизации управления выбором управляющих воздействий

Предлагается проекционный алгоритм стохастической аппроксимации, отличающийся от существующих характером рекуррентной стратегии. Приводятся результаты вычислительных экспериментов.

проекционный алгоритм, стохастическая аппроксимация

К.С. Ткаченко

Севастопольський національний технічний університет

Проекційний алгоритм стохастичної аппроксимації з використанням сусідніх варіантів для оптимізації управління вибором керуючих впливів

Пропонується проекційний алгоритм стохастичної аппроксимації, що відрізняється від існуючих використанням сусідніх варіантів. Наводяться результати обчислювальних експериментів.

проекційний алгоритм, стохастична аппроксимація

Введение. Как известно [1–4], необходимыми составляющими любых современных сложных систем являются средства адаптивного выбора вариантов, в том числе и для динамической реконфигурации. При моделировании современных АСУ ТП на предмет анализа их уязвимостей и оценки факторов их безотказной работы по критерию минимума предельных значений средних текущих потерь возможно использование алгоритмов стохастической аппроксимации. Важными научными и практическими задачами, где может потребоваться их применение, являются задачи [1 – 4]: кодирования и декодирования информации, водоохлаждения химических реакторов, интенсификации производства, повышение эффективности использования имеющихся ресурсов, увеличение производительности механизмов и машин, повышения гарантоспособности сервисов в автоматизированных транспортно-производственных системах, обеспечения высокой терминальной готовности на основе информационных технологий распределения ресурсов и прочих. Перспективными алгоритмами для решения задач адаптивного выбора в условиях априорной неопределенности входных данных являются рекуррентные алгоритмы, предназначенные для решения задач безусловной минимизации [1]. Поэтому задача разработки нового алгоритма стохастической оптимизации является актуальной и перспективной. Предлагается проекционный алгоритм стохастической аппроксимации с использованием соседних вариантов, который может позволить решать задачи выбора с измененными характеристиками описательных статистик результатов функции средних значений текущих потерь.

Постановка проблемы в общем виде. Поведение стохастических автоматов с формируемой структурой [1–2] можно использовать для отыскания минимума функции в условиях априорной неопределенности входных данных. Такой автомат представляет собой алгоритм изменения вероятностей выбора очередного значения аргумента минимизируемой функции. При этом может формироваться последовательность управляющих воздействий для адаптации систем с дискретным управлением с использованием рекуррентных рандомизированных процедур стохастической аппроксимации. Поэтому в общем случае проблема состоит в анализе и синтезе алгоритмов для нахождения стратегии управления, представляющих собой последовательность управляющих воздействий — вариантов из некоторого конечного дискретного множества, причем эта последовательность может обеспечить минимум предельных средних текущих потерь. Важными научными и практическими задачами, где может потребоваться применение данного алгоритма, являются задачи во многих областях науки и техники [1–4].

Анализ исследований и публикаций. Различные методы и подходы к решению различных задач адаптивного выбора приведены в работах [1–4]. В работе [3] предлагается алгоритм оптимизации с бинарной функцией потерь, в работе [4] — стохастический автомат с переменной структурой с собственной рандомизированной стратегией. Нерешенной ранее частью общей проблемы является модификация нескольких компонентов вектора вероятностей выбора для метода деления отрезка вообще, в случае беспроекционных алгоритмов, или же до применения оператора проектирования, как в случае проекционных.

Целью данной работы является описание модифицированного проекционного алгоритма стохастической аппроксимации, а также его реализации в программно-инструментальном средстве информационного обеспечения принятия решений при априорной неопределенности входных данных.

Теоретические сведения. Рандомизированные стратегии [1] используют рекуррентные правила:

$$p_{n+1} = R_n(x_1, \dots, x_n; p_1, \dots, p_n; \xi_1, \dots, \xi_n), \quad n = 1, 2, \dots, \quad (1)$$

где R_n — вектор-функция со значениями в симплексе S^N ;

p_n — вектор условных вероятностей выбора вариантов $x(1), \dots, x(N)$ в момент времени t_n . Перед выбором очередного варианта x_{n+1} происходит расчет p_{n+1} по (1). Выбор варианта осуществляется методом деления отрезка. Необходимо ввести оператор проектирования. Пусть для любого $q \in R^N$ вектор-столбец $p = \pi_\varepsilon^N \{q\}$, принадлежащий $(N-1)$ -мерному единичному ε -симплексу

$$S_\varepsilon^N = \left\{ p = (p_1, \dots, p_N) \mid p \in R^N, \sum_{i=1}^N p_i = 1, p_i \geq \varepsilon (i = 1, \dots, N) \right\} \quad (2)$$

определяется условием $\|\pi_\varepsilon^N \{q\} - q\| = \min_{p \in S_\varepsilon^N} \|p - q\|$. Для любого $q \in R^N$ вектор $\pi_\varepsilon^N \{q\}$

существует и единственен и $q = \pi_\varepsilon^N \{q\}$ тогда и только тогда, когда $q \in S_\varepsilon^N$. Известны эффективные алгоритмы адаптивного выбора вариантов [1], которые можно подразделить на беспроекционные алгоритмы адаптивного выбора вариантов вида $p_{n+1} = p_n - \gamma_n R(x_n, p_n, \xi_n)$ и проекционные алгоритмы адаптивного выбора вариантов вида $p_{n+1} = \pi_{\varepsilon_{n+1}}^N \{p_n - \gamma_n R(x_n, p_n, \xi_n)\}$, где $R(x_n, p_n, \xi_n) = R_n$ — вектор движения алгоритма, $\gamma_n > 0$ — скалярный множитель — длина шага, $n = 1, 2, \dots$ — номер шага,

$\varepsilon_n \in [0, N^{-1})$ — параметр проектора $\pi_{\varepsilon_n}^N$ (2) на n -ом шаге. Для удобства описания обозначения выбора конкретного элемента в векторе можно ввести обозначения

$$e_i^N = \left(\underbrace{0, \dots, 0}_i, \underbrace{1, 0, \dots, 0}_{N-i} \right), \quad e^N = (1, \dots, 1) \in R^N, \quad e(x) = \sum_{i=1}^N e_i^N \chi(x = x(i)), \quad \text{если}$$

$$X = \{x(1), \dots, x(N)\}.$$

Если у нас имеется $\xi_n = \xi_n(x_n, \omega)$ — случайные потери за выбор варианта x_n , произведенный в момент времени t_n , и ω — элементарный исход, то алгоритмы могут обеспечивать безусловную оптимизацию по критерию минимума υ предельных значений средних текущих потерь Φ_n :

$$\Phi_n = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \xi_t, \quad (3)$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \Phi_n \rightarrow \upsilon.$$

Проекционные алгоритмы возможно объективно лучше беспроекционных, поскольку их можно использовать для решения более широкого класса задач с критериями (3) (как с бинарными, так и с небинарными потерями ξ_n за счет обеспечения нормировки использованием оператора проектирования).

В соответствии с известным материалом, рекуррентная формула стохастического автомата разработанного алгоритма имеет вид:

$$p_{n+1} = \pi_{\varepsilon_{n+1}}^N \left\{ p_n - \gamma_n \left(\frac{\xi_n - \Delta}{e^T(x_n)p_n} e(x_n) + \frac{\xi_n - \Delta}{e^T(x_{n-1})p_n d} e(x_{n-1}) + \frac{\xi_n - \Delta}{e^T(x_{n+1})p_n d} e(x_{n+1}) \right) \right\}. \quad (4)$$

В формуле (4) d обозначает «зазор» между соседними элементами к выбранному в векторе вероятностей. Эти элементы получают некоторое, численно равное d , преимущество перед остальными, которое и обеспечивает использование соседних вариантов (соседние элементы получают условно более высокий ранг, при этом происходит разбиение множества совокупности элементов вектора на два — соседние и несоседние). Естественно, что когда выбранный элемент является первым или последним в векторе, то сосед у него всего лишь один. Формула (4) представлена в виде соответствия вычислительному процессу в программной реализации.

Для сравнения приводится рекуррентная формула проекционного алгоритма стохастической аппроксимации Назина-Позняка, имеющая вид:

$$p_{n+1} = \pi_{\varepsilon_{n+1}}^N \left\{ p_n - \gamma_n \frac{\xi_n - \Delta}{e^T(x_n)p_n} e(x_n) \right\}.$$

Автоматный алгоритм адаптивного выбора вариантов, имеющий рекуррентную формулу (2), для дальнейшего изложения и программной реализации будет именоваться алгоритмом «12VRS». Момент отличия иллюстрируется на рисунке 1, где изображена ситуация выбора варианта № 3 при числе вариантов $N=5$. Рисунок 1а демонстрирует случай проекционного алгоритма, а рисунок 1б — алгоритма 12VRS. Для удобства восприятия материала масштаб компонентов вектора не соблюден и буквами а, б, с, д, е обозначены численные значения, для компонентов вектора выполняется условие (2).

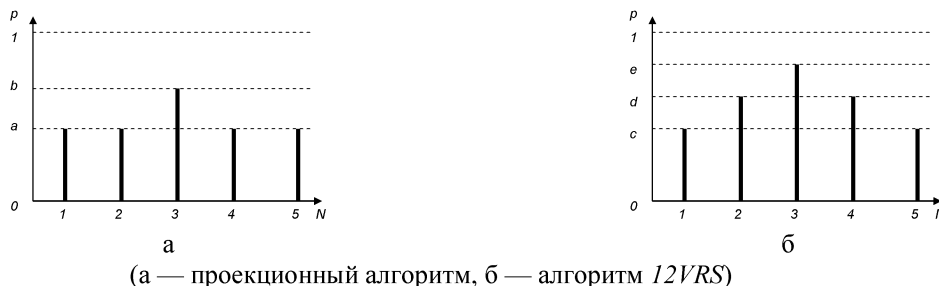


Рисунок 1 — Изменение компонентов вектора выбора вариантов

Для исследования работы алгоритма 12VRS, а также его сравнения с уже имеющимися [1], в силу того, что происходит управление выбором вариантов, разумно использовать тестовые задачи [2], в которых число вариантов $N=5$, а потери ξ_n при выборе варианта распределены по нормальному закону со средними значениями, определенными вектором $(-2, -1, 0, 1, 2)$, и дисперсиями — $(1, 2, 1, 2, 1)$, причем номер варианта соответствует номеру элемента в векторе.

Программное средство. Результаты работы и сравнение приведено на рисунке 2, а также сведены в таблицу 1.

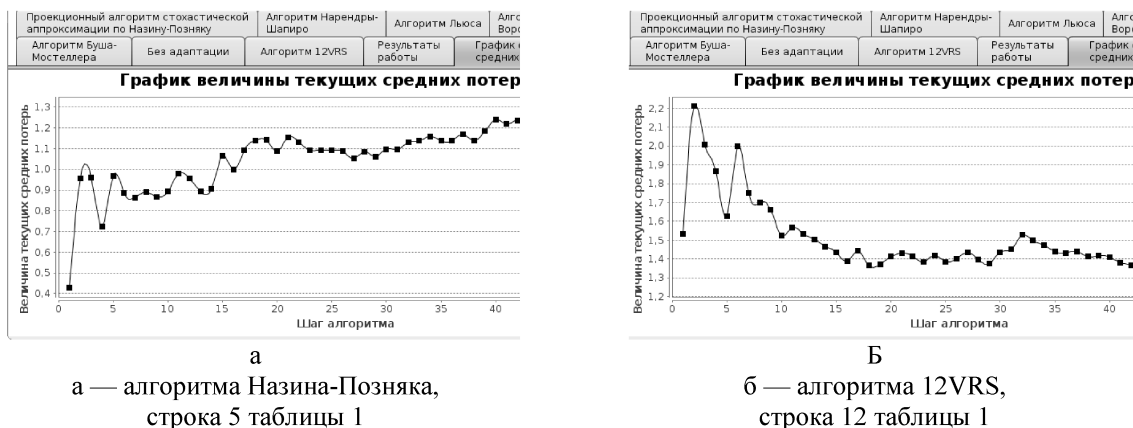


Рисунок 2 — Результирующие величины текущих средних потерь, полученные при функционировании программной системы при использовании

Видно, что алгоритм 12VRS превосходит алгоритм Назина-Позняка по критериям максимума предельных значений средних текущих потерь в случае решения задачи управления выбором вариантов из [2], что говорит о его достаточно высокой эффективности.

Вывод. Разработанный алгоритм применен в инструментальном средстве поддержки принятия решений по динамическому реконфигурированию в распределенных средах. Перспективами дальнейших изысканий в данном направлении станут усложнение используемых способов объединения соседних вариантов путем увеличения числа связываемых вариантов. Также планируется увеличение количества влияющих на функцию текущих потерь параметров (а именно, добавить к оценке уровень шума и частоту съема данных).

Таблица 1 – Результаты (алг. — алгоритм, сред. — среднее, std.ош. — стандартная ошибка, std.откл. — стандартное отклонение, дисп. — выборочная дисперсия, экс. — эксцесс, асим. — асимметрия, диап. — диапазон, мин. — минимум, макс. — максимум, НП — алгоритм Назина-Позняка, V — алгоритм $12VRS$)

№	Алг.	Сред.	Стд.ош.	Стд.откл.	Дисп.	Экс.	Асим.	Диап.	Мин.	Макс.
1.	НП	1,549940	0,036033	0,254791	0,064918	15,001837	3,159091	1,572782	1,314740	2,887522
2.	НП	1,573973	0,028893	0,204306	0,041741	12,311810	3,114186	1,194446	1,389041	2,583488
3.	НП	1,656889	0,049719	0,351563	0,123597	2,127008	1,627768	1,422226	1,354747	2,776974
4.	НП	1,175728	0,025086	0,177386	0,031466	9,772175	1,734939	1,166095	0,854186	2,020281
5.	НП	1,077256	0,023409	0,165528	0,027400	3,585430	-1,358916	0,878121	0,428198	1,306319
6.	НП	1,327015	0,027873	0,197091	0,038845	26,693434	4,415837	1,542341	0,963026	2,505367
7.	V	1,898456	0,026115	0,184660	0,034099	6,550147	1,277046	1,253587	1,445517	2,699104
8.	V	1,524508	0,028678	0,202785	0,041122	9,514349	2,417589	1,319489	1,168548	2,488037
9.	V	1,047922	0,041219	0,291463	0,084951	4,799148	-2,353415	1,213608	0,039586	1,253194
10.	V	1,773002	0,071490	0,505508	0,255538	8,329824	2,788687	2,506997	1,398665	3,905662
11.	V	1,162329	0,017975	0,127104	0,016155	5,863790	-1,764420	0,725105	0,619012	1,344118
12.	V	1,480606	0,027574	0,194979	0,038017	4,473928	2,017504	0,966005	1,247074	2,213078

Список литературы

1. Назин А.В. Адаптивный выбор вариантов: Рекуррентные алгоритмы / А.В. Назин, А.С. Позняк. — М.: Наука, 1986. — 288 с.
2. Назин А.В. О повышении эффективности автоматных алгоритмов адаптивного выбора вариантов / А.В. Назин // Адаптация и обучение в системах управления и принятия решений. — Новосибирск: Наука, 1982. — С. 40—46.
3. Скаткова Н.А. Гарантоспособные технологии реконфигурации автоматизированных транспортно-производственных систем / Н.А. Скаткова // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. Вип. 6. — Харьков, 2008. — С. 52—57.
4. Воронин Д.Ю. Обеспечение высокой терминальной готовности на основе информационных технологий распределения ресурсов / Д.Ю. Воронин // Вісник СевНТУ: зб. наук. пр. Вип. 114 / 2011. Серія: Інформатика, електроніка, зв'язок. — Севастополь, 2011. — С. 100—105.

К. Tkachenko

Projection stochastic approximation algorithm with the use of neighboring options for control impacts choice optimization

This article describes proposed projection stochastic approximation algorithm which differs from the existing algorithms by the presence of the use of neighboring options.

The results of numerical experiments are given. The developed algorithm is used in tools to support decision-making in dynamic reconfiguration in distributed environments. The prospects for further research in this area will be used by the complication of ways to combine the neighboring options by increasing the number of binding options.

Also planned to increase the amount of influence on the function of the parameters of the current losses (that is, add to the assessment of the noise level and frequency of removal of data).

projection algorithm, stochastic approximation

Одержано 12.03.13

УДК 624.042.5

В.А. Пашинський, проф., д-р техн. наук, О.А.Плотніков, інж.

Кіровоградський національний технічний університет

А.М.Карюк, доц., канд. техн. наук

Полтавський національний технічний університет імені Ю.Кондратюка, м. Полтава

Регіональне нормування температури повітря для проектування виробничих будівель підприємств сільськогосподарського машинобудування на території Кіровоградської області

За результатами метеорологічних спостережень визначені мінімальні розрахункові значення температури атмосферного повітря в холодний період року і виконано їх територіальне районування для Кіровоградської області.

температура повітря, розрахункові значення, територіальне районування, сільськогосподарське машинобудування

В.А. Пашинский, О.А. Плотников

Кировоградский национальный технический университет

А.Н. Карюк

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

Региональное нормирование температуры воздуха для проектирования производственных зданий предприятий сельскохозяйственного машиностроения на территории Кировоградской области

По результатам метеорологических наблюдений определены минимальные расчетные значения температуры атмосферного воздуха в холодный период года и выполнено их территориальное районирование для Кировоградской области.

температура воздуха, расчетные значения, территориальное районирование, сельскохозяйственное машиностроение

Для адекватного урахування встановленого терміну експлуатації, типу й масивності огорожувальних конструкцій при проектуванні теплозахисної оболонки виробничих будівель підприємств сільськогосподарського машинобудування, а також інших виробничих, громадських та житлових будівель слід враховувати розрахункові значення температури атмосферного повітря, залежні від строку служби та величини теплової інерції огорожувальної конструкції.

Чинний ДСТУ-Н Б В.1.1–27:2010 [1] встановлює середньомісячні та середньорічні температури повітря, а також чотири розрахункові значення мінімальної зимової температури повітря: температури найхолоднішої доби та найхолоднішої п'ятиденки із забезпеченостями 0,92 та 0,98, задані в табличній формі для 57 міст України. Обмежений набір з чотирьох розрахункових значень не дозволяє повною мірою врахувати встановлений термін експлуатації та величину теплової інерції (масивності) огорожувальних конструкцій. Окрім того, в таблицю ДСТУ [1] включено лише три міста Кіровоградської області: Кіровоград, Знам'янка, Гайворон. Це може призвести до істотних похибок при визначенні розрахункових параметрів температури атмосферного повітря для населених пунктів області, не вказаних в [1].

Метою цього дослідження є встановлення розрахункових параметрів температури атмосферного повітря, необхідних для проектування теплозахисної

оболонки будівель з урахуванням встановленого терміну експлуатації та величини теплової інерції огорожувальних конструкцій, а також їх подання у вигляді карт територіального районування Кіровоградської області.

Для дослідження використані результати строкових вимірювань температури повітря на 35 пунктах спостереження, які в узагальненому вигляді опубліковані в спеціалізованих виданнях [2–4]. З наведеної на рисунку 1 карти видно, що 11 пунктів спостереження розташовані на території Кіровоградської області, а ще 24 – на прилеглих територіях сусідніх областей. Тривалість наявних кліматичних рядів температури повітря змінюється від 9 до 94 років при середньому значенні 35 років. На 31 пункті спостереження (88%) вимірювання велися протягом 12 – 59 років., і лише на двох (Тростянець і Новий Буг) тривалість спостережень склала 9 років. Для метеостанцій Умань і Ново-Миргород наявні ряди спостережень загальною тривалістю 94 та 82 роки. Судячи з рекомендацій [5, 6], такі обсяги даних є цілком достатніми для нормування атмосферних впливів, у тому числі температури повітря.

Середньомісячні та середньорічні значення температури повітря на метеостанціях Кіровоградської області, встановлені шляхом узагальнення даних [2–4] за методикою [6], наведені у таблиці 1. Такі дані, наявні для усіх 35-ти розглянутих пунктів спостереження, дозволяють описати сезонні зміни та випадкову міждобову мінливість середньодобової температури атмосферного повітря у формі квазістаціонарного випадкового процесу, імовірісна модель якого розроблена у [6, 7].



Рисунок 1 – Мережа пунктів спостереження за температурою повітря

Таблиця 1 – Середні температури повітря в Кіровоградській області

Пункти спостереження	Середньомісячні температури повітря для місяців року												Рік
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Світловодськ	-3,94	-3,82	1,33	8,89	15,65	19,02	20,86	20,42	15,36	9,00	2,18	-2,15	8,57
Онуфріївка	-6,00	-5,50	0,10	8,30	15,60	19,10	21,40	20,20	14,80	8,30	1,60	-3,40	7,88
Ново-Миргород	-5,41	-5,18	0,14	7,97	14,77	17,95	19,96	19,35	14,28	7,95	1,33	-3,20	7,49
Знам'янка	-5,32	-4,83	0,15	8,03	14,78	18,10	20,04	19,40	14,36	8,00	1,14	-3,33	7,54
Олександрія	-5,70	-5,20	-0,10	8,20	15,30	18,90	21,20	20,20	14,80	8,30	1,60	-3,30	7,85
Аджамка	-6,30	-5,70	-0,70	7,20	14,50	17,70	20,20	19,50	14,30	7,80	1,10	-3,90	7,14
Кіровоград	-5,60	-5,10	-0,30	7,80	15,10	17,90	20,20	19,60	14,60	7,70	1,30	-3,30	7,49
Гайворон	-4,33	-3,71	1,25	8,43	15,08	18,12	19,95	19,33	14,58	8,52	2,01	-2,25	8,08
Помошна	-4,94	-4,31	0,63	8,05	14,98	18,13	20,15	19,62	14,59	8,40	1,53	-2,88	7,83
Долинська	-5,22	-4,42	0,41	8,11	15,07	18,46	20,63	20,13	15,00	8,53	1,47	-3,19	7,91
Бобринець	-4,58	-3,92	0,97	8,50	15,23	18,70	20,79	20,26	15,15	8,60	1,71	-2,82	8,22

Функції математичного сподівання $M(t)$ задані у формі послідовностей з 12-ти середньомісячних значень температури повітря, які для метеостанцій Кіровоградської області наведені в таблиці 1. Функції стандарту $S(t)$ обчислені за отриманою в [6, 7] узагальненою по території України залежністю від математичного сподівання

$$S = 5,31 - 0,15 M + 0,0075 M^2 - 0,00024 M^3. \quad (1)$$

Згідно з рекомендаціями [6, 7], розподіл ординати випадкового процесу середньодобової температури повітря описаний нормальним законом розподілу, який є достатньо точним для виконання інженерних розрахунків. Частотна структура задана постійним у часі та єдиним для усієї території України значенням ефективної частоти $\omega = 0,6$ 1/добута нормованою кореляційною функцією $R(\tau) = \exp(-\tau/3)$, які були отримані в роботах [6, 7].

Практична методика обчислення мінімальних розрахункових значень температури повітря розроблена в [8] на базі математичного апарату [5]. З метою урахування теплової інерції огорожувальних конструкцій розрахункові значення температури повітря обчислюються за характеристиками згладженого процесу

температури, $Y(t) = \frac{1}{Z} \int_{t-Z}^t X(\tau) d\tau$, рівними:

$$M_Y(t) = M_X(t); \quad S_Y(t) = \frac{S_X(t)}{Z} \sqrt{6,6 Z + 20 \exp(-\alpha Z) - 20}; \quad \omega_Y = \sqrt{\frac{2}{Z} \left[1 - \exp\left(-\frac{Z}{3}\right) \right]}, \quad (2)$$

де $M_X(t)$ і $M_Y(t)$ – функції математичного сподівання випадкових процесів середньодобової та згладженої температури повітря;

$S_X(t)$ і $S_Y(t)$ – функції стандартів тих же процесів;

Z – інтервал згладжування (осереднення) випадкового процесу температури повітря, який враховує теплову інерцію конструкції.

Вважаючи випадковий процес згладженої температури $Y(t)$ нормальним і квазістаціонарним зі статистичними характеристиками (2), заданими у формі табличних послідовностей з 12 місячних значень, на основі відомої формули Райса в роботі [8] отримано вираз для обчислення середньої кількості перевищень детермінованого рівня Y (викидів) протягом одного року:

$$\lambda_p = \int_0^{I_{\text{рік}}} \lambda(t) dt = 4,8 \omega_Y \sum_{i=1}^{12} \exp \left[-\frac{(Y - M_i)^2}{2 S_i^2} \right], \quad (3)$$

де M_i і S_i – значення функцій $M_Y(t)$ і $S_Y(t)$ для i -того місяця року за (2);

ω_Y – ефективна частота згладженого процесу за (2), виражена в 1/добу;

4,8 – коефіцієнт, що враховує 30 днів у місяці та константи у формулі Райса.

Підставивши до (2) допустиму частоту перевищень $\lambda_p = 1/T$, отримуємо нелінійне рівняння, чисельний розв'язок якого дає мінімальне розрахункове значення температури повітря в даній місцевості $Y(T, Z)$, залежне від заданого періоду повторюваності T -й інтервалу осереднення Z .

За викладеною методикою обчислені мінімальні розрахункові значення температури повітря на усіх метеостанціях регіону. Інтервали осереднення температури прийняті рівними $Z=1$ доба, $Z=5$ діб і $Z=10$ діб, що дає температури найхолоднішої доби, п'ятиденки та декади. Періоди повторюваності розрахункових значень T

змінювалися в межах від 5 до 200 років. Таким чином для кожної з метеостанцій отримані залежності мінімального розрахункового значення температури повітря в холодний період року $Y(T, Z)$ від його періоду повторюваності T та інтервалу осереднення температури Z .

Приклад такої залежності для метеостанції Кіровоград наведено на рисунок 2. Мінімальні розрахункові значення температури повітря в холодний період року $Y(T, Z)$ понижуються (стають холоднішими) при зростанні періоду повторюваності T та при зменшенні інтервалу осереднення Z . Для інших метеостанцій залежності $Y(T, Z)$ мають аналогічний характер, а при однакових T і Z розрахункові значення в межах території області можуть змінюватися приблизно на 3°C .

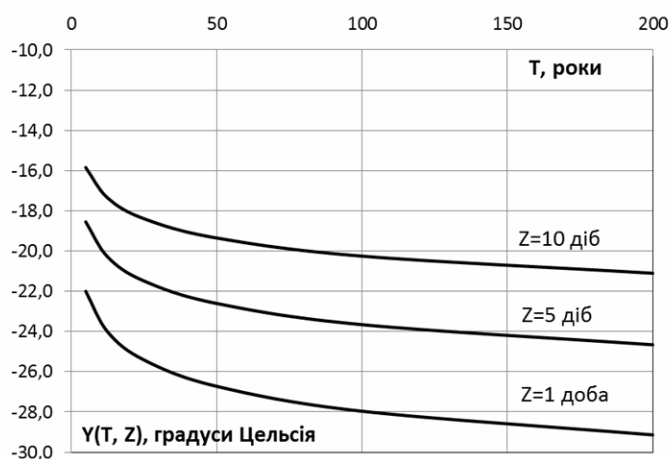


Рисунок 2 – Залежність мінімального розрахункового значення температури повітря $Y(T, Z)$ у Кіровограді від T і Z

За результатами порівняння отриманих розрахункових значень температури повітря з даними ДСТУ[1] встановлено, що для трьох вказаних у нормах метеостанцій Кіровоградської області, мінімальні розрахункові значення температури повітря, обчислені за фактичними результатами метеорологічних спостережень, отримані на 2°C – 4°C вищими (теплішими), ніж відповідні значення з СТУ [1]. Це вказує на можливість економії матеріалів за рахунок використання уточнених розрахункових значень температури повітря при проектуванні огорожувальних конструкцій.

Карти територіального районування Кіровоградської області складені за методикою, розробленою в [5]. Вихідними даними є координати метеостанцій та відповідні значення кліматичного параметра, які утворюють випадкове поле. З метою узагальнення по території та абстрагування від випадкових флуктуацій цього поля, обумовлених впливом мікрокліматичних факторів та випадковими похибками вимірювань, виконується згладжування значень досліджуваного параметра з урахуванням даних сусідніх метеостанцій. Ізотерми, проведені за згладженими значеннями параметра, є шуканими межами територіальних районів.

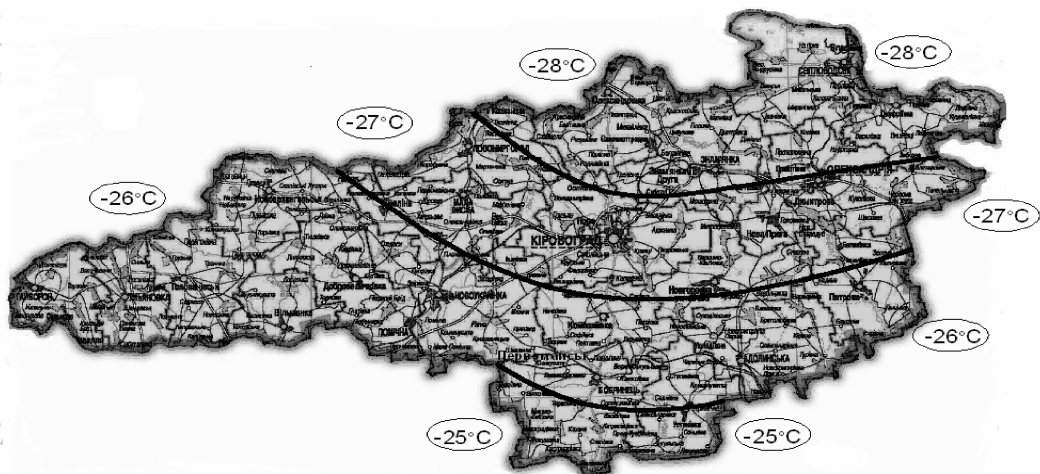


Рисунок 3 – Районування території Кіровоградської області за характеристичними значеннями температури найхолоднішої доби

З урахуванням типових завдань проектування, розроблені карти територіального районування Кіровоградської області за такими параметрами температури повітря:

- середня температура липня, як найтеплішого місяця року;
- середня температура січня, як найхолоднішого місяця року;
- середньорічна температура повітря;
- характеристичне значення температури найхолоднішої доби ($Z=1$ доба);
- характеристичне значення температури найхолоднішої п'ятиденки ($Z=5$ діб);
- характеристичне значення температури найхолоднішої декади ($Z=10$ діб).

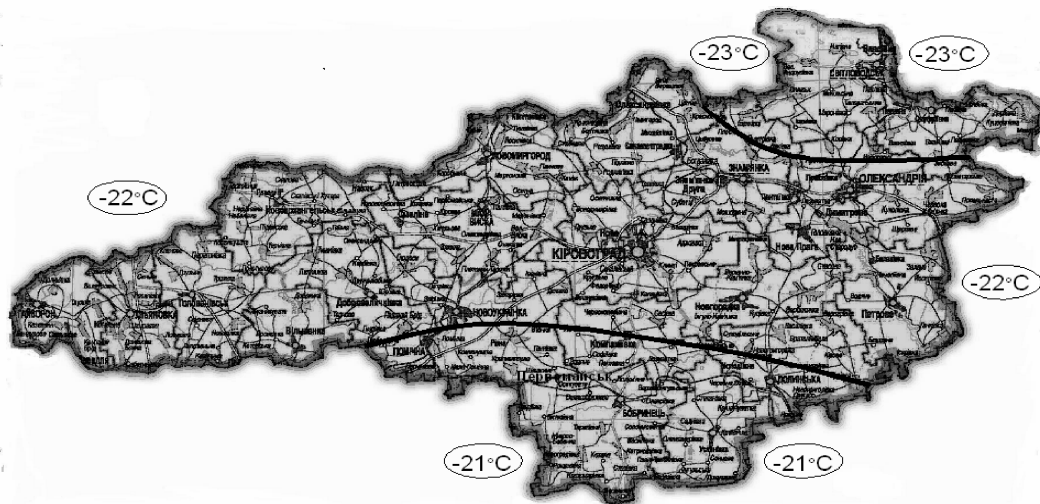


Рисунок 4 – Районування території Кіровоградської області за характеристичними значеннями температури найхолоднішої п'ятиденки

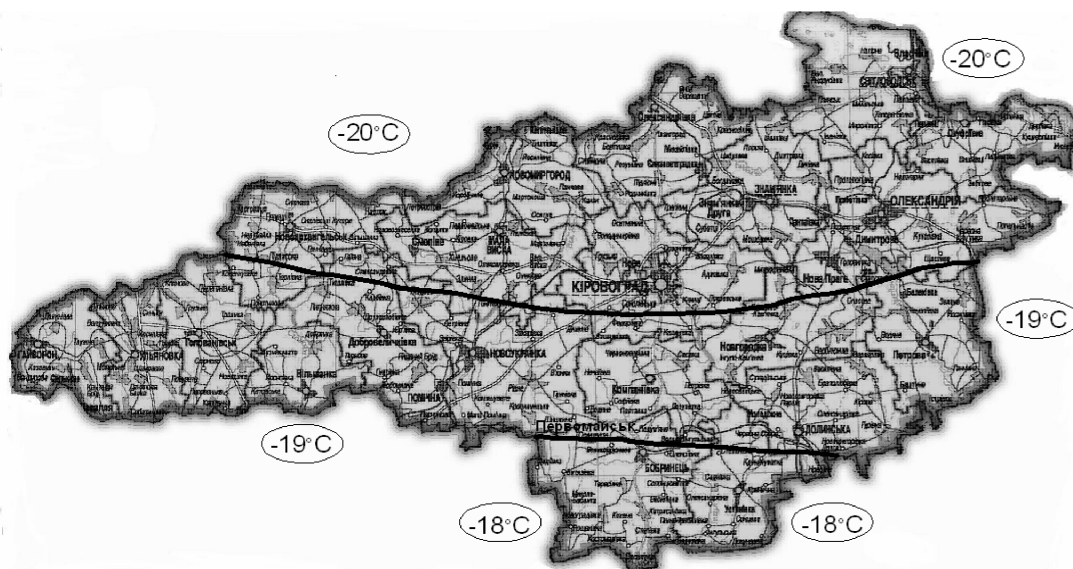


Рисунок 5 – Районування території Кіровоградської області за характеристичними значеннями температури найхолоднішої декади

Виходячи з практики нормування атмосферних навантажень у ДБН В1.2-2:200. "Навантаження і впливи" ара4теристичними значення вважаються температури, які можуть реалізуватися один раз у 50 років. Розділивши обчислені з рівняння (3) за даними кожної і-тої метеостанції залежності $Y_i(T)$ на відповідні характеристичні значення $Y_i(50)$, отримуємо залежності коефіцієнта надійності за температурним впливом від періоду повторюваності:

$$\gamma_{fi}(T) = Y_i(T)/Y_i(50) . \tag{4}$$

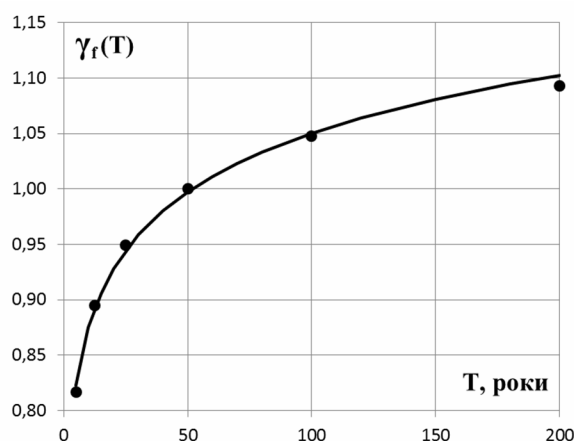


Рисунок 6 – Залежність коефіцієнта надійності за температурним впливом $\gamma_f(T)$ від терміну експлуатації будівліТ

Залежності (4) є досить близькими для усіх метеостанцій та інтервалів осереднення температури, що дозволило отримати осереднену залежність коефіцієнта надійності $\gamma_f(T)$ від терміну експлуатації будівліТ, наведену на рисунку 6.Ця залежність апроксимована логарифмічним виразом:

$$\gamma_f(T) = 0,7 + 0,076 \ln(T) , \tag{5}$$

у якому $\ln(T)$ – натуральний логарифм періоду повторюваності розрахункового значення (терміну експлуатації будівлі), заданого в роках. Результати обчислень за (5) наведені на рисунку 6 і в таблиці 2.

Таблиця 2 – Коефіцієнт надійності за температурним впливом

$T=$	5	10	20	30	50	70	100	150	200
$\gamma_f(T)=$	0,82	0,87	0,93	0,96	1,00	1,02	1,05	1,08	1,10

Мінімальні розрахункові значення температури повітря в холодний період року рекомендується визначати за результатами виконаного дослідження в такому порядку:

- за завданням на проектування визначають термін експлуатації будівлі T (в роках);
- з урахуванням можливої теплової інерції огорожувальної конструкції (показника масивності) встановлюють необхідний інтервал осереднення температури повітря $Z=1$ доба, $Z=5$ діб чи $Z=10$ діб;
- за картою територіального районування, що відповідає інтервалу осереднення Z (рисунки 3, 4 чи 5), визначають характеристичне значення температури повітря Y_0 ;
- шукане мінімальне розрахункове значення температури повітря в зимовий період року обчислюють за формулою

$$Y(T, Z) = \gamma_f(T) \times Y_0, \quad (6)$$

де $\gamma_f(T)$ – коефіцієнт надійності за температурним впливом з таблиці 2, яка допускає лінійну інтерполяцію.

Результати виконаних досліджень дають можливість визначати середньорічні температури повітря, температури найтеплішого та найхолоднішого місяців року, а також мінімальні розрахункові значення температури атмосферного повітря в холодний період року для довільної місцевості чи населеного пункту в межах території Кіровоградської області. Подання інформації у формі карт територіального районування забезпечує однозначне визначення розрахункових параметрів для заданої місцевості, а врахування терміну експлуатації будівлі та інтервалу осереднення температури істотно розширює можливості проектувальників щодо виконання теплотехнічних розрахунків огорожувальних конструкцій при новому проектуванні, реконструкції та термомодернізації існуючих будівель.

Список літератури

1. ДСТУ-Н Б В.1.1–27:2010 Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія. – К., 2010. – 101 с.
2. Кінаш Р.І. Температурний режим повітря і ґрунту в Україні / Р.І. Кінаш, О.М. Бурнаєв. – Львів: Видавництво науково-технічної літератури, 2001. – 800 с.
3. Метеорологический ежемесечник. Часть II, Выпуск 10. – Л.: Гидрометеоздат, 1961-1991.
4. Справочник по климату СССР. Часть II. Температура воздуха и почвы. Выпуск 10. – Л.: Гидрометеоздат, 1967. – 608 с.
5. Пашинський В.А., Атмосферні навантаження на будівельні конструкції на території України / – К.: УкрНДІпроектстальконструкція, 1999. – 185 с.
6. Пашинський В.А., Пушкар Н.В., Карюк А.М. Температурні впливи на огорожувальні конструкції будівель. – Одеса : ОДАБА, 2012. – 180 с.
7. Пашинський, В.А. Імовірнісний опис процесу температури повітря / В.А.Пашинський, А.А. Кузьменко, А.М. Карюк // Коммунальное хозяйство городов: Респ. межвед. науч.-техн. сб. – Вып. 38. – К.: Техника, 2002. – С. 60 – 66.
8. Карюк, А.М., Пашинський, В.А. Методика обчислення розрахункових значень температури повітря за ймовірнісною моделлю випадкового процесу // Збірник наук праць. Сер. Галузеве машинобудування, будівництво. – Полтава: ПолтНТУ, 2003. – Вип. 13 – С. 24 – 27.

V.Pashynskiy, O.Plotnikov

Kirovograd National Technical University

A.Kariuk

Poltava National Technical University of Yuri Kondratyuk

Regional rationing of air temperature for design of buildings of enterprises of Agricultural Engineering on the territory of Kirovograd region

Objective: to establish settlement parameters of temperature of the atmospheric air, necessary for design of a heat-shielding cover of buildings, to present them in the form of cards of territorial division into districts of the Kirovograd area.

By results of meteorological supervision the minimum calculated values of temperature of atmospheric air during the cold period of year are defined. These values depend on the period of repeatability considering service life of the building, and the interval of averaging of temperature considering thermal inertia of protecting designs. Maps of territorial division into districts of the Kirovograd area on the average annual air temperature, average temperature of July and January, and also on the characteristic values of temperature corresponding to the period of repeatability of 50 years and intervals of averaging of 1, 5 and 10 days are developed.

The received results will allow to specify calculated values of air temperature for any settlements of area.

air temperature, calculated values, territorial division into districts, agricultural mechanical engineering

Одержано 24.04.13

УДК 621.9.04

В.В. Черкун, доц., канд.техн. наук

Таврический государственный агротехнологический университет, г. Мелитополь

Оценка периода приработки шестеренных гидронасосов типа НШ при обработке ФАБВО

В статье рассмотрен способ нанесения финишных покрытий - ФАБВО и приведены результаты стендовых испытания шестеренных гидронасосов типа НШ. Предложенный способ позволяет сократить период приработки гидронасоса в целом. Это приводит к уменьшению износа пары трения, стабилизации зазора в соединении, что в итоге позволяет увеличить ресурс шестеренного гидронасоса в процессе эксплуатации.

приработка, ФАБВО, покрытие, гидронасос, цапфа

В.В. Черкун

Таврійський державний агротехнологічний університет, м.Мелітополь

Оцінка періоду припрацювання шестеренних насосів типу НШ при обробці ФАБВО

У статті розглянутий спосіб нанесення фінішних покриттів - ФАБВО та наведені результати стендових випробувань шестерінчастих гідронасосів типу НШ. Запропонований спосіб дозволяє скоротити період припрацювання гідронасосу в цілому. Це приводить до зменшення зносу пари тертя, стабілізації зазору в з'єднанні, що у результаті дозволяє збільшити ресурс шестерінчастого гідронасосу в процесі експлуатації.

припрацювання, ФАБВО, покриття, гідронасос, цапфа

На современном этапе развития промышленности и экономики на Украине в условиях рыночных отношений особое внимание должно уделяться качеству производимой продукции. Однако, до настоящего времени качество сельскохозяйственной техники (СХТ), эксплуатирующейся в хозяйствах отрасли не удовлетворяет предъявляемым требованиям. Так, расходы на ремонт, техническое

обслуживание (ТО) и хранение техники в 4...6 раз выше затрат на её производство [1], а межремонтный ресурс СХТ составляет 35...40% от ресурса новой техники. В результате анализа установлено, что надежность СХТ главным образом определяется материалами и технологиями, применяемыми в сельскохозяйственном машиностроении и ремонтном производстве, а также условиями ее эксплуатации, регламентом ТО и ремонтов [2,3].

Долговечность агрегатов является низкой вследствие недостаточной износостойкости их деталей, в результате чего снижается ресурс СХТ и оборудования в целом, падает производство сельхозпродукции.

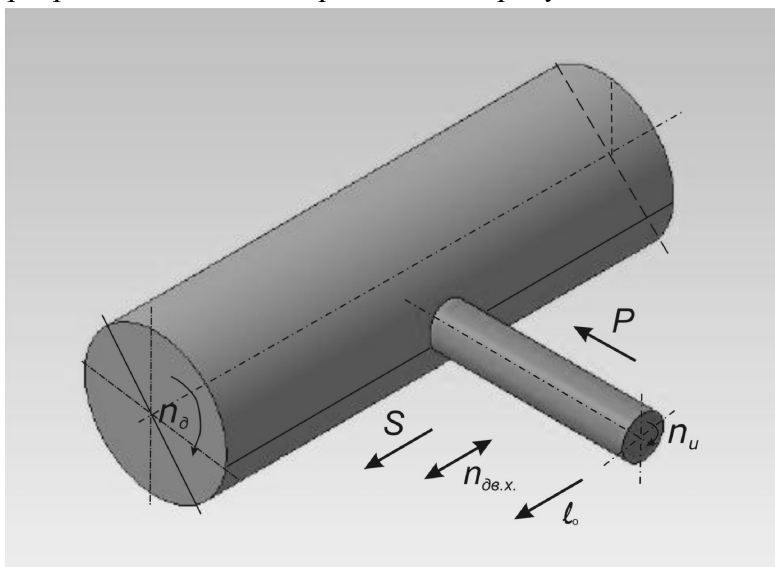
Разработка новых конструкторско- технологических решений, направленных на повышение качества СХТ, посредством увеличения ее надежности, ресурсосбережения и улучшения экологии является современной и актуальной задачей.

Одним из них является разработка, исследование и практическое применение материалов, технологий, методов и средств, направленных на реализацию научного открытия "Эффекта избирательного переноса при трении (эффекта безызносности)", в частности, финишной антифрикционной безабразивной обработки (ФАБО) [4].

Способность ФАБО сокращать период приработки сопряжений может быть эффективно использована для обработки деталей. Одним из направлений повышения эффективности ФАБО является использование в процессе обработки вибрации инструмента, что на сегодня недостаточно исследовано. Такой вариант ФАБО целесообразно назвать финишной антифрикционной безабразивной вибрационной обработкой (ФАБВО).

Важной системой сельскохозяйственных машин является гидравлическая система, выполнение заданных функций которой обеспечивается шестеренными гидронасосами. Особый интерес в конструкции насоса представляет соединение «цапфа шестерни – обойма (втулка)», требующее высокой точности обработки. Существующие технологии при изготовлении и восстановлении деталей этого соединения требуют длительного периода приработки с целью повышения технического ресурса гидронасосов.

Для уменьшения периода приработки, а также для повышения триботехнических свойств поверхности разработаны способ, устройство и поверхность – активная среда для нанесения покрытий методом ФАБВО на цапфы шестерен гидронасосов типа НШ [5,6,7]. Параметры режимов ФАБВО приведены на рисунке 1.



P – давление инструмента; n_d – частота вращения детали; n_u – частота вращения инструмента; $n_{дв.х.}$ – число двойных ходов инструмента; S – продольная подача инструмента; l_0 – осцилляция инструмента

Рисунок 1 – Параметры режимов ФАБВО

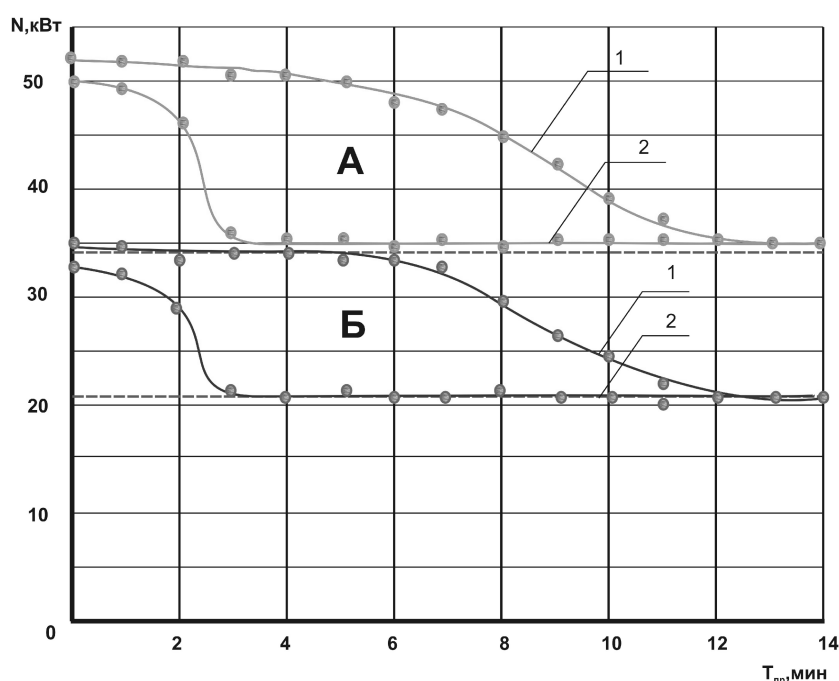
Стендовые испытания шестеренных насосов НШ50А – 3 и НШ100А – 3 с шестернями, цапфы которых были обработаны по технологии с применением ФАБВО, проводились на испытательном стенде КИ-28097-02М.

Основная цель испытаний – установление периода приработки гидронасосов, обработанных по существующей и предложенной технологии.

Оценочной характеристикой продолжительности периода приработки была принята стабилизация потребляемой мощности электродвигателя на привод гидронасоса при его номинальной объемной подаче.

Изменение потребляемой мощности электродвигателя на привод гидронасоса с цапфами шестерен, обработанных по существующей и предлагаемой технологии в период приработки насосов, представлены на рис.2.

Из этих зависимостей видно, что период приработки, характеризующийся стабилизацией потребляемой мощности электродвигателем стенда, при применении типовой технологии составляет 12 минут, а по предлагаемой технологии с применением ФАБВО цапф шестерен насоса – 3 минуты.



А – НШ100А – 3; Б – НШ50А – 3: 1 – по существующей технологии; 2 – по предлагаемой технологии с применением ФАБВО

Рисунок 2 - Зависимость периода приработки цапф шестерен насосов от технологии обработки

Такое сокращение периода приработки соединений «цапфа шестерни – обойма (втулка)» приведет к уменьшению износа пары трения в период приработки, стабилизации зазора в соединении, что в итоге позволяет увеличить ресурс шестеренного гидронасоса в процессе эксплуатации.

Список литературы

1. Гаркунов Д.Н. Триботехника и экономика // Вестник машиностроения. 1990. N 9.
2. Быстров В.Н. Эффект безизносности и его применение в технике // Долговечность трущихся деталей машин / Под ред. Д.Н.Гаркунова.- М.: Машиностроение, 1990. В.5.
3. Кряжков В.М. Надежность и качество сельскохозяйственной техники. - М.: Агропромиздат, 1989. - 335 с.

4. Гаркунов Д.Н. Триботехника. - М.: Машиностроение, 1989. -238 с.
5. Декл. пат. 35858А Україна С23С20/00. Пристрій для фрикційно-механічного нанесення покриттів/ М.І.Черновол, В.В. Черкун, В.М. Наливайко, Є.К.Солових(Україна). – №99010209; заявл. 14.01.1999; опубл. 16.04.2001, Бюл.№3.
6. Декл. пат. 35859А Україна С23С20/00. Спосіб нанесення антифрикційних покриттів/ М. І. Черновол, В. В. Черкун, В. М. Наливайко, Є. К.Солових (Україна). – №99010210; заявл. 14.01.1999; опубл. 16.04.2001, Бюл.№3
7. Пат. 41439 Україна, МПК С23С 22/05. Поверхнево – активне середовище для нанесення покриттів фрикційно – механічним методом / В.М. Кропівний, І. В. Шепеленко, В. А. Павлюк-Мороз, В. В. Черкун, М.В.Красота, І. М. Соколенко (Україна). – №200814103; заявл. 08.12.2008; опубл. 25.05.2009, Бюл. №10.

V.Cherkun

Tavrisheskiy state agrotekhnologicheskiy university, Melitopol

Estimation of period of breaking-in of cog-wheel hydraulic pumps of type of NSH at treatment of process of antifriction non -abrasive vibration finishing (ANAVF)

The method of causing of finish coverages is considered in the article - ANAVF and results are resulted stand tests of cog-wheel hydraulic pumps of type of NSH. The offered method allows to shorten the period of breaking - in of hydraulic pump on the whole.

It results in diminishing of wear of pair of friction, stabilizing of gap in connection, that in the total allows to increase the resource of cog-wheel hydraulic pump in the process of exploitation.

breaking - in, ANAVF, coverage, hydraulic pump, pin

Получено 24.05.13

Зміст

<i>В.А.Войтов, С.В. Дригуля, В.А. Бунецкий</i> Экспериментальные исследования параметров помола биомассы в дезинтеграторе.....	3
<i>В.Е. Зубков</i> Об эффективности применения пневмомеханического сепаратора корнеклубнеплодов	8
<i>А.С. Лімонт</i> Тривалість збирання льонотрести та її агротехнологічне прогнозування	14
<i>В.А.Войтов, И.И. Сысенко</i> Исследования противопиттинговых свойств моторных масел на растительной основе.....	21
<i>Р.М. Харак, В.М. Сакало, С.П. Лихвенко</i> Дослідження кінематики універсального регулятора швидкості колісного трактора.....	26
<i>В.В. Аулін, О.В. Кузик</i> Зміна стану зон тертя деталей машин та динамічне трибоматеріалознавство їх поверхневих шарів.....	32
<i>В.А.Войтов, А.Г. Козырь</i> Критерии моделирования силы трения на переходных режимах.....	41
<i>І.І. Павленко, Д.В. Вахніченко</i> Аналіз робочого простору верстата з паралельною кінематикою при обробці деталей під кутом.....	48
<i>В.П. Пукалов, В.В. Пукалов, Ф.И. Златопольский, Н. Н. Петренко</i> Определение прогиба образующей цилиндрической поверхности и нейтральной оси при деформации осесимметричных тел.....	54
<i>М.І.Черновол, І.В.Шепеленко</i> Пристрої для фрикційно-механічного нанесення покриттів.....	58
<i>А. Курученко</i> Open source CNC control for parallel kinematic machine tool.....	63
<i>І.І. Павленко, М.О. Годунко, І.Д. Кіріченко</i> Загальна методика розрахунку та проектування конструкцій захватних пристроїв промислових роботів.....	67
<i>О.В. Бевз, С.О. Магопець</i> Оцінка дії автотранспортних потоків на акустичне середовище міської території (на прикладі міста Кіровограда).....	71
<i>І.А. Валявський, В.Ю.Шапошник</i> Кінематичний аналіз верстата з паралельною кінематикою типу «дельта».....	78

<i>І.Ф. Василенко</i> Аналіз структури кераміко-металевих композиційних покриттів, нанесених контактним наварюванням порошкових дротів.....	82
<i>В.В. Горин</i> Влияние неизотермичности теплообменной поверхности на эффективность оребрения при конденсации пара.....	86
<i>Б.Б. Кришкін</i> Оптимізація технології холодного об'ємного штампування накидних гайок рукавів високого тиску.....	92
<i>Я.Б.Немировский</i> Особенности расчета геометрических, кинематических параметров очага деформации при деформирующем протягивании.....	100
<i>О.В. Бевз, С.О. Магопєць, Д.А. Якимаха</i> Дослідження надійності роботи переднього гальмівного механізму автомобіля Renault.....	112
<i>М.М. Підгаєцький, К.К.Щербина</i> Аналіз впливу попередньої макронерівності в процесі хонінгування прецензійних отворів.....	117
<i>В.П. Пукалов, В.В. Пукалов, Н. Н. Петренко, Ф.И. Златопольский</i> Определение соотношения между прогибом нейтральной оси и образующей при деформации осесимметричных тел.....	122
<i>О.І. Скібінський, В.І. Гуцул, А.А. Гнатюк</i> Визначення периметрів і площ перерізів робочих профілів коліс епіциклоїдальних передач внутрішнього зачеплення.....	129
<i>Я.Б.Немировский</i> Особенности деформирующего протягивания разнотолщинных заготовок.....	135
<i>Е.Н. Чемерис</i> Механизм безопасности клепального пресса.....	142
<i>Л.О. Власенко, М.Д. Місюра, А.П. Ладанюк, В.Д. Кишенько</i> Автоматизоване керування технологічним комплексом виробництва пива на основі сценарно-цільового підходу.....	147
<i>В.М.Лукашенко, М.В. Чичужко, В.А. Лукашенко</i> Многокритериальная качественная оценка фирм изготовителей микроконтроллеров.....	155
<i>А. М. Мацуї, В. О. Кондратець</i> Дослідження нелінійної системи автоматичного управління подачею води у кульовий млин, що подрібнює піски класифікатора.....	161
<i>М.М. Мельніченко, М.С. Мірошніченко, Ю. Б. Беляєв</i> Методика врахування динаміки приводу при складанні моделі	

механізму з паралельною кінематикою.....	169
<i>В.О. Кондратець, О.М. Сербул</i> Теоретичне дослідження розрідження пісків односпірального класифікатора джерелом з незмінною витратою води	173
<i>Б.Б. Кришкін, М.П. Теплюк</i> Вібромоніторинг холодновисаджувальних автоматів.....	181
<i>S.I. Osadchy, V.A. Zozulya, A.S. Timoshenko</i> Multidimensional structural identification at regular signals.....	188
<i>Ю.М. Пархоменко, В.О. Кондратець, М.Д. Пархоменко</i> Обґрунтування вибору параметра регулювання норми висіву системою автоматичного керування зерновими сівалками	192
<i>В.В. Сидоренко, Р.М. Минайленко</i> Аналіз методів підвищення продуктивності стрічкової ковшової зернової норії	198
<i>А.А. Стенин, Е.Ю. Мелкумян, В.В. Курбанов, Т.Г. Шемсєдинов</i> Информационно-логическая модель процесса управления инновационным развитием социотехнических систем.....	202
<i>Л.С. Ямпольський</i> Нечітка ітераційна метаідентифікація штучних нейросіток в мультиагентному середовищі.....	207
<i>О. П. Голик, Р. В. Жесан, І. А. Березюк</i> Підхід до розв'язання задачі автоматизації процесу керування електропостачанням автономних споживачів в умовах невизначеності.....	218
<i>В.П. Калинин, М.Т. Кокорина</i> Оценка рисков генерации энергии из возобновляемых источников.....	225
<i>В. М. Боков, М. І. Попова, Р. С. Лисенко</i> Використання осіннього листя для виготовлення альтернативних видів палива.....	231
<i>О.В. Козлов</i> Автоматизація процесів керування технологічним комплексом екопірогенезісу.....	241
<i>О.П. Лобок, Б.М. Гончаренко, Л.Г. Віхрова</i> Синтез оптимального мінімаксного керування лінійними багатовимірними об'єктами за умови неточного і неповного їх вимірювання.....	247
<i>С.В. Овчаров, Р.В. Телюта, А.В. Буряк</i> Дослідження динаміки руху приводного обладнання вітроенергетичної установки вітрильного типу.....	254
<i>П.Г. Плешков, П.Г. Стець</i> Аналіз енергоресурсної бази Кіровоградської області, перспективи використання власних паливно-енергетичних ресурсів та відновлюваних джерел енергії для енергозабезпечення області.....	258
<i>О.П. Лобок, Б.М. Гончаренко, Н.М. Савіцька</i> Мінімаксне управління лінійними багатовимірними об'єктами зі	

стаціонарними зовнішніми збуреннями.....	262
<i>Н.В. Смирнова, В.В. Смирнов</i> Обнаружение изменения параметров объекта управления с использованием массива прецедентов.....	268
<i>Д.Ю. Федориненко</i> Автоматичне керування положенням шпинделя на гідростатичних підшипниках.....	273
<i>Ю.О.Єрмолаєв, Г.В.Савеленко</i> Синтез регуляторів позиційного електропривода подачі електрода-інструмента на верстатах РОД з використанням стандартних налаштувань.....	280
<i>В.А. Бісюк</i> Програмне забезпечення АСК процесу індукційного нагрівання і наплавлення композиційних покриттів.....	284
<i>Т.Г. Руденко</i> Модель систем електроприводів деревообробного верстата.....	290
<i>О.Г.Собінов</i> Побудова спрощеної математичної моделі для автоматизованої системи управління баштовою сушаркою.....	295
<i>К.С. Ткаченко</i> Проекционный алгоритм стохастической аппроксимации с использованием соседних вариантов для оптимизации управления выбором управляющих воздействий.....	301
<i>В.А. Пашинський, О.А.Плотніков, А.М.Карюк</i> Регіональне нормування температури повітря для проектування виробничих будівель підприємств сільськогосподарського машинобудування на території Кіровоградської області.....	306
<i>В.В. Черкун</i> Оценка периода приработки шестеренных гидронасосов типа НШ при обработке ФАБВО.....	313

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ
КІРОВОГРАДСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

ТЕХНІКА В СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОМУ ВИРОБНИЦТВІ, ГАЛУЗЕВЕ
МАШИНОБУДУВАННЯ, АВТОМАТИЗАЦІЯ

В и п у с к 26

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 28.05.2013р. Формат 60x84/8. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman. Офсетний друк. Умов. друк. арк. 40,25
Тираж 300 прим. Зам. № 0015