

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

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ
КІРОВОГРАДСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

**ТЕХНІКА В СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОМУ ВИРОБНИЦТВІ,
ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ, АВТОМАТИЗАЦІЯ**

За загальною редакцією М.І. Черновола

Заснований у 2001 році

В и п у с к 25
ЧАСТИНА ІІ

Кіровоград • 2012

ББК 34.751+32.965=31
УДК 62:631.3

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ КІРОВОГРАДСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ /ТЕХНІКА В СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОМУ ВИРОБНИЦТВІ, ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ, АВТОМАТИЗАЦІЯ/– ВИП. 25, Ч.ІІ – КІРОВОГРАД: КНТУ, 2012. – 398 с.

У збірнику представлені статті, присвячені проблемам проектування та експлуатації сільськогосподарської техніки, технології виробництва, енергозбереження, автоматизації в промисловості та сільському господарстві. Наведені практичні рекомендації по використанню результатів досліджень у галузях народного господарства.

Збірник є фаховим виданням, в якому публікуються основні результати наукових досліджень вчених, аспірантів університету, а також інших навчальних закладів та промислових підприємств України, учасників Міжнародної науково-практичної конференції «Автоматика та енергозберігаючі технології» присвяченої 40-річчю кафедри «Автоматизації виробничих процесів», 17-19 жовтня 2012р.

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 №1 від 24 вересня 2012 року.

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

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

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

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

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

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

УДК 681.513

С.І. Осадчий, доц., канд. техн. наук, О.К. Дідик, доц., канд. техн. наук,
М.С. Мірошніченко, асист.

Кіровоградський національний технічний університет

Адаптація комбінованої системи стабілізації потоку хлібної маси до зміни середньої урожайності

В статті розглянутий розрахунок структури та параметрів оптимального комбінованого регулятора для системи стабілізації потоку хлібної маси при різних значеннях середньої урожайності. Проведений аналіз залежності параметрів регулятора від середньої урожайності та встановлена необхідність адаптації системи стабілізації до значення середньої урожайності.

зернозбиральний комбайн, система стабілізації, потік хлібної маси, адаптована система

Постановка проблеми. Для підвищення ефективності збору урожаю та зменшення втрат зерна необхідно управляти швидкістю руху комбайна з метою підтримання на оптимальному рівні продуктивності роботи комбайна. Для вирішення даної задачі запропоновано застосування комбінованого способу управління за відхиленням вихідного параметру – потоку хлібної маси та за збуренням – поточного значення урожайності. При розробці комбінованої системи стабілізації потоку хлібної маси на вході молотарки зернозбирального комбайну виникає проблема залежності параметрів збурень, що діють в системі та параметрів об'єкта стабілізації від середньої урожайності поля. Оскільки середня урожайність змінюється від поля до поля в досить широких межах, тому необхідно дослідити вплив даного параметру на якість стабілізації потоку хлібної маси, визначитись з необхідністю та представити шлях адаптації системи до середньої урожайності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз літературних джерел [1-3] показав, що середня урожайність поля має суттєвий вплив на продуктивність роботи зернозбирального комбайну та на проблеми пов'язані із стабілізацією потоку хлібної маси на вході молотарки. Особливі проблеми виникають при низькій урожайності, коли комбайну для підтримання заданої продуктивності необхідно рухатись на максимальних швидкостях. Розроблена комбінована система стабілізації потоку хлібної маси [4] на основі методу синтезу оптимальної багатовимірної системи стабілізації руху об'єкта [5] дозволяє вирішити проблеми підвищення якості збору урожаю.

Мета статті. Встановити необхідність адаптації комбінованої системи стабілізації потоку хлібної маси на вході молотарки зернозбирального комбайну до значення середньої урожайності поля та встановити залежність параметрів оптимального регулятора від середньої урожайності.

Основні матеріали досліджень. Для вирішення задачі проектування та забезпечення зменшення залежності якості стабілізації потоку хлібної маси від середньої урожайності поля необхідно розрахувати значення параметрів передаточних функцій каналів регулятора W_1 та W_2 для множини значень середньої урожайності. Розглянемо структурну схему комбінованої системи стабілізації потоку хлібної маси (рис. 1). При приведенні її до схеми еквівалентної системи стабілізації (рис. 2) були виконані структурні перетворення. В результаті одержані наступні вихідні дані для визначення структури і параметрів регулятора W :

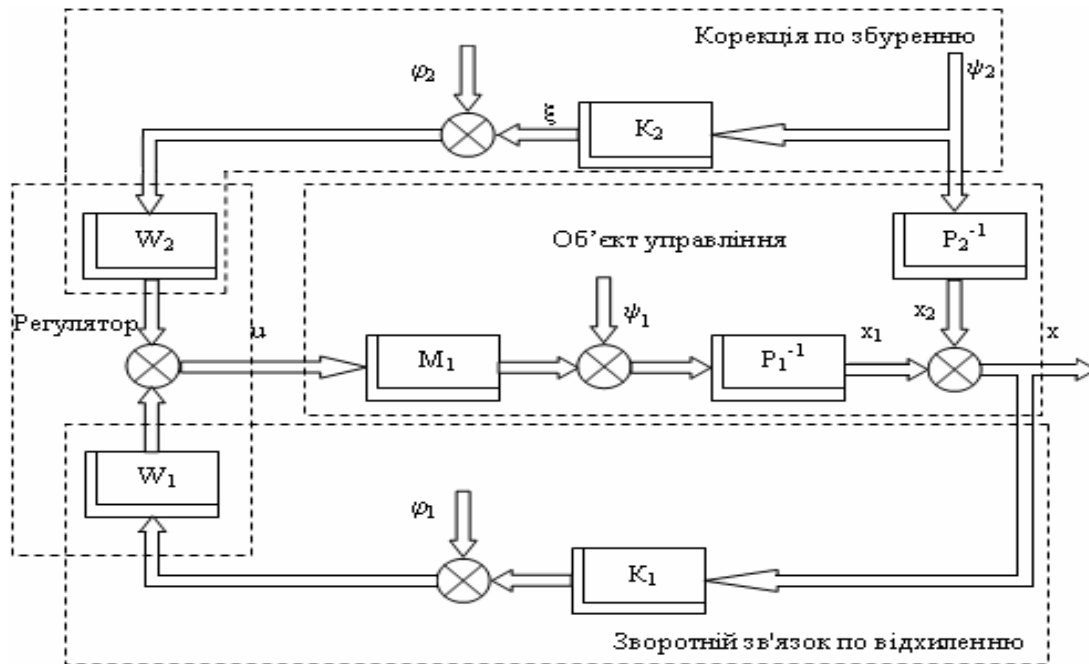


Рисунок 1 - Структурна схема системи стабілізації потоку хлібної маси зі зворотнім зв'язком по відхиленню та корекцією по збуренню

$$P_0 = \begin{bmatrix} (s+1.2)(s+0.206) & -(s+1.2)(s+0.206) \\ 0 & 0.11Y_0 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

$$M_0 = \begin{bmatrix} 411.3Y_0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

$$K_0 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

$$S'_{\psi_0\psi_0} = \frac{\sigma_0^2}{\pi} \begin{bmatrix} \frac{-2.66 \cdot 10^4 Y_0^2 s^2}{-16.67^2 Y_0^2 s^2 + 1} & 0 \\ 0 & \frac{2.85 Y_0}{-2.057 \cdot 10^3 Y_0^2 s^2 + 1} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

$$S'_{\varphi_0\varphi_0} = \frac{\sigma_0^2}{\pi} \begin{bmatrix} 0.25 & 0 \\ 0 & 0.25 \end{bmatrix}. \quad (5)$$

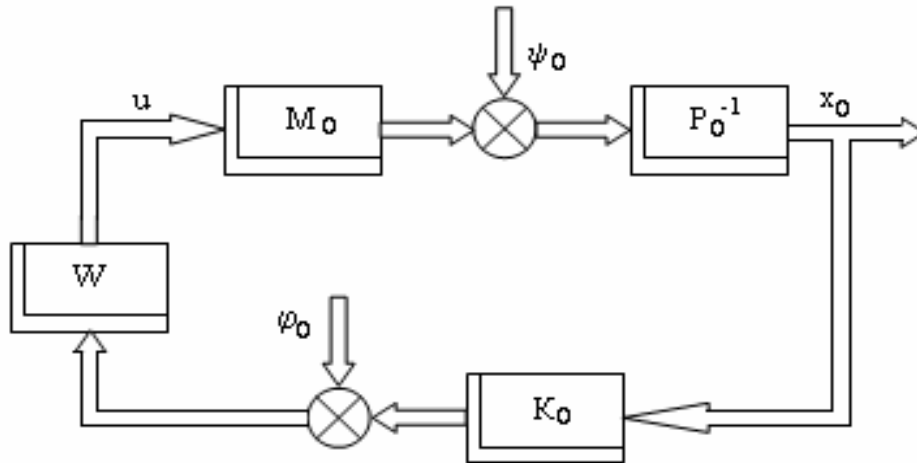


Рисунок 2 - Структурна схема еквівалентної системи стабілізації

Розрахунок виконувався на основі методу синтезу оптимальної багатовимірної системи стабілізації руху об'єкта [5]. Синтез оптимальної комбінованої системи для значення урожайності $Y_0 = 35$ ц/га був представлений в [4]. В результаті була одержана матриця передаточних функцій комбінованого регулятора наступного вигляду

$$W = \left[\begin{array}{cc} -K_1(s + \omega_4)(s + \omega_5)(s + \omega_6) & -K_2(s + \omega_6)(s^2 - 2\zeta_7\omega_7s + \omega_7^2) \\ \frac{(s + \omega_1)(s + \omega_2)(s^2 + 2\zeta_3\omega_3s + \omega_3^2)}{(s + \omega_1)(s + \omega_2)(s^2 + 2\zeta_3\omega_3s + \omega_3^2)} & \frac{(s + \omega_1)(s + \omega_2)(s^2 + 2\zeta_3\omega_3s + \omega_3^2)}{(s + \omega_1)(s + \omega_2)(s^2 + 2\zeta_3\omega_3s + \omega_3^2)} \end{array} \right]. \quad (6)$$

Застосування аналогічного підходу до відповідних моделей динаміки узагальненого об'єкта керування та зовнішніх впливів на нього для інших значень урожайності, дозволило визначити множину передаточних функцій двоканальних регуляторів, які забезпечують стійкість замкненої системи та доставляють мінімум критерію якості

$$e = \frac{1}{j} \int_{-j\infty}^{j\infty} \text{tr}(S'_{x_0x_0} R + S'_{uu} C) ds, \quad (7)$$

де j – комплексна одиниця;

tr – знак операції знаходження сліду матриці;

$S_{x_0x_0}$ – матриця спектральних щільностей зміни вихідних координат системи розмірності $n \times n$;

R – додатно визначена поліноміальна вагова матриця розмірності $n \times n$;

S_{uu} – матриця спектральних щільностей зміни вектору сигналів керування системи розмірності $m \times m$;

C – невід'ємно визначена поліноміальна вагова матриця розмірності $m \times m$;

$s = j\omega$ – комплексний аргумент.

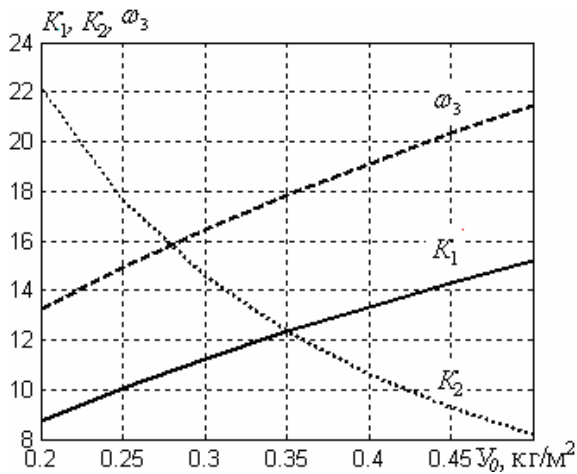
Розгляд отриманих таким чином передаточних функцій доводить, що зміна середньої урожайності Y_0 не впливає на структуру регулятора, а змінює лише частину його параметрів. У таблиці 1 наведені значення змінних параметрів регулятора, а на рис. 3 – рис. 5 номограми їх зміни. Деякі параметри практично не змінюються і приймають наступні значення

$$\omega_2 = 0.4108; \quad \zeta_3 = 0.71; \quad \omega_5 = 3.912; \quad \omega_6 = 0.2063; \quad \omega_7 = 0.9965. \quad (8)$$

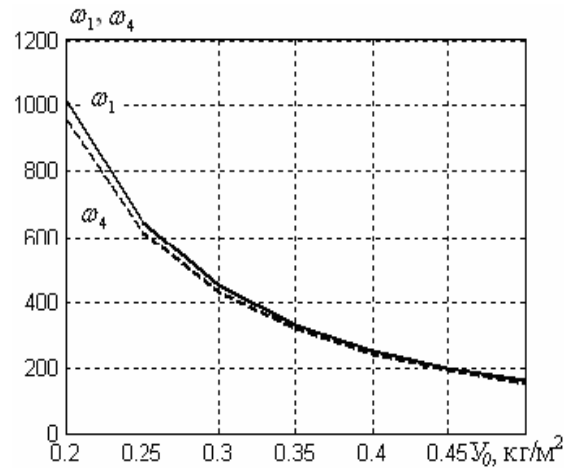
Апроксимація зазначених номограм на класі поліноміальних функцій від середньої урожайності (табл. 2) здійснена за допомогою пакету Curve Fitting Toolbox в середовищі Matlab дозволила визначити закони зміни параметрів оптимального регулятора для збереження високої якості стабілізації потоку хлібної маси.

Таблиця 1 - Залежність параметрів комбінованого регулятора від середньої урожайності

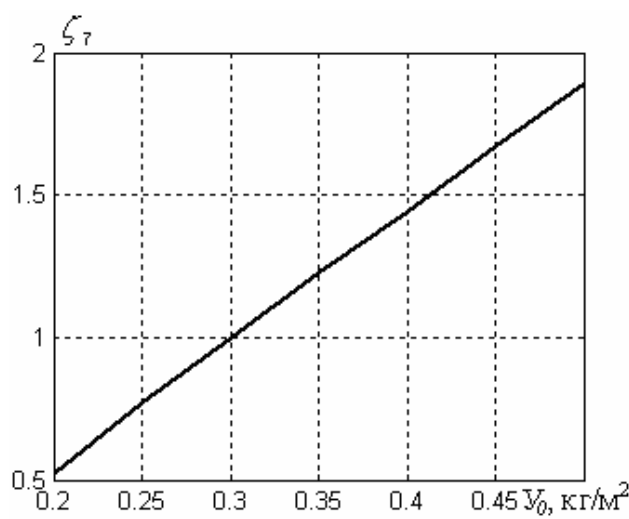
$Y_0, \text{кг/м}^2$	$K_1, \text{с/кг}$	$K_2, \text{м}^2/\text{кг}$	$\omega_1, \text{с}^{-1}$	$\omega_3, \text{с}^{-1}$	$\omega_4, \text{с}^{-1}$	ζ_7
0,2	8,72	22,15	1015	13,24	957,9	0,522
0,25	10,03	17,62	650	14,92	618	0,77
0,3	11,22	14,56	451,4	16,43	431,7	1,001
0,35	12,32	12,33	331,7	17,82	318,6	1,224
0,4	13,35	10,63	254	19,12	244,8	1,445
0,45	14,31	9,28	200,8	20,34	194	1,668
0,5	15,22	8,17	162,7	21,49	157,6	1,894



Рисуюнок 3 - Номограма зміни K_1, K_2, ω_3



Рисуюнок 4 - Номограма зміни ω_1, ω_4



Рисуюнок 5 - Номограма зміни ζ_7

Таблиця 2 - Закони зміни параметрів оптимального регулятора від середньої урожайності Y_0 та середньоквадратичне відхилення похибки апроксимації

Параметр	Аналітичний вираз	Середньоквадратичне відхилення похибки апроксимації
K_1	$K_1(Y_0) = 20Y_0^3 - 36.67Y_0^2 + 39.53Y_0 + 2.122$	0.0038
K_2	$K_2(Y_0) = -380Y_0^3 + 526.2Y_0^2 - 266.7Y_0 + 57.45$	0.0016
ω_1	$\omega_1(Y_0) = 1.65 \cdot 10^5 Y_0^4 - 2.77 \cdot 10^5 Y_0^3 + 1.77 \cdot 10^5 Y_0^2 - 5.23 \cdot 10^4 Y_0 + 6345$	0.44
ω_3	$\omega_3(Y_0) = 31.11Y_0^3 - 53.05Y_0^2 + 52.5Y_0 + 4.617$	0.0039
ω_4	$\omega_4(Y_0) = 1.48 \cdot 10^5 Y_0^4 - 2.49 \cdot 10^5 Y_0^3 + 1.6 \cdot 10^5 Y_0^2 - 4.77 \cdot 10^4 Y_0 + 5840$	0.68
ζ_7	$\zeta_7(Y_0) = 4.54Y_0 - 0.37$	0.0094

Використання даних законів зміни параметрів оптимального регулятора від середньої урожайності дасть можливість перебудувувати систему стабілізації під умови кожного поля, врожайність на якому знаходиться у діапазоні 0.2-0.5 кг/м².

Дослідження якісних показників функціонування системи стабілізації при зміні середньої урожайності показало, що вони дещо змінюються, але не суттєво (табл. 3).

Таблиця 3 - Показники якості роботи системи стабілізації при зміні середньої урожайності

Y_0 , кг/м ²	e_u , рад ²	e_x , (кг/с) ²	J
0,2	0,000556	0,0017	0,0023
0,25	0,000363	0,0012	0,0015
0,3	0,000275	0,0009	0,0012
0,35	0,000232	0,00077	0,001
0,4	0,000208	0,00071	0,00091
0,45	0,000197	0,00067	0,00087
0,5	0,000193	0,00066	0,00085

Висновок. Як видно з табл. 3 найгірша якість роботи системи стабілізації виникає при найменшому значенні середньої урожайності $Y_0 = 0.2$ кг/м². В таких умовах середньоквадратичне відхилення вихідного потоку хлібної маси становить $\sigma_Q = 0,0412$ кг/с, а середньоквадратичне відхилення кута нахилу шайби блоку циліндрів гідронасосу $\sigma_\gamma = 0,0236$ рад = 1,35°. Це пояснюється розширенням ефективної ширини спектру збурень при зменшенні середньої урожайності поля. Аналіз якості роботи системи стабілізації з регулятором розрахованим для урожайності $Y_0 = 0.35$ кг/м² при параметрах об'єкту та збурень для інших значень урожайності показав, що якість на порядок погіршується. Це доводить необхідність адаптації системи до середнього значення урожайності кожного поля.

Список літератури

1. Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін. – К.: Вища освіта, 2005. – 464 с.
2. Долгов И.А. Уборочные сельскохозяйственные машины. (Конструкция, теория, расчет): Учебник. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2003. – 707 с.
3. Гельфенбейн С.П. Электроника и автоматика в мобильных сельхозмашинах. / Гельфенбейн С.П., Волчанов В.Л. – М.: Агропромиздат, 1986. – 264 с.
4. Дідик О.К. Синтез оптимальної системи стабілізації потоку хлібної маси зернозбирального комбайну / О.К.Дідик, М.С.Мірошниченко // Сб. наук. праць «Вестник национального технического университета «ХПИ»» Тематич. випуск «Информатика и моделирование». – 2011. - №36. – С.48-51.

5. Осадчий С.І. Синтез оптимальної багатовимірної системи стабілізації руху об'єкта зі зворотнім зв'язком по відхиленню та корекцією по збуренню. / Осадчий С.І., Дідик О.К., Віхрова М.С. // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Випуск 102 „Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України”. – Харків: ХНТУСГ, 2010. – С. 71 – 73.

С. Осадчий, А. Дідик, М. Мирошніченко

Адаптация комбинированной системы стабилизации потока хлебной массы к изменению средней урожайности

В статье рассмотренный расчет структуры и параметров оптимального комбинированного регулятора для системы стабилизации потока хлебной массы при разных значениях средней урожайности. Проведенный анализ зависимости параметров регулятора от средней урожайности и установленная необходимость адаптации системы стабилизации к значению средней урожайности.

S. Osadchiy, O. Didyk, M. Miroshnichenko

Adaptation of the combined stabilizing system of panary mass stream to the change of the middle productivity

In the article the considered calculation of structure and parameters of the optimal combined regulator for the stabilizing system of panary mass stream at the different values of the middle productivity. Conducted analysis of dependence of regulator parameters from the middle productivity and set necessity of adaptation of the stabilizing system to the value of the middle productivity.

Одержано 18.09.12

УДК 681.542.35

А.М. Мацуй, канд. техн. наук, В.О. Кондратець, проф., канд. техн. наук, О.М. Сербул, доц., канд. техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет

Обґрунтування довжини гнучких пневматичних трубок при вимірюванні параметрів хвильового процесу завиткового живильника

Стаття присвячена системі, що складається з камери тиску вторинного перетворювача, ввідної трубки та манометричного датчика тиску з пневматичною трубкою. Розглянуто конструктивні елементи завиткового живильника у горизонтальній і вертикальній площинах і на цій підставі вибрано місце установки датчиків тиску пульпи. Виходячи з конструктивних особливостей завиткового живильника і вимірювальних засобів, обґрунтовано довжину пневматичних трубок, яка повинна складати 3,0 м.
завитковий живильник, хвильовий процес, вимірювання параметрів, довжина пневматичних трубок, перетворювачі тиску

Нині для забезпечення металургійної промисловості сировиною в Україні збагачують як руди, що добуваються відкритим способом, так і частину руд, яку добувають підземним способом. При збагаченні найбільш енерговитратним процесом є подрібнення руди. Серед інших в Україні розповсюдження отримали цикли подрібнення руди з переробкою пісків двоспирального класифікатора у кульових млинах. Оскільки такі кульові млини несуть основне технологічне навантаження,

© А.М. Мацуй, В.О. Кондратець, О.М. Сербул, 2012

5. Осадчий С.І. Синтез оптимальної багатовимірної системи стабілізації руху об'єкта зі зворотнім зв'язком по відхиленню та корекцією по збуренню. / Осадчий С.І., Дідик О.К., Віхрова М.С. // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Випуск 102 „Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України”. – Харків: ХНТУСГ, 2010. – С. 71 – 73.

С. Осадчий, А. Дідик, М. Мирошніченко

Адаптация комбинированной системы стабилизации потока хлебной массы к изменению средней урожайности

В статье рассмотренный расчет структуры и параметров оптимального комбинированного регулятора для системы стабилизации потока хлебной массы при разных значениях средней урожайности. Проведенный анализ зависимости параметров регулятора от средней урожайности и установленная необходимость адаптации системы стабилизации к значению средней урожайности.

S. Osadchiy, O. Didyk, M. Miroshnichenko

Adaptation of the combined stabilizing system of panary mass stream to the change of the middle productivity

In the article the considered calculation of structure and parameters of the optimal combined regulator for the stabilizing system of panary mass stream at the different values of the middle productivity. Conducted analysis of dependence of regulator parameters from the middle productivity and set necessity of adaptation of the stabilizing system to the value of the middle productivity.

Одержано 18.09.12

УДК 681.542.35

А.М. Мацуй, канд. техн. наук, В.О. Кондратець, проф., канд. техн. наук, О.М. Сербул, доц., канд. техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет

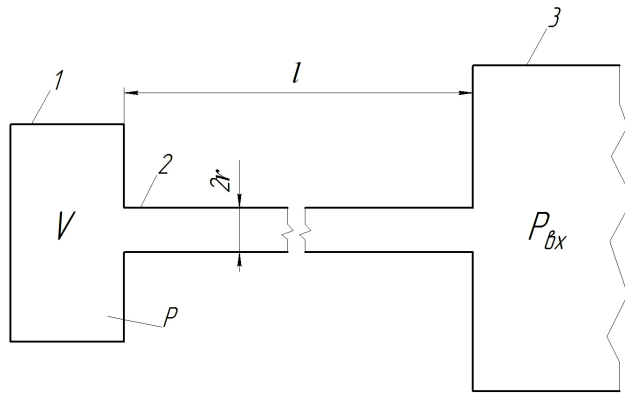
Обґрунтування довжини гнучких пневматичних трубок при вимірюванні параметрів хвильового процесу завиткового живильника

Стаття присвячена системі, що складається з камери тиску вторинного перетворювача, ввідної трубки та манометричного датчика тиску з пневматичною трубкою. Розглянуто конструктивні елементи завиткового живильника у горизонтальній і вертикальній площинах і на цій підставі вибрано місце установки датчиків тиску пульпи. Виходячи з конструктивних особливостей завиткового живильника і вимірювальних засобів, обґрунтовано довжину пневматичних трубок, яка повинна складати 3,0 м.
завитковий живильник, хвильовий процес, вимірювання параметрів, довжина пневматичних трубок, перетворювачі тиску

Нині для забезпечення металургійної промисловості сировиною в Україні збагачують як руди, що добуваються відкритим способом, так і частину руд, яку добувають підземним способом. При збагаченні найбільш енерговитратним процесом є подрібнення руди. Серед інших в Україні розповсюдження отримали цикли подрібнення руди з переробкою пісків двоспирального класифікатора у кульових млинах. Оскільки такі кульові млини несуть основне технологічне навантаження,

© А.М. Мацуй, В.О. Кондратець, О.М. Сербул, 2012

відсутність засобів ідентифікації співвідношення руда/вода в них приводить до значного перевитрачення електричної енергії, куль і футерівки, що не відповідає вимогам законодавства України про ресурсозберігаючі технології в енергетиці та промисловості. Враховуючи, що дана стаття спрямована на розв'язання задач



1 – камера тиску перетворювача; 2 – ввідна трубка;
3 – манометричний датчик тиску з пневматичною трубкою

Рисунок 1 - Камера тиску перетворювача з ввідною трубкою

ресурсозбереження в гірничо-металургійній галузі, її тема є актуальною. Матеріали для даної публікації отримані в результаті виконання науково-дослідної роботи “Система комп’ютерної ідентифікації співвідношення тверде/рідке при подрібненні пісків класифікатора” (державний реєстраційний номер 0107U005470).

Задачу автоматичного регулювання розрідження пульпи в кульових млинах в різні роки розв’язував ряд науковців, однак дослідження присвячувались агрегатам першої стадії

подрібнення і їх результати не можливо використати у даному випадку. Для кульових млинів, що подрібнюють піски класифікатора, запропоновано лише один засіб [1], який відрізняється можливістю забивання каналу витратоміра піскового потоку сторонніми включеннями (скрап, елементи спіралі класифікатора, щепки та ін.). Авторами даної публікації запропоновано підхід ідентифікації розрідження пульпи безпосередньо в приймальній пристрої завиткового живильника за рівнем і тиском суміші [2], способи визначення цих параметрів [3, 4] у хвильовому процесі технологічного агрегату та конструкцію блока первинних перетворювачів тиску [5]. Однак задачу вимірювання тиску пульпи в таких умовах і, зокрема, створення пневматичних ліній ніхто не розв’язував.

Метою даної роботи є обґрунтування довжини гнучких пневматичних трубок при вимірюванні параметрів хвильового процесу завиткового живильника.

При вимірюванні параметрів хвильового процесу завиткового живильника з метою ідентифікації співвідношення руда/вода використовують блок перетворювачів тиску пульпи [5]. В ньому міститься два вертикально встановлені первинні перетворювачі, що являють собою відкриті знизу, а зверху зв’язані за допомогою пневматичних трубок з перетворювачами тиску в іншу фізичну величину. Первинні перетворювачі виконані у вигляді циліндричних патрубків висотою 600 мм і внутрішнім діаметром 98 мм. Вони перетворюють тиск пульпи у тиск повітря. Для перетворення тиску повітря в електричний сигнал слід застосувати перетворювач вимірювальний наднормального тиску САПФИР-22М-ДИ2120 [5].

Перетворювачі тиску характеризуються резонансною частотою і заспокоєнням рухомої частини, тобто жорсткістю пружних або чутливих до тиску елементів, масою рухомої частини та оптимальним заспокоєнням. Однак більш важливе значення мають динамічні характеристики акустичної системи, тобто системи: ввідна трубка – середовище – порожнина перетворювача тиску (рис.1). Здебільшого в таких системах акустична резонансна частота нижча, ніж резонансна частота рухомої частини перетворювача тиску. За таких умов ввідна трубка практично визначає динамічні властивості перетворювача в цілому, що важливо в умовах пульсуючого середовища в завитковому живильнику.

Теоретичні дослідження затування змінних тисків у трубках з врахуванням явищ стиснення та прискорення середовища були здійснені у ряді праць. Отримані в даних працях результати знайшли практичне використання при розробці перетворювачів тиску. У цих роботах показано, що з достатньою для практики точністю можливо замість дійсних розподілених параметрів трубки (маса, стисливість, демпфірування) брати еквівалентні зосереджені параметри. При цьому дослідження значно спрощуються.

З врахуванням визначення зосереджених параметрів акустичну систему (рис.1) можливо характеризувати наступними виразами.

Акустична ємність буде дорівнювати

$$C_a = \frac{V}{\rho v^2}, \quad (1)$$

де V – об'єм камери тиску перетворювача;

ρ – густина середовища;

v – швидкість розповсюдження звуку в середовищі.

Акустичну індуктивність можна визначити за залежністю

$$L_a = \frac{4l\rho}{3\pi r^2}, \quad (2)$$

де l – довжина ввідної трубки;

r – радіус ввідної трубки.

Акустичний опір знайдемо за формулою

$$R_a = \frac{8\eta l}{\pi r^4}, \quad (3)$$

де η – динамічна в'язкість середовища.

Частоту вільних коливань акустичної системи визначимо за залежністю

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_a C_a}} = \frac{rv}{2} \sqrt{\frac{3\pi}{lV}}, \quad (4)$$

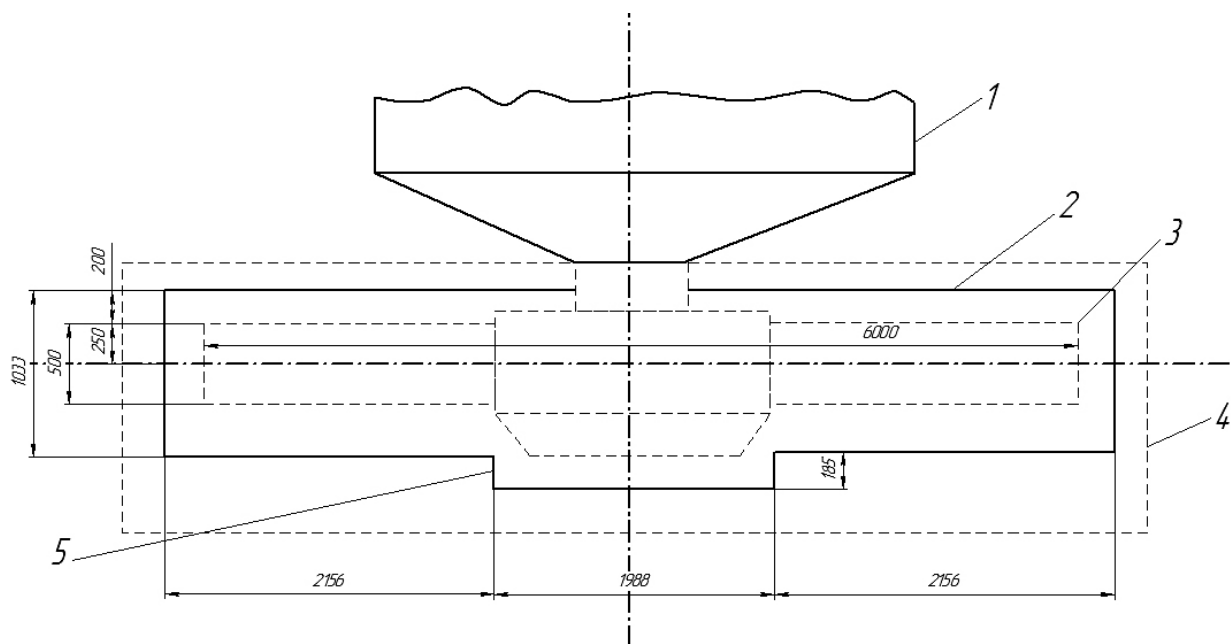
а ступінь заспокоєння – за формулою

$$h = \frac{1}{2} R_a C_a \omega_0 = \frac{2\eta}{v\rho r^3} \sqrt{\frac{3lV}{\pi}}. \quad (5)$$

З залежностей (1)...(5) видно, що акустичні параметри каналу залежать як від фізичних, так і його конструктивних параметрів. Серед фізичних параметрів входять густина середовища (повітря) ρ , швидкість розповсюдження звуку в середовищі v , динамічна в'язкість середовища η . На процес передачі інформації в каналі впливають наступні параметри каналу: об'єм камери тиску перетворювача V , довжина пневматичної трубки l та її радіус r . Фізичні параметри являють собою константи, однак вони змінюються під дією певних факторів і це буде впливати на процес передачі інформації. Серед конструктивних параметрів об'єм камери тиску перетворювача V при вибраному його типі є незмінною величиною, тому на акустичні характеристики каналу можливо впливати лише двома факторками – довжиною ввідної трубки та її радіусом, однак це чисто формальний висновок. Фактично доцільно мати найбільш коротку ввідну трубку за конкретних умов, довжина якої повинна бути обґрунтованою, а досягнення необхідних значень акустичних характеристик каналу слід досягти зміною її радіуса. Тому обґрунтуємо довжину пневматичної трубки для конкретних умов вимірювання тиску і рівня пульпи у хвильовому процесі завиткового живильника.

Взаємне розташування завитка і приймального пристрою конструкції завиткового живильника у горизонтальній площині показано на рис.2, який виконано на підставі конструкторської документації технологічного вузла. Завиток 3 безпосередньо приєднано до завантажувальної цапфи кульового млина 1. Він обертається разом з кульовим млином, захоплюючи пульпу з приймального пристрою завиткового живильника і піднімаючи її з нижньої відмітки до рівня завантажувальної цапфи кульового млина. Приймальний пристрій завиткового живильника складається з бетонного зумпфа 4 і його металевої надбудови 2, яка закріплена до зумпфа за допомогою сталевих анкерів. Безпосередньо на надбудові 2 зумпфа 4 встановлюється за допомогою фланцевого сполучення кожух завитка 3. Робочий об'єм зумпфа 4 і його надбудови 2 має виступ 5 з протилежного від кульового млина 1 боку. Даний виступ 5 має ширину 185 мм і довжину 1988 мм. У виступі 5 найбільш доцільно встановити перетворювачі тиску пульпи у тиск повітря по осевій лінії завиткового живильника, оскільки в ньому пульпа не буде розшарованою, а динамічний вплив хвильового процесу практично буде відсутнім. Діаметр перетворювачів може складати дещо більше 100 мм. Блок перетворювачів тиску пульпи у тиск повітря можна кріпити безпосередньо на стінці виступу 5 зумпфа 4 вздовж площини шириною 1988 мм.

Розташування конструктивних елементів завиткового живильника у вертикальній площині показано на рис.3, з якого видно, що по вертикалі конструкція перетворювачів тиску пульпи у тиск повітря може займати до 1990 мм, а реально – не більше 1850 мм, що цілком задовольняє габаритам блока перетворювачів тиску пульпи у тиск повітря.

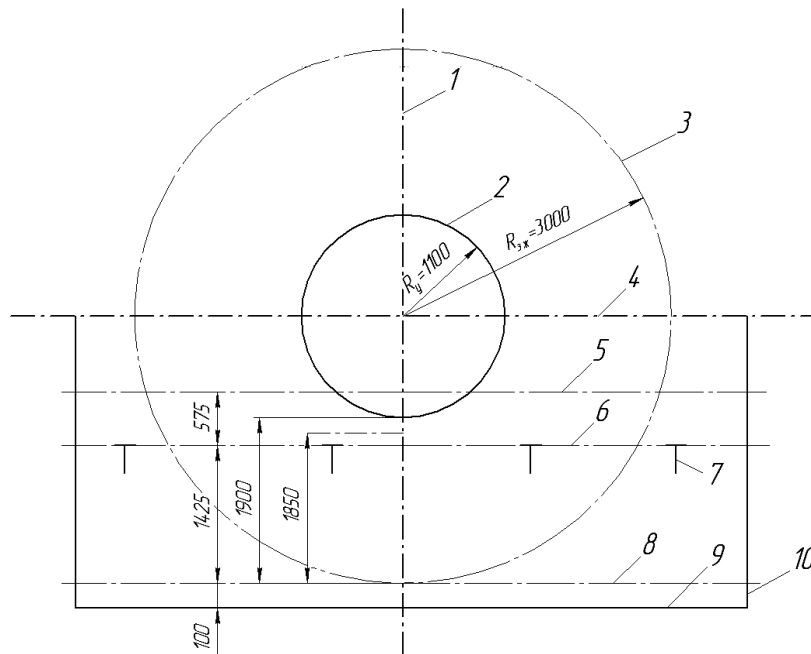


1 – кульовий млин; 2 – надбудова зумпфа; 3 – завиток; 4 – зумпф; 5 – виступ робочого об'єму зумпфа і надбудови

Рисунок 2 - Взаємне розташування завитка і приймального пристрою конструкції завиткового живильника у горизонтальній площині

Тензометричні перетворювачі тиску повітря в електричний сигнал необхідно встановлювати поза завитковим живильником на амортизованій підкладці. Тому пневматичні трубки від перетворювачів тиску пульпи у тиск повітря до тензометричних перетворювачів тиску повітря в електричний сигнал повинні виходити з приймального пристрою в нижній частині надбудови зумпфа. Оскільки висота перетворювачів тиску пульпи у тиск повітря складає 600 мм, а активна висота зумпфа – 1425 мм (рис.3), то довжина лінії з'єднання складе близько 800 мм. Враховуючи, що перетворювачі тиску пульпи у тиск повітря повинні періодично рухатись у вертикальній площині, лінію з'єднання необхідно виконати спіральною і гнучкою. Якщо прийняти п'ять витків спіралі діаметром 160 мм, то довжина імпульсної лінії складе 2,5 м. З врахуванням виводу імпульсних ліній з приймального пристрою довжину пневматичних трубок слід продовжити до 3,0 м.

Отже, при обґрунтуванні акустичних характеристик інформаційного каналу необхідно довжину пневматичних імпульсної лінії приймати незмінною $l = 3,0$ м, а найкращі значення параметрів забезпечувати варіюванням радіуса трубок. Параметри обох інформаційних каналів повинні бути однаковими.



1 – вертикаль установки завиткового захватного органа; 2 – циліндрична частина завиткового захватного органа; 3 – траєкторія руху кінцевої крайки завиткового захватного органа; 4 – горизонталь установки осі завиткового захватного органа; 5 – горизонталь поверхні фланця для установки кожуха; 6 – горизонталь установки кришки завиткового живильника на надбудову зумпфа; 7 – стяжні анкери; 8 – лінія установки крайки основного перетворювача; 9 – дно зумпфа; 10 – стінки зумпфа

Рисунок 3 - Конструктивні елементи завиткового живильника у вертикальній площині

Перспективою подальших досліджень є теоретичне обґрунтування найкращих акустичних характеристик інформаційних каналів.

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. Пат. 7741 Україна, МКВ 7 В 03 В 11/00. Спосіб автоматичного контролю розрідження пульпи в млинах, що подрібнюють піски механічних класифікаторів / Кондратець В.О., Мацуй А.М.; заявник та патентовласник Кіровогр. нац. техн. ун-т. - №20041007979; заявл. 01.10.2004; опубл. 15.07.2005, Бюл.№7.
3. Пат. 87374 С2 Україна, МПК G 01 F 23/00. Спосіб вимірювання рівня рідких середовищ з хвильовими коливаннями / Кондратець В.О., Мацуй А.М.; заявник і патентовласник Кіровогр. нац. техн. ун-т.- №200712196; заявл. 05.11.2007; опубл. 10.07.2009, 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 Кіровогр. нац. техн. ун-т.- №U201101692; заявл. 14.02.2011; опубл. 10.08.2011, Бюл. №15.
5. Мацуй А.М. Ідентифікація співвідношення руда/вода в приймальному пристрої завиткового живильника як регульованому об'єкті / А.М.Мацуй, В.О.Кондратець // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць КНТУ.- 2011.- №24, Частина 1.- С. 51-56.

А. Мацуй, В. Кондратець, А.Сербул

Обоснование длины гибких пневматических трубок при измерении параметров волнового процесса улиткового питателя

Статья посвящена системе, которая включает камеру давления вторичного преобразователя, вводную трубку и манометрический датчик давления с пневматической трубкой. Рассмотрены конструктивные элементы улиткового питателя в горизонтальной и вертикальной плоскостях, на этой основе выбрано место установки датчиков давления пульпы. Исходя из конструктивных особенностей улиткового питателя и измерительных средств, обоснована длина пневматических трубок, которая должна равняться 3,0 м.

А. Мацуй, В. Кондратець, А.Сербул

Ground of length of flexible pneumatic tubes at measuring parameters of wave process snail feeder

The article is devoted the system, which includes the chamber a pressure of the second transformer, introductory tube and manometry pressductor with a pneumatic tube. The structural elements of snail feeder are considered in a horizontal and vertical planes, on this basis the place of setting of pressductors pulp is chosen. Coming from the structural features of snail feeder and measurings facilities, is grounded length of pneumatic tubes, which must be evened 3,0 м.

Одержано 05.07.12

УДК 621.311

**А.М. Сільвестров, проф., д-р техн. наук, Л. Ю. Спінул, доц., канд. техн. наук,
О.М. Скринник, асист.**

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Побудова математичних моделей складних нелінійних залежностей "вхід-вихід" об'єктів автоматизації

В статті описано спосіб подання статичної кусково-аналітичної нелінійної характеристики об'єкта ідентифікації єдиною аналітичною моделлю. Згідно з яким весь діапазон цієї характеристики розбивають на припасовані одна до одної ділянки. Залежності «вхід – вихід» окремих ділянок об'єднують в одну для всього діапазону аналітичну модель «вхід – вихід» шляхом додавання добутків залежностей «вхід – вихід» окремих ділянок на аналітичні у всьому діапазоні вагові функції.

нелінійна модель, об'єкт ідентифікації, апроксимація, аналітична модель, вагова функція

Недоліки відомих методів апроксимації кусково-аналітичної нелінійної моделі об'єкта ідентифікації єдиною аналітичною моделлю є те, що така модель за заданої точності апроксимації може бути надто складною, в той час як на окремих ділянках локальні моделі можуть бути простими. Як правило, шукану модель на всьому діапазоні подають у вигляді суми відомих (базисних) функцій, коефіцієнти ваги яких підбирають за умови найкращої (за відповідним показником) апроксимації експериментально знятої залежності відповідною моделлю. Але така модель за заданої точності апроксимації може бути надто складною, що крім того може привести до пульсації в проміжках між експериментально знятими точками.

Якщо ж використовується кусково-поліноміальна апроксимація, то така модель вже не є аналітичною у всьому діапазоні, а вимагає доповнення додатковими логічними умовами, еквівалентними множенню часткових моделей нелінійності на неаналітичні (негладкі) сігнум-функції. В результаті цільно-аналітичний опис системи розпадається на локально аналітичні з логікою зміни структури системи залежно від області, в якій знаходяться змінні об'єкта. Це ускладнює вирішення головних задач, заради яких будується модель нелінійної залежності «вхід – вихід» об'єкта ідентифікації: в задачах автоматичного керування об'єктами, діагностики їх стану по параметрам нелінійної моделі, прогнозування якості і надійності функціонування та інше.

Далі розглянуто задачу визначення зручної для користування простої нелінійної моделі, яка має нескладний аналітичний опис в усьому діапазоні змінних на відміну від кусково-поліноміального опису чи надто складного аналітичного.

В даному методі подання статичної кусково-аналітичної нелінійної характеристики об'єкта ідентифікації єдиною аналітичною моделлю весь діапазон цієї характеристики розбивають на припасовані одна до одної ділянки, для кожної ділянки визначають досить просту аналітичну модель "вхід – вихід", далі окремі ділянки об'єднують в одну для всього діапазону аналітичну модель "вхід – вихід" шляхом додавання добутків залежностей "вхід – вихід" окремих ділянок на аналітичні у всьому діапазоні вагові функції, які, залежно від змінного параметра n , наближаються до

одиниці для своєї ділянки і до нуля – для інших, зберігаючи властивість гладкості (аналітичності).

Приклад 1. Об'єкт – машина постійного струму (МПС). З експерименту отримано залежність електрорушійної сили E від струму збудження I_3 магнітного потоку індуктора (рис. 1а, табл. 1).

Таблиця 1 – Експериментально отримані значення в машині постійного струму

I_3	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4
E	1	10	35	75	110	130	140	148	155	167	175	187

На ділянці від $I_3 = 0$ до $I_3 = 0,7$ А залежність апроксимована кубічною параболою, на ділянці, де $I_3 \geq 0,7$ - лінійною залежністю:

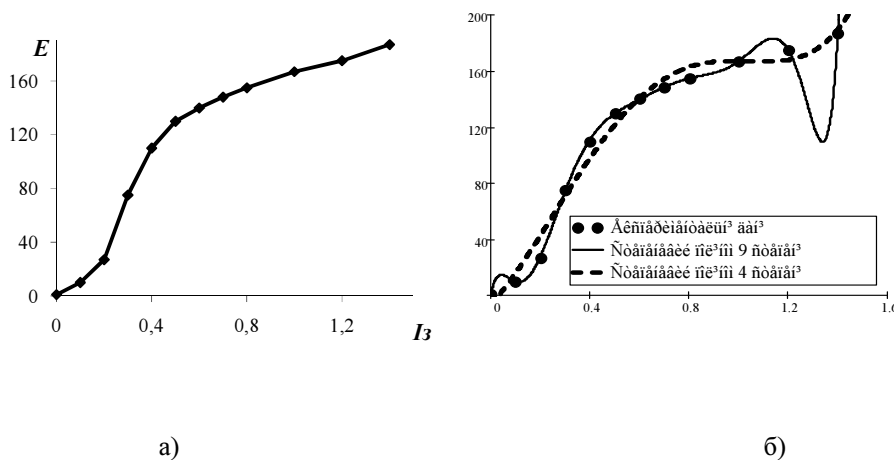
$$E(I_3) = \begin{cases} \beta_1 \cdot I_3^2 + \beta_2 \cdot I_3^3, & \text{якщо } I_3 < 0,7 \text{ А,} \\ \beta_3 + \beta_4 \cdot I_3, & \text{якщо } I_3 \geq 0,7 \text{ А.} \end{cases} \quad (1)$$

З умови мінімуму середнього квадрата (МНК) різниці між $E(I_3)$ і $E(I_c)$ визначено оцінки: $\beta_1 = 1209$, $\beta_2 = -1365$, $\beta_3 = 111,2$, $\beta_4 = 54,1$.

Якщо залежність $E(I_3)$ описати по МНК степеневим поліномом з відносною середньоквадратичною похибкою (СКП) не більше 1%, то отримуємо поліном дев'ятої степені:

$$E(I_3) = 0,2 + 827 \cdot I_3 + 16139 \cdot I_3^2 + 126457 \cdot I_3^3 + 466660 \cdot I_3^4 + 960531 \cdot I_3^5 - 1171465 \cdot I_3^6 + 842096 \cdot I_3^7 - 329636 \cdot I_3^8 + 54155 \cdot I_3^9, \quad (1)$$

для якого СКП складає 0,53%, але який в проміжку між експериментальними точками (рис. 1,б) має значну пульсацію.



а) – залежність $E(I_3)$ (точки) та кусково-поліноміальна апроксимація (лінія); б) – апроксимація $E(I_3)$ степеневим поліномом на всьому діапазоні I_3

Рисунок 1 – Графік характеристики МПС та апроксимація степеневими поліномами

Якщо зменшити степінь поліному з дев'ятої до четвертої, то суттєво зростає похибка апроксимації (СКП=8,1%).

Тобто бажану високу точність апроксимації можна забезпечити лише кусково-поліноміальною логіко-аналітичною моделлю (1).

Можна вдосконалити спосіб кусково-поліноміальної апроксимації незручними логіко-аналітичними моделями (1), якщо замінити їх на суто аналітичні моделі, що являють собою суму часткових аналітичних моделей помножених на аналітичні в усьому інтервалі змінні вагові функції $\eta(I_3)$:

$$E(I_C) = (\beta_1 \cdot I_C + \beta_2 \cdot I_C^3) \cdot \eta_1(I_C) + (\beta_3 + \beta_4 \cdot I_C) \cdot \eta_2(I_C), \quad (2)$$

$$\text{де } \eta_1(I_3) = (1 + (I_3/0,7)^n)^{-1}, \quad \eta_2(I_3) = (1 + (0,7/I_3)^n)^{-1}.$$

Тобто модель (3) матиме простіший за модель (2) вигляд:

$$E(I_C) = \frac{(\beta_1 \cdot I_C + \beta_2 \cdot I_C^3)}{1 + (0,43 \cdot I_C)^n} + \frac{(\beta_3 + \beta_4 \cdot I_C)}{1 + (0,7/I_C)^n}. \quad (3)$$

Для $n = 80$ модель $E(I_C)$ за рівнянням (4) співпадає із $E(I_3)$ з точністю до 1,9%. Залежність відносної СКП від ступеня n в моделі (4) подано в табл.2.

Таблиця 2 – Значення СКП в залежності від ступеня n в моделі (4)

n	2	4	6	8	10	20	40	80
СКП %	80	38	19	11	8	4	3	1,9

Аналітичність моделі (4) дозволяє, наприклад, аналітично визначити в будь-якій точці величину чутливості E до I_3 , пропорційну магнітній проникності μ середовища ДПС і використати її для побудови розімкненої системи автоматичного регулювання напруги ГПС або швидкості обертання ДПС, діагностувати стан магнітного кола індуктора МПС та інше.

Для вибору структури вагових функцій можна скористатися теорією частотних фільтрів (низько-, високочастотних, смугових), якщо замість частоти розуміти незалежну змінну (у даному прикладі I_3). Вмикаючи послідовно n фільтрів, отримуємо сумарну амплітудно-частотну характеристику близьку до характеристики ідеального фільтра. (у даному прикладі $\eta_1(I_3)$ дорівнює n послідовно ввімкненим низькочастотним фільтрам частоти ω ; $\eta_2(I_3)$ - високочастотним). Якщо треба виділити більше двох суміжних областей, додатково скористаємося смуговими фільтрами-ваговими функціями.

Приклад 2. На рис. 2 наведено сукупність (Q - H) - характеристик насоса Д6300-80-2 з числом обертів робочого колеса $Z_1 = 730$ об/хв та $Z_2 = 585$ об/хв для зовнішніх діаметрів робочого колеса $D_1 = 1020$ мм, $D_2 = 970$ мм та $D_3 = 915$ мм, де напір H подано у метрах [м], а витрату Q - у [м³/год].

Характеристика насоса має декілька характерних зон. Початкова точка відповідає роботі насоса на закриту засувку на напірному патрубку. У цьому режимі насос створює найбільший напір і споживає енергію, яка визначається механічними втратами та нагрівом рідини. Оптимальна точка напірної характеристики відповідає максимальному значенню ККД.

За теоремою Вейерштраса гладка залежність (рис. 2) може бути представлено степеневим поліномом:

$$H(Q, D, n) = H_0 + \sum_i \alpha_i Q_i + \sum_i \beta_i D_i + \sum_i \gamma_i n_i + \sum_i \sum_j \alpha_{ij} Q_i D_j + \sum_i \sum_j \beta_{ij} Q_i n_j + \dots + \sum_i \gamma_{ij} n_i^2. \quad (4)$$

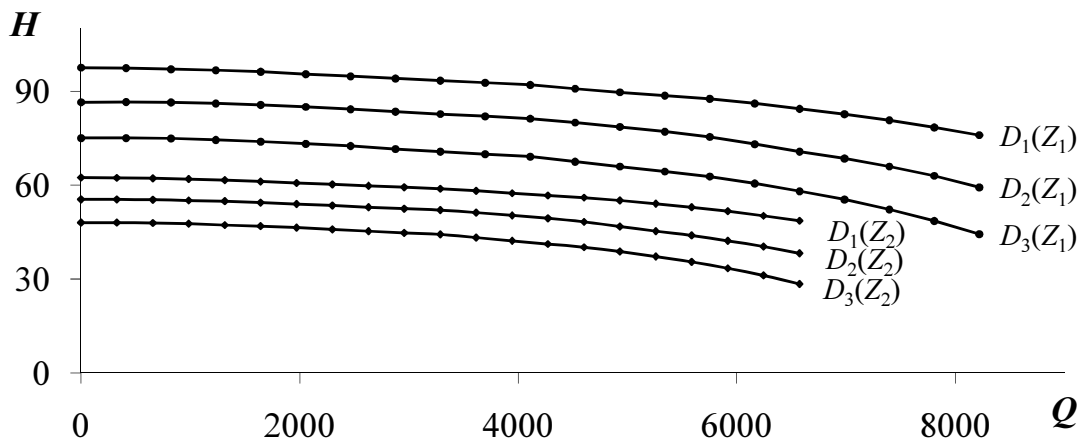


Рисунок 2 – Напірні характеристики насоса Д6300-80-2

Зрозуміло, що розмір такої моделі буде надто великим, однак його можна зменшити, відкинувши менш суттєві складові. У даній роботі така процедура здійснена без розв'язку по МНК системи нормальних рівнянь високої розмірності, шляхом побудови окремих поліноміальних моделей $H(Q, \alpha_i)$ для фіксованих значень D і Z , де α_i - вектор параметрів.

Тому для вирішення цієї проблеми без суттєвого ускладнення задачі у роботі застосовано наступний підхід. Залежність $H(Q, \alpha)$ подається сумою двох простих локальних залежностей, дія яких обмежується (подібно до частотних фільтрів) ваговими функціями $\eta(Q)$:

$$H(Q, \alpha) = H_1(Q_1, \alpha') \cdot \eta_1(Q) + H_2(Q_1, \alpha'') \cdot \eta_2(Q), \quad (5)$$

$$\text{де } H_1(Q_1, \alpha) = \alpha'_0 + \alpha'_1 Q + \alpha'_2 Q^2; \quad H_2(Q_1, \alpha) = \alpha''_0 + \alpha''_1 Q + \alpha''_2 Q^2;$$

$$\eta_1(Q) = \frac{1}{1 + (\bar{Q}/K_1)^n}; \quad \eta_2(Q) = \frac{1}{1 + (K_2/\bar{Q})^n}; \quad \bar{Q} = \frac{Q}{Q_{\max}};$$

$$\alpha'_i = \beta'_{0_i} + \beta'_{1_i} D + \beta'_{2_i} D^2; \quad \alpha''_i = \beta''_{0_i} + \beta''_{1_i} D + \beta''_{2_i} D^2; \quad \beta'_{ji} = \gamma'_{0_{ji}} + \gamma'_{1_{ji}} Z, \quad \beta''_{ji} = \gamma''_{0_{ji}} + \gamma''_{1_{ji}} Z.$$

Через селективну спроможність вагових функцій $\eta_i(Q)$, $i=1,2$, матриця МНК буде блочно-діагональною, тобто вектори α' та α'' окремої моделі (5) визначаються взаємно незалежно і їх розмірність незначна. Разом з тим зазначена модель спроможна з високою точністю подати залежність $H(Q)$ у всьому діапазоні Q і Z : помилка складає 0,15% від максимального значення H , тобто 0,154 метра.

А. Сильвестров, Л. Стинул, А. Скрынник

Построение математических моделей сложных нелинейных зависимостей «вход-выход» объектов автоматизации

В статье описан способ построения статической кусочно-аналитической нелинейной характеристики объекта идентификации единой аналитической моделью. В соответствии с которым весь диапазон этой характеристики разбивают на присоединенные один к одному участки. Зависимость «вход-выход» отдельных участков объединяют в одну на всем диапазоне аналитическую модель «вход-выход» путем суммирования произведений зависимостей «вход-выход» отдельных участков на аналитические во всем диапазоне весовые функции.

A. Bondarenko, G. Komar

Creation of mathematical models of difficult non-linear dependences "input-exit" of automation objects

In article the method of creation of a static piecewise-analytical nonlinear characteristic of object is described by single analytical model. All range of this characteristic break on connected one to one sections. Dependence "input-exit" of separate sections unite in one on all range analytical model. Sum the multiplying of dependencies "input-exit" separate sections on analytical in all range weight functions.

Одержано 17.09.12

УДК 681.518.5

Г.Н. Семенцов, проф., д-р техн. наук, В.М. Шавранський, асп.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Синтез логічної функції змінних системи контролю за газонафтопроявами під час процесу буріння свердловин

Синтезовано логічну функцію чотирьох змінних системи контролю газонафтопроявів, яка реагує на два і більше відхилень входних параметрів. Для побудови системи контролю складено структурну формулу, яка описує логічні функції, що повинні використовуватись даною системою. Процес синтезу системи проведено в декілька етапів: сформульовано умови роботи системи, вибрано входні і вихідні логічні змінні; для зображення логічних функцій скористалися діаграмами Вейча, які базуються на графічному представленні комбінацій змінних; отримавши алгебраїчний вираз, побудували логічну схему системи; побудували принципову електричну схему системи контролю.

нафтоназопрояви, логічна функція, діаграми Вейча, структурна схема, структурна формула

Газонафтоводопрояви (флюїдопрояви) і грифоутворення – це серйозний вид ускладнення при бурінні нафтових і газових свердловин, що вимагає тривалих і дорогих ремонтних робіт. Основні причини флюїдопроявів можна систематизувати, систематика показана на рис.1.

А. Сильвестров, Л. Стинул, А. Скрынник

Построение математических моделей сложных нелинейных зависимостей «вход-выход» объектов автоматизации

В статье описан способ построения статической кусочно-аналитической нелинейной характеристики объекта идентификации единой аналитической моделью. В соответствии с которым весь диапазон этой характеристики разбивают на присоединенные один к одному участки. Зависимость «вход-выход» отдельных участков объединяют в одну на всем диапазоне аналитическую модель «вход-выход» путем суммирования произведений зависимостей «вход-выход» отдельных участков на аналитические во всем диапазоне весовые функции.

A. Bondarenko, G. Komar

Creation of mathematical models of difficult non-linear dependences "input-exit" of automation objects

In article the method of creation of a static piecewise-analytical nonlinear characteristic of object is described by single analytical model. All range of this characteristic break on connected one to one sections. Dependence "input-exit" of separate sections unite in one on all range analytical model. Sum the multiplying of dependencies "input-exit" separate sections on analytical in all range weight functions.

Одержано 17.09.12

УДК 681.518.5

Г.Н. Семенцов, проф., д-р техн. наук, В.М. Шавранський, асп.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Синтез логічної функції змінних системи контролю за газонафтопроявами під час процесу буріння свердловин

Синтезовано логічну функцію чотирьох змінних системи контролю газонафтопроявів, яка реагує на два і більше відхилень входних параметрів. Для побудови системи контролю складено структурну формулу, яка описує логічні функції, що повинні використовуватись даною системою. Процес синтезу системи проведено в декілька етапів: сформульовано умови роботи системи, вибрано входні і вихідні логічні змінні; для зображення логічних функцій скористалися діаграмами Вейча, які базуються на графічному представленні комбінацій змінних; отримавши алгебраїчний вираз, побудували логічну схему системи; побудували принципову електричну схему системи контролю.

нафтоназопрояви, логічна функція, діаграми Вейча, структурна схема, структурна формула

Газонафтоводопрояви (флюїдопрояви) і грифоутворення – це серйозний вид ускладнення при бурінні нафтових і газових свердловин, що вимагає тривалих і дорогих ремонтних робіт. Основні причини флюїдопроявів можна систематизувати, систематика показана на рис.1.

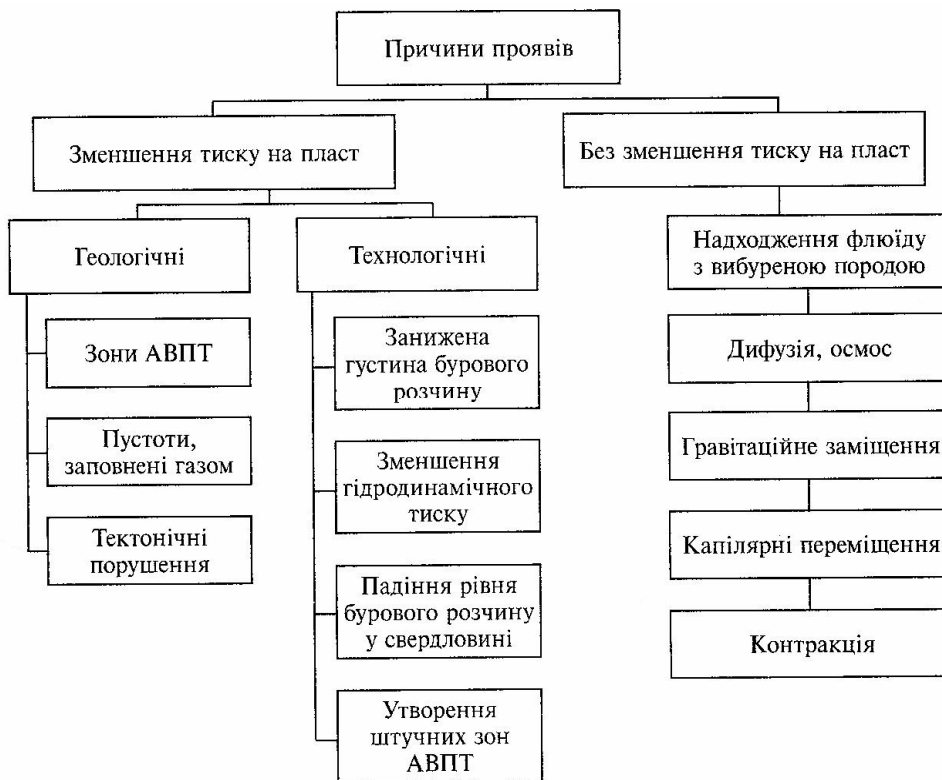


Рисунок 1 – Систематика причин флюїдопроявів у процесі буріння

Практикою буріння встановлено такі ознаки нафтогазоводопроявів[1]:

- збільшення об'єму (рівня) бурового розчину в ємкостях циркуляційної системи;
- підвищення витрати (швидкості) бурового розчину, що виходить із свердловини при незмінній подачі бурових насосів;
- зменшення проти розрахункового об'єму бурового розчину, що доливається в свердловину при спуску бурильної колони;
- підвищення газовмісту в буровому розчині;
- зростання механічної швидкості буріння;
- зміна показників властивостей бурового розчину;
- зміна тиску на бурових насосах.

Останні три ознаки можуть виникати не тільки в результаті проявів, але і за іншими побічними причинами.

Різде збільшення механічної швидкості проходки, так званий «стрибок проходки», в перехідній зоні свідчить, як правило, про швидке зростання аномальності тиску на вибої. Така ситуація може виникнути у випадку невеликої товщини перехідної зони, при безпосередній близькості пластів-колекторів з високим тиском флюїдів або в результаті впровадження долота у високонапірні залягання.

«Стрибок проходки» при бурінні потрібно розглядати як ознаку можливого флюїдопрояву.

Збільшення об'єму бурового розчину в приймальних ємностях є прямою ознакою притоку в свердловину пластового флюїду.

Найбільш удосконалені вимірювальні системи контролюють об'єм (рівень) в приймальних ємностях насосів і загальний об'єм бурового розчину в запасних ємностях показуючими приладами, що показують з одночасною реєстрацією.

Якщо відмічається поступлення газу в буровий розчин, то вміст його повинен контролюватися. Для цього повинні використовуватись станції контролю за бурінням.

Відомо, що густина пластових флюїдів, що поступають від проявів в свердловину, нижче густини бурового розчину. В зв'язку з цим існуючий раніше баланс тисків в кільцевому просторі і бурильних трубах порушується. Особливо це характерно для газопроявів. Проте оскільки кільцевий простір і бурильні труби представляють систему сполучених посудин, то відбувається новий перерозподіл тисків за рахунок зниження тиску на бурових насосах.

Якщо в свердловину поступив газ, то тиск на насосах постійно знижується. Зниження тиску у випадку поступлення великої маси газу може бути суттєвим.

При високих значеннях пластового тиску і продуктивності пласта можливе не зниження, а підвищення тиску в бурильних трубах. Підвищення тиску в цих випадках виникає безпосередньо в момент притоку флюїду і обумовлено швидкою зміною вибієних умов і ростом гідродинамічних опорів в затрубному просторі. Відмічається зв'язок між збільшенням тиску на стояку в початкові моменти викиду і його інтенсивністю.

Відомо [1], що більшість газонафтоводопроявів і викидів зв'язано із спуско-піднімальними операціями, під час яких знижується тиск на вибої і стає можливим поступлення пластових флюїдів в свердловину.

Під час підйому бурильної колони вибієний тиск зменшується в результаті зниження рівня бурового розчину в свердловині і коливань гідродинамічного тиску, що викликаний рухом труб.

В процесі спуску бурильної або обсадної колони ознака флюїдопроявів – збільшення об'єму бурового розчину в прийомній ємкості проти розрахункового об'єму витіснення. Якщо витіснений об'єм перевищує розрахунковий і в свердловині не припиняється перелив, то це свідчить про поступлення пластового флюїду в стовбур свердловини.

При поступленні пластового флюїду в стовбур свердловини, під час буріння відбувається зміна показників властивостей бурового розчину: густини, водовіддачі, в'язкості, статичної і динамічної напруги зсуву, питомого опору, концентрації хлоридів і ін. Потрібно мати на увазі, що причиною відхилення властивостей бурових розчинів від заданих значень можуть бути і інші фактори.

Встановлено [1,2], що при розбурюванні порід, які вміщують газ, підвищення механічної швидкості проходки приводить до збільшення вмісту газу в буровому розчині. Будь-яких ознак поступлення рідких флюїдів разом з вибуреною породою практично не відмічено.

Умови, що сприяють проникненню флюїдів в за колонний простір, вивчені недостатньо, також недостатньо вивчені і причини цього явища, а окремі толкування під час протирочиві. Природа за колонних проявів після цементування обсадних колон експериментально поки що слабо вивчена і відомі тільки спроби її пояснення на основі загальних представлень і промислового матеріалу.

Тому актуальним завданням є побудова системи контролю, яка б підказувала бурильщику про можливість флюїдопроявів. Для побудови системи контролю при флюїдопроявах, яка повинна подати сигнал бурильщику, треба скласти структурну формулу (аналітичний вираз). Ця формула описує логічні функції, що повинні виконуватися даною системою. Отже, треба задати деякі логічні функції, комбінація яких дасть змогу отримати логічну функцію всієї системи.

Такі способи завдання логічних функцій, як табличний і алгебраїчний не завжди зручні для повного представлення всіх зв'язків між змінними і функціями. Тому для зображення логічних функцій застосуємо діаграми Вейча, які базуються на графічному

представленні комбінацій змінних [3]. Цей метод зображення логічних функцій запозичений із теорії множин. Діаграма Вейча є прямокутною таблицею, розділеною на елементарні квадрати, кожному з яких відповідає певна комбінація усіх вхідних логічних змінних. Позначення вхідних змінних пишуться збоку та зверху і відносяться до всього рядка або стовпчика елементарних квадратів, які розташовані за ними. При цьому вважається, що значення відповідних вхідних змінних у цих квадратах дорівнюють 1, а в інших – 0. У кожному квадраті діаграми Вейча записується значення логічної функції, яка зображається даною картою.

Процес синтезу систем складається з декількох етапів:

- формулювання умов роботи системи вибору вхідних і вихідних логічних змінних;
- складання діаграми Вейча, яка відображає зв'язок між вхідними і вихідними змінними;
- отримання алгебраїчного виразу, побудови логічної схеми системи;
- побудови принципової електричної схеми системи.

Для розв'язання задачі синтезу системи скористаємось параметрами, які характеризують нафтогазопроявипри бурінні.

Сигнал бурильщику повинен подаватися у тому випадку, коли сигнал 1 з'являється більше ніж на одному із чотирьох виходів логічного пристрою. Якщо сигнали на виходах пристрою вважати за вхідні змінні (аргументи) логічної функції, яка синтезується, то умови задачі можна сформулювати так: подання сигналу повинно здійснюватися у тому випадку, коли дві, три, або більше змінних одночасно приймають значення 1. Стан виконавчого елемента x залежить лише від поточних миттєвих значень станів елементів системи керування [4].

Введемо вхідні змінні:

$$Q = \begin{cases} 1 - \text{витрата розчину на виході значно перевищує витрату на вході} \\ 0 - \text{витрата розчину на виході рівна витраті на вході} \end{cases}$$

$$\rho = \begin{cases} 1 - \text{густина розчину більша від заданого значення} \\ 0 - \text{густина розчину відповідає заданому значенню} \end{cases}$$

$$M = \begin{cases} 1 - \text{момент на роторі значно більший від номінального} \\ 0 - \text{момент на роторі рівний номінальному} \end{cases}$$

$$P = \begin{cases} 1 - \text{тиск бурового розчину зростає по відношенню до номінального} \\ 0 - \text{тиск бурового розчину рівний номінальному} \end{cases}$$

$$x = \begin{cases} 1 - \text{сигнал бурильщику} \\ 0 - \text{відсутність сигналу} \end{cases}$$

Отже, станам кожного елемента системи контролю співставлені одне із двох значень вхідної логічної змінної. Аналогічно виконавчому елементу поставлена у відповідність вихідна логічна змінна системи.

Після цього будуємо прямокутну таблицю, кількість квадратів, якої дорівнює кількості можливих наборів аргументів. Кожному квадрату таблиці надамо у відповідність певну конституанту одиниці, тобто характеристичну функцію одиниці або мінітерм n -го рангу. Причому це робимо так, щоб в сусідніх квадратах конституанти відрізнялися не більше, ніж на один співмножник.

Діаграму Вейча логічної функції чотирьох змінних, яка відповідає поставленим умовам наведено, на рис. 2.

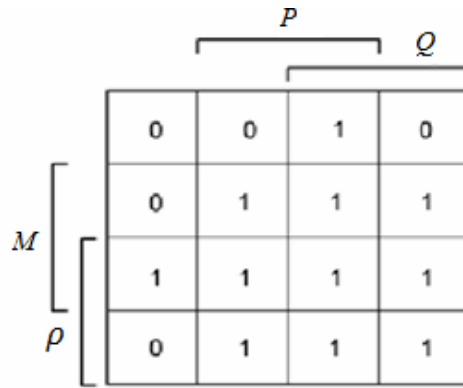


Рисунок 2 – Діаграма Вейчалогічної функції чотирьох змінних, яка відповідає умовам сформульованій задачі системи контролю

Діаграма Вейча побудована так, що в квадратах, які потрапляють на площі одиничних значень двох, трьох і чотирьох змінних Q, P, M, P , записані одиниці, в інших квадратах - нулі.

Ця діаграма дозволяє отримати алгебраїчний вираз для логічної функції, тобто структурну формулу схеми пристрою, яку можна записати двома способами: у нормальній диз'юнктивній формі, або нормальній кон'юнктивній формі, які реалізують ту саму логічну функцію.

Загальну структурну формулу пристрою з урахуванням виконавчого органу L запишемо так:

$$F = \varphi L, \tag{1}$$

де φ – структурна формула схеми без виконавчого органу;

F - структурна формула всієї системи[5,6].

Оскільки пристрій захисту розробляється для умов спрацювання, тоді для системи контролю функція може бути представлена у нормальній диз'юнктивній формі, тобто у вигляді суми добутоків вхідних змінних для кожного квадрата карти, який містить одиницю:

$$\begin{aligned} \varphi = & (\neg p \wedge Q \wedge \neg M \wedge P) \vee (\neg p \wedge \neg Q \wedge M \wedge P) \vee (\neg P \wedge Q \wedge M \wedge P) \vee (\neg P \wedge Q \wedge M \wedge \neg P) \wedge \\ & \vee (P \wedge \neg Q \wedge M \wedge \neg P) \vee (P \wedge \neg Q \wedge M \wedge P) \vee (P \wedge Q \wedge M \wedge P) \vee (P \wedge Q \wedge M \wedge \neg P) \vee \\ & \vee (P \wedge \neg Q \wedge \neg M \wedge P) \vee (P \wedge Q \wedge \neg M \wedge P) \vee (P \wedge Q \wedge \neg M \wedge \neg P), \end{aligned} \tag{2}$$

де P, Q, M, P - позначення замикаючих контактів;

P, Q, M, P - позначення розмикаючих контактів;

\vee - логічне АБО,

\wedge - логічне І,

\neg - логічне НІ.

Користуючись структурною формулою (2), синтезовано структурну схему пристрою (рис.3). Для побудови схеми використане зображення, яке прийняте для структурних схем в структурній теорії релейних схем. Одержана структурна схема задовольняє умови, які можна сформулювати у вигляді правила: ЯКЩО.... ТО....

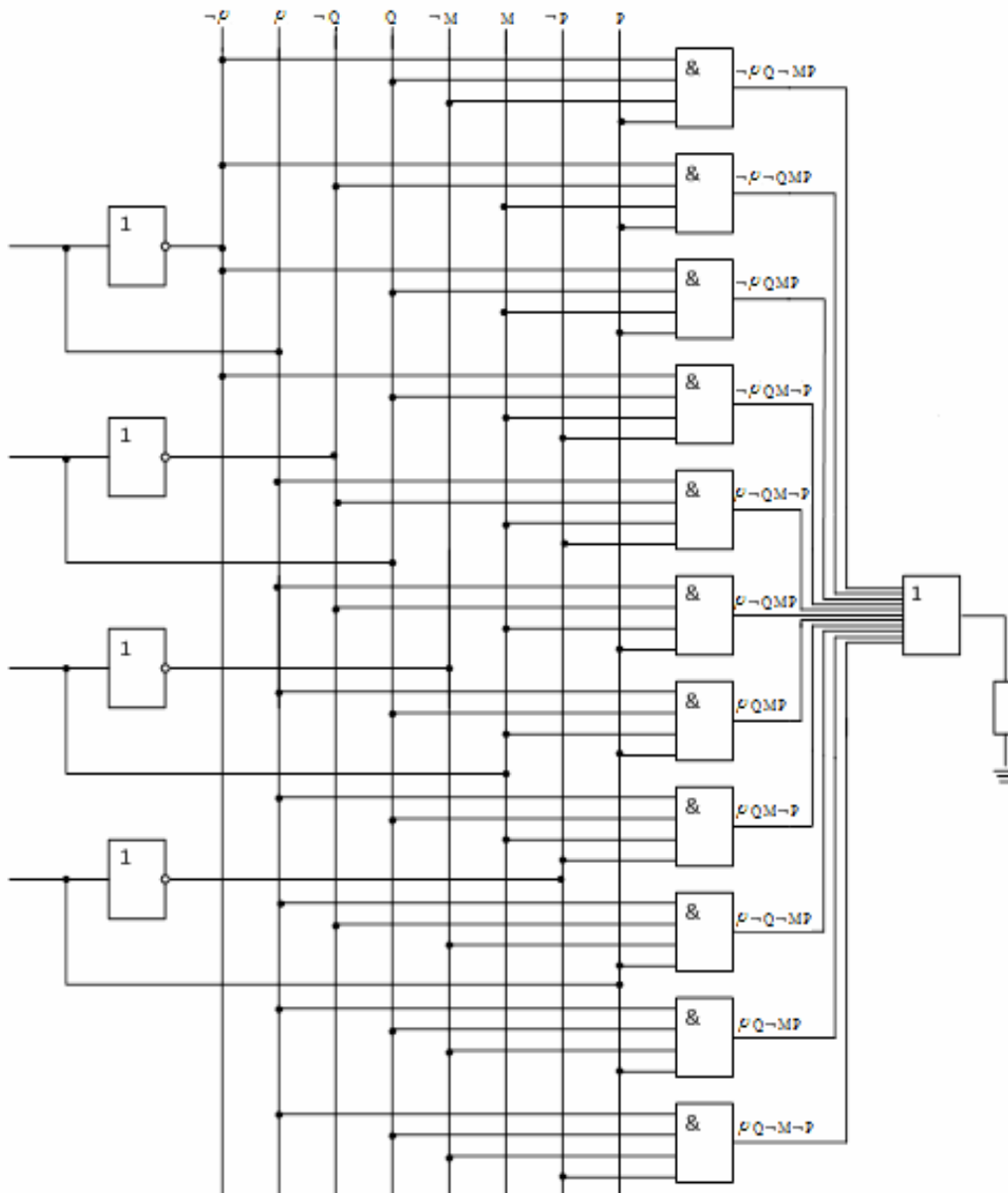


Рисунок 3 - Структурна схема безконтактного пристрою системи контролю чотирьох змінних

$$\begin{aligned}
 P: \text{ЯКЩО} = & (\neg P \wedge Q \wedge \neg M \wedge P) \vee (\neg P \wedge \neg Q \wedge M \wedge P) \vee (\neg P \wedge Q \wedge M \wedge P) \vee (\neg P \wedge Q \wedge M \wedge \neg P) \vee \\
 & \vee (P \wedge \neg Q \wedge M \wedge \neg P) \vee (P \wedge \neg Q \wedge M \wedge P) \vee (P \wedge Q \wedge M \wedge P) \vee (P \wedge Q \wedge M \wedge \neg P) \vee \quad (3) \\
 & \vee (P \wedge \neg Q \wedge \neg M \wedge P) \vee (P \wedge Q \wedge \neg M \wedge P) \vee (P \wedge Q \wedge \neg M \wedge \neg P),
 \end{aligned}$$

ТО “подається сигнал”.

Між формулою, яка визначає булеву функцію, і схемою, яка реалізує цю функцію, існує відповідність. Проте та сама функція може бути виражена різними формулами і тому її технічна реалізація неоднозначна.

Отже, із можливих схем треба відокремити найбільш просту з мінімальним числом структурних елементів шляхом отримання мінімальної форми булевої функції. Розглянемо задачу їх мінімізації. Кількість аргументів невизначених коефіцієнтів дорівнює чотирьом, тому використаємо найбільш простий метод мінімізації за допомогою карт Карно, що базується на таких властивостях цих карт[3]:

• області окремих змінних розподіляються на карті так, що при переході від одного елементарного квадрата до сусіднього змінюється значення лише однієї змінної від свого прямого значення до інверсного і навпаки. Тому математичний вираз контуру, який охоплює ці два квадрата, не залежить від цієї змінної;

• контур, що охоплює чотири елементарних квадрата, перетинає межі вже двох змінних і отже, математичний вираз, який йому відповідає не буде залежати від цих двох змінних.

Отже, чим більше квадратів охоплює контур, тим простіше буде математичний вираз, який відповідає йому. Тому для того, щоб отримати найбільш прості формули функції, необхідно скласти контури з максимально можливою площею квадратів, що містять одиницю.

Для мінімізації булевих функцій 4-х аргументів за методом Карно обводимо прямокутними контурами усі одиниці, а потім записуємо мінімізовану функцію у вигляді диз'юнкції логічних добутків, що описують ці контури – S-куби.

При створенні контурів дотримуються наступних правил:

- S-куб повинен бути прямокутним;
- S-куб повинен охоплювати квадрати лише заповнені одиницями;
- кількість квадратів всередині S-куба – цілий ступінь числа 2, тобто 1, 2, 4, 8, 16 ...;
- квадрати, заповнені одиницями, можуть одночасно входити у декілька контурів;
- при проведенні контурів нижній і верхній рядки таблиці вважаються сусідніми;
- кількість S-кубів повинна бути якомога меншою, а сам контур – якомога більшим.

Для визначення терма (логічного виразу), який описує будь-який контур, з'ясуємо, від яких змінних не залежить даний контур. При цьому контури повинні охоплювати одиниці карти і можуть накладатися.

Користуючись цими властивостями карт, проведемо мінімізацію отриманої структурної формули, як це наведено на рис. 4.

Бачимо, що усі квадрати з одиницею можна охопити шістьма контурами, які охоплюють по чотири квадрата. Контур 1 перетинає межі змінних P і M , отже, йому відповідає вираз (1). Контур 2 перетинає межі змінних P і Q і йому відповідає вираз і т.п.

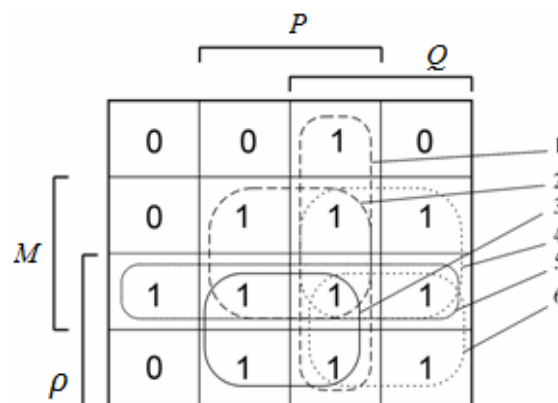


Рисунок 4 - Мінімізація структурної формули методом карт Карно

Оскільки контури складаються за умовами спрацювання і охоплюють лише одиниці, то функція записується в мінімальній диз'юнктивній формі так:

$$\varphi = (Q \wedge P) \vee (M \wedge P) \vee (\rho \wedge P) \vee (Q \wedge M) \vee (\rho \wedge M) \vee (\rho \wedge Q). \quad (4)$$

Після перетворень отримаємо:

$$\varphi = (\overline{P} \wedge (Q \vee M \vee P)) \vee (Q \wedge (M \vee P)) \vee (M \vee P). \quad (5)$$

Користуючись останньою структурною формулою, можна скласти структурну схему системи в контактному (рис.5) і безконтактному (рис.6) виконанні.

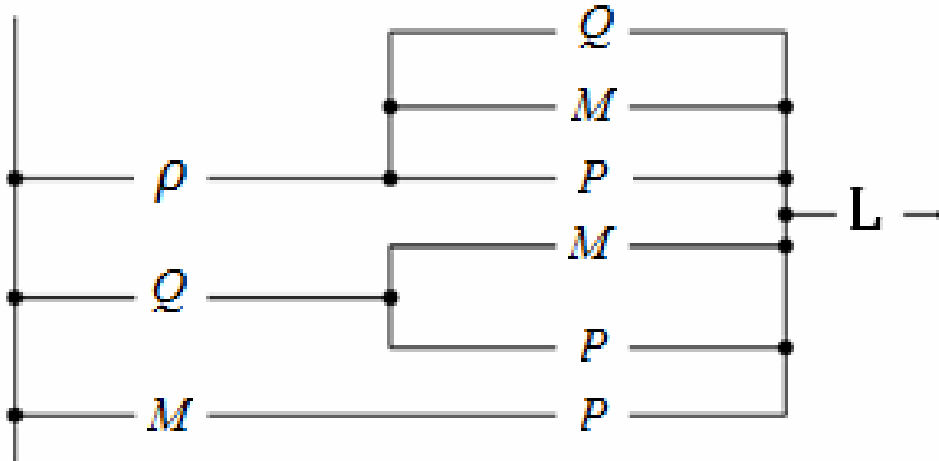


Рисунок 5 - Структурна схема системи в контактному виконанні

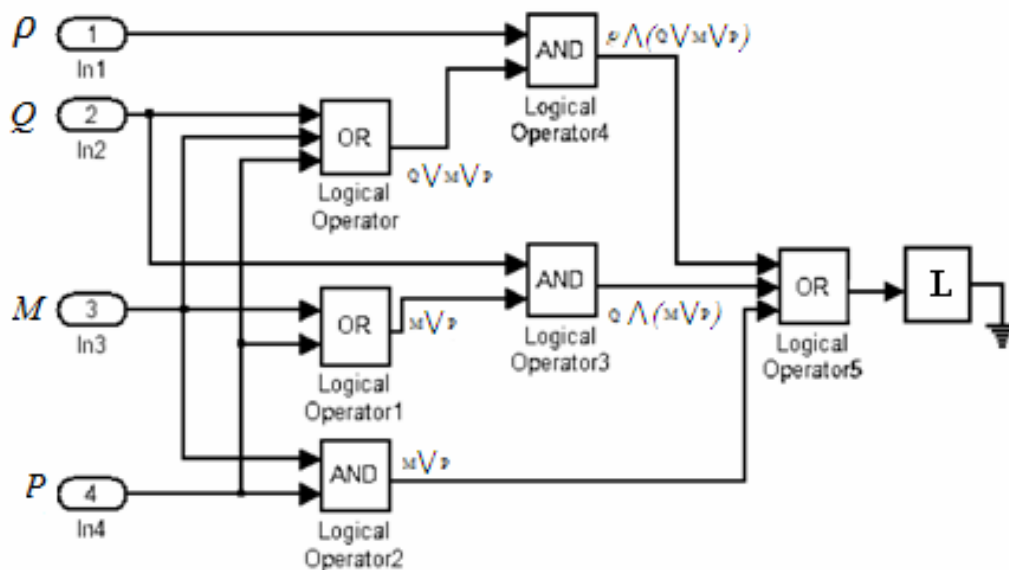


Рисунок 6 - Структурна схема системи контролю в безконтактному виконанні

Умовами спрацювання системи контролю є такі умови, при яких ланцюги, що впливають на систему, видають сигнал 1. Сигнал 1 означає вмикання, або вимикання потенціалу високого рівня.

Отже, методом діаграм Вейча синтезовано логічну функцію і структурну схему системи контролю, яка дозволяє спостерігати за флюїдопроявами під час процесу буріння нафтових і газових свердловин.

Список літератури

1. Степанов Н.В. Моделирование и прогноз осложнений при бурении скважин / Степанов Н.В. – М.: Недра, 1989. – 252 с.
2. Семенцов Г.Н. Автоматизація процесу буріння свердловин. [Навчальний посібник] /Семенцов Г.Н.. Івано-Франківськ: ІФДТУНГ, 1999. – 300 с.
3. Дурняк Б.Г. Основи проектування цифрових логічних пристроїв: Навчальний посібник /Б.В. Дурняк, І.Т. Стрепко, Г.Н. Тітов, Я.В. Тимошенко/-Львів: Видавництво Української академії друкарства,-2006.-212с.
4. Марченков С. С. Замкнутые классы булевых функций /Марченков С. С. — М.: Физматлит, 2000.
5. Кузнецов О. П., Адельсон-Вельский Г. М. Дискретная математика для инженера. — М.: Энергия, 1980. — 344 с.
6. К.Г. Самофалов/ Прикладная теория цифровых автоматов/К.Г. Самофалов, А.М. Романкевич, В.Н. Валуцкий, Ю.Г. Каневский, М.М. Пиневиич- Киев «Вища школа», 1987.

Г. Семенцов, В. Шавранський

Синтез логической функции переменных системы контроля при ганонафтопроях во время процесса бурения скважин

Синтезировано логическую функцию четырех переменных системы контроля нефтегазопроявлений, которая реагирует на два и больше отклонений входных параметров. Для построения системы контроля составлен структурную формулу, которая описывает логические функции, которые должны использоваться данной системой. Процесс синтеза системы проведено в несколько этапов: сформулированы условия работы системы, избранные входные и выходные логические переменные, для изображения логических функций воспользовались диаграммами Вейча, основанные на на графическом представлении комбинаций переменных получив алгебраическое выражение, построили логическую схему системы; построили принципиальную электрическую схему системы.

Нефтегазопроявления, логическая функция, диаграммы Вейча, структурная схема, структурная формула.

G. Sementsov, V. Shavransky

Synthesis of logical functions of the control variables at hazonaftoproyavah during the drilling

Synthesized logic function of four variables control system hazonaftopryaviv that responds to two or more variations of input parameters. To construct a control system composed structural formula that describes logic functions that must be used by this system. The process of synthesis carried out in several stages: formulate the conditions of the system, select input and output logical variables, logical functions for image used Veycha charts based on combinations of graphical variables, obtaining algebraic expression built logic circuit system built circuit diagram systems.

Naftonazoproyavy, logical function chart Veycha, block diagram, the structural formula.

Одержано 30.07.12

УДК 620.179.1

Е.А. Давыдов, старш. научн. сотр., канд. техн. наук, А.Л. Шекеро, научн. сотр.

Институт электросварки им. Е.О.Патона НАН Украины, г. Киев

М. Миховски, А. Алексиев

Институт механики Болгарской Академии наук, г. София

Д.В. Трушаков, доц., канд. техн. наук

Кировоградский национальный технический университет

Пространственно-временной анализ дифрагированных сигналов методом TOFD при автоматизированном неразрушающем контроле

В статье описаны исследования и выполнен пространственно-временной анализ дифрагированных сигналов методом TOFD при проведении автоматизированного ультразвукового неразрушающего контроля. Получена математическая модель дифрагированного сигнала от несплошности. Используя полученные выражения можно предложить конкретные решения пространственно-временной фильтрации для схем с применением большого количества преобразователей с учетом особенностей их расположения.

автоматизированная система, неразрушающий контроль, метод TOFD, дифрагированный сигнал

Введение. Все более возрастающие требования к качеству и надежности изготавливаемой продукции и оборудования, которое находится в эксплуатации, требуют использования точных методов и автоматизированных средств неразрушающего контроля (НК) для определения мест расположения дефектов, а также их конфигурации и геометрических размеров, которые позволят сделать вывод о степени их опасности.

Применение автоматизированных систем НК позволяет значительно повысить качество изготавливаемой продукции на предприятиях машиностроения, а также сократить затраты на проведение контроля. К особенностям современной дефектоскопии следует отнести то, что, несмотря на широкую номенклатуру серийно выпускаемых приборов НК, специфика для каждого отдельного случая (особенности структуры и свойств материала, формы контролируемого изделия, пожелания заказчика и т.п.) обуславливает необходимость дополнительных исследований и разработку специализированных приборов и систем НК. Кроме того, в ряде случаев такой путь является экономически более приемлемым для заказчика. Примером таких автоматизированных систем являются многоканальные установки для автоматизированного ультразвукового контроля труб НК-106, НК-180, НК 360, НК 362, разработанные Институтом электросварки им.Е.О.Патона НАН Украины и уже много лет успешно работающие в потоке производства труб большого диаметра Харцызского трубного завода и Выксунского металлургического завода [1], автоматизированная система дефектоскопии ответственных деталей гидронасоса объемного гидропривода ГСТ-90, который входит в состав аксиально-поршневых машин [2].

Постановка проблемы. Определение реальных размеров несплошностей является актуальной задачей дефектоскопии. Необходимость решения этой проблемы

является особенно важной во время эксплуатации объектов. Точные знания о характере и геометрических размерах несплошностей позволяют избегать необоснованных ремонтов, а также своевременно устранять потенциально опасные дефекты. Следует отметить, что качественный ремонт толстостенного оборудования в производственных условиях не всегда возможно выполнить технически, что делает последующую эксплуатацию оборудования менее надежной. Не имея убедительных данных о размерах несплошности, практически невозможно проводить какую-то иную техническую политику, кроме политики ремонтов для устранения обнаруженных несплошностей. Однако, сложившаяся практика не может быть изменена без разработки способов и средств неразрушающего контроля, реализующих дефектометрические подходы.

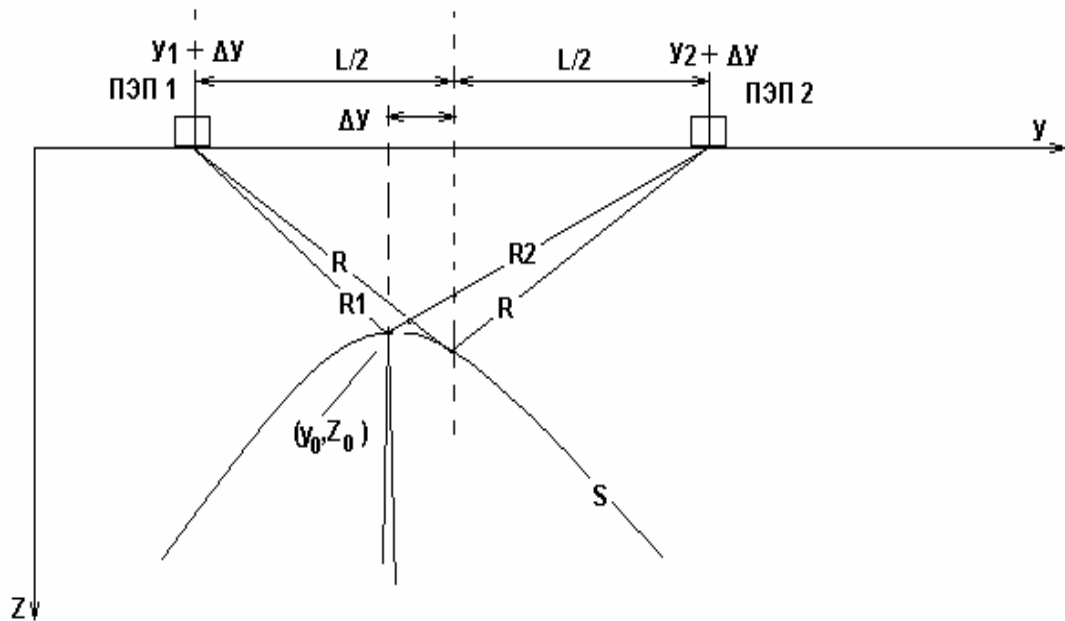
Разработка новых автоматизированных систем неразрушающего контроля на основе современной технологии ультразвукового контроля с использованием волн дифракции (метод «TOFD») позволяет производить измерения размеров трещиноподобных несплошностей с высокой точностью [3, 4]. Это связано с тем, что по своей сути этот метод является временным. Так, например, толщинометрия относится к группе временных методов контроля. Как известно, точность измерения толщины металла $\pm 0,1$ мм легко реализуется обычными толщиномераами в повседневной практике ультразвукового контроля. Однако в отличие от техники измерения толщины стенки металла измерение реальных размеров несплошностей при помощи волн дифракции связано с их весьма малыми амплитудами. И в этом как раз состоит принципиальная трудность приема дифракционных волн.

Целью исследований является проведение пространственно-временного анализа дифрагированных сигналов методом TOFD с целью увеличения точности измерения размеров дефектов при проведении автоматизированного ультразвукового неразрушающего контроля.

Описание исследований. Дифрагированный сигнал, по своей природе, имеет достаточно низкие энергетические характеристики по сравнению с первичным ультразвуковым сигналом. Отношение амплитуд в первом приближении можно оценить как $1/\sqrt{k}$, где k - волновое число. Кроме этого в процессе сканирования возникают сигналы отраженные структурными неоднородностями металла, которые, хотя и несут определенную информацию, но в данном случае являются шумом, на фоне которого становится достаточно сложно выделить полезный сигнал, дифрагированный на кромке трещины [5]. Особенно актуально это становится при работе с крупнозернистыми материалами, легированными сталями.

Возможность выделения вершины трещины с помощью дифрагированных волн основывается на взаимосвязи амплитудно-пространственных (временных) характеристик. А именно, на зависимости амплитуды сигнала волны, дифрагированной на вершине трещины от положения сканирующей системы преобразователей, а также зависимости определения положения вершины трещины от положения системы преобразователей [6]. Другими словами, одновременно анализируются кинематические и амплитудные характеристики дифракционных волн, что дает возможность выделить сигналы дифрагированных волн от сигналов, имеющих другие характеристики.

Рассмотрим ультразвуковую схему, состоящую из двух отдельных преобразователей (ПЭП). Один ПЭП излучает ультразвуковую волну, второй – принимает. Расстояние между преобразователями является постоянным и не меняется в процессе сканирования (рис. 1).



S - Рассчётный "след" вершины трещины с координатами (y_0, z_0) ;
R1, R2 - расстояния от вершины трещины до соответствующего ПЭП;
Δy - величина смещения средней точки между ПЭП от вершины трещины (y_0) ;
R = $(R1+R2)/2$

Рисунок 1 – Ультразвуковая схема для определения вершины трещины

Предположим, что вершина трещины имеет физические координаты (z_0, y_0) . При смещении системы преобразователей на Δy мы получим расчетные значения координат вершины трещины (y', z') , которые будут располагаться на определённой кривой $S_{(y_0, z_0)}$. Кривая $S_{(y_0, z_0)}$ является графиком функции

$$S_{(y_0, z_0)} = \begin{cases} z' = \sqrt{\left(\frac{\sqrt{(y1 - \Delta y)^2 + z_0^2} + \sqrt{(y2 + \Delta y)^2 + z_0^2}}{2} \right)^2 - \left(\frac{L}{2} \right)^2}, \\ y' = y1 + \left(\frac{y2 - y1}{2} \right) + \Delta y = y_0 + \Delta y \end{cases}, \quad (1)$$

где $y1$ и $y2$ – первоначальные положения излучающего и приемного преобразователя;

L - расстояние между преобразователями.

Геометрическое место точек, определяемое системой уравнений (1), есть парабола. В то время как отраженные или рассеянные ультразвуковые волны на элементах структуры металла будут иметь «следы» отличные от параболы. Однако этого признака для идентификации вершины трещины, очевидно, будет недостаточно.

Так, например, небольшая несплошность (пора, непровар и др.) будет иметь «след» практически неотличимый от следа вершины трещины. Поэтому для более достоверного выделения вершины трещины следует использовать амплитудную зависимость дифрагированных на ее кончике сигналов от положения системы преобразователей. Такая зависимость была теоретически определена и выражена в формуле акустического тракта. В данном случае, для простоты изложения и в виду

достаточной громоздкости аналитических формул, выражающих количественную зависимость амплитуды от положения системы ПЭП, будем обозначать эту зависимость для любой точки пространства (y, z) , в которой может находиться вершина трещины, в общем виде, как $F(\Delta y, y, z)$. Другими словами $F(\Delta y, y, z)$ определяет амплитудную зависимость на кривой $S_{(y, z)}$. Далее для точки (y, z) введём функцию, определённую на кинематической кривой $S_{(y, z)}$:

$$\Psi(\Delta y, y, z) = \frac{A(y', z')}{F(\Delta y, y, z)}, \quad (2)$$

где $A(y', z')$ - действительная амплитуда на кинематической кривой $S_{(y, z)}$, полученная в процессе сканирования.

Поскольку (y', z') однозначно определяется $(\Delta y, y, z)$, можно обозначить $A(y', z') = A(\Delta y, y, z)$. Если вершина трещины (z_0, y_0) совпадает с рассматриваемой точкой (y, z) , то при небольшом уровне шумов $\Psi(\Delta y, y_0, z_0) \approx 1$. В идеальном случае при отсутствии шума, который в реальных системах является неотъемлемой составляющей в сигнале, $\Psi(\Delta y, y_0, z_0) \equiv 1$. Обозначив шумовую составляющую в сигнале $A_{шум}$, можем записать $A(\Delta y, y, z) = A'(\Delta y, y, z) + A_{шум}(\Delta y, y, z)$ и следовательно $A'(y', z') = F(\Delta y, y, z)$.

Таким образом:

$$\Psi(\Delta y, y_0, z_0) = 1 + \frac{A_{шум}}{F(\Delta y, y_0, z_0)}. \quad (3)$$

Если вершина трещины (y_0, z_0) не совпадает с рассматриваемой точкой (y, z) , то (за исключением может быть нескольких точек) везде на кривой S :

$$\Psi(\Delta y, y, z) = \frac{A_{шум}}{F(\Delta y, y, z)}. \quad (4)$$

Рассмотрим структуру шума. В общем случае можно записать:

$$A_{шум} = A'_{шум}(\Delta y, y, z, t) + A''_{шум}(\Delta y, y, z). \quad (5)$$

Первая составляющая $A'_{шум}(\Delta y, y, z, t)$ является случайной знакопеременной величиной во времени. По своей природе это электрические наводки, тепловой, дробовой шум и т.п. (во многих случаях $A'_{шум}(\Delta y, y, z, t) = A'_{шум}(t)$). Накопленное значение для разнополярного случайного сигнала:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \int_0^t A'_{шум}(\Delta y, y, z, t) dt = 0. \quad (6)$$

Этой составляющей в рассмотрении можно пренебречь, точнее она исключается простым накоплением и усреднением сигнала.

Вторая составляющая шума $A''_{шум}(\Delta y, y, z)$ зависит от структуры материала объекта контроля. Основным источником шумовых ультразвуковых полей является наличие крупного зерна (к формированию такой кристаллографической структуры склонны некоторые высоколегированные стали) и металлургические загрязнения (как правило, это небольшие в доли миллиметров неметаллические включения, имеющие довольно равномерное распределение в металле) обычные для углеродистых сталей. Физическая природа такого шума объясняется повышенным рассеянием на зернах

материала и множественных включениях. Часть энергии ультразвуковой волны, которая рассеялась на различных границах зерен в разные моменты времени, попадет на приемный преобразователь. При этом результирующий сигнал определяется случайным соотношением фаз и амплитуд приходящих волн. Интерферируя между собой, рассеянные волны могут приводить к появлению сигналов больших, чем сквозной сигнал. Эта составляющая шума является наиболее сложно сепарируемой, поскольку её значение не зависит от времени, а определяется пространственными характеристиками, так же как и значения полезного сигнала. Будем называть такой шум структурным. Рассмотрим значения следующих функций с учетом (5) и (6):

$$\frac{1}{S} \int_S \lim_{T \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{T} \int_0^{\infty} \Psi(\Delta y, y_0, z_0) dt \right) \cdot dS = 1 + \frac{1}{S} \cdot \int_S \frac{A''_{шум}(\Delta y, y_0, z_0)}{F(\Delta y, y_0, z_0)} \cdot dS, \quad (7)$$

$$\frac{1}{S} \cdot \int_S \lim_{T \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{T} \int_0^{\infty} \Psi(\Delta y, y, z) \cdot dt \right) \cdot dS = \frac{1}{S} \cdot \int_S \frac{A''_{шум}(\Delta y, y, z)}{F(\Delta y, y, z)} \cdot dS, \quad (8)$$

где $S = \int_S dS$.

Выражение (7) является количественным выражением совпадения вершины трещины с рассматриваемой (анализируемой) точкой $(y, z) = (y_0, z_0)$, а (8) соответствует любой другой точке $(y, z) \neq (y_0, z_0)$ (не совпадающей с вершиной трещины).

Поскольку речь идет о шуме, то следует исключить ультразвуковые поля, образованные несплошностями материала, которые в свою очередь являются объектом выявления. В этом случае логично ожидать, что:

$$\int_S A''_{шум}(\Delta y, y, z) dS \rightarrow 0 \quad (9)$$

или, по крайней мере, к некоторому значению, не зависящему от конкретной точки (y, z) . Этот вывод основывается на случайном характере распределения источников рассеяния. Поэтому также:

$$\frac{1}{S} \cdot \int_S \frac{A''_{шум}(\Delta y, y_0, z_0)}{F(\Delta y, y_0, z_0)} \cdot dS \approx \frac{1}{S} \cdot \int_S \frac{A''_{шум}(\Delta y, y, z)}{F(\Delta y, y, z)} \cdot dS \rightarrow 0. \quad (10)$$

Отсюда следует признак совпадения координат рассматриваемой точки с координатами вершины (кромки) трещины:

$$\frac{1}{S} \int_S \lim_{T \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{T} \cdot \int_0^{\infty} \Psi(\Delta y, y_0, z_0) dt \right) \cdot dS = 1 + \frac{1}{S} \cdot \int_S \frac{A''_{шум}(\Delta y, y_0, z_0)}{F(\Delta y, y_0, z_0)} \cdot dS \approx 1 \quad (11)$$

в противном случае:

$$\frac{1}{S} \cdot \int_S \lim_{T \rightarrow \infty} \left(\int_0^{\infty} \Psi(\Delta y, y, z) \cdot dt \right) \cdot dS = \frac{1}{S} \cdot \int_S \frac{A''_{шум}(\Delta y, y, z)}{F(\Delta y, y, z)} \cdot dS \approx 0. \quad (12)$$

Применяя последовательно ко всем точкам пространства (В-скана) указанную процедуру и присваивая им соответствующие количественные значения можно определить наличие трещиноподобных дефектов и координаты вершин с большей вероятностью и точностью.

Выводы. Используя указанный механизм для различных параметров контроля (угол ввода, частота, геометрическое расположение преобразователей по отношению друг к другу), которые влияют на характер структурного шума, а затем усредняя эти результаты можно добиться еще большего снижения влияния структурных шумов.

Отметим некоторые полезные соображения при практическом использовании данной математической модели. В принципе, мы можем воспользоваться количественным аппаратом, полученным в предыдущем изложении. Однако расчётные значения в какой-то степени будут отличаться от реальных значений сигналов дифрагированных волн. Причиной тому могут быть не только погрешности из-за различных приближений при выводе формулы акустического тракта, но и в большей степени из-за отсутствия точных данных конструктивных характеристик преобразователей (геометрические размеры пьезопластины, призмы, используемые материалы и другие характеристики), а также некоторого отличия реальных трещин от идеальной модели. Поэтому на практике значения функции $F(\Delta u, u, Z)$ можно определять и табулировать на модельной трещине. В качестве модельной трещины может быть использована реальная трещина, образованная естественным путем или выполненная искусственно в образце из той же марки металла, что и у объекта контроля.

Рассмотренный механизм, по своей сути, является частной конкретизацией известных идей пространственно-временной фильтрации. На основе полученных зависимостей можно сконструировать конкретные решения пространственно-временной фильтрации для схем с применением большего количества преобразователей и (или) с особенностями их расположения, а также обобщить полученные решения для В-сканов на случай объемного анализа. Применение указанного механизма возможно только в автоматизированных системах с возможностью накопления результатов механического сканирования и последующей программной обработкой. Поэтому более подробное развитие идеи пространственно-временной фильтрации целесообразно лишь во взаимосвязи с конкретной программно-аппаратной реализацией оборудования и технологической задачей.

Список литературы

1. Неразрушающий контроль в Украине: Справочник / Под ред. В.А.Троицкого и Ю.Н.Посыпайко. – Киев: ИЭС им.Е.О.Патона НАН Украины. 2012. – 144 с.
2. Гамалий В.Ф., Серебренников С.В., Трушаков Д.В. Автоматизированная система дефектоскопии ответственных деталей гидронасоса. / Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2006. № 1. – С.27-32.
3. Технология оценки размеров несплошностей в сварных соединениях с применением дифрагированных волн. Научни Известия на НТСМ, №3, 2007. XXII Национална конференция с международно участие "Дефектоскопия`2007", Созопол, Conference Proceedings, 2007, с.24-31
4. ДСТУ CEN/TS 14751:2008 Зварювання. Використання дифракційно-часового методу (TOFD) для контролю зварних швів.
5. Методы акустического контроля / Н.П.Алешин, В.Е.Белый, А.Х.Вопилкин и др. – М.: Машиностроение, 1989. – 456 с.
6. Выбор оптимальных параметров дифракционно-временного метода ультразвукового контроля для повышения достоверности обнаружения трещиноподобных дефектов металла. Сборник научных докладов «Акустика», вып.10 / Союз по электронике, электротехнике и связи, Национальная секция по акустике, София, декабрь, 2008. - 125 с., С.90-100

Є. Давидов, А. Шекеро, М. Міховські, А. Алексієв, Д. Трушаков

Просторово-часовий аналіз дифрагованих сигналів методом TOFD при автоматизованому неруйнівному контролю

В статті описано дослідження і виконаний просторово-часовий аналіз дифрагованих сигналів методом TOFD при проведенні автоматизованого ультразвукового неруйнівного контролю. Отримана математична модель дифрагованого сигналу від несутільності. Використовуючи отримані вирази можливо запропонувати конкретні рішення просторово-часової фільтрації для схем з використанням великої кількості перетворювачів враховуючи особливості їх розташування.

E. Davydov, A. Shekero, M. Mihovski, A. Aleksiev, D. Trushakov

Space-time analysis of diffracted signal by TOFD method with automated non-destructive testing

In article are described the researches and carrying-out space-time analysis of diffracted signal by TOFD method with automated ultrasonic non-destructive testing. The mathematical model of diffracted signal from crack-type defect was receiving. Using received expression it is possible propose concrete solution of space-time filtering for scheme with large quantity transformer-assisted and take into account a properties of transformer position.

Одержано 17.09.12

УДК 681.518.52:004.891.3

В.О.Версаль, доц., канд. техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет

Ю.В.Версаль, керівник проекту

"Hollywood Aesthetics" BTL - Україна, м. Київ

Інтелектуальна система контролю фізіологічного стану тварин

Розглянуто аспекти діагностики фізіологічного стану корів. Запропоновано інтелектуальну систему контролю фізіологічного стану тварин, в основі роботи якої лежить нечітка модель діагностики фізіологічного стану лактуючих корів, доведено її адекватність.

фізіологічний стан, нечітка логіка, інтелектуальна система, модель діагностики, параметри стану, фазифікація, база знань, нечіткі логічні рівняння, адекватність

Протягом тривалого часу в молочному тваринництві залишається актуальною **проблема** ефективного контролю фізіологічного стану лактуючих корів (ФСЛК), найважливішим аспектом якого є адекватна діагностика маститу (запалення молочної залози) і стану статеві охоти (позитивної сексуальної реакції самки на самця), що стає причиною зниження якості отриманої продукції та термінів використання тварин. Діагностика фізіологічного стану тварин (ФСТ) – один з найбільш складних та інтелектуальних видів діяльності, що обумовлюється наявністю великої кількості різномірних параметрів стану тварини, що впливають на діагноз, і складністю побудови аналітичних залежностей, що пов'язують їх значення з типом діагнозу. На сьогоднішній день існує велика кількість моделей діагностики ФСЛК [1], проте вони

Є. Давидов, А. Шекеро, М. Міховські, А. Алексієв, Д. Трушаков

Просторово-часовий аналіз дифрагованих сигналів методом TOFD при автоматизованому неруйнівному контролю

В статті описано дослідження і виконаний просторово-часовий аналіз дифрагованих сигналів методом TOFD при проведенні автоматизованого ультразвукового неруйнівного контролю. Отримана математична модель дифрагованого сигналу від несущільності. Використовуючи отримані вирази можливо запропонувати конкретні рішення просторово-часової фільтрації для схем з використанням великої кількості перетворювачів враховуючи особливості їх розташування.

E. Davydov, A. Shekero, M. Mihovski, A. Aleksiev, D. Trushakov

Space-time analysis of diffracted signal by TOFD method with automated non-destructive testing

In article are described the researches and carrying-out space-time analysis of diffracted signal by TOFD method with automated ultrasonic non-destructive testing. The mathematical model of diffracted signal from crack-type defect was receiving. Using received expression it is possible propose concrete solution of space-time filtering for scheme with large quantity transformer-assisted and take into account a properties of transformer position.

Одержано 17.09.12

УДК 681.518.52:004.891.3

В.О.Версаль, доц., канд. техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет

Ю.В.Версаль, керівник проекту

"Hollywood Aesthetics" BTL - Україна, м. Київ

Інтелектуальна система контролю фізіологічного стану тварин

Розглянуто аспекти діагностики фізіологічного стану корів. Запропоновано інтелектуальну систему контролю фізіологічного стану тварин, в основі роботи якої лежить нечітка модель діагностики фізіологічного стану лактуючих корів, доведено її адекватність.

фізіологічний стан, нечітка логіка, інтелектуальна система, модель діагностики, параметри стану, фазифікація, база знань, нечіткі логічні рівняння, адекватність

Протягом тривалого часу в молочному тваринництві залишається актуальною **проблема** ефективного контролю фізіологічного стану лактуючих корів (ФСЛК), найважливішим аспектом якого є адекватна діагностика маститу (запалення молочної залози) і стану статеві охоти (позитивної сексуальної реакції самки на самця), що стає причиною зниження якості отриманої продукції та термінів використання тварин. Діагностика фізіологічного стану тварин (ФСТ) – один з найбільш складних та інтелектуальних видів діяльності, що обумовлюється наявністю великої кількості різномірних параметрів стану тварини, що впливають на діагноз, і складністю побудови аналітичних залежностей, що пов'язують їх значення з типом діагнозу. На сьогоднішній день існує велика кількість моделей діагностики ФСЛК [1], проте вони

мають ряд недоліків, основні з них - необхідність великих статистичних вибірок і складна інтерпретація результатів. Крім того, вони не пристосовані до роботи з нечіткими (лінгвістичними) даними, якими оперують ветеринари при постановці діагнозу на практиці. Строгу математичну формалізацію причинно-наслідкових зв'язків між параметрами стану тварини та її діагнозом дозволяє здійснити нечітка логіка. Досвід застосування нечіткої логіки для діагностики ФСТ [2, 3] вказує на перспективність даної методики, проте наявні розробки не забезпечують високої адекватності діагностування [2] або вирішують проблему лише частково [3].

Таким чином, постає **задача** побудови інтелектуальної системи контролю ФСТ, в основі роботи якої лежить модель діагностики ФСЛК на базі апарату нечіткої логіки.

Для **розв'язання поставленої задачі** необхідно провести ідентифікацію причинно-наслідкової залежності «входи (частинні параметри стану тварини) – вихід (діагноз)» [4] на основі комбінації вимірної інформації, додаткових даних та експертних знань.

Вхідні та вихідні змінні. Для визначення діагнозу ФСЛК (D) застосовуються наступні основні параметри стану тварини: продуктивність (y_1) та температурні показники по різних долям вимені (y_2, y_3, y_4, y_5):

$$D = f_D(y_1, y_2, y_3, y_4, y_5). \quad (1)$$

Для розрахунку продуктивності та температурних показників по різних долям вимені застосовуються наступні частинні параметри стану тварини: номер лактації (x_1), тривалість лактації (x_2); час доби (x_3); температура зовнішнього повітря (x_4); разовий надій молока (x_5); температура навколишнього повітря (x_6); температура молока з різних долей вимені (x_7, x_8, x_9, x_{10}):

$$y_1 = f_{y_1}(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5), \quad (2)$$

$$y_2 = f_{y_2}(x_3, x_6, x_7), \quad (3)$$

$$y_3 = f_{y_3}(x_3, x_6, x_8), \quad (4)$$

$$y_4 = f_{y_4}(x_3, x_6, x_9), \quad (5)$$

$$y_5 = f_{y_5}(x_3, x_6, x_{10}). \quad (6)$$

Тоді ієрархічну структуру моделі діагностики ФСЛК, яка лежить в основі роботи інтелектуальної системи контролю ФСТ, відобразимо деревом логічного виводу (рис. 1), що відповідає співвідношенням (1)-(6).

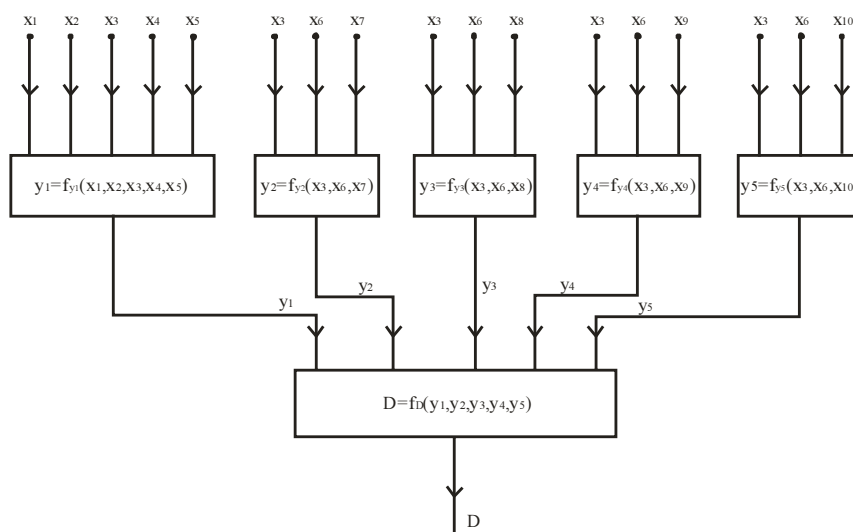


Рисунок 1 - Дерево логічного виводу

Фазифікація вхідних змінних. Для фазифікації вхідних змінних використовуються нечіткі лінгвістичні терми та їх функції належності [4, 5]. Суть фазифікації полягає в тому, що конкретному значенню вхідного частинного параметра стану тварини ставиться у відповідність сукупність значень функцій належності, які показують ступінь належності цього значення до відповідного нечіткого логічного терму. Частинні параметри стану тварини представлені в табл. 1. Оскільки серед їх множини є як кількісні, так і якісні, до того ж вони мають різну кількість термів, апроксимуємо їх трикутними функціями належності за методикою, описаною в [5] (рис. 2). Основні параметри стану тварини представлені в табл. 2. Таким чином, в результаті фазифікації для кожного з вхідних параметрів отримуємо вектор значень функцій належності.

Нечіткі бази знань. Для побудови баз знань використано експертну інформацію фахівців Інституту тваринництва Української академії аграрних наук, що представляє сукупність правил «ЯКЦО-ТО», де в першій частині правила (ЯКЦО) знаходиться набір конкретних значень вхідних параметрів, в другій (ТО) – конкретне значення вихідного параметра.

Таблиця 1 - Частинні параметри стану тварини

Параметр	Універсальна множина	Терми для оцінок
x_1	1 ÷ 3 у.о.	перша (I); друга (II); третя і старше (III).
x_2	1 ÷ 9 у.о.	перший етап (I); другий етап (II); третій етап (III); четвертий етап (IV); п'ятий етап (V); шостий етап (VI); сьомий етап (VII); восьмий етап (VIII); дев'ятий етап (IX).
x_3	1 ÷ 2 у.о.	ранок (P); вечір (B).
x_4	0 ÷ +35 °C	нормальна (H); жарка (Ж); дуже жарка (дЖ).
x_5	1,5 ÷ 10,9 л	дуже низький (дН); низький (Н); набагато нижче середнього (ннС); нижче середнього (нС); середній (С); вище середнього (вС); набагато вище середнього (нвС); високий (В); дуже високий (дВ).
x_6	0 ÷ +35 °C	нормальна (H); вище нормальної (вН); жарка (Ж); дуже жарка (дЖ).
x_7, x_8, x_9, x_{10}	+38,5 ÷ +41,6 °C	низька (Н); нижче середньої (нС); середня (С); вище середньої (вС); висока (В); дуже висока (дВ).

Таблиця 2 - Основні параметри стану тварини

Параметр	Терми для оцінок
y_1	нормальна (H); знижена (зН).
y_2, y_3, y_4, y_5	нормальний (H); високий (В).

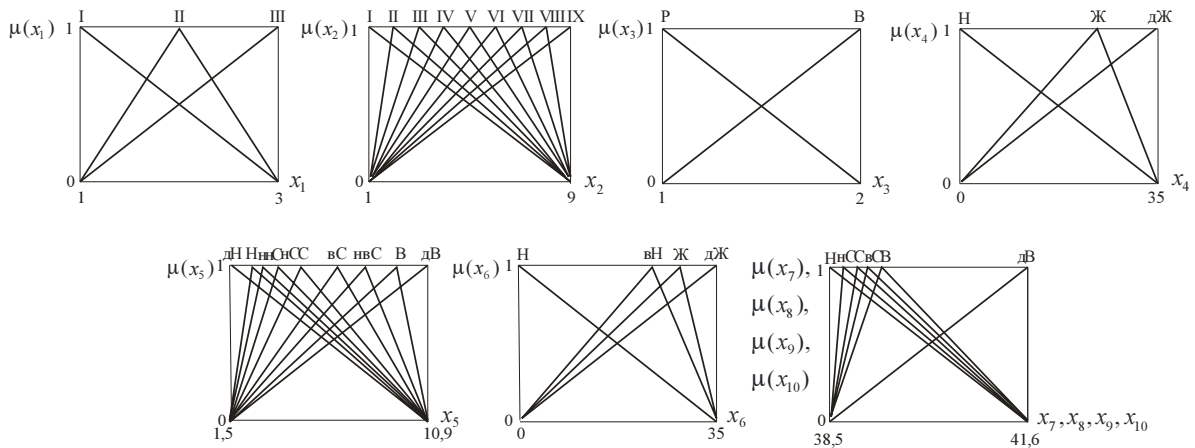


Рисунок 2 - Функції належності нечітких термів

Для моделювання залежностей основних параметрів стану тварини використовуємо експертні нечіткі бази знань типу Мамдані (табл. 3 і 4). Діагноз ФСЛК моделюємо з урахуванням продуктивності, температурних показників по різним долям вимені та трьох типів діагнозу:

- 1) тварина здорова;
- 2) у тварини стан статевої охоти;
- 3) тварина хвора маститом.

Нечітка база знань типу Мамдані для моделювання діагнозу ФСЛК наведена в табл. 5. В табл. 3-5 наведено лише фрагменти повних таблиць правил.

Таблиця 3 - Нечітка база знань для моделювання продуктивності

ЯКЩО					ТО
x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	у ₁
перша	перший	вечір	нормальна	середня	нормальна
друга	сьомий	вечір	жарка	нижче середнього	
третя	дев'ятий	ранок	нормальна	вище середнього	
перша	другий	ранок	дуже жарка	наб.ниж.середн.	знижена
друга	четвертий	вечір	жарка	низький	
третя	восьмий	ранок	нормальна	нижче середнього	

Таблиця 4 - Нечітка база знань для моделювання температурних показників по різним долям вимені

ЯКЩО			ТО
x ₃	x ₆	x _{7... X10}	у _{2...у5}
ранок	жарка	середня	нормальний
вечір	дуже жарка	висока	
ранок	нормальна	нижче середньої	високий
вечір	вище нормальної	середня	

Таблиця 5 - Нечітка база знань для моделювання діагнозу ФСЛК

ЯКЩО					ТО
у ₁	у ₂	у ₃	у ₄	у ₅	d
нормальна	нормальний	нормальний	нормальний	нормальний	здорова
нормальна знижена	високий	високий	високий	високий	статева охота
знижена	нормальний високий	нормальний високий	високий нормальний	нормальний нормальний	мастит

Кожний рядок бази знань можна перетворити у нечіткий логічний вислів «ЯКЩО-ТО» з використанням логічних операцій «ТА» всередині вислову і «АБО» для поєднання висловів у систему. Моделі діагностики ФСЛК відповідає система нечітких логічних рівнянь, записаних по базам знань з заміною у висловах значення вхідних параметрів на їх функції належності та перетворення логічних операцій «ТА» і «АБО» на операції максимуму (\cdot) і мінімуму (\wedge). Тобто, для наведеного фрагменту бази знань з табл. 5 (рядок 4), нечітке логічне рівняння матиме вигляд:

$$\mu^{d_4}(D) = [\mu^H(y_1) \cdot \mu^B(y_2) \cdot \mu^B(y_3) \cdot \mu^B(y_4) \cdot \mu^B(y_5)] \vee [\mu^{3H}(y_1) \cdot \mu^B(y_2) \cdot \mu^B(y_3) \cdot \mu^B(y_4) \cdot \mu^B(y_5)]. \quad (7)$$

На основі системи нечітких логічних рівнянь виконується нечіткий логічний висновок, в результаті якого отримуємо множину \tilde{D} , тобто деяку сукупність значень діагнозу ФСЛК.

Дефазифікація вихідного параметра. Дефазифікація вихідного параметра, тобто перехід від нечіткої множини до конкретного значення, виконуємо за допомогою метода центра ваг [5]:

$$d = \frac{\sum_{j=1}^m [d + (j-1) \frac{\bar{d} - d}{m-1}] \mu^{D_j}(d)}{\sum_{j=1}^m \mu^{D_j}(d)}, \quad (8)$$

де m – кількість термів змінної d ($m=3$);

$\bar{d}(d)$ - нижнє (верхнє) кількісне значення змінної d ;

$\mu^{D_j}(d)$ - функція належності змінної d нечіткому терму D_j .

Структура інтелектуальної системи контролю ФСТ. Узагальнюючи проведені дослідження, будуємо структуру інтелектуальної системи контролю ФСТ (рис. 3). Система працює наступним чином: в процесі доіння під управлінням мікроконтролера інформація з вимірювальних каналів зчитується і подається на ЕОМ, де, на основі вимірної інформації і додаткових даних (поступають при активації каналу ідентифікації), реалізується модель діагностики ФСЛК.

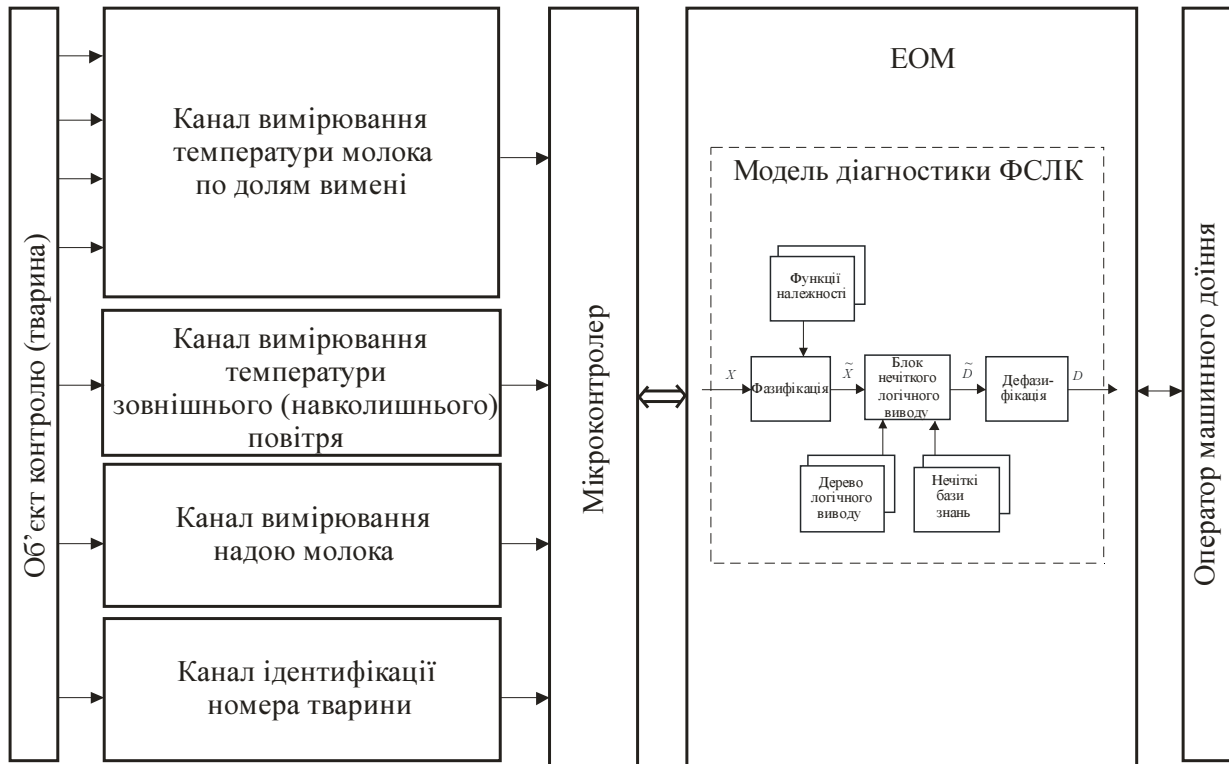


Рисунок 3 - Структура інтелектуальної системи контролю ФСТ

Адекватність діагностики ФСЛК. Адекватність діагностики, тобто відповідність результатів роботи інтелектуальної системи (системний діагноз) реальному ФСЛК (ветеринарний діагноз) визначається двома основними факторами: якістю функцій належності і якістю нечіткої бази знань [5]. Порівняння системного і ветеринарного діагнозів проводилося на основі даних Державного підприємства «Дослідне господарство імені 9 Січня Полтавського інституту агропромислового виробництва імені М.І. Вавілова Української академії аграрних наук». Вибірка складала 180 корів з верифікованими діагнозами, з них 175 (97 %) системою поставлено вірний діагноз, що доводить її високу адекватність. Фрагмент порівняння представлено в табл.6, де: x_i^* , $i = \overline{1,10}$ - значення частинних параметрів стану тварини; $\mu(d_j)$ - значення функцій належності діагнозів $d_1 \div d_3$, обчислених за допомогою інтелектуальної системи контролю ФСТ.

Висновки. В статті наведено побудову інтелектуальної системи контролю ФСТ, в основі роботи якої лежить модель діагностики ФСЛК, на базі апарату нечіткої логіки. Вона представляє собою систему нечітких логічних рівнянь у вигляді правил «ЯКЩО-ТО», що пов'язують функції належності вхідних і вихідних змінних. Переваги запропонованого методу заключаються у відмові від великих статистичних вибірок, легкій інтерпретації результатів і можливості роботи з нечіткими даними. Запропонована система може знайти застосування в автоматизованих доїльних системах молочних ферм та комплексів. Подальший розвиток досліджень варто спрямувати на інтелектуалізацію процесів оптимального управління стадом.

Таблиця 6 - Оцінка адекватності діагностики

Параметри і діагнози	Тварини, ідентифікаційний номер UA21000						
	79701	79734	79789	79833	80113	80270	80407
x_1^*	1	3	2	6	1	4	3
x_2^*	6	3	3	6	9	4	7
x_3^*	P	B	P	P	B	B	P
x_4^*	15	22	28	22	1	4	35
x_5^*	6,9	5,8	6,5	4,8	3,4	5,5	4
x_6^*	15	22	28	22	1	4	35
x_7^*	38,6	38,9	39,8	38,8	38,5	39,4	41,2
x_8^*	38,6	38,9	39,8	38,8	38,5	39,4	39,2
x_9^*	38,6	38,9	39,8	39,5	38,5	39,4	39,2
x_{10}^*	38,6	38,9	39,8	39,5	38,5	39,4	39,2
$\mu(d_1)$	0,56	0,85	0,64	0,56	0,94	0,7	0,16
$\mu(d_2)$	0,1	0,85	0,72	0,68	0	0,75	0,16
$\mu(d_3)$	0,1	0,63	0,58	0,73	0	0,67	0,18
Системний діагноз	d_1	d_1, d_2	d_2	d_3	d_1	d_2	d_3
Ветеринарний діагноз	d_1	d_2	d_2	d_3	d_1	d_2	d_3

Список літератури

- 1 De Mol R.M. Automated detection of oestrus and mastitis in dairy cows.: PhD thesis / R.M. De Mol. - Wageningen, 2000. - 177 pp.
- 2 De Mol R.M. Application of fuzzy logic in automated cow status monitoring/ R.M. De Mol, W.E. Woldt // Journal of dairy science. – 2001. - № 84. – P. 400-428.
- 3 Cavero D. Mastitis detection in dairy cows by application of fuzzy logic / D. Cavero, K.-H. Tölle, C. Duxadé, J. Krieter // Livestock science. – 2006. - № 105. – P. 207-213.
- 4 Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети. – Винница: Универсум. – Вінниця, 1999. – 320 с.
- 5 Ротштейн А.П. Медицинская диагностика на нечеткой логике. – Винница: Континент-ПРИМ, 1996. – 132 с.

В. Версаль, Ю.Версаль

Интеллектуальная система контролю физиологического состояния животных

Рассмотрены аспекты диагностики физиологического состояния коров. Предложена интеллектуальная система контроля физиологического состояния животных, в основе работы которой лежит нечеткая модель диагностики физиологического состояния лактирующих коров, доказана ее адекватность.

V.Versal, J.Versal

The intellectual animals' physiological state control system

The aspects of cows' physiological state diagnostics are observed. The intellectual animals' physiological state control system, in the work's base of which is fuzzy model of lactating cows' physiological state diagnostics, is proposed, its adequacy is proved.

Одержано 17.09.12

УДК 728.1

І.В. Савеленко, асист., П. Г. Плешков, доц., канд. техн. наук, С.В. Серебренніков, доц., канд. техн. наук, І.О.Переверзєв, доц., канд. техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет

Автоматизоване регулювання режиму місцевого опалення при неякісному централізованому теплопостачанні

Наведено результати енергетичного аудиту об'єктів бюджетної сфери, виявлено наявність «перепалів» та «недопалів» в системі централізованого теплопостачання. Розроблено автоматизовану систему керування температурним режимом в приміщеннях об'єктів.

енергетичний аудит, температурний режим, теплоносій, автоматизована система керування

Вступ. Житлово-комунальний сектор посідає чільне місце у загальному споживанні теплової енергії. Впровадження систем обліку фактичного обсягу енергоспоживання призводить до 40% економії енергії [1] за рахунок більш ощадливого ставлення споживача до її використання. Подальшої економії та значного підвищення комфортності можна досягти шляхом зменшення втрат теплової енергії через огорожуючі конструкції та модернізації систем теплопостачання за рахунок застосування засобів автоматичного регулювання систем опалення.

Аналіз досліджень та публікацій. В [2] на основі аналізу зростаючих витрат на енергетичні ресурси (особливо на теплопостачання), запропоновано заходи з термомодернізації будівель та наголошується на необхідності дотримання відповідності теплотехнічних показників будівель нормативним вимогам.

Аналіз впливу величини витрати теплоносія на температуру в середині приміщення [3] показує, що дискретне місцеве регулювання напірних характеристик в живильному трубопроводі шляхом встановлення запірних шайб сприяє додержанню температурного графіка теплопостачання.

У централізованих системах теплопостачання як теплоносій використовується перегріта вода, максимальна температура якої при подачі в системи опалювання житлових і суспільних будівель обмежується значеннями 95...105°C [1]. Для зниження температури мережевої води найбільше застосування отримали водострумний елеватор або регулюючі клапани. Елеватори встановлюються тільки в системах із залежним приєднанням, що є характерним для більшості об'єктів бюджетної сфери. Регулюючі клапани використовуються в системах як із залежним, так і із незалежним приєднанням до теплової мережі. Основним недоліком елеватора є неможливість при постійному коефіцієнті змішення забезпечити пропорційне регулювання для забезпечення мінімальних температур (60...70°C) мережевої води в системі гарячого водопостачання.

Керування системою індивідуальної корекції параметрів теплоносія дозволить вирівняти температуру в будівлях в залежності від надходжень сонячної радіації та їх географічної орієнтації. Відсутність контролю в системі індивідуального керування призведе до розбалансування теплової системи будинку.

Оскільки при централізованому регулюванні неможливо врахувати індивідуальні особливості огорожуючих конструкцій всіх приєднаних споживачів, то в таких системах тепlopостачання неминуче виникає проблема «перепалів» та «недопалів».

Метою роботи є підвищення ефективності систем місцевого опалення в умовах нестабільного режиму роботи централізованого тепlopостачання за рахунок впровадження автоматизованих систем керування температурою теплоносія.

Матеріал і результати дослідження. За результатами енергетичних аудитів ряду навчальних закладів бюджетної сфери, проведених нами у складі спеціалізованої групи енергодосліджень та енергозбереження при КНТУ, виявлено значні відхилення температури теплоносія від нормативних значень згідно температурному графіку протягом опалювального періоду. Характер цих невідповідностей, наприклад, для Світловодського коледжу, показаний на рис. 1; він свідчить про неефективну роботу тепlopостачальної організації.

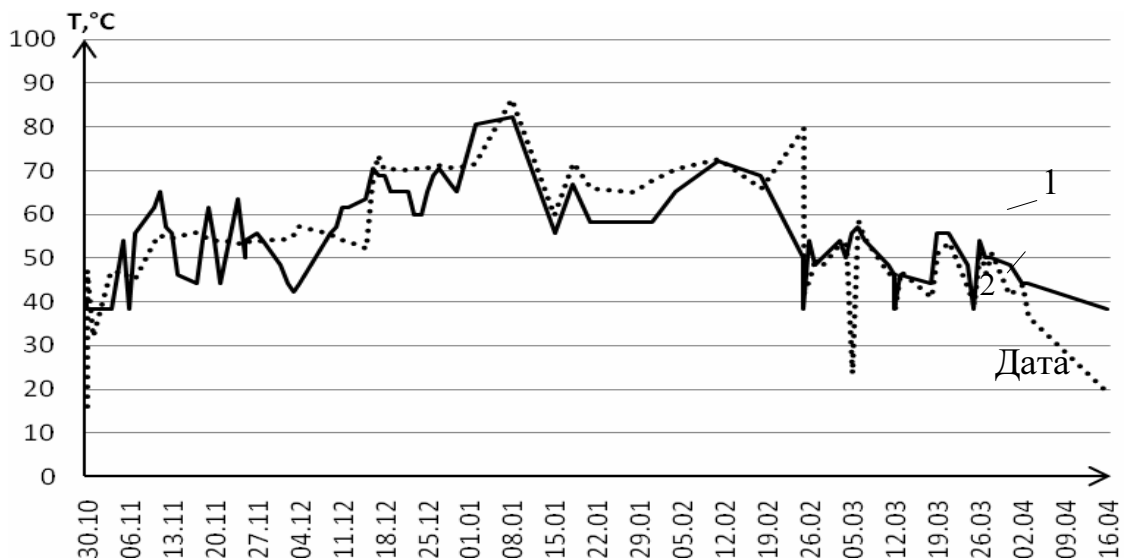


Рисунок 1 - Динаміка температури теплоносія протягом сезону 2010/2011 року: реального (крива 1) та згідно нормативного графіку (крива 2)

Видно, що характер температурних графіків на рис. 1 є аналогічним, проте має місце зміщення графіків один відносно другого, що вказує на інерційність централізованих теплових мереж і відсутність засобів ефективного централізованого керування параметрами теплоносія.

На рис.2 показано степiнь відхилень температури теплоносія від нормативних, видно, що відхилення досягають неприпустимо великих значень. Це свідчить про неефективність використання теплової енергії як в плані «перепалів» (наприклад, до 30°C для 24.02.2011 року), так і «недопалів» (наприклад, до -35°C для 05.03.2011 року).

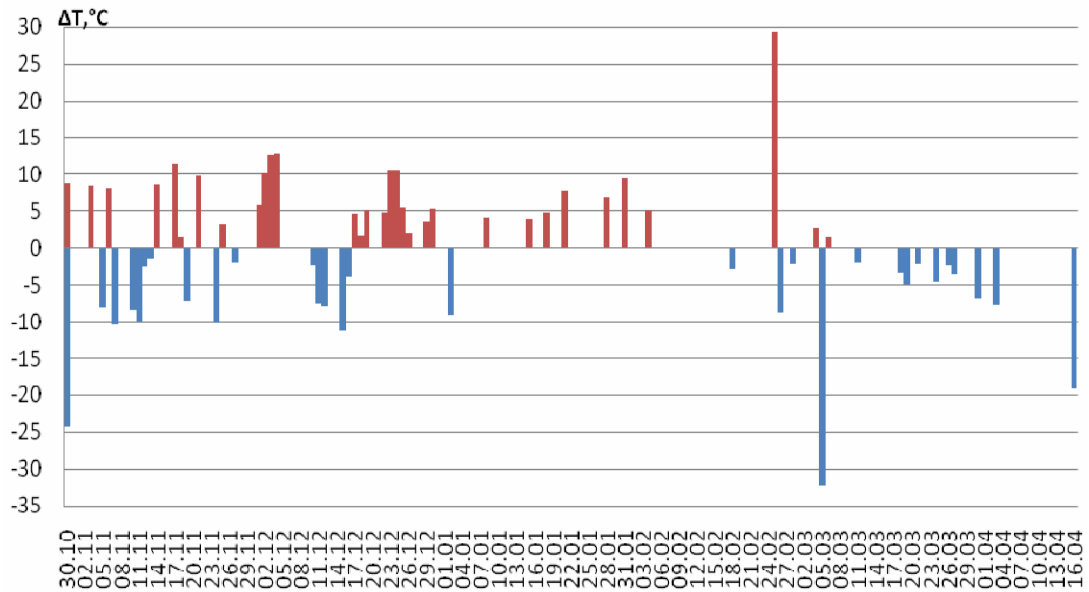


Рисунок 2 - Відхилення температури теплоносія протягом опалювального сезону 2010-2011 р. від нормативного значення

На рис. 3 представлений розкид температур теплоносія відносно нормативного графіку. Лінійна апроксимація розкиду дала можливість оцінити діапазон розходжень для прийняття рішення щодо необхідності застосування автоматизованої системи керування (АСК) температурою теплоносія на місцевому рівні.

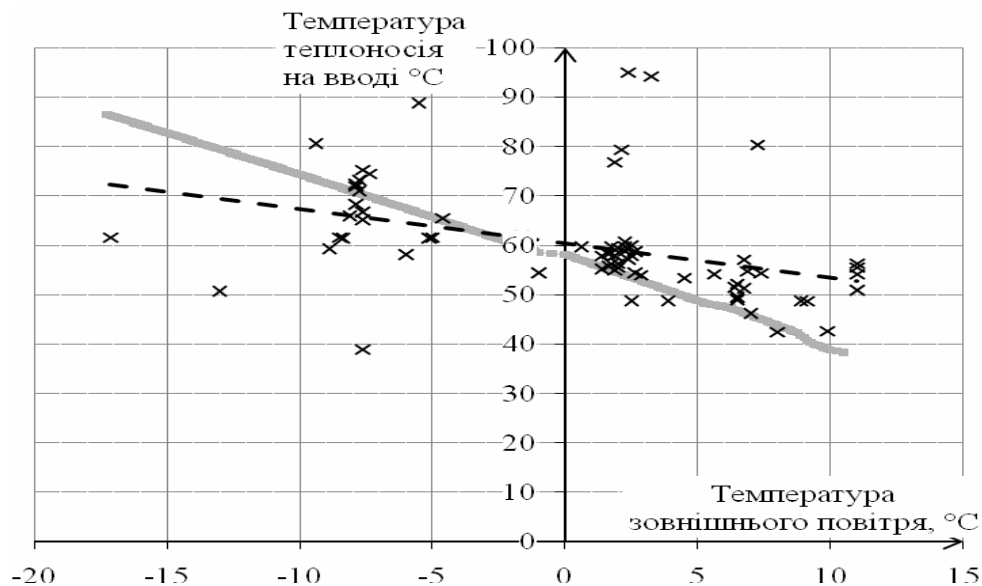


Рисунок 3 - Розкид температур теплоносія (точки x), апроксимований прямою 1, відносно нормативних значень на ввіді (крива 2)

Аналіз даних з рис. 3 показав, що за від’ємних температур зовнішнього повітря від -17°C до -3°C спостерігаються «недопали», при цьому, чим нижча температура, тим більший «недопал». Натомість, в усьому діапазоні додатних температур повітря в системі опалення виникають «перепали». Наприклад, на початку опалювального сезону 3.11.2010р при температурі зовнішнього повітря $t_{\text{зовн}}=+10^{\circ}\text{C}$ – температура теплоносія в

подаючому трубопроводі мала би бути $t_{\text{норм}} = +38,3^{\circ}\text{C}$, натомість реальна температура теплоносія становила $t_1 = +48,7^{\circ}\text{C}$. Внаслідок цього споживач витрачав додаткові кошти на непотрібний «перепал», відновлюючи комфортну температуру у приміщеннях, наприклад, за допомогою відкриття вікон.

Згідно [4] енергопостачальна організація має забезпечити безперебійний відпуск теплоти споживачам за умови, що відхилення температури ΔT не перевищуватиме $\pm 3^{\circ}\text{C}$, а відхилення за кількістю теплоти - 10%. Якщо параметри теплоносія не відповідають зазначеним вимогам, енергопостачальна організація повинна виплачувати споживачу штраф у розмірі 25% від вартості відпущеної теплоти.

Аналіз розбіжностей між нормативною та реальною температурами теплоносія протягом 2008-2011 років приведений на рис. 4.

З графіків на рис. 4 випливає, що ΔT між нормативним та реальним графіком теплоносія випадає за допустимі межі відхилень температур $\pm 3^{\circ}\text{C}$, що вказує на наявність «перепалів» в системі опалення.

Прослідковується негативна тенденція до зростання ΔT – з 2008 по 2011 рік ΔT зросло з 39 до 81 %. Порівняння з даними метеорологічних спостережень засвідчує, що тенденція до зростання ΔT не викликана коливаннями зовнішньої температури. Фактори, які формують перепали не залежать від індивідуальних особливостей споживача або його теплової мережі, вони викликані порушенням режиму роботи теплової системи.

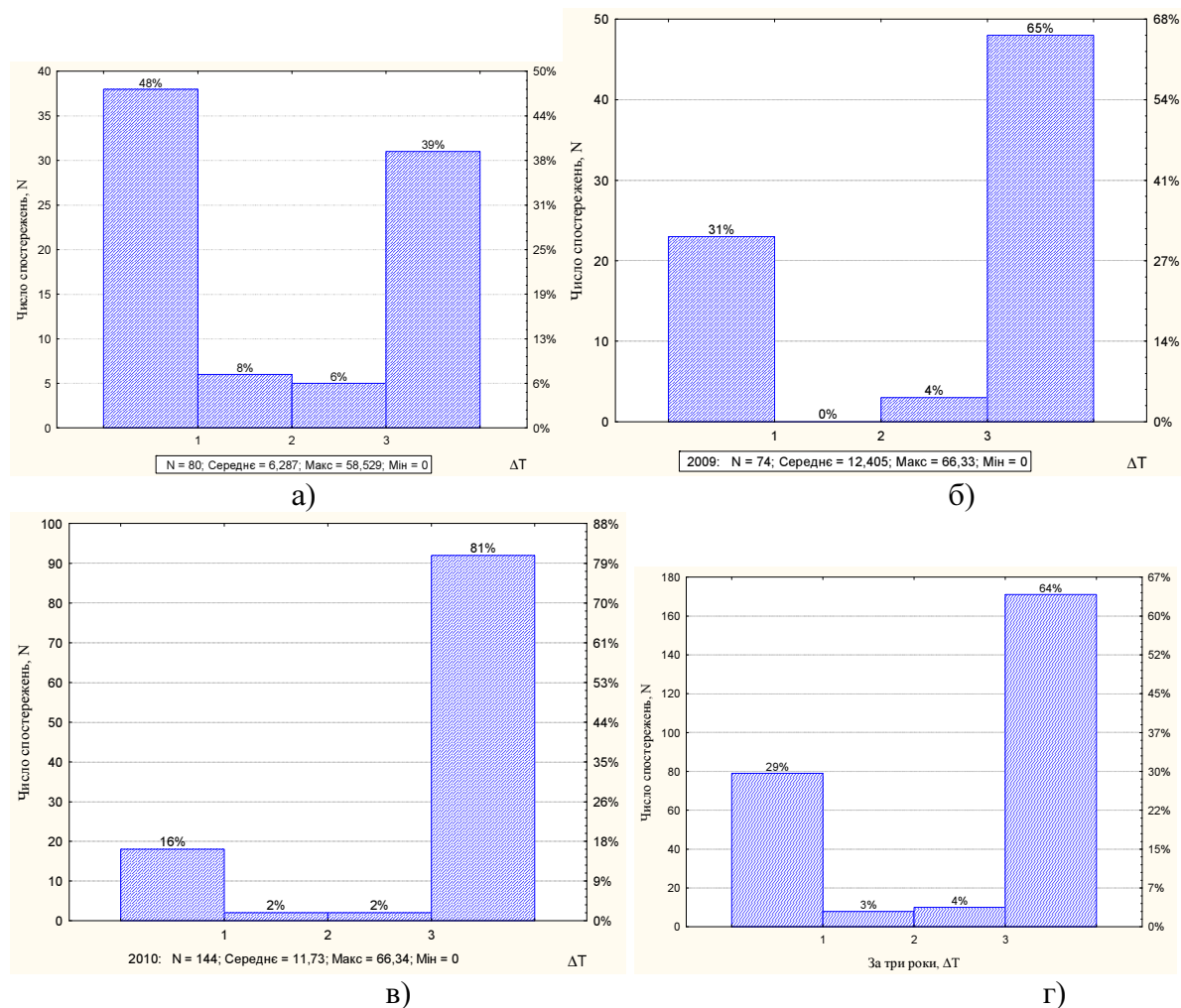


Рисунок 4 - Гістограми розподілу відхилення температури носія від нормативного значення за опалювальний сезон: а) 2008-2009 р; б) 2009-2010 р; в) 2010-2011 р; г) загальний за 2008-2011 р

Для визначення корегуючого впливу на температуру теплоносія та знаходження його аналітичного виразу, нами проведено дослідження «перепалів» в системі тепlopостачання з використанням програми STATISTICA v.6.148. Апроксимація вибіркового розподілу температур різних теоретичними типами розподілів показала, що найбільш адекватно процес виникнення «перепалів» описується розподілом Вейбулла (рис. 5).

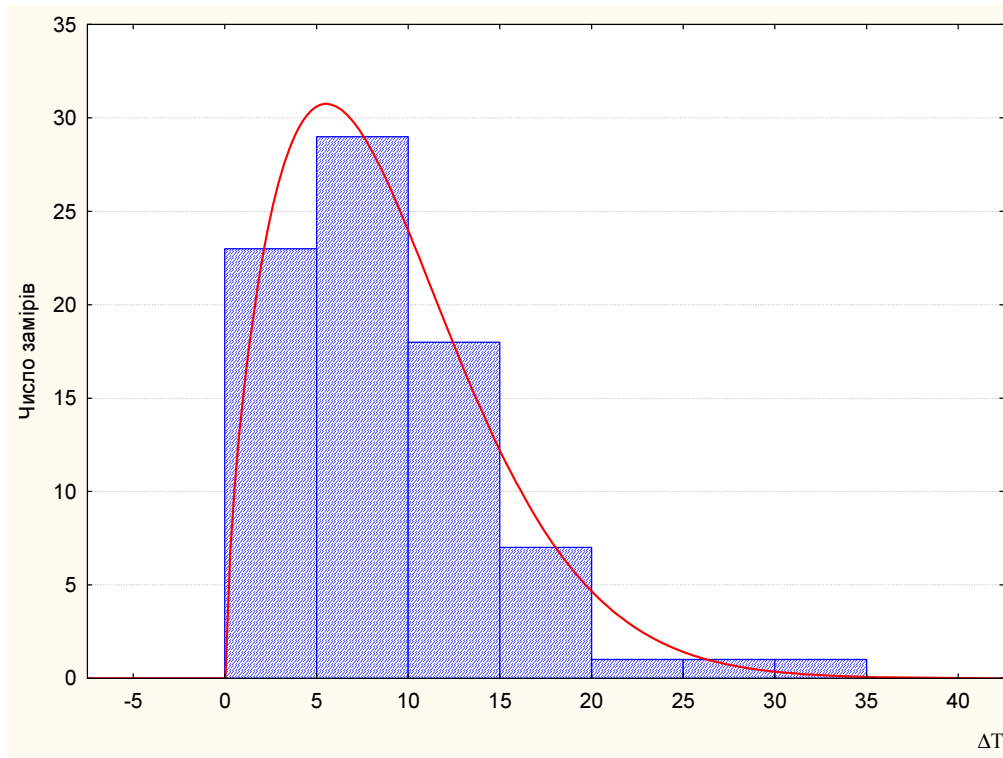


Рисунок 5 - Розподіл «перепалів» протягом опалювального сезону

Щільність розподілу має вигляд:

$$f(\Delta T) = c/b * (\Delta T/b)^{(c-1)} * e^{[-(\Delta T/b)^{2c}],} \quad (1)$$

для $0 \leq \Delta T < \infty$, $b > 0$, and $c > 0$,

де b – параметр масштабу;

c – параметр форми.

Отримана залежність (1) дозволить сформувати керуючий сигнал для диспетчера теплових систем, або при використанні місцевої АСК.

Для економії коштів на оплату тепlopостачання за рахунок усунення «перепалів» нами розроблена АСК з терморегулятором та додатковим насосом замість елеватора (рис 6). АСК дозволяє усувати «перепали» за рахунок підмішування охолодженої води із зворотного трубопроводу T_2 , яке наприклад, для 3.11.2010 року становило 11% від подачі.

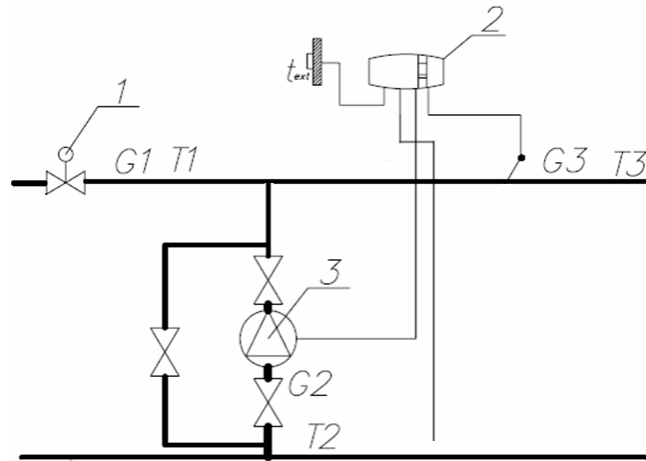


Рисунок 6 - Схема елеваторного вузла системи опалювання з відцентровим насосом на перемичці
1 - регулятор перепаду тиску; 2 - контролер; 3 - відцентровий насос

Принцип роботи системи на рис.6 оснований на контролі кількості теплоносія $G3$ та температури теплоносія $T3$ в живильному трубопроводі теплової системи будівлі. Контроллер 2 подає керуючий сигнал на регулятор тиску 1 та насос 3. В залежності від температури зовнішнього повітря, теплоносія в живильному трубопроводі $T1$ та температури в приміщенні t_{ext} регулюється кількість теплоносія $G1$, який змішуючись з певною кількістю теплоносія зі зворотнього трубопроводу $G2$, буде надходити до теплової системи будівлі в кількості G із заданою контроллером температурою $T3$. Таким чином, впливаючи на кількість та температуру теплоносія, можна створити більш комфортні умови для життєдіяльності людини та уникнути переплати за «перепали».

Основні функції регулювання в АСК виконує мікропроцесорний блок управління (МБУ), який передбачає можливість:

- а) регулювання температури теплоносія в залежності від кліматичних умов;
- б) відключення системи у неробочий час (ніч, вихідний день тощо).

При регулюванні у відповідності до кліматичних умов на теплових пунктах об'єктів в якості виконавчих механізмів використовуються регулюючі клапани та підживлюючі насоси.

МБУ призначений для автоматичної підтримки заданого значення температури в приміщенні. Принцип роботи МБУ полягає в підтримці температури в системі тепlopостачання об'єкту відповідно до заданого значення або нормативного температурного графіка за допомогою регулювання температури теплоносія в подаючому трубопроводі. Мікропроцесор періодично опитує датчі температури і видає керуючі сигнали на виконавчі механізми, що визначаються розузгодженням між виміряною та нормативною температурою теплоносія, а також температурою у приміщенні.

Принципова схема автоматизованої системи регулювання температурою теплоносія представлена на рис. 7.

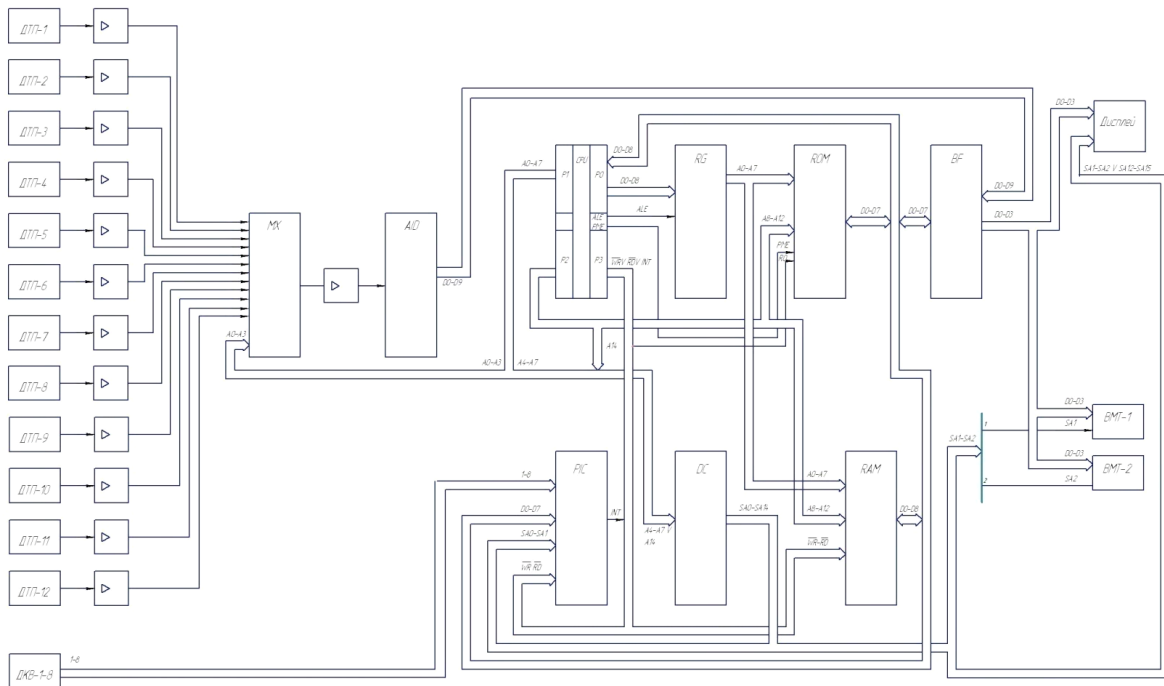


Рисунок 7 –Автоматизована система регулювання температурою теплоносія

Підсилені сигнали від датчиків надходять на входи двох восьмибитних мультиплексорів. Вихідні сигнали мультиплексорів на базі ОМП КР1816BE51, які входять до блоку центрального керування. Робота пристрою розпочинається із завантаження програми з ПЗП (DD10) при включенні живлення. Дані з ПЗП зчитуються в порт P0 ОМП (DD5) по байтно. Адресація зчитування видається через порт P0 та P2. Молодший байт адреси A0-A7 з потру P0 надходить на адресні входи ПЗП через регістр RG (DD7) по сигналу ALE від ОМП, старші розряди A8-A12 надходять на адресні входи ПЗП з порту P2 через буферний регістр BF (DD12) при постійному дозволі пропуску.

Після введення початкових даних програма переходить до режиму опитування датчиків. Комутація датчиків здійснюється центральним процесором (ЦП) по адресним шинам A0-A3, які видаються з порту P1 на адресні шини мультиплексорів MX1 і MX2 (DD3 і DD4). Аналогові сигнали з виходу кожного датчика в послідовності згідно адресації зкомутовані мультиплексором надходять через підсилювач (DA1) на вхід аналогово-цифрового перетворювача АЦП (DA2). З виходу АЦП десятирозрядний двійковий код, пропорційний рівню вхідного сигналу, надходить через буферні регістри формувачі (DD12, DD 13) на входи P0.0-P0.7 мікропроцесора, звідки згідно встановленою ЦП адресою надходить на вхід ОЗП (DD11). Після опитування і занесенням вхідних даних в ОЗП всіх 12 датчиків, мікропроцесор переходить на програму їх обробки, формуванню і видачі керуючих сигналів на пристрої регулювання. При виконанні керуючих дій працюють датчики ДП13, ДП14 – оцінки параметрів регулювання, дані з яких також надходять через АЦП в мікропроцесор, які потім оцінюються програмою розрахунку даного параметра для даного регулятора.

Дешифратор DD9 згідно адресним входам A4-A7 порту P1 та A6 порту P2 виробляє сигнали вибірки окремих пристроїв керування – положення клапана. Вхідна інформація задається з клавіатури, а вихідні дані виводяться на дисплей, керування якими задається програмно.

Розрахунковий строк окупності впровадження розробленого енергозберігаючого заходу з АСК становить близько 5 років.

Висновки.

1. Розробці автоматизованої системи керування температурою теплоносія повинне передувати енергетичне обстеження огорожуючих конструкцій, а результат економічної ефективності впровадження АСК порівнюватися з даними енергоаудиту будівлі. Використання АСК усуває наявність перепалів в системі тепlopостачання.

2. Керування системою індивідуальної корекції теплоносія дозволить зрівняти температуру в приміщеннях будівлі, яка може суттєво відрізнитись в залежності від надходжень сонячної радіації, їх географічного положення та інших факторів.

3. Наявність штучних впливів, таких як протяги, включення локальних опалювальних пристроїв тощо, може призводити до хибних спрацювань АСК; стабільність роботи АСК забезпечується з допомогою програмних засобів керування.

Список літератури

1. Ратушняк Г.С., Попова Г.С., Энергосбережения та експлуатація систем тепlopостачання. /Навчальний посібник. – Вінниця: ВДТУ, 2002. – 120 с.
2. Дешко В.И. Структурный анализ энергопотребления и энергосбережения в сфере образования // В.И.Дешко,, Е.Н. Шевченко/Наукові вісті НТТУ «КПІ». №6, 2011. - С. 139—147..
3. Планування рівня теплоспоживання в бюджетних закладах / В.І. Дешко, О.М. Шевченко, М.М. Шовкалюк, О.М. Верхотуров // Енергетика та електрифікація. — 2008. — № 12. — С. 24—28.
4. Методика інспекторських перевірок ЖКС та стану дотримання вимог нормативів енергосбереження у житловому фонді незалежно від їх форми власності та підпорядкованості [Електронний ресурс]: (сайт «Закон и норматив»).- Режим доступу до статті: www.licasoft.com.ua.

И. Савеленко, П.Плешков, С. Серебренников, И. Переверзев

Автоматизированное регулирование режима местного отопления при некачественном централизованном теплоснабжении

Приведены результаты энергетического аудита, обнаружено наличие перетоков и недотоков в системе централизованного теплоснабжения. Разработана автоматизированная система управления температурным режимом в помещениях.

I. Savelenko, P. Pleshkov, S. Serebrennikov, I. Perevezev

Automated control regime of local heating in poor quality district heating

The presented results of the energy audit revealed the presence of "surplus heat" and "insufficient heat" in the district heating system. Working-out automated system temperature regime in building.

Одержано 20.09.12

УДК 621.311.1

**А.Ю.Орлович, проф., канд. техн. наук, А.І. Котиш доц., канд. техн. наук,
О.В. Співак асп.**

Кіровоградський національний технічний університет

Контроль мікроклімату розподільчого пристрою напругою 10 кВ

Діагностування мікроклімату в комірках розподільчих пристроїв вирішує такі задачі: попередження росоутворення; створення нормальних умов роботи електричних апаратів в зимовий період. Оцінка безперебійного автоматичного діагностування стану опорних ізоляторів для забезпечення надійного електропостачання з найменшими затратами. Встановлено фактори впливу на ізолятор комірок розподільчих пристроїв і створений сучасний прилад контролю за необхідними параметрами.
комірка розподільчого пристрою, мікроклімат, контроль мікроклімату, ізолятор, перекриття ізолятору

Надійну роботу електрообладнання в основному можна забезпечувати двома способами: заміною на нове обладнання, що відпрацювало свій ресурс, морально застарілого або маються дефекти при виготовленні; організацією системи діагностичного обслуговування і ремонтів обладнання за технічним станом. Пріоритетність визначається економічними факторами. Перехід від регулярних профілактичних ремонтів і заміни електрообладнання до організації системи діагностики і ремонтів за технічним станом дозволяє різко скоротити матеріальні затрати за рахунок зменшення об'єму ремонтних робіт за всіма пунктами регламенту.

На сьогодні час визначення міжремонтних строків обладнання комірок розподільчих пристроїв зовнішньої установки виконується у відповідності з вимогами Правил технічної експлуатації і інструкціями по експлуатації обладнання, тобто обслуговування виконується у відповідності з системою планово-запобіжних ремонтів. Це призводить до жорстких строків проведення ремонтних робіт, що не дозволяє в повній мірі врахувати реальний стан певного обладнання. За допомогою інформаційних технологій в рамках автоматизованої системи технічної діагностики (АСТД) вирішуються задачі оптимізації планових ремонтів з урахуванням технічного стану обладнання, що подовжує експлуатаційні характеристики об'єкту не порушуючи надійність [1].

Організація всебічного огляду і об'єктивного контролю забруднення та поведінки ізоляції ставить перед собою ряд задач: правильний вибір рівня ізоляції й конструктивного виконання ізоляторів; вибір найбільш раціонального для даних умов засобу профілактичного догляду за ізоляцією; вибір економічно виправданих інтервалів між чистками, заміна покриттів або обмиваннями. Складність цих завдань пов'язана з відключенням обладнання і з використанням великої частки ручної праці та можливість перекриття ізоляторів з важкими наслідками і великими збитками, чіткого встановлення часу проведення чисток та інших заходів.

Досвід експлуатації електрообігріву комірок розподільчих пристроїв показав, що він достатньо ефективний при постійному ввімкненні в осінньо-зимовий і весняний періоди. Складність використання електропідігріву в літній період з-за відсутності його автоматичного вмикання, це як правило в ранішні часи, і неможливість вмикання по

тепловому режиму не дозволить ефективно застосовувати підігрів в цю пору року. Спроба деяких підприємств вмикати підігрів комірок в дощові дні вручну нерідко призводить до зворотного (після вмикання) підвищення температури вологого повітря в комірках і його конденсації на поверхні більш холодних ізоляторів. Поява в цей час перенапруги в мережі підвищує ризик перекриття ізоляції [2]. По цій же причині неефективно вмикання підігріву тільки від датчика вологості.

Діагностування мікроклімату в комірках розподільчих пристроїв вирішує такі задачі: попередження росоутворення; створення нормальних умов роботи електричних апаратів в зимовий період. На рис.1. запропонована автоматизована система діагностики стану ізоляторів в комірці розподільчого пристрою.

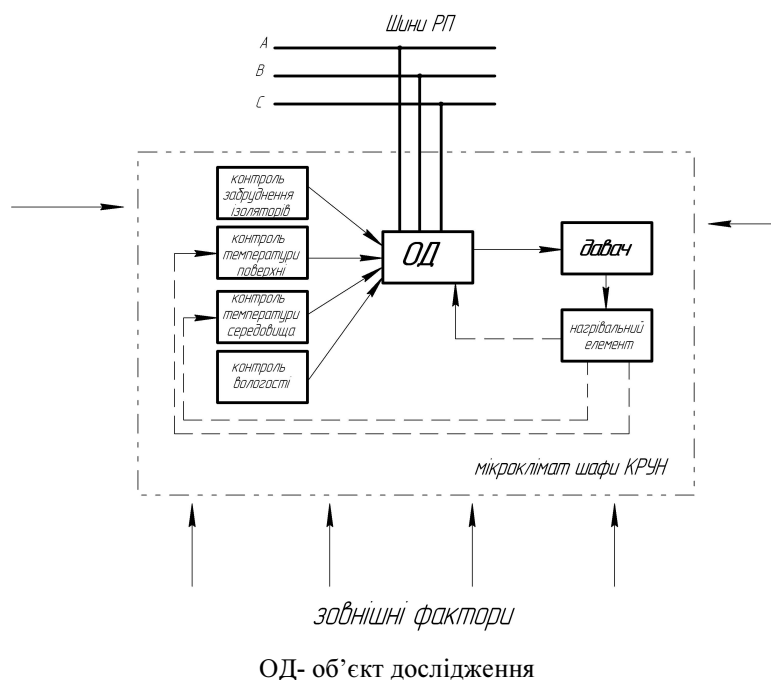


Рисунок 1 - Структурна схема впливу факторів на об'єкт дослідження в шафі розподільчого пристрою

Представлена схема на рис.1. показує, що на об'єкт дослідження, тобто опорний ізолятор, в середині шафи розподільчого пристрою впливають зовнішні фактори: температура і вологість середовища, тумани, вітер з частками пилу. Тобто слід контролювати: різницю температур навколишнього середовища та поверхні ізолятора, вологість повітря, тривалість впливу оточуючого середовища на ізолятор. [3]. В даній роботі на основі результатів попереднього експерименту було встановлено всі фактори, що мають вплив на температурно-вологісний стан ОД. Але експеримент проводився в лабораторних умовах наближених до реальних. На даний час експеримент можна провести в реальних умовах експлуатації комірки під напругою і більш чітко фіксувати вплив оточуючих факторів на об'єкт дослідження, а саме ізолятор, і побудувати його математичну модель ОД.

За представленою схемою рис.1 створено пристрій контролю за температурами та вологістю в комірці розподільчого пристрою 10 кВ. Схема пристрою представлена на рисунку 2 та на рисунку 3 прилад контролю мікроклімату комірки.

Основний елемент вимірювального пристрою – мікроконтролер (МК) ATmega 16A PU1041. 8-розрядний високопродуктивний AVR контроле з малим споживанням, має достатньо велику кількість периферійних пристроїв [4]. З них використано АЦП, що перетворює в цифрову форму аналоговий сигнал від резистивного датчика

вологості. Живиться пристрій від поряд встановленого акумулятора, вмикається, щоб виконати опитування по всіх датчиках комірки і вимикається. З запрограмованою частотою вимірювань повторюється опитування. Пристрій оснащений флеш картою, на яку записуються результати опитувань датчиків. Даний пристрій працює автономно до 7 днів. Результати вимірів представляються в вигляді таблиці, де зазначені час вимірів і показники по кожному датчику.

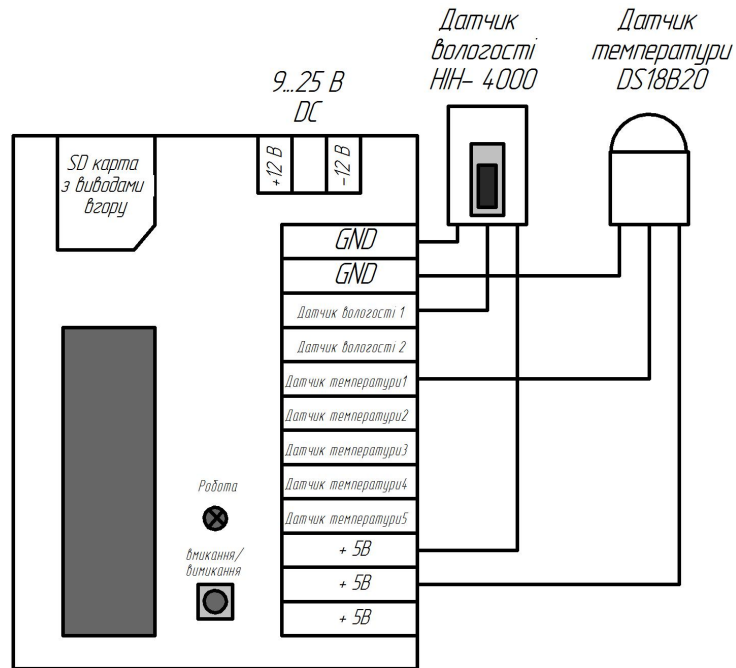
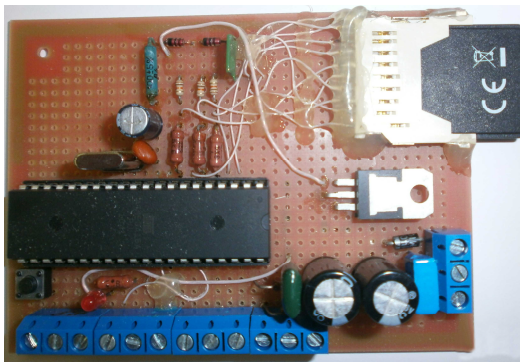
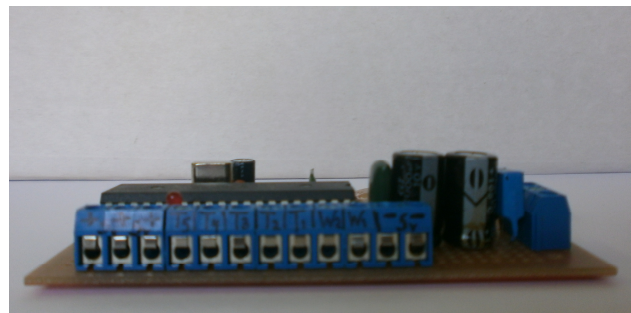


Рисунок 2 – Схема приладу контролю мікроклімату комірки розподільного приладу



Вид зверху



Вид збоку

Рисунок 3 – Прилад контролю мікроклімату комірки

Прилад контролює 5 температур: температури ззовні та всередині комірки, температури поверхонь ізоляторів, що мають різне розташування в комірці. Вологість контролюється в середині комірки та ззовні.

Вимірювання температур здійснюється цифровими датчиками DS18B20 з дискретністю 0,1°C. Абсолютна похибка вимірювання температури датчиком в діапазоні -10 до +85°C за паспортом складає $\pm 0,5^\circ\text{C}$. Проте, шляхом додаткового калібрування її можна зменшити до 0,1°C. Датчики температур підключені паралельно до МК.

Вимірювання вологості здійснюється аналоговим датчиком вологості НІН-4000-003 з точністю $\pm 0,5\%$. Необхідні константи для обчислення були закладені в МК та взяті з індивідуального калібрувального паспорту.

Основними перевагами даного вимірювального пристрою від аналогічних є те, що пристрій може працювати автономно в комірці без застосування дорогої комп'ютерної техніки. Всі вимірювальні датчики і контролер можуть працювати при від'ємних температурах, що важливо при проведенні експерименту на протязі всього року.

Список літератури

1. М.К. Головатюк, В.П. Ключко Оптимизация планирования ремонтов в распределительных электрических сетях//Энергетика и электрофикация №8, 2001.- С.27-30.
2. Орлович А.Ю., Котиш А.І., Сіріков О.І., Співак О.В. Спосіб контролю забрудненості поверхні ізоляторів під робочою напругою та замикань фази на землю. Патент України №63467 МПК7Н02Н7/26. Надр. 10.10.2011 Бюл. №19.
3. Орлович А. Е. Повышение надежности работы сельских комплектных распределительных устройств напряжением 10 кВ.: Автореф. дис. канд. техн. наук. – М.: МИИСХП, 1987. – 19 с.
4. Евстифеев А. В. Микроконтроллеры AVR семейства Tiny и Mega фирмы «ATMEL» / А. В. Евстифеев – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2004. – 560 с.

А. Орлович, А. Котиш, О. Співак

Контроль микроклимата распределительного устройства напряжением 10 кВ

Диагностика микроклимата в ячейках распределительных устройств решает три задачи: предупреждение росообразования; обеспечение нормальных условий работы электрических аппаратов в зимний период; предупреждение перегрева оборудования ячейки в летний период. Оценка бесперебойной автоматической диагностики состояния опорных изоляторов для обеспечения надежного электроснабжения с наименьшими затратами. Установлено факторы влияния на изолятор ячеек распределительных устройств и создано современное устройство контроля за необходимыми параметрами.

A.Orlovich, A. Kotysh, O. Spivak

Control of a microclimate of the switching center by voltage of 10 kV

Microclimate diagnostics in cells of switching centers solves three problems: providing normal operating conditions of electric devices during the winter period; the prevention of an overheat of the equipment of a cell during the summer period. An assessment of uninterrupted automatic diagnostics of a condition of basic insulators for ensuring reliable power supply with the smallest expenses. It is established factors of influence on an insulator of cells of switching centers and the modern control unit behind necessary parameters is created.

Одержано 21.09.12

УДК 621.311.1

**В.П. Калінчик, доц., канд. техн. наук, В.П. Розен, проф., канд. техн. наук,
А.В. Скачок, магістр***Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»*

Метод розподілу енергоресурсу між споживачами

В статті описаний метод розподілу енергоресурсу за процедурою ітераційного пропорційного зменшення заявки на ресурс. Ранжування споживачів здійснюється за показником відношення коефіцієнта втрат до представленої заявки на ресурс. У споживача з найменшим показником від поданої заявки віднімається дефіцит ресурсу. Розрахунок продовжується до тих пір, поки за рахунок поступового зменшення заявок на ресурс не буде ліквідований дефіцит потужності в енергосистемі

енергосистема, електроенергія, потужність, споживач, енергоресурс

Вступ. У комплексі «Енергосистема - споживач» можлива ситуація, в якій сума всіх заявок споживачів на ресурс буде більше існуючого ресурсу в енергосистемі, тобто енергосистема стане дефіцитною: $\sum_{i=1}^n s_i > R$ (де s_i - заявка споживача на ресурс, R - існуючий ресурс в енергосистемі). У такій ситуації задача розподілу активної електричної потужності та енергії є особливо актуальною. Її суть зводиться до розподілу ресурсу (P, W) між споживачами таким чином, щоб в результаті досягався мінімум втрат для системи в цілому [1].

Постановка завдання. В рамках поставленої задачі розглянемо наступну модель [2,3]. Система розподілу ресурсів електричної потужності й енергії включає в себе центральний плановий орган (ЦПО) та «підлеглих» йому i -тих споживачів енергоресурсу P, W - виробничої системи.

В кожний плановий період ЦПО має у розпорядженні запас ресурсу P, W в кількості R , який видає кожному i -му споживачеві в кількості, відповідно до запиту на ресурс s_i і з урахуванням питомої шкоди від недоотримання енергоресурсу A_i .

Ефективність використання енергоресурсу споживачем характеризується функцією $F_i(s_i, A_i)$, яка виражає збиток A_i i -го споживача від недоотримання ресурсу $s_i = P$ або $s_i = W$. Мета ЦПО полягає в зведенні до мінімуму сумарного збитку системи F :

$$F = \sum_{i=1}^n F_i(s_i, A_i) \rightarrow \min. \quad (1)$$

Аналіз існуючих методів розподілу ресурсів. На даний момент існує безліч різних методів розподілу ресурсу між споживачами [4,5]. Розглянемо основні з них:

Метод аукціону. При розподілі ресурсу за принципом Аукціону вибудовується варіаційний поділ споживачів за величиною деякого показника, залежного в загальному випадку від питомої шкоди від недоотримання ресурсу, а також величини запиту. В першу чергу ресурс P, W виділяється користувачу з максимальним показником пріоритету в кількості рівному запиту, потім користувачеві, наступному у зворотному ряді, і т.д. У разі рівних показників пріоритетів у декількох споживачів, ресурс розподіляється між ними прямо пропорційно запиту s_i .

Метод прямих пріоритетів. При розподілі ресурсу методом прямих пріоритетів застосовується наступний принцип:

$$X_i = \left\{ \begin{array}{l} s_i, \text{ якщо } \sum_{i=1}^n s_i \leq R, \\ \min \left[s_i, \frac{s_i}{\sum_{i=1}^n s_i} R \right], \text{ якщо } \sum_{i=1}^n s_i > R \end{array} \right\}. \quad (2)$$

Метод зворотних пріоритетів. У даному методі за коефіцієнт втрат слід прийняти величину A_i/s_i і розподілити ресурс за правилом:

$$X_i = \left\{ \begin{array}{l} s_i, \text{ якщо } \sum_{i=1}^n s_i \leq R, \\ \min \left[s_i, \frac{A_i/s_i}{\sum_{i=1}^n A_i/s_i} R \right], \text{ якщо } \sum_{i=1}^n s_i > R \end{array} \right\}. \quad (3)$$

При аналізі практичних результатів розподіл ресурсу P, W за даним методом виявлено наступний недолік: через наявність споживачів, що мають відносно високий коефіцієнт втрат A_i/s_i і малу величину запиту, може виникнути деяка нерозподілена величина ресурсу P, W при обліку обмеження $X_i \leq s_i$, що в умовах дефіциту ресурсу є неприпустимим. Для усунення цього недоліку необхідно застосовувати ітераційний, багатокроковий принцип зворотних пріоритетів. Спочатку розподіл P, W проводиться згідно (2). На першому кроці з безлічі індексів $i = \overline{1, n}$, виділяється підмножина елементів K_1 , для яких $X_i \geq s_i$. Елементам з номером $i \in K_1$ виділяється ресурс у кількості $X_i = s_i$. На другому кроці з розглянутих заявок виключається підмножина елементів K_1 (так само, як і розподілена їм частину ресурсу P, W), та до решти споживачів застосовується наступне правило:

$$X_i = \min \left[s_i, (R - \sum_{i \in K_1} s_i) \frac{A_i/s_i}{\sum_{i \notin K_1} A_i/s_i}, i \notin K_1 \right]. \quad (4)$$

Аналогічним чином виділяється підмножина елементів K_2 . На третьому кроці з розгляду виключається підмножина споживачів K_2 . Далі процедура триває аналогічно і закінчується за кінцеве число ітерацій.

Метод ітераційного розподілу енергоресурсу. Пропонується метод розподіл енергоресурсу за процедурою ітераційного пропорційного зменшення заявки на ресурс. Ранжування споживачів за показником відношення коефіцієнта втрат до представленої заявки на ресурс A_i/s_i . У споживача з найменшим показником A_i/s_i від поданої заявки віднімається дефіцит ресурсу, якого не вистачає в енергосистемі:

$$s_{\min 1} = \sum_{i=1}^n s_i - R. \quad (5)$$

За цими даними вираховується новий показник споживача $A_{\min 1} / s_{\min 1}$, і порівнюється з наступним найменшим показником відношення коефіцієнта втрат до представленої заявки на ресурс $A_{\min 2} / s_{\min 2}$. Якщо $A_{\min 1} / s_{\min 1} > A_{\min 2} / s_{\min 2}$, тоді першим споживачем заявка на ресурс зменшується рівно настільки, щоб його показник відношення коефіцієнта втрат до представленої заявці став рівним показнику наступного споживача:

$$s_{\min 1} = A_{\min 1} / (A_{\min 2} / s_{\min 2}). \quad (6)$$

Після чого процедура повторюється, але вже по відношенню до тих споживачів, показники A_i / s_i яких є рівними. Заявки на ресурс цих споживачів зменшуються на величину $\sum_{i=1}^n s_i - R$ (при чому показник $\sum_{i=1}^n s_i$ розраховується вже з новими значеннями заявок) пропорційно розмірам цих

заявок:
$$s_1 = s_{\min 1} - \frac{s_{\min 1} (\sum_{i=1}^n s_i - R)}{s_{\min 1} + s_{\min 2}},$$

$$s_2 = s_{\min 2} - \frac{s_{\min 2} (\sum_{i=1}^n s_i - R)}{s_{\min 1} + s_{\min 2}}.$$

Далі за цими даними вираховується нові показники відношення коефіцієнтів втрат до представленої заявці тих споживачів, заявки яких були зменшені. Ці показники порівнюється з наступним найменшим показником A_i / s_i . Розрахунок продовжується до тих пір, поки за рахунок поступового зменшення заявок на ресурс не буде ліквідовано дефіцит в енергосистемі. Тим самим на останній ітерації розрахунку, розмір зменшених заявок на ресурс буде відповідати кількості виділеного ресурсу цьому споживачеві: $x_i = s_i$.

Схема розрахунку розподілення енергоресурсу методом ітераційного пропорційного зменшення заявки на ресурс показана на рис. 1.

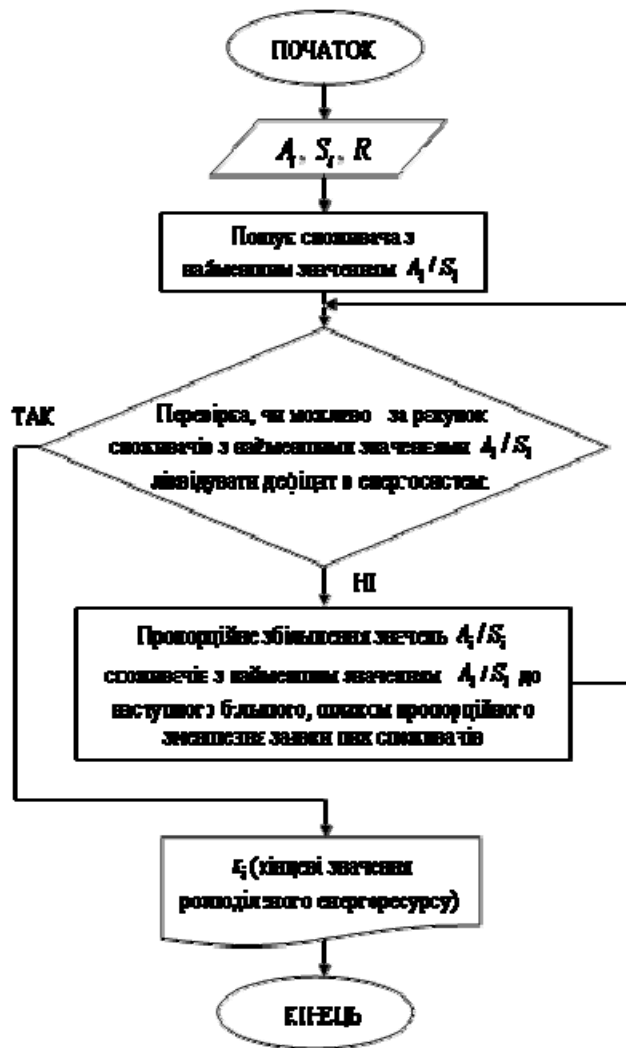


Рисунок 1 – Схема розрахунку методом ітераційного розподілу енергоресурсу

Таблиця 1 – Розрахунок розподілення енерго ресурсу методом ітераційного розподілу

Маємо 5 споживачів. Збиток і заявка вказані в табл.1. $R = 70000$

№ споживача	A_i	s_i	A_i / s_i	$\sum s_i - R$	x_i (тестове)	A_i / s_i (тестове)
Початкові дані						
1	157	2500	0,0628			
2	4830	32400	0,149074			
3	4100	34500	0,118841			
4	1560	7000	0,222857			
5	2280	14200	0,160563			
		$\sum s_i = 90600$		20600		
1-а ітерація						
1	157	1321,098	0,118841		604,84	0,259573
2	4830	32400	0,149074		32400,00	0,149074
3	4100	34500	0,118841		15795,16	0,259573
4	1560	7000	0,222857		7000,00	0,222857
5	2280	14200	0,160563		14200,00	0,160563
		$\sum s_i = 89421,1$		19421,1	70000	
2-а ітерація						
1	157	1053,168	0,149074		843,1385	0,186209
2	4830	32400	0,149074		25938,59	0,186209
3	4100	27503,11	0,149074		22018,27	0,186209
4	1560	7000	0,222857		7000	0,222857
5	2280	14200	0,160563		14200	0,160563
		$\sum s_i = 82156,27$		12156,27	70000	
3-я ітерація						
1	157	977,807	0,160563		870,1504	0,180429
2	4830	30081,58	0,160563		26769,6	0,180429
3	4100	25535,09	0,160563		22723,67	0,180429
4	1560	7000	0,222857		7000	0,222857
5	2280	14200	0,160563		12636,58	0,180429
		$\sum s_i = 77794,47$		7794,474	70000	

Виділеним шрифтом в таблиці вказані кінцеві дані розподіленого ресурсу між споживачами.

Таблиця 2 - Порівняльна таблиця результатів модельних розрахунків різними методами задачі розподілення потужності в енергосистемі

Номер спожива ча	Вихідні дані		Метод аукціону				Метод прямих пріоритетів		Метод зворотніх пріоритетів		Авторський метод	
			$Q(A_i)$		$Q(A_i / s_i)$							
			x_i	F	x_i	F						
1	157	2500	0,0	157,0	0,0	157,0	1931,6	35,7	2500,0	0,0	870,2	102,4
2	4830	32400	32400,0	0,0	32400,0	0,0	25033,1	1098,2	25762,4	989,5	26769,6	839,3
3	4100	34500	34500,0	0,0	16400,0	2151,0	26655,6	932,2	20537,6	1659,3	22723,7	1399,5
4	1560	7000	0,0	1560,0	7000,0	0,0	5408,4	354,7	7000,0	0,0	7000,0	0,0
5	2280	14200	3100,0	1782,3	14200,0	0,0	10971,3	518,4	14200,0	0,0	12636,6	251,0
R=70000		90600	70000,0	3499,3	70000,0	2308,0	70000,0	2939,2	70000,0	2648,8	70000,0	2592,2
1	780	2800	2800,0	0,0	2800,0	0,0	2202,2	166,5	2800,0	0,0	2800,0	0,0
2	585	6400	6400,0	0,0	6400,0	0,0	5033,7	124,9	3406,3	273,6	5339,9	96,9
3	157	2500	0,0	157,0	0,0	157,0	1966,3	33,5	2340,3	10,0	1433,1	67,0
4	268	3500	3500,0	0,0	2200,0	99,5	2752,8	57,2	2853,4	49,5	2446,3	80,7
5	217	2600	1300,0	108,5	2600,0	0,0	2044,9	46,3	2600,0	0,0	1980,8	51,7
R=14000		17800	14000,0	265,5	14000,0	256,5	14000,0	428,4	14000,0	333,2	14000	296,3
1	80	330	330,00	0,00	330,00	0,00	252,63	18,76	160,53	41,08	217,95	27,16
2	48	220	95,00	27,27	0,00	48,00	168,42	11,25	144,47	16,48	130,77	19,47
3	80	210	210,00	0,00	210,00	0,00	160,77	18,76	210,00	0,00	210,00	0,00
4	100	165	165,00	0,00	165,00	0,00	126,32	23,44	165,00	0,00	165,00	0,00
5	28	120	0,00	28,00	95,00	5,83	91,87	6,56	120,00	0,00	76,28	10,20
R=800		1045	800,00	55,27	800,00	53,83	800,00	78,78	800,00	57,56	800,00	56,83

Висновки:

У ситуації дефіцитної енергосистеми, завдання розподілу активної електричної потужності та енергії є особливо актуальною, і може бути вирішена за рахунок застосування математичних апаратів і методів розподілу енергоресурсу. У цих умовах запропонований метод ітераційного пропорційного зменшення заявки на ресурс за показниками сумарних втрат показує кращі результати в порівнянні з методами прямих і зворотних пріоритетів. При цьому запропонований метод не має суттєвих недоліків, які присутні в методах розподілу ресурсу заснованих на принципах аукціону, а саме: при розподілі ресурсу методами аукціону, деяким споживачам не виділяється ресурс зовсім, фактично вирішуючи проблему дефіциту енергоресурсу за рахунок окремих споживачів.

Список літератури

1. Праховник А.В. Управление электропотреблением (концепция, методы, средства) // Праховник А.В. - Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. — 1990. — №1. — С. 6 — 15.
2. В.П. Калінчик. Прогнозування електричного навантаження промислових об'єктів / В.П. Калінчик, І.В. Калінчик, А.Д. Лук'ячук, А.О. Ткачук ; НТУУ «КПІ» Н.-д. ін-т автоматики та енергетики «Енергія». - Київ : [б. и.], 2009. - 7 с.
3. Праховник А.В. Энергосберегающие режимы электроснабжения горнодобывающих предприятий// Праховник А.В., Розен В.П., Дегтярев В.В. — М.: Недра, 1985. — 232. с.
4. А.В. Праховник. Модель та методи оптимізації і керування режимами систем електропостачання: Монографія / А.В. Праховник, П.Я. Екель, А.Ф. Бондаренко. — К.: ІСДО, 1994. — 104 с.
5. В.П. Калінчик. Оптимальне управління електричним навантаженням / В.П. Калінчик, І.В. Калінчик, А.Д. Лук'ячук, А.О. Ткачук ; НТУУ «КПІ» Н.-д. ін-т автоматики та енергетики «Енергія». - Київ : [б. и.], 2009. - 12 с.

В.Калінчик, В.Розен, А.Скачок

Метод распределения энергоресурса между потребителями

В статье описан метод распределения энергоресурса по процедуре итерационного пропорционального уменьшения заявки на ресурс. Ранжирование потребителей осуществляется по показателю отношения коэффициента потерь к представленной заявке. У потребителя с наименьшим показателем от поданной заявки отнимается дефицит ресурса. Расчет продолжается до тех пор пока, за счет постепенного уменьшения заявок на ресурс не будет ликвидирован дефицит мощности в энергосистеме.

V.Kalinchuk, V.Rozen, A.Skachok

Energy distribution method between the consumers

The article describes method of distributed energy resources on the procedure of the iterative scaling down an application for a resource. Ranking the consumers are in terms of the ratio of the loss to the submitted application. The customer with the lowest of the application as filed subtracted deficit resource. Calculation continues until, by gradually reducing the applications for resource will not eliminate the deficit in the power grid.

Одержано 20.09.12

УДК 621.316.9

**Ф.П. Шкрабец, проф., д-р техн. наук, А.В. Остапчук, доц., канд. техн. наук,
Е.П. Месяц, науч. сотр., А.В. Акулов, асп.**

Государственное высшее учебное заведение "Национальный горный университет"

Обеспечение перевода подземного электроснабжения энергоемких шахт на напряжение 35 кВ

Наиболее перспективным при реконструкции системы электроснабжения в связи с разработкой глубоких горизонтов представляется вариант использования глубокого ввода напряжения 35 кВ на горизонты 1000 м и более с установкой подземной подстанции 35/6 кВ и распределением электроэнергии по нижним горизонтам на напряжении 6 кВ. Представлено теоретическое обоснование селективного способа автоматического и непрерывного контроля параметров изоляции электрических сетей напряжением 35 кВ и принципа защитного заземления поврежденной фазы при замыканиях на землю в электрических сетях напряжением 6-35 кВ для целей улучшения условий электробезопасности.

глубокий ввод, безопасность эксплуатации высоковольтных электроустановок, селективный контроль изоляции, заземление поврежденной фазы

Развитие в Украине добычи полезных ископаемых подземным способом сопровождается углублением шахт, а интенсификация производства, ростом электрических нагрузок подземных потребителей. Уже в настоящее время установленная мощность подземных потребителей на ряде шахт превышает 10 МВт, а глубина залегания разрабатываемых пластов превысила 1000 метров. Если учесть и распределение электроэнергии в подземных выработках, то становятся очевидными нарастающие проблемы обеспечения качества электроэнергии и роста потерь электроэнергии в системах электроснабжения глубоких шахт при напряжении 6 кВ. С учетом перспектив развития отраслей, повышение эффективности электроснабжения глубоких шахт может быть достигнуто за счет перевода на более высокий класс напряжения как минимум питающих (стволовых) шахтных сетей. Указанное мероприятие предусматривает установление непосредственно в шахте подстанции с первичным напряжением 35 кВ, что в свою очередь требует решения комплекса вопросов связанных с технической реализацией и обеспечением безопасности эксплуатации высоковольтных электроустановок в условиях шахт.

Задача применения напряжения 35 кВ для подземного электроснабжения в настоящее время, с точки зрения подаваемых в шахту и распределяемых по шахте электрических нагрузок, а также с точки зрения безопасности эксплуатации системы электроснабжения в условиях шахты, может ставиться только как применение системы глубокого ввода напряжения 35 кВ на энергоемкий горизонт с установкой трансформаторной подстанции (ТП) 35/6 кВ на соответствующем горизонте. При этом предполагается, что электроснабжение электроприемников на основном и ближайших горизонтах будет осуществляться при напряжении распределительных сетей 6 кВ по классическим и апробированным схемам [2]. Принципиальную схему питания подземных трансформаторов 35/6 кВ предлагается реализовать по схеме блока линия – трансформатор (рис.1), что позволит исключить необходимость установки на

подземной подстанции как минимум трех (вводных и секционной) распределительных ячеек напряжением 35 кВ в рудничном исполнении. Последнее будет способствовать как снижению капитальных затрат, так и повышению надежности системы хотя бы за счет уменьшения элементов системы. Применение сухих трансформаторов в исполнении IP54, (серия RESIBLOC, фирма ABB), имеющих в комплекте заземляющие ножи, позволяет выполнить одно из основных требований отраслевых Правил безопасности также без установки распределительной ячейки.

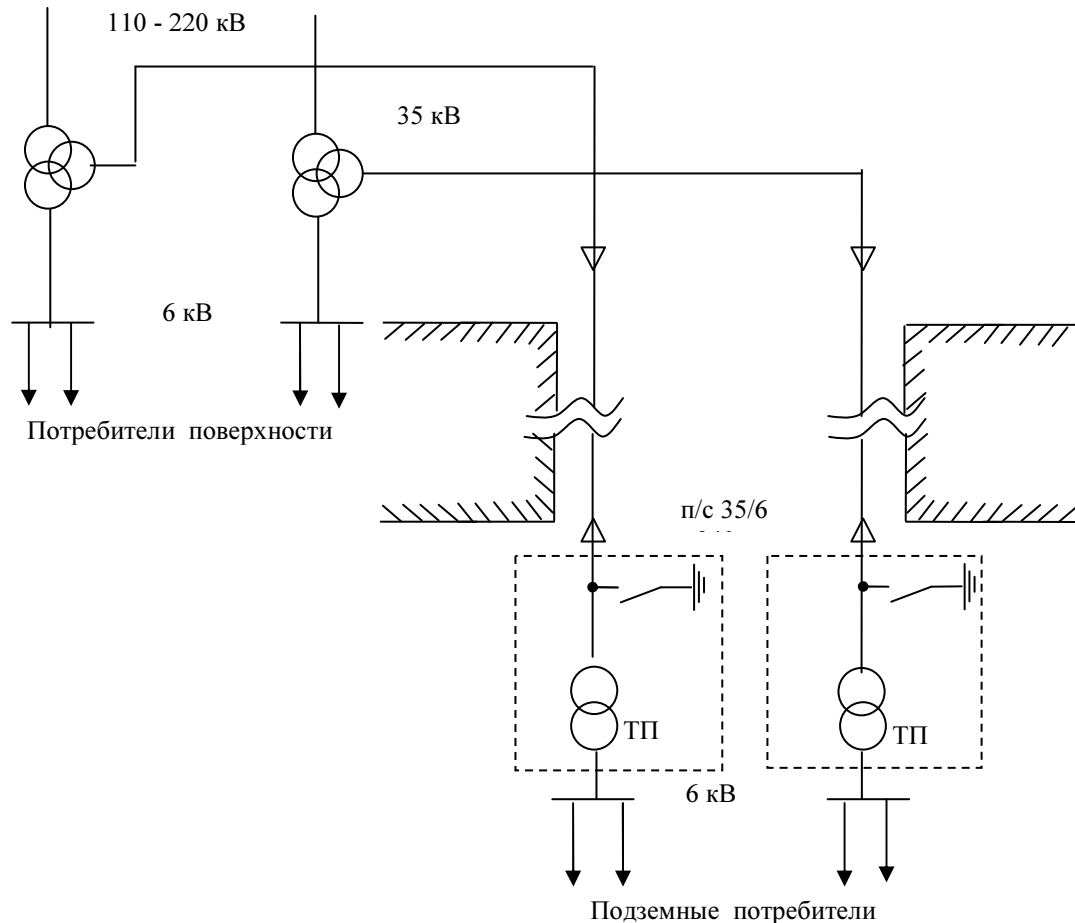


Рисунок 1 – Принципиальная схема питания подземных трансформаторов 35/6 кВ по схеме блок линия – трансформатор

В соответствии с разработанными МакНИИ и согласованными с Госгорпромнадзором. Временные нормативы по безопасности применения напряжения 35 кВ для систем электроснабжения подземных электроприемников в комплектных распределительных устройствах (КРУ), подающих напряжение 35 кВ к подземным электроприемникам, должны осуществляться следующие виды защит:

- от токов короткого замыкания;
- от перегрузки трансформаторов;
- от коммутационных перенапряжений;
- от однофазных замыканий фаз на землю;
- от снижения сопротивления изоляции в отходящем присоединении при отключенном напряжении. Данный вид защиты должен вводиться в эксплуатацию по мере его разработки и освоения серийного выпуска.

Отсюда видно, что применение напряжения 35 кВ определяется успешностью решения дополнительных технических задач, связанных с обеспечением условий

электро- и пожаробезопасности в подземных выработках, а именно: минимизация влияния параметров и режимов работы электрических сетей напряжением 35 кВ поверхности на эксплуатационные характеристики внутришахтных сетей и оборудования; непрерывный контроль состояния изоляции относительно земли электрической сети напряжением 35 кВ или, как минимум, ЛЭП, питающих подземные потребители; уменьшение значений аварийных токов при замыканиях на землю в шахтных кабелях напряжением 35 кВ, что, учитывая значения параметров изоляции разветвленных сетей напряжением 35 кВ (подземных и поверхности), может быть достигнуто путем защитного заземления (закорачивания) поврежденной фазы.

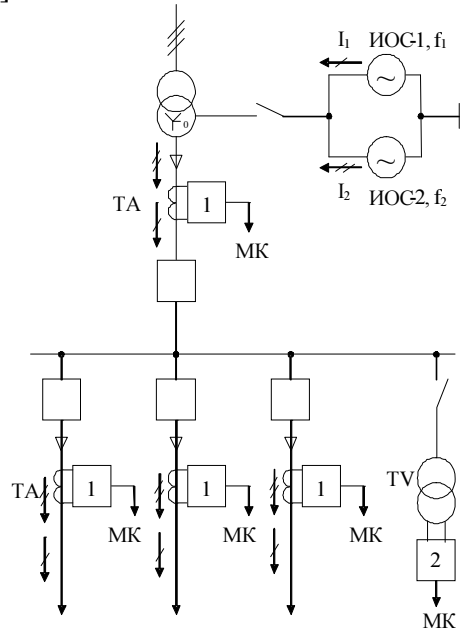
В соответствии с действующими отраслевыми нормативными материалами в угольных шахтах все кабельные линии напряжением выше 1000 В, проложенные в подземных выработках, в стволах и в скважинах, должны оборудоваться защитой от утечек и замыканий на землю мгновенного действия (без выдержки времени). Указанная защита в свою очередь должна обеспечивать отключение линии при появлении однофазной утечки, соответствующей снижению активного сопротивления изоляции относительно земли одной фазы или сети в целом до значений ниже нормативных. Кроме того, правила предполагают предварительный контроль состояния изоляции с запретом на включение поврежденного участка при снижении сопротивления изоляции ниже заданного уровня [2]. Следует отметить, что указанные весьма жесткие требования отраслевых Правил до настоящего времени не реализованы для шахтных сетей напряжением 6 кВ по ряду причин, основной из которых следует считать отсутствие высокочувствительных методов защиты от утечек (контроля изоляции) при одновременном обеспечении селективности (избирательности) действия.

Для целей автоматического и селективного контроля параметров изоляции (активного, реактивного и при необходимости полного сопротивлений изоляции) в распределительных сетях напряжением 35 кВ, питающих подземные потребители, предлагается использовать метод непрерывного измерения значений составляющих сопротивления изоляции сети относительно земли под рабочим напряжением, основанный на использовании наложенных на сеть оперативных токов не промышленной частоты (рис. 2).

Суть предложенного метода непрерывного и оперативного контроля параметров изоляции относительно земли электрической сети и ее элементов состоит в том, что на электрическую сеть одновременно накладываются два оперативных синусоидальных сигнала (источники ИОС-1 и ИОС-2), частоты которых не равны между собой и отличается от промышленной. На контролируемых участках (линии или присоединении), а также в месте подключения оперативного источника устанавливаются устройства, назначением которых является снятие параметров оперативных сигналов и их соответствующая обработка с целью определения в указанных точках значений оперативных токов и напряжений. Зафиксированные (с заданной скважностью сканирования) параметры оперативных сигналов в цифровом виде подаются на входы микроконтроллера *МК*, где используются для вычисления и передачи по заданному адресу непрерывно (регулярно) обновляемых значений параметров изоляции.

Структура и функциональная схема системы непрерывного измерения параметров изоляции относительно земли всей распределительной сети или ее элементов без снятия рабочего напряжения предполагает один канал напряжения и несколько (по количеству контролируемых присоединений) каналов тока. Канал напряжения, на вход которого сигнал поступает с датчика напряжения *TV* (измерительного трансформатора напряжения) подключенного к шинам распределительного устройства, предназначен для снятия, обработки и измерения

значений оперативных напряжений U_{f1} и U_{f2} и передачи их в вычислительный модуль для дальнейшего использования. Токвые каналы, на входы которых сигналы поступают от соответствующих датчиков тока TA_i (измерительных трансформаторов тока) установленных на отходящих (контролируемых) присоединениях, также предназначены для снятия, обработки и измерения значений оперативных токов I_{f1} и I_{f2} соответствующих участков распределительной сети и передачи их в вычислительный модуль [3].



1 – устройство выделения и обработки оперативных токов; 2 – устройство выделения и обработки оперативных напряжений

Рисунок 2 – Схема, поясняющая способ непрерывного контроля параметров изоляции распределительной сети

Вычислительный блок на основании одновременно измеренных и зафиксированных значений оперативных токов и напряжений с учетом коэффициентов трансформации измерительных трансформатора напряжения k_V и трансформаторов тока k_{Ai} в заданных точках распределительной сети системы электроснабжения производит вычисления:

– активного сопротивления изоляции и суммарной емкости относительно земли трех фаз всей сети или соответствующего контролируемого участка (i -го присоединения)

$$R_i = \frac{U_1 U_2}{k_V k_{Ai}} \sqrt{\frac{\omega_2^2 - \omega_1^2}{U_2^2 I_{1i}^2 \omega_2^2 - U_1^2 I_{2i}^2 \omega_1^2}}, \quad C_i = \frac{k_V k_{Ai}}{U_1 U_2} \sqrt{\frac{U_2^2 I_{1i}^2 - U_1^2 I_{2i}^2}{(\omega_1^2 - \omega_2^2)}}, \quad (1)$$

где I_1, U_1, ω_1 – ток, напряжение и частота первого оперативного источника;
 I_2, U_2, ω_2 – ток, напряжение и частота от второго оперативного источника;
 k_V – коэффициентов трансформации измерительных трансформатора напряжения;

k_{Ai} – коэффициентов трансформации измерительных трансформатора тока.

Однофазные замыкания на землю оказывают существенное негативное влияние на условия электробезопасности при эксплуатации электрических сетей и оборудования в шахтах. Электробезопасность электрических сетей, если не учитывать физиологические особенности и психологическое состояние человека, оценивается в основном значением тока, проходящего через тело человека, значением напряжения прикосновения и временем воздействия указанных величин. Для реальных параметров распределительных и питающих сетей прикосновение человека к одной из фаз сети напряжением 35 кВ, даже без учета переходного процесса, всегда является смертельно опасным.

Степень же опасности распределительных сетей при прикосновении к корпусу электрооборудования, оказавшегося под напряжением, характеризуется значением напряжения прикосновения и временем его воздействия. Одним из логических направлений улучшения условий электробезопасности при эксплуатации электрических сетей напряжением 35 кВ на горных предприятиях является путь снижения негативных показателей процесса однофазного замыкания на землю, а именно:

- уменьшение значения аварийного тока в зоне замыкания на землю;
- уменьшение времени воздействия поражающих величин (аварийного тока и напряжения прикосновения);
- снижение кратности внутренних перенапряжений и, соответственно, уменьшение вероятности развития аварии в распределительной сети.

Решение указанных задач возможно путем автоматического заземления (шунтирования) фазы, на которой появилось однофазное замыкание на землю. Основная идея заземления (закорачивания) поврежденной фазы заключается в том, что при повреждении (ослаблении) изоляции относительно земли одной из фаз распределительной сети поврежденная фаза автоматически соединяется с землей, то есть шунтируется место повреждения, при этом резко уменьшается значение тока, через место повреждения (или человека) и практически за полпериода промышленной частоты затухает переходный процесс. Основным условием эффективности процесса автоматического замыкания (шунтирования) поврежденной фазы является высокое быстродействие системы.

Основными функциональными блоками устройства автоматического заземления поврежденной фазы при однофазных замыканиях на землю (рис. 3) являются: блок выбора (определения) поврежденной фазы (БВПФ), блок заземляющих аппаратов с пофазным управлением (БЗА) и блок управления заземляющими аппаратами (БУЗА).

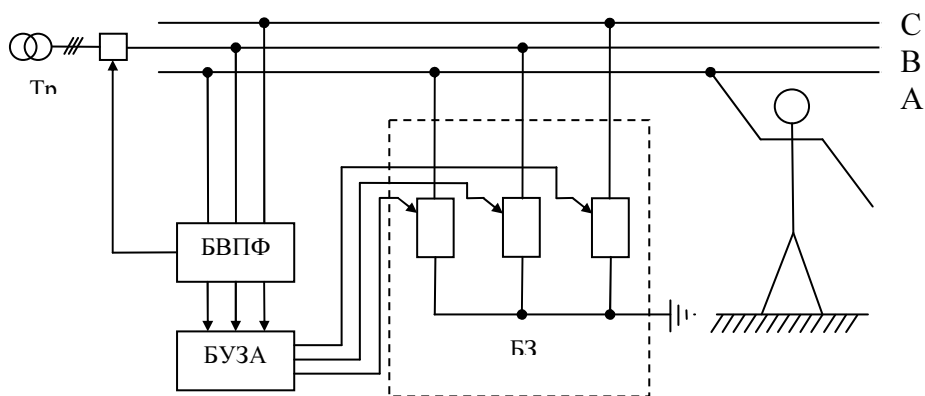


Рисунок 3 – Структура устройства шунтирования поврежденной фазы при замыкании на землю

Жесткие требования по функциональной надежности должны предъявляться к блоку выбора поврежденной фазы БВПФ в части чувствительности (обеспечение работоспособности при замыканиях на землю через переходное сопротивление, в том числе и через тело человека) и в части правильности определения поврежденной фазы. Ошибка при выборе поврежденной фазы приводит к созданию искусственного двухфазного замыкания через заземляющую сеть, т.е., перевод однофазного замыкания на землю в более опасный для поражения людей и стойкости электрооборудования аварийный режим. Для разветвленных электрических сетей система автоматического заземления поврежденной фазы при однофазных замыканиях на землю должна быть дополнена блоком селективного определения поврежденной линии. Для длинных линий распределительной сети и мощными синхронными или асинхронными электродвигателями в качестве нагрузки следует рассматривать возможность применения двух блоков заземляющих аппаратов с пофазным управлением – в начале линии, в конце линии, для обеспечения защиты от действия напряжения выбега от отключенных от сети электродвигателей.

Выводы

1. Применение напряжения 35 кВ для подземного электроснабжения, с точки зрения подаваемых в шахту и распределяемых по шахте электрических нагрузок, а также с точки зрения безопасности эксплуатации системы электроснабжения, в настоящее время может рассматриваться только как применение системы глубокого ввода напряжения 35 кВ на энергоемкий горизонт с установкой трансформаторной подстанции 35/6 кВ на соответствующем горизонте.

2. Предложен способ непрерывного автоматического и селективного контроля параметров изоляции относительно земли электрической сети напряжением 35 кВ под рабочим напряжением, основанный на наложении на распределительную сеть бичастотных оперативных синусоидальных сигналов непромышленной частоты. В зависимости от места включения измерительных датчиков тока система способна обеспечивает селективное измерение параметров изоляции относительно земли всей электрической сети или соответствующего присоединения.

3. Значительное улучшение условий косвенной электробезопасности в электрических сетях напряжением 35 кВ может быть обеспечено применением защитного заземления поврежденной фазы при замыканиях на землю. Степень функциональной надежности системы защитного заземления поврежденной фазы определяется устройством выбора поврежденной фазы.

Список литературы

1. Пивняк Г.Г. Несимметричные повреждения в электрических сетях карьеров [Текст] : справ. пособие Г.Г. Пивняк, Ф.П. Шкрабец. – М.: Недра, 1993. – 192 с.
2. Правила безпеки у вугільних шахтах: НПАОП 10.0 – 1. 01–05. – К.: Недра, 2005. – 496 с.
3. Шкрабец Ф.П. Автоматический и селективный контроль параметров изоляции в распределительных сетях напряжением выше 1000 В [Текст] / Ф.П. Шкрабец // Взрывозащищенное электрооборудование: сб. науч. тр. УкрНИИВЭ. – Донецк: ООО «Юговосток, Лтд». – 2009. – С.31–39.

Ф. Шкрабець, О. Остапчук, Є. Місяць, А. Акулов

Забезпечення переводу підземного електропостачання енергоємних шахт на напругу 35 кВ

Найбільш перспективним при реконструкції системи електропостачання у зв'язку з розробкою глибоких горизонтів представляється варіант використання глибокого введення напруги 35 кВ на горизонти 1000 м і більше з установкою підземної підстанції 35/6 кВ і розподілом електроенергії по нижнім горизонтам на напрузі 6 кВ. Представлено теоретичне обґрунтування селективного способу

автоматичного і безперервного контролю параметрів ізоляції електричних мереж напругою 35 кВ і принципу захисного заземлення пошкодженої фази при замиканнях на землю в електричних мережах напругою 6-35 кВ з ціллю поліпшення умов електробезпеки.

F. Shcrabets, O. Ostapchuk, Ye. Misiats, A. Akulov

Providing transfer electric power supply of high consumption underground mines on 35 kV voltage

Using 35 kV voltage deep in-feeding on 1000 m and more geological position with mounting of the 35/6 kV underground substation and distribution of electricity at lower geological position in the 6 kV voltage is the most perspective method for the reconstruction of power supply system. The theoretical justification of the selective method of automatic and continuous monitoring of 35/6 kV electrical grid isolation parameters is presented and on the principle of faulted phase earth protection during ground faults in 6-35 kV electric grids for the purposes of improving the electrical safety condition.

Получено 12.09.12

УДК 621.311

А.М. Сільвестров, проф., д-р техн. наук, О.М. Скринник, асист., К. В. Уманська, пров. інж.

Національний технічний університет України «Київській політехнічний інститут», кафедра теоретичної електротехніки

Метод точної лінеаризації експериментально виміряних нелінійних залежностей

Методика вимірювання параметрів лінеаризованої відносно базового режиму моделі нелінійної динаміки електротехнічних об'єктів, згідно з якою на вхід об'єкта подають такий тестуючий сигнал, за якого забезпечується лінійна незалежність змінних стану лінеаризованої моделі, які реєструються, за відповідної умови близької змінних стану об'єкта і моделі однозначно визначаються зміщенні (внаслідок впливу нелінійності об'єкта) оцінки параметрів лінеаризованої моделі. Метод відрізняється тим, що проводиться два або більше подібних між собою експерименти з різними амплітудами (потужностями) тестуючих сигналів.

лініаризована модель, точність вимірювань, параметри, режими роботи, тестуючі сигнали, нелінійність, високоточна стабілізація, напруга, прогнозування, злеженість

Введення. Методика відноситься до електротехнічної галузі, може використовуватися при виконанні натурних випробувань електротехнічних об'єктів (ЕТО) з метою визначення зручної для подальшої автоматизації лінійної моделі ЕТО в задачах автоматичної стабілізації бажаних режимів роботи ЕТО, в задачах діагностики стану ЕТО по параметрам лінеаризованої моделі, прогнозування якості і надійності функціонування ЕТО та інше.

Недоліком відомих способів вимірювання параметрів лінеаризованої моделі реально завжди нелінійної динаміки ЕТО, а також багатьох інших об'єктів (механічних, хімічних, біологічних і будь-яких інших) є те що оцінки їх параметрів визначаються з недостатньою точністю: для більш простої лінійної моделі має місце систематичне

автоматичного і безперервного контролю параметрів ізоляції електричних мереж напругою 35 кВ і принципу захисного заземлення пошкодженої фази при замиканнях на землю в електричних мережах напругою 6-35 кВ з ціллю поліпшення умов електробезпеки.

F. Shcrabets, O. Ostapchuk, Ye. Misiats, A. Akulov

Providing transfer electric power supply of high consumption underground mines on 35 kV voltage

Using 35 kV voltage deep in-feeding on 1000 m and more geological position with mounting of the 35/6 kV underground substation and distribution of electricity at lower geological position in the 6 kV voltage is the most perspective method for the reconstruction of power supply system. The theoretical justification of the selective method of automatic and continuous monitoring of 35/6 kV electrical grid isolation parameters is presented and on the principle of faulted phase earth protection during ground faults in 6-35 kV electric grids for the purposes of improving the electrical safety condition.

Получено 12.09.12

УДК 621.311

А.М. Сільвестров, проф., д-р техн. наук, О.М. Скринник, асист., К. В. Уманська, пров. інж.

Національний технічний університет України «Київській політехнічний інститут», кафедра теоретичної електротехніки

Метод точної лінеаризації експериментально виміряних нелінійних залежностей

Методика вимірювання параметрів лінеаризованої відносно базового режиму моделі нелінійної динаміки електротехнічних об'єктів, згідно з якою на вхід об'єкта подають такий тестуючий сигнал, за якого забезпечується лінійна незалежність змінних стану лінеаризованої моделі, які реєструються, за відповідної умови близької змінних стану об'єкта і моделі однозначно визначаються зміщенні (внаслідок впливу нелінійності об'єкта) оцінки параметрів лінеаризованої моделі. Метод відрізняється тим, що проводиться два або більше подібних між собою експерименти з різними амплітудами (потужностями) тестуючих сигналів.

лінеаризована модель, точність вимірювань, параметри, режими роботи, тестуючі сигнали, нелінійність, високоточна стабілізація, напруга, прогнозування, зеленість

Введення. Методика відноситься до електротехнічної галузі, може використовуватися при виконанні натурних випробувань електротехнічних об'єктів (ЕТО) з метою визначення зручної для подальшої автоматизації лінійної моделі ЕТО в задачах автоматичної стабілізації бажаних режимів роботи ЕТО, в задачах діагностики стану ЕТО по параметрам лінеаризованої моделі, прогнозування якості і надійності функціонування ЕТО та інше.

Недоліком відомих способів вимірювання параметрів лінеаризованої моделі реально завжди нелінійної динаміки ЕТО, а також багатьох інших об'єктів (механічних, хімічних, біологічних і будь-яких інших) є те що оцінки їх параметрів визначаються з недостатньою точністю: для більш простої лінійної моделі має місце систематичне

зміщення оцінок внаслідок наближеності моделі, якщо ж зменшити амплітуду тестуючих сигналів, то суттєво зросте співвідношення випадкова похибка – корисний сигнал», що суттєво збільшить випадкову складову оцінок параметрів та вплив неврахованих збурень; для більш складної нелінійної моделі має місце значена випадкова похибка в оцінках її параметрів внаслідок не випуклості або, навіть мультимодальності функціоналу близькості змінних стану моделі і об'єкта, з умови мінімуму якої відшукуються оптимальні оцінки параметрів моделі.

Стан питання В такому методі, образно кажучи, параметри нелінійної моделі, як часткові похідні від вихідних змінних по вихідним, що являють собою тангенс кута нахилу дотичної до нелінійності в точці базового режиму, замінюються, як би відношенням кінцевих приростів відповідних змінних, яке за великих приростів не відповідає шуканій похідній – істинному параметру лінійної моделі.

В основу методики покладено задачу удосконалення способу вимірювання параметрів лінеаризованої моделі нелінійної динаміки електротехнічних та інших об'єктів, в якому шляхом виконання додаткової операції прогнозування зміщених оцінок, отриманих для однотипних режимів різної амплітуди тестуючих сигналів і, відповідно до них різної амплітуди відхилень змінних стану від базового режиму об'єкта, в точку яка відповідає нульовому відхиленню від базового режиму, це забезпечило можливість отримати незміщену оцінку параметрів моделі, лінеаризованої відносно базового режиму, а дисперсію похибки, зменшують шляхом вибору спеціального тестуючого сигналу та збільшення вибірки даних.

Приклад 1. Задача високоточної стабілізації напруги генератора постійного струму (ГПС) в системі автоматичного регулювання по збуренню.

Вихідною змінною ГПС, яка підлягає стабілізації є напруга U_y якоря; збурюючий вплив – струм I_y , який змінюється при зміні навантаження ГПС; керуючий вплив напруга U_ζ кола збудження струмом I_ζ магнітного потоку $\hat{O}(\zeta)$.

Рівняння ГПС для базового режиму

$$U_{y0} = E_{y0} - I_{y0} \cdot R_y, \quad (1)$$

де $E_{y0} = C_e \Phi(I_{z0})$,

C_e – константа,

$\Phi(I_z)$ – нелінійна залежність, подібна до основної кривої намагнічення феромагнітного магнітопровода з повітряним зазором. Відповідно $E_y(I_z)$ буде їй подібна. Нехай невідома нелінійна залежність $E(I_z)$ в ГПС має наступний вигляд:

$$E_y(I_z) = 200I_z - 20I_z^3. \quad (2)$$

Базове значення струму збудження $I_{\zeta i} = 1A$; тестовий сигнал Δ_ζ^2
 $\Delta_\zeta^2(t) = \Delta_\zeta^2 \text{sign} \sin \omega t$, приймає три подібних значення: $\Delta_1^2 = 0,2$; $\Delta_2^2 = 0,4$; $\Delta_3^2 = 0,6$; $\omega = 2\pi/T$, T – період тест-сигналу, достатній для забезпечення усталеного режиму.

Рівняння ГПС в зоні малих відхилень від базового режиму:

$$U_{я}(I_3, I_я) \cong U_{я0} + \left. \frac{\partial U_{я}}{\partial I_3} \right|_{I_{я0}} \Delta I_3 + \left. \frac{\partial U_{я}}{\partial I_я} \right|_{I_{я0}} \cdot \Delta I_я . \quad (3)$$

З урахуванням залежностей (2); (1)

$$\left. \frac{\partial U_{я}}{\partial I_3} \right|_{I_{я0}} = \left. \frac{\partial U_{я}}{\partial I_3} \right|_{I_{я0}} = 200 - 60 I_{я0}^2 ; \quad \left. \frac{\partial U_{я}}{\partial I_я} \right|_{I_{я0}} = -R_я . \quad (4)$$

Умова незмінності $U_{я}$ для невеликих відхиленнях ΔI_3 і $\Delta I_я$ набуває вигляду:

$$\hat{\beta} \Delta I_3 = R_я \Delta I_я , \quad (5)$$

де β - невідомий коефіцієнт, точне, невідоме значення якого дорівнює $200 \cdot 1 = 140$. Керування по збуренню $\Delta I_я$, за якого $U_{я} = U_{я0}$, дорівнює

$$\Delta I_3 = \frac{R_я}{\beta} \cdot \Delta I_я . \quad (6)$$

Подано на вхід ГПС тестуючі сигнали (6) і для кожного i -го сигналу по МНК з рівняння

$$\Delta E_{я_i}(K) = \hat{\beta}_i \Delta I_{3_i}(K), \quad K = \overline{1, N}, \quad i = 1, 2, 3, \dots , \quad (7)$$

визначимо МНК оцінку β :

$$\hat{\beta} = \frac{\sum_{K=1}^N \Delta E_{я_i}(K) \cdot \Delta I_{3_i}(K)}{\sum_{K=1}^N \Delta I_{3_i}^2(K)} , \quad (8)$$

а саме: для $\Delta_1 I = 0,2$, $\hat{\beta}_1 = 139,2$; для $\Delta_2 I = 0,4$, $\hat{\beta}_2 = 136,8$; для $\Delta_3 I = 0,6$, $\hat{\beta}_3 = 132,8$.

Далі, згідно до запропонованого методу, побудуємо по МНК регресійну залежність $\hat{\beta}(\Delta I_3)$:

$$\beta_i(\Delta I_{3_{\max}}) = \alpha_0 + \alpha_1 \Delta I_{3_i} + \alpha_2 \Delta I_{3_i}^2, \quad i = 1, 2, 3, \dots , \quad \text{де } \alpha_0 = 140; \alpha_1 = 0; \alpha_2 = -20 .$$

Тобто прогнозне в точку $\Delta^2_{\zeta} = 0$ значення $\beta(0) = \alpha_0 = 140$, співпадає з шуканим невідомим значенням $\left. \frac{\partial U_{я}}{\partial I_3} \right|_{I_{я0}}$, а керування (10), з точністю до малих другого порядку ряда (3) забезпечує стабілізацію $U_{я0}$ в зоні відхилень $\Delta I_я$ збурюючого фактора.

Приклад 2. Задача стабілізації швидкості ДПС з незалежним збудженням.

З теорії електричних машин відома залежність швидкості Ω (рад/с) ДПС від керуючого (I_3 – струм збудження магнітного потоку Φ) і збурюючого (момент навантаження або пропорційний до нього струм $I_я$ · якоря) сигналу:

$$\Omega(I_z, I_y) = \frac{U_y - I_y \cdot R_y}{C_M \Phi(I_z)}, \quad (9)$$

де C_M – конструктивна стала ДПС; U_y – напруга; R_y – електричний опір якорного кола.

Нехай залежність $C_M \Phi(I_z)$ має наступний вигляд

$$C_M \Phi(I_z) = 2I_z - 0,2I_z^3, \quad (10)$$

$U_y = 220\text{В}$, $R_y = 0,5\text{Ом}$; номінальний режим має $I_{z0} = 0,5\text{А}$, $I_{y0} = 0,5\text{А}$.

В обмеженій області номінального режиму залежність (13) у відхиленнях $\Delta\Omega$, Δ^2_φ , Δ^2_γ від номінальних значень $\Delta\Omega_0$, I_{z0} , ΔI_{y0} набуває вигляду:

$$\Delta\Omega, (\Delta I_z, \Delta I_y) = \left. \frac{\partial \Omega}{\partial I_z} \right|_{I_{z0}, I_{y0}} \cdot \Delta I_z + \left. \frac{\partial \Omega}{\partial I_y} \right|_{I_{z0}, I_{y0}} \cdot \Delta I_y, \quad (11)$$

або, з урахуванням (13), (14) та відповідних числових значень параметрів,

$$\Delta\Omega = \frac{-(U_{y0} - I_{y0} \cdot R_{y0}) \cdot (I_{z0} - 0,6I_{z0}^2) - R_y (2I_{z0} - 0,2I_{z0}^3)^2}{(2I_{z0} - 0,2I_{z0}^3)^2} \cdot \Delta I_y = -412,7 \cdot \Delta I_z - 0,5128 \cdot \Delta I_y. \quad (12)$$

Швидкість Ω буде стабільною, якщо:

$$\Delta\Omega = -412,7 \cdot \Delta I_z - 0,5128 \cdot \Delta I_y \cong 0. \quad (13)$$

Звідси розімкнене керування по збуренню набуває виду:

$$\Delta I_z = -0,00124 \cdot \Delta I_y, \quad (14)$$

яке забезпечує стабільність номінальної швидкості Ω_0 ДПС в межах $\Delta I_z, \Delta I_y$, де лінійне рівняння (11) справедливе з точністю до малих другого порядку. Згідно до запропонованого способу, з експерименту на ДПС визначимо залежність $\Delta\Omega(I_z)$ за незмінного I_{y0} :

Таблиця. 1 – Залежність швидкості не незмінного збурення

I_{y0}	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
Ω	545,93	36,385	274,06	248,57	188,01	163,36	145,23

За даними таблиці 1 обчислимо залежність $\frac{\Delta\Omega}{\Delta I_z}$ від ΔI_z

Таблиця 2 – Залежність $\frac{\Delta\Omega}{\Delta I_z}$ від ΔI_z .

ΔI_z	0	0,2	0,4	0,6
$\frac{\partial \Omega}{\partial I_{zi}}$	-	430,25	500,06	667,83

Тепер по МНК апроксимуємо дані табл. 2 квадратичною параболою:

$$\frac{\partial \Omega}{\partial I_{zi}} \cong \frac{\Delta_i \Omega}{\Delta_i I_z} = \alpha_0 + \alpha_1 |\Delta I_{zi}| + \alpha_2 \Delta I_{zi}^2, \quad (15)$$

де α_0 – шукане значення $\left. \frac{\partial \Omega}{\partial I_z} \right|_{I_{z0}, I_{z0}}$, яке дорівнює точному значенню -412,7– рівняння (12).

За наявності випадкових шумів аналогічний результат, близький до точного, отримаємо шляхом усереднення даних декількох незалежних експериментів.

Приклад 3. Нелінійне диференційне рівняння описує динаміку ДПС:

$$\tau_M \frac{d\Omega}{dt} + \Omega(t) = f(I_z(t)), \quad (16)$$

де τ_M - стала ДПС, а $f(I_z)$ гіпербола:

$$f(I_z) = \frac{\alpha_0}{I_z}. \quad (17)$$

Користуючись запропонованим способом слід визначити коефіцієнти лінеаризованої відносно базового режиму ($\Omega_0, I_{z0}, \frac{d\Omega}{dt} = 0$) моделі ДПС:

$$\beta_0 \frac{d\Delta\Omega}{dt} + \Delta\Omega(t) = \left. \frac{df(I_z)}{dI_z} \right|_{I_{z0}} \cdot \Delta I_z(t), \quad (18)$$

де, враховуючи залежність (17),

$$\left. \frac{df(I_z)}{dI_z} \right|_{I_{z0}} = \frac{\alpha_0}{I_{z0}^2} = \beta_1, \quad (19)$$

тобто рівняння (18) набуває виду:

$$\beta_0 \frac{d\Delta\Omega}{dt} + \Delta\Omega(t) = \beta_1 \Delta I_z(t). \quad (20)$$

Виміри у реальній ситуації зашумлені. Тому для досить малих відхилень $\Delta\Omega$ і ΔI_z від базового режиму співвідношення «шум-сигнал» буде занадто великим. Та згідно до даного способу, визначимо по МНК змінені оцінки β_0 і β_1 для декількох однотипних відхилень різної, але суттєвої амплітуди. Незміщені оцінки β_0 і β_1 отримаємо шляхом апроксимації по МНК регресійних залежностей зміщених оцінок β_{0i}, β_{1i} від норми (ΔI_{zi}) відхилень ΔI_{zi} :

Нехай $I_{z0} = 0,5A$; ΔI_z ступеньки, що приймають значення 0,2 А; 0,3 А; 0,4 А; $\beta_0 = 1$; $\beta_1 = 40$; $\alpha_0 = 10$. Зафіксуємо у часі t_k виміри $\Omega(t_k)$,

$\frac{d\Omega(t_k)}{dt}$, $I_{\zeta_0} + \Delta_i I_{\zeta}(t_k)$, $k = 0, 1, \dots, N$, $N = 100$, і по МНК для кожного і-го відхилення знайдемо, для рівняння (20) коефіцієнт, наприклад β_{1_i} (табл.3)

Таблиця. 3 – Визначення зміщених оцінок для однотипних відхилень

N		1	2	3	4	5
β_{1_i}		35	28,5	25,6	22,5	20
$\Delta_i I_{\zeta}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$\Delta\beta_{1_i}$		5	11,5	14,34	17,5	20

Далі по МНК за даними табл. 3 визначимо коефіцієнти регресійної залежності

$$\beta_{1_i} = \eta_0 + \eta_1 |\Delta I_{\zeta}| + \eta_2 \Delta I_{\zeta}^2, \quad (21)$$

де η_0 буде майже незміщеною оцінкою коефіцієнта β_1 рівняння (20):

$$\beta_1 = \frac{10}{0,25} = 40; \quad \eta_0 \cong \dots 40,9, \text{ похибка } 0,9 \text{ в кінці } \eta_0 \text{ коефіцієнта, однак вона}$$

суттєво менше зміщень $\Delta\beta_{1_i}$ оцінок β_{1_i} (Таблиця 3), отримання по МНК для суттєвих відхилень $\Delta i I_{\zeta}$, β_1 пов'язана з неточністю апроксимації (21), залежності (19).

За наявності випадкових шумів у вимірах $\Psi(t_k)$ і $I_{\zeta}(t_k)$ аналогічний результат отримаємо шляхом усереднення даних експерименту.

Список літератури

1. Круг Г.К., Сосулин Ю.А., Фатуев В.А. «Планирование эксперимента в идентификации и электрополязии». М.: Наука, 1977, 150 с.
2. Круг Г.К., Фатуев В.А. «Применение D-оптимальных планов для восстановления характеристик линейных объектов»// Труды МЭИ, вып. 116, 1972, - С. 12-18.

A. Сильвестров, А. Скрынник, Е. Уманская

Метод точной линеаризации экспериментально измеренных нелинейных зависимостей

Методика измерения параметров линеаризованной относительно базового режима модели нелинейной динамики электротехнических объектов, согласно которой на вход объекта подают такой тестирующий сигнал, при котором обеспечивается линейная независимость переменных состояния линеаризованной модели, которые регистрируются, при соответствующем условии близкой переменных состояния объекта и модели, однозначно определяются смещения (в результате влияния нелинейности объекта) оценки параметров линеаризованной модели. Метод отличается тем, что проводится два или больше подобных между собой эксперимента с разными амплитудами (мощностями) тестирующих сигналов.

A. Silvestrov, A. Skrynnik, E. Umanskaya

Метод точной линеаризации экспериментально измеренных нелинейных зависимостей

Methods of measuring the parameters relative to the base of the linear model of the nonlinear dynamics of the regime of electrical facilities, according to which the input object serves a test signal, at which the linear independence of the state variables of the linear models, which are recorded under suitable conditions near the state variables of the object and the models are uniquely determined by the displacement (nonlinearity due to the impact of the object) parameter estimates of the linear model. The method is characterized in that holds two or more mutually similar experiment with different amplitudes (power) testing signals.

Одержано 18.09.12

УДК 004.045:004.932

П.А. Становский, канд. техн. наук, Л.В. Бовнегра, доц., канд. техн. наук,
Ю.В. Шихирева

Одесский национальный политехнический университет

Автоматизированный мониторинг протекания технологических процессов с помощью низкочастотных видеопотоков

Для оценки состояния режущего инструмента по мере его износа предложено использовать видеосъемку сходящей стружки с последующим параболическим преобразованием полученного при этом видеопотока. Показан метод обучения системы диагностики состояния инструмента. Определены параметры настроек преобразования и предложен критерий работоспособности инструмента.
режущий инструмент, видеосъемка, параболические преобразования

Профессиональный токарь всегда сможет «на глазок» определить момент, когда износ режущего инструмента превысил допустимые нормы, и его следует заточить или заменить. Однако современные автоматизированные предприятия нуждаются совсем в другом подходе: оценку степени износа инструмента необходимо выполнять автоматически, в процессе работы станка.

В последнее время появились работы, в которых оценку состояния режущего инструмента производят, исследуя фотографическое изображение зоны его износа [1]. Такой подход обладает, по крайней мере, двумя существенными недостатками:

- во-первых, для визуализации изображения необходимо остановить станок, снять инструмент, сфотографировать его и установить на место, что требует затрат времени и представляет собой грубое вмешательство в производственный процесс;
- одиночное изображение малоинформативно, и по нему трудно судить о работоспособности инструмента на момент фотографирования.

Поэтому *целью настоящей работы* было создание условий для автоматической оценки степени износа металлорежущего инструмента с помощью анализа не отдельной фотографии, а нескольких кадров видеопотока из зоны резания, то есть по видеоизображению сливной стружки (рис. 1).

Для практической реализации этой цели выбор двух кадров видеопотока начинается с задания пользователем начальной длины $L_{\text{нач}}$ (измеренной в количестве кадров; $L_{\text{нач}} \geq 2$) элементарного интервала видеопотока (ЭИВ), в рамках которого осуществляется оценивание существенности изменений в последнем. В работе принимали начальную длину $L_{\text{нач}} = 50$. Длина интервала $L_{\text{нач}}$ и частота кадров f_k определяли начальный интервал времени между проверками существенности изменений видеопотока:

$$\tau_{\text{нач}} = L_{\text{нач}} / f_k. \quad (1)$$

При $f_k = 25$ 1/с и $L_{\text{Енач}} = 50$ имеем $\tau_{\text{Снач}} = 2$ с. Дальнейшая адаптация системы к скорости изменения изображения состояла в изменении длины ЭИВ и расстояния между двумя кадрами:

$$L_{\text{Еадапт}} = \text{Int} \left(L_{\text{Енач}} \frac{v_2}{v_1} \right), \quad (2)$$

где v_1 – скорость изменения изображения между кадрами в предыдущем ЭИВ;
 v_2 – вычисляется по формуле:

$$v_2 = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \Delta z_{ij}}{NM \Delta \tau} \left[\frac{\text{единица яркости}}{\text{с} \cdot \text{пикс}^2} \right], \quad (3)$$

где $\Delta \tau$ – промежуток времени между кадрами видеопотока; Δz_{ij} – изменение яркостей соответствующих пикселей с координатами i и j за время $\Delta \tau$.

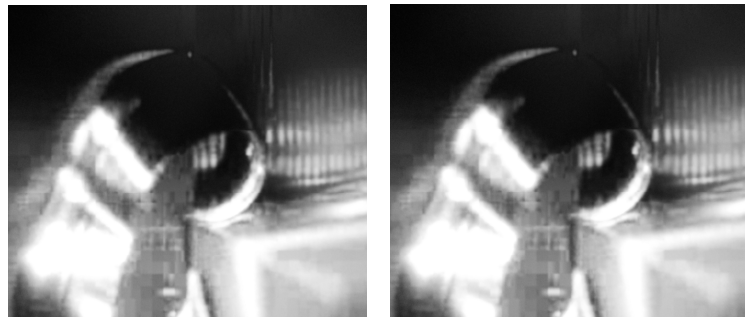


Рисунок 1 – Видео сливной стружки из зоны резания: два смежных кадра видеопотока

Оценим максимально возможное значение v . Оно достигается тогда, когда все пиксели за один кадр ($\Delta \tau = 1$) меняются от 0 до 255 или наоборот. Из (3) вытекает, что $v_{\text{max}} = 255$. Далее осуществляется выбор двух кадров в пределах ЭИВ и применяли к ним параболическое преобразование [2]. Для этого рассмотрим параболическое уравнение следующего вида:

$$\frac{\partial z_{x,y,\tau}}{\partial \tau} = D_{ij} \left(\frac{\partial^2 z_{x,y,\tau}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 z_{x,y,\tau}}{\partial y^2} \right), \quad (4)$$

где x , y и τ – пространственно-временные координаты ij -го пикселя отдельного кадра видеопотока яркостью $z_{x,y,\tau}$. В выражении (4) D_{ij} – некоторый коэффициент, который имеет конкретное значение для каждого конкретного пикселя. Поскольку x , y , τ и z – дискретные переменные, представим яркости $z_{x,y,\tau}$ в виде дискретной функции $z_{i,j,k}$, где $i = 0, 1, 2, \dots, n$ с шагом в 1 пиксель; $j = 0, 1, 2, \dots, m$ с шагом в 1 пиксель; $k = 0, 1, 2, \dots, K$ с шагом в 1 кадр. Внося соответствующие изменения в параболический уравнение (4) и решая его относительно D_{ij} , получаем:

$$D_{ij} = \frac{z_{i,j,(k+1)} - z_{i,j,k}}{z_{(i+1),j,k} + z_{(i-1),j,k} + z_{i,(j+1),k} + z_{i,(j-1),k} - 4z_{i,j,k}}. \quad (5)$$

Использование параболического преобразования для выявления существенных изменений в видеопотоке и адаптации телекоммуникационных сетей видеонаблюдения к событиям на объекте не требует от его результатов получения любой непрерывной границы отдельных участков и есть малочувствительным к появлению ошибочных малоразмерных объектов.

Наличие результата параболического преобразования (РПП, рис. 2) предоставляет возможность выполнить его численную оценку, которую в дальнейшем можно использовать для расчетов показателя существенности.

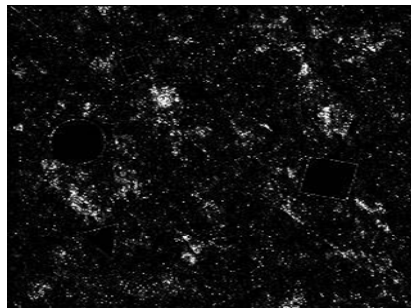


Рисунок 2 – Кадры видеопотока из зоны резания, представленные на рис. 1, после параболического преобразования

Обработка РПП, в свою очередь, позволяет получить числовые значения мощности и дисперсии, используемые в оценке работоспособности инструмента [3].

Мощность РПП оценивали как отношение количества «белых» ($z = 255$) пикселей к их общему количеству:

$$P = \frac{z_{255}}{NM} = \frac{z_{255}}{z_0 + z_{255}} \left[\frac{1}{\text{пикс}} \right]. \quad (6)$$

Статистическую дисперсию размера «белых» пятен на РПП вычисляли по формуле:

$$\sigma^2 = \frac{(S_{n1} - \bar{S}_n)^2 + \dots + (S_{nm} - \bar{S}_n)^2}{n}; \quad \bar{S}_n = \frac{S_{n1} + \dots + S_{nm}}{n}, \quad (7)$$

где S_{ni} – площадь i -го пятна; $0 \leq i \leq n$. Дисперсия σ^2 существует в диапазоне $0 \leq \sigma^2 \leq NM/4$, поэтому это значение подвергали нормированию к 1.

Наличие перечисленных характеристик видеопотока позволяет рассчитать число, которое использовали в качестве комплексного критерия при адаптации систем диагностики к состоянию инструмента. Для этого использовали метрику вида:

$$M = \sqrt{(P_2 - P_1)^2 + (\sigma_2^2 - \sigma_1^2)^2}, \quad (6)$$

где индексы 1 и 2 относятся к сравниваемым видеопотокам.

Информационная технология адаптации системы диагностики к состоянию инструмента имеет две фазы деятельности: обучение и работа. При этом подвижное изображение с видеокamеры рассматривается как отдельный зрительный образ объекта наблюдения, который может находиться в двух состояниях: несущественные изменения; существенные изменения.

Во время обеих фаз выполняется параболическое преобразование пакетов от двух кадров каждого ЭИВ, но во время обучения решение о существенности изменений в фрагменте видеопотока принимает эксперт (группа экспертов).

С точки зрения работоспособности инструмента к несущественным изменениям относили:

- последствия допустимого износа инструмента;
- последствия изменения режимов резания.

К существенным изменениям относили:

- последствия недопустимого износа инструмента.

Для определения существенности в каждом конкретном случае используется метрика (8). На основании изучения информации о значении критерия существенности при наблюдении видеопотока от зоны резания устанавливали полосу значений метрики, попадание в которую во время работы системы признавали существенным изменением и инструмент снимали с эксплуатации. Численная информация о несущественных изменениях хранится в базе данных системы автоматизированной оценки состояния инструмента.

Перечисленные выше компоненты метрического критерия (8) являются минимальным «набором» информации, которую можно получить в результате цифровой обработки РПП (рис. 2). Этот набор может быть значительно расширен, например, за счет автономного анализа отдельных фрагментов РПП, придания этим фрагментам различных весовых характеристик значимости и т.п.

Список литературы

1. Методы и средства построения классификатора состояний режущих инструментов /А.Г.Деревянченко, В.Д. Павленко, А.А. Фомин, Л.В. Бовнегра, С.В, Павленко //Современные технологии в машиностроении. Сборник научных статей. – Харьков: НТУ “ХПИ”. 2007. –С. 46–55.
2. Тонконогий В.М. Видеообработка изображений в системе автоматического измерения дефектности износостойких покрытий на режущем инструменте / В.М. Тонконогий, П.А. Становский // Труды Одесского политехнического университета. – 2005. – Вып. 1(23). – С. 112 – 115.
3. Тонконогий В.М. Автоматизация измерения дефектности износостойких покрытий / В.М. Тонконогий, П.А. Становский // Материалы XII семинара «Моделирование в прикладных научных исследованиях». – Одесса: ОНПУ, 2005. – С. 21 – 22.

П. Становський, Л. Бовнегра, Ю. Шихірєва

Автоматизований моніторинг перебігу технологічних процесів за допомогою низькочастотних відеопотоків

Для оцінки стану ріжучого інструменту в міру його зношування запропоновано використовувати відеозйомку стружки, що сходить, з наступним параболическим перетворенням отриманого при цьому відеопотоку. Показаний метод навчання системи діагностики стану інструмента. Визначені параметри налаштувань перетворення та запропонований критерій працездатності інструмента.

P. Stanovsky, L. Bovnegra, Yu. Shihireva

Automated monitoring of the flow of technological processes with low-frequency streams

For an estimation of the cutting tool condition it is offered to use videoshooting of a descending shaving with the subsequent parabolic transformation. The method of the preliminary treatment of the tool condition system training is shown. Parameters of the transformation options are defined and the tool working capacity criterion is offered.

Получено 14.09.12

УДК 62-932.2

**О.Н. Синчук, проф., д-р техн. наук, И.О. Синчук, доц., канд. техн. наук,
А.Н. Яловая, соискатель**

Криворожский национальный университет

Н.И. Лесной, ассист.

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского

«Холодный» резерв недогруженных силовых трансформаторов – путь повышения эффективности электроснабжения железорудных комбинатов

Приведена аргументация возможности и целесообразности вывода в «холодный» резерв недогруженных трансформаторов системы электроснабжения железорудного комбината, на примере «Полтавского ГОКа». Даны оценочные показатели предлагаемого решения.

горно-обогатительный комбинат, силовой трансформатор, коэффициент загрузки, «холодный» резерв

Введение. В последние десять-пятнадцать лет вопросы эффективности электропотребления горнометаллургическими предприятиями, как основного источника пополнения валютных запасов, страны перешли в стадию проблемы, требующей своего скорейшего решения.

Анализ предыдущих исследований. Доля электрической энергии в общем объеме себестоимости выпускаемой продукции отечественных горно-обогатительных комбинатов (ГОК) составляет 24–30 %. В тоже время этот показатель ряда аналогичных зарубежных предприятий почти в два раза меньше [1]. Из чего следует, что производственные мощности горнорудных предприятий в нашей стране используются недостаточно рационально.

Цель работы. Техничко-экономическое обоснование вывода недогруженных трансформаторов в «холодный» резерв, на примере «Полтавского ГОКа».

Материал и результаты исследования. Проектные расчеты потребления электроэнергии «Полтавским ГОКом» (ПГОК), выполненные более тридцати лет тому назад, привели к объективно значительному завышению проектной мощности предприятия для нынешних условий функционирования и, как следствие, установление

P. Stanovsky, L. Bovnegra, Yu. Shihireva

Automated monitoring of the flow of technological processes with low-frequency streams

For an estimation of the cutting tool condition it is offered to use videoshooting of a descending shaving with the subsequent parabolic transformation. The method of the preliminary treatment of the tool condition system training is shown. Parameters of the transformation options are defined and the tool working capacity criterion is offered.

Получено 14.09.12

УДК 62-932.2

**О.Н. Синчук, проф., д-р техн. наук, И.О. Синчук, доц., канд. техн. наук,
А.Н. Яловая, соискатель**

Криворожский национальный университет

Н.И. Лесной, ассист.

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского

«Холодный» резерв недогруженных силовых трансформаторов – путь повышения эффективности электроснабжения железорудных комбинатов

Приведена аргументация возможности и целесообразности вывода в «холодный» резерв недогруженных трансформаторов системы электроснабжения железорудного комбината, на примере «Полтавского ГОКа». Даны оценочные показатели предлагаемого решения.

горно-обогатительный комбинат, силовой трансформатор, коэффициент загрузки, «холодный» резерв

Введение. В последние десять-пятнадцать лет вопросы эффективности электропотребления горнометаллургическими предприятиями, как основного источника пополнения валютных запасов, страны перешли в стадию проблемы, требующей своего скорейшего решения.

Анализ предыдущих исследований. Доля электрической энергии в общем объеме себестоимости выпускаемой продукции отечественных горно-обогатительных комбинатов (ГОК) составляет 24–30 %. В тоже время этот показатель ряда аналогичных зарубежных предприятий почти в два раза меньше [1]. Из чего следует, что производственные мощности горнорудных предприятий в нашей стране используются недостаточно рационально.

Цель работы. Техничко-экономическое обоснование вывода недогруженных трансформаторов в «холодный» резерв, на примере «Полтавского ГОКа».

Материал и результаты исследования. Проектные расчеты потребления электроэнергии «Полтавским ГОКом» (ПГОК), выполненные более тридцати лет тому назад, привели к объективно значительному завышению проектной мощности предприятия для нынешних условий функционирования и, как следствие, установление

на главных понизительных подстанциях (ГПП) комбината силовых трансформаторов мощностью, которая более чем в два раза несоизмерна с реальной электрической нагрузкой комбината. Последнее приводит к значительным непроизводительным потерям.

Тактика строения схем электроснабжения «Полтавского ГОКа» предусматривает, что потребители электрической энергии получают питание напряжением уровней – 6 и 35 кВ от шести главных понизительных подстанций.

Предварительная оценка электрических нагрузок комбината показала, что суммарная потребляемая мощность потребителями подстанций ПГОКа составляет 200–250 МВА, при установленной мощности двадцати двух силовых трансформаторов 772 МВА, т. е. средняя загрузка трансформаторов по комбинату составляет 0,26–0,32, против минимально регламентированных 0,6, т.е. разница необходимого и фактического значений составит более 2–кратных значений.

Для детального рассмотрения сложившейся ситуации проведен анализ ГПП–6 (рис. 1), питающей цех производства окатышей комбината.

Как следует из рис. 1, на подстанции установлено 2 трансформатора (ТРНД–63000/150), паспортные данные которых указаны в табл. 1.

Таблица 1 – Технические параметры трансформаторов ТРНД–63000/150

$S_{н}$, кВА	$U_{вн}$, кВ	$U_{нн}$, кВ	ΔP_{xx} , кВт	$\Delta P_{кз}$, кВт	ΔQ_{xx} , кВАр	$\Delta Q_{кз}$, кВАр
63000	150	6	137	260	409,5	6003,9

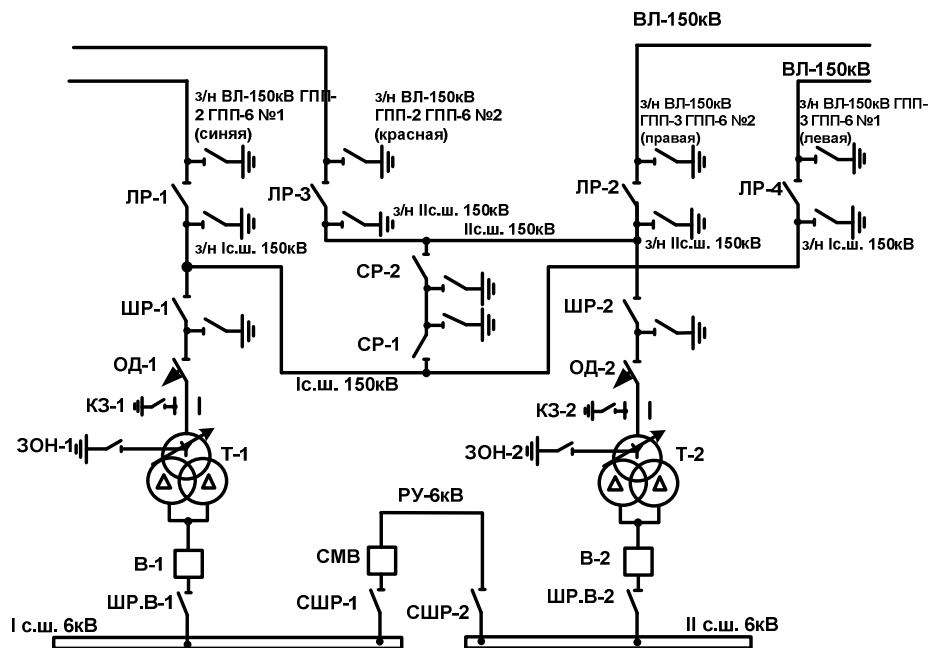


Рисунок 1 – Однолинейная схема электрических соединений ГПП–6 «Полтавского ГОКа»

Используя уравнения потерь активной (ΔP_T) и реактивной (ΔQ_T) мощности в трансформаторе (1–2) найдем его полные потери (ΔS_T) и КПД (η_T) (3–4) в зависимости от коэффициента загрузки (рис. 2) [2]:

$$\Delta P_T = \Delta P_{xx} + \Delta P_{кз} \cdot K_3^2, \text{ кВт}, \quad (1)$$

$$\Delta Q_T = \Delta Q_{xx} + \Delta Q_{кз} \cdot K_3^2, \text{ кВАр}, \quad (2)$$

$$\Delta S_T = \sqrt{\Delta P_T^2 + \Delta Q_T^2}, \text{ кВА}, \quad (3)$$

$$\eta_T = \frac{P_H}{P_H + \Delta P_T}. \quad (4)$$

Предварительная оценка электрических нагрузок подстанции позволила установить, что средние значения коэффициентов загрузки трансформаторов Т1 и Т2 на ГПП–6 (рис. 1) за прошедший год эксплуатации составили: $K_{31}=0,167$, $K_{32}=0,183$. Следовательно, их дальнейшая работа в прежнем режиме является неэффективной [3]. Выходом из сложившейся ситуации может служить вывод одного из трансформаторов в «холодный» резерв (так как они не запрашивают потребителей I категории надежности электроснабжения [4]) либо полное отключение ГПП и распределение всей ее нагрузки между соседними подстанциями. Второй вариант уже по превентивной оценке является дорогостоящим, в виду необходимости постройки дополнительных высоковольтных ЛЭП, а следовательно ожидаемого значительного увеличения срока окупаемости проекта (10–25 лет). Последнее снова возвращает нас к варианту вывода одного из трансформаторов ГПП–6 в «холодный» резерв.

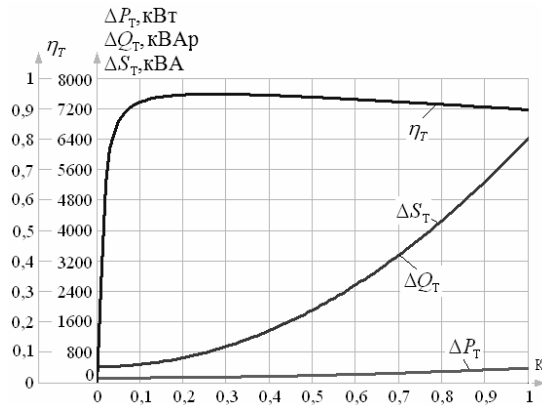


Рисунок 2 – Залежності ККД, активних, реактивних і повних потерь потужності трансформатора ТРНД–63000/150 при різних значеннях коефіцієнта завантаження

Оценим при этом годовой экономический эффект выбранного варианта.

Потери активной (ΔW_{AT}) и реактивной (ΔW_{PT}) энергии в трансформаторе за год [2]:

$$\Delta W_{AT} = \Delta P_{XX} T_{\Gamma} + \Delta P_{K3} K_3^2 \tau, \text{ кВт}\cdot\text{час}, \quad (5)$$

$$\Delta W_{PT} = \Delta Q_{XX} \cdot T_{\Gamma} + \Delta Q_{K3} \cdot K_3^2 \cdot \tau, \text{ кВАр}\cdot\text{час}, \quad (6)$$

где T_{Γ} – число часов работы трансформатора в году, $T_{\Gamma} = 8760$ часов; τ – время максимальных потерь; условное число часов, в течение которых максимальный ток, протекающий непрерывно, создает потери энергии, равные действительным потерям энергии за год:

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_M}{10000} \right)^2 8760, \quad (7)$$

где T_M – время использования максимума нагрузки, условное число часов, в течение которых работа с максимальной нагрузкой передает за год столько энергии, сколько при работе по действительному графику:

$$T_M = W / P_M, \text{ часов,} \quad (8)$$

где W – количество израсходованной электроэнергии за год, кВт·час:

$$W = 8760 \cdot K_3 \cdot P_H, \text{ кВт·час,} \quad (9)$$

P_H – номинальная нагрузка, кВт; P_M – максимальная расчетная нагрузка, кВт.

Если сделать допущение, что $P_H = P_M$, то:

$$T_M = 8760 \cdot K_3, \text{ часов.} \quad (10)$$

Тогда $T_{M1} = 1463$ часов, а $T_{M2} = 1603$ часов.

$$\tau_1 = \left(0,124 + \frac{1463}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 640 \text{ часов,}$$

$$\tau_2 = \left(0,124 + \frac{1603}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 708 \text{ часов.}$$

Следовательно годовая экономия активной ($\Delta W_{AЭ}$) и реактивной ($\Delta W_{PЭ}$) энергий при выводе одного трансформатора ГПП–6 в «холодный» резерв составит:

$$\begin{aligned} \Delta W_{AЭ} = & \Delta W_{AT1} + \Delta W_{AT2} - \left(\Delta P_{XX} T_{Г} + \Delta P_{K3} \cdot (K_{31} + K_{32})^2 \times \right. \\ & \left. \times \left(\left(0,124 + \frac{8760 \cdot (K_{31} + K_{32})}{10000} \right)^2 \cdot 8760 \right) \right), \quad \text{кВт·час;} \quad (11) \end{aligned}$$

$$\Delta W_{AЭ} = 1204761 + 1206285 - 1251852 = 1159194, \text{ кВт·час.}$$

$$\begin{aligned} \Delta W_{PЭ} = & \Delta W_{PT1} + \Delta W_{PT2} - \left(\Delta Q_{XX} \cdot T_{Г} + \Delta Q_{K3} \cdot (K_{31} + K_{32})^2 \times \right. \\ & \left. \times \left(\left(0,124 + \frac{8760 \cdot (K_{31} + K_{32})}{10000} \right)^2 \cdot 8760 \right) \right), \quad \text{кВАр·час;} \quad (12) \end{aligned}$$

$$\Delta W_{PЭ} = 4608525 + 4943928 - 14971737 = - 5419284 \text{ кВАр·час.}$$

Что в денежном эквиваленте составит [2]:

$$C = C_A \Delta W_{AЭ} + C_P \Delta W_{PЭ}, \text{ грн,} \quad ((13))$$

где: C_A – средняя стоимость 1 кВт·часа электроэнергии, $C_A = 0,4221$ грн/(кВт·час) (без НДС); C_P – средняя стоимость 1 кВАр·часа электроэнергии, $C_P = 0,0114$ грн/(кВАр·час) (без НДС).

$$C = 0,4221 \cdot 1159194 + 0,0114 \cdot (-5419284) = 427515, \text{ грн.}$$

Учитывая, что с последней проверки коэффициент загрузки трансформаторов мог измениться, рассчитаем экономию активной, реактивной и полной мощности за счет уменьшения потерь при выводе одного трансформатора ГПП–6 в «холодный» резерв для всех возможных вариантов значения K_{31} и K_{32} , сумма которых не должна превышать 1:

$$K_{31} + K_{32} < 1. \quad (14)$$

Снижение потерь активной мощности:

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{T1} + \Delta P_{T2} - (\Delta P_{XX} + \Delta P_{K3} \cdot (K_{31} + K_{32})^2), \text{ кВт.} \quad (15)$$

Снижение потерь реактивной мощности:

$$\Delta Q_{\Sigma} = \Delta Q_{T1} + \Delta Q_{T2} - (\Delta Q_{XX} + \Delta Q_{K3} \cdot (K_{31} + K_{32})^2), \text{ кВар.} \quad (16)$$

Снижение потерь полной мощности:

$$\Delta S_{\Sigma} = \Delta S_{T1} + \Delta S_{T2} - \sqrt{(\Delta P_{XX} + \Delta P_{K3} \cdot (K_{31} + K_{32})^2)^2 + (\Delta Q_{XX} + \Delta Q_{K3} \cdot (K_{31} + K_{32})^2)^2}, \text{ кВА.} \quad (17)$$

Принимая во внимание ограничение (14), из уравнений (15) – (17) получим следующие зависимости (рис. 3):

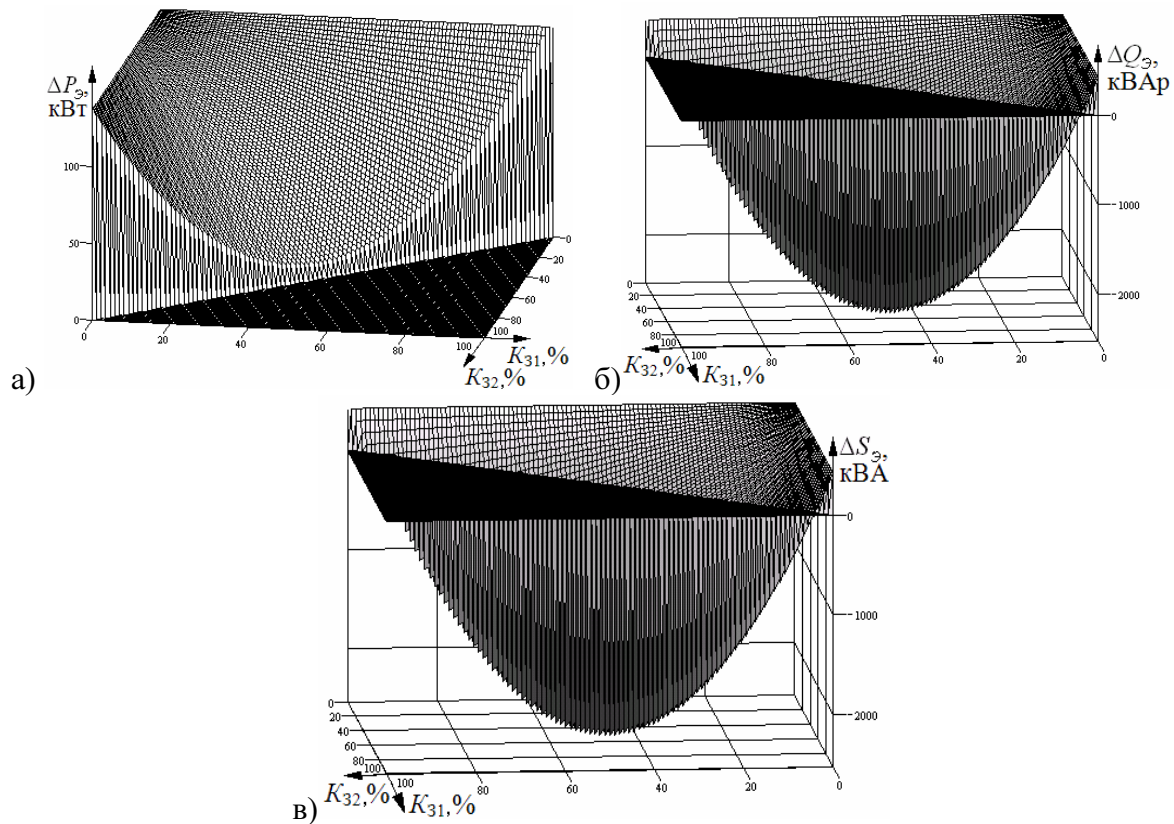
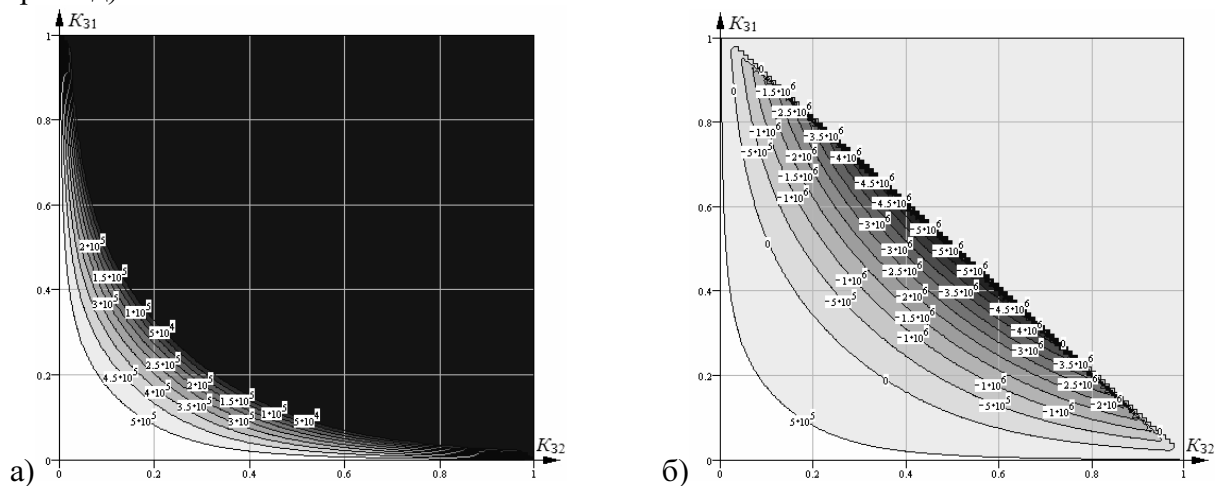


Рисунок 3 – Зависимость сэкономленной активной (а), реактивной (б) и полной (в) мощности при выводе в «холодный» резерв одного из двух недогруженных трансформаторов ГПП–6

Для более наглядной оценки зависимости годовой экономии средств – сделаем расчет (5)–(7), (10)–(13) их экономии при различных значениях коэффициента загрузки трансформаторов. Результаты расчетов представлены на рис. 4 из которого следует что экономический эффект при выводе в «холодный» резерв одного из двух недогруженных трансформаторов ГПП–6 «Полтавского ГОКа» возможен, но не всегда это решение эффективно при допустимых значениях коэффициента загрузки трансформаторов (14), и является сугубо индивидуальной зависимостью для каждой пары трансформаторов (в нашем случае – ТРНД–63000/150). В случае несоблюдения таких индивидуальных зависимостей, даже при выполнении условия (14), следует ожидать значительных материальных затрат (для ТРНД–63000/150 – до 5,07 млн. грн/год).



а) зависимость положительного экономического эффекта при соблюдении условия (14);

б) зависимость полного экономического эффекта при соблюдении условия (14)

Рисунок 4 – Зависимость годового экономического эффекта (грн/год) при выводе в «холодный» резерв одного из двух недогруженных трансформаторов ГПП–6

Выводы. 1. Представленная методика позволяет рассчитать экономический эффект от вывода одного из силовых трансформаторов подстанции в «холодный» резерв, основываясь на потребляемых мощностях предприятия. Который в рассмотренном случае может составлять до 500 тыс.грн. в год.

2. Результаты данных исследований также позволяют решать и обратную первоначально поставленной задаче – обоснование рациональности ввода в эксплуатацию трансформатора, находившегося в «холодном» резерве.

Список литературы

1. Сінчук О.М., Федорченко Н.Л., Литвинський Л.Б. та інші. Енергозберігаюче керування електротехнічними та енергетичними комплексами і системами: Монографія. – Кременчук: Вид. ПП Щербатих О.В., 2010. – 340 с.
2. Сегеда М.С. Электричні мережі та системи: Підручник. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2007. – 488 с.
3. Самойлович И.С., Сінчук О.Н., Панасенко Н.В., Ксендзов В.В. Электроэнергетика карьеров с циклично-поточной технологией. – К.: «АДЕФ-Украина», 2010. – 210 с.
4. Правила устройства электроустановок. – Х.: Форт, 2009. – 704 с.

О. Сінчук, І.Сінчук, А. Ялова, М. Лісний

«Холодный» резерв недовантаженных силовых трансформаторів – шлях підвищення ефективності електропостачання залізрудних комбінатів

Приведена аргументація можливості і доцільності виводу в «холодний» резерв недовантажених трансформаторів системи електропостачання залізрудного комбінату, на прикладі «Полтавського ГЗК». Дані оцінні показники запропонованого рішення.

O. Sinchuk, I. Sinchuk, A. Yalova, M. Lisnyi

«Cold» reserve of the underloaded power transformers is way of increase of efficiency of power supply of mountain–concentrating industrial complex

The argumentation of possibility and expedience of conclusion is resulted in «cold» reserve of the underloaded transformers of the system of power supply of iron-ore combine, on the example of «Poltava mountain-concentrating industrial complex». The evaluation indexes of the offered solution are given.

Получено 14.09.12

УДК 621.391

В.И. Поддубняк, проф., канд. техн. наук

Донецкий институт железнодорожного транспорта

В.А. Зубенко, асист.

Кировоградский национальный технический университет

Разработка имитационной модели канала передачи дискретных сообщений с использованием каскадных кодовых конструкций

В статье рассмотрена и исследована имитационная модель канала передачи дискретных сообщений с использованием каскадных кодовых конструкций. Получены эмпирические зависимости вероятности ошибочного приема символов дискретных сообщений.

имитационная модель, каскадные кодовые конструкции, турбопродуктивные коды, помехоустойчивость передачи

Достижение конкурентоспособности отечественных телекоммуникационных систем и систем связи требует с одной стороны снижение мощности передатчика, экономии полосы частот, увеличения дальности связи, способности работать при малых соотношениях «сигнал-шум», а с другой – повышения достоверности передачи информации.

Одним из путей достижения компромисса между этими противоречивыми требованиями является повышение эффективности помехоустойчивого кодирования. Перспективным направлением в развитии теории помехоустойчивого кодирования являются кодовые конструкции [1-4]. Их использование позволяет применить итеративный обмен мягкими решениями и достичь высоких показателей энергетической эффективности, близкой к теоретическому пределу и при этом снизить сложность программной и аппаратной реализации.

О. Сінчук, І.Сінчук, А. Ялова, М. Лісний

«Холодный» резерв недовантаженных силовых трансформаторів – шлях підвищення ефективності електропостачання залізрудних комбінатів

Приведена аргументація можливості і доцільності виводу в «холодний» резерв недовантажених трансформаторів системи електропостачання залізрудного комбінату, на прикладі «Полтавського ГЗК». Дані оцінні показники запропонованого рішення.

O. Sinchuk, I. Sinchuk, A. Yalova, M. Lisnyi

«Cold» reserve of the underloaded power transformers is way of increase of efficiency of power supply of mountain–concentrating industrial complex

The argumentation of possibility and expedience of conclusion is resulted in «cold» reserve of the underloaded transformers of the system of power supply of iron-ore combine, on the example of «Poltava mountain-concentrating industrial complex». The evaluation indexes of the offered solution are given.

Получено 14.09.12

УДК 621.391

В.И. Поддубняк, проф., канд. техн. наук

Донецкий институт железнодорожного транспорта

В.А. Зубенко, асист.

Кировоградский национальный технический университет

Разработка имитационной модели канала передачи дискретных сообщений с использованием каскадных кодовых конструкций

В статье рассмотрена и исследована имитационная модель канала передачи дискретных сообщений с использованием каскадных кодовых конструкций. Получены эмпирические зависимости вероятности ошибочного приема символов дискретных сообщений.

имитационная модель, каскадные кодовые конструкции, турбопродуктивные коды, помехоустойчивость передачи

Достижение конкурентоспособности отечественных телекоммуникационных систем и систем связи требует с одной стороны снижение мощности передатчика, экономии полосы частот, увеличения дальности связи, способности работать при малых соотношениях «сигнал-шум», а с другой – повышения достоверности передачи информации.

Одним из путей достижения компромисса между этими противоречивыми требованиями является повышение эффективности помехоустойчивого кодирования. Перспективным направлением в развитии теории помехоустойчивого кодирования являются кодовые конструкции [1-4]. Их использование позволяет применить итеративный обмен мягкими решениями и достичь высоких показателей энергетической эффективности, близкой к теоретическому пределу и при этом снизить сложность программной и аппаратной реализации.

Таким образом, актуальным направлением исследований является разработка (усовершенствование) методов декодирования с мягкими решениями на основе решающих функций, которые, без значительного снижения энергетического выигрыша от кодирования позволили бы существенно снизить сложность практической реализации. Перспективным направлением в этом смысле является формирование упорядоченных подмножеств проверочных уравнений и методов декодирования на их основе.

На основе предложенных вычислительных алгоритмов и алгебраических процедур синтеза каскадных кодовых конструкций с улучшенными свойствами и методов декодирования с итеративным обменом мягких решений [5,6] разработана имитационная модель канала передачи дискретных сообщений. Структурная схема имитационной модели представлена на рис. 1.

Предложенная имитационная модель структурно состоит из блока имитации источника дискретных сообщений (БИИДС), блока кодирования линейным каскадным блоковым кодом (БК), блока имитации канала передачи данных (канала AWGN) (БИКПД), блока декодирования с итеративным обменом мягких решений между составными декодерами каскадной кодовой конструкции (БД), блока имитации получателя дискретных сообщений (БИПДС), блока статистической обработки экспериментальных результатов (БСОЭР) и блока согласования (БС).

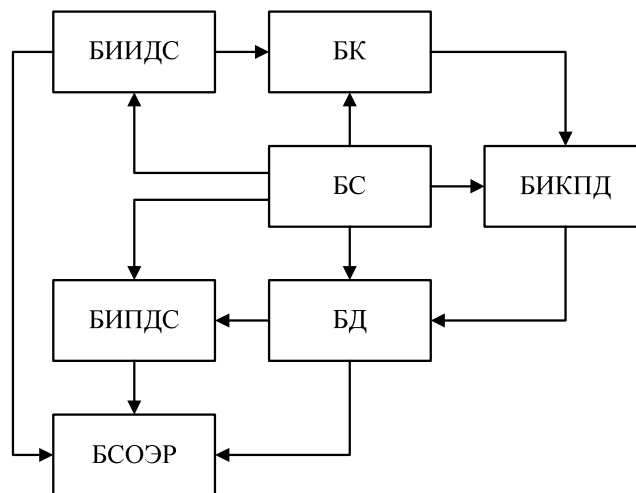


Рисунок 1 – Структурная схема разработанной имитационной модели канала передачи дискретных сообщений

Функционирование имитационной модели начинается процедурой инициализации параметров каскадной кодовой конструкции (число каскадов и параметры составных кодов), параметров декодера с итеративным обменом мягких решения (число итераций и особенности формирования решающей функции) и статистических параметров обработки экспериментальных результатов (установка доверительного интервала (или точности статистического исследования), доверительной вероятности, диапазон соотношений «сигнал/шум», в котором будут производиться экспериментальные исследования).

Блок имитации источника дискретных сообщений посредством вероятностных процедур формирования информационных символов имитирует работу источника информации (источника дискретных сообщений). Сформированные информационные последовательности поступают на блок кодирования линейным каскадным блоковым кодом.

Блок кодирования линейным каскадным блоковым кодом имитирует работу устройства помехоустойчивого кодирования и реализует алгоритмы преобразования информационных последовательностей в блоки кодовых символов (кодовые слова). В разработанной имитационной модели реализованы алгоритмы кодирования итеративным кодом, рассмотренным в качестве примера в третьем разделе. Сформированные кодовые слова поступают на блок имитации канала передачи данных.

Блок имитации канала передачи данных посредством вероятностных процедур формирования случайной величины w (отсчет шума), имеющей нормальное распределение с нулевым средним значением и дисперсией σ^2 , имитирует искажение кодовых символов в канале AWGN. Искаженное кодовое слово поступает на блок декодирования с итеративным обменом мягких решений между составными декодерами каскадной кодовой конструкции.

Блок декодирования имитирует работу устройства декодирования, т.е. посредством выполнения вычислительных алгоритмов декодирования [6] реализует процедуры мягкого турбодекодирования кодового слова каскадного кода. Декодированное кодовое слово поступает на блок имитации получателя дискретных сообщений и блок статистической обработки экспериментальных результатов.

Блок имитации получателя дискретных сообщений имитирует работу получателя информации.

Блок статистической обработки экспериментальных результатов анализирует декодированные кодовые слова и по рассмотренной выше методике вычисляет оценку вероятности ошибочного приема кодового символа и точность соответствующей оценки. Если значение точности оценки соответствует заданной (при фиксированной (заданной) доверительной вероятности для заданного соотношения «сигнал/шум») функционирование имитационной модели прекращается, полученная оценка вероятности ошибочного приема кодового символа принимается за искомую вероятность. В противном случае, моделирование продолжается до наступления события, когда полученная точность оценки будет соответствовать заданной.

Предложенная имитационная модель канала передачи дискретных сообщений, реализующая алгебраические процедуры кодирования и метод мягкого декодирования с итеративным обменом решения, а так же статистическую обработку экспериментальных результатов, реализована в программном виде на языке высокого уровня Delphi.

Для проверки работы модели рассмотрен процесс передачи дискретных сообщений по каналу AWGN с использованием каскадных кодовых конструкций и методов мягкого декодирования с итеративным обменом мягкими решениями. Предположим, что используется каскадная конструкция [5,6]. Пусть $m_1 = m_2 = 3$, тогда имеем итеративный $(7,4,3) \times (7,4,3)$ двоичный код со скоростью $R \approx 0,33$.

Эмпирические зависимости вероятности ошибочного приема символов сообщения приведены на рис. 2. На этом же рисунке приведены зависимости вероятности ошибочного приема фазоманипулированных сигналов (без кодирования). Как следует из приведенных зависимостей применение итеративного кода с мягким декодированием приводит к существенному энергетическому выигрышу от кодирования. Энергетический выигрыш возрастает при повышении качества канала передачи данных.

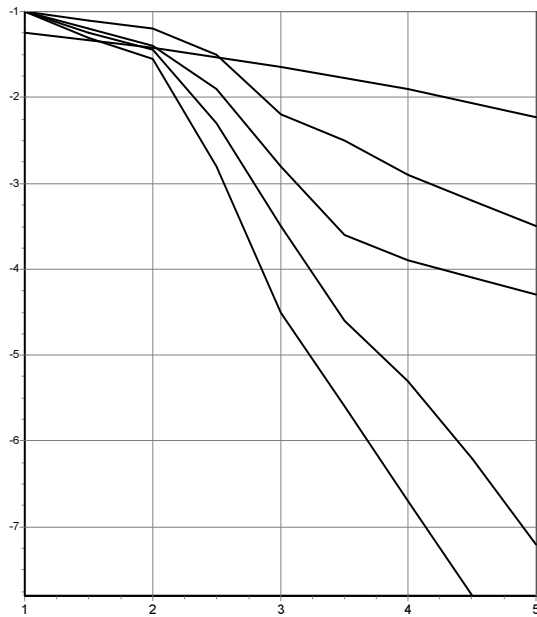


Рисунок 2 – Залежності ймовірності помилкового прийому символів дискретних повідомлень від співвідношення «сигнал/шум» з м'яким декодуванням ітеративного

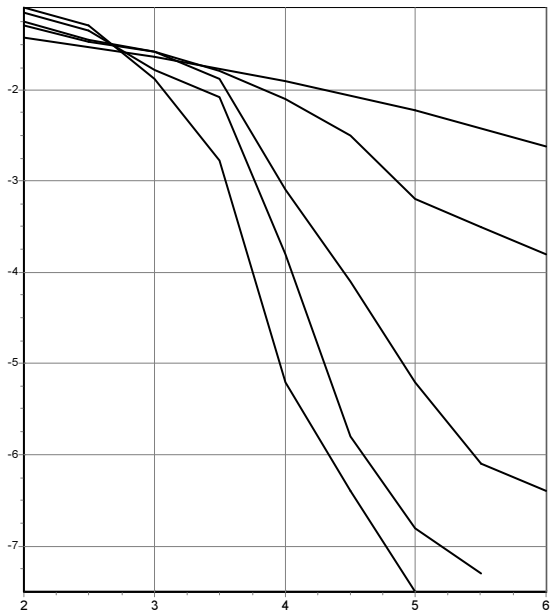


Рисунок 3 – Залежності ймовірності помилкового прийому символів дискретних повідомлень від співвідношення «сигнал/шум» з м'яким декодуванням ітеративного $(15,11,3) \times (15,11,3)$ двоичного кода

На рис. 3. приведені емпіричні залежності ймовірності помилкового прийому символів повідомлення при використанні ітеративного $(15,11,3) \times (15,11,3)$ двоичного кода ($R \approx 0,54$) з м'яким декодуванням. На рис. 4. приведені аналогічні залежності при використанні ітеративного $(31,26,3) \times (31,26,3)$ двоичного кода ($R \approx 0,7$).

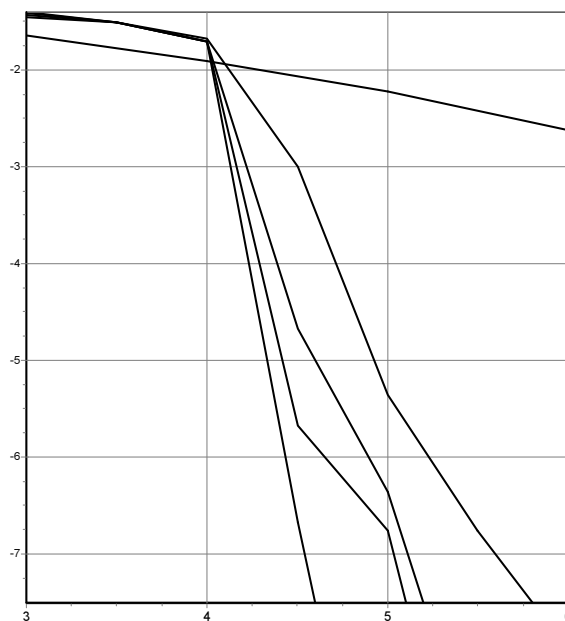


Рисунок 4 – Залежності ймовірності помилкового прийому символів дискретних повідомлень від співвідношення «сигнал/шум» з м'яким декодуванням ітеративного $(31,26,3) \times (31,26,3)$ двоичного кода

Анализ зависимостей, приведенных на рис. 2 – 4., показывает, что с увеличением длины кода происходит «смещение» точки с которой удается получить энергетический выигрыш в область высоких отношений «сигнал/шум». Практически это означает, что для каналов передачи данных с высокой вероятностью ошибочного приема фазоманипулированных сигналов следует использовать короткие коды, либо каскадные конструкции с короткими составными кодами.

При повышении качества каналов передачи данных (с уменьшением вероятности ошибочного приема фазоманипулированных сигналов) следует увеличивать длину кода, поскольку это приведет к резкому снижению вероятности ошибки на выходе декодера.

Полученные эмпирические зависимости сходятся с известными результатами в области разработки и исследования турбо-продуктивных кодов (итеративных кодов с турбодекодированием).

Выводы. Разработанная в ходе проведения исследований имитационная модель канала передачи дискретных сообщений с использованием каскадных кодовых конструкций позволяет проводить экспериментальные исследования и анализировать поведение зависимостей вероятности ошибок от количества итераций турбодекодера. Проведенные с использованием разработанной имитационной модели экспериментальные исследования эффективности каскадных кодовых конструкций показали, что практическое применение разработанного метода декодирования с итеративным обменом мягкими решениями позволяет обеспечить высокие показатели помехоустойчивости передачи дискретных сообщений. Сходимость полученных эмпирических зависимостей с известными результатами в области разработки и исследования турбо-продуктивных кодов (итеративных кодов с турбодекодированием) подтверждает достоверность полученных результатов.

Таким образом, в статье решена важная научно-техническая задача, состоящая в разработке методов и алгоритмов построения каскадных кодовых конструкций с улучшенными свойствами для повышения помехоустойчивости передачи дискретных сообщений. Полученные научные и практические результаты имеют важное значение как для развития отдельных методов теории помехоустойчивого кодирования, так и при разработке новых программно-аппаратных устройств канального кодирования для повышения помехоустойчивости передачи дискретных сообщений в современных телекоммуникационных системах и сетях.

Список литературы

1. Berrou C. Near Shannon Limit Error-Correcting Coding and Decoding: Turbo Codes / C Berrou, A. Glavieux, P. Thitimajshima // Proc. of the Intern. Conf. on Commun. -May 1993. - P. 1064-1070.
2. MacKay D.J.C Near Shannon limit performance of low density parity check codes / D.J.C MacKay, K.M. Neal // IEEE Electronics Letters. - Aug 1996. - V. 32, № 18. -P. 1645-1646.
3. Turbo Product Code Encoder [Электронный ресурс]. - Режим доступа к ресурсу: www.aha.com.
4. Turbo Product Code FEC Comlech EF Data Corp. [Электронный ресурс]. - Режим доступа к ресурсу: www.comtechefdata.com
5. Приходько С.И. Розробка каскадних кодів з покращеними властивостями./ С.И.Приходько, С.А.Гусев, В.А.Зубенко // Системи обробки інформації. . – X. ХУПС, 2011. Вип. 2 (92). – С.119-128.
6. Кузнецов А.А., Мягкое декодирование каскадных кодов-произведений с использованием упорядоченных подмножеств проверочных уравнений/ А.А.Кузнецов, С.И. Приходько, С.А.Гусев, В.А.Зубенко // Системи обробки інформації. – X. ХУПС, 2011. Вип. 4 (94). – С. 137-145.
7. Мак-Вильяме Ф.Дж. Теория кодов, исправляющих ошибки / Ф.Дж. Мак-Вильяме, И.Дж.А. Слоэн. - М.: Связь, 1979. - 744 с.
8. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Б. Скляр. - М.: Изд. Дом «Вильяме», 2003. -1104с.
9. Блох Э.Л. Обобщенные каскадные коды (Алгебраическая теория и сложность реализации) / Э.Л.

Блох, ВВ. Зяблов. – М.: Связь, 1976. - 240 с.

В. Поддубняк, В. Зубенко

Розробка імітаційної моделі каналу передачі дискретних повідомлень з використанням каскадних кодових конструкцій

В статті розглянута та досліджена імітаційна модель каналу передачі дискретних повідомлень з використанням каскадних кодових конструкцій. Отримані емпіричні залежності ймовірності помилкового прийому символів дискретних повідомлень.

V.Poddubnyak, V. Zubenko

Development of a simulation model of the transmission channel digital communications using concatenated code constructions

The article describes the simulation model and investigated channel discrete messages using cascading code constructions. The empirical dependence of the probability of erroneous reception of characters of discrete messages.

Одержано 21.09.12

УДК 532.5.072.15

И.М. Кихтев, доц., канд. техн. наук

Каменский институт (филиал) ЮРГТУ (НПИ), г. Каменск-Шахтинский, Россия

А.М. Павленко, проф., докт. техн. наук

Днепродзержинский государственный технический университет

А.В. Яковлева, асп.

Запорожская государственная инженерная академия

Экспериментальные исследования распределения лучистой энергии от U-образного трубного излучателя

В предлагаемой статье приводится анализ результатов экспериментального исследования распределения лучистой энергии по поверхности пола помещения от промышленного U-образного трубного излучателя. Опытным путем определена плотность теплового потока под излучателем на поверхности пола по длине излучателя и в поперечном направлении. Предложен расчетный вариант численной оценки коэффициента сосредоточенности удельного теплового потока во всех рассматриваемых точках поверхности пола. Экспериментальные значения плотности теплового потока могут быть использованы для проверки адекватности соответствующих математических моделей.

системы газового лучистого отопления, U-образный «темный» трубный излучатель, плотность теплового потока, нормально-полосовой источник, коэффициент сосредоточенности удельного теплового потока

Блох, ВВ. Зяблов. – М.: Связь, 1976. - 240 с.

В. Поддубняк, В. Зубенко

Розробка імітаційної моделі каналу передачі дискретних повідомлень з використанням каскадних кодових конструкцій

В статті розглянута та досліджена імітаційна модель каналу передачі дискретних повідомлень з використанням каскадних кодових конструкцій. Отримані емпіричні залежності ймовірності помилкового прийому символів дискретних повідомлень.

V.Poddubnyak, V. Zubenko

Development of a simulation model of the transmission channel digital communications using concatenated code constructions

The article describes the simulation model and investigated channel discrete messages using cascading code constructions. The empirical dependence of the probability of erroneous reception of characters of discrete messages.

Одержано 21.09.12

УДК 532.5.072.15

И.М. Кихтев, доц., канд. техн. наук

Каменский институт (филиал) ЮРГТУ (НПИ), г. Каменск-Шахтинский, Россия

А.М. Павленко, проф., докт. техн. наук

Днепродзержинский государственный технический университет

А.В. Яковлева, асп.

Запорожская государственная инженерная академия

Экспериментальные исследования распределения лучистой энергии от U-образного трубного излучателя

В предлагаемой статье приводится анализ результатов экспериментального исследования распределения лучистой энергии по поверхности пола помещения от промышленного U-образного трубного излучателя. Опытным путем определена плотность теплового потока под излучателем на поверхности пола по длине излучателя и в поперечном направлении. Предложен расчетный вариант численной оценки коэффициента сосредоточенности удельного теплового потока во всех рассматриваемых точках поверхности пола. Экспериментальные значения плотности теплового потока могут быть использованы для проверки адекватности соответствующих математических моделей.

системы газового лучистого отопления, U-образный «темный» трубный излучатель, плотность теплового потока, нормально-полосовой источник, коэффициент сосредоточенности удельного теплового потока

Введение. Системы газового лучистого отопления широко применяют при отоплении зданий и сооружений большого объема. Обеспечение комфортных условий микроклимата в помещениях, снижение энергозатрат, экологическая чистота, быстрый монтаж установок без остановки производственного процесса, простое техническое обслуживание, полная автоматизация и бесшумность работы привлекают к системам лучистого отопления большое внимание.

В целом, сокращение расхода теплоты на отопление и вентиляцию при применении газовых инфракрасных излучателей обеспечивается за счет возможности понижения температуры воздуха, поддерживаемой в помещении; существенного сокращения объема воздуха, нагреваемого до необходимой температуры при локальном обогреве рабочих мест и отдельных зон помещения; малой инерционности и гибкости управления систем; высокого общего коэффициента полезного действия излучателей. В результате стоимость энергоресурсов, используемых на отопление производственных помещений, может быть сокращена в 2,5 - 3 раза, что в настоящее время является одним из основных обуславливающих факторов.

Постановка задачи. В качестве источника теплоты при газовом лучистом отоплении применяют, среди прочих, U-образные «темные» трубные излучатели. Эти источники можно характеризовать энергетическими показателями: лучистой тепловой мощностью, т.е. количеством теплоты, передаваемой на поверхность отапливаемого помещения и распределением ее по анализируемой поверхности. Указанные характеристики экспериментально изучены для «светлых» керамических излучателей. Результаты исследований приведены в отечественных и зарубежных монографиях [1-2], публикациях [3-6] и др. Известны лишь отдельные публикации по «темным» трубным излучателям [7], в которой авторы делают попытку применить известные модели лучистого теплообмена «светлых» излучателей к анализу тепловых процессов в «темных» трубных излучателях, но эти попытки приводят к сомнительным результатам. Возникает необходимость более достоверного изучения распределения лучистой энергии по обогреваемой поверхности при газовом лучистом отоплении «темными» излучателями.

Результаты исследований. В предлагаемой статье приводятся результаты экспериментального исследования распределения лучистой энергии по поверхности пола помещения от промышленного U-образного трубного излучателя, разработанного под руководством автора статьи Кихтева И.М. Конструктивно U-образный трубный излучатель выполнен следующим образом (рис. 1).

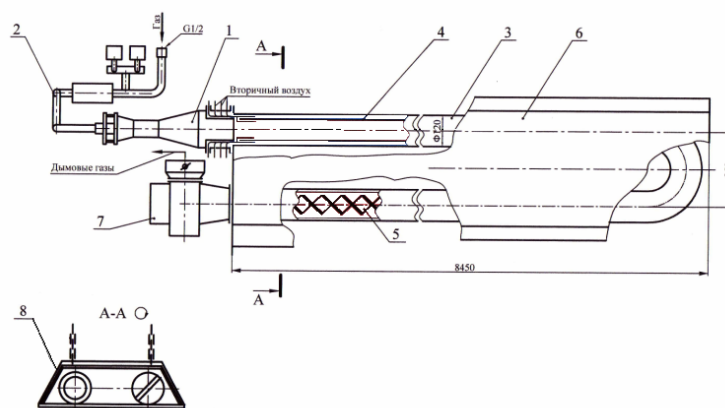


Рисунок 1 - Конструктивная схема U-образного излучателя

Длина излучателя 8660 мм; ширина излучателя в нижней части 680 мм; излучающие трубы выполнены из труб с наружным диаметром $d_1' = d_1'' = 120$ мм; расстояние между осями горелочной и уходящей ветвей $S = 350$ мм; высота рабочего пространства излучателя $H = 160$ мм; угол наклона боковых стенок отражателя к горизонту $\alpha = 60^\circ$; расстояние от пола до нижней кромки излучателя 1,37 м.

Основные элементы U-образного трубного излучателя приведены на рис.2.

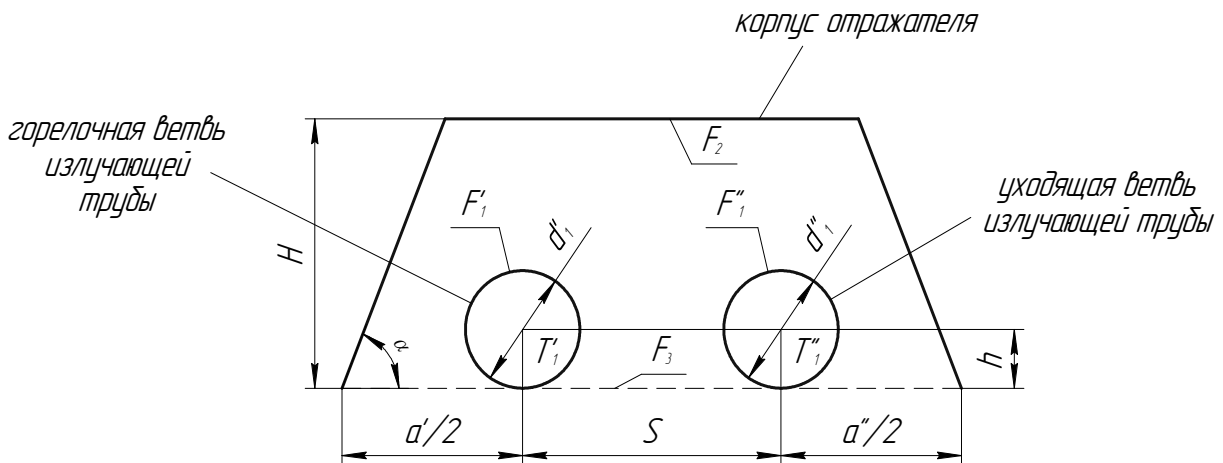


Рисунок 2 – Основные элементы U-образного излучателя (внутренний контур)

Работа излучателя производится следующим образом. В инжекционную горелку поступает природный газ среднего давления из газопровода. За счет инжекции в горелку поступает первичный воздух; в горелке происходит перемешивание газа с первичным воздухом и образование газозвушной смеси, которая воспламеняется на выходе из горелки (на входе в излучающую трубу). Для полного сжигания топлива подается вторичный воздух, который позволяет удлинить (растягивать) факел внутри горелочной ветви излучающей трубы. В конце горелочной ветви продукты сгорания поворачиваются на 180° и двигаются по второй части излучающей трубы – уходящей ветви. В конце уходящей ветви продукты сгорания удаляются дымососом через дымоотводящую трубу за пределы помещения. Сверху горелочной и уходящей ветвей излучающей трубы находится отражатель, выполненный из нержавеющей листа $\delta = 1$ мм, слоя теплоизоляционного материала и наружного слоя обшивки из листа углеродистой стали.

В процессе эксперимента излучатель был установлен над уровнем пола на высоте 1,37 м. Плотность теплового потока на уровне пола цеха измеряли радиометром неселективным «Аргус-03», производитель Федеральное Государственное Унитарное Предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений», предназначенного для измерения энергетической освещенности объектов в диапазоне от 1 до 2000 Вт/м^2 в спектральном диапазоне от 0,5 до 20,0 мкм.

Схема расположения точек, в которых проводили замер плотности теплового потока, приведена на рис. 3. Для этого на поверхность пола помещения была нанесена квадратная сетка с размером ячеек $0,5 \times 0,5$ м, плотность теплового потока определялась в узлах сетки. Нумерация узлов сетки приведена на этом же рисунке.

Измерение плотности теплового потока в указанных точках проводилось при стационарном режиме. Наступление стационарного режима принималось при постоянных значениях измерений плотности теплового потока в указанных точках.

Эксперимент проводился при расходе природного газа $5 \text{ м}^3/\text{ч}$.

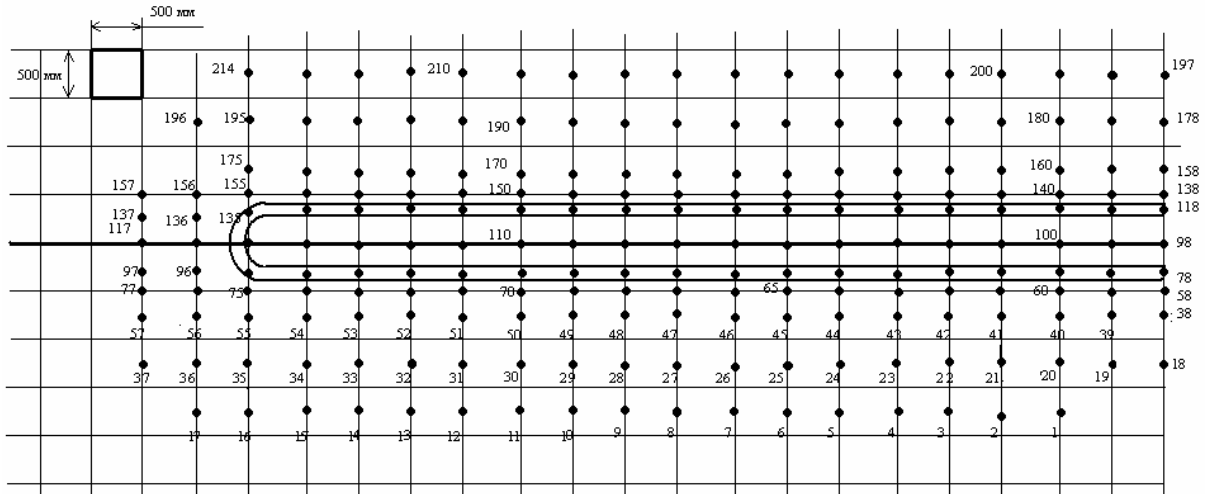


Рисунок 3 - Расположение экспериментальных точек по замеру плотности теплового потока

На рис. 4 представлены экспериментальные значения плотности теплового потока на полу помещения в различных поперечных сечениях по длине излучателя. Ось симметрии графиков совмещена с осью симметрии излучателя. Различные кривые дают представление о распределении плотности теплового потока.

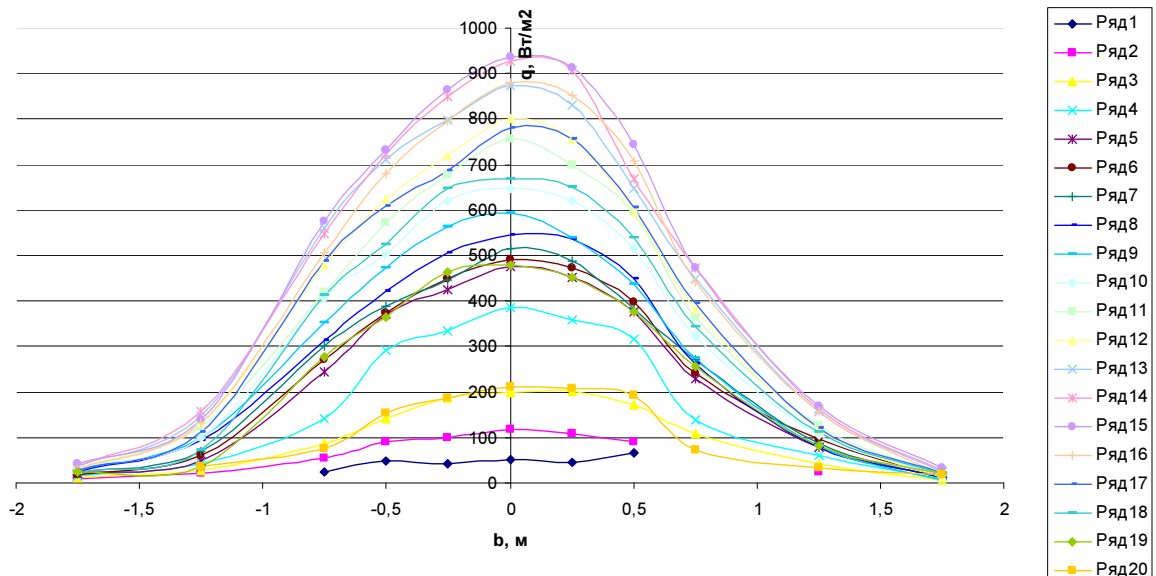


Рисунок 4 - Кривые распределения плотности теплового потока под излучателем в поперечном направлении

Номера кривых соответствуют распределению теплового потока на расстоянии 0, 0,5, 1,0, 1,5м и т.д. от начала излучателя, где установлена горелка для природного газа. Из приведенных графиков следует, что, с некоторой погрешностью, можно принять симметричное распределение плотности теплового потока и представить это распределение схемой нормально-полосового источника вида

$$q(x)=q(0)\exp(-kx^2), \quad (1)$$

где $q(0)$ - плотность теплового потока источника при $x=0$, Вт/м²;
 $q(x)$ - значение плотности теплового потока в координате x , Вт/м²;

k - коефіцієнт сосредоточенности удельного теплового потока, $1/m^2$.

Для теоретического анализа облученности рабочих мест и решения вопроса размещения излучателей над поверхностью пола помещения необходимо дать расчетную оценку коэффициента сосредоточенности (распределения) удельного теплового потока в поперечном направлении.

Из уравнения (1) следует:

$$k = \frac{\ln q(0) - \ln q(x)}{x^2}. \quad (2)$$

По уравнению (2) проведен численный расчет локальных значений коэффициента сосредоточенности (распределения) удельного теплового потока в поперечном направлении k в различных координатах. Результаты расчетов k по рядам, расположенным на расстоянии 1м друг от друга, представлены в таблице 1. Среднее расчетное значение k_{cp} по всей длине излучателя равно $1,213 [1/m^2]$.

Таблица 1 – Расчетные значения коэффициента сосредоточенности удельного теплового потока k , $1/m^2$

	Ряд 1	Ряд 2	Ряд 3	Ряд 4	Ряд 5	Ряд 6	Ряд 7	Ряд 8	Ряд 9
	0м	1м	2м	3м	4м	5м	6м	7м	8м
k	2,15	1,43	1,33	1,29	1,29	1,56	1,34	1,38	1,38
	1,50	1,52	1,33	1,55	1,55	1,45	1,51	1,46	1,58
	0,98	0,92	0,90	1,10	1,57	1,18	1,57	1,28	1,02
	0,58	1,01	0,92	0,84	0,92	0,74	1,12	1,09	1,18
	0,90	1,08	1,12	1,18	1,24	1,06	1,14	1,07	1,29
	1,03	1,07	0,98	1,03	1,07	1,05	1,19	1,17	1,33
	k_{cp}	1,19	1,17	1,10	1,16	1,28	1,17	1,31	1,24	1,30

На рис. 5 представлены экспериментальные значения плотности теплового потока по длине излучателя.

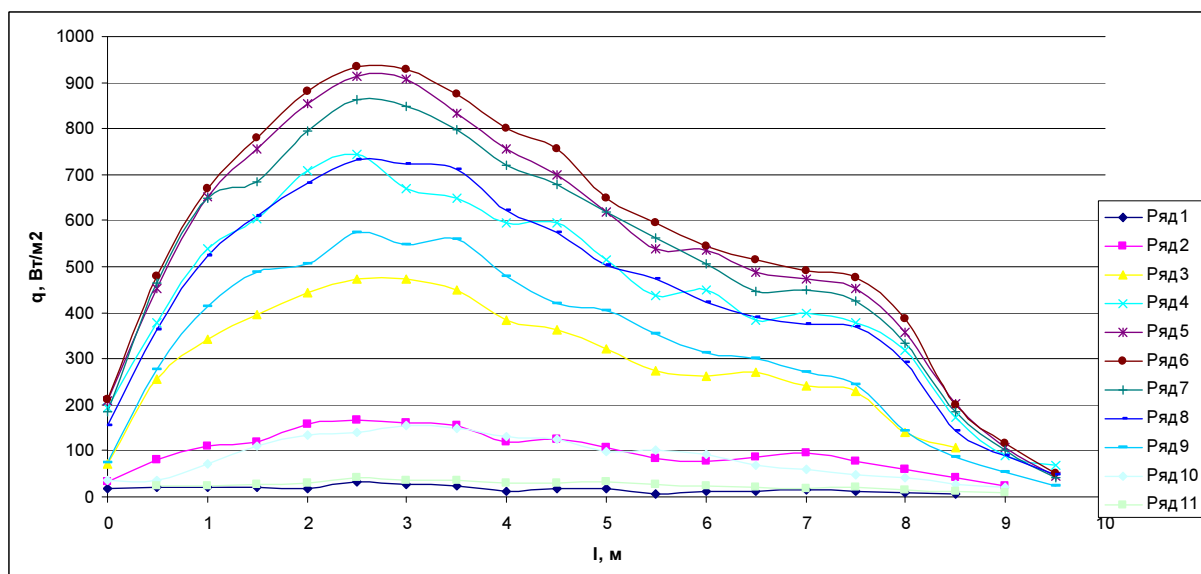


Рисунок 5 - Кривые распределения плотности теплового потока на поверхность пола по длине излучателя

Максимальное значение кривых соответствуют области, где заканчивается процесс горения топлива в огнеупорной вставке (трубе) и начинается процесс теплообмена продуктов сгорания топлива со стенками излучающей трубы (примерно на расстоянии 2,5 м от начала излучающей трубы).

Выводы.

1. Разработана конструкция, изготовлен промышленный образец U-образного трубные излучателя и проведены на нем исследования теплотехнических параметров.

2. Экспериментально определена плотность теплового потока под излучателем на поверхности пола производственного помещения по длине излучателя и в поперечном направлении. Выявлено и предложено:

2.1 Изменение плотности теплового потока от излучателя по поверхности пола помещения в поперечном направлении в различных координатах по его длине предложено принять симметричным и представить уравнением нормального распределения $q(x)=q(0)\exp(-kx^2)$, где k , $[1/m^2]$ - коэффициент сосредоточенности (распределения) удельного теплового потока;

2.2 Распределение плотности теплового потока по поверхности пола помещения в направлении длины излучателя под горелочной и уходящей ветвями идентично, несмотря на то, что температура ветвей по длине различна.

2.3 Предложен расчетный вариант численной оценки коэффициента сосредоточенности удельного теплового потока в отдельных координатных точках пола помещения под излучателем. Проведенные численные расчеты по определению k справедливы в пределах разработанной конструкции излучателя и, вероятно, зависят от его конструктивного исполнения, типа горелочного устройства и других факторов.

3. Экспериментальные значения плотности теплового потока могут быть использованы для проверки адекватности соответствующих математических моделей.

Список литературы

1. Родин А.К. Газовое лучистое отопление. – Л.: Недра. – 1987. – 191 с.
2. Мачкаши А., Банхиди Л. Лучистое отопление. – М.: Стройиздат. – 1985. – 464с.
3. СТО НП АВОК 4.1.5-2006 – Системы отопления и обогрева с газовыми инфракрасными излучателями / ООО ИИП "АВОК-ПРЕСС". – № 2007. – 12с.
4. Тютюнников А.И., Мосягин В.Ю. О применении газовых инфракрасных излучателей для отопления производственных зданий // Инженерные системы. АВОК. – 2001. – №3. – С.29-31.
5. Шагинян И.Э. Система лучистого отопления помещений // Газовая промышленность. – 1999. – №6. – С.31-32.
6. Шумилов Р. Н., Толстова Ю. Н., Помер А. А. Совершенствование методики расчета лучистого отопления / Материалы юбилейной конференции. Московский государственный строительный университет, 2006. – С.107-112.
7. Крейнин Е.В., Рогинский О.Г., Бондарчук В.Б. Оптимизация системы лучистого отопления помещений // Газовая промышленность. – 2001. -№2. - С.51-53.

І.Кіхтев, А.Павленко, О.Яковлева

Експериментальні дослідження розподілу променевої енергії від U-подібного трубного випромінювача

У запропонованій статті наводиться аналіз результатів експериментального дослідження розподілу променевої енергії по поверхні підлоги приміщення від промислового U-подібного трубного випромінювача. Дослідним шляхом визначена густина теплового потоку під випромінювачем на поверхні підлоги по довжині випромінювача й в поперечному напрямі. Запропоновано розрахунковий варіант чисельної оцінки коефіцієнта зосередженості питомого теплового потоку у всіх даних точках поверхні підлоги. Експериментальні значення густини теплового потоку можуть бути використані для перевірки адекватності відповідних математичних моделей.

I.Kihtev, A.Pavlenko, A.Yakovleva

Experimental studies of radiant energy distribution from the U-shaped pipe radiator

The experimental studies results of the radiant energy distribution on the building's floor surface from the industrial U-shaped pipe radiator is analyzed in the article. With the help of experiment the density of heat flow under the radiator on the floor along the length of the radiator and in the transverse direction was determined. The version of numerical estimate calculation of concentration of specific heat flux in all the points of the floor is proposed. The experimental values of the heat flux can be used to verify the adequacy of mathematical models.

Получено 17.09.12

УДК 621.3

**А.І. Котиш, доц., канд. техн. наук, О.І. Сіріков, доц., канд. техн. наук,
М.В. Кубкін, асист., В.П. Солдатенко, асист.**

Кіровоградський національний технічний університет

Розрахунок ефективності впровадження регульованого електроприводу в насосних установках

Наведена методика розрахунку економії електричної енергії при впровадженні регульованого електроприводу насосних установок. В методиці враховані додаткові втрати в електродвигуні від несинусоїдальності струму живлення, а також ККД двигуна і перетворювача. Намічені напрями удосконалення методики розрахунку.

перетворювач частоти, асинхронний двигун, насос, регулювання продуктивності, напір

З ростом вартості електричної енергії стає більш актуальним питання енергозбереження взагалі та в насосних установках зокрема. Підвищити енергоефективність насосних установок можливо шляхом регулювання режиму їх роботи, адже системи водопостачання, як промислових так і побутових споживачів, характеризуються нерівномірністю добового графіка споживання води [2]. Традиційним способом регулювання подачі насосних установок є дроселювання та зміна кількості працюючих агрегатів. Зазначені способи регулювання не враховують енергетичні аспекти транспортування води. Традиційне регулювання призводить до підвищення тиску в мережі, перевитрат електроенергії, збільшення витоків та невиробничих витрат води, підвищеного зношування устаткування. Найбільш ефективним способом регулювання режиму роботи насосних установок є кількісний, тобто, зміною подачі за допомогою регульованого електроприводу. Розвиток перетворювальної техніки дозволив більш широко використовувати перетворювачі частоти для створення регульованого електроприводу в насосних установках. З метою вирішення питання впровадження частотно-регульованого електроприводу необхідний розрахунок його ефективності, який полягає у зменшенні споживання електроенергії.

© А.І. Котиш, О.І. Сіріков, М.В. Кубкін, В.П. Солдатенко, 2012

I.Kihtev, A.Pavlenko, A.Yakovleva

Experimental studies of radiant energy distribution from the U-shaped pipe radiator

The experimental studies results of the radiant energy distribution on the building's floor surface from the industrial U-shaped pipe radiator is analyzed in the article. With the help of experiment the density of heat flow under the radiator on the floor along the length of the radiator and in the transverse direction was determined. The version of numerical estimate calculation of concentration of specific heat flux in all the points of the floor is proposed. The experimental values of the heat flux can be used to verify the adequacy of mathematical models.

Получено 17.09.12

УДК 621.3

**А.І. Котиш, доц., канд. техн. наук, О.І. Сіріков, доц., канд. техн. наук,
М.В. Кубкін, асист., В.П. Солдатенко, асист.**

Кіровоградський національний технічний університет

Розрахунок ефективності впровадження регульованого електроприводу в насосних установках

Наведена методика розрахунку економії електричної енергії при впровадженні регульованого електроприводу насосних установок. В методиці враховані додаткові втрати в електродвигуні від несинусоїдальності струму живлення, а також ККД двигуна і перетворювача. Намічені напрями удосконалення методики розрахунку.

перетворювач частоти, асинхронний двигун, насос, регулювання продуктивності, напір

З ростом вартості електричної енергії стає більш актуальним питання енергозбереження взагалі та в насосних установках зокрема. Підвищити енергоефективність насосних установок можливо шляхом регулювання режиму їх роботи, адже системи водопостачання, як промислових так і побутових споживачів, характеризуються нерівномірністю добового графіка споживання води [2]. Традиційним способом регулювання подачі насосних установок є дроселювання та зміна кількості працюючих агрегатів. Зазначені способи регулювання не враховують енергетичні аспекти транспортування води. Традиційне регулювання призводить до підвищення тиску в мережі, перевитрат електроенергії, збільшення витоків та невиробничих витрат води, підвищеного зношування устаткування. Найбільш ефективним способом регулювання режиму роботи насосних установок є кількісний, тобто, зміною подачі за допомогою регульованого електроприводу. Розвиток перетворювальної техніки дозволив більш широко використовувати перетворювачі частоти для створення регульованого електроприводу в насосних установках. З метою вирішення питання впровадження частотно-регульованого електроприводу необхідний розрахунок його ефективності, який полягає у зменшенні споживання електроенергії.

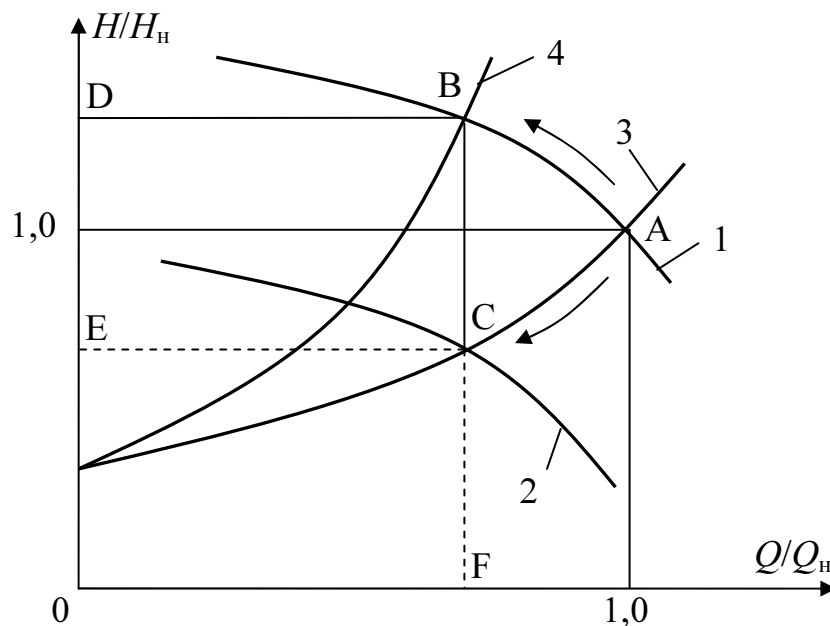
© А.І. Котиш, О.І. Сіріков, М.В. Кубкін, В.П. Солдатенко, 2012

На сьогодні існує велика кількість методик розрахунку ефективності застосування частотно-регульованого електроприводу для насосних установок [2,4,6]. Більшість з них базується на методиці наведеної в [2] та орієнтовані на розрахунок економії електроенергії від зняття надлишкового тиску в мережі. Недоліком запропонованої в [2,6] формули для розрахунку економії електроенергії є неврахування змінного графіку споживання води та відповідно змінного графіку надлишкового тиску. Отримана економія електроенергії стосується лише насоса і не враховує ККД двигуна та перетворювача частоти. Більш зручною є методика розрахунку споживання потужності наведеної в [4]. Вона дозволяє врахувати змінний графік надлишкового тиску шляхом розбиття та обчислення споживаної потужності по окремих ділянках графіка з незмінною витратою води. Недоліком цієї методики є відсутність прямої залежності ККД насоса від частоти обертання та неврахування додаткових втрат від несинусоїдальності перетвореного струму.

Отже, створення методики розрахунку ефективності впровадження регульованого електроприводу в насосних установках залишається актуальним та невирішеним питанням.

Метою даної роботи є розробка методики розрахунку економії електричної енергії шляхом застосування регульованого електроприводу насосних установок для оцінки ефективності його впровадження.

Можливості зниження потужності, споживаної двигуном насоса, при регулюванні швидкості електропривода в порівнянні з регулюванням дросельною заслінкою ілюструє рис. 1 [1].



1 – характеристика насоса при номінальній швидкості двигуна; 2 – характеристика насоса при зниженій швидкості; 3 – характеристика магістралі; 4 – характеристика магістралі при регулюванні дроселем

Рисунок 1 - Порівняння способів регулювання продуктивності насоса

При номінальній витраті і напорі насос працює в точці А, що відповідає характеристиці магістралі 3 і характеристиці $Q-H$ насоса (крива 1) при номінальній швидкості двигуна. Зі зменшенням витрати при нерегульованому електроприводі за рахунок дросельного регулювання відбувається зміна опору магістралі (крива 4). Насос працює в точці В кривої 4, що призводить до зростання напору, який стає більшим від

номінального. Потужність, споживана насосом, пропорційна площі прямокутника ODBF.

При використанні регульованого електропривода за рахунок зниження швидкості насос працює при зниженні витрати в точці С, що відповідає іншій характеристиці $Q-H$ (крива 2) при незмінній характеристиці магістралі (крива 3). Потужність, споживана електроприводом у цьому випадку, пропорційна ОЕСФ, що наочно ілюструє можливість істотного зниження енергоспоживання при впровадженні регульованих електроприводів насосів.

Напірна характеристика відцентрового насоса $H = f(Q)$, що працює з змінною частотою обертання, описується рівнянням [2]:

$$H = H_{\phi} (n^*)^2 - S_{\phi} Q^2, \quad (1)$$

де H_{ϕ} та S_{ϕ} – фіктивні параметри насоса (розраховуються або наводяться в довідниках, наприклад [3]);

n^* – відносне значення швидкості обертання

$$n^* = n_i / n_{\text{ном}},$$

де n_i та $n_{\text{ном}}$ – фактична та номінальна швидкість обертання валу насосу.

З (1) видно, що гідравлічні втрати в насосі при одній і тій же подачі не залежать від частоти обертання. Це значить, що при її зміні напірні характеристики насоса залишаються подібними один одному і тільки змінюють своє положення по вертикалі в координатах Q і H на графіку спільної роботи насоса і трубопроводу. Таким чином, робочі точки характеристики насоса при зміні його частоти обертання зміщуються.

Значення частоти обертання в кожній робочій точці при частотному регулюванні характеристик насоса [4]:

$$n_i = n_{\text{ном}} \sqrt{Q^{*2} (1 - H_n / H_{\phi}) + (H_n / H_{\phi})}$$

або

$$n^* = \sqrt{Q^{*2} (1 - H_n / H_{\phi}) + (H_n / H_{\phi})}, \quad (2)$$

де $Q^* = Q_i / Q_{\text{ном}}$ – відносне значення витрати насосу;

Q_i та $Q_{\text{ном}}$ – фактичне і номінальне значення витрати;

H_n – статична складова напору (різниця геодезичних висот насосної установки і споживача плюс вільний напір у споживача).

Найважливішим параметром насоса є його ККД. Зміна ККД у залежності від частоти обертання насоса визначають за допомогою формули [2]:

$$\eta_{\text{нас}} = 1 - \frac{1 - \eta_{\text{ном}}}{(n^*)^{0,36}}, \quad (3)$$

де $\eta_{\text{ном}}$ – значення ККД при номінальній частоті обертання насоса.

ККД насосної установки при дроселюванні можна розрахувати за формулою [5]:

$$\eta_{\text{нас}} = \eta_{\text{ном}} \frac{H_c}{H}, \quad (4)$$

де H_c – напір в трубопроводі необхідний для передачі витрати Q_i (CF рис. 1);
 H – напір насосу, що створюється для передачі витрати Q_i (BF рис. 1).

Залежність між витратою рідини через трубопровід і напором, що потрібно для забезпечення цієї витрати, називається характеристикою трубопроводу й описується рівнянням

$$H_c = H_n + SQ^2, \quad (5)$$

де H_c – напір на початку трубопроводу (системи трубопроводів);
 S – гідравлічний опір трубопроводу.

Потужність, що споживається насосом з валу двигуна

$$P_{\text{наси}} = \frac{\rho g H_i Q_i}{1000 \eta_{\text{нас}}}, \quad (6)$$

де ρ – щільність рідини;

H_i та Q_i – відповідно фактичний напір та витрата рідини.

При розрахунках за (6) H_i розраховується при регулюванні засувкою ($n^*=1$) з (1), та (5) при регулюванні швидкістю обертання.

Енергія, споживана насосом за добу, розраховується по ділянках добового графіку:

$$W_{\text{сп}} = \sum P_{\text{наси}} t_i. \quad (7)$$

Для агрегатів з частотним перетворювачем додаткові втрати обумовлені втратами в перетворювачі і деяким зниженням ККД двигуна через несинусоїдальність перетвореного струму:

$$W_B = W_{\text{сп}} \left((1 - \eta_{\text{ПР}}) + \zeta + (1 - \eta_{\text{ДВ}}) \right), \quad (8)$$

де $\zeta=0,03 \dots 0,05$ – коефіцієнт, який враховує втрати за рахунок несинусоїдальності перетвореного струму;

$\eta_{\text{ПР}}$ – ККД перетворювача;

$\eta_{\text{ДВ}}$ – ККД двигуна.

При регулюванні засувкою втрати за (8) також розраховуються, при цьому враховується лише ККД двигуна ($\eta_{\text{ПР}} = 1, \zeta = 0$).

Енергія спожита з електромережі іде на покриття втрат і корисну роботу

$$W_M = W_{\text{сп}} + W_B. \quad (9)$$

Економія електроенергії при застосуванні регульованого електроприводу дорівнює

$$W_E = W_{M1} - W_{M2},$$

де W_E – економія енергії, одержувана за рахунок регулювання частоти обертання насоса;

W_{M1} – енергія спожита з електромережі при регулюванні засувкою;

W_{M2} – енергія спожита з електромережі при регулюванні частотою обертання.

Режим роботи групи насосів відрізняється від режиму роботи одного насоса. В рівняння, які визначають результуючу економію енергії, вводиться коригувальний коефіцієнт ϕ . Надлишковий тиск, створюваний групою насосів, менший ніж тиск, створюваний одним насосом з еквівалентною подачею, тому економія енергії менша

$$W_p = W_E \phi.$$

Значення коефіцієнта ϕ залежить від кількості робочих агрегатів табл. 1.

Таблиця 1 - Залежність коригувального коефіцієнта від кількості робочих агрегатів

Число робочих агрегатів	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ϕ	1,0	0,75	0,66	0,56	0,5	0,47	0,44	0,42	0,4	0,38

Висновки.

1. Аналіз методик розрахунку ефективності впровадження регульованого електроприводу в насосних установках показує, що вони потребують подальшого удосконалення та узагальнення.

2. Запропоновано удосконалена методика розрахунку ефективності впровадження регульованого електроприводу в насосних установках, яка враховує змінний графік витрати води, ККД перетворювача частоти та двигуна, зміну ККД насосу при регулювання частоти обертання, додаткові втрати від несинусоїдальності перетвореного струму.

3. Серед напрямів подальшого удосконалення запропонованої методики розрахунку слід зазначити наступні:

- необхідно врахувати залежність ККД електродвигуна від частоти живлення;
- необхідно врахувати залежність ККД перетворювача від вихідної частоти;
- орієнтовне значення додаткових втрат від несинусоїдальності перетвореного струму вимагає подальшого уточнення його значення. Нез'ясованою залишається і залежність цих втрат від частоти живлення електродвигуна.

Список літератури

1. Закладний О.М. Енергозбереження засобами промислового електропривода: Навчальний посібник // О.М. Закладний, А.В. Праховник, О.І. Соловей – К: Кондор, 2005. – 408 с.
2. Лезнов Б.С. Экономия электроэнергии в насосных установках // Б.С. Лезнов – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 144 с.
3. Залуцкий Э.В. Насосные станции. Курсовое проектирование // Э.В. Залуцкий, А.И. Петрухно – К.: Вища шк. Головное из-во, 1987. – 167 с.
4. Муравлева О.О. Оценка влияния энергетических характеристик асинхронного двигателя на энергосбережение насосного агрегата / О.О. Муравлева, Е.В. Вехтер, Т.В. Жарикова // Известия Томского политехнического университета/. – Т.308. № 1. – Томск: ТПУ, 2005. - С. 174-178.
5. Зимицкий В. А. Лопастные насосы: Справочник / В. А. Зимицкий, А. В. Каплун, А. Н. Папир, В. А. Умов. – Л. : Машиностроение. Ленинградское отд-ние, 1986. – 334 с.
6. Закладний О.М. Оцінка енергетичної та економічної ефективності застосування регульованого електропривода в насосних установках / О.М. Закладний, О.О. Закладний // Вісник НТУУ “КПІ”,

серія "Гірництво": Збірник наукових праць. – Київ: НТУУ «КПІ»: ЗАТ «Техновибух», 2008. - Вип. №16. С. 90-97.

А. Котыш, А. Сириков, М. Кубкин, В. Солдатенко

Расчет эффективности внедрения регулируемого электропривода в насосных установках

Приведена методика расчета экономии электроэнергии при внедрении регулируемого электропривода насосных установок. В методике учтены дополнительные потери в электродвигателе от несинусоидальности тока питания, а также КПД двигателя и преобразователя. Намечены направления совершенствования методики расчета.

A. Kotysh, O. Sirikov, M. Kubkin, V. Soldatenko

Calculation of the efficiency of implementation of regulated electric pumping plants

The method of calculating the cost of electricity in the implementation of controlled electric pump units. In the method takes into account the additional losses in the motor from nonsinusoidal current power and coefficient of efficiency engine and converter. The directions of improving methods of calculation.

Одержано 21.09.12

УДК 621.664 + 681.518.5

В.А. Зозуля, доц., канд. техн. наук, К.Ю. Кулешкова, асп.

Кировоградский национальный технический университет

Обґрунтування зменшення енерговитрат при визначенні коефіцієнта подачі шестеренного насоса

Отримані аналітичні залежностей коефіцієнта подачі досліджуваного шестеренного насоса від відносного тиску в порівнянні з тиском еталонного насоса, який він в змозі розвинути на наперед заданому навантаженні, стали основою для розробки нового енергозберігаючого способу визначення коефіцієнта подачі досліджуваного насоса.

шестеренний насос, коефіцієнт подачі, еталонний насос, робочий об'єм насоса, внутрішні витоки

Шестеренні в порівнянні з іншими типами об'ємних гідромашин (поршневыми і пластинчастими) мають ряд істотних переваг, серед яких висока питома потужність в розрахунку на одиницю маси й об'єму насоса, простота конструкції та низька собівартість виготовлення і експлуатації, які на порядок менше, ніж інших типів об'ємних гідромашин, нечутливість до забруднень, що дозволяє експлуатувати шестеренні насоси (НШ) в умовах високої запиленості. Ці якості дозволили НШ знайти найширше розповсюдження в різноманітних областях техніки починаючи з сільськогосподарських, дорожніх, будівельних і меліоративних машин, машин гірничої та добувної техніки і закінчуючи авіаційною промисловістю. Слід зазначити також, що Україна як і раніше залишається провідним виробником і постачальником НШ в країні ближнього і далекого зарубіжжя.

серія "Гірництво": Збірник наукових праць. – Київ: НТУУ «КПІ»: ЗАТ «Техновибух», 2008. - Вип. №16. С. 90-97.

А. Котыш, А. Сириков, М. Кубкин, В. Солдатенко

Расчет эффективности внедрения регулируемого электропривода в насосных установках

Приведена методика расчета экономии электроэнергии при внедрении регулируемого электропривода насосных установок. В методике учтены дополнительные потери в электродвигателе от несинусоидальности тока питания, а также КПД двигателя и преобразователя. Намечены направления совершенствования методики расчета.

A. Kotysh, O. Sirikov, M. Kubkin, V. Soldatenko

Calculation of the efficiency of implementation of regulated electric pumping plants

The method of calculating the cost of electricity in the implementation of controlled electric pump units. In the method takes into account the additional losses in the motor from nonsinusoidal current power and coefficient of efficiency engine and converter. The directions of improving methods of calculation.

Одержано 21.09.12

УДК 621.664 + 681.518.5

В.А. Зозуля, доц., канд. техн. наук, К.Ю. Кулешкова, асп.

Кировоградский национальный технический университет

Обґрунтування зменшення енерговитрат при визначенні коефіцієнта подачі шестеренного насоса

Отримані аналітичні залежностей коефіцієнта подачі досліджуваного шестеренного насоса від відносного тиску в порівнянні з тиском еталонного насоса, який він в змозі розвинути на наперед заданому навантаженні, стали основою для розробки нового енергозберігаючого способу визначення коефіцієнта подачі досліджуваного насоса.

шестеренний насос, коефіцієнт подачі, еталонний насос, робочий об'єм насоса, внутрішні витоки

Шестеренні в порівнянні з іншими типами об'ємних гідромашин (поршневыми і пластинчастими) мають ряд істотних переваг, серед яких висока питома потужність в розрахунку на одиницю маси й об'єму насоса, простота конструкції та низька собівартість виготовлення і експлуатації, які на порядок менше, ніж інших типів об'ємних гідромашин, нечутливість до забруднень, що дозволяє експлуатувати шестеренні насоси (НШ) в умовах високої запиленості. Ці якості дозволили НШ знайти найширше розповсюдження в різноманітних областях техніки починаючи з сільськогосподарських, дорожніх, будівельних і меліоративних машин, машин гірничої та добувної техніки і закінчуючи авіаційною промисловістю. Слід зазначити також, що Україна як і раніше залишається провідним виробником і постачальником НШ в країни ближнього і далекого зарубіжжя.

Важливим етапом виробництва НШ, розробки нових НШ, модернізації існуючих конструкцій НШ, а також періодичній перевірці насосів, що випускаються серійно, є визначення і перевірка їх функціональних показників. До основних функціональних показників НШ слід віднести тиск, який спроможний створити НШ, робочий об'єм насоса, подачу, коефіцієнту подачі (КП), механічний і загальний ККД, а також потужність, що розвиває НШ.

Вищезгадані дослідження функціональних показників звичайно проводяться на спеціальних стендах обладнаних відповідною апаратурою та вимірювальним приладами. Визначення функціональних показників насоса, що досліджується регламентується ДСТУ 2192 -93 «Гідроприводи об'ємні. Насоси об'ємні та гідромотори», і ГСТУ 3-25-180-97 «Насоси шестеренні об'ємного гідроприводу» [1, 2].

Одним з основних показників, який наперед всього характеризує якість НШ, як гідромашини є КП, який визначають шляхом закачування робочої рідини в спеціальній мірний бак при певних значеннях тиску і частоти обертання НШ і порівняння отриманих результатів з теоретичною подачею НШ.

Процес вимірювання КП відрізняється високою трудомісткістю і надзвичайно великим енергетичними витратами. При цьому значна частка енергетичних витрат стосується кондиціонування робочої рідини. Адже відомо, що визначення гідравлічних показників НШ, зокрема КП у відповідності з технічним вимогами повинно відбуватись при певній в'язкості робочої рідини – 55...70 мм²/с. Відомо, що в'язкість робочої рідини суттєво залежить від температури, а тому випробування проводять в діапазоні температур 35⁰С...50⁰С. Ємність бака з робочою рідиною сягає 2,5...3,5 м³, а тому підтримання постійної температури такої маси робочої рідини енерговитратний процес. А тому наукові дослідження спрямовані на підвищення ефективності технологічного процесу випробування НШ шляхом автоматизації і управління стендом для випробування в процесі дослідження і контролю функціональних параметрів НШ є необхідними, своєчасними і актуальними

При визначенні КП НШ сумарні енерговитрати складаються з наступних складових. Згідно з і ГСТУ 3-25-180-97 [1] в процесі виробництва НШ визначення КП слід проводити при номінальному тиску і номінальній потужності. Для НШ третього виконання НШ 32 – 3 УК режими випробування становлять тиск $p = 16,0$ МПа і частота обертання $n = 40$ об/с, а отже витрати енергії на проведення випробувань складуть:

$$E = p \cdot n \cdot V_{\text{мб}}, \quad (1)$$

де $V_{\text{мб}}$ - ємність мірного баку стенду, $V_{\text{мб}} = 39,960$ дм³.

Підрахунки показують, що витрати на проведення цих випробувань становлять 639360 Дж або 0,1776 кВт час.

В процесі періодичних випробувань згідно з і ГСТУ 3-25-180-97 [1] визначення КП слід проводити для НШ третього виконання при тиску $p_i = 5,5; 10,0; 16,0$ і 21 МПа і частоті обертання $n_j = 8,33; 16,0; 25,0; 32,0$ і 40 об/с, а отже витрати енергії на проведення періодичних випробувань будуть становити

$$E = V_{\text{мб}} \cdot j \cdot \sum_{i=1}^4 p_i, \quad (2)$$

де i - кількість випробувань в залежності від тиску, що розвиває НШ, $i = 5$;

j - кількість випробувань в залежності від кількості частот обертання, при яких проводять випробування НШ, $m = 5$.

Підрахунки показують, що витрати на проведення періодичних випробувань становлять.

$$E_{\Sigma} = 39,96 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot (5 + 10 + 16 + 21) \cdot 10^7 = 103896 \text{ КДД} = 28,86 \text{ кВт} \cdot \text{час}.$$

Окрім цього значна частка енергії витрачається на кондиціонування всього об'єму робочої рідини (РР) – нагрівання взимку і охолодження влітку, а це становить не менше ніж $2,5 \text{ м}^3$. Так на нагрівання $2,5 \text{ м}^3$ робочої рідини стенда на 25°C необхідно витратити:

$$E_{PP} = C_p \cdot \rho \cdot V \cdot \Delta T = 2,0 \cdot 890 \cdot 2,5 \cdot 25 = 30,9 \text{ кВт} \cdot \text{час},$$

де C_p - питома теплоємність робочої рідини $C_p = 2,0 \text{ кДж}/(\text{кг}^{\circ}\text{C})$;

ρ - щільність робочої рідини $\rho = 890 \text{ кг}/\text{м}^3$;

V - об'єм робочої рідини в стенді $V = 2,5 \text{ м}^3$;

ΔT - температура на яку необхідно нагріти робочу рідину, для виконання технічних умов на визначення КП НШ, $\Delta T = 25^{\circ}\text{C}$.

Нами пропонується спосіб визначення КП дослідного НШ шляхом порівняння його КП з КП еталонного зразка НШ. Під еталонним НШ будемо розуміти такий НШ, в якому нам відомий його КП - $\eta_{ет}$.

У відповідності з визначенням КП можемо записати

$$\eta_{дос} = 1 - \frac{q_{дос}}{Q_m}, \quad (3)$$

де $q_{дос}$ - внутрішні втрати РР насоса, $\text{м}^3/\text{с}$;

Q_m - теоретична подача насоса, $\text{м}^3/\text{с}$.

або

$$\eta_{дос} = 1 - \frac{q_{дос}}{V_0 \cdot n}, \quad (4)$$

де n - частота обертання НШ, $\text{об}/\text{с}$;

V_0 - робочий об'єм НШ, м^3 .

По аналогії з законом Ома внутрішні втрати РР НШ можна визначити у відповідності з залежністю

$$q_{дос} = \frac{P_{дос}}{G_{вт\ дос}}, \quad (5)$$

де $P_{дос}$ - тиск, що розвиває дослідний зразок НШ при заданому зовнішньому навантаженні, Па;

$G_{вт\ дос}$ - внутрішній гідравлічний опір дослідного НШ, $\frac{\text{Па} \cdot \text{с}}{\text{м}^3}$.

Тоді з урахуванням (4) і (5) можемо записати

$$\eta_{дос} = 1 - \frac{P_{дос}}{G_{вт\ дос} \cdot V_0 \cdot n}. \quad (6)$$

З іншого боку по аналогії з (5) можемо записати вираз для визначення подачі насоса при визначеному його навантаженні:

- для еталонного насоса

$$Q_{ет} = \frac{P_{ет}}{G_{др}}; \quad (7)$$

- для дослідного насоса

$$Q_{\text{дос}} = \frac{P_{\text{дос}}}{G_{\text{др}}}, \quad (8)$$

де $Q_{\text{ет}}$ і $Q_{\text{дос}}$ - відповідно подача еталонного і дослідного насоса, м³/с;

$G_{\text{др}}$ - гідравлічний опір дроселя, яким створюється навантаження на насосі,
 $\frac{Па \cdot с}{м^3}$.

З виразів (7) і (8) маємо:

$$G_{\text{др}} = \frac{P_{\text{ет}}}{Q_{\text{ет}}}, \quad (9)$$

$$G_{\text{др}} = \frac{P_{\text{дос}}}{Q_{\text{дос}}}. \quad (10)$$

Прирівнявши ліві частини рівнянь (9) і (10), отримаємо

$$\frac{P_{\text{ет}}}{Q_{\text{ет}}} = \frac{P_{\text{дос}}}{Q_{\text{дос}}}. \quad (11)$$

Подачу еталонного і дослідного насосів НШ можна знайти у відповідності з виразами:

$$Q_{\text{ет}} = V_0 \cdot n \cdot \eta_{\text{ет}}, \quad (12)$$

$$Q_{\text{дос}} = V_0 \cdot n \cdot \eta_{\text{дос}} \quad (13)$$

Підставивши значення (12) і (13) в (11), отримаємо

$$\frac{P_{\text{ет}}}{V_0 \cdot n \cdot \eta_{\text{ет}}} = \frac{P_{\text{дос}}}{V_0 \cdot n \cdot \eta_{\text{дос}}}, \quad (14)$$

або

$$\frac{P_{\text{ет}}}{\eta_{\text{ет}}} = \frac{P_{\text{дос}}}{\eta_{\text{дос}}}, \quad (15)$$

З (15), з урахуванням виразу (4) можемо записати

$$\eta_{\text{дос}} = \frac{P_{\text{дос}} \cdot \frac{q_{\text{ет}}}{V_0 \cdot n}}{P_{\text{ет}}}, \quad (16)$$

Але по визначенню

$$\frac{q_{\text{ет}}}{V_0 \cdot n} = \eta_{\text{ет}} \quad (17)$$

Тому з урахуванням (17), отримаємо

$$\eta_{\text{дос}} = \frac{P_{\text{дос}} \cdot \eta_{\text{ет}}}{P_{\text{ет}}} = \frac{P_{\text{дос}}}{P_{\text{ет}}} \cdot \eta_{\text{ет}} = p_{\text{від}} \cdot \eta_{\text{ет}}, \quad (18)$$

де $p_{\text{від}}$ - відносний тиск в порівнянні з еталонним насосом.

Отже з (18) маємо залежність для визначення КП дослідного НШ безпосередньо по тиску, який від розвиває на заданому навантаженні. Спираючись на отримані залежності спосіб визначення КП дослідного насоса полягає в наступному.

По перше необхідно створити базу даних, в якій відображено положення дроселя в залежності від температури РР, частоти обертання НШ і тиску, що створює еталонний НШ.

В процесі визначення КП дослідного НШ, по-перше вимірюють температуру РР. По – друге задають тиск і частоту обертів НШ, при яких хочуть виміряти його КП. В

залежності від цих показників автоматично відбувається регулювання положення дроселя для створення відповідного навантаження насоса. Включають привід НШ і вимірюють який тиск фактично розвиває дослідний НШ. Коефіцієнт подачі дослідного НШ визначають у відповідності з залежністю (18.)

Зауважимо, що оскільки ми маємо відомості про КП еталонного насоса, то результати визначення КП дослідного насоса не залежать від в'язкості, а отже і від температури РР.

Отримані аналітичні залежностей КП досліджуваного шестеренного насоса від відносного тиску в порівнянні з тиском еталонного насоса, який він в змозі розвинути наперед заданому навантаженні, стали теоретичним підґрунтям нового енергозберігаючого способу визначення КП досліджуваного насоса.

Список літератури

1. Насоси шестеренні об'ємного гідроприводу. Технічні умови. ГСТУ 3-25-180-97. – К.: Мінпром політики України, 1998. – 48 с
2. ДСТУ 2192-93 Гідроприводи об'ємні. Насоси об'ємні та гідромотори. ДСТУ 2192-93. – Загальні технічні вимоги. Чинний від 1.07.94 р.

V. Zozula, K. Kuleshkova

Обґрунтування зменшення енерговитрат при визначенні коефіцієнта подачі шестеренного насоса

Полученные аналитические зависимости коэффициента подачи исследуемого шестеренного насоса от относительного давления по сравнению с давлением эталонного насоса, которое он в состоянии развить наперед заданной нагрузке, стали основой для разработки нового энергосберегающего способа определения коэффициента подачи исследуемого насоса.

V. Zozula, K. Kuleshkova

Ground of diminishing of energovitrat at certain coefficient of serve of cog-wheel pump

Got analytical dependences of coefficient of serve of the probed cog-wheel pump on relative pressure as compared to pressure of standard pump, which he is able to develop on the in advance set loading, became basis for development of new energysaving method of determination of coefficient of serve of the probed pump.

Одержано 21.09.10

УДК 621.391

В.В. Турупалов, доц., канд. техн. наук

Донецький національний технічний університет

Аналіз принципів побудови моделі центру обробки даних телекомунікаційної мережі

Розглянуто принципи побудови і методики аналізу характеристик при дослідженні моделей центрів обробки даних телекомунікаційних мереж і систем.

центр обробки даних, моделі, телекомунікаційні системи

Вступ. Центр обробки даних (ЦОД) це велика інформаційна система реального часу, яка відповідно до прийнятих протоколів обмінюється вхідними/вихідними повідомленнями з користувачами й забезпечує надання інформаційних послуг при наявності необхідних для цього ресурсів [1]. На різних етапах життєвого циклу ЦОД доводиться вирішувати проблему аналізу його імовірно-часових характеристик, яка полягає у виборі такого варіанта його побудови, який гарантував би надання користувачам інформаційних послуг у реальному часі й забезпечував ефективне використання мережних ресурсів.

Таким чином об'єктом дослідження є складна система, на процес функціонування якої впливає поведінка користувачів, що генерують запити на обслуговування й інші вхідні повідомлення у випадкові моменти часу.

Метою даної роботи є аналіз принципів побудови і методів аналізу імовірно-часових характеристик моделей ЦОД [2]. Одержати ефективну систему, що відповідає всім вимогам якості та ефективності функціонування, можна, лише ґрунтуючись на методах, особливості яких є наслідком об'єднання принципів побудови об'єкта дослідження і аналізу його ймовірно-часових характеристик за допомогою моделей, що відрізняються комплексністю й універсальністю. Тобто, методика аналізу ймовірно-часових характеристик повинна відповідати таким принципам:

наступності - спиратися на результати, які були отримані в області дослідження систем масового обслуговування і є основою проектування телекомунікаційних систем з урахуванням особливостей ЦОД;

– системності, тобто використовувати процедури опису ЦОД на основі системного аналізу - зверху до низу і розглядати його як систему взаємодіючих підсистем;

– структурованості, тобто орієнтуватися на структурованість вихідних даних, показників якості обслуговування користувачів і ефективності функціонування і обмежень, що накладаються на ЦОД, яка відповідала б міжнародним стандартам;

– ґрунтуватися на системі формальних аналітичних і статистичних моделей процесів функціонування ЦОД, що спираються на його алгоритмічні й стохастичні особливості і дозволяють виразити значення імовірно-часових характеристик якості обслуговування користувачів і ефективності функціонування через задані вихідні дані;

– реалізованості, тобто втілюватися через конкретні технології і моделі, методи й інструментальні засоби, передбачати процедури чисельної оцінки характеристик ЦОД й пошуку оптимальних параметрів.

Компоненти ЦОД можна розділити на дві основні частини: керуючу, що являє собою набір засобів доставки, обробки й зберігання інформації, призначених для спостереження, контролю й координації функціонування об'єктів, що забезпечують інформаційне обслуговування користувачів і виконавчу систему, що містить ресурси, які використовуються системою керування для надання послуг.

Процес функціонування ЦОД полягає в тому, що під впливом зовнішніх запитів у процесі обробки коригується інформація, що зберігається в базах даних, опитуються, задіюються або звільняються ресурси. Відповідно до задачі у розпорядження користувачів надаються або не надаються необхідні ресурси.

Зазвичай при розробці моделей використовується багаторівнева модель ЦОД (рис.1). Кожний рівень такої моделі являє собою модель, що характеризує його поведінку на деякому функціональному рівні. При переході від верхніх рівнів до нижніх розкривається принцип побудови ЦОД, а при переході від нижніх до верхніх - розкриваються зміст і призначення ЦОД.

Верхній рівень складають моделі, які описують ЦОД як відкриту систему, що надає послуги за зовнішніми запитами. Аналіз процесів взаємодії ЦОД із зовнішнім оточенням дозволяє одержати комплексні характеристики якості обслуговування користувачів.

Верхній рівень складають моделі, які описують ЦОД як відкриту систему, що надає послуги за зовнішніми запитами. Аналіз процесів взаємодії ЦОД із зовнішнім оточенням дозволяє одержати комплексні характеристики якості обслуговування користувачів. Наступний рівень – моделі обміну інформацією, для складання яких необхідно мати інформацію про структуру і функцію програмного забезпечення, способи взаємодії підсистем ЦОД.

Аналіз процесу виконання обміну інформацією дозволяє визначити параметри окремих функціональних завдань, реалізованих ЦОД.

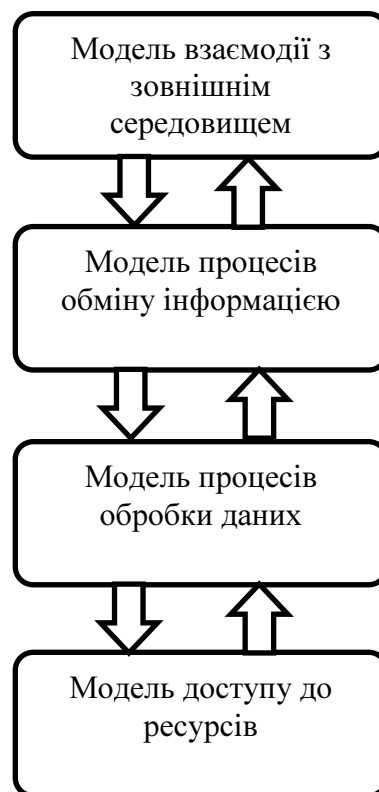


Рисунок 1 – Ієрархія моделей ЦОД

Наступний рівень представляє моделі управляючої системи, які на основі інформації про структуру й параметри модулів управління дозволяють визначити функції розподілу часу перебування й імовірності блокування запитів. ЦОД - це система масового обслуговування, оскільки він являє собою безліч апаратних, програмних і інформаційних ресурсів і безліч запитів, що надходять у випадкові моменти часу й конкуруючих за право доступу до цих ресурсів.

Оскільки ресурси обмежені, а число заявок є випадковою величиною, то, з одного боку, можуть виникати блокування й черги і втрати або затримки заявок, у тому числі важливих і термінових, а з іншого - простої невикористовуваних ресурсів [3].

Моделі рівня доступу до ресурсів дозволяють врахувати розподіленість апаратних засобів ЦОД.

Висновки. Проблема аналізу імовірнісно-часових характеристик ЦОД як телекомунікаційної системи представлено у вигляді ієрархічної моделі, рівні якої дозволяють описати особливості процесів функціонування систем центру обробки даних, алгоритмів обробки керуючої інформації й процедур взаємодії з іншими елементами.

Список літератури

1. Телекоммуникационная инфраструктура Центров Обработки Данных. Документ SP-3-0092: (Стандарт ТИА-942, редакция 7.0, февраль 2005). – режим доступа: http://www.ups-info.ru/etc/tia_russkii.pdf
2. Яремко І.М. Імовірнісні характеристики центрів обробки даних і резервування / І.М. Яремко, В.В. Турупалов, І.О. Молоковський // Моделювання та інформаційні технології. Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці. – Київ, 2011 р. – Випуск 60. – С. 141-146.
3. Яремко І.М. Моделі масового обслуговування в ЦОД / І.М. Яремко, В.В. Турупалов // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2011. – №6. – С. 23-26.

В. Турупалов

Анализ принципов построения модели центра обработки данных телекоммуникационной сети

Рассмотрены принципы построения и методики анализа характеристик при исследовании моделей центров обработки данных телекоммуникационных сетей и систем.

V.V. Turupalov

The analysis of the principles building model data center telecommunications network

Considered principles of construction and analysis techniques time characteristics of the study of patterns of data centers of telecommunication networks and systems.

Одержано 14.09.12

УДК 681.513.2

Н.В. Смирнова, канд.техн. наук, В.В. Смирнов, доц., канд. техн. наук
Кировоградский национальный технический университет

Определение веса объекта в процессе его перемещения по измерительной платформе в условиях воздействия аддитивных помех

Приведено решение задачи определения веса объекта во время его перемещения по измерительной платформе в условиях воздействия аддитивных помех на силоприемные элементы. Задача решена путем оптимизации ширины окна наблюдения в процессе обработки информации об объекте взвешивания на основе анализа взаимодействия двух тел в замкнутой системе тел «объект - измерительная платформа» в инерциальной системе отсчета. Представлен алгоритм определения веса объекта.

объект взвешивания, измерительная платформа, аддитивная помеха, инерциальная система отсчета

Определение веса объектов во время их движения является важной частью различных технологических процессов во многих отраслях промышленности и сельского хозяйства. Специальное весоизмерительное оборудование используется для измерения веса автомобильных транспортных средств, железнодорожных вагонов, животных в прерывистом потоке и т.д.

При перемещении объекта через измерительную платформу на силоприемные элементы помимо веса G объекта взвешивания воздействует дополнительная сила F , вызванная колебаниями центра массы объекта вдоль осей координат и носящая динамический характер. Эта сила является аддитивной помехой для сигнала, несущего информацию о весе объекта взвешивания и достигает значения 20...30%.

Анализ исследований и публикаций. Динамическая составляющая аддитивной помехи может быть представлена в виде затухающей гармонической составляющей самой низкой частоты с амплитудой P_m . В этом случае, сила, воздействующая на датчики силы, определяется выражением:

$$F(t) = G + \sum_{i=1}^n P \cdot i \cdot e^{-d_i t} \cdot \sin(\omega_i t + \psi_i) + G_{пл}, \quad (1)$$

где G - вес объекта;

P - амплитуда переменной составляющей нагрузки для i -той гармоники;

d_i - декремент затухания;

ω_i - угловая частота;

i - начальная фаза;

$G_{пл}$ - вес платформы.

При использовании тензометрических датчиков силы, выходное напряжение, поступающее с выхода датчиков, имеет величину:

$$U(t) = U_0 + K_{pu}G + K_{pu}P_m \cdot \sin(\omega_t + \psi), \quad (2)$$

где U_0 - начальное выходное напряжение, обусловленное весом измерительной платформы,

K_{pu} - коэффициент передачи (преобразования) датчика.

Становится очевидным, что, если не предпринимать специальных мер для уменьшения влияния аддитивной помехи на результаты измерения веса объекта, то связанная с ней относительная погрешность метода измерения будет определяться амплитудой P_m аддитивной помехи и может достигать значительной величины. Основная трудность подавления аддитивной помехи вызвана тем, что период аддитивной помехи мал и сравним со временем определения веса объекта.

Постановка задачи. Установлено, что существуют принципиальные отличия динамики процесса передвижения механических и биологических объектов [1]. Эти отличия определяют процесс формирования аддитивной помехи, которая является основным фактором, определяющим точность измерения веса движущегося объекта. Поэтому применение традиционных методов и средств подавления аддитивной помехи, используемых при измерении веса движущихся механических объектов [2,3], неэффективно при определении веса животных в движении. Из этого следует, что разработка метода обработки информации об объекте взвешивания, позволяющего повысить достоверность результатов измерений в условиях воздействия аддитивных помех, является актуальной задачей.

Основная часть. При реализации разработанного нами метода обработки информации об объекте взвешивания, учитывалось, что объект взвешивания и измерительная платформа образуют замкнутую систему тел, взаимодействующих в инерциальной системе отсчета. Для этой системы ускорение a , приобретаемое материальной точкой, прямо пропорционально действующей на тело силе F , обратно пропорционально массе m точки, и по направлению совпадает с силой F (второй закон Ньютона) [4]:

$$a = \frac{F}{m}, \quad (3)$$

где a - ускорение центра массы тела;

m - масса тела.

Уравнение второго закона Ньютона в более общей форме имеет вид:

$$F = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta p}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta(mv)}{\Delta t}. \quad (4)$$

Если сила F постоянна, то

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{\Delta(mv)}{\Delta t}, \quad (5)$$

где Δt - промежуток времени, в течении которого на материальную точку m действовала сила F ;

$\Delta p = \Delta(mv)$ - изменение импульса тела за этот промежуток времени.

Сила F , действующая на тело массой m , равна изменению импульса тела Δp за единицу времени Δt и является мерой изменения импульса тела:

$$F\Delta t = \Delta p = \Delta(mv) . \quad (6)$$

Поскольку замкнутая система тел: «измерительная платформа → объект взвешивания» состоит из двух тел, то результирующее ускорение a_{Σ} , получаемое телом массой m от воздействия на него нескольких сил, определяется выражением:

$$a_{\Sigma} = \frac{F_{\Sigma}}{m_1 + m_2} . \quad (7)$$

Если в инерциальной системе отсчета рассматривается система, состоящая из n материальных точек, то на основании второго закона Ньютона

$$\begin{aligned} \frac{\Delta(m_1 \cdot v_1)}{\Delta t} &= F_{12} + F_{13} + \dots + F_{1n} + F_{1внеш}, \\ \frac{\Delta(m_2 \cdot v_2)}{\Delta t} &= F_{21} + F_{23} + \dots + F_{2n} + F_{2внеш} \end{aligned}$$

или:

$$\sum_{i=1}^n \frac{\Delta(m_i \cdot v_i)}{\Delta t} = F \sum_{внутр} + F \sum_{внешн} = \frac{\Delta p}{\Delta t} = F \sum_{внутр} + F \sum_{внешн} , \quad (8)$$

где Δp - изменение суммарного импульса системы за промежуток времени Δt ;

$F \sum_{внутр}$ - сумма всех внутренних сил взаимодействия частей системы;

$F \sum_{внешн}$ - сумма всех внешних сил, действующих на тела системы.

Поскольку система: «измерительная платформа → объект взвешивания» является замкнутой, то $F \sum_{внешн} = 0$. Тогда:

$$\frac{\Delta p}{\Delta t} = 0, \quad \text{или} \quad \Delta p = 0, \quad \text{или} \quad p = const , \quad (9)$$

что означает: в инерциальной системе отсчета суммарный импульс p замкнутой системы тел с течением времени не изменяется и равен нулю. Взаимодействие между объектом взвешивания и измерительной платформой приводит к изменению моментов импульсов объекта взвешивания и измерительной платформы, но на изменение суммарного импульса системы это взаимодействие влияния не оказывает. Поскольку импульс p системы равен произведению m массы системы m на скорость V_c ее центра масс: $p = m \cdot V_c$, то для замкнутой системы тел справедливо выражение:

$$V_c = const . \quad (10)$$

Поскольку сила F , приложенная к телу массой m , перемещает это тело на величину элементарного перемещения Δr , то скалярная физическая величина, равная

$$\Delta A = F \cdot \Delta r \cdot \cos \alpha \quad (11)$$

является элементарной работой ΔA силы F , где α - угол между векторами F и Δr .

Из выражения (11) следует, что в зависимости от ориентации векторов F и Δr элементарная работа ΔA может быть величиной положительной, отрицательной или равной нулю. Полная работа A силы F на конечном перемещении Δr равна:

$$A = \sum_{i=0}^n F \cdot \Delta r_i \cdot \cos \alpha_i, \quad (12)$$

где n - число элементарных перемещений Δr_i , на которое разделено суммарное перемещение Δr ;

α_i - угол между вектором силы F и вектором элементарного перемещения Δr_i .

Из этого следует, что, согласно (9) в замкнутой системе тел в инерциальной системе отсчета нулю равен не только суммарный импульс p , но и суммарная работа A .

Принимая, что $\Delta r = \Delta t = const$, выражение (12) представим в виде:

$$\Delta A = F_i \cdot \Delta t_i \cdot \sin \alpha_i, \quad (13)$$

откуда следует, что момент импульса Δp за время $\Delta t = const$ будет равен элементарной работе ΔA . Соответственно, полная работа A за период времени T определяется выражением:

$$A = \sum_{i=1}^n F \cdot \Delta t_i \cdot \sin \alpha_i, \quad (14)$$

то есть, за период времени T полная работа A в замкнутой системе тел равна нулю:

$$\frac{\Delta A}{\Delta t} = 0; \quad \Delta A = 0; \quad A = const. \quad (15)$$

Из сказанного следует вывод, что:

- если за промежуток времени $t_{2i} - t_{1i}$ суммарный импульс замкнутой системы тел «измерительная платформа → объект взвешивания» не изменился и $p = A = 0$, то период времени $T_n = t_{2i} - t_{1i}$ следует принять в качестве интервала (ширины) окна наблюдения, в котором массы тел m_i замкнутой системы в инерциальной системе отсчета будут соответствовать своим истинным значениям.

В отношении аддитивной помехи, возникающей при измерении веса движущихся объектов, нами сделано следующее заключение:

- если период аддитивной помехи T_δ будет равен ширине окна наблюдения T_n , то сумма элементарных работ аддитивной помехи будет равна нулю:

$$\sum_{i=1}^n \Delta A_i = 0; \quad \text{при } T_\delta = T_n, \quad (16)$$

то есть, аддитивная помеха не будет оказывать влияния на результаты измерения веса движущихся объектов. Поэтому, отношение ширины окна наблюдения T_n к относительному периоду аддитивной помехи T_δ определяет погрешность метода измерения веса движущегося по измерительной платформе объекта. Из этого следует, что существует возможность создания алгоритма обработки результатов измерения с использованием метода адаптационного изменения ширины окна наблюдения. Такой алгоритм был нами разработан. Алгоритм работает следующим образом:

1. Найти экстремумы функции Э0 - Э8 (рис. 1). Экстремум Э4 является характерной точкой на графике функции динамической помехи и используется в алгоритме обработки полученной информации об объекте взвешивания.

2. Уровень Э4 принять базовым, относительно которого будут вычисляться суммы элементарных работ:

$$\sum_{i=1}^n \Delta A_i; \text{ принимаем: } G = \text{Э4}$$

3. Найти среднее арифметическое величин экстремумов Э1, Э2, Э6, Э7:

$$G1 = \frac{1}{4} \sum \text{Э1, Э2, Э6, Э7}.$$

4. На уровне G1 вычислить в первом приближении вес движущегося объекта. Величина погрешности δ в первом приближении будет составлять не более 5% от веса объекта. Следует принять полученный результат за базовый уровень и относительно него в пределах $\delta = \pm 2,5\%$ осуществлять адаптацию ширины окна наблюдения. Вес объекта в первом приближении:

$$m(G1) = \left(\frac{1}{4} \cdot \sum_{i=0}^n \Delta A_i\right) + G - G_{nl}.$$

5. Установить максимальную ширину окна наблюдения:

$$T_{\max} = T(G1 - \delta).$$

6. Итерация: вычислить сумму элементарных работ в окне наблюдения

$$A = \sum_{i=1}^n \Delta A_i.$$

7. Проверить условие У1 - сумма элементарных работ ΔA в окне наблюдения равна нулю

$$\sum_{i=1}^n \Delta A_i = 0 \pm 1; \quad T_{opt} = T_i.$$

8. Выполнилось условие У1. Это означает, что ширина окна наблюдения является оптимальной:

$$T_{opt} = T_i.$$

9. Вычислить вес объекта. Перейти на пункт 12.

10. Условие У1 не выполнилось. Тогда проверить условие У2. При выполнении расширить границы изменения ширины окна наблюдения вдвое:

$$\delta_+ = \delta.$$

11. Если условие У1 не выполнилось, а в условии У2 достигнуто ограничение $\delta = \delta_{max}$, то принять в качестве $T_{opt} = T_i$ при $A = A_{min}$.

12. Вычислить вес объекта во втором приближении:

$$G_0 = m(G_0) = \left(\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^n \Delta A_i\right) + \Pi - G_{nl}.$$

Выводы. Решена основная проблема - влияние аддитивной помехи на результат определения веса объекта во время его перемещения по измерительной платформе посредством использования эвристических алгоритмов обработки информации. В частности, разработан и применен метод оптимизации ширины окна наблюдения при обработке информации об объекте взвешивания.

Список литературы

1. Грдина Я.И. Динамика живых организмов. Екатеринбург / Грдина Я.И. // ЕВГУ, 1910; "Известия ЕВГУ", 1910, вып. 1.
2. ГОСТ Р 8.603-2003 Государственная система обеспечения единства измерений. Весы для взвешивания автотранспортных средств в движении. Методика поверки.
3. МР МОЗМ 134. Международная рекомендация. Международная организация законодательной метрологии. Автоматическое оборудование для взвешивания автотранспортных средств в движении.
4. Яворский Б.М., правочное руководство по физике / Яворский Б.М. Селезнев Ю.А. // – М.: Наука, 1975. – 624 с.

Н. Смірнова, В. Смірнов

Визначення ваги об'єкта під час його переміщення по вимірювальній платформі в умовах впливу адитивних завад

Приведено рішення задачі визначення ваги об'єкта під час його переміщення по вимірювальній платформі в умовах впливу адитивних завад на сілоприємні елементи. Задача розв'язана шляхом оптимізації ширини вікна спостереження в процесі обробки інформації про об'єкт зважування на основі аналізу взаємодії двох тіл в замкнутої системі тел «об'єкт - вимірювальна платформа» в інерціальної системі отсчета. Представлено алгоритм визначення ваги об'єкта.

N. Smirnova, V. Smirnov

The weight of the object determination while it is moving on the measuring platform under the additive action effect

Determining the weight of an object while it is moving on the measuring platform under the impact of additive noise on silopriemnye elements the problem solution. The problem is solved by optimizing the width of the observation window in the information about weighting processing based on the interaction two bodies in analysis in the system "object - Test Platform". The algorithm for the object weight determining submitted.

Получено 21.09.12

УДК 621.316.9

С. М. Якимець, канд. техн. наук

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

Система гірничопідземного радіозв'язку та автоматизації управління тяговими електротехнічними комплексами рудникових електровозів в умовах залізорудних шахт

В статті надано результати досліджень з виявлення можливості побудови багаторівневої системи автоматизації управління тяговими електротехнічними комплексами електровозоскладів в умовах залізорудних шахт, запропоновано принципи побудови системи гірничопідземного радіозв'язку, обґрунтовано доцільність використання волоконнооптичних ліній зв'язку та цифрових методів обробки сигналів.

транковий радіозв'язок, шахтний транспорт, система автоматизації управління

Вступ. Ефективність роботи гірничорудних підприємств залежить від великого числа чинників, які можна розділити на три групи:

- геологічні, які відомі за даними геологічної розвідки та експлуатації родовища;
- гірничо-геологічні, які характеризують обрану за техніко-економічними показниками систему розробки, її параметри та способи розробки родовища;
- організаційно-технічні в умовах даного родовища та обраної системи розробки.

Останній з названих чинників напряду залежить від оперативності дій учасників технологічного процесу та вимагає розв'язання двоєдиної задачі підвищення безпеки та продуктивності праці.

Аналіз попередніх досліджень. В умовах сучасних виробництв з підземними видами робіт в експлуатації знаходиться значна кількість технологічного обладнання з можливістю підключення до цифрових мереж передачі даних. Значні капіталовкладення в розвиток автоматизації та зв'язку в цілому виправдані: завдяки цим засобам раціоналізується процес видобування та переробки корисних копалин, забезпечується оперативний зв'язок з філіалами, периферійними офісами та шахтами, забезпечується контроль над роботою персоналу. Однак, багато шахт продовжують працювати на декадних або координатних АТС виробництва 60-х років минулого сторіччя [1].

Враховуючи відсутність надійного гірничорятувального зв'язку (телефонний зв'язок порушується а високочастотний не завжди надійний) заміна морально та фізично застарілого телекомунікаційного обладнання й розгортання сучасних цифрових систем радіозв'язку залишається актуальним питанням.

Мета роботи. Оцінка стану та визначення тактики побудови системи моніторингу за та управління шахтним транспортом в умовах рудникових шахт.

Матеріал та результати досліджень. Організація системи зв'язку є багатофакторною, індивідуальною для кожного підприємства задачею, яка враховує характер системи, забезпечення необхідної швидкості передачі, тощо.

При побудові цифрової системи зв'язку в умовах рудникових підземних шахт необхідно дотримуватись головних умов:

– можливість забезпечення персоналу індивідуальним та груповим мобільним зв'язком;

– можливість передачі даних для забезпечення підвищення оперативності управління технологічними процесами;

– можливість організації зв'язку з різними системами за стандартними інтерфейсами (цифровою мережею з інтеграцією послуг, з телефонною мережею загального користування тощо);

– врахування значних відмінностей електромагнітних параметрів (провідності, діелектричної та магнітної проникності) гірничого масиву навіть в межах одного й того ж горизонту шахти.

Проведені в умовах шахти «Батьківщина» (м. Кривий Ріг) дослідження [3] показують, що при потужності випромінювання 0,3 Вт максимальна відстань, на яку може бути переданий сигнал величиною 1 мкВ/м у виробітках без направляючих, які пройдено в рудному масиві, складає на частотах 165 МГц – 75 м, 10 МГц – 40 м, 20 МГц – 26 м, 28 МГц – 27 м. Для виробіток, пройдених по непровідним породам, за тієї ж потужності випромінювання на відстані 100 м від передавача напруженість поля дорівнює на частоті 1,5 МГц – 100 мкВ/м, 10 МГц – 50 мкВ/м, 20 МГц – 20 мкВ/м, 28 МГц – 1 мкВ/м. Таким чином, умови поширення сигналу в умовах залізорудних шахт дозволяють використовувати для управління електровозним транспортом хвилі декаметрового діапазону з рекомендованим інтервалом частот 27-28 МГц.

Організація каналів зв'язку з використанням рейкових шляхів як направляючих сигналу, в умовах вітчизняних залізорудних шахт (тим більше в місцях навантаження/розвантаження) достатньо проблематична. Рейкові шляхи в цих точках, як правило, засмічені рудою та заводнені. Рейкові стики найчастіше не мають електричного контакту, опір баласту виявляється низьким а опір рейок – високим, внаслідок чого надійність каналу зв'язку знижується.

Дослідження характеристик радіовипромінюючих кабелів, які можна використати як шлейфи індуктивних каналів управління [5] дозволяють зробити висновок, що передбачені норми стандартів вибухонебезпечності кабельної продукції не дозволяють забезпечити необхідного рівня безпеки в умовах залізорудних та особливо вугільних шахт.

Сучасні стандарти цифрового транкового радіозв'язку, на основі яких розгортаються комунікаційні системи, дозволяють створювати різноманітні конфігурації мереж зв'язку: від найпростіших локальних однозонових до складних багатозонових систем регіонального або національного рівня. Прикладом може слугувати система гірничо-підземного радіозв'язку (рис.1), розгорнута на основі стандарту МРТ 1327 в умовах ВАТ «ГМК «Норильський нікель» [2].

Система призначена для створення зони радіопокриття в умовах підземних виробіток та побудовано на основі радіовипромінюючого кабелю (РВК), який виступає в якості розосередженої приймально-передавальної антени. Роботу випромінювальної кабельної мережі забезпечують лінійні підсилювачі (ЛП), лінійні зчитувачі (ЛЗ) та термінальне прикінцеве обладнання (ТО).

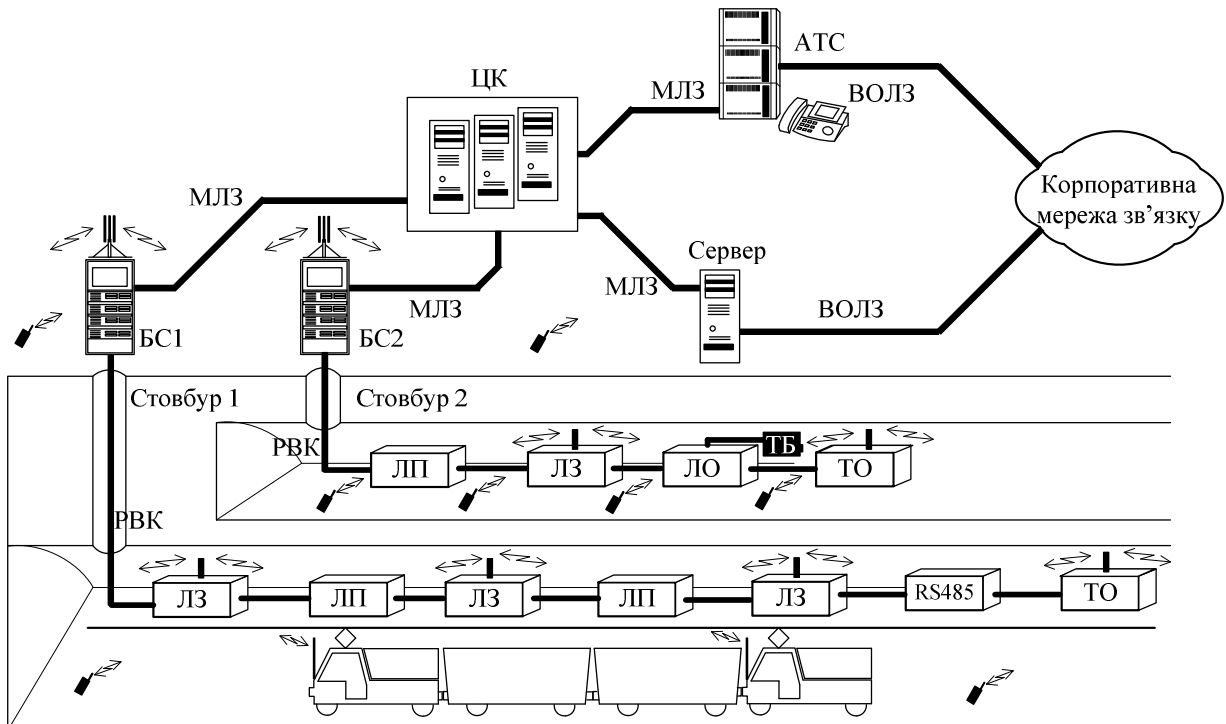


Рисунок 1 – Варіант побудови системи гірничопідземного радіозв'язку та автоматизації управління на основі комплексу обладнання Талнах

Як показує аналіз характеристик сучасних транкових систем, приведених у таблиці 1 [4], жодна з них не забезпечує передачу сигналів вказаного декаметрового діапазону.

Таблиця 1 – Характеристики цифрових транкових систем

Протокол	Статус стандарту	Дуплексне рознесення частот, кГц	Діапазон частот, МГц
MPT 1327	відкритий	≥ 200	136-174; 240-270; 300-540; 800-870
TETRA	відкритий	8	380-400; 410-430; 450-470; 806-825; 851-870; 871-876; 915-921
EDACS	корпоративний	30; 25; 12,5	138-174; 403-423, 450-470; 806-870
APCO 25	відкритий	12,5; 6,25; 25	138-174; 406-512 746-869
TetraPol	корпоративний	12,5; 10	70-520
iDEN	корпоративний з відкритою архітектурою	25	805-821/855-866

У зв'язку з викладеним раціональним бачиться побудова системи на основі оптичноволоконних ліній зв'язку, приведеної на рисунку 2, яка задовольняє умовам вибухонебезпечності та умовам поширення коротких хвиль в горизонтах шахт.

Внутрішньошахтове обладнання складається з волоконнооптичних ліній зв'язку (ВОЛЗ), які сполучають підсилювально-випромінювальні пристрої, що виконують функцію зчитувачів інформації про розташування абонентів мережі (як людського персоналу так і обладнання). Узгоджувальні пристрої (УП) призначені для

перетворення частоти, яка використовується в наземному радіозв'язку в підземні хвилі декаметрового діапазону та узгоджують наземне обладнання базових станцій (БС) з абонентським обладнанням. Магістральні лінії зв'язку МЛЗ сполучають БС з центром комутації, який в свою чергу, сполучено з АТС та сервером з можливістю виходу через них у корпоративну мережу зв'язку.

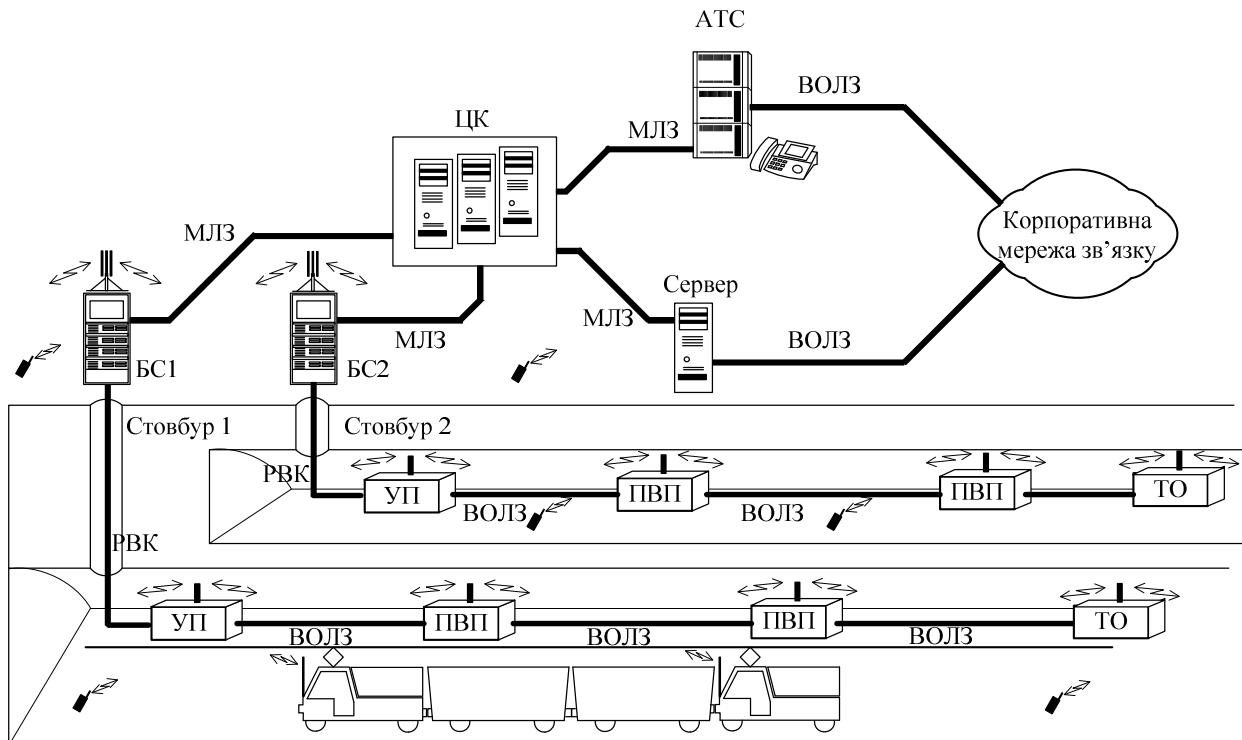


Рисунок 2 – Варіант побудови системи гірничопідземного радіозв'язку та автоматизації управління на основі оптичноволоконних ліній зв'язку

Висновки. В результаті досліджень проаналізовано існуючі методи та канали передачі інформації, обґрунтовано доцільність побудови системи з використанням оптичноволоконних ліній зв'язку, запропоновано структуру системи моніторингу розташування персоналу та управління станом електротехнічного обладнання електровоза з можливістю виведення інформації в центр комутації на поверхні шахти.

Список літератури

1. Капаев А.В. Радиосвязь под землей. Проблемы и пути решения / А.Е Капаев, А.Е. Котова. // Горная промышленность. – 2004. – №1. – С.49-52.
2. Запорощенко Д.В. Радиосвязь для «Норильского никеля» / Д.В Запорощенко // Горная промышленность. – 2004. – №2. – С.38-40.
3. Карагаев В.И. Определение параметров радиосигналов и мощности приемо-передающего устройства промышленных электровозов при управлении по системе многих единиц в условиях рудных шахт / Карагаев В.И., Ключка А.С., Якимец С.Н., Коваль О.А., Доценко Ю.А. // Вісник Кременчуцького державного університету імені Михайла Остроградського. – Вип. 3/2010(62) Ч.2. – Кременчук: КДУ, 2010. – С. 99-102.
4. Овчинников А. М. Открытые стандарты цифровой транкинговой радиосвязи / А.М. Овчинников, С.В. Воробьев, С.И. Сергеев. // Серия изданий "Связь и бизнес". - М.: МЦНТИ, ООО "Мобильные коммуникации", 2000, 166 с.
5. Хвостов Д. О взрывобезопасности кабелей связи / Д.Хвостов, Е.Вишняков. // «Кабель news» – 2011. – №2.– С.62-69.

С. Якимець

Система горноподземной радиосвязи и автоматизации управления тяговыми электротехническими комплексами рудничных электровозов в условиях железорудных шахт

В статье приведены результаты исследований возможности построения многоуровневой системы автоматизации управления тяговыми электротехническими комплексами электровозосоставов в условиях железорудных шахт, предложены принципы построения системы горноподземной радиосвязи, обоснована целесообразность использования волоконнооптических линий связи и цифровых методов обработки сигналов.

S. Yakimets

The systems radiocommunication and automation tractive electric systems mine of the train elektric locomotive in iron ore mines

The results of investigations into the possibility of constructing of layered system automation of the train elektric locomotive in iron ore mines, proposed principles of the system radio expediency of using fiber optic lines and digital signal processing techniques in iron ore mines.

Одержано 15.09.12

УДК 621.315.175

С.В. Овчаров, доц., канд. техн. наук

Таврійський державний агротехнологічний університет

Р.В. Телюта, канд. техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет

А.В. Буряк, викл.

ВНЗ "Кіровоградський технікум механізації сільського господарства"

Розробка технічного засобу перетворення електричної енергії в теплову на принципі «катушка в сталі»

Запропоновано нову конструкцію перетворювача електричної енергії в теплову на принципі «катушка в сталі». Перетворення енергії відбувається за рахунок гістерезису і вихрових струмів. Теоретично обґрунтовано можливість такого перетворення енергії і запропоновано конструкцію електронагрівача.

електроопалення, електронагрівач, акумуляція, перетворювач електричної енергії, катушка в сталі

Вступ. Аналіз графіків навантаження енергосистем показує, що існують великі провали навантаження в нічні години, що вимагає їхнього заповнення з погляду економії енергоресурсів. Одним з таких способів заповнення графіка є застосування електричної енергії для електроопалення, у тому числі й шляхом акумуляції теплової енергії, отриманої з електричної.

© С.В. Овчаров, Р.В. Телюта, А.В. Буряк, 2012

С. Якимець

Система горноподземной радиосвязи и автоматизации управления тяговыми электротехническими комплексами рудничных электровозов в условиях железорудных шахт

В статье приведены результаты исследований возможности построения многоуровневой системы автоматизации управления тяговыми электротехническими комплексами электровозосоставов в условиях железорудных шахт, предложены принципы построения системы горноподземной радиосвязи, обоснована целесообразность использования волоконнооптических линий связи и цифровых методов обработки сигналов.

S. Yakimets

The systems radiocommunication and automation tractive electric systems mine of the train elektric locomotive in iron ore mines

The results of investigations into the possibility of constructing of layered system automation of the train elektric locomotive in iron ore mines, proposed principles of the system radio expediency of using fiber optic lines and digital signal processing techniques in iron ore mines.

Одержано 15.09.12

УДК 621.315.175

С.В. Овчаров, доц., канд. техн. наук

Таврійський державний агротехнологічний університет

Р.В. Телюта, канд. техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет

А.В. Буряк, викл.

ВНЗ "Кіровоградський технікум механізації сільського господарства"

Розробка технічного засобу перетворення електричної енергії в теплову на принципі «катушка в сталі»

Запропоновано нову конструкцію перетворювача електричної енергії в теплову на принципі «катушка в сталі». Перетворення енергії відбувається за рахунок гістерезису і вихрових струмів. Теоретично обґрунтовано можливість такого перетворення енергії і запропоновано конструкцію електронагрівача.

електроопалення, електронагрівач, акумуляція, перетворювач електричної енергії, катушка в сталі

Вступ. Аналіз графіків навантаження енергосистем показує, що існують великі провали навантаження в нічні години, що вимагає їхнього заповнення з погляду економії енергоресурсів. Одним з таких способів заповнення графіка є застосування електричної енергії для електроопалення, у тому числі й шляхом акумуляції теплової енергії, отриманої з електричної.

© С.В. Овчаров, Р.В. Телюта, А.В. Буряк, 2012

Одним з недоліків існуючих технічних засобів перетворення електричної енергії в теплову є їхній невисокий термін служби (особливо трубчастих електронагрівачів).

Постановка задачі. Тому завданням є розробка технічних засобів перетворення електричної енергії в теплову, які володіють великою експлуатаційною надійністю й високим коефіцієнтом корисної дії.

Аналіз публікацій. Існуючі перетворювачі електричної енергії в теплову використовують резистивні елементи [1,2,3]. Недоліком цих елементів є їх висока робоча температура, яка досягає 600 – 700°C. У зв'язку з високим градієнтом температур відбувається заповнення поверхні нагрівачів хімічними продуктами, що знижує різко їх тепловіддачу і приводить до виходу із ладу.

Мета статті. Удосконалення конструкції перетворювачів електричної енергії в теплову шляхом розробки нових принципів перетворення енергії.

Основна частина. Авторами виказана гіпотеза про те, що перетворювач електричної енергії в теплову на принципі «котушка в сталі» буде мати значно більший термін служби, ніж трубчасті електронагрівачі, а також високий коефіцієнт корисної дії.

Розглянемо втрати активної потужності в котушці зі сталлю на гістерезис. При цьому будемо вважати, що котушка є ідеальною, тобто активний опір обмотки котушки дорівнює нулю.

Активна потужність, яку споживає ідеальна котушка, дорівнює:

$$P_e = \frac{1}{T} \int_0^T u i dt, \quad (1)$$

де T – період синусоїдного струму, s ;

u – миттєве значення синусоїдної напруги, B ;

i – миттєве значення синусоїдного струму, A ;

t – поточний час, s .

Якщо вважати, що активний опір котушки дорівнює нулю, то прикладена напруга дорівнює е.р.с. самоіндукції e , тобто:

$$u = -e = w \frac{d\Phi}{dt}, \quad (2)$$

де w – число витків котушки;

Φ – миттєве значення магнітного потоку, Wb .

У свою чергу:

$$\Phi = B \cdot S, \quad (3)$$

де B – миттєве значення магнітної індукції, Tl ;

S – площа осердя котушки, m^2 .

Тоді можемо записати:

$$u = wS \frac{dB}{dt}. \quad (4)$$

Струм у котушці знайдемо із закону повного струму:

$$i = \frac{Hl}{w}, \quad (5)$$

де H – миттєве значення напруженості магнітного поля, A/m ;

l – довжина середньої лінії магнітопроводу котушки, m .

З урахуванням (5) перепишемо (1):

$$P_z = \frac{1}{T} \int_0^T wS \frac{dB}{dt} \cdot \frac{Hl}{w} dt = \frac{Sl}{T} \oint HdB = fV, \quad (6)$$

де V – об’єм магнітопроводу, m^3 ;

f – частота струму, $Гц$.

Якщо розглянути петлю гістерезису, то її площа описується наступним чином – $\oint HdB$.

Таким чином, втрати активної потужності на гістерезис прямо пропорційні частоті струму, об’єму осердя й площі петлі гістерезису. В іншому вигляді можна записати:

$$P_z = r_{ez} I_a^2, \quad (7)$$

де r_{ez} – еквівалентний активний опір, за допомогою якого враховуються втрати активної потужності на гістерезис, $Ом$;

P_z – втрати активної потужності на гістерезис, $Вт$;

I_a^2 – активна складова сили струму в ідеальній котушці, A .

Розглянемо втрати активної потужності в котушці зі сталлю на вихрові струми.

Змінний струм, що проходить по котушці, створює в магнітопроводі змінний магнітний потік. Останній наводить у осерді е.р.с., під дією яких виникають вихрові струми, які замикаються по симетричним контурам. Ці вихрові струми нагрівають сталеве осердя, тобто втрачається активна потужність.

У цілому втрати активної потужності на вихрові струми прямо пропорційні квадрату частоти струму, товщині осердя й магнітній індукції.

Можна записати:

$$P_e = r_{ev} I_a^2, \quad (8)$$

де r_{ev} – еквівалентний опір, за допомогою якого враховуються втрати активної потужності на вихрові струми, $Ом$;

P_e – втрати активної потужності на вихрові струми, $Вт$.

У цілому втрати активної потужності в котушці зі сталлю рівні:

$$P_c = P_z + P_e = (r_{ez} + r_{ev}) I_a^2 = r_e I_a^2 \quad (9)$$

де r_e – еквівалентний активний опір, який враховує втрати активної потужності в сталі.

Складемо розрахункову схему ідеальної котушки в сталі (рис. 1)

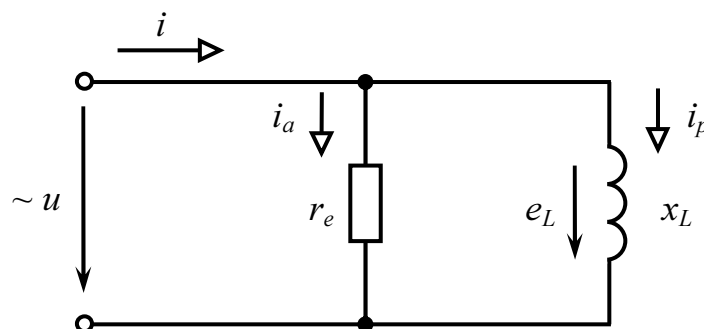


Рисунок 1 – Розрахункова схема ідеальної котушки в сталі.

На розрахунковій схемі:

x_L – індуктивний опір ідеальної котушки в сталі, Ом.

У свою чергу:

$$x_1 = \omega \cdot L, \quad (10)$$

де ω – кругова частота струму, рад/с;

L – індуктивність ідеальної котушки в сталі, Гн.

Складемо розрахункову схему ідеальної котушки в сталі в комплексній формі (рис. 2).

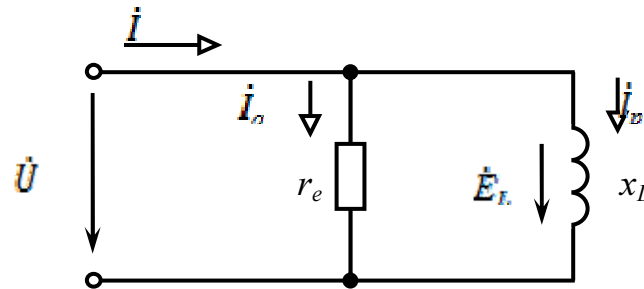


Рисунок 2 – Розрахункова схема ідеальної котушки в сталі в комплексній формі.

На розрахунковій схемі:

\dot{U} - комплекс діючого значення напруги на затисках ідеальної котушки в сталі, В;

\dot{I} - комплекс діючого значення сили електричного струму ідеальної котушки в сталі, А;

\dot{E}_r - комплекс діючого значення електрорушійної сили самоіндукції ідеальної котушки в сталі, В;

\dot{I}_a - комплекс діючого значення активної складової сили електричного струму ідеальної котушки в сталі, А;

\dot{I}_δ - комплекс діючого значення реактивної складової сили електричного струму ідеальної котушки в сталі, А.

Будуємо векторну діаграму ідеальної котушки в сталі (рис. 3)

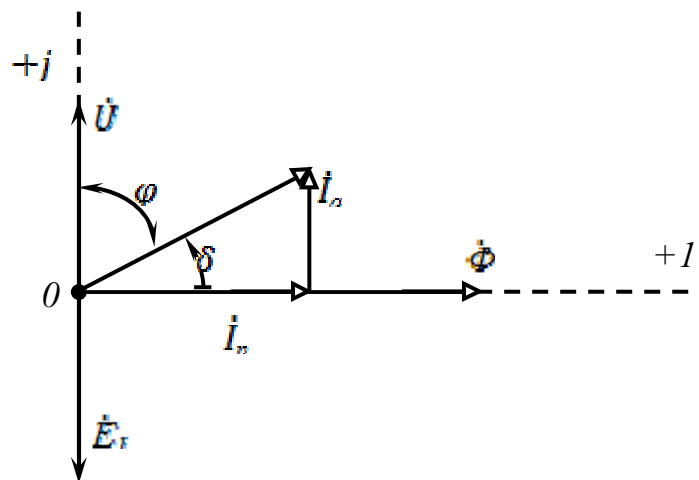


Рисунок 3 – Векторна діаграма ідеальної котушки в сталі

На векторній діаграмі:

$\dot{\Phi}$ - комплекс діючого значення магнітного потоку ідеальної котушки в сталі, *Вб*;
 φ – кут зсуву фаз ідеальної котушки в сталі, *град*.

Запишемо рівняння електричної рівноваги ідеальної котушки в сталі для оригіналів:

$$u = -e_L = w \frac{d\Phi}{dt}, \quad (11)$$

Задамося виразом миттєвого значення напруги на затисках ідеальної котушки в сталі:

$$u = U_m \sin(\omega t + 90^\circ) \quad (12)$$

Знайдемо вираз миттєвого магнітного потоку з (11):

$$\Phi = \frac{1}{w} \int u dt = \frac{1}{w} \int U_m \sin(\omega t + 90^\circ) dt = \frac{U_m}{w \cdot \omega} \sin \omega t = \Phi_m \cdot \sin \omega t \quad (13)$$

де

$$\Phi_m = \frac{U_m}{w \cdot \omega} \quad (14)$$

Запишемо рівняння електричної рівноваги ідеальної котушки в сталі для комплексів:

$$\dot{U} = -\dot{E} = j\omega w \dot{\Phi} \quad (15)$$

Складемо розрахункову схему реальної котушки в сталі, для чого винесемо активний опір обмотки котушки в сталі r_k на затискачі розрахункової схеми ідеальної котушки в сталі для оригіналів (рис. 4)

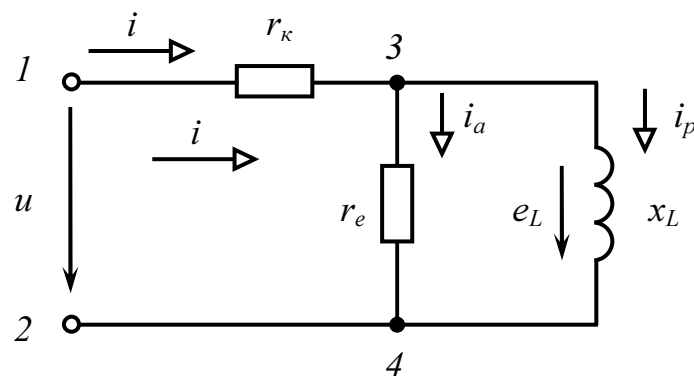


Рисунок – 4 Розрахункова схема ідеальної котушки в сталі

Запишемо рівняння електричної рівноваги реальної котушки в сталі для оригіналів:

$$u = r_k \cdot i - e_L. \quad (16)$$

Складемо розрахункову схему реальної котушки в сталі в комплексній формі (рис. 5)

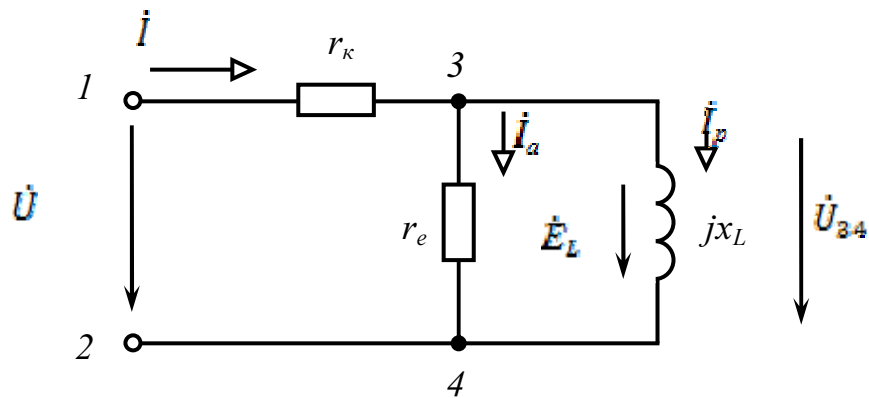


Рисунок – 5 Розрахункова схема реальної котушки в сталі в комплексній формі

Запишемо рівняння електричної рівноваги реальної котушки в сталі для комплексів:

$$\dot{U} = r_k \cdot \dot{I} - \dot{E}_L. \quad (17)$$

Побудуємо векторну діаграму реальної котушки в сталі (рис. 6):

Для експериментальної перевірки перетворювача «котушка в сталі» був створений дослідно – конструкторський зразок, креслення якого наведені на рис. 7.

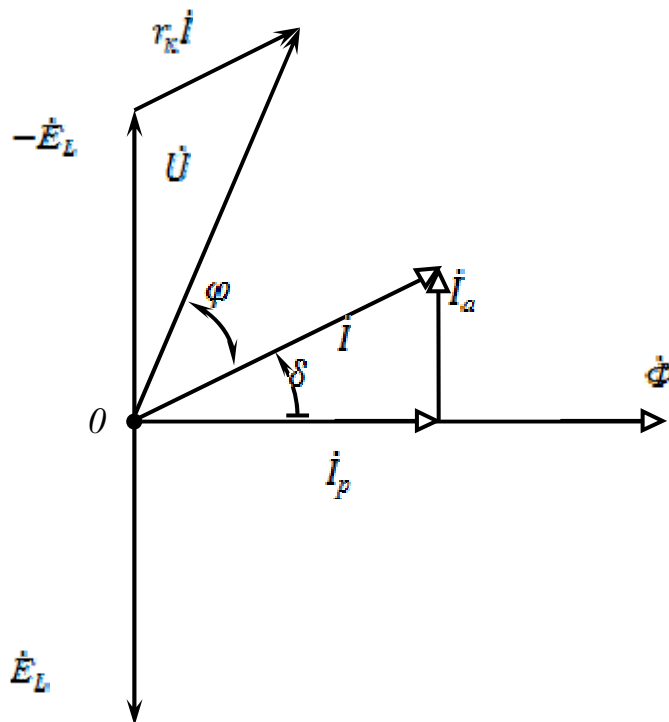
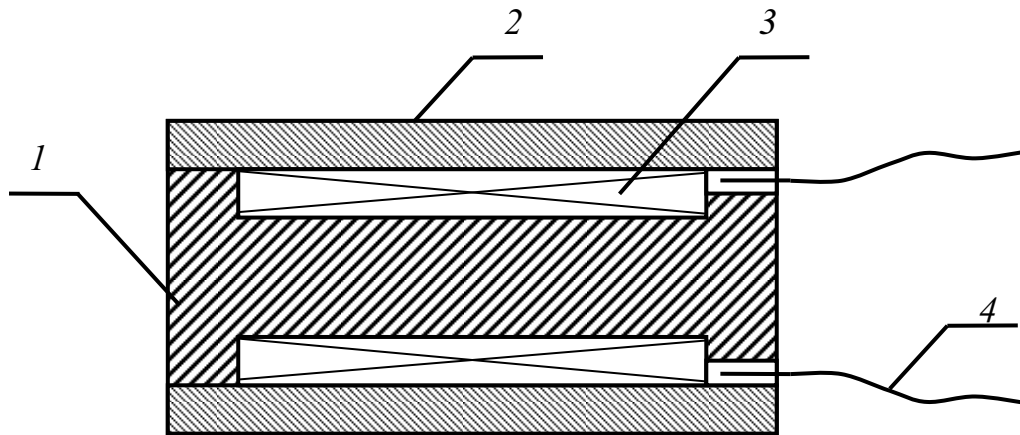


Рисунок 6 – Векторна діаграма реальної котушки в сталі в комплексній формі



1 – сталевий корпус, 2 – сталева труба, 3 – обмотка, 4 – затискачі

Рисунок 7 – Перетворювач електричної енергії в теплову «котушка в сталі»

Обмотка виконана мідним емальованим обмотувальним проводом класу ізоляції F.

Висновки. На підставі аналізу проведеного теоретичного обґрунтування можна зробити наступні висновки:

1. Втрати активної потужності в котушці в сталі на гістерезис прямо пропорційні частоті електричного струму, об'єму осердя й площі петлі гістерезису.

2. Втрати активної потужності в котушці в сталі на вихрові струми прямо пропорційні квадрату частоти струму, магнітній індукції й товщині осердя.

3. У реальній котушці в сталі спостерігаються втрати активної потужності в обмотці котушки завдяки явищу теплової дії електричного струму.

4. Котушку в сталі можливо використовувати як перетворювач електричної енергії в теплову.

Список літератури

1. Расстригин В.Н. Электронагревательные установки в сельскохозяйственном производстве [Текст] / В.Н. Расстригин, И.И. Дацков, Л.И. Сухарева, В.М. Голубев; под общ. ред. В.Н. Расстригина. – М.: Агропромиздат, 1985. – 304 с.
2. Белавин Ю.А. Трубчатые электрические нагреватели и установки с их применением [Текст] / Ю.А. Белавин, М.А. Евстигнеев, А.Н. Чернявский. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 160 с.
3. Карасенко В.А. Электрификация тепловых процессов в животноводстве [Текст] / В.А. Карасенко. – Минск: Ураджай, 1976. – 160 с.

С. Овчаров, Р.Телута, А. Буряк

Разработка технического средства преобразования электрической энергии в тепловую на принципе «катушка в стали»

Предложена новая конструкция преобразователя электрической энергии в тепловую на принципе «катушка в стали». Преобразование энергии происходит за счет гистерезиса и вихревых токов. Теоретически обоснована возможность такого преобразования энергии и предложена конструкция электронагревателя.

S. Ovcharov, R. Teluta, A. Buryak

The development of a technical tool for converting electrical energy into heat by "coil in iron" principle

There have been proposed a new design of the converter of electric energy into heat energy using a "coil

in iron" principle. An energy transformation is due to hysteresis and eddy currents. There have been theoretically proved the possibility of such energy conversion and proposed the construction of an electric heater.

Одержано 20.09.12

УДК 621.311.153: 62 – 52

Є.М. Іншеков, доц., канд. техн. наук, І.В. Калінчик, магістр
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Оптимізація режимів електроспоживання підприємства хімічної промисловості

Запропонована модель управління електроспоживанням підприємства через регулювання потужності споживачів технологічного процесу переміщенням даного процесу в часові зони мінімальних навантажень енергетичних систем. Визначена цільова функція та обмеження технологічного процесу. Проведені експериментальні дослідження моделі для хімічного підприємства, показана економічна доцільність такого управління. Показано, що зниження пікових навантажень приводить до зменшення генеруємої потужності в об'єднаній енергосистемі України, що призводить до пропорційного зменшення викидів CO₂ в атмосферу.

електроспоживання, оптимізація, потужність, споживачі-регулятори, тарифи на електроенергію

Загальні положення. Важливе значення в оптимізації споживання електричної енергії є зниження фінансових затрат за умовну одиницю енергії. Цього зниження можна досягти двома шляхами. Перший шлях – застосування тарифів, диференційованих за зонами доби і відповідне управління електроспоживанням підприємства через регулювання потужності споживачів технологічного процесу переміщенням даного процесу в часові зони мінімальних навантажень енергетичних систем. Другий шлях – застосування власних генеруючих потужностей, для яких затрати на вироблення 1 кВт·год електричної енергії менші за ціну встановлену на ринку електроенергії України.

Оптимальне управління промисловим навантаженням. Промислові навантаження можуть бути класифіковані на контрольоване – яке може бути об'єктом певних дій з управління навантаженням і на постійне у часі навантаження – яке має місце у певні періоди часу та не може бути об'єктом дій управління навантаженням. Контрольоване навантаження може бути розділене на незалежне навантаження, залежне від технологічного процесу навантаження, навантаження обмежене зберіганням і послідовне навантаження. Інакше, промислове навантаження включає в себе групу базових споживачів електроенергії, які не підлягають управлінню і контрольованих споживачів названих споживачами-регуляторами (СР) [1-3].

Для економічного стимулювання вирівнювання графіків електричного навантаження енергосистеми споживачі мають можливість розраховуватися за спожиту енергію за тарифами диференційованими по зонах доби [4].

in iron" principle. An energy transformation is due to hysteresis and eddy currents. There have been theoretically proved the possibility of such energy conversion and proposed the construction of an electric heater.

Одержано 20.09.12

УДК 621.311.153: 62 – 52

Є.М. Іншеков, доц., канд. техн. наук, І.В. Калінчик, магістр
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Оптимізація режимів електроспоживання підприємства хімічної промисловості

Запропонована модель управління електроспоживанням підприємства через регулювання потужності споживачів технологічного процесу переміщенням даного процесу в часові зони мінімальних навантажень енергетичних систем. Визначена цільова функція та обмеження технологічного процесу. Проведені експериментальні дослідження моделі для хімічного підприємства, показана економічна доцільність такого управління. Показано, що зниження пікових навантажень приводить до зменшення генеруємої потужності в об'єднаній енергосистемі України, що призводить до пропорційного зменшення викидів CO₂ в атмосферу.

електроспоживання, оптимізація, потужність, споживачі-регулятори, тарифи на електроенергію

Загальні положення. Важливе значення в оптимізації споживання електричної енергії є зниження фінансових затрат за умовну одиницю енергії. Цього зниження можна досягти двома шляхами. Перший шлях – застосування тарифів, диференційованих за зонами доби і відповідне управління електроспоживанням підприємства через регулювання потужності споживачів технологічного процесу переміщенням даного процесу в часові зони мінімальних навантажень енергетичних систем. Другий шлях – застосування власних генеруючих потужностей, для яких затрати на вироблення 1 кВт·год електричної енергії менші за ціну встановлену на ринку електроенергії України.

Оптимальне управління промисловим навантаженням. Промислові навантаження можуть бути класифіковані на контрольоване – яке може бути об'єктом певних дій з управління навантаженням і на постійне у часі навантаження – яке має місце у певні періоди часу та не може бути об'єктом дій управління навантаженням. Контрольоване навантаження може бути розділене на незалежне навантаження, залежне від технологічного процесу навантаження, навантаження обмежене зберіганням і послідовне навантаження. Інакше, промислове навантаження включає в себе групу базових споживачів електроенергії, які не підлягають управлінню і контрольованих споживачів названих споживачами-регуляторами (СР) [1-3].

Для економічного стимулювання вирівнювання графіків електричного навантаження енергосистеми споживачі мають можливість розраховуватися за спожиту енергію за тарифами диференційованими по зонах доби [4].

В умовах застосування тарифів, що стимулюють позапікове електроспоживання, споживачі економічно зацікавлені в регулюванні електричного навантаження [1-3,5,6]. Управління електроспоживанням промислових об'єктів за рахунок виділених споживачів-регуляторів стає важливим у вирівнюванні графіків навантажень ЕЕС і відповідно підвищення техніко-економічних показників.

Побудова моделі управління електроспоживанням. Вважаємо, що дослідження електроспоживання технологічного процесу базується на дискретних інтервалах часового періоду T (наприклад, один день). Початок та закінчення процесу, можливі лише у межах інтервалів. Інтервали тривалістю t_i (наприклад, 15 хвилин, або година) для інтервалу i .

$$\sum_{i=1}^N t_i = T, \text{ для всіх інтервалів } N \text{ часового діапазону.} \quad (1)$$

Введемо індикатор стану технологічного процесу I_{mi} ,

$$I_{mi} = \begin{cases} 1 \rightarrow \text{обладнання } m \text{ працює на інтервалі } i; \\ 0 \rightarrow \text{обладнання } m \text{ не працює на інтервалі } i. \end{cases} \quad (2)$$

На процес управління електроспоживанням накладаються обмеження виробництва, а саме, в часовому періоді T необхідно забезпечити мінімальний вихід готової продукції Q . Тоді,

$$\sum_{i=1}^N \sum_{m=1}^M G_{mi} \cdot t_{mi} \cdot I_{mi} \geq Q, \quad (3)$$

де: M - загальна кількість обладнання зайнятого у процесі виготовлення готової продукції;

G_{mi} - рівень продуктивності обладнання m на інтервалі i .

Використовуючи параметр G_{mi} , можна змінити виробничі потужності обладнання у різних інтервалах, враховуючи варіативність його використання та параметри ефективності.

Обмеження на зберігання продукції. Виробничий процес із зберіганням продукції, як показано на рис. 1, обмежений максимальною ємністю і може бути змодельований наступним чином

$$\sum_{i=1}^T \left[\sum_{m=1}^M G_{mi} \cdot t_{mi} \cdot I_{mi} - \sum_{r=1}^R q_{ri} \cdot t_{ri} \cdot I_{ri} \right] \leq S_m \text{ для } T = I \div N. \quad (4)$$

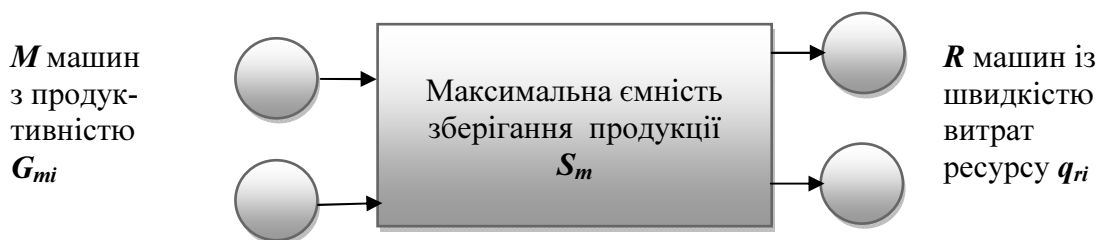


Рисунок 1 – Виробничий процес із зберіганням продукції

Обмеження технологічного процесу. Для задовільної роботи машин, задіяних у процесі, потрібно забезпечити певну мінімальну кількість матеріалів. Беручи загальний випадок, показаний на рис. 2, щоб забезпечити необхідний потік матеріалів від одної стадії до наступної, необхідно

$$\sum_{i=1}^T \left[\sum_{m=1}^M G_{mi} \cdot t_{mi} \cdot I_{mi} + \sum_{l=1}^L S_l \right] \geq \sum_{i=1}^T \left[\sum_{r=1}^R q_{ri} \cdot t_{ri} \cdot I_{ri} \right] \text{ для } T = I \div N. \quad (5)$$

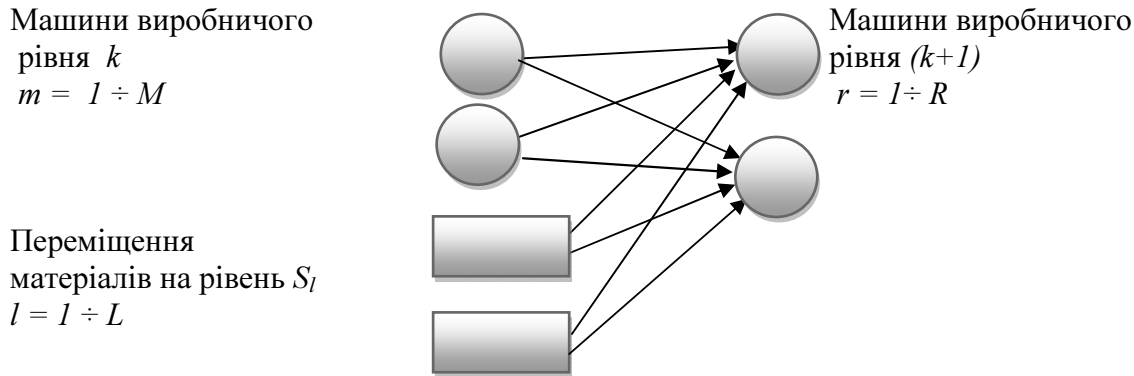


Рисунок 2 - Схема потоку матеріалів від одної стадії до наступної

В деяких випадках на k -й стадії технологічного процесу необхідно забезпечити мінімальний вихід продукції C_{min} . Тоді,

$$\sum_{i=1}^T \left[\sum_{m=1}^M G_{mi} \cdot t_{mi} \cdot I_{mi} \right] \geq C_{min} + \sum_{i=1}^T \left[\sum_{r=1}^R q_{ri} \cdot t_{ri} \cdot I_{ri} \right] \quad \text{для } T = 1 \div N. \quad (6)$$

Обмеження за послідовністю. Необхідно дотримуватись певної операційної послідовності для машин. Умовою старту машини m на інтервалі i після t інтервалів, починаючи з $(t - 1)$ -ої машини, буде

$$t \cdot I_{mi} \leq \sum_{j=i-t}^i I_{(m-1)j}. \quad (7)$$

Обмеження максимального навантаження. Обмеження максимального навантаження в пікові зони є важливим фактором для згладжування графіків навантажень об'єднаної енергосистеми і значна кількість промислових підприємств є об'єктами обмежень за максимальним споживанням. Для інтервалу i :

$$\sum_{m=1}^M P_{mi} \cdot I_{mi} \leq P_{max}, \quad (8)$$

де P_{mi} - розрахункова потужність (кВт) m -го механізму технологічного комплексу;

P_{max} - максимально дозволена потужність в пікові зони для підприємства.

Час відключення машин. Необхідно виділити певні періоди для налаштування машин у відповідності до графіку. Протягом інтервалу налаштування j неможливість використання машин m може бути визначена як

$$I_{mj} = 0. \quad (9)$$

Визначення розрахункової потужності механізмів. Розрахункова потужність у кВт для будь-якої машини m на інтервалі i :

$$P_{mi} = \{(P_m^n \cdot k_{omi}) / \eta\} \cdot I_{mi}, \quad (10)$$

де P_m^n - паспортна потужність машини/обладнання m у кВт;

k_{omi} - коефіцієнт використання для обладнання m на інтервалі i ;

η - коефіцієнт корисної дії машини/обладнання.

Цільова функція. Цільова функція (ЦФ) - мінімізація витрат на електроенергію. Така мінімізація можлива лише для підприємств, що користуються тарифами, диференційованими за зонами доби. До таких підприємств належать хімічні підприємства, які мають безперервний графік роботи. У ЦФ розглядаються лише витрати на електроенергію. Коли C_i - вартість енергії для інтервалу i , тоді ЦФ має вигляд:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{m=1}^M (P_{mi} \cdot I_{mi} \cdot t_{mi}) \cdot C_i \rightarrow \min. \quad (11)$$

Для схем управління електроспоживанням, що мають додану вартість на реалізацію такого управління (таку як, додаткова оплата за працю або капітальні витрати на підвищення потужності або встановлення нової технології) ЦФ формулюється у наступному вигляді:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{m=1}^M [(P_{mi} \cdot I_{mi} \cdot t_{mi} \cdot C_i) + (C_{oi} \cdot I_o) \cdot t_i] \rightarrow \min, \quad (12)$$

де C_{oi} - додаткові приведені затрати на реалізацію функції управління електроспоживанням і інтервалі i ;

I_o - індикатор наявності таких затрат

$$I_o = \begin{cases} 1 \rightarrow \text{при наявності затрат;} \\ 0 \rightarrow \text{при їх відсутності;} \end{cases} \quad (13)$$

Побудова графіка навантаження. Загальне навантаження на будь-якому інтервалі буде:

$$\sum_{m=1}^M P_{mi} \cdot I_{mi}. \quad (14)$$

Аналогічно може бути отриманий графік навантаження для всього інтервалу $i = 1$ до N .

Программа оптимізації. Отримана модель оптимізації досить проста і техніка її рішення можлива з використанням будь-якого пакету цілочисельного програмування. Результатом рішення є стан індикатору I (1 або 0), що вказує на те, які машини будуть ввімкнені або вимкнені у відповідний інтервал.

Експериментальні дослідження моделі. Перевірка запропонованої моделі проводилась для хімічного підприємства. Так як основні операції технологічного процесу безперервні і вони не можуть приймати участь в регулюванні навантаження відповідно до часових зон тарифу, то для регулювання електроспоживання технологічного процесу можуть бути задіяні механізми допоміжних операцій і, зокрема, насоси водовідводу.

Розглянуто варіанти перенесення режиму роботи насосів водовідводу на нічну зону (варіант 1) і на нічну та напівпікову зони (варіант 2). При реалізації варіанту 1 режим роботи насосів встановлюється 7 годин на добу. При реалізації варіанту 2 режим роботи насосів встановлюється 18 годин на добу.

Графіки навантаження для всіх варіантів роботи водовідводу показані на рис.3. Зниження пікового навантаження відбувається в обох варіантах, проте у варіанті 1 знижується і напівпікове навантаження.

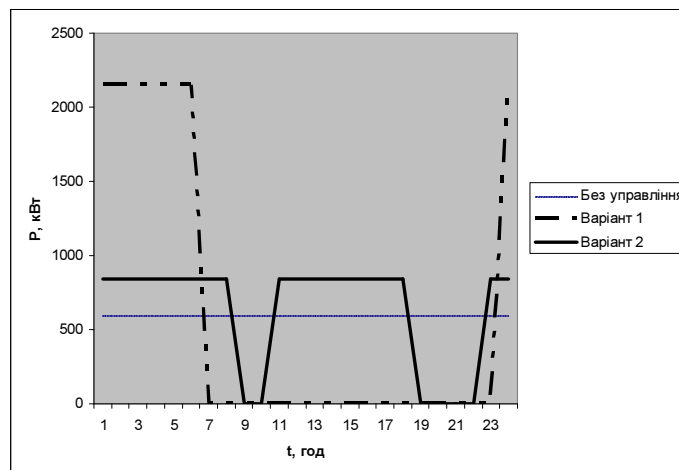


Рисунок 3 – Графіки навантажень водовідводу хімічного підприємства

Для реалізації варіанту 1 управління необхідні додаткові затрати на збільшення потужності насосів водовідводу. При базовій потужності насосів водовідводу 600 кВт економічний ефект від впровадження режиму управління навантаженням хімічного підприємства складає більше 2,5 млн. грн. для варіанту 1 і 0,8 млн грн. для варіанту 2 організації роботи насосів.

Висновок. Таким чином організація роботи технологічного процесу хімічного виробництва відповідно до запропонованої моделі оптимізації призводить до значної річної економії коштів. Окрім того, зниження пікових навантажень приводить до зменшення генеруємої потужності в об'єднаній енергосистемі України, що призводить до пропорційного зменшення викидів CO₂ в атмосферу.

Список літератури

1. Праховник А.В. Концепция и пути автоматизации управления электропотреблением/Праховник А.В. - Общество "Знание", Киев, 1987. - 16 с.
2. Праховник А.В. Шляхи і етапи створення наукового напрямку з проблеми комплексного управління використанням електричної енергії/ Праховник А.В. Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 1999. - № 1. – С. 58 – 70.
3. Праховник А.В. Комплексне використання електричної енергії /Інститут енергозбереження і енергоменеджменту/ Праховник А.В. Енергія майбутнього століття.- №1, -1999. - С. 9-14.
4. Правила користування електричною енергією. Затв. НКРЕ 31.07.96 р.
5. S. Ashok. An Optimization Mode for Industrial Load Management/. S. Ashok, R. Banerjee. // IEEE Transactions on Power Systems, vol. 16, - NO. 4.- November 2001. – p. 879-884.
6. Іншеков Є.М. Оптимізація режимів електроспоживання підприємств хімічної промисловості/ Іншеков Є.М., Калінчик І.В. - НТУУ „КПІ” Н.-д. ін-т автоматики та енергетики „Енергія”. – Київ, 2012. – 11 с.: іл. –Укр. – Деп. в ДНТБ України 27.04.12, № 13-Ук – 2012.

Е.Іншеков, І.Калінчик

Оптимизация режимов электропотребления предприятий химической промышленности

Предложена модель управления электропотреблением предприятия через регулирование мощности потребителей технологического процесса перемещением данного процесса во временные зоны минимальных нагрузок энергетических систем. Определены целевая функция и ограничения технологического процесса. Проведены экспериментальные исследования модели для химического предприятия, показана целесообразность такого управления. Показано, что снижение пиковых нагрузок приводит к уменьшению генерируемой мощности в объединенной энергосистеме Украины, что приводит к пропорциональному уменьшению выбросов CO₂ в атмосферу.

Е.Inshekov, I. Kalinchyk

An optimization of electricity consumption modes for chemical industry plants

A model of electricity consumption management for an enterprise was proposed. It is based on regulating capacities of consumers of technological process by positioning the process to time periods of minimal loads of energy system. The objective function and constraints of technological process were defined. After experimental research of the model implemented on the chemical plant the expediency of such management was proven. It is shown that the reduction of peak loads leads to decrease of generated capacity in integrated power system of Ukraine resulting a proportional reduction of CO₂ emissions.

Одержано 20.09.12

УДК 621.311

І. О. Сінчук, доц., канд. техн. наук, А. М. Ялова, здобувач

Криворізький національний університет

К. П. Богодист, асист.

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

До питання розбудови структури служби енергоменеджменту гірничорудного комбінату

Розглянуті питання формування ефективної структури енергетичного менеджменту на базі промислового підприємства. Виділені всі переваги та бар'єри на шляху створення служби енергетичного менеджменту. Запропоновано модель системи енергоменеджменту для гірничорудного комбінату.
система енергетичного менеджменту, збереження енергетичних ресурсів

Вступ. Більше 70 % промислового потенціалу України та фінансових надходжень до держбюджету – це металургійна промисловість та гірничодобувна її галузь [1].

Аналіз попередніх досліджень. Проблема енергоефективного використання всіх видів енергії гірничорудними підприємствами України, незважаючи на низку об'єктивних, в основному, людських факторів, все ж полягає у відсутності реальних ефективних методів управління цим процесом [2, 3]. На теперішній час функції контролю за ефективністю використання енергоресурсів на більшості гірничодобувних підприємств України, як правило, виконують відділи головного енергетика комбінату (шахти, кар'єру). Відповідно до скудності своїх повноважень, штатів та способів впливу на виробничий процес енергоефективного використання електричної енергії, ці функції в потрібних обсягах структурами служб головних енергетиків не виконуються або носять необов'язковий деклараційний характер. У тому числі, в силу відсутності реального контролю, а точніше – відсутності керованості процесом енерговикористання та відсутності системи диференційованого заохочення всіх без винятку працівників комбінатів, можна констатувати факт щорічного одіозного непропорціонально-відповідного енергоспоживання з об'ємами випуску продукції гірничорудними підприємствами (табл. 1, рис. 1).

Мета роботи. Розробка сучасної моделі структури служби енергоменеджменту залізорудного комбінату для забезпечення найефективніших шляхів реалізації політики енергозбереження підприємства.

Матеріал і результати дослідження. Зміна виробничої собівартості добутої руди та споживаної при цьому енергії не носить явного кореляційного зв'язку (рис. 3). Для якісного аналізу такого факту необхідно проведення досліджень за усіма напрямками та складовими технологічного циклу підприємства. Це задача як існуючих служб головних технологів, так і очікуваних свого створення служб енергоменеджменту гірничорудних підприємств.

У відомих роботах, у тому числі стосовно вугільних підприємств, рекомендуються структури контролю та керування процесом енергоспоживання [2]. Між тим, як свідчить аналіз, досягнення очікуваного ефекту ефективного використання енергоресурсів може бути досягнуто за умови постійного моніторингу та адресного керування цим процесом на кожній ділянці технологічного циклу видобутих корисних копалин.

Таблиця 1 – Вихідні дані щодо обсягів випуску продукції та витрат на виробництво по ВАТ «Кривбас-залізорудком»

Рік	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Обсяг сирової руди, тис. тонн	7529,2	7795,2	7916,2	7015,6	4559,2	7260
Енергія на технологічні цілі, тис. грн.	47954	61736	73840	90868	90204	149990,8
Інші види витрат (всього), тис. грн. з них:	405701	440992	447783	516705	480244	804125,3
– допоміжні матеріали	57699	57779	63545	72869	52502	214033,6
– витрати по оплаті праці з нарахуваннями	160894	175936	183125	208536	197409	390439,9
– амортизація	54167	51802	48523	49736	48340	60724,8
– податки та збори	30021	45098	47057	44533	38567	78490,6
– інші (загальнорудничні виробничі, послуги)	102920	110377	105533	141031	143426	60436,4
Витрати на утрим. та експл. обладнання	72575	77980	75192	91002	71009	
Технологічні перевезення	2335	1863	2281	2720	2691	
Виробнича собівартість, тис. грн	528565	582571	599096	701295	644148	954116,1

Реальні показники (рис. 1) вітчизняних шахт (рудників) значно перевищують відповідні рекомендовані (рис. 2) норми витрат електроенергії [3].

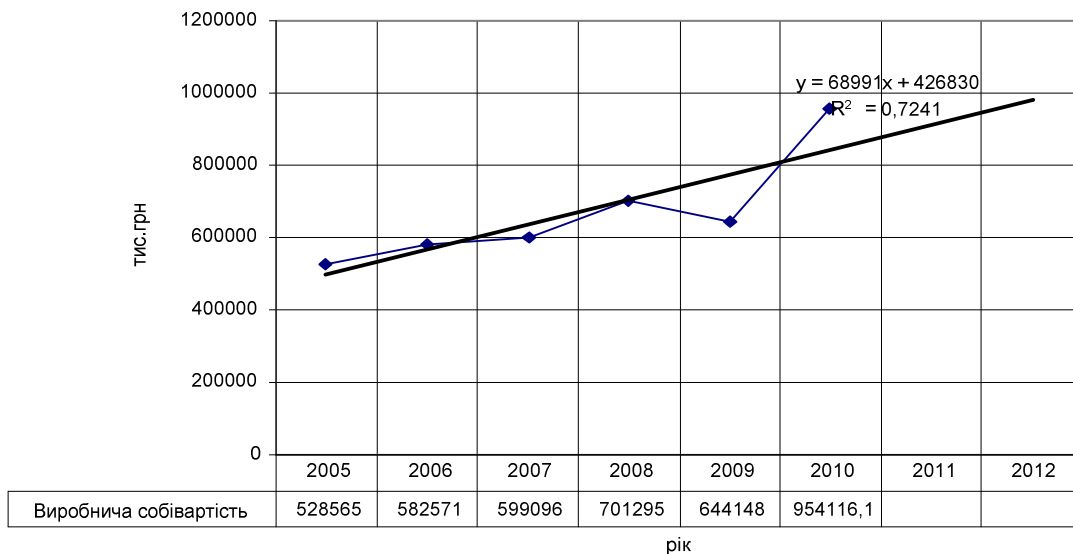


Рисунок 1 – Зміна виробничої собівартості сирової руди в період із 2005 по 2010 рр. (з простим прогнозом на 2 роки)

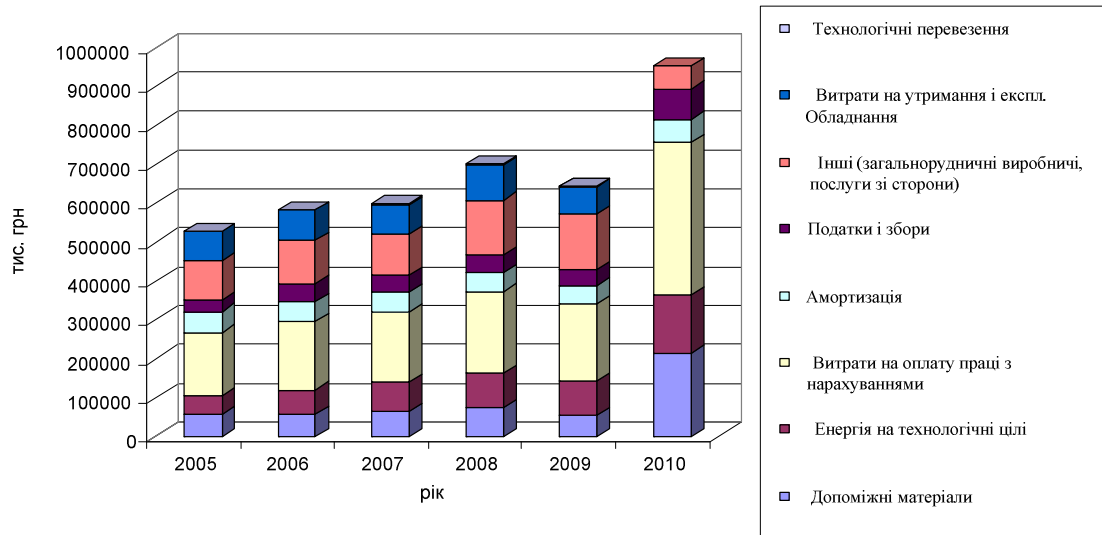


Рисунок 2 – Основні складові собівартості руди за 5 років

При створенні служби енергетичного менеджменту її головними функціями повинні стати:

- планування;
- облік і звітність;
- нормування;
- контроль;
- аналіз і прийняття рішень;
- регулювання;
- організація;
- мотивація.

Для цього підприємство повинно розробити політику енергозбереження – публічно декларовані принципи та обов'язки, які пов'язані з аспектами енергозбереження діяльності підприємства й забезпечують основу для встановлення його цілей і задач енергозбереження.

Керівництво підприємства повинно гарантувати, що політика енергозбереження:

- відповідає загальним цілям організації;
- включає обов'язок діяти відповідно до вимог і при неперервному покращенні результативності систем енергозбереження (СЕМ);
- слугує основою для формування й аналізу цілей у сфері енергозбереження;
- доведена до персоналу і є зрозумілою в рамках організації, а також підпорядковувалась аналізу з метою підтвердження її відповідності.

Складовою політики енергозбереження повинна стати програма енергозбереження та програма енергетичного менеджменту, котра повинна містити:

- загальні положення;
- відповідальність керівництва;
- характеристику та перспективи розвитку підприємства;
- сучасний стан енергоспоживання та прогнозні потреби підприємства в ПЕР;
- стан, потенціал та пріоритети енергозбереження на підприємстві;
- першочергові маловитратні та перспективні енергозберігаючі заходи;
- техніко-економічну оцінку енергозберігаючих заходів;
- завдання підрозділам щодо впровадження енергоефективного обладнання та

технологій;

- систему управління документацією та інформаційними потоками;
- систему управління контрольно-вимірвальним обладнанням;
- стимулювання персоналу;
- підготовку кадрів;
- моніторинг та контроль виконання програми;
- механізм реалізації програми.

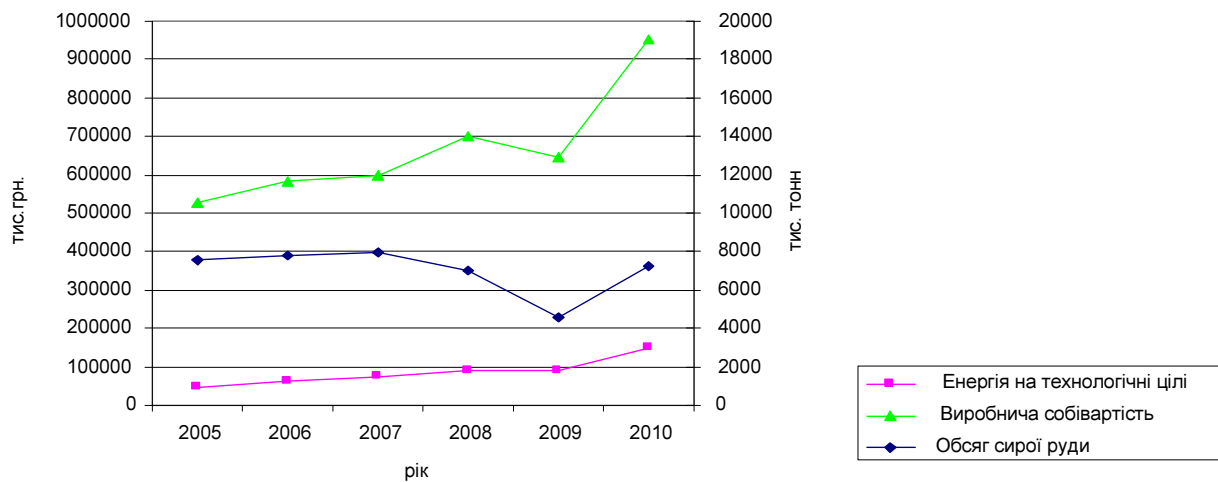


Рисунок 3 – Графіки зміни виробничої собівартості, споживаної енергії й обсягів видобутку сирової руди (останній побудовано по осі 2у)

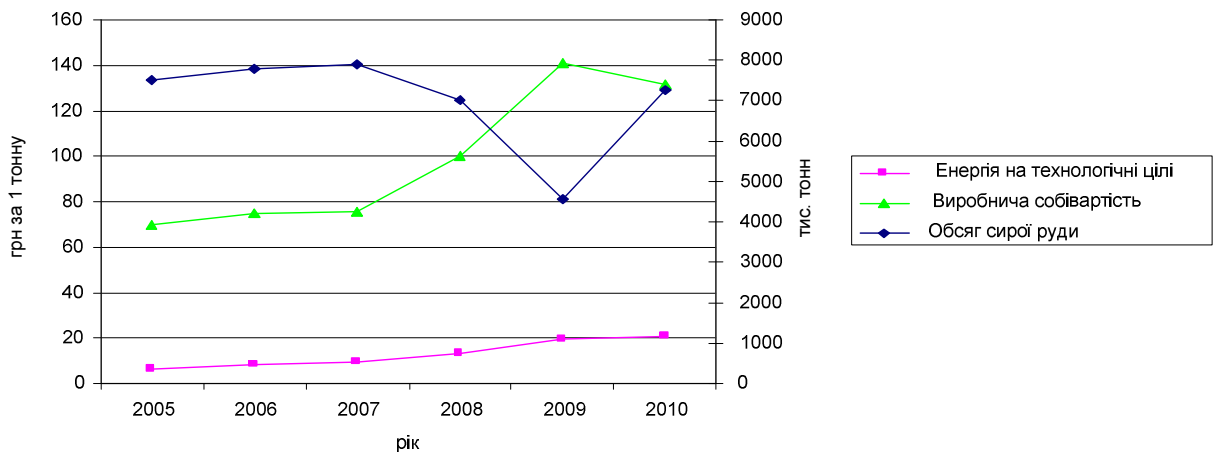


Рисунок 4 – Графіки зміни виробничої собівартості, споживаної енергії й обсягів видобутку сирової руди в грн. на 1 тону (останній побудовано по осі 2у)

Розроблення програми енергоменеджменту включає в себе:

- обґрунтування цілей і задач енергозбереження (планових значень відповідних показників) на визначений період часу для встановлених пріоритетних аспектів діяльності підприємства в сфері енергозбереження;
- вироблення організаційних, техніко-технологічних і економічних заходів і дій (як безвитратних і маловитратних, так і довгострокових, потребуючих значних капіталовкладень) для досягнення прийнятих підприємством цілей і задач енергозбереження;
- оформлення програми енергетичного менеджменту у вигляді самостійного

документа і встановлення порядку його систематичного корегування і доповнення.

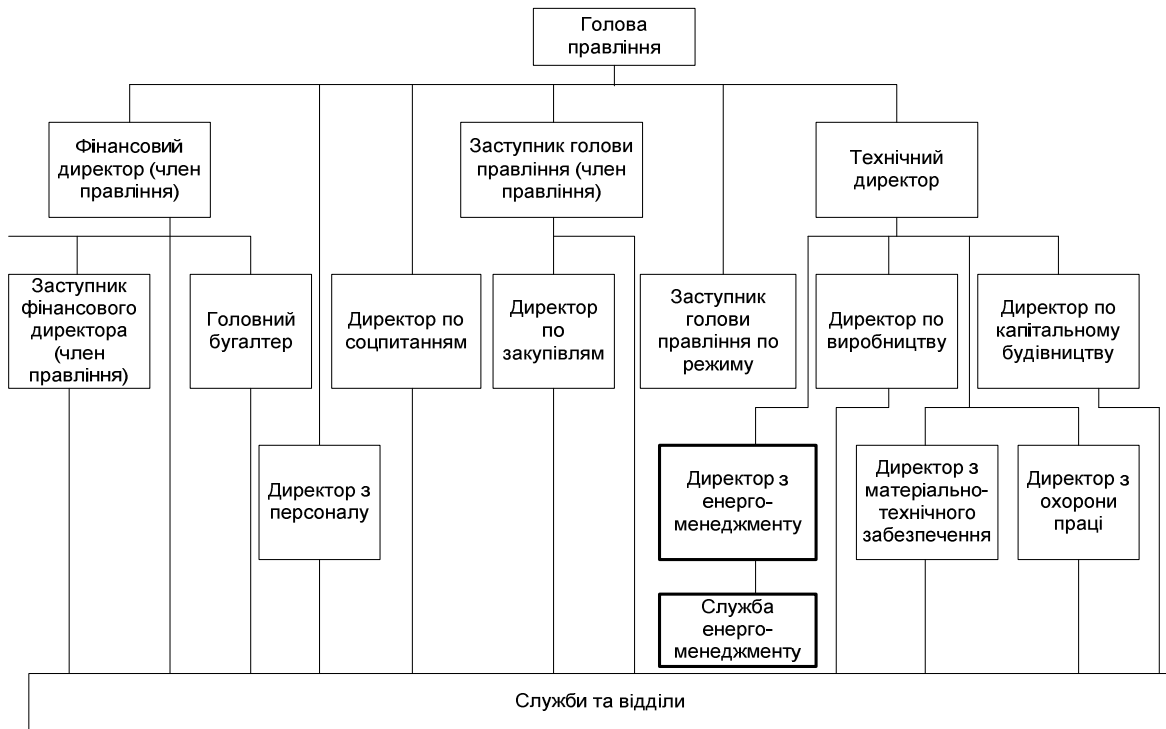


Рисунок 5 – Спрощена схема організаційної структури ВАТ «Криворізький залізорудний комбінат»

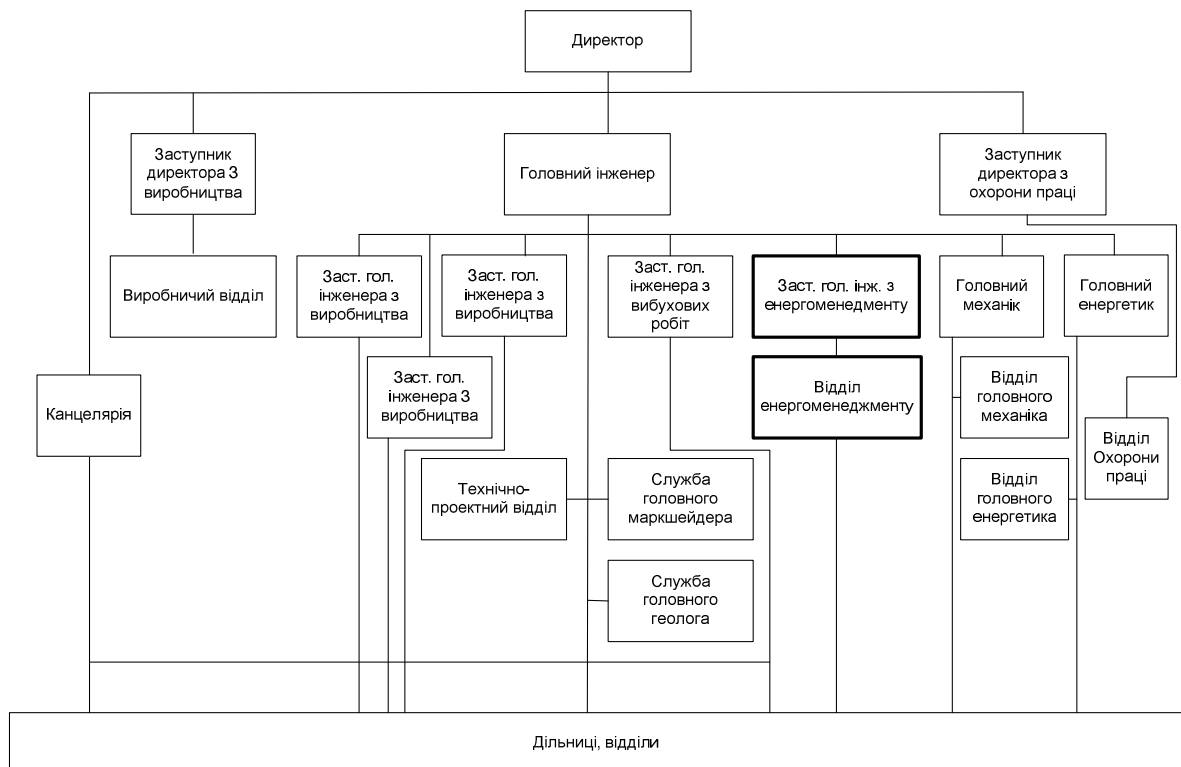


Рисунок 6 – Спрощена схема організаційної структури шахти ім. В.І. Леніна ВАТ «Криворізький залізорудний комбінат»

Програма енергоменеджменту повинна встановлювати:

- основні положення;
- мету;
- галузь застосування;
- порядок розробки, оформлення, узгодження, виконання політики енергозбереження і її моніторингу.

Основними етапами впровадження системи енергоменеджменту на підприємстві є:

- оцінка поточного стану та потенціалу енергозбереження;
- техніко-економічне обґрунтування необхідності впровадження СЕМ на підприємстві;
- розробка та декларація політики енергозбереження підприємства;
- розробка програми енергозбереження;
- розробка системи фінансування СЕМ;
- розробка програми впровадження СЕМ;
- формування служби ЕМ;
- розробка програм мотивації, інформування та навчання персоналу в сфері енергоменеджменту;
- впровадження системи цільового енергетичного моніторингу;
- впровадження системи вимірювання та контролю витрат ПЕР по кожному підрозділу;
- створення пакету внутрішніх стандартів та правил служби ЕМ;
- проведення внутрішніх енергоаудитів;
- аналіз з боку керівництва;
- проведення зовнішнього енергоаудиту СЕМ;
- сертифікація СЕМ.

Рекомендована модель системи енергоменеджменту повинна мати вид (рис. 7):

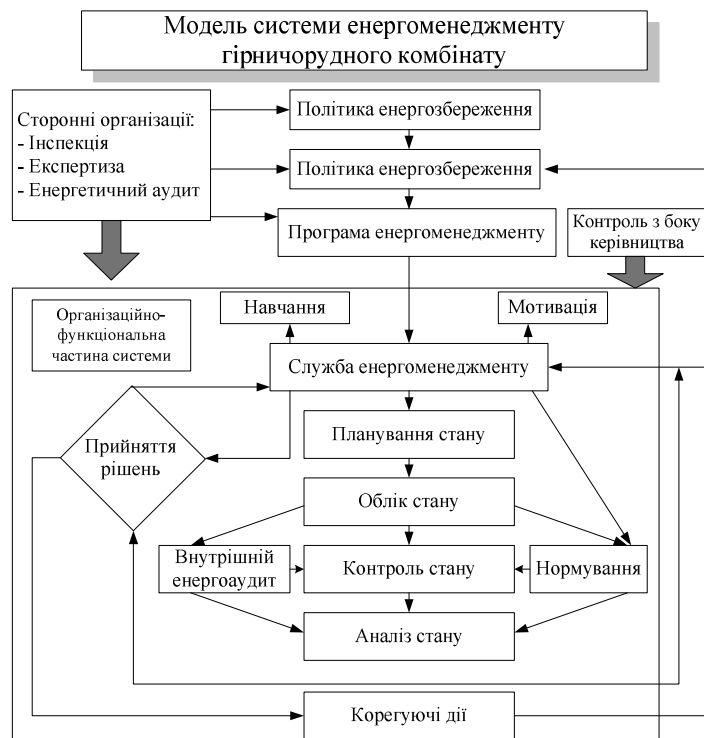


Рисунок 7 – Рекомендована модель системи енергоменеджменту гірничорудного комбінату

Основні вирішені питання:

- проблема фінансування найбільш ефективних напрямків впровадження енергозберігаючих заходів;
- обґрунтування задач, що повинні вирішуватися в системі енергетичного менеджменту, з визначенням алгоритмів вирішення, програмного забезпечення й організаційної структури енергетичних служб;
- проблема кадрового забезпечення енергетичних служб підприємств і проблема мотивації енергозбереження;
- реалізація концепції енергетичного менеджменту й усвідомлення необхідності її реалізації на вищому рівні управління економікою.

Функціональні обов'язки персоналу підприємства в цілому в сфері енергоменеджменту:

- участь у виконанні заходів і дій програми енергетичного менеджменту відповідно до основних виробничих обов'язків;
- ініціативна участь у розробці й реалізації безвитратних і маловитратних заходів щодо раціонального використання енергетичних ресурсів, зниження витрат, запобігання негативного впливу на навколишнє середовище.

Основними економічними вигодами від впровадження системи енергетичного менеджменту на підприємстві є:

- діяльність у сфері енергозбереження починає відповідати основним цілям керівництва підприємства;
- систематично знижуються виробничі й експлуатаційні витрати, втрачається менше енергії і ресурсів, зменшуються витрати, пов'язані з впливом підприємства на навколишнє середовище;
- одержання додаткового прибутку, пов'язаного з енергозберігаючими аспектами діяльності підприємства;
- підвищується конкурентоздатність підприємства на внутрішньому й зовнішньому ринках;
- підприємство одержує додаткові можливості бути визнаним на міжнародному рівні і світовому ринку;
- створення додаткових робочих місць.

Висновки. Впровадження енергетичного менеджменту на підприємстві дозволить:

- постійно аналізувати стан енергозабезпечення й енерговикористання;
- організувати об'єктивний облік і контроль за станом витрат усіх видів ПЕР;
- критично оцінити енергетичну ефективність основних і допоміжних (загальнопромислових) технологій;
- визначити резерви енергозбереження і запропонувати комплексні енергозберігаючі заходи ефективного використання ПЕР;
- активізувати та об'єднати вже наявні на підприємстві численні можливості та засоби для практичного вирішення пріоритетних проблем раціонального використання енергоресурсів.

Витрати на формування та розвиток системи енергетичного менеджменту на підприємстві включають витрати, пов'язані з:

- необхідністю консультацій у зовнішніх експертів;
- додатковим навчанням фахівців;
- створенням служби енергетичного менеджменту (введенням нової посади енергоменеджера);

- розробкою і веденням додаткової внутрішньої документації;
 - створенням додаткових засобів енергетичного моніторингу;
 - розробкою, демонстрацією і поширенням різноманітних інформаційних матеріалів про досягнуті результати;
 - діяльністю підприємств у сфері енергетичного менеджменту та ін.
- Основні бар'єри, що виникають на шляху впровадження СЕМ:
- нормативно-правова неузгодженість статусу енергоменеджера і служби енергоменеджмента;
 - відсутність політики енергозбереження, яка б відповідала кращим зразкам розвинутих країн світу;
 - недостатнє фінансування заходів з енергозбереження;
 - відсутність стимулювання керівництва працівників підприємства до енергозбереження;
 - недостатня підтримка з боку керівництва підприємства;
 - необхідність реорганізації структури підприємства на стадії впровадження СЕМ;
 - недостатня інформованість персоналу про впровадження СЕМ;
 - відсутність на підприємстві необхідних засобів обліку енергоспоживання.

Для ефективного функціонування служби енергетичного менеджменту необхідно:

- підпорядкувати службу енергоменеджменту безпосередньо керівництву підприємства;
 - призначити керівника служби енергоменеджменту;
 - розробити структуру служби енергоменеджменту;
 - встановити чисельність служби енергоменеджменту.
- Найбільш сильними матеріальними стимулами є:
- преміювання за конкретну роботу, виконання плану;
 - використання інтелектуальної власності;
 - відповідне місце в рейтингу;
 - перемогу у конкурсі;
 - також преміювання як відсоток від фактичної економії.

Список літератури

1. Комплекс ресурсо- і енергозберігаючих геотехнологій видобутку та переробки мінеральної сировини, технічних засобів їх моніторингу із системою управління і оптимізації гірничорудних виробництв / А.А. Азарян, Ю.Г. Вілкул, Ю.П. Капленко та ін. – Кривий Ріг: Мінерал, 2006. – 219 с.
2. Шидловський А.К., Півняк Г.Г., Рогоза М.В., Випанасенко С.І. Геоекономіка та геополітика України: Навч. посібник. – Д.: Національний гірничий університет, 2007. – 282 с.
3. Випанасенко С.І. Системи енергоменеджменту вугільних шахт: Монографія. – Д.: Національний гірничий університет, 2008. – 106 с.

И. Синчук, А. Яловая, К. Богодист

К вопросу развития структуры службы энергоменеджмента горнорудного комбината

Рассмотрены вопросы формирования эффективной структуры энергетического менеджмента на базе промышленного предприятия. Выделены все преимущества и барьеры на пути создания службы энергетического менеджмента. Предложена модель системы энергоменеджмента для горнорудного предприятия.

I. Sinchuk, A. Yalova, K. Bogodist

To question of development of structure of service of energymanagement mining combine

Questions of effective formation structure power management on the basis of the industrial enterprise are considered. All advantages and barriers are allocated for ways of creation of service of power management. The model of system of power management for the mining enterprise is offered.

Одержано 14.09.12

УДК 621.311:658.8.012.12

К.Г. Петрова, асп., С.В. Серебренников, доц., канд. техн. наук, О.І. Сіріков, доц., канд. техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет

Нейро-нечітке сегментування роздрібного ринку електроенергії

Наведено методику сегментування роздрібного ринку електричної енергії з використанням нейро-нечіткого моделювання. Сформовано фактори, які лягли в основу сегментування за критерієм важливості споживача для енергопостачальної компанії. Визначено нечіткі межі належності характеристичних показників до якісних термів.

ринку електроенергії, сегмент ринку, фактори сегментування, нечітка логіка, нейронна мережа, ціна

Вступ. Однією з нагальних проблем електроенергетики України є нерівномірність електроспоживання в часі, що обумовлюється характером попиту споживачів на електроенергію (ЕЕ) протягом доби, тижня, сезону, року. Найбільш раціональним способом вирішення зазначеної проблеми є залучення споживачів до вирівнювання графіків електричних навантажень (ГЕН) енергосистеми. Перехід до ринкових відносин вимагає впровадження маркетингових підходів до цілеспрямованої організації роботи зі споживачами на основі сегментування електроенергетичного ринку [1].

Аналіз досліджень та публікацій. Відповідно до нормативних документів та постанов НКРЕ України розподіл споживачів ЕЕ проведено суто формально, у відповідності до статистичного поділу – за галузевим принципом, без врахування особливостей ринку. За географічною ознакою ринок ЕЕ розділений відповідно до існуючого адміністративного поділу території України на регіональні (обласні) ринки.

Таке “сегментування” не враховує характер і степінь впливу режиму використання ЕЕ споживачами на нерівномірність ГЕН об’єднаної енергосистеми (ОЕС). Для кожного сегмента ринку встановлюються певні величини тарифів, які, на сьогодні, не слугують ефективним інструментом регулювання режиму електроспоживання і потребують пошуку нових релевантних критеріїв упорядкування споживачів.

Необхідно відзначити, що існуюче зонування попиту на ЕЕ, яке покладено в основу диференціювання роздрібних цін протягом доби, характеризується такими недоліками:

Questions of effective formation structure power management on the basis of the industrial enterprise are considered. All advantages and barriers are allocated for ways of creation of service of power management. The model of system of power management for the mining enterprise is offered.

Одержано 14.09.12

УДК 621.311:658.8.012.12

К.Г. Петрова, асп., С.В. Серебренніков, доц., канд. техн. наук, О.І. Сіріков, доц., канд. техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет

Нейро-нечітке сегментування роздрібного ринку електроенергії

Наведено методику сегментування роздрібного ринку електричної енергії з використанням нейро-нечіткого моделювання. Сформовано фактори, які лягли в основу сегментування за критерієм важливості споживача для енергопостачальної компанії. Визначено нечіткі межі належності характеристичних показників до якісних термів.

ринку електроенергії, сегмент ринку, фактори сегментування, нечітка логіка, нейронна мережа, ціна

Вступ. Однією з нагальних проблем електроенергетики України є нерівномірність електроспоживання в часі, що обумовлюється характером попиту споживачів на електроенергію (ЕЕ) протягом доби, тижня, сезону, року. Найбільш раціональним способом вирішення зазначеної проблеми є залучення споживачів до вирівнювання графіків електричних навантажень (ГЕН) енергосистеми. Перехід до ринкових відносин вимагає впровадження маркетингових підходів до цілеспрямованої організації роботи зі споживачами на основі сегментування електроенергетичного ринку [1].

Аналіз досліджень та публікацій. Відповідно до нормативних документів та постанов НКРЕ України розподіл споживачів ЕЕ проведено суто формально, у відповідності до статистичного поділу – за галузевим принципом, без врахування особливостей ринку. За географічною ознакою ринок ЕЕ розділений відповідно до існуючого адміністративного поділу території України на регіональні (обласні) ринки.

Таке “сегментування” не враховує характер і степінь впливу режиму використання ЕЕ споживачами на нерівномірність ГЕН об’єднаної енергосистеми (ОЕС). Для кожного сегмента ринку встановлюються певні величини тарифів, які, на сьогодні, не слугують ефективним інструментом регулювання режиму електроспоживання і потребують пошуку нових релевантних критеріїв упорядкування споживачів.

Необхідно відзначити, що існуюче зонування попиту на ЕЕ, яке покладено в основу диференціювання роздрібних цін протягом доби, характеризується такими недоліками:

- неадекватність дискретизації попиту на енергію в ОЕС по відношенню до попиту окремих споживачів;
- відсутність гнучкості зонування попиту, яка обмежується виділенням лише шести часових зон (один період нічного провалу енергоспоживання; два – пікового та три – напівпікового енергоспоживання) та лише трьох цінових зон (нічної, пікової та напівпікової);
- нестабільність тривалості часових зон та їх розподілу в часі, що ускладнює процеси планування виробничої діяльності для промислових споживачів (ПС);
- неадекватність диференціації роздрібних цін до графіків попиту окремих ПС.

В роботі [2] автори розділяють споживачів на 5 груп за класами напруги живлення ($U = 110/ 35/ 27,5/ 10/ 0,4$ кВ) та на 9 груп за галузевою ознакою (промисловість, будівництво, сільське господарство, комунально-побутове обслуговування, міське населення, сільське населення, непромислові споживачі, електричний залізничний транспорт, електричний міський транспорт). Роздрібні ціни на ЕЕ розраховуються на основі фактичних витрат енергопостачальної компанії (ЕК) на купівлю, передачу, та збут енергії споживачам вказаних груп, які розрізняються переважно величиною втрат енергії в мережах до шин споживача. Водночас, “неповна, невизначена вихідна інформація” [2] унеможливує точний розрахунок ціни.

В [3] зазначається, що окремі сегменти додатково можуть поділятися за певними факторами. Так, для сегменту ПС у якості додаткових факторів пропонується врахування: величини приєднаної потужності; особливостей технологічного процесу (неперервний, періодичний, циклічний); вимоги до надійності, якості електропостачання; вплив на нерівномірність ГЕН ОЕС; обсяги і темпи зростання електроспоживання; степінь готовності взяти участь у програмах з управління попитом на ЕЕ та реагування на певні стимули маркетингу.

Авторами [4] пропонується спочатку розділити роздрібних споживачів ЕЕ на «значущих» та «незначущих» з точки зору їх впливу на сумарне електричне навантаження ЕК. Після чого «значущі» додатково групуються за характером та мірою впливу на нерівномірність електричного навантаження ЕК, залежно від якої пропонується встановлювати цінові ставки на потужність.

Проте, при однаковому впливі неоднорідні за технологічним процесом споживачі можуть мати різні можливості регулювання енергоспоживання в часі. Крім того, встановлена для певного рівня впливу ціна, може бути суттєвим стимулом тільки для споживачів з високим рівнем витрат на оплату ЕЕ в загальній собівартості продукції (B_C) і, водночас, мало цікавити споживачів, у яких $B_{E.C} < 10 \% B_C$.

В роботі [5] на основі кластерного аналізу за 9 характеристичними ознаками виокремлюють 3 групи споживачів: з піковим попитом на ЕЕ, з рівномірним попитом та споживачі-компенсатори. За такої методики, при формуванні кластерів, має місце лінгвістична невизначеність, що обумовлює невпевненість експерта щодо розмежування близьких за значенням параметрів.

Застосування теорії нечіткої логіки та нейронних мереж дозволяє забезпечити експерта точною інформацією та підвищити впевненість в прийнятті рішення в умовах лінгвістичної невизначеності. Характерною відмінністю від інших способів розбиття споживачів на групи є також можливість навчання нейро-нечіткої моделі на існуючому статистичному матеріалі, що забезпечить підвищення якості її логічного висновку щодо віднесення споживача до того чи іншого сегменту енергоринку.

Таким чином, наявність значної кількості впливових факторів та показників ускладнює задачу експерта однозначно оцінити та чітко розмежувати значення параметрів (наприклад, значення середнього та високого рівня). В такому разі раціональним є застосування теорії нечіткої логіки, котра розширює класичне поняття

множин, припускаючи, що функція належності елемента до множини може набувати будь-якого значення в інтервалі $[0; 1]$, а не тільки значень 0 чи 1 [6]. При цьому, сумісне використання нечіткої логіки та нейронних мереж дозволить забезпечити ієрархічність при формуванні правил нечіткого висновку (бази знань) та побудові математичної моделі.

Отже, вдосконалення сегментування споживачів сприятиме дієвості новітніх цінових систем.

Метою роботи є визначення системи факторів і показників та розробка методики сегментування ринку споживачів електричної енергії із використанням теорії нечіткої логіки та нейронних мереж.

Матеріал і результати дослідження. Режими енергосистеми характеризуються комплексом параметрів, який складно досліджувати внаслідок різної динаміки характеристичних коефіцієнтів (важко оцінити нерівномірність та степінь впливу режиму окремих електроспоживачів на сумарний графік ЕК чи ОЕС).

Для оцінки степеню важливості споживача для ЕК задіємо алгоритм аналізу, використаний у [7].

Методика комплексного аналізу режиму електроспоживання та поділу споживачів на сегменти з використанням теорії нечіткої логіки складатиметься з наступних етапів.

Етап 1 (Формування набору показників). Обґрунтуємо вибір сукупності факторів X_{ij} , де $i = \overline{1, N}$, $j = \overline{1, M_i}$ з N узагальнених груп з M_i факторами в кожній i -й групі.

Таблиця 1 – Фактори визначення сегменту енергоринку

<i>Позначення</i>	<i>Група факторів</i>
X_1	кількісні показники електроспоживання;
X_2	характер режиму споживання ЕЕ протягом доби;
X_3	вплив споживачів на режим роботи ЕК (ОЕС);
X_4	технічні можливості регулювання режиму електроспоживання у часі;
X_5	фінансово-економічний стан споживача.

Числове значення кожної X_{ij} може бути визначено із певного набору показників. Так, наприклад, кількісний фактор електроспоживання X_1 може бути оцінений за показниками: обсягу споживання за зимовий режимний день X_{11} , обсягу споживання за літній режимний день X_{12} та темпів росту обсягів споживання ЕЕ споживача X_{13} .

Тобто:

$$X_1 = f_1(X_{11}; X_{12}; X_{13}). \quad (1)$$

Характер режиму споживання ЕЕ протягом доби X_2 може бути визначений на основі коефіцієнту заповнення графіку X_{21} , коефіцієнту нерівномірності X_{22} та коефіцієнту форми X_{23} .

До показників, що характеризують степінь впливу споживачів на режим роботи ЕК (ОЕС) X_3 відносяться: коефіцієнт взаємної кореляції X_{31} та вплив за потужністю X_{32} .

Технічні можливості регулювання режиму електроспоживання у часі X_4 характеризуються показниками: гнучкості технологічного процесу X_{41} та величини можливого зсуву технологічного процесу у часі X_{42} .

До характеристичних показників фінансово-економічного стану споживача X_5 віднесемо: степінь економічної зацікавленості X_{51} , рівень сплати споживачів за ЕЕ X_{52} та динаміку сплати в часі (помісячно, поквартально і т.д.) X_{53} .

На основі розрахованих значень груп показників (табл. 2) проводиться оцінка рівня важливості даного споживача для ЕК за функцією на виході моделі:

$$Y = f_Y(X_1; X_2; X_3; X_4; X_5). \quad (2)$$

Структура математичної моделі оцінки рівня важливості даного споживача приведена на рис. 1 у вигляді дерева логічного висновку. Видно, що нейронна мережа є багат шаровим перцептроном з одним внутрішнім шаром, а її вхідні, проміжні та вихідні параметри розглядаються як лінгвістичні змінні, що задані на своїх універсальних множинах і оцінюються за допомогою нечітких термів.

Еман 2 (Лінгвістичні змінні). Для оцінки та опрацювання лінгвістичних показників X_{ij} сформуємо єдину шкалу з п'яти якісних термів: $\omega 5$ – дуже низький рівень показника; $\omega 4$ – низький рівень; $\omega 3$ – середній рівень; $\omega 2$ – високий рівень; $\omega 1$ – дуже високий рівень показника X_{ij} (табл. 2).

Для оцінки значень вихідної лінгвістичної змінної Y , що являє собою повну множину степеня важливості Ω споживача для ЕК, будемо використовувати наступні терми: $\Omega 5$ – дуже низький степінь уваги; $\Omega 4$ – низький рівень; $\Omega 3$ – середній рівень; $\Omega 2$ – високий рівень; $\Omega 1$ – дуже високий рівень степеню уваги.

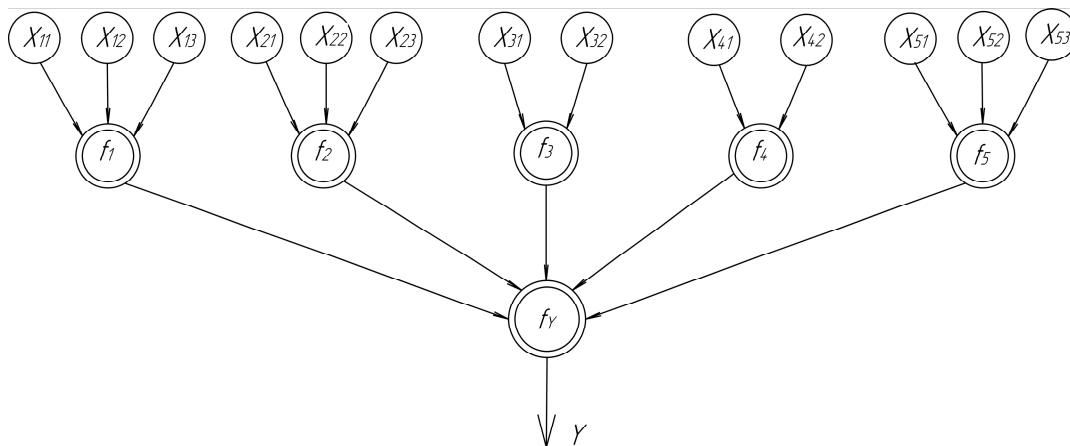


Рисунок 1 - Ієрархічна структура нейро-нечіткої моделі аналізу степеню важливості споживачів

Еман 3 (Побудова функцій належності). Визначаємо можливий діапазон варіювання контрольованих вхідних параметрів X_{ij} і вихідної змінної Y та задаємо вид функцій належності нечітких термів для всіх параметрів. Для встановлення точних

Таблиця 2 – Формування шкали для оцінки значень показників та їх належності до відповідних якісних термів [1, 8]

Групи факторів	Показники	Шкала для оцінки значень показників				
		ω_5	ω_4	ω_3	ω_2	ω_1
Кількісні показники електроспоживання $X_1 = f_1(X_{11}; X_{12}; X_{13})$	обсяг споживання ЕЕ за зимовий режимний день $W_{СП}^3$, МВт·год	0...65	54...126	114...186	174...246	> 234
	обсяг споживання ЕЕ за літній режимний день $W_{СП}^L$, МВт·год	0...44	36...84	76...124	116...164	> 156
	темпи росту обсягів споживання ЕЕ споживача $b = \prod_{i=1}^n (b_i)^{1/n}$, відн.од.	0...1,01	1...1,27	1,23...1,52	1,48...3,57	$\geq 2,53$
Характер режиму споживання ЕЕ протягом доби $X_2 = f_2(X_{21}; X_{22}; X_{23})$	коефіцієнт заповнення графіку $K_{зг} = \frac{W_{СПОЖ}}{24 \cdot P_{МАХ}}$	1...0,88	0,82...0,72	0,76...0,42	0,62...0,16	0,32...0
	коефіцієнт нерівномірності $K_{нр} = P_{МІН} / P_{МАХ}$	1...0,76	0,82...0,56	0,62...0,36	0,42...0,16	0,22...0
	коефіцієнт форми $K_{ф} = P_{СРКВ} / P_{СР}$	1...1,08	1,06...1,18	1,16...1,38	1,36...1,8	$\geq 1,6$
Вплив споживачів на режим роботи ЕК (ОЕС) $X_3 = f_3(X_{31}; X_{32})$	коефіцієнт взаємної кореляції $K_{КОР} = \frac{\sum_{j=1}^n (P_{СПj} - P_{СРСП}) \cdot (P_{ЕКj} - P_{СРЕК})}{(n-1) \cdot \sigma_{СП} \cdot \sigma_{ЕК}}$	|0...0,22|	|0,18..0,42|	|0,38...0,62|	|0,58..0,82|	|0,78...1|
	ступінь впливу за потужністю $\eta = P_{СП} / P_{ЕК(ОЕС)}$	0...0,2	0,1..0,4	0,3...0,6	0,5...0,8	0,7...1
Технічні можливості регулювання режиму електроспоживання у часі $X_4 = f_4(X_{41}; X_{42})$	гнучкість технологічного процесу $\lambda = \Delta V_{МАХ} / V_{МАХ}$	0...0,05	0,03...0,1	0,08...0,22	0,2...0,8	0,8...1
	величина можливого зсуву технологічного процесу τ , год	|0...0,5|	|0,5...1,5|	|1...5|	|4...11|	|10...12|
Фінансово-економічний стан споживача $X_5 = f_5(X_{51}; X_{52}; X_{53})$	економічна чутливість $\xi = C / B_C$	0...0,05	0,03...0,18	0,15...0,4	0,35...0,55	$\geq 0,5$
	рівень сплати споживачів за ЕЕ $I_{ОПЛ} = P_{ФАКТ} / P_H, \%$	100...70	80...50	60...30	40...10	20...0
	динаміка сплати в часі $\varphi = \Delta I / T$	1...1/2	2/3...1/3	2/5...1/5	1/4...1/12	$\geq 1/6$

меж, у яких значення кожного параметра буде однозначно відповідати своїм власним термам, оберемо трапецієподібні функції належності.

На рис.2 наведені функції належності п'яти нечітких термів вхідних факторів $\{\omega_5; \omega_4; \omega_3; \omega_2; \omega_1\}$ шляхом відображення елементів з множини X_{ij} на множину чисел в інтервалі $[0; 1]$, які й вказують на ступінь належності кожного елемента до різних якісних термів.

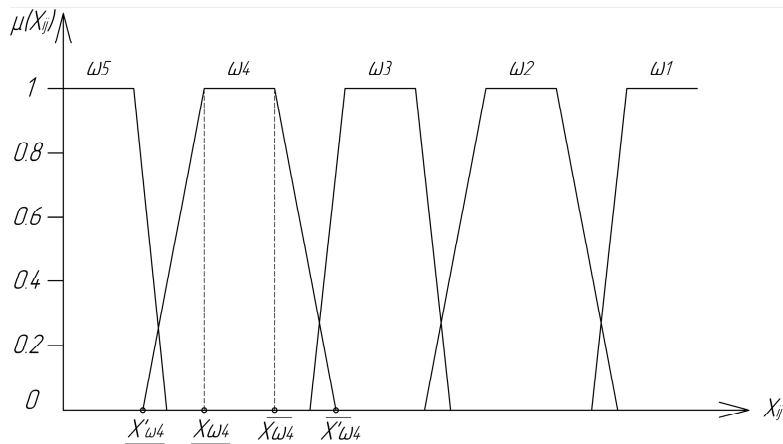


Рисунок 2 - Нечітка змінна X_{ij} із трапецієподібною функцією належності $\mu(X_{ij})$

Нижня основа трапецій, наприклад, трапеції « ω_4 » $[X'_{\omega_4}; \overline{X'_{\omega_4}}]$ охоплює всю припустиму множину значень нечіткого фактора X_{ij} , верхня $[X_{\omega_4}; \overline{X_{\omega_4}}]$ – тих значень, для яких експерт встановлює гарантовану відповідність обраному значенню лінгвістичної змінної.

Інтервал $[X_{\omega_4}; \overline{X_{\omega_4}}]$ є оптимістичною оцінкою параметра X_{ij} , а інтервал $[X'_{\omega_4}; \overline{X'_{\omega_4}}]$ – песимістичною. Бічні ребра трапеції відображають зміну ступеня впевненості експерта в його оцінці від 1 до 0. Всі інші значення фактора X_{ij} , що виходять за межі основи трапеції, однозначно не будуть відповідати обраній лінгвістичній змінній. Для компактного опису трапецієподібної форми нечіткого числа X_{ij} часто використовують числа виду $X_{ij} = \langle X'_{\omega_4}; X_{\omega_4}; \overline{X_{\omega_4}}; \overline{X'_{\omega_4}} \rangle$.

Трапецієподібні функції належності $\mu(X_{ij})$ для нечіткого терму ω_4 вхідної змінної, згідно з рис.2, набудуть наступного аналітичного вигляду:

$$\mu(X_{\omega_4}) = \begin{cases} 0, & X < X'_{\omega_4}; \\ \frac{X - X'_{\omega_4}}{X_{\omega_4} - X'_{\omega_4}}, & X'_{\omega_4} \leq X < X_{\omega_4}; \\ 1, & X_{\omega_4} \leq X \leq \overline{X_{\omega_4}}; \\ \frac{\overline{X'_{\omega_4}} - X}{\overline{X'_{\omega_4}} - X_{\omega_4}}, & \overline{X_{\omega_4}} \leq X \leq \overline{X'_{\omega_4}}; \\ 0, & X > \overline{X'_{\omega_4}}. \end{cases} \quad (3)$$

Для решти термів функції належності матимуть аналогічний (3) вигляд.

Основна перевага подібних функцій полягає в тому, що експерт апріорно може задати межі, належність до яких буде однозначно визначати відповідність змінної певному терму. Функції належності та міжнейронні зв'язки налаштовуються шляхом навчання моделі на реальних даних із використанням алгоритму налаштування нейронних мереж «extended delta-bar-delta», адаптованого для нечітких систем [6].

Аналогічним чином будуються функції належності нечітких термів $\{\Omega_5; \Omega_4; \Omega_3; \Omega_2; \Omega_1\}$ вихідної змінної Y .

Етап 4 (Формування набору правил). Експертна система на базі нечітких знань повинна містити механізм нечітко-логічного висновку щодо необхідного степеню уваги до споживача з боку ЕК.

При формуванні бази знань експерту необхідно задати ключові правила, а всі інші правила прийняття рішень генеруватимуться при навчанні моделі на реальних даних. З одного боку, чим точніше описуватиметься кожний споживач за допомогою логічних правил, тим точніше буде проведена його діагностика та розподіл до певного сегменту. А з іншого – перебір всіх можливих правил позбавляє систему гнучкості і можливості адаптації до реальних даних.

Етап 5 (Оцінка рівня показників). На даному етапі проводиться оцінка поточного рівня показників X_{ij} та Y . Значення контрольованих параметрів X_{ij} , що точно потрапляють у задані для них інтервали $[X_{ij}; \overline{X_{ij}}]$, будуть однозначно відповідати їхнім термам. Якщо ж значення знаходиться в проміжку між двома термами, то воно буде відповідати тому терму, функція належності якого для даного рівня показника є більшою.

Реалізація етапів 1-5 дозволяє отримати лінгвістичний опис рівня уваги до окремих споживачів, а також характеристику якості отриманих тверджень.

Висновки

1. Вдосконалення сегментування дозволить:
 - забезпечити більш детальне дослідження споживачів в рамках одного сегменту;
 - враховувати специфіку споживачів різних сегментів при формуванні диференційованої цінової політики;
 - підвищити ефективність маркетингових комунікацій;
 - збільшити точність оцінки ефективності цінових рішень ЕК.
2. Нейро-нечітке моделювання дозволяє проводити навчання моделі на існуючому статистичному матеріалі для підвищення якості її логічного висновку щодо віднесення споживача до того чи іншого сегменту енергоринку. Розроблена нейро-нечітка модель є гнучкою, логічною, універсальною щодо змін, а споживачі, проранжовані із її використанням будуть віднесені до відповідного сегменту не на основі суб'єктивних оцінок, а згідно з їх функціями належності.
3. Підсилення реакції споживача та забезпечення прямого економічного впливу на формування попиту на ЕЕ потребує подальшого удосконалення цінової системи.

Список літератури

1. Серебренніков Б.С. Сегментування роздрібного ринку електроенергії / Б.С. Серебренніков // Наукові праці ДонНТУ. Серія: економічна. Вип. 68. – Донецьк: ДонНТУ, 2003. – С. 76 – 82.
2. Дерзкий В.Г. Формирование тарифов на электроэнергию, дифференцированных по классам напряжения и группам потребителей / В.Г. Дерзкий, Н.Э. Рачин // Энергетика и электрификация. – 1996. – № 5. – С. 32 – 36.

3. Крикавський Є. Маркетинг енергозабезпечення: Монографія /Є. Крикавський, Н. Косар, Л. Мороз. – Львів: „Львівська політехніка”, 2001. – 196 с.
4. Методика встановлення ступінчастих тарифів на електричну потужність диференційованих за групами споживачів та періодами часу. – К.: НТУУ "КПІ", 1997. / Рукопис деп. в ДНТБ України 24.11.97 №576-Ук-97/.
5. Панасюк М.П. Особливості проведення аналізу нерівномірності споживання електроенергії / М.П. Панасюк, А. І. Замулко // Зб. матеріалів НТК «Енергетика. Екологія. Людина»: Наукові праці НТУУ «КПІ», ІЕЕ. – Київ: НТУУ «КПІ», ІЕЕ, 2012. – С. 153 – 165.
6. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений: Пер. С англ. / Л.Заде. – М.: Мир, 1976. – 167 с.
7. Матвійчук А.В. Аналіз та прогнозування розвитку фінансово-економічних систем із використанням теорії нечіткої логіки. / А.В. Матвійчук. – К.: Центр навчальної літератури, 2005. – 206 с.

Е. Петрова, С. Серебренников, А. Сириков

Нейро-нечеткое сегментирование розничного рынка электроэнергии

Приведена методика сегментирования розничного рынка электрической энергии с использованием нейро-нечеткого моделирования. Сформированы факторы, которые легли в основу сегментирования по критерию важности потребителя для энергоснабжающей компании. Определены нечеткие границы принадлежности характеристических показателей к качественным термам.

K. Petrova, S. Serebrennikov, O. Sirikov

Neuro-fuzzy segmentation of the retail electricity market

Showed the method of segmenting the retail electricity market using neuro-fuzzy modeling. Formed factors that formed the basis for segmenting consumers on the criterion of importance for power supply company. Identified undefined boundaries belonging to the characteristic parameters by qualitative terms.

Одержано 15.09.12

УДК 620.4+658.22

Ю.И.Казанцев, доц., канд. техн. наук, П.Г. Стець асп.

Кировоградский национальный технический университет

Энергетические характеристики как основа нормирования электроэнергии и ее рационального использования в электроэнергетических системах

В статье рассматриваются энергетические характеристики как основа нормирования электроэнергии, а также ее рационального использования в электроэнергетических системах. Рассмотрены методы нормирования электропотребления с помощью энергетических характеристик предприятий с массовым выпуском продукции и при многономенклатурном производстве. **энергетические характеристики, нормирование, удельный расход электроэнергии, некорректные стохастические связи, удельная установленная мощность**

Рациональное использование электрической энергии не является конъюнктурной задачей. Известно, что основой нормирования общих и удельных расходов являются энергетические балансы и энергетические характеристики. Последние имеют вид.

$$W = f(A), \quad (1)$$

$$\omega = f(A), \quad (2)$$

$$\frac{\omega}{P_y} = f(A), \quad (3)$$

где W - общий расход электроэнергии, кВт·час;

ω - удельный расход электроэнергии на единицу продукции, кВт·час/единицу продукции;

$$P_y = \frac{P}{A_0} - \text{удельная установленная мощность, о.е.};$$

$$a = \frac{A}{A_0} - \text{относительная производительность};$$

P_y - установленная мощность предприятия, кВт;

A - выпуск продукции предприятием;

A_0 - проектный выпуск продукции предприятием.

Выражение (3) названо основной энергетической характеристикой [2], поскольку из него можно получить производные характеристики:

$$\omega = f(a, P_y), \quad (4)$$

$$K_u = f(a), \quad (5)$$

где K_u - коэффициент использования установленной мощности предприятий.

Положив $y = \frac{\omega}{P_y}$, а $x = \frac{1}{a}$ в общем виде уравнение (3) имеет вид полинома:

$$y_0 = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_px^p, \quad (6)$$

Коэффициенты уравнения (6) находятся с помощью метода наименьших квадратов. Например, для уравнения второй степени $y_0 = a_0 + a_1x + a_2x^2$ составляется система т.н. нормальных уравнений.

Эти уравнения легко приводятся к виду:

$$\begin{aligned} na_0 + a_1 \sum n_x x + a_2 \sum n_x x^2 &= a_1 \sum n_x \bar{y}_h \\ a_0 \sum n_x x^2 + a_1 \sum n_x x^3 + a_2 \sum n_x x^4 &= \sum n_x \cdot x \cdot \bar{y}_h \\ a_0 \sum n_x x^2 + a_1 \sum n_x x^3 + a_2 \sum n_x x^4 &= \sum n_x \cdot x^2 \cdot \bar{y}_h, \end{aligned} \quad (7)$$

где n - объем выборки;

n_x - число отсчетов при данном x ;

\bar{y}_h - частные средние электропотребления.

При многономенклатурном производстве использование энергетических характеристик возможно только, с приведением номенклатуры выпускаемой продукции к одной условной натуральной единице с помощью коэффициентов энергоемкости.

Например, при выпуске трех видов продукции А, В, С (рисунок 1)

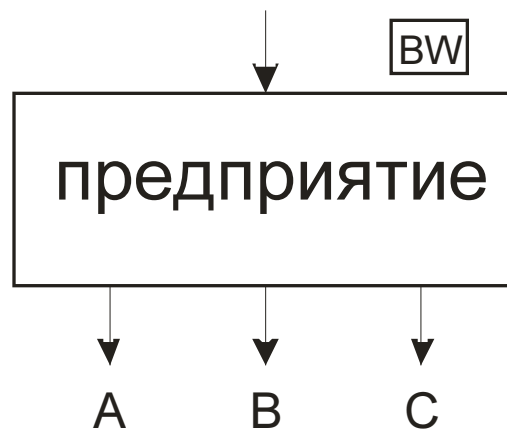


Рисунок 1 – Приведение номенклатуры выпускаемой продукции к одной условной натуральной единице с помощью коэффициентов энергоемкости (для предприятия выпускающего три вида продукции)

Для определения удельных расходов электроэнергии по каждому виду продукции составляется система нормальных алгебраических уравнений:

$$\begin{aligned} W_1 &= \omega_A \cdot A + \omega_B \cdot B + \omega_C \cdot C, \\ W_2 &= \omega_A \cdot A + \omega_B \cdot B + \omega_C \cdot C, \\ W_3 &= \omega_A \cdot A + \omega_B \cdot B + \omega_C \cdot C, \end{aligned} \quad (8)$$

где A, B, C – коэффициенты обозначающие типы выпускаемой предприятием продукции.

Решая систему (8), находим удельные расходы электроэнергии ω_A , ω_B и ω_C . Если продукция A наиболее энергоемкая, то к ней приводятся остальные виды. Коэффициенты энергоемкости

$$K_A = \frac{\omega_A}{\omega_A}; \quad K_B = \frac{\omega_B}{\omega_A}; \quad K_C = \frac{\omega_C}{\omega_A}; \quad \text{тогда}$$

$$A_{\text{усл}} = K_A \cdot A + K_B \cdot B + K_C \cdot C. \quad (9)$$

Системы вида (7) и (8) относятся к некорректным стохастическим связям, решение которых дают отрицательные значения корней (удельных расходов), не имеющих физического смысла.

Предлагается решение таких систем заменить исследованием на экстремум.

Постановка задачи: найти значения неизвестных ω_A , ω_B и ω_C , при которых разница между правой и левой частью уравнения (8), возведенная в квадрат обращается в минимум.

$$e^2 = \sum W - [\omega_A \cdot A + \omega_B \cdot B + \omega_C \cdot C]^2 = \min. \quad (10)$$

Решение таких систем уравнений возможно также с использованием метода регуляризации по Тихонову [3].

Список літератури

1. Казанцев Ю.И. Основная энергетическая характеристика промышленных предприятий с массовым выпуском однородной продукции /Ю.И.Казанцев. - М.: Известия СО АН СССР №3, 1970. - С. 11-16.
2. Авилов-Карнаухов Б.Н. Электроэнергетические расчеты для угольных шахт /Б.Н.Авилов-Карнаухов.-М.:«Недра», 1969. - С. 27-38.
3. А.И.Тихонов, В.Я.Арсенин. «Методы решения некорректных задач».-М.: «Наука», 1979. – 484 с.

Ю.Казанцев, П.Стець

Енергетичні характеристики як основа нормування електроенергії та її раціонального використання в електроенергетичних системах

У статті розглядаються енергетичні характеристики як основа нормування електроенергії та її раціонального використання в електроенергетичних системах. Показані методи нормування енергоспоживання з допомогою енергетичних характеристик підприємств з масовим випуском продукції та при багатомініклатурному виробництві.

U.Kazancev, P.Stetc

The power characteristics as the basis for the valuation of electric energy as well as its management in power systems

In the article the power characteristics viewed as the basis for the valuation of electric energy, as well as its management in power systems. Also the article descriptions electric power as basis of setting of norms of electric power are examined and the rational use in the electroenergy systems. Shown methods of setting of norms of energy consumption with the help of power descriptions of enterprises with the mass producing and at a multitop-level production.

Одержано 14.09.12

УДК 621.311.001.57

С.В. Бережний, інж., О.Є. Мельник доц., канд. техн. наук
ДВНЗ «Криворізький національний університет»

Методи визначення питомих норм електроспоживання

У статті висвітлені питання пов'язані з методиками визначення питомої витрати електроенергії при проведенні технологічних процесів в умовах ГЗК. Проведене комплексне дослідження методів нормування електроенергії споживачів та зроблені висновки щодо необхідності розробки сучасних методів прогнозування електроспоживання об'єктами техноценозу, які враховують поточний стан обладнання та умови ведення технологічного процесу.

питомі витрати, прогнозування витрат електроспоживання, норми електроспоживання, методи розрахунку норм електроспоживання

Адекватне прогнозування норм питомої витрати електроенергії виконує важливу роль в підвищенні ефективності електроспоживання. Дослідження відомих методик нормування електроспоживання функціональними групами техноценозів з метою визначення їх переваг та недоліків при застосуванні для прогнозування електроспоживання рудозбагачувальними фабриками гірничо-збагачувальних комбінатів дозволить підприємствам з науково обґрунтованими питомими нормами поширити досвід, освоїти нові технологічні режими роботи, підвищити рівень використання обладнання та зменшити витрати електроенергії, що неодмінно приведе до покращення організації підприємства, підвищення продуктивності праці, експлуатації енергетичного господарства, економії електроенергії та зниження собівартості продукції промислових підприємств.

На початку 60-х років питаннями нормування електроспоживання займалися А.А. Тайц [9,10], І.В. Гофман [4,5]. Саме їх прийнято вважати засновниками системи нормування електроспоживання. В роботах І.В. Гофмана наведені визначення елементів системи нормування: класифікація та структура норм, об'єкти нормування, одиниці нормування, система обліку витрат електроенергії. А.А. Тайц також запропонував виконати оптимізацію енергобалансів на всіх рівнях за допомогою математичних методів. Під оптимізацією енергетичних балансів слід розуміти ступінь корисного використання електроенергії, використовується окремими агрегатами та групами, окремими цехами та підприємством в цілому. Значну роль в обґрунтуванні та розробці ймовірного підходу до вирішення задач нормування та аналізу електроспоживання внесли розробки Б.Н. Авілова-Карнаухова. В його роботах вперше енергетична характеристика розглядалася у вигляді залежності, що визначається не тільки параметрами механізмів і показниками їх роботи але й іншими додатковими факторами. Він вперше представив енергетичні характеристики у вигляді багатомірних статистичних зв'язків, і була вперше розроблена методика нормування електроспоживання, яка ґрунтувалася на математичній статистиці та теорії ймовірності [6].

Опираючись на розроблену методику встановлено [6], що використання енергетичних характеристик для нормування енергоспоживання виробничих агрегатів дозволяє не лише виявити норму витрати електроенергії, але й провести аналіз

електроспоживання елементів електроприводу та механізмів, а отже визначити шляхи економії електроенергії. Головним недоліком наукових праць [4-6] є те, що в них розглядалися залежності споживання електричної енергії тільки від одного параметру-продуктивності, вплив же інших факторів не враховувався.

Питанням зв'язку між електроспоживанням та технологічними факторами присвячені дослідження П.П. Ястребова. В його роботах відображений зв'язок електроспоживання з технологічними факторами. В основному цей зв'язок є нелінійним і автор вперше використовує поняття кореляційного відношення, як величину, що встановлює зв'язок між питомою витратою електричної енергії і технологічними параметрами.

З урахуванням сучасних тенденцій проведення аналізу питомого електроспоживання на промислових підприємствах слід використовувати ймовірнісний підхід до розробки методики оцінки норм питомих витрат електроенергії. Тому в подальшому будуть розглянуті питання класифікації та складу питомих норм електроспоживання.

Класифікація та склад питомих норм електроспоживання. Існують різні визначення норм витрат паливно-енергетичних ресурсів. В [3] норма визначається як «максимально допустима величина витрати електроенергії для виготовлення одиниці продукції (або об'єму продукції) встановленої якості». В [10] приводиться наступне формулювання – під нормою питомої витрати розуміють «витрату енергоресурсу, необхідного та достатнього для виготовлення одиниці продукції в запланованих умовах виробництва та експлуатації обладнання». Однак в роботі [8] відмічається, що такі визначення не відображають сучасного значення цього показника в плануванні, хоча норми розроблюються, а в деяких випадках навіть затверджуються в складі поточних та перспективних планів. Цій вимозі відповідає визначення, яке приймається за основне: «норма витрати палива, теплової та електричної енергії – плановий показник витрат цих ресурсів на виробництво одиниці продукції заданої якості».

Згідно з урахуванням сучасних напрямків оцінки питомого електроспоживання в промисловості пропонується наступна класифікація норм витрат електричної енергії (рис. 1). Ця класифікація використовується для контролю за використанням електроенергії в цехах та підприємства.



Рисунок 1 – Класифікація питомих норм витрати електроенергії

Норми питомих витрат класифікуються за такими основними ознаками:

- 1) за ступенем агрегації норми витрат поділяються на індивідуальні та групові.
- 2) за своїм складом норми питомих витрат поділяються на технологічні та виробничі.
- 3) за періодом дії норми питомих витрат прийнято поділяти на річні та квартальні.

Витрати енергоресурсів суттєво залежать від кліматичних умов на протязі року, тому на промислових підприємствах використовують квартальну звітність щодо використання електричної енергії. В наш час все більш широкого використання набувають місячні та щоденні норми питомих витрат електричної енергії. Це пов'язано з необхідністю оперативного контролю за електроспоживанням при зміні промислових потужностей виробництва за розглянутий період часу. Тому до методики розрахунку норм витрат електричної енергії необхідно пред'явити вимоги щодо можливості прогнозування значень для різних періодів роботи.

Класифікація методів визначення норм. Норми витрат паливно-енергетичних ресурсів розраховуються розрахунково-аналітичним, експериментальним, розрахунково-статистичними методами. Аналізуючи основні сучасні напрямки оцінки питомих витрат електроенергії потрібно відмітити, що норми електроспоживання залежать від характеру технологічного процесу та діляться на п'ять основних типів: експериментальні, аналітичні, розрахункові, статистичні, комбіновані. Згідно з цим пропонується класифікація представлена на рис.2:

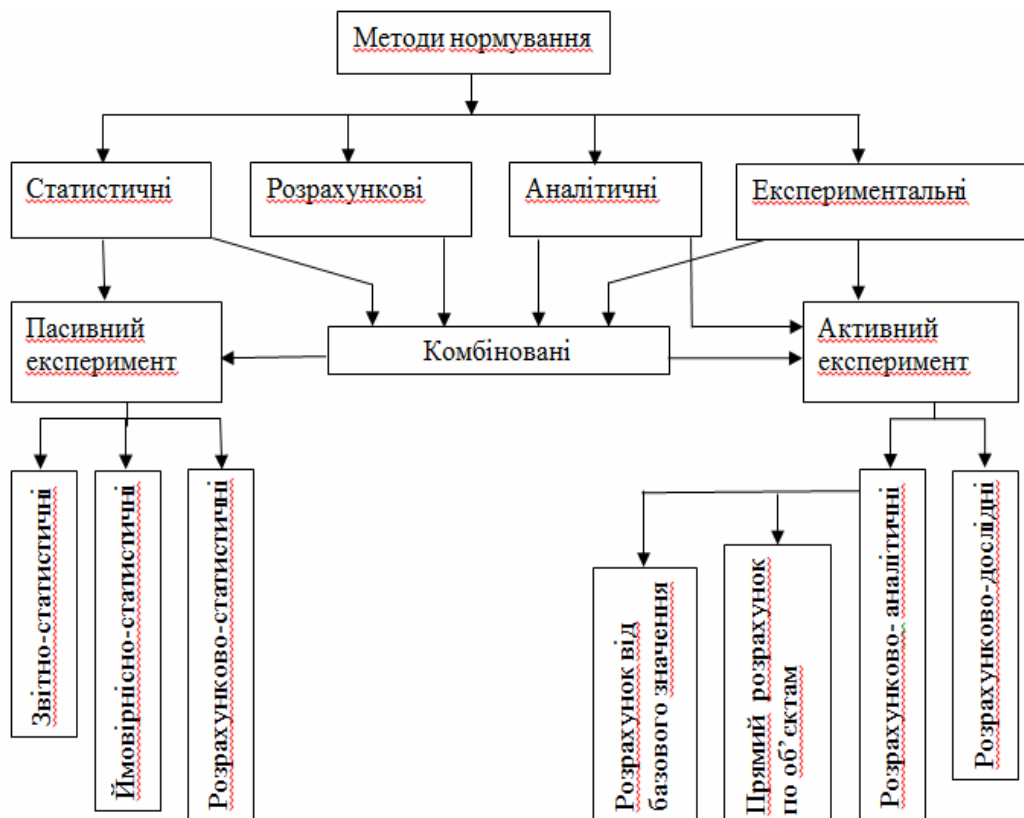


Рисунок 2 – Класифікація методів розрахунку питомих норм

Визначення норм витрат електроенергії, які виконуються нормативними та енергетичними службами на різних рівнях планування, зазвичай зводяться до

використання розрахункових методів нормування, так як окремо експериментальний метод використовується достатньо рідко.

Розрахункові методи. Розрахунковий метод нормування передбачає визначення питомих витрат електроспоживання на одиницю продукції за даними підприємницьких регламентів, режимних карт і другої технічної документації. При цьому можна врахувати реальні умови підприємства, виконати корегування з урахуванням фактичного стану обладнання, режимів його роботи і т. і. Такі розрахунки можливо проводити при розробці аналітичного енергобалансу і таким чином об'єднати нормування та аналіз електроспоживання. Розрахунковий метод дозволяє визначити нормативи витрати електроенергії, мінімально потрібні для проведення технологічного процесу на даному обладнанні.

Експериментальні методи. Експериментальний метод нормування базується на проведенні великої кількості експериментів на обладнанні. За результатами цих експериментів складаються енергетичні баланси технологічних установок, процесів, ділянок підприємства, цехів, підприємства в цілому і встановлюються норми. Реалізація даного методу пов'язана зі значними труднощами та затратами на діючих підприємствах, що обумовлює рідке використання цього методу.

Головним недоліком експериментального методу є необхідність корегування норм перед їх практичним використанням. Другий недолік полягає в тому, що випробуване обладнання зазвичай ізольовується від загального технологічного циклу, а це викликає деякі труднощі.

Аналітичні методи. Аналітичні методи розрахунку норм забезпечують логічну осмисленість, наукову обґрунтованість та необхідну точність розрахунку. Частіше за все використовується найпростіший прийом аналізу – поділ розглядуваного явища на його елементарні складові. При визначенні норм витрати електроенергії розрахунок ведеться за статтями витрат, які обумовлені технологічним процесом виготовлення даного виду продукції.

Статистичні методи. Статистичний метод заснований на використанні середніх експлуатаційних відношень кількості використовуваної електроенергії до кількості виробленої продукції за визначений період часу. При проведенні досліджень звітні дані питомого електроспоживання за місяць, квартал, рік зазвичай доповнюються ймовірно-статистичним аналізом, який дає можливість дати обґрунтовану інтервальну оцінку зміни витрат електроенергії при варіюванні технологічного процесу. Статистичний метод заснований на пасивному експерименті та знаходить широке застосування для розрахунку питомих витрат електроенергії на промислових підприємствах.

Комбіновані методи. Розрахунково-статистичний метод нетрудомісткий та не має недоліків експериментального та аналітичного методів, має переваги розрахункового методу. Цей метод використовується на сучасних підприємствах тому, що там завжди є необхідні початкові дані для проведення експериментів та розрахунків, а також можливість доповнення інформації замірами, даними оперативного та статистичного обліку.

Удосконалення методів нормування. Згідно з [3], робота з нормування електроспоживання повинна включати наступні основні етапи : - аналіз технічних операцій та процесів з метою виявлення резервів зниження витрат електричної енергії; - аналіз фактичних витрат електричної енергії, нормалізація технічних та енергетичних показників; - аналіз факторів, що впливають на продуктивність обладнання и витрат електричної енергії, встановлення функціональних зв'язків між продуктивністю обладнання та витратами електричної енергії;

Питання удосконалення нормування описані також в працях інших авторів. Зокрема А.В. Праховник [1,2] пропонує здійснювати для цих цілей класифікацію промислових підприємств або їх підрозділів за рядом ознак, в склад яких включаються умови виробництва, а також технічні та технологічні фактори. Аналізуючи специфіку виробництва можна отримати певні ознаки спільності виробничого процесу тих чи інших виробів та їх класифікацію. Норму витрати електричної енергії для однорідних підприємств, працюючих в однакових виробничих умовах, автор рекомендує визначати на основі фактичних витрат електричної енергії того з них, у якого витрати на даний момент часу виявилися найменшими.

В роботі А.С. Грязнова [11] пропонується при визначенні норм витрат електричної енергії використовувати розрахункові формули, до складу яких входить коефіцієнт попиту. За допомогою статистичного методу на основі отриманих питомих витрат виконується розрахунок фактичного працюючого коефіцієнту попиту. Для цього знімають показання електричних лічильників через визначений період часу (місяць, квартал, рік). Коефіцієнт попиту розраховується виходячи з фактичної витрати електричної енергії, інтервалів часу та встановленій потужності електричних приймачів.

В роботі [7] автор пропонує вводити нормування електроспоживання на промислових підприємствах на основі імітаційного моделювання. Він віддає перевагу розрахунково-статистичному методу, вказуючи на те, що навіть на двох однакових агрегатах при випуску однорідної продукції питомі витрати можуть відрізнятися на 15-20%, а в деяких випадках навіть в 2-3 рази.

Аналіз способів нормування показав, що до недоліків даних методів можна віднести відсутність чітких рекомендацій про те, які моделі можна використовувати в різноманітних режимах роботи електротехнічного обладнання, відсутність в ряді випадків достовірних інтервалів прогнозування, відсутність ретроспективної перевірки адекватності моделі.

В реалізації заходів по енергозбереженню на промислових підприємствах важливу роль займають заходи з економії електричної енергії в результаті боротьби з нераціональним її використанням за допомогою організаційно - технічних заходів та в результаті серйозної технологічної перебудови підприємств. За допомогою реалізації організаційно – технічних заходів, які не потребують спеціальних затрат, можливо домогтися зниження електроспоживання приблизно на 7-8% від загальної кількості, тому дана складова є найбільш привабливою.

В проведенні заходів з економії електричної енергії важливу роль грає використання науково – обґрунтованих норм електроспоживання. Розроблені раніше та затверджені методики нормування, а також інструкції з визначення планових питомих норм, доволі часто не можуть використовуватися в сучасних умовах варіації технологічних параметрів виробництва.

В практиці нормування питомої витрати електричної енергії використовують вартісні та натуральні показники. При розробці методики розрахунку питомих витрат електричної енергії для промислових підприємств найбільш якісними та наглядними є натуральні величини.

Класифікація питомих норм виконується за наступними основними ознаками: ступені агрегації, складу витрат, періоду дії. Практичний інтерес представляє можливість визначення адекватних значень норм для різних рівнів планування з можливістю прогнозування значень для будь-яких тимчасових інтервалів.

Робота з нормування електроспоживання на промислових підприємствах повинна включати: аналіз технічних операцій и процесів з метою виявлення резервів зниження витрат електричної енергії; аналіз факторів, які впливають на продуктивність

обладнання та витрат електричної енергії, визначення функціональних зв'язків між продуктивністю обладнання та витратами електричної енергії; аналіз фактичних витрат електричної енергії, нормалізація технічних та енергетичних параметрів агрегатів.

Списоклітератури

1. Праховник А.В. Технические средства и концепция управления электропотреблением Текст. // Промышленная энергетика. 1990. - № 4.
2. Праховник А.В., Алейников В.А., Находов В.Ф. Динамическая модель прогнозирования и коррекции электропотребления промышленных предприятий Текст. // Горная электромеханика и автоматика. 1980. - № 36.
3. Гофман Н.В. Нормирование потребления энергии и энергетические балансы промышленных предприятий. - М.: Энергия, 1966.
4. Волобринский С.Д., Гельфарб А.И., Михайлов А.К. Определение фактических удельных расходов электроэнергии и прогнозирование электропотребления при многономенклатурном производстве Текст. // Промышленная энергетика. 1970. - № 5.
5. Анчарова Т.В., Гамазин СИ., Шевченко В.В. Экономия электроэнергии на промышленных предприятиях. - М.: Высшая школа, 1990.
6. Авилов-Карнаухов Б.Н. Метод нормирования и расчета электроэнергии для предприятий, выпускающих разнородную продукцию Текст.: Труды VII международной конференции по промышленной энергетике. Киев: Техника, 1972.
7. Гранецкий В.Н. Нормирование энергопотребления на промышленных предприятиях на основе имитационного моделирования Текст.: Дис. канд. экон. наук: 08.00.05 / Уральск, политех, ин-т. Свердловск, 1991.
8. Сальников А.Х., Шевченко Л.А. Нормирование потребления и экономия топливно-энергетических ресурсов.- М.: Энергоатомиздат, 1986.
9. Тайц А.А., Бредлик М.Р. Применение математического метода при нормировании удельных расходов электроэнергии в промышленности Текст.- М.: изд-во МИЭИ им. С.Орджоникидзе, 1973.
10. Ястребов П.П. Использование и нормирование электрической энергии в процессах переработки и хранения Текст. М.: Колос, 1973.
11. Грязнов С.А. Совершенствование расчетов норм расхода электроэнергии Текст. // Совершенствование нормативной базы планирования отрасли.- М.: ВНИПИЭнергопром, 1985.

С. Бережной, О. Мельник

Анализ результатов исследования в области методов определения удельных норм энергопотребления

В статье освещены вопросы, связанные с анализом методик определения удельного расхода электроэнергии при проведении технологических процессов в условиях ГОКа., Проведено комплексное исследование методов нормирования электроэнергии потребителей и сделаны выводы о необходимости разработки современных методов прогнозирования электропотребления объектами техноценоза.

S. Berezhniy, O. Melnik

The survey of methods for the determination of the specific energy consumption norms

The article highlights the issues related to the analysis of methods for determination of specific energy consumption during manufacturing processes in a processing plant. Carried out a comprehensive study of methods of regulation of electricity consumers and findings of the development of modern methods of forecasting electricity technocenosis objects.

Одержано 18.09.12

УДК. 662.63

В.І. Кравченко, доц., канд. техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет

Підвищення ефективності використання місцевих видів палива в котельній техніці

З метою підвищення ефективності використання низькопотенційного палива у водогрійних котлах обґрунтовано застосування термохімічного методу його спалювання.
місцеві види палива, економія палива, термохімічний метод, втрати енергії, конверсія палива

За оцінками Держкоменергозбереження України основна економія паливно-енергетичних ресурсів має бути досягнута у промисловості – 38%, комунально-побутовій сфері – 30%, безпосередньо у паливно-енергетичному секторі – 17%. Загальний потенціал енергозбереження складає 47 відсотків від всіх використаних енергоносіїв. Це значить, якщо реалізувати цей потенціал повністю, то можна забезпечити потреби держави власними енергоресурсами.

Світова практика виробництва низькопотенційної теплоти для опалення та побутових потреб з використанням місцевих видів палива (дрова, лушпиння соняшника, їх пелети, солома) свідчить про можливість повної відмови від імпортного газу.

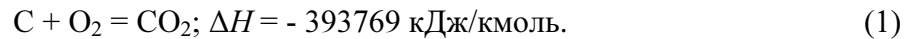
Рішення основних питань економії палива при застосуванні його в опалювальних твердопаливних котлах має перейти на новий шлях, в основі якого лежить термохімічний метод [3]. За цим методом використовується та об'єктивна обставина, що будь-яке паливо здатне перетворюватися в інші його види.

Відомо, що енергія палива перетворюється у будь-яких установках у два етапи: спочатку вона перетворюється в теплоту, а потім остання – в роботу. При цих перетвореннях і виникають основні втрати енергії палива. На сьогодні існують ефективні методи боротьби з втратами працездатності палива на другому етапі, що є підвищення верхньої температури робочого тіла. Але підвищення ефективності використання палива у теплосиловій установці цим методом залежить від можливості подальшої жароміцності матеріалів.

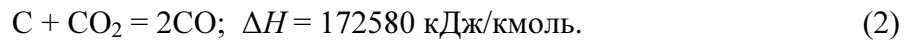
На етапі перетворення енергії палива в теплоту доцільно наявні види палива, що мають великі необоротні втрати при спалюванні, шляхом термохімічних перетворень перевтілити в нове газоподібне паливо, перетворення енергії якого в теплоту супроводжується меншими необоротними втратами. Для реалізації такого методу перетворення використовується конверсія палива в продуктах згоряння, що здійснюється шляхом підводу відповідної кількості теплоти. При застосуванні такого методу у теплосиловій установці додається ще один хімічний процес, тобто енергія палива перетворюється в теплоту в дві стадії. Спочатку паливо піддається конверсії, а потім вже конвертоване паливо спалюється. Додавання ще одного процесу перетворення енергії не збільшує сумарне значення необоротних втрат. З термодинамічної точки зору така заміна означає, що в цьому випадку виробництво теплоти перейшло від перетворення енергії палива високої якості до перетворення

енергії, якість якої нижче. Такий перехід дає можливість значно зменшити необоротні втрати при перетворенні хімічної енергії палива в теплоту. Це пов'язано з тим, що при погіршенні якості енергії палива, спалювання його супроводжується меншими необоротними втратами.

Теплота, що використовується в топкових камерах, в основному утворюється при спалюванні органічного палива в присутності атмосферного повітря. В результаті спалювання утворюються газоподібні продукти згоряння. Основними горючими речовинами органічних палив є вуглець і водень. Наприклад реакція горіння вуглецю можна записати так [2]:



В результаті реакції конверсії палива утворюються продукти конверсії і поглинається теплота. Для прикладу наведемо реакцію конверсії вуглецю:



Наочно вплив якості енергії палива на величину необоротних втрат при перетворенні його в теплоту можна показати за допомогою залежності ексергетичного ККД η_e від температури горіння T (рис. 1).

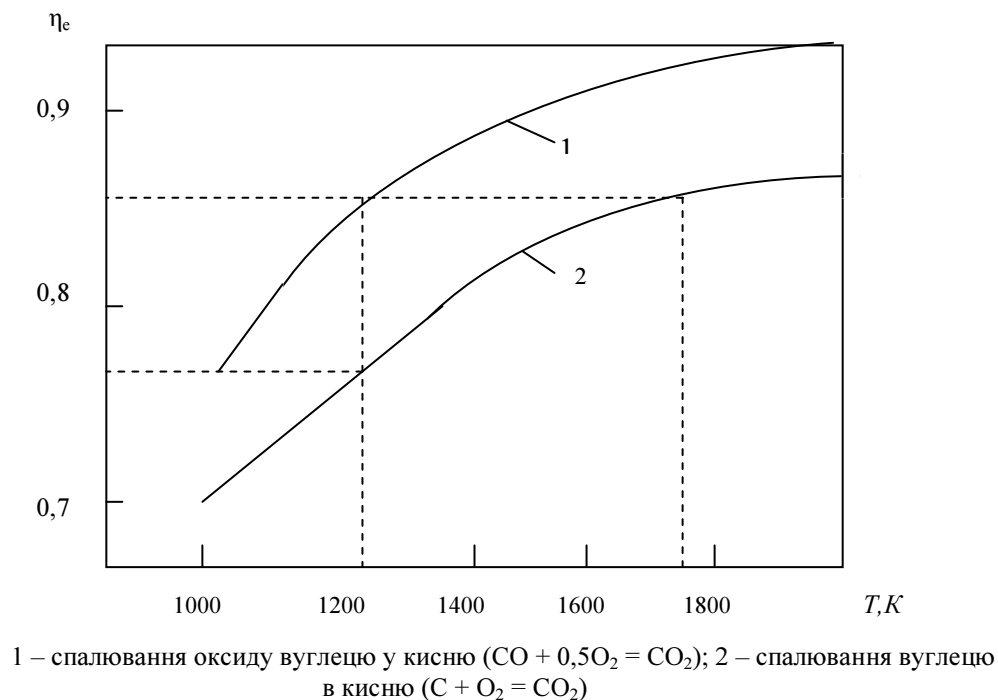


Рисунок 1- Залежність ексергетичного ККД процесу горіння від середньої температури горіння

З графіка (рис.1) видно, що ефективність перетворення енергії палива в теплоту при температурі 1200 К, яка запасена у СО, у порівнянні з перетворенням тієї енергії, яка запасена у вуглеці, вище приблизно на 7%. Для того, щоб досягнути ефективності перетворення енергії, запасеної у вуглеці, яка має місце при перетворенні енергії, запасеної в оксиді вуглецю, потрібно спалювання вуглецю проводити не при 1200 К, а при температурі, яка на 550 К вище.

Втрати працездатності палива при його спалюванні, що дорівнюють різниці між наявною працездатністю вихідного палива ($-\Delta G^{\text{вп}}$) і працездатністю теплоти згоряння палива [1], мають вид:

$$P = -\Delta G^{\text{вп}} \frac{T_0}{T}, \quad (3)$$

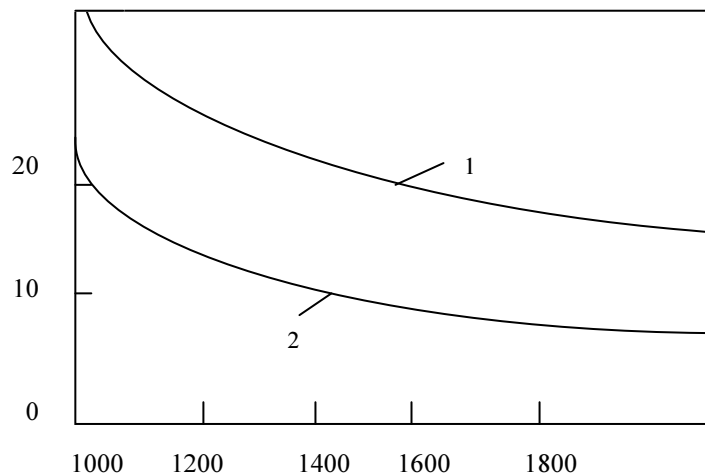
де T – температура горіння;

T_0 – початкова температура палива і окислювача.

З виразу (3) видно, що зменшити необоротні втрати при спалюванні палива можна тільки підвищенням температури горіння T , або шляхом зменшення величини $-\Delta G$. Для реалізації першого шляху необхідно забезпечити горіння палива при високих температурах. Другий шлях удосконалення перетворення енергії палива в теплоту полягає у використанні здатності палива до термохімічних перетворень. Для його здійснення, пов'язаного зі зменшенням величини $-\Delta G$ (значення зменшення енергії Гібса) необхідно також підвищувати температуру горіння, оскільки величина $-\Delta G$ для горіння даного виду палива вважається постійною. Рішення даної проблеми можна знайти в тому, щоб спалювання палива, що має певне значення зменшення енергії Гібса, замінити спалюванням штучного палива, у якого це значення менше. Даний вихід впливає з властивостей органічних палив конвертувати в продуктах згоряння з поглинанням теплоти (2), при якому змінюється якість енергії палива.

Розрахунки показують, що при однаковій температурі горіння втрати ексергії конвертованого палива $P_{\text{кн}}$ завжди менше втрат вихідного палива $P_{\text{ен}}$ [3]. Дані розрахунків наведені на рис. 2. Крива 1 показує необоротність, яка супроводжує горіння природного палива, а крива 2 – горіння конвертованого палива. З графіка видно, для того, щоб необоротні втрати при спалюванні вуглецю мали величину, рівну необоротним втратам при спалюванні конвертованого палива (оксиду вуглецю), його необхідно спалювати на значно більш високому (на $\approx 600 \text{ K}$) температурному рівні.

Величина втрат, %



1 – спалювання вуглецю $\text{C} + \text{O}_2 = \text{CO}_2$; 2 – спалювання оксиду вуглецю $\text{CO} + 0,5\text{O}_2 = \text{CO}_{266}$

Рисунок 2 - Залежність величини необоротних втрат від температури горіння

Визначимо вираз для необоротних втрат при перетворенні енергії палива $P_{\text{мх}}$, які мають місце в теплосиловій установці, що використовує термохімічний метод. У

теплосилової установці, в якій протікають одночасно дві хімічні реакції: конверсії і спалювання, необоротні втрати повинні бути як мінімум дорівнювати сумі необоротних втрат, пов'язаних з конверсією, і необоротних втрат, що супроводжують процес горіння конвертованого палива, тобто:

$$P_{mx} = -\Delta G_{\text{кп}}^T \frac{T_0}{T} + \Delta G_{\text{к}}^{T_k} \frac{T_0}{T_k}, \quad (4)$$

де T_k – температура, при якій відбувається конверсія палива.

Оскільки теплота конверсії дорівнює різниці теплоті згоряння палива і конверсії (тобто $\Delta H^{kn} = \Delta H^{gn} - \Delta H^k$), вираз (4) можна записати:

$$P_{mx} = \left[-\Delta G^{gn} - \Delta H_k \left(\frac{T}{T_k} - 1 \right) \right] \frac{T_0}{T}. \quad (5)$$

Останній вираз показує, що необоротні втрати при перетворенні енергії палива в теплоту при використанні термохімічного методу завжди менші, ніж необоротні втрати при спалюванні палива без попередньої термохімічної переробки. Вони зменшуються на величину роботи, яку необхідно затратити для трансформації теплоти конверсії з температурою рівня T_k на температурний рівень T горіння конвертованого палива. Це витікає з того, що $-\Delta H_k (T/T_k - 1)$, яке входить у вираз (5), являє собою вираз для витраченої роботи в тепловому насосі.

Використовуючи термохімічний метод можна зменшити необоротні втрати при спалюванні палива без підвищення температури горіння, що досі вважається єдиним шляхом, при перетворенні енергії палива в роботу в теплоенергетичних установках.

Впровадження в малу енергетику котлів, що використовують даний метод підвищення ефективності використання палива, дасть можливість економити не тільки на необхідних для опалення природному газі, але й суттєво заощаджувати місцеві види палива.

Список літератури

1. Денбиг К. Оценка эффективности химических процессов по второму началу термодинамики // Вопросы термодинамического анализа. – М., 1965. – С. 150 – 164.
2. Карапетьянц М.Х. Химическая термодинамика. М: Химия, 1975. – 584 с.
3. Носач В.Г. Энергия топлива. Киев, Наукова думка, 1989, 108 с.

В. Кравченко

Повышение эффективности использования местных видов топлива в котельной технике

С целью повышения эффективности использования низкопотенциального топлива в водогрейных котлах, обосновано применение термохимического метода его сжигания.

V. Kravchenko

Increasing of efficiency of the using of local types of fuel is in boilers technique

With the purpose of increase of efficiency of the use of the low-potential fuel in boilers, application of thermo-chemical method of his incineration is grounded.

Одержано 21.02.12

УДК 681.516.54

О. П. Голик, асист., Р. В. Жесан, доц., канд. техн. наук, Я.В. Степанова, магістр
Кіровоградський національний технічний університет

Аналіз можливостей задоволення енергетичних потреб автономного споживача за рахунок відновлюваних джерел енергії

В статті проведено аналіз можливостей задоволення енергетичних потреб автономного споживача (на прикладі фермерського господарства) за рахунок використання відновлюваних джерел енергії, зокрема, сонячної та вітрової енергій.

енергопостачання, автономний споживач, відновлюване джерело енергії, сонячна батарея, вітроелектрична установка, двигун внутрішнього згорання

Вступ. Зміни, що відбулися в сільськогосподарській сфері держави у відповідності з Розпорядженням Кабінету Міністрів України «Про схвалення Концепції Державної цільової програми розвитку земельних відносин в Україні на період до 2020 року» (№743-р від 17 червня 2009 р.), призвели до подрібнення крупних господарств і все більшого зростання ролі невеликих фермерських господарств в економіці країни.

Кризові явища в національному енергетичному комплексі, монополізм енергокомпаній та розподіленість новостворених господарств на великих територіях спонукають нині мислячих людей до пошуку альтернативи традиційним шляхам енергозабезпечення сільського господарства. Оскільки такі господарства розподілені по території та віддалені від ліній електропередач централізованого енергопостачання, то їх можна назвати автономними споживачами (АС).

Для автономного енергопостачання (АЕП) використання відновлюваних джерел енергії є (ВДЕ) є порятунком в умовах енергетичної кризи.

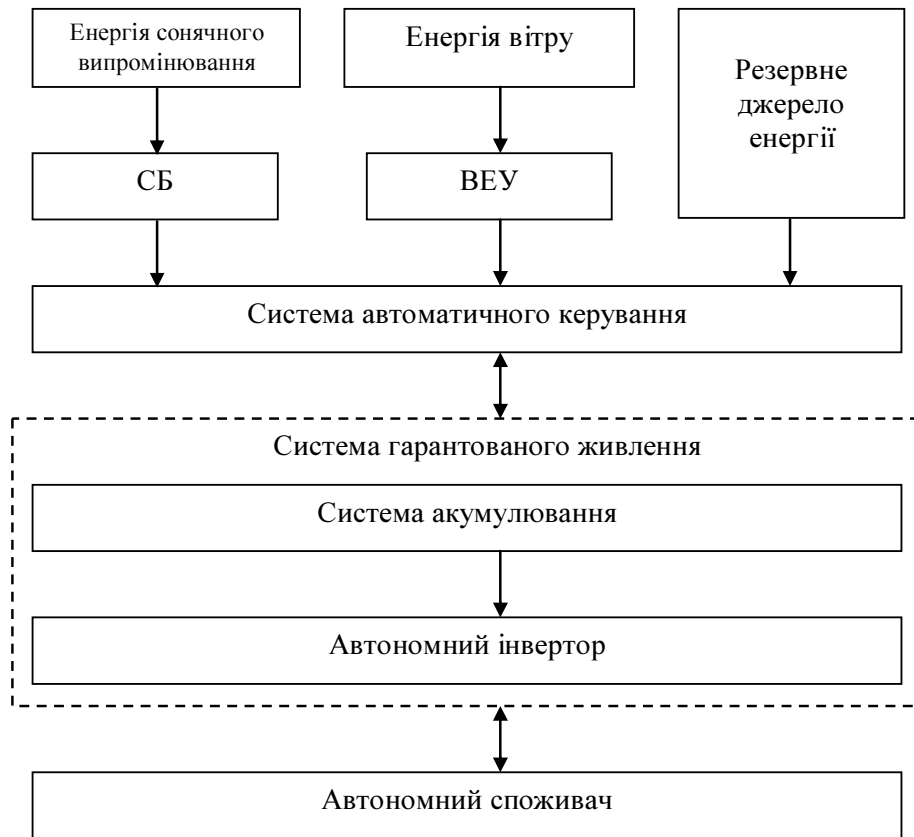
Світова практика показала, що найдоцільнішим способом енергозабезпечення розподілених невеликих господарств та окремих сільськогосподарських споживачів є створення власних джерел та систем енергопостачання. Коли йдеться про енергозабезпечення АС, енергосистеми часто називають системами автономного енергопостачання (САЕП).

Метою роботи є аналіз можливостей задоволення енергетичних потреб АС, шляхом теоретичного моделювання роботи САЕП та встановлення взаємозв'язку між енергопостачанням та енергоспоживанням АС.

Основна частина. Найрозповсюдженішими та доступними ВДЕ в будь-якій точці планети є сонячна та вітрова енергії, то в якості ВДЕ для АЕП було обрано саме їх. Оскільки дані джерела енергії мають стохастичний характер надходження, то для ефективного та надійного енергозабезпечення АС в САЕП повинне бути присутнє резервне джерело енергії. На рис. 1 наведено структуру САЕП на основі вітрових, сонячних установок та резервного джерела енергії.

До складу САЕП входять відповідні перетворюючі установки до яких надходять різні джерела енергії. Основними є сонячна та вітрова енергії, резервним джерелом

може бути як електростанція з двигуном внутрішнього згорання, так і традиційна енергосистема (лінії центральних електропередач).



СБ – сонячна батарея; ВЕУ – вітроелектрична установка

Рисунок 1 – Структура САЕП

Для аналізу можливостей задоволення енергетичних потреб АС та встановлення взаємозв'язку між енергопостачанням та енергоспоживанням АС необхідно володіти наступною інформацією про:

- енергетичні потреби АС;
- кліматичні та метеорологічні умови місцевості, де планується впроваджувати САЕП.

Наявність інформації про кліматичні та метеорологічні умови місцевості дає змогу визначити енергетичні потенціали джерел енергії та провести моделювання роботи енергетичних установок, що входять до складу САЕП.

Для прикладу подальші дослідження було проведено в умовах Кіровоградського регіону.

Пропонується наступна методика.

1. *Визначення енергетичних потреб АС*

Згідно даних статистичного щорічника Кіровоградської області за 2008 рік [1], в Кіровоградській області станом на 1 січня 2009 року налічувалося понад 2500 селянських (фермерських) господарств. У якості макетного об'єкту автономного енергопостачання було обране типове фермерське господарство сімейного типу, в якому працює 3 людини і яке спеціалізується в сфері рослинництва.

У 1981 р. у інституті «Сельэнергопроект» на основі експериментальних досліджень та статистичної обробки великого дослідного матеріалу були визначені основні імовірнісні характеристики навантажень сільськогосподарських споживачів [2].

У відповідності з цією методикою були визначені характеристики навантажень такого господарства за сезонами року, які наведені в [3]. Денний максимум навантаження P_{max} для нашого макетного господарства приймаємо рівним 7 кВт.

2. *Визначення середньодобових енергетичних потенціалів джерел енергії*

Оскільки в попередньому пункті було визначено середньодобові енергетичні потреби АС, то і в даному випадку необхідно визначати середньодобові енергетичні потенціали джерел енергії. В нашому випадку нам потрібні відомості щодо енергетичних потенціалів сонячної та вітрової енергій в Кіровоградському регіоні.

Дані відомості можна знайти в довідникових джерелах, наприклад [4-6]. Однак зазвичай в таких джерелах наводяться енергетичні потенціали лише за сезонами року, а не середньодобові. Тому бажано провести експериментальні дослідження по визначенню середньодобових енергетичних потенціалів сонячної та вітрової енергій.

З липня 2008 р. на кафедрі автоматизації виробничих процесів Кіровоградського національного технічного університету було розпочато активні експериментальні дослідження з вимірювання інтенсивності сонячної радіації та швидкості вітру, з використанням цифрової погодної метеостанції «Vantage Pro2™» (виробник Davis Instruments Corp., Каліфорнія, США), яка має в своєму складі датчик сонячної радіації «Davis SR Sensor».

Було використано дані за кожну годину доби, протягом року. В подальшому було побудовано графіки середньодобових залежностей інтенсивності сонячної радіації (рис. 2) та швидкості вітру (рис. 3) за сезонами року, в умовах Кіровоградського регіону.

3. *Визначення середньодобової потужності енергетичних установок*

В нашому випадку для дослідження роботи СБ було обрано KV – 180 W / 24 V. На основі методики, наведеної в [7, 8] було визначено середньодобову потужність СБ за сезонами року в умовах Кіровоградського регіону.

В [9] наведено методику моделювання роботи горизонтально-осьової ВЕУ. За допомогою якої було визначено середньодобову потужність ВЕУ WG-10000 за сезонами року з урахуванням метеорологічних умов Кіровоградського регіону.

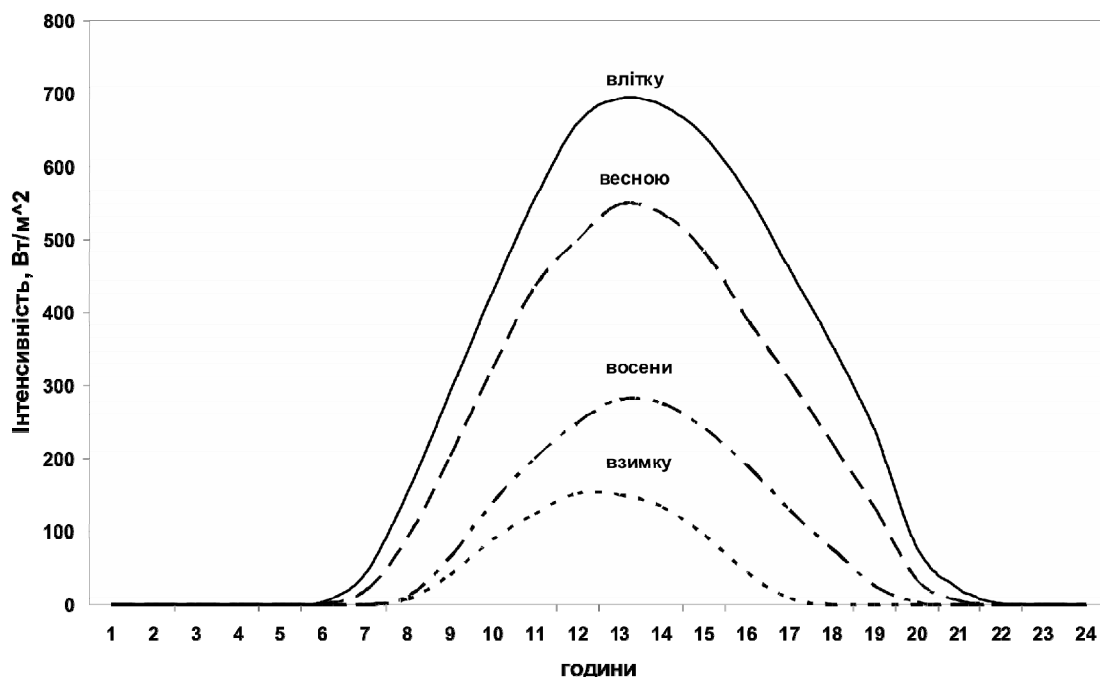


Рисунок 2 – Середньодобова інтенсивність сонячної радіації за сезонами року

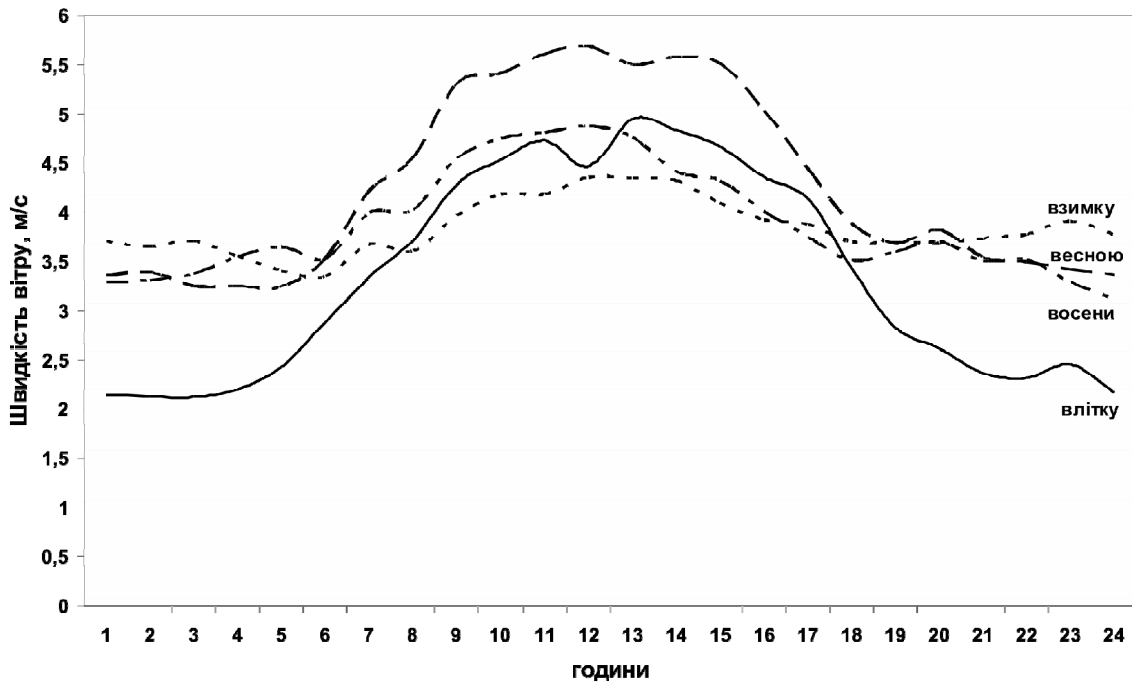


Рисунок 3 – Середньодобова швидкість вітру в за сезонами року

4. *Аналіз можливостей задоволення енергетичних потреб споживача.*

Моделювання виконуємо теоретично, шляхом побудови графіків залежностей середньодобових енергетичних потреб споживача та потужностей установок, що входять до складу САЕП.

На рис. 4-7 наведено графіки енергопотреб фермерського господарства та сумарну кількість енергії, що генерують установки (СБ та ВЕУ), за сезонами року в умовах Кіровоградського регіону.

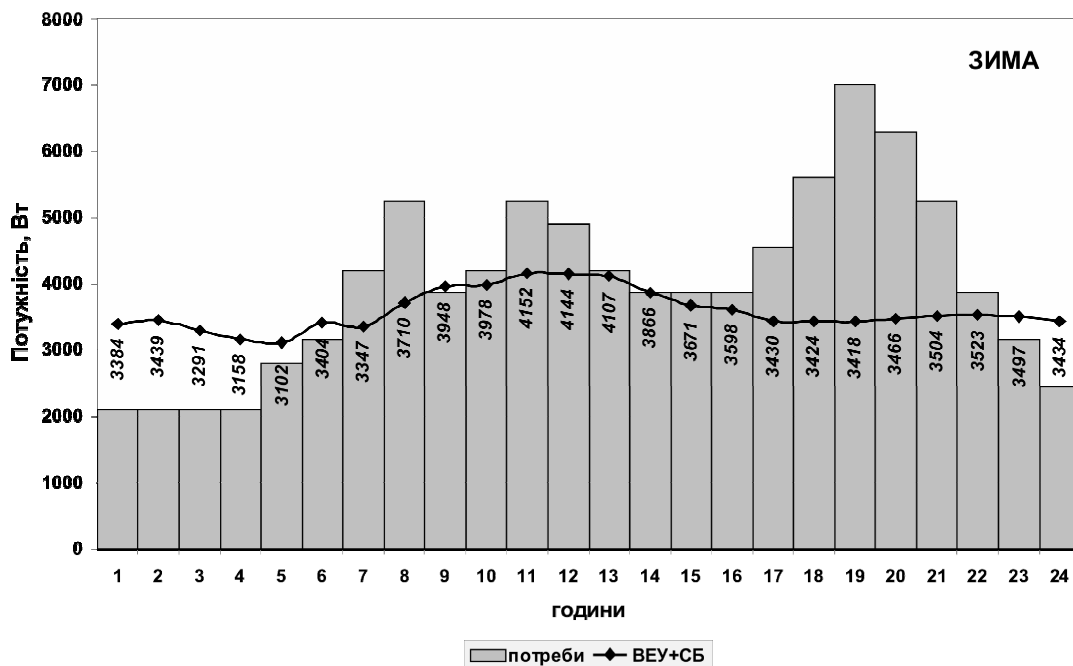


Рисунок 4 – Середньодобовий графік енергетичних потреб фермерського господарства та сумарної кількості енергії взимку

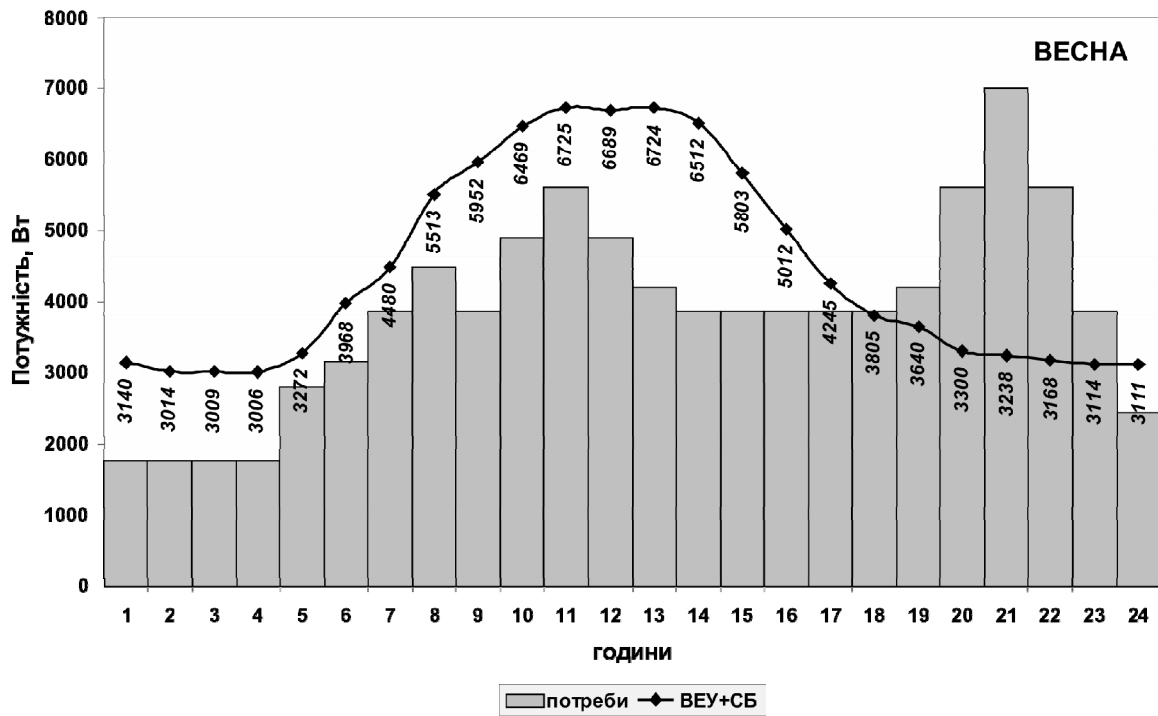


Рисунок 5 – Середньодобовий графік енергетичних потреб фермерського господарства та сумарної кількості енергії весною

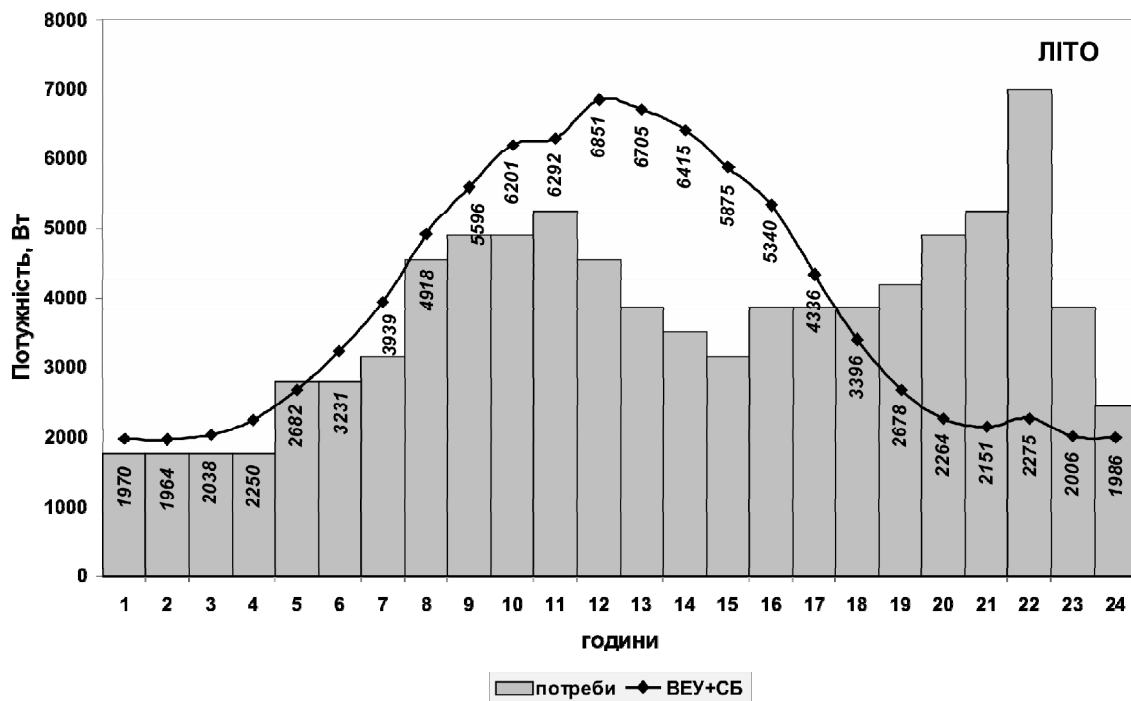


Рисунок 6 – Середньодобовий графік енергетичних потреб фермерського господарства та сумарної кількості енергії літку

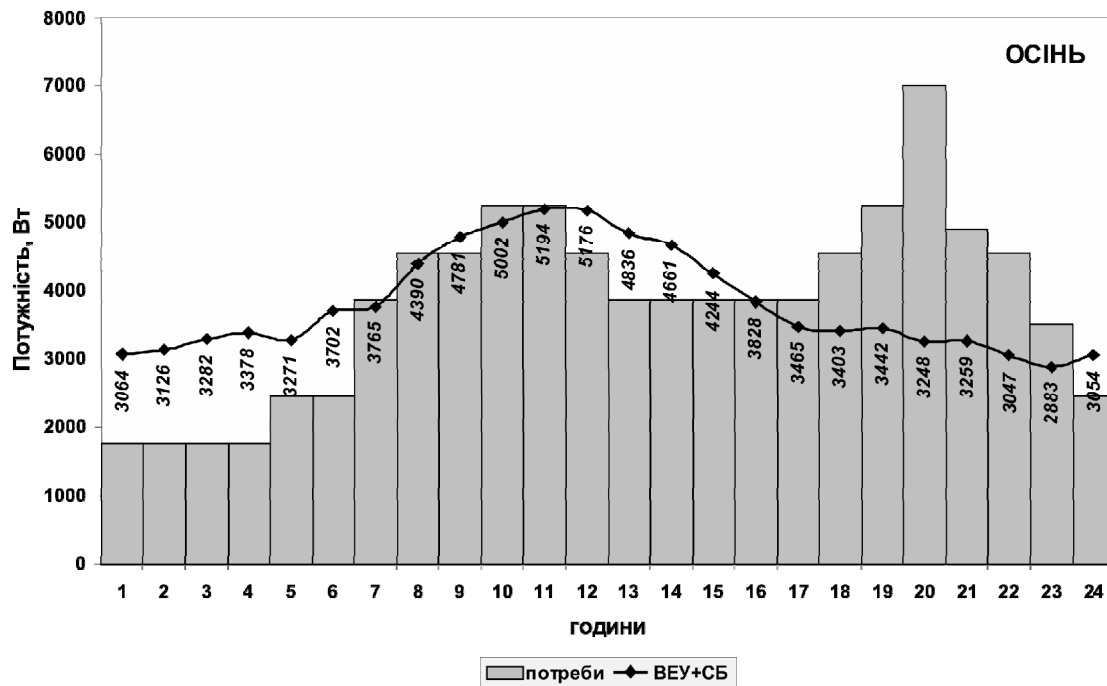


Рисунок 7 – Середньодобовий графік енергетичних потреб фермерського господарства та сумарної кількості енергії восени

Як видно з рис. 4-7 сонячна та вітрова енергії не можуть в даному регіоні повністю задовольнити потреби АС (особливо в пікові години). Існують так би мовити «провали» (місця на графіках, де основні джерела енергії не можуть задовольнити потреби АС), які повинні заповнити резервне джерело енергії.

Звичайно, можна сказати, що необхідно використати більш потужні установки (СБ та ВЕУ), але це призведе до більших матеріальних та територіальних витрат, які, як правило, АС не може собі дозволити.

Висновки. На основі статистичних даних з використанням теорії імовірності, було визначено середньодобове енергетичне навантаження фермерського господарства за сезонами року (в умовах Кіровоградського регіону).

Денний максимум навантаження становить 7 кВт. Сумарні енергетичні потреби фермерського господарства становлять: взимку – 95,9 кВт·год.; весною – 92,7 кВт·год.; влітку – 89,6 кВт·год.; восени – 91,4 кВт·год.

Аналіз можливостей задоволення енергетичних потреб АС (на прикладі фермерського господарства) показав, що в Кіровоградському регіоні енергетичні потреби фермерського господарства можуть бути повністю задоволені за рахунок енергій сонця та вітру: взимку – з 1 до 6 години та з 23 до 24 години; весною та влітку з 1 до 17 години; восени з 0 годин до 6 години та з 12 до 15 годин. В інші інтервали часу доцільно також використовувати резервне джерело енергії (наприклад, електростанція з двигуном внутрішнього згорання або лінії центральних електропередач).

Отримані залежності енергетичних навантажень та виробництва енергії дали можливість встановити взаємозв'язок між процесами енергопостачання та енергоспоживання у фермерському господарстві. Це дозволяє визначити діапазони зміни вхідних параметрів об'єкта керування та розробити САК САЕП фермерського господарства від автономних джерел енергії.

Список літератури

1. Статистичний щорічник Кіровоградської області за 2008 рік. – К.: Вид-во ТОВ „Поліграф-Сервіс”, 2009. – 506 с.
2. Будзко И. А. Электроснабжение сельского хозяйства / Будзко И. А., Зуль Н. М. – М.: Агропромиздат, 1990. – 496 с.
3. Голик О. П. Автоматизоване керування процесом автономного енергопостачання на основі вітросонячних установок та резервної електростанції / О. П. Голик, Р. В. Жесан, І. А. Березюк // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. Технічні науки. Вип. 117 «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – Харків: ХНТУСГ, 2011. – С. 54-57.
4. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії України / Кудря С.О., Яценко Л.В., Душина Г.П., Шинкаренко Л.Я., Довга В.Т., Васько П.Ф., Бриль А.О., Шурчков А.В., Забарний Г.М., Жовмір М.М., Віхарєв Ю.А.. – 2-ге вид. – К.: НАНУ Ін-т електродинаміки ; Державний комітет України з енергозбереження, 2007. – 42 с.
5. Волеваха М. М. Енергетичні ресурси клімату України / Волеваха М. М., Гойса М. І. – К. : Наук. думка, 1967. – 132 с.
6. Клімат України / [під ред. Ліпінського В. М., Дячука В. А.]. – К.: Вид-во Раєвського, 2003. – 344 с.
7. Бекиров Э.А.. Об эффективности использования фотоэлектрических преобразователей для автономного электроснабжения зданий / Э. А. Бекиров, И. В. Сопов, Р. С. Межитов // Відновлювальна енергетика, 2006. - №2, - С. 33-36.
8. Голик О. П. Розрахунок основних параметрів фотоелектричної системи для автоматизації енергопостачання автономного споживача в умовах Кіровоградського регіону / О. П. Голик, Р. В. Жесан // Відновлювана енергетика XXI століття: матеріали ІХ міжнародної конф., 15-19 вересня 2008 р., АР Крим, с.м.т. Миколаївка. – Київ: ТОВ «ВІОЛ ПРИНТ», 2008. – С. 111-113.
9. Жесан Р. В. Визначення потужності вітроелектричної установки для автономного енергопостачання за результатами аналізу даних у Кіровоградському регіоні / Р. В. Жесан, О. П. Голик // Відновлювана енергетика. – 2009. – № 2(17). – С. 39-42.

Е. Голик, Р. Жесан

Анализ возможностей удовлетворения энергетических потребностей автономного потребителя за счет возобновляемых источников энергии.

В статье проведен анализ возможностей удовлетворения энергетических потребностей автономного потребителя (на примере фермерского хозяйства) за счет использования возобновляемых источников энергии, а именно, солнечной и ветровой энергий.

O. Golik, R. Zhesan

Analysis of possibilities of satisfaction of power necessities of autonomous user due to renewable energy sources.

In the article the analysis of possibilities of satisfaction of power necessities of autonomous user (on the example of farm) is conducted due to the use of renewable energy sources, namely, sun and wind energies.

Одержано 04.09.12

УДК 681.513.5

О.П. Лобок, канд. фіз.-мат. наук, Б.М. Гончаренко, д-р техн. наук,
А.М.Слезенко, студ.

Національний університет харчових технологій

Аналіз методів аналітичного конструювання оптимальних регуляторів для детермінованих та стохастичних багатовимірних об'єктів

При застосуванні методів АКОР, тобто синтезі керування, яке здійснює оптимальний регулятор, для керування апаратними багатовимірними технологічними об'єктами керування (ОК) в умовах невизначеності виникають певні труднощі обчислювального або методичного характеру, усунути які допомагає врахування специфічних особливостей ОК.

В статті розглянуті сучасні методи автоматичного оптимального керування, а саме АКОР або синтез оптимального керування. Визначені класи ОК, до яких ці методи застосовні, як клас лінійних детермінованих та стохастичних САК. Означені обставини, які ускладнюють застосування методів АКОР для побудови грубих оптимальних систем, що мають гарантовану стійкість. Це полегшить практичне застосування методів для оптимізації керування процесами в харчовій промисловості.

аналітичне конструювання регулятора, оптимальне керування, LQ(LQG)-оптимізація, об'єкт керування, (не)стаціонарна система, стохастична система

Вступ. Застосування оптимального керування особливо ефективно і виправдане для складних багатовимірних ОК (як хлібопекарська піч або брагоректифікаційна установка), описуваних у просторі станів та що функціонують в умовах невизначеності. Знайшло застосування аналітичне конструювання (синтез) оптимального керування з наступною їхньою програмною реалізацією.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Задача синтезу оптимальних САК формулюється як варіаційна задача, в якій шукають екстремальні значення деяких функціоналів, і полягає в тому, щоб для заданого об'єкта синтезувати регулятор, який найкраще розв'язує задачу керування. Крім рівняння ОК повинні бути задані обмеження на керування і фазовий вектор (вектор стану), крайові умови і обраний критерій оптимальності [1].

Рівняння ОК задається в нормальній формі, обмеження задають у вигляді кінцевих співвідношень – рівностей або нерівностей, які можуть бути обмеженням на керування, або на фазовий вектор стану. Крайові (граничні) умови – обмеження на фазовий вектор в початковий t_0 і кінцевий t_f моменти часу. Критерій оптимальності як числовий показник якості керування в САК задається у вигляді функціоналу (часто квадратичного).

Задача оптимального керування формулюється наступним чином: при заданих рівнянні ОК, обмеженнях та крайових умовах необхідно знайти таке керування із зворотним зв'язком $u^*(x(t), t)$ і фазову траєкторію $x^*(t)$, при яких критерій оптимальності приймає мінімальне (або максимальне) значення [2]. Найчастіше цей функціонал мінімізується.

При розв'язанні задач оптимального керування у якості моделі ОК розглядають систему лінійних диференціальних рівнянь, яку з врахуванням початкових умов і

діяння зовнішніх збурень можна представити так:

$$\begin{cases} \frac{dx_i(t)}{dt} = \sum_{j=1}^n a_{ij}(t)x_j(t) + \sum_{j=1}^r b_{ij}(t)u_j(t) + \sum_{j=1}^k \psi_{ij}(t)f_j(t), & t_0 < t \leq T, \\ x_i(t_0) = x_i^0, & i = 1, 2, \dots, n, \end{cases} \quad (1)$$

або у векторно-матричному вигляді:

$$\begin{cases} \frac{dx(t)}{dt} = \dot{x}(t) = A(t)x(t) + B(t)u(t) + \Psi(t)f(t), & t_0 < t \leq T, \\ x(t_0) = x^0, \end{cases} \quad (2)$$

де $A(t), B(t)$ – матриці розмірністю $n \times n$, $n \times r$ відповідно, коефіцієнтами яких є відомі функції часу;

$x(t)$ – вектор стану об'єкта в момент часу t розмірністю n ;

$u(t)$ – вектор керувальних дій розмірністю r ;

x^0 – вектор стану об'єкта в початковий момент часу t_0 розмірністю n ;

$\Psi(t)$ – матриця розмірністю $n \times k$, коефіцієнтами якої є відомі функції часу;

$f(t)$ – вектор зовнішніх впливів (або збурень) розмірністю k .

Практичне застосування теорії оптимального керування стикається з труднощами обчислювального характеру, бо хоча вдається звести процес синтезу оптимального керування до розв'язання крайової задачі для диференціальних рівнянь, але побудова керувань для кожного класу ОК стає самостійною творчою задачею, розв'язання якої потребує врахування специфічних особливостей об'єкта.

Це зумовило пошук класів об'єктів, для яких при побудові оптимального керування крайова задача легко розв'язується чисельно. Такими ОК виявились об'єкти, що описуються лінійними диференціальними рівняннями. Ці результати, отримані у 1960 р. О. М. Летовим для стаціонарних лінійних ОК і Р. Калманом для нестационарних, стали основою напрямів синтезу систем оптимальної стабілізації: аналітичного конструювання регуляторів (АКОР) при повністю вимірюваному векторі стану об'єкта (LQ-оптимізація в закордонній літературі, від англ. «Linear Quadratic») і при неповній інформації про цей вектор (LQG-оптимізація, від англ. «Linear Quadratic Gaussian»). Сучасним напрямом розвитку останнього є так зване H^∞ - оптимальне керування. Практичне застосування LQ-, LQG- і H^∞ - оптимізацій ускладнено наступними обставинами:

- цілі керування досить рідко можна описати квадратичним функціоналом, що використовується в цих методах;
- оптимальні системи можуть виявитися не грубими, в яких малі відхилення параметрів системи від розрахункових значень можуть спричинитися до їхньої нестійкості;
- умови, за яких функціонують ОК визначають особливості методів синтезу керувань, як зазначалося вище, при загальному підході до їхньої оптимізації за квадратичним критерієм.

Висвітлення цих особливостей і склало мету написання даної статті.

Розглянемо задачу Р. Калмана синтезу оптимальної системи за умови, що ОК є нестационарним, детермінованим і описується рівнянням:

$$\dot{x}(t) = A(t)x(t) + B(t)u(t) + h(t), \quad t_0 < t \leq T, \quad (3)$$

а критерій оптимальності має вигляд:

$$J(u) = x^T(t_f)Fx(t_f) + \int_{t_0}^{t_f} [x^T(t)Q(t)x(t) + u^T(t)R(t)u(t)] dt. \quad (4)$$

Тут $h(t)$ – відома вектор-функція зовнішніх впливів; F і $Q(t)$ – невід’ємно визначені матриці ($x^T Fx \geq 0$ і $x^T(t)Q(t)x(t) \geq 0$ при всіх $x \neq 0$ і $t \in [t_0, t_f]$); $R(t)$ – додатно визначена матриця ($u^T R(t)u > 0$ при всіх $u \neq 0$ і $t \in [t_0, t_f]$). Функції $A(t), B(t), Q(t), R(t), h(t)$ є неперервними на інтервалі $[t_0, t_f]$. Необхідно знайти керування із зворотним зв’язком, при якому за умови довільної початкової умови $x(t_0) = x^0$ функціонал (4) приймає мінімальне значення.

Перший доданок в (4) презентує квадратичну термінальну (часову) похибку, включається в критерій оптимальності, якщо необхідно забезпечити максимальну близькість стану системи в кінцевий момент часу до бажаного. Другий доданок в (4) є інтегральною квадратичною похибкою і характеризує якість регулювання на всьому інтервалі часу $[t_0, t_f]$. І нарешті інтегральний третій доданок в (4) є зваженою «енергією» керування, він в критерії обмежує керування. Бажане (або необхідне) обмеження на керування, яке в явній формі не враховано в постановці задачі (3-4), може бути забезпечено відповідним вибором вагової матричної функції $R(t)$.

Матриці $Q(t)$ і $R(t)$ вибирають залежними від часу, бо початкові відхилення не залежать від властивостей системи, а визначаються початковими умовами. Їх вибирають таким, щоб початкові похибки менше впливали на величину критерію, ніж такі, що виникають в наступні моменти часу. Один із можливих способів вибору цих матриць запропонували А. Брайсон і Хо Ю-Ши [3].

Сформульовану задачу називають задачею синтезу оптимального нестационарного лінійного регулятора стану або – нестационарною задачею [4].

Для цього випадку оптимальне керування має вигляд:

$$u^*(t) = - \left(R^{-1}(t)B^T(t)K(t)x(t) + \frac{1}{2}R^{-1}(t)B^T(t)p(t) \right), \quad (5)$$

де симетрична $n \times n$ -матриця $K(t)$ і n -вимірний вектор $p(t)$ визначаються із системи рівнянь:

$$\dot{K}(t) = -A^T(t)K(t) - K(t)A(t) + K(t)B(t)R^{-1}(t)B^T(t)K(t) - Q(t), \quad (6)$$

$$\dot{p}(t) = K(t)B(t)R^{-1}(t)B^T(t)p(t) - A^T(t)p(t) - 2K(t)h(t) \quad (7)$$

при граничних умовах

$$K(t_f) = F, \quad p(t_f) = 0. \quad (8)$$

Співвідношення (5) – (8) отримані з використанням метода динамічного програмування Беллмана. Розв’язок задачі синтезу оптимального нестационарного лінійного регулятора стану існує і є єдиним навіть для повністю некерованих об’єктів. Це зумовлено тим, що керований процес розглядається на скінченному інтервалі і вплив некерованих координат на критерій оптимальності є також кінцевим, навіть якщо вони прямують до нескінченності при $t \rightarrow \infty$.

Розглянемо тепер випадок відсутності зовнішнього впливу на ОК $h(t) = 0$ в нестационарній задачі. Тоді система з двох рівнянь (6) і (7) стає однорідною. Її розв’язком, який задовольняє нульові граничні умови, є $p(t) = 0$, тому при $h(t) = 0$ оптимальний закон керування (5) набуває вигляду:

$$u^*(t) = -R^{-1}(t)B^T(t)K(t)x(t), \quad (9)$$

де $K(t)$, як і раніше, задовольняє матричне рівняння Ріккати (6) при граничних умовах (8).

Розглянемо тепер задачу О.М. Лєтова синтезу оптимальної стаціонарної системи при інтегрально-квадратичному критерії оптимальності, коли матриці A, B, Q, R є постійними, $h(t) = 0$ і $t_f = \infty$. В такому випадку $x(\infty) = 0$ і рівняння ОК і критерій оптимальності приймають вигляд:

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \quad J(u) = \int_{t_0}^{\infty} (x^T(t)Qx(t) + u^T(t)Ru(t)) dt. \quad (10)$$

Тут вважається, що Q і R – додатно визначені $n \times n$ - і $r \times r$ -матриці відповідно. Цю задачу називають задачею синтезу оптимального стаціонарного лінійного регулятора стану або – стаціонарною задачею [4].

Розв'язок стаціонарної задачі (оптимальне керування) є лінійною функцією від фазових координат і має вигляд

$$u^*(t) = -R^{-1}B^T \bar{K}x(t), \quad (11)$$

де \bar{K} – постійна додатно визначена матриця, яка визначається із алгебричного рівняння Ріккати:

$$-\bar{K}A - A^T \bar{K} + \bar{K}BR^{-1}B^T \bar{K} - Q = 0. \quad (12)$$

Співвідношення (11) – (12) отримані з використанням методу динамічного програмування Беллмана так само, як і аналогічні співвідношення при розв'язанні нестаціонарної задачі.

Розглянемо тепер управління стохастичними системами. Задача синтезу стохастичної оптимальної системи керування в загальному випадку ставиться наступним чином. Задаються диференціальні рівняння ОК, обмеження, крайові умови, рівняння спостереження, бо існує невизначеність від неповноти інформації, критерій оптимальності і характеристики випадкових впливів і параметрів. Необхідно знайти керування як функцію від вимірних значень вихідної змінної $y(\tau)$ на інтервалі $t_0 \leq \tau \leq t$. Синтез стохастичних оптимальних лінійних систем керування має особливості, визначені повнотою інформації про їхній стан.

Розглянемо стохастичну задачу оптимального керування лінійним ОК при квадратичному критерії і повній інформації про стан системи, що виключає необхідність застосування рівняння спостерігача:

$$\dot{x}(t) = A(t)x(t) + B(t)u(t) + V_0(t), \quad x(t_0) = x^0, \quad (13)$$

$$J(u) = M \left\{ x^T(t_f)Fx(t_f) + \int_{t_0}^{t_f} [x^T(t)Q(t)x(t) + u^T(t)R(t)u(t)] dt \right\} \rightarrow \min_{u(t)}. \quad (14)$$

Тут $V_0(t)$ – білий шум, x^0 – випадковий вектор з нормальним законом розподілу, F , $Q(t)$ – невід'ємно визначені симетричні матриці; $R(t)$ – додатно визначена симетрична матриця. Критерій оптимальності (14) має такий же зміст, як і в детермінованій задачі оптимального керування, лише проводиться усереднення по всім випадковим чинникам.

Виявляється, що розв'язання цієї задачі співпадає з розв'язанням (6), (8), (9) детермінованої задачі (3), (4) при $h(t) = 0$. При цьому оптимальне керування в стохастичній задачі при повній інформації має вигляд

$$u^*(x(t)) = -R^{-1}(t)B^T(t)K(t)x(t), \quad (15)$$

де симетрична матриця $K(t)$ визначається з матричного рівняння Ріккати:

$$\dot{K}(t) = -A^T(t)K(t) - K(t)A(t) + K(t)B(t)R^{-1}(t)B^T(t)K(t) - Q(t), \quad (16)$$

при початковій умові в кінцевий момент часу

$$K(t_f) = F. \quad (17)$$

Таким чином, випадковий вплив $V_0(t)$ і випадкова початкова умова x^0 на оптимальний закон керування не впливають, а лише на значення критерію оптимальності – воно, звичайно, збільшується.

При оптимальному керуванні критерій оптимальності (14) приймає наступне значення:

$$J(u^*) = (\bar{x}^0)^T K(t_0)\bar{x}^0 + \text{tr} \left[K(t_0)P_0 + \frac{1}{2} \int_{t_0}^{t_f} K(t)Q_0(t)dt \right], \quad (18)$$

де P_0 , $Q_0(t)$ – коваріаційні матриці відповідно вектора початкових умов x^0 та зовнішнього збурення $V_0(t)$.

Співвідношення (15) – (17), як і у випадку детермінованої задачі, можна отримати з використанням методу стохастичного динамічного програмування Беллмана.

Вимірювання (спостереження), як правило, завжди супроводжуються завадами, і стан системи ніколи точно не відомий, тому стохастична задача оптимального керування за неповної інформації про стан системи є більш практичною. Ця задача набагато складніша, ніж за повної, і для її розв'язання часто використовують евристичний прийом (принцип розділення або стохастичної еквівалентності), при якому стохастична задача синтезу за неповної інформації розділяється на дві задачі: задачу оптимальної оцінки стану і детерміновану задачу синтезу керування за повної інформації. Розглянемо цю задачу синтезу стохастичної лінійної оптимальної системи керування за неповної інформації про її стан. Нехай ОК і спостереження описуються рівняннями:

$$\dot{x}(t) = A(t)x(t) + B(t)u(t) + V_0(t), \quad x(t_0) = x^0; \quad y(t) = C(t)x(t) + V_c(t), \quad (19)$$

а критерій оптимальності має вигляд:

$$J(u) = M \left\{ x^T(t_f)Fx(t_f) + \int_{t_0}^{t_f} [x^T(t)Q(t)x(t) + u^T(t)R(t)u(t)] dt \right\}. \quad (20)$$

Випадкові процеси $V_0(t)$ та $V_c(t)$ є білими шумами з інтенсивностями $Q_0(t)$ і $R_0(t)$ відповідно; початковий стан x^0 – випадковий вектор із середнім значенням \bar{x}^0 і матрицею дисперсій P_0 . Передбачається, що випадкові шуми і початковий стан не корельовані між собою, причому матриці $R(t)$ і $R_0(t)$ додатно визначені.

Оптимальний закон керування стохастичною системою (19) з критерієм (20), має вигляд:

$$u^*(x) = -R^{-1}(t)B^T(t)K(t)x(t), \quad (21)$$

де $K(t)$ – матриця, яка визначається з рівняння:

$$\dot{K}(t) = -A^T(t)K(t) - K(t)A(t) + K(t)B(t)R^{-1}(t)B^T(t)K(t) - Q(t), \quad K(t_f) = F, \quad (22)$$

$\hat{x}(t)$ – лінійна оптимальна оцінка, яка отримується з допомогою спостерігача (фільтра) Калмана-Бьюсі [5]:

$$\begin{cases} \dot{\hat{x}}(t) = A(t)\hat{x}(t) + B(t)u(t) + K^0(t)(y(t) - C(t)\hat{x}(t)), & \hat{x}(t_0) = \bar{x}^0; \\ K^0(t) = P(t)C^T(t)R_0^{-1}(t); \\ \dot{P}(t) = A(t)P(t) + P(t)A^T(t) - P(t)C^T(t)R_0^{-1}(t)C(t)P(t) + Q_0(t), & P(t_0) = P_0. \end{cases} \quad (23)$$

Співвідношення (21) – (22) співпадають із співвідношеннями (6), (8) і (9) та (15) – (17), які визначають оптимальний регулятор в детермінованій задачі синтезу оптимальних систем і задачі синтезу стохастичних лінійних оптимальних систем керування з повною інформацією, з тою лише різницею, що в (21) входить оцінка $\hat{x}(t)$, а в (9) і (15) – сам вектор $x(t)$.

Таким чином, стохастичний лінійний оптимальний регулятор (керування) складається з лінійного оптимального спостерігача і лінійного оптимального регулятора (керування), який за формою нагадує детермінований регулятор.

Висновки. В роботі розглянуті сучасні методи лінійної теорії автоматичного оптимального керування, так зване АКОР – методи LQ-оптимізації при повністю вимірюваному векторі стану ОК і LQG-оптимізації при неповній інформації про цей вектор. Визначені класи ОК, до яких ці методи застосовні, це класи детермінованих та стохастичних САК. Означені обставини, які ускладнюють застосування розглянутих методів синтезу для побудови грубих оптимальних систем.

Список літератури

1. Конструктивные методы оптимизации. Ч. 4. Выпуклые задачи/Р. Габасов, Ф.М. Кириллова, О.И. Костюкова, В.М. Ракецкий.–Мн.:Изд-во "Университетское",1987. –223с.
2. Заболотнов Ю.М. Оптимальное управление непрерывными динамическими системами /Ю.М. Заболотнов; Самар. гос. аэрокосм. ун-т.-Самара: СГАКУ, 2005. –129с.
3. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования/В.А. Бесекерский, Е.П. Попов.– М.:Наука, 1975. –768с.
4. Теория автоматического управления: Учеб. для вузов по спец. "Автоматика и телемеханика". В 2-х ч. Ч. II. Теория нелинейных и специальных систем автоматического управления./А.А. Воронов, Д.П. Ким, В.М. Лохин, И.М. Макаров, П.Н. Попович, В.З. Рахманкулов; Под. ред. А.А. Воронова.– М.:Высш. шк.,1986.–504с.
5. Нурминский Е.А. Численные методы решения детерминированных и стохастических минимаксных задач/Е.А. Нурминский.– К.:Наук. думка, 1979. –161с.
6. Острем К.Ю. Введение в стохастическую теорию управления/К.Ю. Острем.–М.:Мир,1973.–322с.

А.П. Лобок, Б.Н. Гончаренко, А.М.Слезенко

Анализ методов аналитического конструирования оптимальных регуляторов для детерминированных и стохастических многомерных объектов

При использовании методов аналитического конструирования регуляторов (АКОР), то есть синтезе оптимального управления, которое регулятор должен осуществить, разработанных изначально для оптимизации управления космическими объектами, для оптимизации управления сложными многомерными технологическими аппаратными объектами управления (ОУ) возникают некоторые трудности вычислительного либо методического характера.

Поэтому в статье рассмотрены современные методы линейной теории автоматического оптимального управления, а именно АКОР или синтез оптимального управления линейными многомерными ОУ.

Определены классы ОУ, к которым эти методы применимы, как класс детерминированных и стохастических САУ. Обозначены обстоятельства, которые усложняют применение рассмотренных методов для построения грубых оптимальных систем, которые гарантированно устойчивы.

Это облегчит практическое применение методов АКОР для синтеза управления сложными многомерными технологическими ОУ в пищевой промышленности.

O. Lobok, B. Goncharenko, A. Slyezenko

Analysis of methods of analytical design optimal controllers for deterministic and stochastic multidimensional objects

Using methods AKOR, ie synthesis control, which provides optimal regulator to control the hardware multi-dimensional technological object control in the face of uncertainty there are some difficulties computational or methodological nature, which helps eliminate consideration specifics of objects.

The article deals with modern methods of automatic optimal control, namely AKOR or synthesis of optimal control. Defined classes of objects, to which these methods can be applied as a class of linear deterministic and stochastic SAH. The mentioned circumstances that complicate the application of methods for constructing rough AKOR optimal systems with guaranteed stability. This will facilitate the practical application of techniques to optimize process control in the food industry.

Одержано 20.09.12 р.

УДК 621.77.01

Н.В. Жукова, доц., канд. техн. наук, Р.І. Біндюг, магістр.

Донецький національний технічний університет

Етапи розробки САУ чорнової групи клітей в умовах енергозберігаючих технологій виробництва дрібного сорту

У статті розглянуто енергоємний технологічний процес дрібносортового виробництва, в якому поєднані два безперервні процесу лиття і прокатки. Суміщення процесів забезпечується за рахунок застосування агрегату з високим ступенем деформації за один прохід, а саме планетарних тривалкових гвинтових клітей. Процес поперечно-гвинтової прокатки розглянуто, як об'єкт управління. Розроблена функціональна схема дворівневої САУ електроприводами валків і корпуса планетарних клітей. Системи нижнього рівня мають змінну структуру управління з метою реалізації режимів суміщення процесів лиття і прокатки. Наведено приклад конкретного виконання запропонованого обладнання для умов роботи дротового стану 150 Макіївського металургійного заводу. Економічні розрахунки підтвердили економію енерговитрат в 5 разів.

поперечно-гвинтова прокатка, планетарна тривалкова кліть, координатор, енергозбереження

Останнім часом спостерігається тенденція розвитку металургійних міні-заводів, на яких реалізуються енергозберігаючі технології виробництва сталі і прокату. Чим швидше метал доходить від рідкого стану до кінцевого прокату, тим краще економічні показники енергоємного виробництва. Таким чином, економія енергії стає найважливішим фактором будь-якого металургійного виробництва.

Сучасне виробництво у прямому сенсі залежить від енергоспоживання, тому

Определены классы ОУ, к которым эти методы применимы, как класс детерминированных и стохастических САУ. Обозначены обстоятельства, которые усложняют применение рассмотренных методов для построения грубых оптимальных систем, которые гарантированно устойчивы.

Это облегчит практическое применение методов АКОР для синтеза управления сложными многомерными технологическими ОУ в пищевой промышленности.

O. Lobok, B. Goncharenko, A. Slyezenko

Analysis of methods of analytical design optimal controllers for deterministic and stochastic multidimensional objects

Using methods AKOR, ie synthesis control, which provides optimal regulator to control the hardware multi-dimensional technological object control in the face of uncertainty there are some difficulties computational or methodological nature, which helps eliminate consideration specifics of objects.

The article deals with modern methods of automatic optimal control, namely AKOR or synthesis of optimal control. Defined classes of objects, to which these methods can be applied as a class of linear deterministic and stochastic SAH. The mentioned circumstances that complicate the application of methods for constructing rough AKOR optimal systems with guaranteed stability. This will facilitate the practical application of techniques to optimize process control in the food industry.

Одержано 20.09.12 р.

УДК 621.77.01

Н.В. Жукова, доц., канд. техн. наук, Р.І. Біндюг, магістр.

Донецький національний технічний університет

Етапи розробки САУ чорнової групи клітей в умовах енергозберігаючих технологій виробництва дрібного сорту

У статті розглянуто енергоємний технологічний процес дрібносортового виробництва, в якому поєднані два безперервні процесу лиття і прокатки. Суміщення процесів забезпечується за рахунок застосування агрегату з високим ступенем деформації за один прохід, а саме планетарних тривалкових гвинтових клітей. Процес поперечно-гвинтової прокатки розглянуто, як об'єкт управління. Розроблена функціональна схема дворівневої САУ електроприводами валків і корпуса планетарних клітей. Системи нижнього рівня мають змінну структуру управління з метою реалізації режимів суміщення процесів лиття і прокатки. Наведено приклад конкретного виконання запропонованого обладнання для умов роботи дротового стану 150 Макіївського металургійного заводу. Економічні розрахунки підтвердили економію енерговитрат в 5 разів.

поперечно-гвинтова прокатка, планетарна тривалкова кліть, координатор, енергозбереження

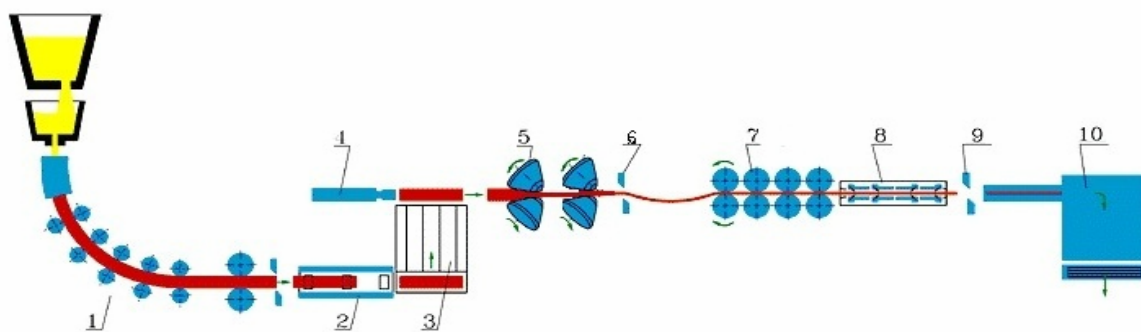
Останнім часом спостерігається тенденція розвитку металургійних міні-заводів, на яких реалізуються енергозберігаючі технології виробництва сталі і прокату. Чим швидше метал доходить від рідкого стану до кінцевого прокату, тим краще економічні показники енергоємного виробництва. Таким чином, економія енергії стає найважливішим фактором будь-якого металургійного виробництва.

Сучасне виробництво у прямому сенсі залежить від енергоспоживання, тому

чим менше витрати на енергоспоживання, - тим вище прибуток підприємства. Енергозбереження у металургії полягає в суміщенні процесів безперервного лиття та безперервної прокатки від рідкого металу, до кінцевого прокату. У даній технологічній схемі тепло рідкого металу не губиться, а використовується у подальших переділах після безперервного лиття. Тому сьогодні питання в проектуванні та впровадженні литейно-прокатних модулів є актуальним. Але незважаючи на високу вигоду використання технології литейно-прокатних агрегатів, розвиток в цій галузі отримали як правило тонкослябові литейно-прокатні агрегати. Практичне втілення цієї технології для дрібносортного виробництва і виробництва катанки не було виконано так популярно, через відсутність оптимальної конструкції клітей. Безперервна прокатка найоптимальніша, якщо основний обтиск металу здійснюватиметься у прокатних клітях, де максимальний витяг відбувається за один прохід в одній кліті. Цій умові задовольняє планетарна гвинтова кліть (ПГК), яка заміщує близько десяти клітей звичайної подовжньої прокатки та дозволяє безперервно стикувати подальшу чистову обробку металу. Тому, використання планетарних клітей гвинтової прокатки у чорновій групі і розробка багаторівневої ієрархічної системи автоматичного управління електроприводами планетарних гвинтових клітей чорнової групи, є актуальним.

Редукування поперечного перерізу матеріалу досягається на ПГК наступним чином: три конусоподібних валка, розташованих по відношенню один до одного під кутом 120° , обжимають метал таким чином, що між їх поверхнями утворюється конусоподібна зона деформації. Завдяки схрещеному положенню осей валків по відношенню до осі прокатки і їх обертанню, створюється зусилля подачі, направляюче метал через зону деформації. Валки приводяться в дію від двигуна за допомогою планетарної передачі. Осі валків можуть повертатися навколо осей планетарних шестерень або осей барабанів, в яких встановлені валки, з метою утворення необхідної найкоротшої відстані між осями прокатки і валків, що забезпечує відповідне зусилля подачі матеріалу вздовж осі прокатки. Другий двигун служить для запобігання обертання прокату, яке виникає за рахунок поперечного руху металу, скомпенсоване обертанням корпусу кліті.

Розглянемо структурну технологічну схему поєднаного модуля безперервного лиття та безперервної прокатки для виробництва дрібного сорту зображена на рис. 1.



1 – машина безперервного лиття заготовлі (МБЛЗ); 2 – індукційний підігрівач; 3 – загрузочна решітка; 4 – штовхатель; 5 – планетарна кліть поперечно-гвинтової прокатки; 6 – аварійні летючі ножичі; 7 – чистова група клітей; 8 – пристрій для термозміцнення; 9 – різник для мірних довжин; 10 – готові бунти з дротом

Рисунок 1 – Литейно-прокатний агрегат дрібносортного виробництва

Прокатка заготовлі без її обертання на виході із кліті здійснюється при визначеному початковому співвідношенні частот приводу ввалків та приводу корпусу. В нашій ситуації, використовуються дві планетарні гвинтові кліті, тому обидва електроприводи клітей повинні працювати синхронно, щоб процес в одній кліті не

заважав процесу в іншій кліті. Усунення кута повороту заготівлі нас цікавить тільки на виході з другої кліті, тому що саме після неї відбувається стиківка з чистою групою клітей. Кут повороту заготівлі має бути обмеженим, контролюється за допомогою енкодера з ідентифікацією знаку його повороту. У зв'язку з тим, що технологічні параметри деформації металу неоднорідні, раскат повертатиметься з неоднорідною швидкістю. З точки зору технології, неконтрольований рух заготівлі навколо вісі прокатки є неприпустимим.

Для того, щоб забезпечити автоматизацію процесу планетарної поперечно-гвинтової прокатки, а також з'єднання безперервних технологій лиття та поздовжньої прокатки розглядається широкий спектр задач.

Розроблен технічний проект конструкції кліті гвинтової тривалкової планетарної консольної обтискної. Конструкція кліті відрізняється від попередніх тим, що вона розроблена на основі попереднього вибору оптимальних характерних параметрів гвинтової прокатки і трьох її кінематичних критеріїв. Тому необхідність у регулюванні кліті відпала, що значно спростило конструкцію кліті. Характерні геометричні параметри не треба змінювати або регулювати, їх оптимальні величини реалізуються на кліті консервативним чином за допомогою простого обладнання з найменшими витратами, що завжди прийнятно в виробничих умовах. Оптимізація параметрів обладнання виконана на базі нових ознак, підтверджених патентом України;

Особливої уваги вимагає система управління складними механізмами з двома електроприводами, пов'язаними одним робочим тілом, металом, який деформується з глибокою витяжкою і при цьому робоче тіло не повинно обертатися навколо осі прокатки, чим забезпечується безперервність технологічного процесу з попередніми і наступними переділами металу. У зв'язку з тим, що поперечний рух металу не виявити за допомогою якого-небудь датчика переміщення, так як робоче тіло, яке деформується в кліті, фізичним чином пролонговано, як вперед так і назад до інших технологічних переділів, то тут тільки регулятори швидкості валкового і корпусного механізмів кліті не допоможуть у вирішенні узгодження руху пов'язаного з ними електроприводу з двома силовими електродвигунами. Єдиним критерієм тут може бути мінімум витрати енергії на технологічні операції деформації металу при забезпеченні заданого поздовжнього руху робочого тіла. Тому локальні САУ клітями повинні бути із змінною структурою. Електроприводи повинні управлятися за потужностями при мінімальній їх сумі з оптимальним розподілом енергії на два електроприводу. У моделі повинна бути інформація по силі і моменту прокатки, відповідним чином спроектовані на валкову та корпусну механічні передачі з виникненням моменту сили реакції металу при його можливим скручуванні, яке може з'явитися при неузгодженому русі двох електроприводів валків і корпусу кліті. Тобто САУ повинна автоматичним образом швидко реагувати на «зайві» витрати енергії на додаткову деформацію скручування металу при заданому подовжньому його русі уздовж осі прокатки.

На основі цих вимог було побудовано функціональну схему баготорівневої ієрархічної САУ. В схемі присутній верхній рівень, у якості координатора, який вироблює задаючі впливи для локальних САУ клітей нижніх рівней. Координатор представлений у вигляді програми на базі звичайного ПК, підключеного до программованого логічного контролера. Локальні САУ – це блоки управління першою та другою клітями, та підключенні до них частотні перетворювачі з векторним керуванням, для асинхронних 3-фазних двигунів. Фізичним рівнем керують локальні САУ за допомогою сигналів управління. Схема баготорівневої САУ зображена на рис. 2.

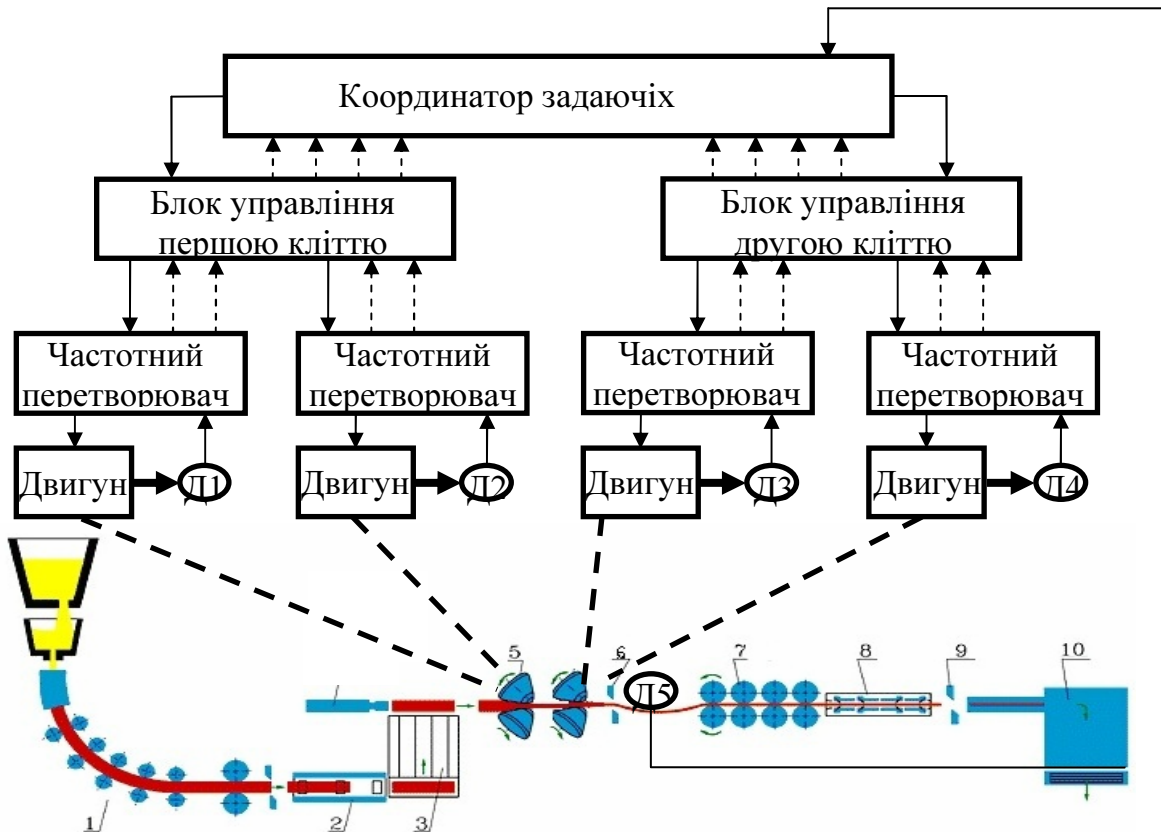


Рисунок 2 – Функціональна схема САУ

Д5 – вимірює кут повороту заготовлі на виході із другої кліти. На основі даних отриманих з Д5 та методу управління, координатор вирішує задаючі впливи для локальних САУ нижнього рівня. Управління фізичним рівнем здійснюється через ПЛК сигналами управління на частотні перетворювачі, які керують самими електродвигунами. Д1-Д4 фізично пов'язані з двигунами. Дані з енкодерів Д1-Д4 надходять на частотні перетворювачі, де за допомогою функції векторного керування розроховується електромеханічна потужність. З аналогових виходів частотних перетворювачів зчитуються показники швидкості обертання двигунів і електромеханічної потужності. Дані по усім двигунам надходять на верхній рівень управління у вигляді сигналів зворотнього зв'язку.

Приклад конкретного виконання пропонованого обладнання розглянемо для умов роботи дротового стану 150 Макіївського металургійного заводу. З метою економії енергії можна сполучити з безперервним розливанням круглої заготовки $\oplus 150\text{мм}$ дві планетарні гвинтові кліти із сумарною витяжкою

$$\mu = \left(\frac{150}{50}\right)^2 \cdot \left(\frac{50}{16.66}\right)^2 = 81. \text{ Ці кліти заміняють обтискну і дві проміжні групи клітей}$$

поздовжньої прокатки, що полягають із 17=9+4+4 клітей згаданого стану 150, де

$$\text{відбувається чорновий обтиск металу із загальною витяжкою } \mu = \left(\frac{\otimes 150\text{мм}}{\otimes 17\text{мм}}\right)^2 = 78.$$

Далі в десятиклітьовому чистовому блоці, що чергуються із горизонтальних і вертикальних клітей поздовжньої прокатки із сумарною витяжкою 8 одиниць розкат приймає кінцеві розміри дроту $\oplus 6\text{мм}$.

Отже, після безперервного розливання гаряча кругла заготовка $\oplus 150\text{мм}$, проходячи через індукційний нагрів, де вирівнюється її температура, безупинно подається із середньою швидкістю $6 \frac{\text{м}}{\text{мин}} = 0,1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ в першу планетарну гвинтову кліть. Її кут схрещування і найкоротша відстань між осями прокатки і валка відповідно рівні $\gamma = 30^\circ$, $d \approx 125\text{мм}$. Поздовжня швидкість входу заготовки в кліть узгоджується із швидкістю розливання, якщо швидкість обертання валків $f' = 0,319 \frac{\text{об}}{\text{с}}$. Метал

деформується з витяжкою $\mu = \left(\frac{r_0}{r_1}\right)^2 = \left(\frac{75}{25}\right)^2 = 9$ при схрещеному куті зони деформації $\beta = 6.606^\circ$.

Середній радіус зони деформації $r_{cp} = 50\text{мм}$; площа контакту металу і валка, як показує практика $S_{\text{конт}} \approx \frac{2\pi \cdot r_{cp} \cdot z_0}{6 \cdot 2} = \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 50 \cdot 610.6}{6 \cdot 2} = 15985 \text{ мм}^2$; границя текучості гарячого металу $\sigma_T = 100 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$; сила прокатки $F = \sigma_T \cdot S_{\text{конт}} = 100 \cdot 15985 = 1598500\text{Н} \approx 1600\text{кН}$; середній радіус валка $r'_{cp} = \frac{r'_1 + r'_2}{2} = \frac{100 + 264}{2} = 182\text{мм} = 0,182\text{м}$; коефіцієнт тертя $f_{TP} = 0,3$; момент прокатки (навантаження) $M_H = 87.36\text{кН} \cdot \text{м}$. Момент навантаження, прикладений до деформуючого металу від трьох валків $M_{H,M} = 62.35\text{кН} \cdot \text{м}$.

Потужність прокатки на трьох валках $P_{PP} = 3 \cdot M_H \cdot \omega'$ при швидкості входу заготовки в кліть V_0 рівна $P_{PP} = 524,5\text{кВт}$. Потужність, прикладена до приводу ротора для зупинки обертання металу $P_{BP} = 431,9\text{кВт}$

Частота обертання ротора і центрального колеса відповідно $\omega_p = 1,1 \frac{\text{об}}{\text{с}}$, $\omega_{\text{ц}} = 1,63 \frac{\text{об}}{\text{с}}$

Зовнішній редуктор з коефіцієнтом механічної передачі $i_k = 1.478$, з'єднаний із двигуном ротора, збільшує його обороти до $1,63 \frac{\text{об}}{\text{с}}$ з метою вирівнювання швидкості двох приводів.

На виході з першої кліті розкат діаметром $\oplus 50\text{мм}$ рухається із швидкістю $V_1 = V_0 \cdot \mu = 0,1 \cdot 9 = 0,9 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ і входить у другу планетарну гвинтову кліть, яка повністю геометрично подібна першій кліті в масштабі 1:3. Зона деформації другої кліті має початковий і кінцевий радіуси $r_0 = 25\text{мм}$, $r_1 = 8.33\text{мм}$. У другій кліті кут схрещування і найкоротша відстань між осями прокатки і валка відповідно рівні $\gamma = 30^\circ$, $d \approx 42\text{мм}$. Частота обертання валків $f' = 8.63 \frac{\text{об}}{\text{с}}$. Метал деформується з витяжкою

$\mu = \left(\frac{r_0}{r_1}\right)^2 = \left(\frac{25}{8.33}\right)^2 = 9$ при схрещеному куті зони деформації $\beta = 6.606^\circ$. Середній

радіус зони деформації $r_{cp} = 16.7 \text{ мм}$, площа контакту металу і валка, як показує практика $S_{\text{конт}} \approx 1780 \text{ мм}^2$, границя текучості гарячого металу $\sigma_T = 100 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$, сила прокатки $F = 178 \text{ кН}$, середній радіус валка $r_{cp} = \frac{r_1 + r_0}{2} = \frac{33.2 + 87.9}{2} = 60.6 \text{ мм} = 0,0606 \text{ м}$, коефіцієнт тертя $f_{TP} = 0,3$, момент прокатки (навантаження) металу від трьох валків $M_H = 3.24 \text{ кН} \cdot \text{м}$. Момент навантаження, прикладений до деформуючого металу від трьох валків $M_{H.M} = 3 \cdot \sigma_T \cdot S_{\text{конт}} \cdot f_{TP} \cdot r_{cp} \cdot \cos \gamma = 3 \cdot 178 \cdot 0.3 \cdot 0.01666 \cdot 0.866 = 2.32 \text{ кН} \cdot \text{м}$. Потужність прокатки на трьох валках $P_{\text{пр}} = 3 \cdot M_H \cdot \omega'$ при швидкості входу заготовки в кліть $V_0 = \omega' c_d \sin \gamma$ рівна $P_{\text{пр}} = 526,87 \text{ кВт}$. Потужність, прикладена до приводу ротора для зупинки обертання металу $P_{\text{вр}} = 433,97 \text{ кВт}$. Частота обертання ротора і центрального колеса відповідно $\omega_p = 29,76 \frac{\text{об}}{\text{с}}$; $\omega_{\text{ц}} = 44 \frac{\text{об}}{\text{с}}$. Зовнішній редуктор з коефіцієнтом механічної передачі $i_K = 1.478$, з'єднаний із двигуном ротора, вирівнює його обороти із двигуном центрального колеса $29.76 \cdot 1.478 = 44 \frac{\text{об}}{\text{с}}$.

Із практики відомо, що на стані 150 Макіївського металургійного заводу чорнова обробка металу в 17-ті клітях проводиться встановленою потужністю електроприводів на один струмок близько 10 Мвт , що в п'ять раз більше пропонованої технології обтиску металу на двох гвинтових клітях. Докажемо цей факт розрахунками.

Витрати на електроенергію визначаємо за формулою:

$$C_e = a \cdot W_{\text{акт}}, \quad (1)$$

де C_e - річні витрати на використану електроенергію, грн. на рік;

a - одноставочний тариф за 1 кВт на годину використаної енергії, для підприємств складає $a=0,82$ грн./кВт·год.;

$W_{\text{акт}}$ - активна енергія, яка використана за рік, кВт·год на рік.

Обсяг активної енергії знайдемо за формулою:

$$W_{\text{акт}} = \bar{P} \cdot N, \quad (2)$$

де \bar{P} - середня активна потужність, кВт;

N - кількість годин роботи в рік.

Енерговитрати, необхідні 17 клітям подовжньої прокатки на деформацію металу при виробництві катанки, складають $P=1490$ кВт. У 2011 році робочими є $t_{\text{роб}}=248$ днів. Робоча зміна триває $t_{\text{зм}}=10$ год. На підставі цих даних можна розрахувати, яку кількість електроенергії споживає чорнова група клітей подовжньої прокатки.

Кількість годин роботи на рік:

$$N = t_{\text{роб}} \cdot t_{\text{зм}} = 248 \cdot 10 = 2480 \frac{\text{год}}{\text{рік}} \quad (3)$$

Тоді обсяг активної енергії по (2) складе:

$$W_{\text{акт1}} = 11490 \cdot 10^3 \cdot 2480 = 28495,2 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}}. \quad (4)$$

Витрати на енергоспоживання клітями подовжньої прокатки визначимо по (1):

$$C_{e1} = 0,82 \cdot 28,5 \cdot 10^6 = 23370000 \frac{\text{грн}}{\text{рік}} \quad (5)$$

Дві планетарні кліті ПГП споживають 2 МВт. Тоді річні витрати електроенергії модернізованої чорнової групи клітей складуть:

$$W_{акт2} = 2 \cdot 10^3 \cdot 2480 = 4,96 \cdot 10^6 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}} \quad (6)$$

Витрати на електроенергію для двох клітей ПГП складають:

$$C_{e2} = 0,82 \cdot 4,96 \cdot 10^6 = 4067200 \frac{\text{грн}}{\text{рік}} \quad (7)$$

Річний економічний ефект від заміни устаткування розрахуємо як:

$$E = C_{e1} - C_{e2} = 23370000 - 4067200 = 19302800 \frac{\text{грн}}{\text{рік}} \quad (8)$$

Таким чином, за рахунок заміни клітей подовжньої прокатки двома планетарними клітями підприємство отримує економію витрат на електроенергію, яка дорівнює 19,3 млн. грн. на рік.

Висновки:

1. Сучасні тенденції розвитку енергозберігаючих технологій в металургії для міні-заводів літійно-прокатного виробництва, вимагають використання нових енергоємних, високопродуктивних методів, які поєднують безперервне лиття з оптимальною безперервною прокаткою, в якій обтиск металу відбувається з максимальною його деформацією за один прохід в одній кліті.

2. В умовах заміни звичайних клітей поздовжньої прокатки на планетарні гвинтові кліті, можна домогтися максимальної деформації металу за прохід в одній кліті. Таким чином одна або дві планетарних гвинтових клітей замінять всі кліті звичайної поздовжньої прокатки чорнової групи.

3. Процес поперечно-гвинтової прокатки у кліті планетарного виконання реалізується через багаторівневу САУ електропривідами валків та корпусу кліті. Єдиним критерієм управління тут може бути мінімум витрати енергії на технологічні операції деформації металу при забезпеченні заданого поздовжнього руху робочого тіла. Система управління повинна автоматичним образом швидко реагувати на «зайві» витрати енергії на додаткову деформацію скручування металу при заданому подовжньому його просуванні уздовж осі прокатки.

4. Розрахунок економічного ефекту від модернізації чорнової групи показав, що для заміни 17 клітей подовжньої прокатки досить лише 2 клітей поперечно-гвинтової прокатки. У результаті цієї заміни і впровадження розробленої САУ підприємство може отримати економію витрат на електроенергію, яка складе 83 відсотка.

Список літератури

1. Э. Бретшнейдер. Планетарно-косовалковый стан – агрегат высокомошной деформации для производства круглого материала и бесшовных труб. /СМС Шлоеманн – Германия
2. Сапожников А.Я., Кривенцов А.М. Мини-комплекс для производства мелкого сорта на основе совмещения винтовой и продольной прокатки - М.: АО "Черметинформация". - 2000. – С.314 - 315.
3. Сапожников А.Я. Мелкосортные станы конструкции ВНИИМЕТМАШ для мини-заводов // Сталь. - 1999. - №6. – С.61 - 62.
4. В.М. Паршин. Сооружение литейно-прокатных комплексов – решение проблемы производства конкурентно способной продукции // «Сталь», №6. 1999. – С.26-28.
5. Кліть тривалкова гвинтова консольна планетарна (Клеть трехвалковая винтовая планетарная). Патент на винахід №88522 /В.И. Литвинов, Н.В. Жукова и др.
6. Кліть гвинтова тривалкова консольна обтискна. (Клеть винтовая трехвалковая консольная обжимная). Заявка на винахід № а 2010 15624 от 24.12.2010 / В.И. Литвинов, Н.В. Жукова и др.

Н. Жукова, Р. Биндюг

Этапы разработки САУ черновой группы клетей в условиях энергосберегающих технологий производства мелкого сорта

В статье рассмотрен энергоемкий технологический процесс мелкосортного производства, в котором совмещены два непрерывных процесса литья и прокатки. Совмещение процессов обеспечивается за счет применения агрегата с высокой степенью деформации за один проход, а именно планетарных трёхвалковых винтовых клетей. Процесс поперечно-винтовой прокатки рассмотрен, как объект управления. Разработана функциональная схема двухуровневой САУ электроприводами валков и корпуса планетарных клетей. Системы нижнего уровня имеют переменную структуру управления с целью реализации режимов совмещения процессов литья и прокатки. Приведён пример конкретного исполнения предложенного оборудования для условий работы проволочного стана 150 Макеевского металлургического завода. Экономические расчёты подтвердили экономию энергозатрат в 5 раз.

N. Zhukova, R. Bindjug

Stages of developing ACS roughing stands in energy saving technologies for small class

In this article the energy-intensive process hoop production, which combines two continuous casting and rolling process. Combined process achieved through the use of the unit with a high degree of deformation in a single pass, namely helical planetary three-roll stands. The process of the helical rolling considered as an object of control. Developed a functional diagram of a two-tier ACS of electric rollers and planetary body stands. The lower level of the system are of variable structure control to implement modes of combination of casting and rolling. An example of a specific implementation of the proposed equipment to the working conditions of wire mill 150 Makeyevka Steel Plant. Economic calculations confirmed the energy savings of 5.

Одержано 14.09.12

УДК 620.4+658.22

П.Г.Плешков, доц., канд. техн. наук, П.Г. Стець, асп.

Кіровоградський національний технічний університет,

Моніторинг енергозберігаючих заходів для вирішення проблеми енергозбереження комунально–побутових споживачів

В статті проведено дослідження потенціалу енергозбереження в секторі комунально-побутових споживачів. Визначено причини низької ефективності теплоенергетичних мереж. Запропоновано алгоритм поступового впровадження комплексу енергозберігаючих заходів з використанням моніторингової системи для контролю ефективності та перевірки на доцільність їх поглиблення. **енергоспоживання, тепlopостачання, енерговитрати, котельні, житлово-комунальний комплекс, модернізація, енергозбереження**

Вступ. Ефективне використання енергії – один із інтегральних показників розвитку економіки, науки і соціокультурного розвитку нації. За цим показником Україна знаходиться у числі тих держав, де існуючі проблеми енергетичної галузі можуть спровокувати серйозну економічну кризу. Історично склалося, що тривалий час економіка України рухалась у напрямку переважного розвитку енергоємних галузей промисловості, що було зумовлено наявністю відповідних ресурсів, розвиненою інфраструктурою та географічно-геологічними умовами. Це спонукало першочергове створення потужного паливно-енергетичного комплексу, основу якого склали теплові електростанції на органічному та ядерному паливі. Як наслідок, на даний час Україна володіє достатніми енергетичними потужностями, але велику їх частку складає застаріле, технічно зношене обладнання та устаткування. Тому проблема енергозабезпечення країни вже переросла в проблему національної безпеки, від вирішення якої залежить можливість подолання багатьох внутрішніх і зовнішніх кризових процесів.

Актуальність теми. На протязі останнього десятиріччя проблеми підвищення ефективності енерговикористання та енергозбереження в цілому загострилися до межі – коли їх вирішення стало одним з головних чинників що впливають на енергетичну безпеку країни. Житловий фонд України – один з найбільших споживачів паливно-енергетичних ресурсів, тому питання його модернізації та реконструкції – є завданням як усіх гілок влади, так і його власників. Надмірне споживання енергії споживачами комунально-побутового сектору зумовлене перш за все застарілістю теплового обладнання і конструкції житлових будівель – що призводить до перевитрат енергії на обігрів приміщень. Значну роль також грає різкий зріст, в останні роки, споживання реактивної потужності в міських мережах – що обумовлено зростанням побутового навантаження зі споживанням реактивної потужності. Також спостерігається

Аналіз останніх досліджень і публікацій Проблеми енергозбереження неодноразово досліджувалися в науковій літературі, як в Україні - так і закордоном,

зокрема в роботах В.П.Розена, А.В. Праховника, Д.Г. Закірова, М.Г. Земляного, І.Н.Карпа, В.О. Баранніка, Р. Bertoldi, В. Atanasiu. Аналітичний огляд літератури по даній тематиці [1-9] дозволяє зробити висновок про необхідність більш глибокого дослідження питання впровадження енергозберігаючих технологій в житлово-комунальну галузь з техніко-технологічної точки зору, та економіко-організаційної складової процесу енергозбереження. Робота [1] висвітлює головні тенденції у державній політиці по відношенню до теплоенергетичної промисловості. В статті [2] пропонуються заходи по підвищенню надійності тепlopостачання, та по зниженню енергоємності виробництва. Робота [3] дозволяє оцінити перспективи розвитку енергоспоживання та шляхи розвитку енергетики в країнах ЄС, дані цього дослідження можна застосувати для порівняння тенденцій розвитку галузі в Україні та закордоном для можливого застосування європейського досвіду в енергозбереженні. В роботі [5] досліджено стан теплоенергетики та головні чинники що його сформували, але недостатньо висвітлено технологічні аспекти модернізації теплових мереж.

Основні матеріали дослідження. Зважаючи на тенденцію росту енергоспоживання, яка зберігається протягом останніх десяти років, можна зробити висновок, що через нетривалий проміжок часу потужностей енергоринку України стане недостатньо не лише для експорту, а й для забезпечення власних потреб. Серед причин що зумовлять такий стан енергоринку можна назвати наступні [1]:

- різкий підйом вартості палива в останні роки;
- відсутність реконструкцій міських електромереж – що в умовах росту споживання призводить до зниження їх надійності і створює додаткові втрати енергії;
- моральна та технічна застарілість генеруючого обладнання, його низька ефективність порівняно із сучасними зразками.

До чинників, що обумовили сучасний стан споживання в житлово-комунальному секторі зокрема, можна віднести[1-2,6,10]:

- загальнодержавна економічна криза;
- низька платоспроможність промислових підприємств і населення;
- законодавчу недосконалість, невідпрацьованість економічного механізму впровадження заходів із підвищення енергоефективності та енергозбереження;
- нестабільність оплати спожитих енергоносіїв;
- недосконалість існуючої тарифної системи.

Найскладнішою, щодо ефективності використання енергії залишається ситуація справ у житлово-комунальному комплексі, де зношені теплові та водопостачальні станції працюють з низьким ККД і здійснюють постачання через такі ж зношені мережі. Внаслідок цього втрати енергії сягають 45-50 .

За винятком відносно нових ТЕЦ Києва та Харкова, на більшості українських ТЕЦ основне устаткування фізично і морально застаріло, потрібні його глибока модернізація або повна заміна - на сьогодні 92,1 % енергоблоків відпрацювали свій розрахунковий ресурс (100 тис. годин), а 63,8 % енергоблоків перетнули визнану у світовій енергетичній практиці межу граничного ресурсу та фізичного зносу (відповідно 170 тис. та 200 тис. годин) і потребують модернізації чи заміни. На теплових електростанціях майже всі енергоблоки перевищили подвійний розрахунковий термін. [2]

У минулому енерговитрати в економіці Радянської України на 25 % перевищували середньосоюзний показник. Переживши енергетичну кризу у 70-ті роки, передові країни світу взяли курс на підвищення енергоефективності. Водночас зменшення енергоємності ВВП склало: у США – 46 %; Японії – 35 %; ЄС – 32 %. СРСР

за цей період відстав ще більше, оскільки зменшення енергомосткості в його економіці склало лише 16 %.[2,3]

Житловий фонд України складає 1031,7 млн м², серед них близько 4,8 млн. м² становлять зношені та аварійні будівлі, 11% житлових будівель вимагають капітального ремонту, а 9% реконструкції[4].

Для вирішення проблем що виникли в теплоенергетиці необхідна реалізація можливостей науково-технічного прогресу в системах тепlopостачання, що має забезпечити вирішення таких проблем їх технологічного розвитку, як:

- подальший розвиток виробництва, передача та розподіл теплової енергії на базі ефективного використання паливних ресурсів і можливостей вітчизняного енергомашинобудування;

- впровадження теплоенергетичного і електротехнічного обладнання, яке відповідає вимогам надійності, ефективності та екологічності;

- забезпечення комплексної автоматизації технологічних процесів виробництва, транспортування і розподілу теплової енергії.

- створення інформаційно-керуючих систем тепlopостачання.

Як резерв економії енергоресурсів житлового фонду слід розглядати: техніко-технологічні заходи через заміну застарілих технологій виробництва житлово-комунальних послуг, модернізацію і реконструкцію житлового фонду; організаційні – формування системи енергообліку та регулювання енергоспоживання, утворення товариств співвласників багатоквартирного будинку; економічні – застосування гнучких прогресивних тарифів, створення конкурентного середовища за рахунок розвитку різноманітних форм власності, впровадження договірних форм відносин між господарюючими суб'єктами на підставі конкурсного відбору.

Базуючись на дослідженнях [1,5,6] розглянемо варіанти заходів які можна застосувати для виведення теплоенергетичної галузі України з кризового стану:

- освоєння виробництва високоефективних котлів та обладнання нового покоління на заводах оборонної промисловості;

- розробку типових проектів повністю автоматизованих з високоефективними котлами, утилізаторами тепла, малогабаритною установкою для приготування води;

- розробку модульних штампованих конденсаційних котлів з майже 100 % ККД;

- теплових насосів, модульних котелень, що встановлюються на дахах будинків;

- виробництва емальованих труб на підприємствах комунальної теплоенергетики;

- виробництва приладів обліку та регулювання тепла.

Умовно енергозберігаючі заходи можна розподілити на чотири групи[8]:

- заходи з обліку та контролю енергоносіїв;

- об'ємно-планувальні і будівельно-конструктивні заходи щодо енергозбереження;

- удосконалення систем енергопостачання та їхніх елементів;

- утилізація природного тепла і холоду, використання вторинних ресурсів.

Заходи економіко-організаційного характеру можна застосовувати на різних рівнях:

- суб'єктах обласного підпорядкування;

- організацій житлово-комунального обслуговування;

- товариств співвласників житла;

- організацій бюджетної сфери.

Під цільовим об'єктом впровадження системи енергозберігаючих заходів слід розуміти будівлю, або групу будівель де планується реалізація заходів. Враховуючи сучасний стан підприємств комунального господарства, близьку до кризової економічну ситуацію – особливу роль у розробці системи енергозберігаючих заходів слід надавати енергетичному аудиту[8]. Оскільки техніко-технологічні заходи здебільшого мають значну вартість, наступним кроком – після проведення енергетичного аудиту слід застосувати організаційні енергозберігаючі заходи. Для контролю за ефективністю їх функціонування, та перевірки на доцільність використання техніко-технологічних заходів слід застосувати моніторингову систему. Алгоритм поетапного впровадження комплексу енергозберігаючих заходів з використанням моніторингової системи зображено на рис. 1.

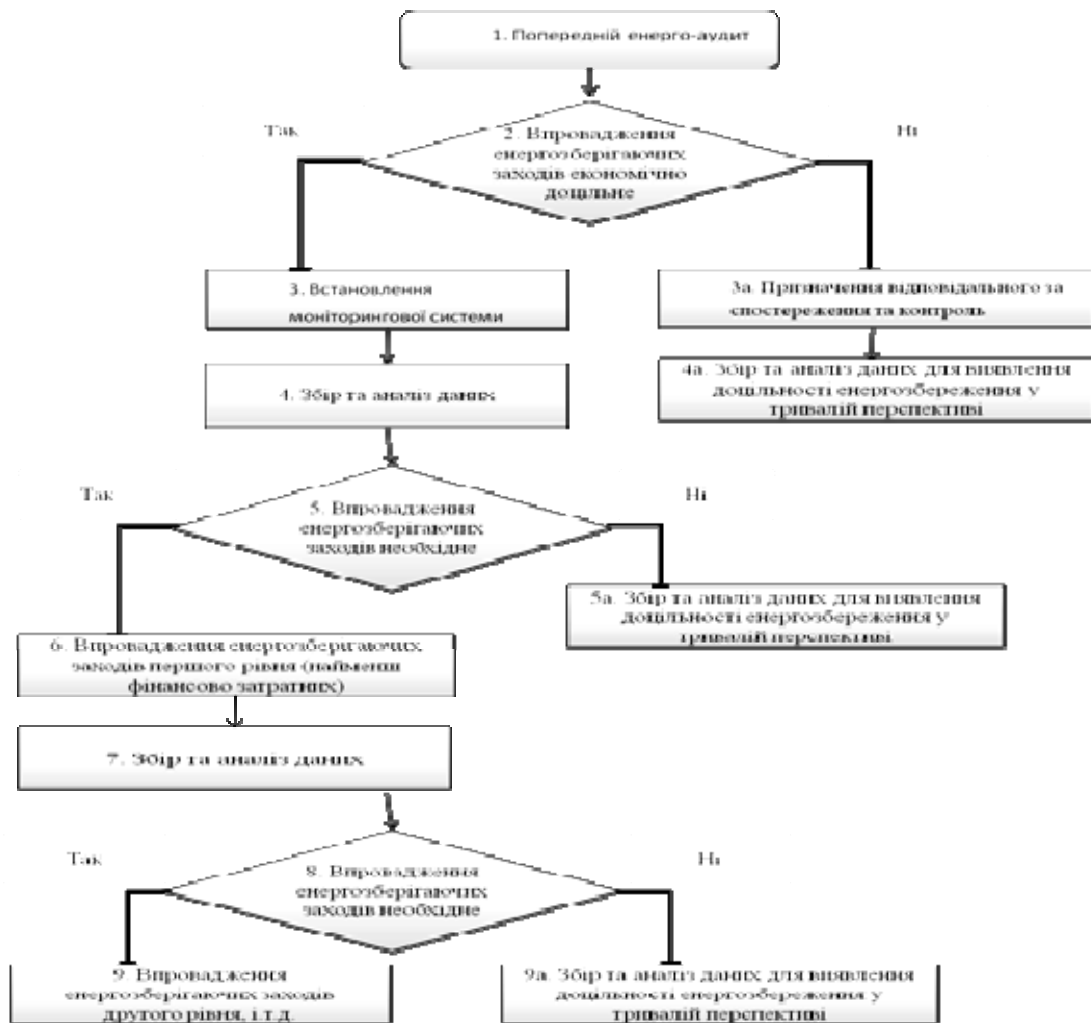


Рисунок 1 – Алгоритм поетапного впровадження комплексу енергозберігаючих заходів з використанням моніторингової системи

При обґрунтуванні і виборі складу і структури моніторингової системи (СМ) важливого значення набуває вибір і розробка інформаційних комп'ютерних технологій отримання, збору, передачі, зберігання, обробки і подання інформації. Перелік конкретних задач і робіт, які виконуються СМ, визначається її призначенням[9]. В загальному випадку результат моніторингу енергоспоживання можна виразити наступним чином:

$$Rm = f(Q, Q_b, Ef, If), \quad (1)$$

де Rm - результат моніторингу виражений через число, матрицю або «нечітку величину»;

Q - кількість фактично спожитих паливних енергоресурсів;

Q_b - базовий рівень споживання паливних енергоресурсів;

Ef - множина зовнішніх факторів, що впливають на споживання ПЕР;

If - множина внутрішніх факторів, що впливають на споживання ПЕР.

В залежності від складності об'єкту моніторингу і поставлених задач, набір параметрів може змінюватись. Як зазначено автором [9] функція (1) може бути реалізована за допомогою різноманітних математичних апаратів.

Відповідно до результатів моніторингу слід прийняти рішення про поглиблення енергозберігаючих заходів в процесі яких слід акцентувати увагу на виявлених моніторинговою системою найменш енергетично ефективних складових цільового об'єкта.

Дослідження [8] та [10] свідчать, що найчастіше такими «слабкими ланками» є теплоізоляція будівлі та побутові споживачі реактивної потужності кількість та значимість котрих в останні роки значно збільшилась.

Список літератури

1. Єрмілов С.Ф, Геєць В.М, Ященко Ю.П, Григоровський В.В, Лір В.Е та ін. Енергоефективність як ресурс інноваційного розвитку: Національна доповідь про стан та перспективи реалізації державної політики енергоефективності у 2008 році. – К.: НАЕР, 2009. – 93с.
2. Закиров Д.Г. О путях решения проблем надежности и экономичности энергоснабжения потребителей, снижения энергоемкости производства: [Энергетика. Эффективность. Энергосбережение] // Энергетик.- 2006.- № 9.- С. 9-10.
3. P. Bertoldi, B. Atanasiu :Electricity Consumption and Efficiency Trends in the Enlarged European Union- Status report. 2006:- Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities
4. Маляренко В.А., Орлова Н.А. Состояние и пути санации жилого фонда прошлых лет. // Энергетика,енергозбереження, енергоаудит. – 2011.- №9 (91). - С.9-14.
5. Шевцов А.І, Бараннік В.О, Земляний М.Г. Стан та перспективи реформування системи теплозабезпечення в Україні.– Дніпропетровськ.– 2010.
6. Карп И.Н. Энергосбережение в Украине: проблемы и пути решения // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2004.-№4. - С.3-13.
7. Маляренко В.А. Основы теплофизики зданий та енергозбереження. – Харків: Видавництво «САГА», 2006. – 484 с.
8. Бабаєв В.М, Маляренко В.А, Орлова Н.О. Формування і реалізація політики підвищення ефективності комунальної енергетики // Энергетика,енергозбереження, енергоаудит. – 2012.-№4 (98). -С.9-21.
9. Розен В.П, Іншеков Є.М, Литвин В.І. Система моніторингу енергозберігаючих проектів // Реконструкція житла. – 2009.- №11. - С.179-186.
10. Кузьмин В.В, Кирисов И.Г, Малинин С.В Анализ средств компенсации реактивной мощности в электрических сетях Украины // Энергетика,енергозбереження, енергоаудит. – 2012.-№5 (99). - С.45-50.

П.Плешков, П.Стець

Мониторинг энергосберегающих мероприятий для решения проблемы энергосбережения коммунально-бытовых потребителей

В статье проведено исследование потенциала энергосбережения в жилищно-коммунальном хозяйстве Украины. Определены причины низкой эффективности теплоэнергетических сетей. Предложен алгоритм постепенного внедрения комплекса мероприятий энергосбережения с использованием мониторинговой системы для контроля эффективности и проверки на целесообразность их усложнения.

P.Pleshkov, P.Stetc

Monitoring of energysaving measures for the decision energy-savings problem of living sector users

In the article research of potential of energy-savings is conducted in housing and communal services of Ukraine. Reasons of low efficiency of heating networks are certain. The algorithm of gradual introduction of complex of energykeeping measures is offered with the use of the monitoring system for control of efficiency and checking for expediency of their improving.

Одержано 20.09.12

УДК 621.313.13

А.В. Калініченко, асп., А.В. Некрасов, доц., канд. техн. наук

Кременчуцький національний університет ім. М. Остроградського

Визначення надійності системи керування вентильно-індукторного двигуна

В статті описано методику розрахунку надійності електронної системи керування вентильно-індукторного двигуна. Обґрунтовано вибір показників інтенсивності безвідмовної роботи електронних компонентів, які входять до складу системи, та необхідність окремого розрахунку інтенсивності безвідмовної роботи електронних ключів, залежно від експлуатаційних факторів і режиму навантаження. Наведено основні закони розподілу відмов, які характерні для електронної апаратури.

вентильно-індукторний двигун, система керування, інтенсивність відмов, електронний ключ, ймовірність безвідмовної роботи, вірогідність відмов, середній час напрацювання на відмову

Вентильно-індукторний двигун (ВІД) є відносно новим типом електромеханічних перетворювачів. Він зарекомендував себе як надійна, високотехнологічна система приводу, яка має широкий діапазон регулювання частоти обертання, високі енергетичні показники і здатність працювати у тяжких умовах і агресивних середовищах. Проте, очевидна простота, висока надійність і технологічність його є досить сумнівними. Це пояснюється тим, що для забезпечення якісного регулювання моменту і швидкості ВІД необхідна складна високопродуктивна електронна система керування (СК) [1].

СК ВІД являє собою блок електронної апаратури (ЕА), який складається з інших блоків, вузлів та елементів. Будемо розглядати СК ВІД як сукупність незалежних елементів, з'єднаних послідовно, кожен з яких є невідновлюваним, тобто працює до першої відмови.

Основними блоками які складають СК ВІД є блок керування (БК) та комутатор. БК формує функцію керування двигуна в залежності від задаючого сигналу і сигналів зворотного зв'язку, яку потім подає на комутатор. БК може бути представлений як підсилювач-регулятор лінійного, релейного або імпульсного типу, а може бути тільки регулятором, який впливає на комутатор сигналами малої потужності [2]. Комутатор здійснює комутацію обмоток ВІД.

Опишемо методику, що використовується для розрахунку надійності СК ВІД [3].

На першому етапі електронна схема розбивається на m однотипних блоків по n однотипних деталей і елементів.

P.Pleshkov, P.Stetc

Monitoring of energysaving measures for the decision energy-savings problem of living sector users

In the article research of potential of energy-savings is conducted in housing and communal services of Ukraine. Reasons of low efficiency of heating networks are certain. The algorithm of gradual introduction of complex of energykeeping measures is offered with the use of the monitoring system for control of efficiency and checking for expediency of their improving.

Одержано 20.09.12

УДК 621.313.13

А.В. Калініченко, асп., А.В. Некрасов, доц., канд. техн. наук

Кременчуцький національний університет ім. М. Остроградського

Визначення надійності системи керування вентильно-індукторного двигуна

В статті описано методику розрахунку надійності електронної системи керування вентильно-індукторного двигуна. Обґрунтовано вибір показників інтенсивності безвідмовної роботи електронних компонентів, які входять до складу системи, та необхідність окремого розрахунку інтенсивності безвідмовної роботи електронних ключів, залежно від експлуатаційних факторів і режиму навантаження. Наведено основні закони розподілу відмов, які характерні для електронної апаратури.

вентильно-індукторний двигун, система керування, інтенсивність відмов, електронний ключ, ймовірність безвідмовної роботи, вірогідність відмов, середній час напрацювання на відмову

Вентильно-індукторний двигун (ВІД) є відносно новим типом електромеханічних перетворювачів. Він зарекомендував себе як надійна, високотехнологічна система приводу, яка має широкий діапазон регулювання частоти обертання, високі енергетичні показники і здатність працювати у тяжких умовах і агресивних середовищах. Проте, очевидна простота, висока надійність і технологічність його є досить сумнівними. Це пояснюється тим, що для забезпечення якісного регулювання моменту і швидкості ВІД необхідна складна високопродуктивна електронна система керування (СК) [1].

СК ВІД являє собою блок електронної апаратури (ЕА), який складається з інших блоків, вузлів та елементів. Будемо розглядати СК ВІД як сукупність незалежних елементів, з'єднаних послідовно, кожен з яких є невідновлюваним, тобто працює до першої відмови.

Основними блоками які складають СК ВІД є блок керування (БК) та комутатор. БК формує функцію керування двигуна в залежності від задаючого сигналу і сигналів зворотного зв'язку, яку потім подає на комутатор. БК може бути представлений як підсилювач-регулятор лінійного, релейного або імпульсного типу, а може бути тільки регулятором, який впливає на комутатор сигналами малої потужності [2]. Комутатор здійснює комутацію обмоток ВІД.

Опишемо методику, що використовується для розрахунку надійності СК ВІД [3].

На першому етапі електронна схема розбивається на m однотипних блоків по n однотипних деталей і елементів.

Далі визначаються величини інтенсивності відмов λ_i загальні для однотипних груп при різних граничних умовах експлуатації.

До складу БК може входити велика кількість вузлів і електричних з'єднань, радіоелементів, а також інтегральні мікросхеми. Визначення інтенсивності відмов кожного з них, враховуючи електричне навантаження, температуру, механічні навантаження та умови навколишнього середовища, є досить складним завданням. У такому випадку інтенсивність відмов слід визначати для груп однотипних елементів за номінальними даними, які наведено у довідниках.

Особливий інтерес представляє розрахунок імовірності безвідмовної роботи електронних ключів, що входять до складу комутатора. Ця ймовірність залежить від навантаження та особливостей режиму роботи ВІД. Виходячи з типу напівпровідникових елементів, комутатор може бути побудований як на повністю керованих елементах (транзистори, ГТО-тиристри), так і на не повністю керованих елементах (звичайні тиристри).

Визначимо інтенсивність відмов напівпровідникових ключів, враховуючи їх особливості роботи у СК ВІД [4].

Експлуатаційна інтенсивність відмов λ_E для однотипних груп електронних компонентів визначається із математичної моделі

$$\lambda_E = \lambda_H \prod_{i=1}^m K_i, \quad (1)$$

де λ_H – номінальна інтенсивність відмов елементів групи;

K_i – коефіцієнт, який враховує зміни експлуатаційної інтенсивності відмов, залежно від різних факторів;

m – число факторів, які враховуються.

Для біполярних і польових транзисторів і тиристорів показники λ_E розраховують наступним чином

$$\begin{aligned} \lambda_{E.mр.б} &= \lambda_H K_P K_\Phi K_D K_U K_E K_\Pi; \\ \lambda_{E.mр.п} &= \lambda_H K_P K_\Phi K_E K_\Pi; \\ \lambda_{E.mр} &= \lambda_H K_P K_D K_E K_\Pi. \end{aligned} \quad (2)$$

Визначимо окремо кожен коефіцієнт для системи рівнянь (2).

Значення номінальної інтенсивності відмов λ_H для даної групи елементів за нормальних умов експлуатації та при коефіцієнті електричного навантаження $K_H=1$ приведені в табл.1.

Таблиця 1 – Базові інтенсивності відмов електронних елементів

Група елементів	$\lambda_H, \times 10^{-6}$ 1/год
Транзистори біполярні кремнієві	0,044
Транзистори польові кремнієві	0,065
арсенідгалієві	0,578
Тиристри кремнієві	0,2

Коефіцієнт режиму роботи K_P залежить від K_H і температури корпусу елемента та розраховується згідно математичної моделі

$$K_p = A \exp \left[\frac{N_T}{273 + t_n + \Delta t K_H} + \left(\frac{273 + t_n + \Delta t K_H}{T_M} \right)^L \right], \quad (3)$$

де A , N_T , T_M , L , Δt – константи, які визначаються за табл.2;

t_n – температура навколишнього середовища, °С.

Коефіцієнт K_H представляє собою відношення фактичного навантаження на досліджуваному схемному елементі $F_{роб}$ до номінального або граничного навантаження на цьому ж елементі $F_{ном}$

$$K_H = \frac{F_{роб}}{F_{ном}}. \quad (4)$$

Для визначення K_H транзисторів у якості навантажувальної характеристики використовують розсіювану потужність, для тиристорів – середній прямий струм та розсіювану потужність.

Таблиця 2 – Константи моделі (3)

Група елементів	A	N_T	T_M	L	Δt
Транзистори біполярні і польові	5,2	-1162	448	13,8	150
Тиристори	37,2727	-2050	448	9,6	150

В табл.3 наведено значення коефіцієнта K_ϕ для транзисторів, які застосовуються у комутаторах ВІД.

Таблиця 3 – Значення коефіцієнта K_ϕ , в залежності від функціонального режиму роботи приладу

Група елементів	Функціональний режим роботи	K_ϕ
Транзистори біполярні	перемикаючий	0,7
Транзистори польові кремнієві арсенідгалієві	перемикаючий	0,7 7,5

Значення коефіцієнта K_D визначається, в залежності від максимально допустимого навантаження, за даними табл.4.

Таблиця 4 – Значення коефіцієнта K_D

Група елементів	Навантаження	Значення навантаження	K_D
Біполярні транзистори	Максимально допустима розсіювана потужність P_{max} , Вт	≤ 1	0,5
		$>1 \leq 5$	0,8
		$>5 \leq 20$	1,0
		$>20 \leq 50$	1,3
		$>50 \leq 200$	2,5
Тиристори	Максимально допустимий середній прямий струм $I_{пр.ср.max}$	≤ 1	1,0
		$>1 \leq 5$	3,0
		$>5 \leq 25$	6,0
		$>25 \leq 50$	10,0

Коефіцієнт K_U залежить від відношення робочої напруги до максимально допустимої. Для біполярних транзисторів значення K_U , враховуючи коефіцієнт

навантаження за зворотною напругою $K_H(U)$ (напругою на колекторі), наведено в табл.5.

Таблиця 5 – Значення коефіцієнта K_U для біполярних транзисторів

Значення коефіцієнту $K_H(U)$	Значення, або модель розрахунку K_U
$0 < K_H(U) \leq 0,5$	0,5
$0,5 < K_H(U) \leq 1,0$	$K_U = 1 / [2,42 - 2,09K_H(U)]$

Коефіцієнт експлуатації K_E залежить від класу ЕА за умовами її експлуатації, які визначаються відповідно до ГОСТ РВ 20.39.304-98. Такі класи мають наступні позначення:

а) Z_p – стаціонарна наземна апаратура, яка експлуатується в лабораторних умовах, капітальних житлових приміщеннях та приміщеннях зі штучно регульованими кліматичними умовами;

б) $Z_{чр}$ – стаціонарна наземна апаратура, яка експлуатується у нерегулярно опалюваних, промислових та підземних приміщеннях з частковим регулюванням кліматичних умов;

в) $Z_{ВП}$ – стаціонарна наземна апаратура, яка експлуатується під навісом або у неопалюваних приміщеннях, де кліматичні умови близькі до умов відкритого повітря;

г) $Z_{ПН}$ – переносна наземна апаратура, яка експлуатується у режимі стаціонарного застосування у будь-яких приміщеннях або під навісом, за кліматичних умов експлуатації груп Z_p , $Z_{чр}$ і $Z_{ВП}$;

д) Z_M – мобільна наземна апаратура, яка експлуатується у будь-яких приміщеннях, у кузовах або причепах автомобілів, палатках або на відкритому повітрі;

е) $Z_{МД}$ – мобільна наземна апаратура, яка експлуатується на залізничному транспорті, у кузовах і салонах автомобілів та інших транспортних засобів;

ж) $B_{СК}$ – апаратура вантажних і пасажирських літаків, яка експлуатується у відсіках, де знаходяться люди.

Відповідно до класифікації електронної апаратури за умовами експлуатації, із табл.6 обирається значення коефіцієнта K_E .

Таблиця 6 – Значення коефіцієнта K_E

Група елементів	Клас апаратури в залежності від умов експлуатації						
	Z_p	$Z_{чр}$	$Z_{ВП}$	$Z_{ПН}$	Z_M	$Z_{МД}$	$B_{СК}$
Транзистори біполярні	1	1,2	1,5	2	4	5	4
Транзистори польові, тиристоры	1	1,2	1,5	1,5	1,7	2	3

Коефіцієнт прийомки $K_{П}$ залежить від ступеня жорсткості вимог щодо якості та правил прийомки елементів в умовах промисловості. Він враховує наступні види прийомки в умовах виробництва:

а) прийомка «1» – елементи масового застосування;

б) прийомка «3» – елементи за замовленням міністерств і відомств;

в) прийомка «5» – елементи загального військового застосування;

г) прийомка «7» – елементи особливої стабільності, які виготовляються малими партіями;

д) прийомка «9» – елементи особливої стабільності і підвищеної надійності;

е) комерційний або невідомий рівень якості.

Усереднені значення коефіцієнта $K_{П}$ визначаються, в залежності від виду прийомки, за даними табл.7.

Таблиця 7 – Значення коефіцієнта K_{II}

Група елементів	Значення K_{II} для видів прийомки						
	Невідомий вид прийомки	«1»		«3»	«5»	«7»	«9»
		пластмасові корпуси	-				
Транзистори: біполярні, Si польові, одноперехідні	10	8	5,5	2,4	1	0,7	0,35
Транзистори арсенід галієві	10	-	5	2	1	0,5	0,35
Транзистори: низькочастотні малошумні, Si польові	10	-	5	2	1	0,5	0,35
Тиристори Si	10	8	5,5	2,4	1	0,7	0,2

На наступному кроці розраховується середня інтенсивність відмов пристрою λ для електронного вузла, який складається із кількох деталей і елементів [2]

$$\lambda = \sum_{i=1}^m \lambda_i n_i, \quad (5)$$

де λ_i , n_i – інтенсивність відмов кожного з елементів та число однотипних елементів i -ї групи відповідно.

Далі визначається ймовірність безвідмовної роботи $P(t)$ і ймовірність відмов $Q(t)$ протягом часу T_p , що являє собою ресурс роботи пристрою, а також розраховується середній час напрацювання на відмову T_{cp} , в залежності від функції розподілу відмов.

Відмови в роботі ЕА мають випадковий характер і описуються різними законами розподілу за часом t . Основними законами розподілу відмов ЕА [5] є розподіли Вейбула, експоненціальний, Релея та Пуассона.

Розподілу Вейбула досить добре підпорядковуються відмови в ЕА, що містить велику кількість однотипних невідновлюваних об'єктів. Основні параметри надійності, такі як імовірність безвідмовної роботи $P(t)$, частота відмов $f(t)$, середній наробіток на відмову T_{cp} , розраховуються наступним чином [5, 6]

$$\begin{aligned} P(t) &= \exp(-\lambda_0 t^k); \\ f(t) &= -P'(t) = \lambda_0 k t^{k-1} \exp(-\lambda_0 t^k); \\ T_{cp} &= \int_0^{\infty} P(t) dt = \int_0^{\infty} \exp(-\lambda_0 t^k) dt = \lambda_0^{-1/k} \Gamma(1/k + 1), \end{aligned} \quad (6)$$

де $\Gamma(1/k+1)$ – гама-функція, значення якої наведені у спеціальних таблицях [6];

λ_0 – коефіцієнт масштабу;

k – коефіцієнт форми.

Інтенсивність відмов $\lambda(t)$ пов'язана з параметрами розподілу (λ_0 , k) та розраховується за формулою [6]

$$\lambda(t) = f(t) / P(t) = \lambda_0 k t^{k-1}. \quad (7)$$

Експоненціальний розподіл є окремим випадком розподілу Вейбула (при $k=1$). Він виділяється серед інших розподілів властивістю «відсутності пам'яті». Це означає, що пристрій, який працював протягом часу t , має такий же розподіл, як і новий, який тільки що розпочав роботу [7]. Із цього випливає, що інтенсивність відмов є величиною

постійною ($\lambda = \text{const}$). Основні параметри надійності при такому розподілі розраховуються за формулами [5, 6]

$$\begin{aligned} P(t) &= \exp(-\lambda t); \\ f(t) &= \lambda \exp(-\lambda t); \\ T_{cp} &= \int_0^{\infty} \exp(-\lambda t) dt = 1/\lambda. \end{aligned} \quad (8)$$

Розподіл Пуассона дозволяє обчислити ймовірність виникнення числа відмов протягом певного проміжку часу. Такий розподіл слід застосовувати при тривалій роботі ЕА для планування її ремонту.

Ймовірність безвідмовної роботи за час t знаходять з виразу [5]

$$P_0 = \exp(-\lambda t). \quad (9)$$

Ймовірність виникнення числа відмов i за той же час

$$P_i = \lambda^i t^i \exp(-\lambda t) / i!. \quad (10)$$

Для описання надійності ЕА і її складових компонентів, з явно вираженими ознаками старіння і зношення, використовують розподіл Релея. Основні параметри надійності розраховуються за формулами [5, 6]

$$\begin{aligned} P(t) &= \exp(-t^2 / 2\sigma_1^2); \\ f(t) &= t / \sigma_1^2 \exp(-t^2 / 2\sigma_1^2); \\ T_{cp} &= \sigma_1 \sqrt{\pi/2}, \end{aligned} \quad (11)$$

де $\sigma_1 = \sqrt{t/\lambda}$ – параметр розподілу Релея.

Розроблена методика дозволяє оцінювати надійність електронної СК ВІД враховуючи особливості конструкції, електричне навантаження та кліматичні фактори. В залежності від поставленого завдання, враховуючи закони розподілу відмов, які характерні для ЕА, можна оцінити:

- 1) основні показники надійності СК ВІД, яка містить велику кількість однотипних невідновлюваних компонентів;
- 2) ймовірність виникнення числа відмов протягом певного часу;
- 3) надійність системи з явновираженими ознаками старіння і зношення.

Список літератури

1. Козаченко А., Анучин А., Дроздов А., Жарков А. Цифровое векторное управление вентиляно-индукторными двигателями с независимым возбуждением // Компоненты и технологии. № 8. 2004.
2. Овчинников И.Е. Вентильные электрические двигатели и привод на их основе (малая и средняя мощность) / И.Е. Овчинников: Курс лекций. – СПб.: КОРОНА-Век, 2006. – 336 с.
3. Шишмарёв В. Ю. Надёжность технических систем: учеб. [для студ. высш. учеб. завед.] / Шишмарёв В. Ю. – М. : Издательский центр «Академия», 2010. – 304 с.
4. Боровиков С. М. Расчёт показателей надёжности радиоэлектронных средств: учеб.-метод. пособие / Боровиков С. М. и др. – Минск : БГУИР, 2010. – 68 с.
5. Билибин К. И. Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры: Учеб. для вузов / Билибин К. И., Власов А. И., Журавлёва Л. В.; отв. ред. В. А. Шахнова. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э.Баумана, 2002. – 528 с.
6. Ермолин Н. П. Надёжность электрических машин / Ермолин Н. П., Жерихин И. П. – Л. : Энергия, 1976. – 248 с.

7. Половко А. М. Основы теории надёжности / Половко А. М., Гуров С. В. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб. : БХВ-Петербург, 2006. – 704 с.

А. Калиниченко, А. Некрасов

Определение надежности системы управления вентильно-индукторного двигателя

В статье описано методику расчета надежности электронной системы управления вентильно-индукторного двигателя. Обосновано выбор показателей интенсивности безотказной работы электронных компонентов, которые входят в состав системы, и необходимость отдельного расчета интенсивности работы электронных ключей, в зависимости от эксплуатационных факторов и режима нагрузки. Приведены основные законы распределения отказов, которые характерны для электронной аппаратуры.

A. Kalinichenko, A. Nekrasov

Definition of control system reliability switched reluctance motor

In article are described the methodology for calculating the reliability of electronic control of switched reluctance motor. Justify the choice of intensity reliable operation of electronic components, which are part of the system, and the need for a separate calculation of the intensity of the electronic keys, depending on operational factors and load conditions. The basic laws of distribution of failures, that are characteristic of the electronic equipment, were submitted.

Одержано 18.09.12

УДК 621.311.004

А.А. Колб, доц., канд. техн. наук

Государственное ВУЗ" Национальный горный университет"

Объединение параллельных и последовательных активных фильтров и способы управления ими

Выполнен анализ компоновки параллельных и последовательных активных фильтров и способов управления ими. Рассмотренные фильтры, обладая высоким быстродействием, позволяют эффективно управлять качеством электроэнергии при искаженном напряжении сети и нелинейных потребителях с динамической нагрузкой.

активный фильтр, качество электроэнергии, высшие гармоники

Введение. Широкое использование нелинейных и несимметричных потребителей, включающих мощные управляемые и диодные выпрямители, регуляторы напряжения, мощные электрические реле и сварочное оборудование требует разработки и внедрения систем коррекции формы кривых тока и напряжения и поддержания его стабильности и симметрии.

Один из перспективных методов решения указанной проблемы является применение параллельных и шунтовых (последовательных) активных фильтров (ПАФ, ШАФ). При этом возможно их отдельное и совместное использование.

© А.А. Колб, 2012

7. Половко А. М. Основы теории надёжности / Половко А. М., Гуров С. В. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб. : БХВ-Петербург, 2006. – 704 с.

А. Калиниченко, А. Некрасов

Определение надежности системы управления вентильно-индукторного двигателя

В статье описано методику расчета надежности электронной системы управления вентильно-индукторного двигателя. Обосновано выбор показателей интенсивности безотказной работы электронных компонентов, которые входят в состав системы, и необходимость отдельного расчета интенсивности работы электронных ключей, в зависимости от эксплуатационных факторов и режима нагрузки. Приведены основные законы распределения отказов, которые характерны для электронной аппаратуры.

A. Kalinichenko, A. Nekrasov

Definition of control system reliability switched reluctance motor

In article are described the methodology for calculating the reliability of electronic control of switched reluctance motor. Justify the choice of intensity reliable operation of electronic components, which are part of the system, and the need for a separate calculation of the intensity of the electronic keys, depending on operational factors and load conditions. The basic laws of distribution of failures, that are characteristic of the electronic equipment, were submitted.

Одержано 18.09.12

УДК 621.311.004

А.А. Колб, доц., канд. техн. наук

Государственное ВУЗ" Национальный горный университет"

Объединение параллельных и последовательных активных фильтров и способы управления ими

Выполнен анализ компоновки параллельных и последовательных активных фильтров и способов управления ими. Рассмотренные фильтры, обладая высоким быстродействием, позволяют эффективно управлять качеством электроэнергии при искаженном напряжении сети и нелинейных потребителях с динамической нагрузкой.

активный фильтр, качество электроэнергии, высшие гармоники

Введение. Широкое использование нелинейных и несимметричных потребителей, включающих мощные управляемые и диодные выпрямители, регуляторы напряжения, мощные электрические реле и сварочное оборудование требует разработки и внедрения систем коррекции формы кривых тока и напряжения и поддержания его стабильности и симметрии.

Один из перспективных методов решения указанной проблемы является применение параллельных и шунтовых (последовательных) активных фильтров (ПАФ, ШАФ). При этом возможно их раздельное и совместное использование.

© А.А. Колб, 2012

Если на объединенный последовательно-параллельный фильтр возложить еще и регулирование величины и знака реактивной мощности и симметрирование трехфазной нагрузки, то можно поддерживать в сети стабильное синусоидальное напряжение с требуемым значением $\cos\varphi$.

Целью работы является анализ компоновки параллельных и последовательных активных фильтров и способов управления ими.

Материалы и результаты исследования. Компенсация искажений напряжений и токов в сети основана на использовании управляемых последовательного источника напряжения на базе трансформатора T_r (рис 1, а) или параллельного источника тока с помощью ПАФ, реализованного на основе АИН со свойствами источника тока. Причем вносимые ими искажения должны находиться в противофазе с имеющимися искажениями напряжения и тока сети и компенсировать их.

Последовательный активный фильтр представляет собой управляемый генератор напряжения и является эффективным средством компенсации колебаний и несимметрии напряжения, а также фильтрации высших гармоник напряжения сети. Если, например, напряжение сети несинусоидально и как показано на рис. 1,а условно содержит 5-ю гармонику, то напряжение источника компенсирующего напряжения U_k должно находиться в противофазе с указанной гармоникой (рис. 1,а). В общем случае компенсирующее напряжение должно повторять в противофазе разность мгновенного значения напряжения сети и ее первой гармоники.

Параллельный активный фильтр является регулируемым источником тока и предназначен для фильтрации высших гармоник тока, симметрирования трехфазной нагрузки, а также регулирование величины и знака реактивной мощности сдвига первых гармоник. Поэтому место подключения ПАФ – ближе к источнику искажений. Если, например, нагрузкой является трехфазный мостовой преобразователь, то при значительной индуктивности в цепи выпрямленного тока из сети потребляется ток практически прямоугольной формы (рис. 1,б). При этом ПАФ должен генерировать в сеть ток в противофазе, равный разности мгновенного тока сети и его первой гармоники (рис. 1,б).

Последовательный и параллельный активные фильтры (рис. 2) выполняются на базе АИН с высокой частотой коммутации ключей, что позволяет с высокой точностью воспроизводить достаточно сложные формы кривых задания тока или напряжения компенсации, путем аппроксимации их средними значениями на каждом интервале коммутации. В соответствии с теорией Котельникова для компенсации тока сети всех гармоник входного тока трехфазного мостового выпрямителя вплоть, например, до 49-й гармоники, относительная величина которой в спектре составляет примерно 2%, необходима частота коммутации ключей инвертора 5 кГц, что вполне допустимо для современных IGBT транзисторов, допускающих частоту коммутации более 20 кГц.

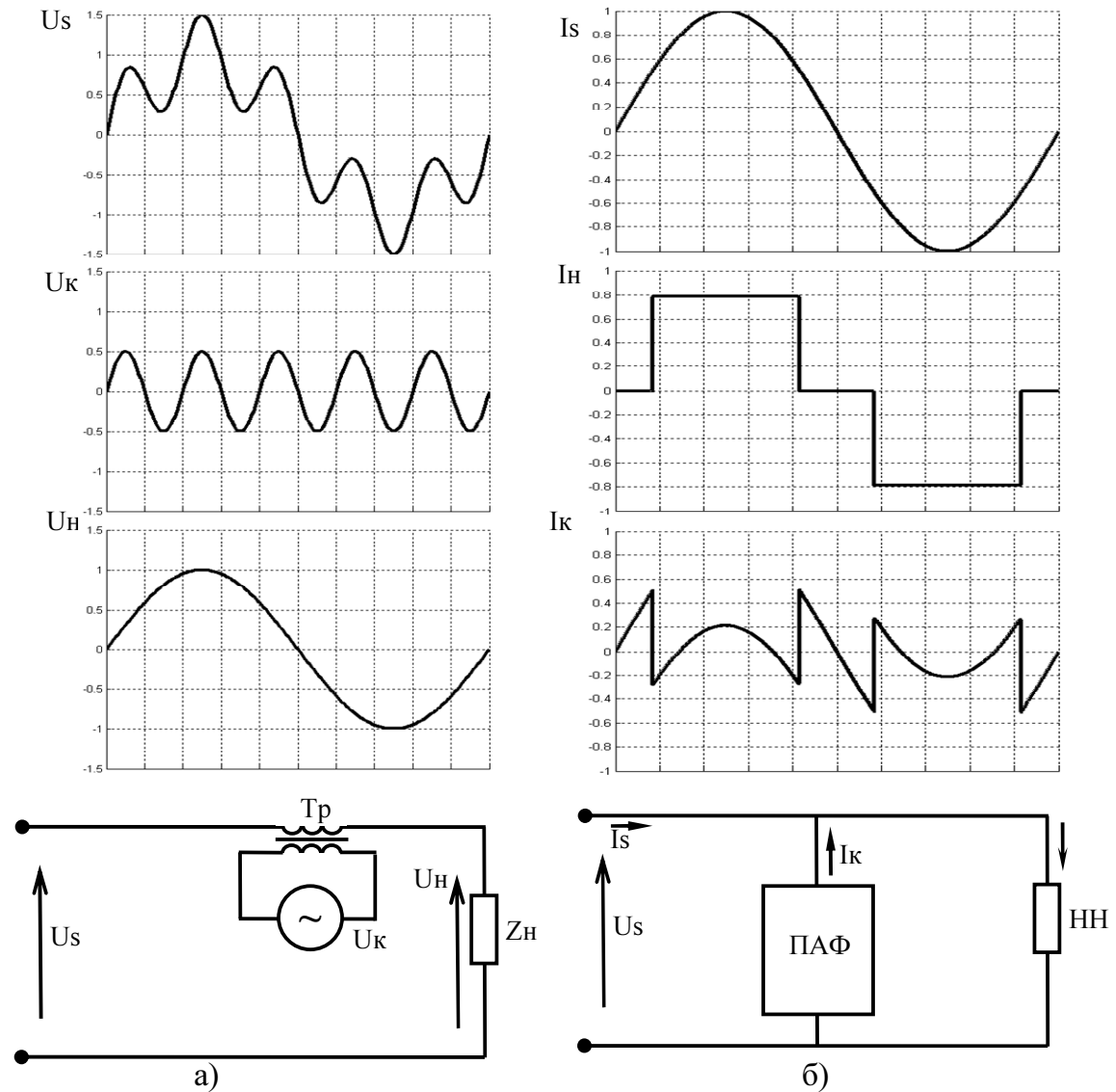


Рисунок 1 – Шунтовой (последовательный) (а) и параллельный (б) активные фильтры (ШАФ, ПАФ)

Перспективним напрямком є спільне використання послідовного і паралельного активних фільтрів (рис. 3). Застосування в послідовному фільтрі вихідного трансформатора дозволяє об'єднати їх цепи в звені постійного струму загальною конденсатором. На стороні низького напруги ПАФ підключається без використання трансформатора Tr .

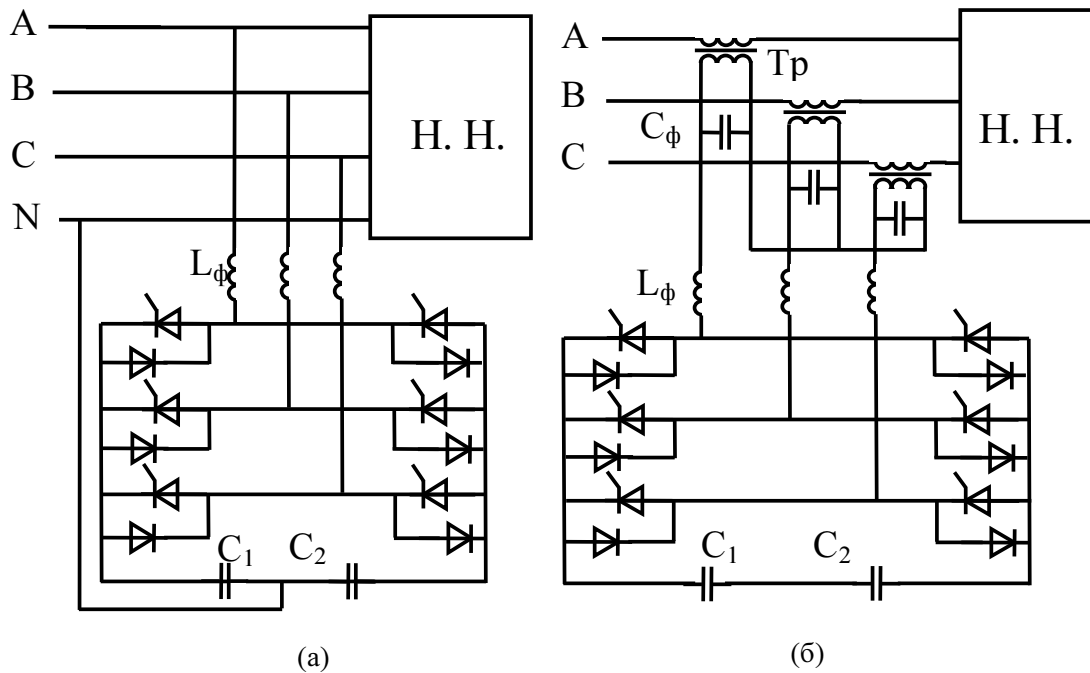


Рисунок 2 – Схемы подключения параллельного (а) и последовательного (б) активных фильтров

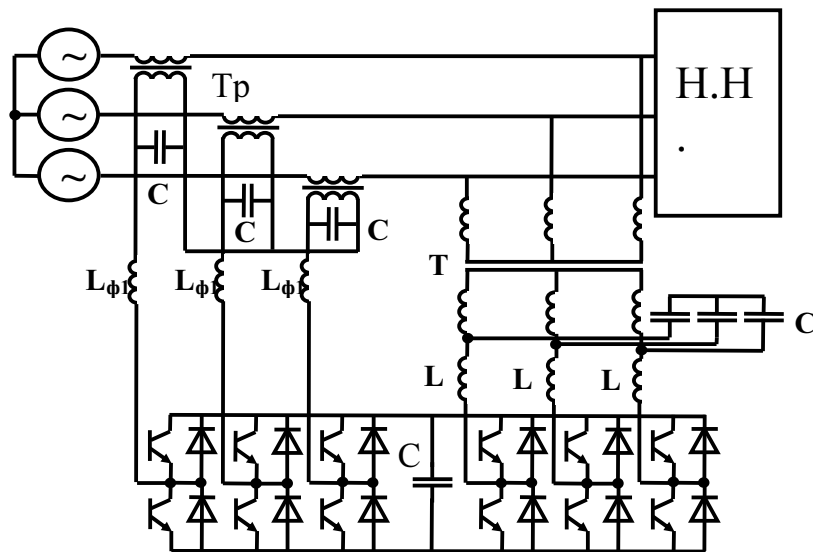


Рисунок 3 – Совместное подключение последовательного и параллельного активных фильтров

При этом с помощью последовательного фильтра (фильтра напряжения) можно отфильтровать гармоники напряжения сети, устранить его асимметрию и колебания. Существенным преимуществом последовательного фильтра является устранение искажений напряжения сети независимо от природы их возникновения. Поэтому этот фильтр включается непосредственно возле источника питания.

Параллельные активные фильтры могут одновременно решать такие задачи: фильтрацию высших гармоник тока нелинейной нагрузки; симметрирование трехфазной нагрузки и косвенно напряжения сети и связанное с этим снижение практически до нуля тока нейтрали; компенсация реактивной мощности сдвига первых гармоник, обеспечивая заданное значение $\cos\varphi$. Приоритет указанных функций может программироваться. Важной особенностью конструкции ПАФ является блочный

принцип наращивания требуемой установленной мощности. Если требуется компенсация неактивных составляющих мощности, когда ток компенсации выше допустимого ПАФ, то вся мощность фильтра используется для выполнения функций с наивысшим приоритетом, чтобы исключить его перегрузку.

При наличии в графике потребления статической составляющей реактивной мощности ее можно скомпенсировать пассивными фильтрами, а также отфильтровать доминирующие в спектре гармоник тока. Используя комбинированный фильтр, состоящий из пассивного и активного фильтров можно уменьшить требования по допустимому току ПАФ.

Точность и быстродействие компенсации неактивных составляющих полной мощности зависит в основном от способа формирования управляющего параметра. Наиболее просто эта задача решается использованием метода I_x , I_y теории мгновенной мощности на основе обобщенных (результатирующих) векторов тока и напряжения [1, 2].

Сформировать управляющий сигнал, пропорциональный высшим гармоникам и несимметрии напряжения сети можно также на базе обобщенного вектора напряжения сети в неподвижной α , β системе координат. При этом разность мгновенных значений напряжений U_α , U_β и их основной гармоники - пропорционально указанным искажениям.

Выводы.

1. Объединение параллельных и последовательных активных фильтров (фильтров тока и напряжения) на основе АИН с высокой частотой коммутации ключей инвертора, управляемые по мгновенным значениям неактивных составляющих мощности, позволяют эффективно управлять качеством электроэнергии при искаженном напряжении сети и нелинейных потребителях с динамической нагрузкой.

2. Цепи последовательного и параллельного активных фильтров выполняющих соответственно роль фильтров напряжения сети и тока нагрузки, могут быть объединены по цепи постоянного тока общим конденсатором.

Список літератури

1. Колб, А.А. Системы группового питания приводов с емкостными накопителями, снабженные параллельными активными фильтрами [Текст] / А.А. Колб // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – Одеса: ОНПУ. - 2011. - Вип. 03 (79). – С. 404-407.
2. Колб, А.А. Компенсация реактивной мощности и стабилизация выходного напряжения тяговых подстанций [Текст] / А.А. Колб // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна. – Вип. 10, 2006. – С. 14-17.

А. Колб

Об'єднання паралельних і послідовних активних фільтрів і способи керування ними

Виконаний аналіз компонування паралельних і послідовних активних фільтрів і способів керування ними. Розглянуті фільтри, маючи високу швидкодію, дозволяють ефективно управляти якістю електроенергії при спотворенні напрузі мережі й нелінійних споживачах з динамічним навантаженням.

А. Колб

Combining parallel and series active filters and their control

The analysis of the composition of parallel and series active filters and control methods by them is executed. The above filters having high speed, can effectively control the quality of electric power at the voltage distortion and non-linear network customers with a dynamic load.

Одержано 19.09.12

УДК 620.98

М. В. Кубкін, асист., В. П. Солдатенко, асист.

Кіровоградський національний технічний університет

Імітаційна модель комбінованої електроенергетичної системи з відновлюваними джерелами енергії

В статті наведені імітаційні моделі елементів комбінованої електроенергетичної системи, також її загальна імітаційна модель в середовищі Simulink. Запропонована модель дає можливість досліджувати режими роботи комбінованої енергосистеми протягом певних інтервалів часу (доба, місяць, рік). Отримані результати полегшують вибір оптимального складу обладнання та доцільних режимів роботи.

імітаційна модель, відновлювані джерела енергії, комбінована електроенергетична система

Вступ. Постановка задачі. Потреби людства в енергії задовольняються в наш час, головним чином, шляхом використання звичайного палива (в основному природного газу, нафти і кам'яного вугілля), ядерного палива та потенційної енергії води.. Вказані джерела енергії, окрім останнього, є не відновлюваними. Обсяги використання звичайного і ядерного палива з кожним роком зростають, отже їх запаси стрімко скорочуються.

Спалювання звичайних видів палива призводить до забруднення довкілля. Атомна енергетика теж потенційно небезпечна. Гідроенергія річок хоча і є відновлюваною, але її використання, особливо на рівнинних ріках, супроводжується величезними безповоротними втратами земель сільськогосподарського призначення (в Україні — це прекрасні чорноземи).

Виходом із цього загрозливого становища є поступова відмова від традиційних не відновлюваних джерел енергії на користь відновлюваних джерел — енергії сонячного випромінювання, вітрової енергії, хімічної енергії відновлюваних вуглеводневих матеріалів, таких як деревина, опале листя, промислові та побутові відходи, які містять в собі горючі складові, і якими можна скористатися як сировиною для виробництва, наприклад, біогазу.

Так «Енергетичною стратегією України до 2030 року» [1] у перспективі передбачено значне збільшення частки відновлюваних джерел енергії в енергетичному балансі України.

Проте, використання відновлюваних джерел енергії має істотні особливості, як то: нерівномірний географічний розподіл, непостійність в часі, мала питома концентрація енергетичних ресурсів [2–4]. Саме тому і виникає необхідність використання кількох різномірних джерел електричної енергії, систем акумуляування та резервного електроживлення.

Відтак актуальною задачею є синтез так званих комбінованих електроенергетичних систем і аналіз їхньої роботи. Враховуючи широку різноманітність обладнання установок відновлюваної енергетики (вітрогенератори, фотоелектричні батареї, акумулятори тощо), можна розробити безліч енергетичних систем різноманітних за комбінацією джерел. Особливий інтерес викликає динаміка роботи таких енергосистем протягом року. Виникає ряд питань, на які слід дати відповідь: скільки електричної енергії зможе забезпечити певне джерело енергії, яку

емність пристрою акумулювання варто обрати, яку потужність та енергію необхідно резервувати в період відсутності потоків відновлюваної енергії, чи здатна система забезпечити баланс електричної енергії в комбінованій енергосистемі кожної години протягом року при заданих показниках якості електроенергії та надійності енергопостачання?

Дати відповідь на вищевикладені питання дозволяє проведення моделювання роботи комбінованої енергосистеми за допомогою імітаційної моделі.

Метою даної роботи є: 1) розробка імітаційної моделі комбінованої електроенергетичної системи з відновлюваними джерелами енергії; 2) проведення моделювання роботи елементів та енергосистеми в цілому; 3) аналіз роботи елементів енергосистеми.

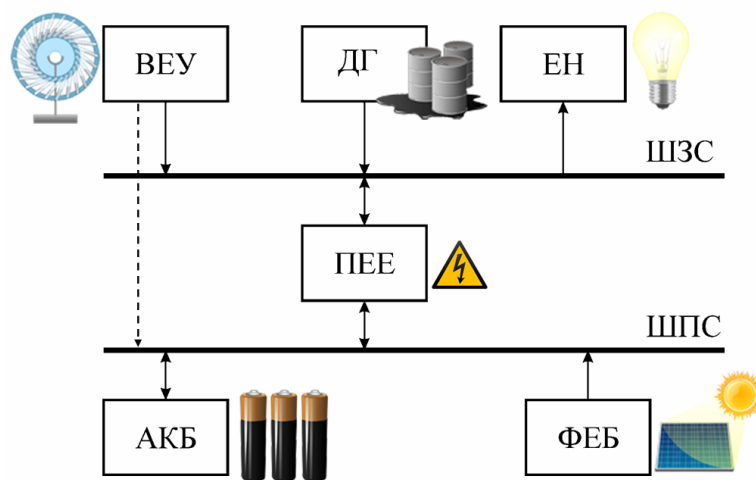


Рисунок 1 — Структурна схема комбінованої енергосистеми

В рамках поставленої мети виділяються наступні **задачі роботи:** 1) розробка математичних та імітаційних моделей фотоелектричної батареї, вітроелектричної установки, акумуляторної батареї, дизель-генератора з електричним генератором, загальної імітаційної моделі комбінованої енергосистеми; 2) моделювання роботи енергосистеми протягом однієї доби.

Математична модель фотоелектричної батареї. Потужність фотоелектричної батареї (ФЕБ) при стандартних умовах (густина потоку сонячного випромінювання $I_{\text{СУ}} = 1 \text{ кВт/м}^2$, температура поверхні ФЕБ $\vartheta_{\text{ФЕБ}} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$) називається *номінальною потужністю*. Вихідна потужність ФЕБ при іншій густині потоку сонячного випромінювання $\bar{I}_{\beta}(t)$ буде пропорційна останній [5]:

$$P_{\text{ФЕБ}}(t) = P_{\text{ФЕБном}} \frac{\bar{I}_{\beta}(t)}{I_{\text{СУ}}}, \quad (1)$$

де $P_{\text{ФЕБ}}(t)$ — вихідна потужність ФЕБ;

$P_{\text{ФЕБном}}$ — номінальна потужність ФЕБ при стандартних умовах;

$k_{\text{з.е.}}$ — коефіцієнт зниження ефективності ФЕБ;

$\bar{I}_{\beta}(t)$ — середнє значення густини потоку сонячного випромінювання, яке потрапляє на поверхню ФЕБ за годинний інтервал;

I_{cy} — густина потоку сонячного випромінювання, яке потрапляє на поверхню ФЕБ при стандартних умовах.

Втрати потужності в елементах ФЕБ враховуються коефіцієнтом зниження ефективності ФЕБ $k_{з.е.}$. Таким чином остаточною математичною моделлю ФЕБ буде:

$$P_{\text{ФЕБ}}(t) = P_{\text{ФЕБном}} k_{з.е.} \frac{\bar{I}_{\beta}(t)}{I_{cy}}. \quad (2)$$

В моделі (2) не враховано вплив температури оточуючого середовища на вихідну потужність ФЕБ.

На рис. 2 наведено імітаційну модель ФЕБ в середовищі Simulink згідно (2).

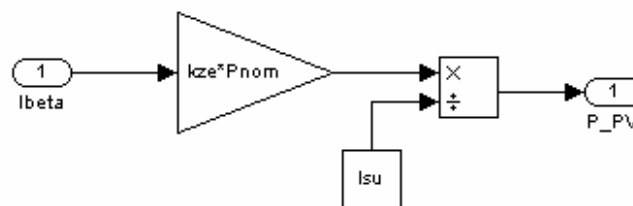


Рисунок 2 — Імітаційна модель ФЕБ

Математична модель вітроелектричної установки. Потужність, що віддається вітроенергетичною установкою (ВЕУ) в мережу, залежить від швидкості вітру, висоти мачи, на якій встановлено генератор, та вихідної характеристики генератора [6]. Так як швидкість повітря біля поверхні землі залежить від висоти, а потужність, що віддається вітрогенератором, залежить від кубу швидкості руху повітряних мас, висота мачи суттєво впливає на вихідну потужність. При розрахунку вихідної потужності ВЕУ дані вимірювання середньогодинної швидкості повітря необхідно привести до висоти установки вітрогенератора.

Найчастіше для перерахунку швидкості повітря з висоти установки анемометра на задану висоту (висоту установки вітрогенератора) використовують наступні закони:

а) логарифмічний:

$$u_h = u_{\text{анем}} \frac{\ln \frac{h}{z_0}}{\ln \frac{h_{\text{анем}}}{z_0}}, \quad (3)$$

де u_h — швидкість повітря на висоті h ;

$u_{\text{анем}}$ — швидкість повітря на висоті установки анемометра $h_{\text{анем}}$;

z_0 — параметр нерівномірності поверхні землі (за табл. 1);

б) потенційний:

$$u_h = u_{\text{анем}} \left(\frac{h}{h_{\text{анем}}} \right)^\alpha, \quad (4)$$

де α — показник степеня, який залежить від нерівномірності поверхні землі (табл. 2).

Зазвичай вихідна характеристика потужності ВЕУ задається парами експериментальних точок $\{u_i, P_{\text{ВЕУ} \text{ } \text{cy} \text{ } i}\}$, які знімаються при стандартній температурі та тиску ($p_0 = 101,325 \text{ кПа}$, $T_0 = 288,15 \text{ К}$). Для знаходження значень потужності в проміжних точках використовують різного роду інтерполяцію експериментальних точок (наприклад, кусково-лінійну, сплайнову тощо).

Таблиця 1 — Параметри нерівномірності поверхні землі [7]

Характер поверхні	$z_0, \text{ м}$
Відкрита спокійна вода; гладкий лід	$10^{-6} \text{ — } 10^{-4}$
Сніг; рівнина за відсутності рослинності	$2 \cdot 10^{-4} \text{ — } 5 \cdot 10^{-3}$
Відкрита рівнина, трава висотою 0,2 м; невелика кількість окремих перешкод	0,01 — 0,03
Низькі посіви; трава висотою 0,25 — 1 м; окремі великі перешкоди	0,04 — 0,1
Високі посіви; розосереджені перешкоди: $15 \leq x/h < 20$	0,25
Паркова зона, кущі, велика кількість перешкод: $x/h=10$	0,5
Однорідні великі перешкоди: $x/h \ll 10$ (ліс, передмістя з низькими будівлями)	0,03
Поля засіяні зерновими культурами	0,5 — 5,0
Центр міста з високими та низькими будівлями	1,0 — 6,0

Примітка: h — висота перешкод, x — відстань між ними.

Таблиця 2 — Значення коефіцієнта α в залежності від нерівності поверхні [8]

Характер поверхні	α
Море, озеро, рівний ґрунт	0,10
Низька трава на рівній поверхні землі	0,15
Високі зернові, живопліт, кущі	0,20
Лісиста сільська місцевість з великою кількістю дерев	0,25
Невеличке місто з малою кількістю деревами та кущами	0,30
Міська територія з високими будівлями	0,40

Імітаційна модель ВЕУ, приведена на рис. 3. В якості інтерполятора вихідної характеристики використано блок кусково-лінійної інтерполяції.

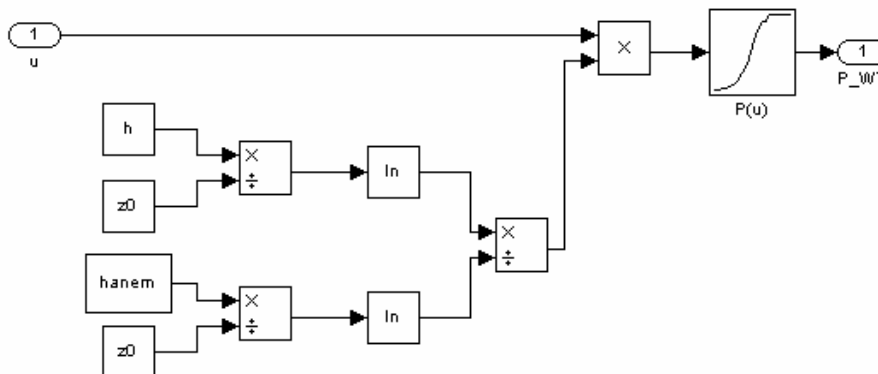


Рисунок 3 — Імітаційна модель ВЕУ

Математична модель акумуляторної батареї. Рівняння динаміки акумуляторної батареї (АБ) в кінцевих приростах [9]:

$$g_{AB}(t + \Delta t) = g_{AB}(t)(1 - \sigma\Delta t) + [P_{зар}(t)\eta_{зар} - P_{розр}(t)\eta_{розр}] \Delta t, \quad (5)$$

де g_{AB} — заряд АБ;

σ — коефіцієнт саморозряду;

$P_{зар}(t)$, $P_{розр}(t)$ — потужності заряду та розряду відповідно;

$\eta_{зар}$, $\eta_{розр}$ — ККД заряду та розряду відповідно;

Δt — інтервал часу.

Прийmemo $\eta_{зар} = \eta_{розр} = \eta_s$ і, ввівши позначення $P_{\Delta}(t) = P_{зар}(t) - P_{розр}(t)$, отримаємо:

$$g_{AB}(t + \Delta t) = g_{AB}(t)(1 - \sigma\Delta t) + P_{\Delta}(t)\eta_s\Delta t. \quad (6)$$

В (6) величина $P_{\Delta}(t)$ буде додатною в разі заряду та від'ємною в разі розряду.

Виконавши для (6) граничний перехід та провівши перетворення, отримаємо рівняння динаміки АБ в диференційній формі:

$$\frac{d}{dt} g_{AB}(t) = -g_{AB}(t)\sigma + P_{\Delta}(t)\eta_s. \quad (7)$$

Застосувавши до (7) перетворення Лапласа, отримаємо рівняння динаміки АБ в операторній формі:

$$s g_{AB}(s) = -g_{AB}(s)\sigma + P_{\Delta}(s)\eta_s.$$

Звідки можна визначити передавальну функцію АБ:

$$W_{AB}(s) = \frac{P_{\Delta}(s)}{g_{AB}(s)} = \frac{\eta_s}{s + \sigma}. \quad (8)$$

Для представлення останнього рівняння у вигляді структурної схеми поділимо чисельник і знаменник правої частини (8) на s :

$$W_{AB}(s) = \frac{\frac{\eta_s}{s}}{\frac{s + \sigma}{s}} = \frac{\eta_s}{1 + \sigma \frac{1}{s}}. \quad (9)$$

Рівнянню (9) буде відповідати структурна схема, наведена на рис. 4.

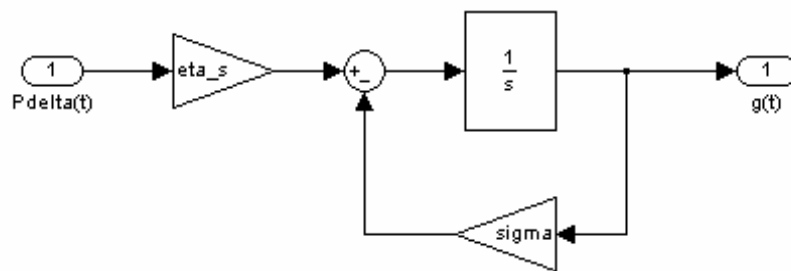


Рисунок 4 — Імітаційна модель ідеалізованої акумуляторної батареї

Так як АБ має певний початковий заряд g_0 , а на режим роботи накладаються обмеження на рівень заряду (обмеженнями на струм розряду нехтуємо):

$$g_{\text{АБmin}} \leq g_{\text{АБ}}(t) \leq g_{\text{АБmax}}, \quad (10)$$

де g_{min} — мінімальний рівень заряду АБ, який нормується виробником;

g_{max} — максимальний рівень заряду АБ;

то остаточно структурна схема імітаційної моделі АБ буде відповідати такій, що зображена на рис. 5, де інтегратор замінено на інтегратор з насиченням (верхня межа кривої насичення відповідає рівню g_{max} , нижня — g_{min}) та введено сталу інтегрування, що відповідає значенню g_0 .

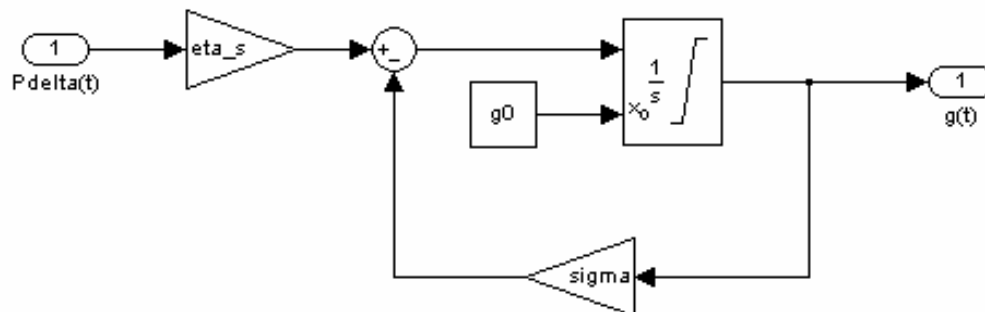


Рисунок 5 — Імітаційна модель акумуляторної батареї

Математична модель дизель-генератора. При моделюванні роботи генератора електричної енергії з дизель-генератором (ДГ) найважливішими параметрами моделі є:

- годинна витрата палива під час роботи m , л/год;
- ККД дизель-генератора $\eta_{\text{ДГ}}$.

Як правило в технічних даних на ДГ з генератором приводяться:

- номінальна потужність ДГ $P_{\text{ДГном}}$, кВт;
- об'єм паливного баку V_6 , л;
- годинна витрата палива при 25%, 50%, 75% та 100% навантаженні відповідно $m_{25\%}$, $m_{50\%}$, $m_{75\%}$ та $m_{100\%}$, л/год.

Для можливості визначення витрати палива при інших завантаженнях за координатами чотирьох точок можна шляхом апроксимації підібрати параболічну функцію, яка буде проходити через ці точки:

$$m(P_{\text{ДГ}}) = m_0 + m_1 \left(\frac{P_{\text{ДГ}}}{P_{\text{ДГном}}} \right) + m_2 \left(\frac{P_{\text{ДГ}}}{P_{\text{ДГном}}} \right)^2, \quad (11)$$

де m — годинна витрата палива, л/год;

m_2, m_1, m_0 — коефіцієнти апроксимації, л/год;

$P_{\text{ДГ}}$ — поточне електричне навантаження генератора, кВт;

$P_{\text{ДГном}}$ — номінальна потужність генератора, кВт.

Основною характеристикою дизель-генератора є коефіцієнт корисної дії, для визначення якого можна скористатися формулою, що запропонована в [10]:

$$\eta_{\text{ДГ}} = \frac{P_{\text{ДГ}}}{Qm} \cdot 100\%, \quad (12)$$

де $\eta_{\text{ДГ}}$ — коефіцієнт корисної дії генератора, %;

$P_{\text{ДГ}}$ — потужність ДГ, кВт;

Q — теплота згорання палива, кВт·год/л (для дизельного палива — 10,08 кВт·год/л, для бензину — 9,43 кВт·год/л);

m — витрата палива, л/год.

З урахуванням викладеного запропонована модель дизель-генератора, яка наведена на рис. 6. Для знаходження витрати палива за весь період роботи ДГ в моделі використовується інтегратор.

При складанні моделі було враховано те, що ДГ, який встановлено в комбінованій системі, виконує функцію джерела безперебійного живлення, і його потужність обирається з урахуванням максимальної потужності споживача.

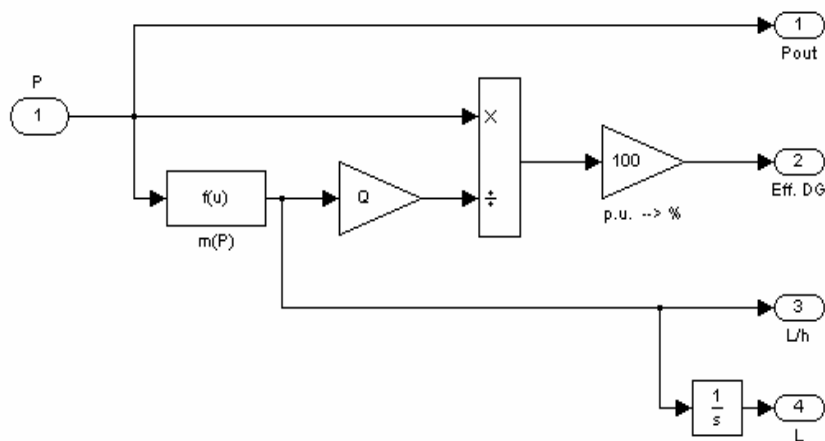


Рисунок 6 — Імітаційна модель дизель-генератора

Стратегія керування зарядом акумуляторної батареї та роботою дизель-генератора. Потужність, що поступає до акумуляторної батареї або відбирається з неї, визначається різницею потужностей джерел енергії (ФЕБ та ВЕУ) і потужністю споживання:

$$\Delta P(t) = [P_{\text{ФЕБ}}(t) + P_{\text{ВЕУ}}(t)] - P_{\text{спож}}(t), \quad (13)$$

де $P_{\text{ФЕБ}}(t), P_{\text{ВЕУ}}(t)$ — поточні потужності ФЕБ та ВЕУ відповідно;

$P_{\text{спож}}(t)$ — поточна потужність споживання.

Очевидно, що ΔP буде приймати як додатні значення (потужність джерел енергії більше за потужність споживання, тобто є *надлишок* енергії) так і від'ємні (потужність споживання більше за наявну потужність джерел енергії, тобто існує *дефіцит* енергії). В першому випадку надлишок енергії необхідно акумулювати, в другому — дефіцит енергії необхідно компенсувати за рахунок акумулятора, а якщо він розряджений — за рахунок ДГ. Так як на ступінь заряду АБ накладаються обмеження (10), то потужність що приймає (відає) АБ, буде визначатись наступним чином (крок моделювання $\Delta t = 1$):

$$P_{\text{АБ}}(t) = \begin{cases} \Delta P(t), & \text{якщо } g_{\text{АБmin}} - g_{\text{АБ}}(t) \leq \Delta P(t)\Delta t \leq g_{\text{АБmax}} - g_{\text{АБ}}(t); \\ \frac{1}{\Delta t} [g_{\text{АБmax}} - g_{\text{АБ}}(t)], & \text{якщо } \Delta P(t)\Delta t > g_{\text{АБmax}} - g_{\text{АБ}}(t); \\ \frac{1}{\Delta t} [g_{\text{АБmin}} - g_{\text{АБ}}(t)], & \text{якщо } \Delta P(t)\Delta t < g_{\text{АБmin}} - g_{\text{АБ}}(t). \end{cases} \quad (14)$$

Надлишок потоку енергії, який не може бути накопиченим в АБ (при $g_{\text{АБ}}(t) = g_{\text{АБmax}}$):

$$P_{\text{excess}}(t) = \Delta P(t) - P_{\text{АБ}}(t). \quad (15)$$

Дефіцит потужності, який не може компенсувати АБ (при $g_{\text{АБ}}(t) = g_{\text{АБmin}}$):

$$P_{\text{unmet}}(t) = |\Delta P(t) - P_{\text{АБ}}(t)|. \quad (16)$$

По суті $P_{\text{unmet}}(t)$ буде являться потужністю, яку забезпечує ДГ.

Враховуючи зазначене, імітаційна модель, що реалізує алгоритм керування (14), (15), (16) наведена на рис. 7.

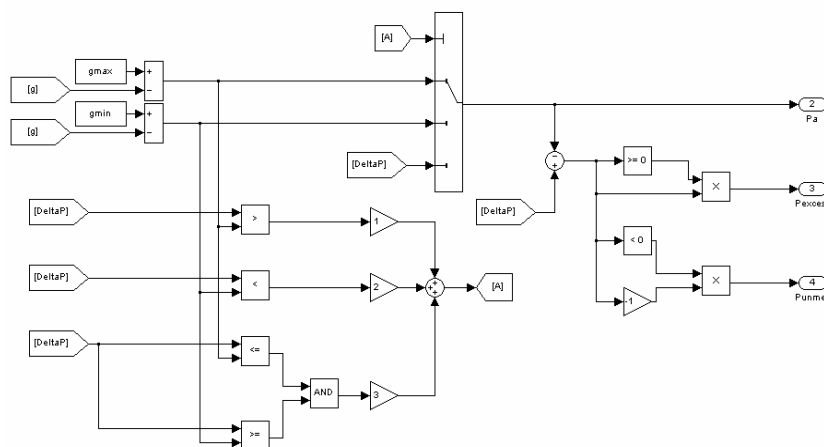


Рисунок 7 — Імітаційна модель алгоритму керування акумуляторною батареєю та роботою дизель-генератора

Імітаційна модель комбінованої електроенергетичної системи. На рис. 8 наведено імітаційну модель комбінованої електроенергетичної системи, структурна схема якої зображена на рис. 1. При побудові моделі в середовищі Simulink були знехтувані втрати в інверторі/випрямлячі. Для знаходження кількості електроенергії, яка генерувалась та споживалась елементами енергосистеми, використовувались блоки інтеграторів. Параметри імітаційної моделі задані в табл. 3.

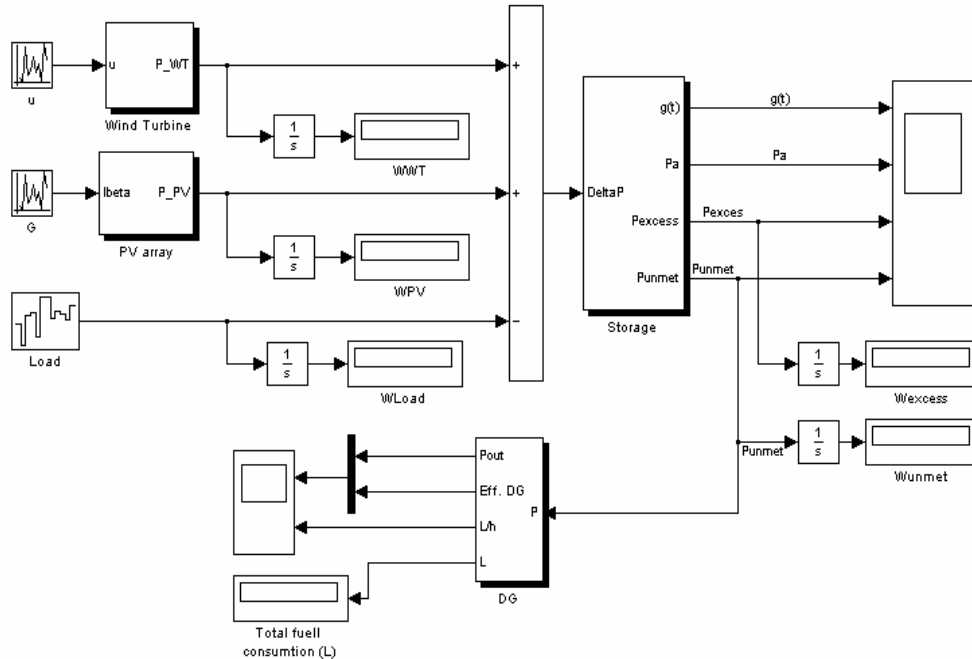


Рисунок 8 — Імітаційна модель комбінованої енергосистеми в середовищі Simulink

Таблиця 3 — Параметри моделі елементів у середовищі Simulink

Параметр	Значення
<i>Фотоелектрична батарея</i>	
$k_{з.е.}$	0,9
$P_{ФЕБном}$	2000 Вт
$I_{су}$	1000 Вт/м ²
<i>Вітроенергетична установка</i>	
h	10 м
$h_{анем}$	13 м
z_0	0,5
<i>Акумуляторна батарея</i>	
η_s	1
σ	0,002 с ⁻¹
g_{max}	25000 Вт·год
g_0	20000 Вт·год
g_{min}	10000 Вт·год
<i>Дизель генератор</i>	
Q	9430 Вт·год/л
$m(P_{дг})$	$0,25 \cdot 10^{-3} \cdot P_{дг} + 0,008 \cdot 10^{-3}$

Для моделювання були задані добові графіки середньої швидкості вітру, інтенсивності сонячного випромінювання (рис. 9) та потужності навантаження (рис. 10).

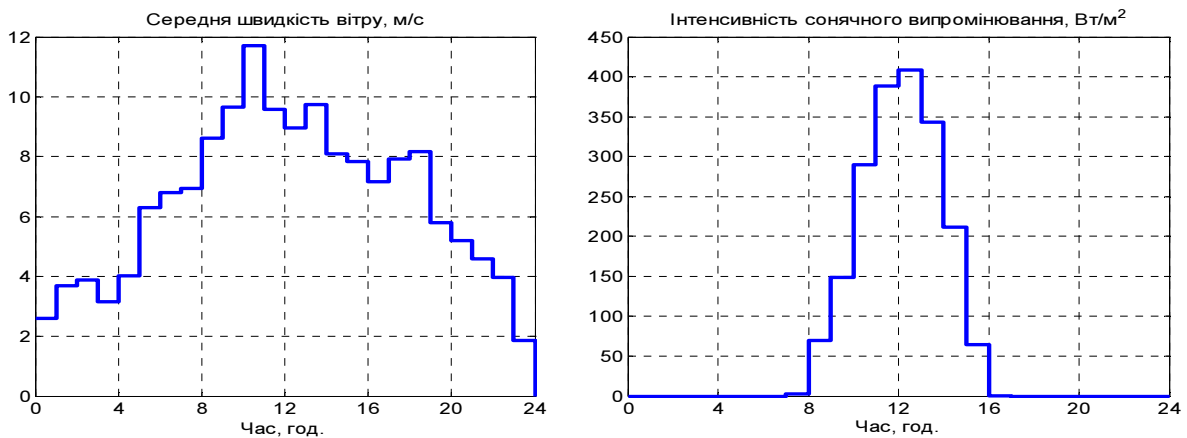


Рисунок 9 — Добові графіки середньої швидкості вітру та інтенсивності сонячного випромінювання

Моделювання проводилось для однієї доби з часовим інтервалом 1 година. Результати моделювання представлені на рис. 10.

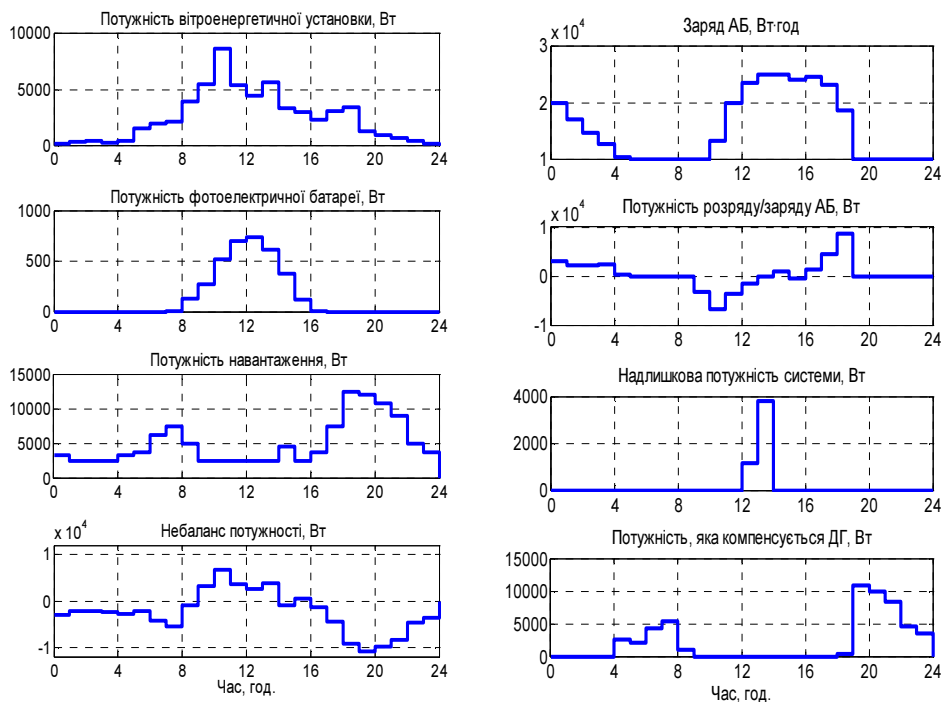


Рисунок 10 — Результати моделювання добової роботи комбінованої електроенергетичної системи

Шляхом моделювання було встановлено, що навантаженням було спожито 119950 Вт·год електроенергії, джерелами енергії було вироблено наступна кількість електроенергії: фотоелектричною батареєю — 3468,28 Вт·год, вітроенергетичною установкою — 58827,86 Вт·год, віддано акумулятором — 25593 Вт·год, запасено акумулятором — 15593 Вт·год. За добу надлишок енергії складає — 5018,69 Вт·год, недостача енергії — 52672,56 Вт·год, добова витрата палива складає 13,17 л.

Результати моделювання показують, що доля відновлюваної енергії в енергоспоживанні при заданих параметрах моделі складає 51,94 %, частка спожитої

енергії від акумулятора — 8,33 %, доля енергії, що покривається дизель-генератором — 43,91 %, надлишок енергії, який не спожитий і не запасений в акумуляторі — 4,18 %.

Таким чином в роботі були розроблені моделі окремих елементів в середовищі Simulink та загальна імітаційна модель комбінованої електроенергетичної системи з відновлюваними джерелами енергії, яка дозволяє моделювати режими роботи запропонованої енергосистеми протягом року для кожної години доби.

Було проведено моделювання роботи комбінованої електроенергетичної системи для однієї доби. Отримані результати дають змогу наочно оцінити режими роботи окремих складових системи, а також визначити об'єми споживання навантаженням та генерації джерелами.

Список літератури

1. Энергетична стратегія України на період до 2030 року. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://search.ligazakon.ua>.
2. Неисчерпаемая энергия. Кн. 1. Ветрогенераторы / В. С. Кривцов, А. М. Олейников, А. И. Яковлев. — Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», Севастополь: Севаст. нац. техн. ун-т, 2003. — 400 с.
3. Неисчерпаемая энергия. Кн. 2. Ветроэнергетика / В. С. Кривцов, А. М. Олейников, А. И. Яковлев. — Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», Севастополь: Севаст. нац. техн. ун-т, 2004. — 519 с.
4. Неисчерпаемая энергия. Кн. 3. Альтернативная энергетика / В. С. Кривцов, А. М. Олейников, А. И. Яковлев. — Учебник. — Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», Севастополь: Севаст. нац. техн. ун-т, 2007. — 643 с.
5. Bedescu V. Modeling Solar Radiation at the Earth's Surface Recent Advances. — Springer, Bucharest, 2008. — 580 p.
6. Duffie J. Solar engineering of thermal processes / J. Duffie, W. Beckman. — John Wiley & Sons, Inc, New York. — 1980.
7. Атмосфера. Справочник. — Л.: Гидрометеиздат, 1991. — 510 с.
8. Patel R. Wind and Solar Power System / R. Patel, R. Mukund — CRC Press, 1999. — 350 p.
9. Сабірзянов Т. Г. Узагальнена математична модель накопичувача енергії. /Т. Г. Сабірзянов, М. В. Кубкін, В. П. Солдатенко, В. В. Мартиненко // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету «Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація». Випуск 25, част. І. — Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2012. — С. 145—150.
10. Muselli M. Desing of hybrid-photovoltaic power generation, with optimization of energy management / M Muselli // Solar Energy/ — 1999. — Vol. 65. — №3. — P. 143—157.

М. Кубкин, В. Солдатенко

Имитационная модель комбинированной электроэнергетической системы с возобновляемыми источниками энергии

В статье разработаны модели отдельных элементов комбинированной электроэнергетической системы с возобновляемыми источниками энергии и ее общая имитационная модель в среде Simulink. Предложенная модель дает возможность исследовать режимы работы предложенной энергосистемы на протяжении определенных интервалов времени (сутки, месяц, год). Полученные результаты облегчают выбор оптимального состава оборудования и целесообразных режимов работы энергосистемы.

M. Kubkin, V. Soldatenko

Imitation Model of the Hybrid Power System Based on Renewable Energies

The article provides the imitation model of the elements of hybrid power system as well as its general imitation model in Simulink. The introduced model gives the opportunity to study the operating conditions of the hybrid power system during certain periods of time (day, month and year). The obtained results make a choice of the optimal equipment and expedient operating conditions much easier.

Одержано 15.09.12

УДК 517.92

А.Ю. Лисих, канд. техн. наук

Херсонський національний технічний університет

Завдання оптимізації у розв'язанні прикладних задач нелінійної механіки

Запропоновано метод визначення оптимальних фізико-геометричних параметрів гнучкого пружного кільцеподібного елемента, що просторово згинається, здійснює програмне обертання навколо свого діаметру. Використано прямий метод вирішення завдань оптимізації при нелінійних обмеженнях з фазовими обмеженнями-нерівностями. Для вирішення завдання використані методи диференціальної геометрії і обчислювальної математики. Чисельний алгоритм реалізований методом продовження рішення по параметру спільно з методом Ньютона-Канторовича. Отримані форми просторового обертання гнучкого кільця в результаті оптимального розподілу маси і жорсткості по довжині елемента. Результати вирішення завдання отримані у вигляді комп'ютерної графіки, алгоритм забезпечує зображення процесу в реальному режимі часу. Зроблені висновки про можливість отримання форм обертання заданої просторової конфігурації.

елементи гнучких конструкцій, напружено-деформований стан, гнучке кільце, жорсткість, обчислювальні методи

Постановка проблеми. Одним із шляхів досягнення мінімізації розмірів і маси елементів гнучких конструкцій є визначення їх напружено-деформованого стану, а потім, виходячи з цього, й розв'язання завдання оптимізації. Розрахунок механічних характеристик довгомірних елементів у площині не представляє особливих труднощів. Однак з'являються типи конструкцій, принцип дії яких базується, наприклад, на просторовому обертанні гнучкого кільцеподібного (або еліпсоподібного, з різними параметрами фокусів) кільця в гравітаційному полі. Один з типів такої конструкції опишемо й розглянемо в даній роботі.

Аналіз останніх досліджень. Незважаючи на великий інтерес, що виявляється останнім часом до гнучких конструкцій, управління ними пов'язане з певними труднощами, зумовленими складністю розрахунку просторового необмеженого переміщення виконавчого органу. Задача є геометрично нелінійною й потребує особливого підходу. Під час математичного опису процесу деформування зазвичай складають рівняння пружної лінії для окремих (двох або трьох) ділянок гнучкого об'єкта. При складанні та розв'язанні рівнянь автори роблять деякі припущення, які певною мірою впливають на точність виведених співвідношень. Задачі належать, як правило, до плоского випадку, не враховується можливість просторового деформування внаслідок дії зовнішніх технічних або природних навантажень. Пряме використання вектора зовнішніх навантажень, яке пропонують різні автори, без критичного аналізу можливостей і сфери його застосування може призвести в ряді випадків до неточних або навіть невірних записів компонентів цього вектора. Класичним узагальненням аналітичної теорії гнучких стрижнів можна вважати наукові праці Є.П. Попова [1]. Однак аналітичні методи зараз не можна вважати досить алгоритмічними, постановка й розв'язання будь-якої нової задачі потребує великих витрат часу та складних математичних обчислень. Тому найбільш перспективним у даному напрямі можна вважати застосування чисельних методів на базі сучасних методів обчислювальної математики та чисельного аналізу.

Постановка задачі. Нехай гнучке пружне кільце розташовано в площині xOy , жорстко закріплено і має можливість плавно збільшувати швидкість обертання навколо осі x від нуля до деякої швидкості, яка залежить від фізико-механічних параметрів матеріалу кільця (рис. 1).

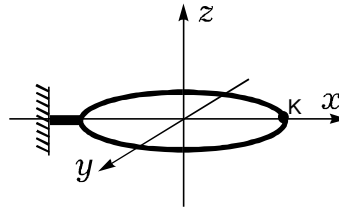


Рисунок 1 – Схема кільця, що обертається навколо осі x

Можна передбачити, що при певному поєднанні фізико-механічних характеристик кільця формою обертання буде правильний параболоїд обертання, який можна використати як антену спрямованої дії. Для цього необхідно за допомогою розроблених методів чисельного аналізу [1] розв'язати задачу побудови й дослідження форм динамічної рівноваги такого кільця змінної (або ступінчастої) за довжиною жорсткості при його стаціонарному обертанні з кутовою швидкістю ω_x навколо діаметра, що знаходиться на осі Ox . При цьому для досягнення необхідної форми обертання потрібно вирішити завдання оптимізації. Розглянемо спочатку процес числового розв'язування задачі деформування кільця під час його обертання. Нехай кільце розташоване в площині xOy системи координат $Oxyz$, що обертається разом з кільцем. На початку координат на осі обертання знаходиться частина дуги осьової лінії кільця, на якій воно вважається жорстко затиснутим. Навантаження, що діє на кожний елемент кільця масою M під час його обертання у випадку, коли воно залишається плоским, визначається силами інерції.

$$\text{При } 0 \leq s \leq \frac{S}{2}: f_x = 0, f_y = \frac{M}{2\pi - \alpha} \omega_x^2 y, f_z = 0. \quad (1)$$

$$\text{При } \frac{S}{2} \leq s \leq S: f_x = 0, f_y = -\frac{M}{2\pi - \alpha} \omega_x^2 y, f_z = 0. \quad (2)$$

При досягненні деякого критичного значення плоска форма кільця може виявитися нестійкою й воно набуде форми просторової кривої, для якої навантаження визначається за такими формулами:

$$f_x = 0, f_y = \frac{M}{2\pi - \alpha} \omega_x^2 y, f_z = \frac{M}{2\pi - \alpha} \omega_x^2 z. \quad (3)$$

Співвідношення (3) застосовувалися під час розрахунку як параметри навантаження при інтегруванні рівнянь, що описують просторове деформування гнучких стрижнів [2].

Для досягнення необхідної форми обертання розглянемо також способи задавання змінної жорсткості кільця. Нехай довжина кільця дорівнює S . Тоді можна розглядати два варіанти змінної жорсткості: функціональну жорсткість, що безперервно змінюється на інтервалі $0 \leq s \leq S$ або на будь-якому другому інтервалі інтегрування (як правило, лінійна функція): $A = f(s)$, $B = f(s)$, $C = f(s)$; і ступінчасто змінювану жорсткість на інтервалі $0 \leq s \leq s_1$, $s \leq s_1 \leq s_2$, $s_1 \leq s_2 \leq s_3$ тощо.

Основний матеріал досліджень. Ці положення реалізуються обчислювальними методами шляхом підставлення необхідних значень жорсткості при числовому інтегруванні. При числовому розв'язанні задачі як незалежний параметр навантаження

λ був прийнятий параметр квадрата кутової швидкості, початкові значення якої дорівнювали нулю. Внаслідок реалізації описаного методу при послідовному збільшенні кутової швидкості було побудовано множину станів рівноваги, в яких форма рівноваги залишалася плоскою й симетричною відносно осі обертання. На побудованій множині виявлені два біфуркаційних стани рівноваги, в яких матриця Якобі, що визначає втрату стійкості при числовому розв'язуванні рівнянь, виявилася від'ємною [3]. У кожному з них були побудовані суміжні їй стани рівноваги, які характеризують форми втрати стійкості початкової симетричної форми й задають несиметричні рішення, що відгалужуються. Продовження рішень по гілці, що виходить з першої біфуркаційної точки, дозволило побудувати стійку множину станів з просторовими формами рівноваги, що залишаються симетричними відносно площини xOy , виходять з площини й віддаляються від неї із збільшенням ω_x^2 . Усі розрахунки були виконані для кільця з такими фізико-геометричними параметрами:

$$\begin{aligned} R &= 0,3 \text{ м}; E = 2 \cdot 10^6 \text{ кг/см}^2 = 1,96 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2; \\ G &= 8 \cdot 10^5 \text{ кг/см}^2 = 7,84 \cdot 10^{10} \text{ Н/м}; I_x = I_y = 5129 \cdot 10^{-13} \text{ м}^4; \\ I_p &= 2I_x = 10258 \cdot 10^{-12} \text{ м}^4; A = B = 12,340 \text{ Н} \cdot \text{м}^2; C = 9,231 \text{ Н} \cdot \text{м}^2, \end{aligned} \quad (4)$$

де R – радіус кільця;

E – модуль пружності;

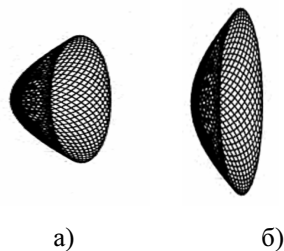
G – модуль пружності при крутінні;

I_x, I_y – моменти інерції (для круглого перерізу);

I_p – полярний момент інерції.

При цьому жорсткість при вигині A і B однакові; жорсткість при крутінні – C .

Проведені розрахунки були виконані для кільця постійної за довжиною жорсткості. Однак при цьому форми обертання, незалежно від значень кутової швидкості, не мають вигляд правильного параболоїда (рис. 2, а).



а) – форми обертання кільця постійної жорсткості; б) – форми обертання кільця оптимізованої жорсткості

Рисунок 2 – Просторові форми обертання кільця

Щоб одержати таку форму, необхідно дослідити можливу зміну значень жорсткості кільця за його довжиною до досягнення необхідних значень координат x, y, z . Для цього поставимо завдання оптимізації при обмеженні за нелінійним просторовим деформуванням. За звичай під час розв'язання таких завдань розглядаються приклади, в яких властивості об'єкта залежать від одного змінного параметра. Якщо властивості об'єкта визначаються декількома параметрами, то одночасне їх, варіювання дозволяє змінювати в необхідному напрямі величину, що підлягає оптимізації. Алгебраїзовані нелінійні рівняння, що описують рівновагу кільця, мають такий вигляд:

$$f_i(x_1, x_2, \dots, x_r; \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m) = \lambda b_i \quad (i=1, 2, \dots, r). \quad (5)$$

При критичному значенні λ^b параметра навантаження визначник матриці $\left\| \frac{\partial f_i}{\partial x_j} \right\|$

дорівнює нулю [2]. Продовжимо розв'язування рівнянь (5) з цієї точки, змінюючи величини $\lambda_j (j = 1, 2, \dots, m)$. Тоді лінеаризована система рівнянь (5) буде мати такий вигляд:

$$\frac{\partial f_i}{\partial x_j} \Delta x_1 + \frac{\partial f_i}{\partial x_2} \Delta x_2 + \dots + \frac{\partial f_i}{\partial x_r} \Delta x_r + \frac{\partial f_i}{\partial \alpha_1} \Delta \alpha_1 + \frac{\partial f_i}{\partial \alpha_2} \Delta \alpha_2 + \dots + \frac{\partial f_i}{\partial \alpha_m} \Delta \alpha_m = 0. \quad (6)$$

Приєднуючи до системи (6) умову, що якобіан дорівнює нулю

$$J(x_1, x_2, \dots, x_r; \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m) = 0. \quad (7)$$

або в лінеаризованому вигляді

$$\frac{\partial J}{\partial x_j} \Delta x_1 + \frac{\partial J}{\partial x_2} \Delta x_2 + \dots + \frac{\partial J}{\partial x_r} \Delta x_r + \frac{\partial J}{\partial \alpha_1} \Delta \alpha_1 + \frac{\partial J}{\partial \alpha_2} \Delta \alpha_2 + \dots + \frac{\partial J}{\partial \alpha_m} \Delta \alpha_m = 0. \quad (8)$$

отримаємо систему обмежень на зміну параметрів $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m$.

Система алгебраїчних рівнянь (5), (7) або (6), (8) порядку $r+1$ містить $r+m$ невідомих. Для їх визначення необхідно додати $m-1$ рівнянь, які можна отримати з умов мінімізації деякої цільової функції. Оскільки кожне таке обмеження зменшує число ступенів свободи в моделі процесу оптимізації на одиницю, після виключення в системах (5) і (7) параметрів отримаємо в просторі проектування одне рівняння

$$G(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m) = 0. \quad (9)$$

Точки умовного екстремуму функції $\Phi(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m)$ за умови (9) будуть екстремальними точками вихідної задачі.

Точка глобального умовного екстремуму являє собою розв'язання поставленого завдання оптимізації. Пошук екстремальних точок може бути виконаний методами нелінійного програмування. Оскільки обмеження (5), (7) або (9) відображають залежність між змінними лише в неявній формі, безпосереднє скорочення розмірності завдання оптимізації фактично нездійсненне. Однак локальне обмеження варіації параметра оптимізації $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m$, лінеаризація обмежень біля розглянутої точки та використання методу проєкції градієнта цільової функції $\Delta\Phi$ на активні обмеження дозволяють знайти напрям оптимізаційного пошуку. У цьому випадку система лінійних алгебраїчних рівнянь містить r рівнянь (6) з параметрами x_i і m . Для замикання цієї системи обчислюється вектор $\Delta\Phi$, що проєктується потім на площину

$$A_i \Delta \alpha_i = \frac{\partial G}{\partial \alpha_1} \Delta \alpha_1 + \frac{\partial G}{\partial \alpha_2} \Delta \alpha_2 + \dots + \frac{\partial G}{\partial \alpha_m} \Delta \alpha_m = 0. \quad (10)$$

У результаті отримуємо напрям оптимізаційного пошуку

$$\vec{S} = \Delta\Phi - A^T (AA^T)^{-1} A\Delta\Phi. \quad (11)$$

Якщо активні обмеження нелінійні, то складові вектора нового напрямку $\vec{S}_{(n+1)}$ будуть знаходитися в гіперплощині, що дотична до обмежень в точці $x_{(n)}$. Таким чином, у випадку, коли біля деякої граничної точки подальше переміщення по градієнту цільової функції пов'язане з виходом за межі допустимої зони, замість переміщень по складових градієнта виконується переміщення по складових проєкції градієнта. Таким чином, якщо задача має нелінійні обмеження, а $\Delta\Phi$ виходить за межі допустимої зони, то застосування алгоритму проєкції градієнта дозволяє рухатися по самому обмеженню. Зазначимо, що рівняння (6) і (8) отримані лінеаризацією активних

обмежень (5) і (7), тому на кожному кроці пошуку в їх праві частини повинні додаватися відповідні непогодження. Необхідна умова оптимальності функції $\Phi(\lambda_j)$ полягає в перпендикулярності вектора $\Delta\Phi$ площині (10).

При цьому треба виконувати перевірку, щоб стаціонарна точка не виявилася сідловою. Важливо знати, як змінюється розв'язання нелінійних рівнянь (5) біля точки розгалуження. З метою оптимізації параметрів A, B, C гнучкого кільця розглянемо задачу про підбір цих функцій. Спочатку досліджується кільце з параметрами, аналогічними (4). З точки верхнього критичного стану рішенням зворотної задачі при варіюванні жорсткості A була отримана початкова множина для оптимізаційного пошуку у вигляді форми рівноваги. Потім варіюванням коефіцієнтів h_0 і h_1 у формулі

$$h(x) = h_0 + h_1 \cos\left(\pi x \frac{1}{2\varphi}\right) \quad (12)$$

була побудована гілка критичних станів у просторі h_0, h_1 . У цьому ж просторі побудовані криві заданої форми.

Висновки. Числові результати розрахунків показали, що оптимальні параметри гнучкого кільця для отримання правильного параболоїда (див. рис. 2, б) виявилися такими:

$$\begin{aligned} A_1 = B_1 = 12,340 \text{ Нм}^2; \quad A_2 = B_2 = 9,124 \text{ Нм}^2; \\ A_3 = B_3 = 7,543 \text{ Нм}^2; \quad C = 9,231 \text{ Нм}^2. \end{aligned} \quad (13)$$

При цьому жорсткість розподілена ступінчасто по ділянках рівної довжини. Порівняно з формами обертання, що відповідають початковій жорсткості (4), вдалося одержати форми обертання, які відповідають необхідним технологічним параметрам.

Для перевірки точності виконаних розрахунків була розв'язана пряма задача про стійкість і закритичний стан гнучкого кільця з параметрами (13), що дорівнювали оптимальним значенням. При заданих вхідних параметрах задачі за допомогою комп'ютерної графіки отримані результати побудови деяких форм гнучких кільцевих антен, що обертаються, (рис. 2). Розв'язки прямих задач збіглися з результатами обчислень, отриманими під час оптимізаційного пошуку. Програми та алгоритми створені на алгоритмічній мові Фортран-77 і реалізовані на персональному комп'ютері.

Список літератури

1. Попов Е.П. Теория и расчет гибких упругих стержней. / Е.П. Попов. – М.: Наука, 1986. – 294 с.
2. Кравцов В.И. Механика гибких глубоководных систем / В.И. Кравцов. – К.: Наук. думка, 1997. – 256 с.
3. Бардачев Ю.Н. Определение динамических характеристик привода управляемых неавтономных подводных объектов / Ю.Н. Бардачев, В.И. Кравцов. // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 1998. – № 1. – С. 97-105.

А. Лысых

Задачи оптимизации в решении прикладных задач нелинейной механики

Предложен метод определения оптимальных физико-геометрических параметров гибкого упругого пространственно изгибающегося кольцеобразного элемента, совершающего программное вращение вокруг своего диаметра. Использован прямой метод решения задач оптимизации при нелинейных ограничениях с фазовыми ограничениями-неравенствами. Для решения задачи использованы методы дифференциальной геометрии и вычислительной математики. Численный алгоритм реализован методом продолжения решения по параметру совместно с методом Ньютона-Канторовича. Получены формы пространственного вращения гибкого кольца в результате оптимального распределения массы и жесткости по длине элемента. Результаты решения получены в виде

компьютерной графики, алгоритм обеспечивает изображение процесса в реальном режиме времени. Сделаны выводы о возможности получения форм вращения заданной пространственной конфигурации.

A. Lisikh

Tasks of optimization in the decision of the applied tasks of nonlinear mechanics

The method of definition optimum physico-geometrical parameters of the flexible elastic spatially bent ring-shaped element, making program rotation around of the diameter is offered. It is used direct method of the decision of the problems to optimization under nonlinear restrictions with phase restrictions-inequality. For decision of the problem are used methods to differential geometry and computing mathematicians. The numerical algorithm by marketed method of the continuation of the decision on parameter with method Newton-Kantorovich. Forms of the spatial rotation flexible кольца are received as a result of optimum sharing the mass and acerbity on length of the element. The results of the decision are received in the manner of computer graphs, algorithm provides the scene of the process in real mode of time. Findings are made about possibility of the reception of the forms of the rotation given spatial deskside.

Одержано 02.07.12

УДК 621.313.33

І.А. Куш, асп., А.С. Гарбузенко, асп.

Кременчуцький національний університет імені М.В. Остроградського

Визначення та обґрунтування особливостей зміни властивостей конструктивних елементів машин постійного струму у процесі тривалої експлуатації

В статті визначено особливості зміни властивостей основних конструктивних елементів та вузлів машини постійного струму під час тривалої експлуатації. Розглянуто вплив елементів, які змінюють свої характеристики в часі на надійність та працездатність МПС. Окреслено шляхи вирішення проблеми визначення стану конструктивних елементів машин постійного струму, які мають високий час наробітку на відмову.

електрична машина постійного струму, зміна властивостей, надійність, діагностика

На багатьох потужних виконавчих механізмах встановлено машини постійного струму (МПС). Це зумовлено високою керованістю, навантажувальною здатністю МПС та можливістю керування без високовартісної системи перетворювачів. Їхня потужність знаходиться у двох діапазонах: десятки ват та десятки мегават [1]. Вони працюють як у помірних так і в тяжких умовах з агресивними середовищами у виробничих приміщеннях. У ході роботи двигунів постійного струму впродовж тривалого часу та внаслідок проведення їхнього планового та капітального ремонту змінюються властивості конструктивних вузлів та елементів. Це викликає погіршення робочих характеристик та умов охолодження, а отже зменшення імовірності безвідмовної роботи [4]. Достатня складність конструкції МПС обумовлює широкий спектр можливих дефектів та пошкоджень, які виникають внаслідок тривалої експлуатації [5]:

компьютерной графики, алгоритм обеспечивает изображение процесса в реальном режиме времени. Сделаны выводы о возможности получения форм вращения заданной пространственной конфигурации.

A. Lisikh

Tasks of optimization in the decision of the applied tasks of nonlinear mechanics

The method of definition optimum physico-geometrical parameters of the flexible elastic spatially bent ring-shaped element, making program rotation around of the diameter is offered. It is used direct method of the decision of the problems to optimization under nonlinear restrictions with phase restrictions-inequality. For decision of the problem are used methods to differential geometry and computing mathematicians. The numerical algorithm by marketed method of the continuation of the decision on parameter with method Newton-Kantorovich. Forms of the spatial rotation flexible кольца are received as a result of optimum sharing the mass and acerbity on length of the element. The results of the decision are received in the manner of computer graphs, algorithm provides the scene of the process in real mode of time. Findings are made about possibility of the reception of the forms of the rotation given spatial deskside.

Одержано 02.07.12

УДК 621.313.33

І.А. Куш, асп., А.С. Гарбузенко, асп.

Кременчуцький національний університет імені М.В. Остроградського

Визначення та обґрунтування особливостей зміни властивостей конструктивних елементів машин постійного струму у процесі тривалої експлуатації

В статті визначено особливості зміни властивостей основних конструктивних елементів та вузлів машини постійного струму під час тривалої експлуатації. Розглянуто вплив елементів, які змінюють свої характеристики в часі на надійність та працездатність МПС. Окреслено шляхи вирішення проблеми визначення стану конструктивних елементів машин постійного струму, які мають високий час наробітку на відмову.

електрична машина постійного струму, зміна властивостей, надійність, діагностика

На багатьох потужних виконавчих механізмах встановлено машини постійного струму (МПС). Це зумовлено високою керованістю, навантажувальною здатністю МПС та можливістю керування без високовартісної системи перетворювачів. Їхня потужність знаходиться у двох діапазонах: десятки ват та десятки мегават [1]. Вони працюють як у помірних так і в тяжких умовах з агресивними середовищами у виробничих приміщеннях. У ході роботи двигунів постійного струму впродовж тривалого часу та внаслідок проведення їхнього планового та капітального ремонту змінюються властивості конструктивних вузлів та елементів. Це викликає погіршення робочих характеристик та умов охолодження, а отже зменшення імовірності безвідмовної роботи [4]. Достатня складність конструкції МПС обумовлює широкий спектр можливих дефектів та пошкоджень, які виникають внаслідок тривалої експлуатації [5]:

- замикання, зношування колекторних пластин, зміна форми колектора;
- нерівномірне зношування, зміщення осі підшипникового вузла;
- порушення цілісності ізоляції обмоток якоря;
- пробій ізоляції обмоток збудження та компенсаційних обмоток;
- локальні закорочування сердечника статора;
- закорочування листів ЕТС пакету якоря.

Погіршення окремих складових частин МПС призводить до зниження експлуатаційного ресурсу та погіршення робочих характеристик машини постійного струму.

Обумовлення особливостей зміни стану окремих конструктивних елементів та вузлів й обґрунтування їх впливу на показники надійності, нагріву, робочі і пускові характеристики МПС для розробки шляхів визначення впливу зміни параметрів машини постійного струму.

Аналіз регламенту випробувань показує, що у більшості випадків при планово-попереджувальних та капітальних ремонтах машин проводиться діагностика відповідно до діючих правил експлуатації електрообладнання:

- проводиться оцінювання стану ізоляції та випробування ізоляції обмоток і бандажів;
- вимірюється опір обмоток на постійному струмові;
- визначаються характеристики неробочого ходу та випробовується міжвиткова ізоляція;
- проводиться вимірювання повітряного проміжку між полюсами та якорем (у машин потужністю понад 3 кВт);
- здійснюється перевірка машини на працездатність та визначення меж регулювання.

У процесі дослідження цього питання було виявлено, що дана програма випробувань не дозволяє оцінити реальний стан конструктивних частин та елементів, і відповідно передбачити час напрацювання на відмову машини. Тому визначення характеру впливу кожного із конструктивних елементів на якість роботи та тривалість служби МПС є важливим завданням.

На першому етапі вирішення даного завдання необхідно визначити ступінь впливу зміни властивостей кожного з конструктивних елементів окремо на робочі характеристики і надійність машини. Зміна властивостей таких основних елементів впливає на стан МПС: колекторно-щітковий вузол; підшипниковий вузол, обмотки збудження та якоря, сердечники статора та якоря.

Колекторно-щітковий вузол є однією з основних причин виходу з ладу МПС. На нього припадає близько 25% всіх відмов машин постійного струму [3]. Ознаками погіршення стану даного елемента є: зміна циліндричності колектора, порушення поліровки поверхні, поява нагару, забруднення, оплавлення поверхні та пробій ізолюючих пластин.

Існує три групи факторів, що викликають зміни стану колектору на відміну від початкового: електромагнітні процеси, механічні впливи та фізико-хімічна природа ковзаючого контакту. Електромагнітні факторами являються струмові перевантаження, електромагнітне навантаження та напруга між суміжними пластинами. До механічних факторів відносяться ослаблення пресування листів ЕТС, ексцентриситет, поява еліптичності колектору, вібрація та обертання якоря. Фізико-хімічний вплив проявляється в зношуванні щіток та колектора, запиленістю та вологістю поверхні колектора, кислотністю навколишнього середовища. На практиці переважає електроіскрове зношування

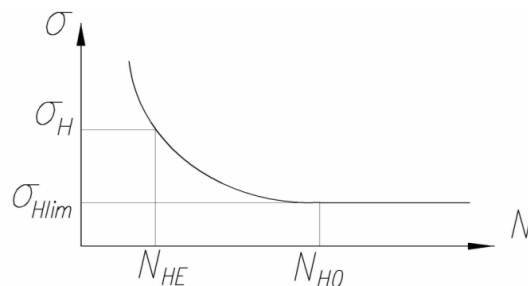
$$\alpha = 8.73 \cdot 10^{-2} \frac{n}{L_{щ} \cdot L_{\delta}} \tau_A^2, \quad (1)$$

де α – швидкість зносу колектора;
 $L_{щ}$ – довжина збігаючого краю щіток;
 τ_d – тривалість горіння іскрових розрядів;
 L_p – індуктивність контуру, що розривається;
 n – швидкість обертання колектора.

Наявність пошкоджень колектора, або зміни його експлуатаційних параметрів є наслідком впливу не тільки факторів старіння та зношування колектора і щіток, а й зміни стану інших конструктивних вузлів машини. Наприклад, погіршення стану підшипникового вузла призводить до появи ексцентриситету, або ослаблення колектору відбувається внаслідок підвищення вібрації т.д. Поява незначних несправностей колектору також має вплив на комутаційні процеси, а отже і на робочі характеристики машини. Оскільки є очевидним, що при зміні стану колектору зменшується площа контактної зони між колектором та щітками, то в обернено-пропорційній залежності збільшується і щільність струму. Зростання щільності струму призводить до зниження максимального навантажувального моменту та нагріву колектора.

Приблизно 30% відмов машин постійного струму відбувається внаслідок відмов підшипникових вузлів [3]. Окрім того, нормальна робота підшипників є визначальним фактором для рівномірного розподілу повітряного проміжку. Оскільки параметри магнітної системи знаходяться у прямій залежності від величини та рівності повітряного проміжку по внутрішньому радіусу статора, то і стан підшипників має безпосередній вплив на параметри магнітної системи МПС.

Ознаками зміни властивостей підшипників є: стан бігової доріжки, сепаратору, шум, тугий хід та нагрів підшипникового вузла. Підґрунтям погіршення властивостей та руйнування структури підшипників можуть бути: структурні особливості металу, хімічна комбінація металу та змазки, корозія, тепловий вплив, механічні навантаження на поверхню та тіло кочення, проходження електричного струму і явище втомленості металу, яка характеризується кривою Велера, представленою на рис. 1. Найбільше впливає на зміну стану підшипника контактна втомленість робочих поверхонь, що проявляється у вищербуванні металу у вигляді мілкозернистих частинок. Вищерблені частинки разом із зовнішніми забруднювачами продовжують руйнувати структуру підшипника в зонах дотику робочих поверхонь та абразиву.



N – число циклів навантажень до руйнування зразка; N_{HO} – число циклів навантажень, що відповідає початку ділянки; σ – механічна напруга; σ_{Hlim} – максимальна напруга, котру підшипник може витримати майже необмежену кількість циклів; σ_H – заданий рівень напруги; N_{HE} – еквівалентне число циклів навантажень

Рисунок 1 – Крива втомленості металу (крива Велера)

Внаслідок неправильно проведеного ремонту чи нерівномірного зношування підшипників виникають перекози МРС, що викликають появу струмів в підшипниках. Замикання на корпус обмотки збудження та наявність заземлення призводить до протікання досить значних струмів у підшипниках, що веде до їхньої руйнації шляхом нагріву та електрокорозії.

Практика показує, що підшипникові вузли є особливо інтенсивним джерелом вібрації всього спектру частот. Амплітуда вібрації збільшується після ремонту, в аварійних і особливо важких режимах роботи. Відбувається підвищення амплітуди вібрації разом з появою ексцентриситету валу, нерівномірністю розподілу МРС, яке може бути викликаним несправністю колекторно-щіткового апарату через зростання реактивної ЕРС. Високочастотна складова спектру віброшвикувості та віброприскорення разом з електромагнітними та аеродинамічними зусиллями викликають значно прискорене зношування ізоляції машини.

Статистика відмов свідчить, що на загальне число відмов МПС через вихід з ладу обмотки якоря припадає 27% відмов, а через пробій обмотки збудження 18%. Ці дані свідчать про важливість врахування стану ізоляції при аналізі поточних параметрів машини та тривалості подальшої експлуатації.

Зміна властивостей ізолюючої поверхні обмоток відбувається у результаті нагрівання, механічного впливу, впливу агресивного середовища та ін. Основною складовою у процесі старіння ізоляції є температурний вплив. Вплив всіх факторів старіння ізоляції врахувати неможливо, але основні з них відповідають відомим залежностям. Так, теплова складова визначається «правилом восьми градусів»[3]:

$$\tau = T_0 \cdot 2^{-\Theta/\Delta\Theta}, \quad (2)$$

де τ – строк служби ізоляції при температурі Θ ;

T_0 – умовний строк служби ізоляції;

Θ – температура ізоляції;

$\Delta\Theta$ – перевищення температури.

Положення даного правила доводять, що перевищення температури $\Delta\Theta$ на кожні вісім градусів скорочує строк служби ізоляції вдвічі. Інші класи ізоляції, які витримують вищі температури, відповідно можуть витримувати більші перевищення $\Delta\Theta$, які наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – залежність $\Delta\Theta$ від класу ізоляції

Клас ізоляції	A	E	B	F	H	C
$\Theta_{\text{гранич}}$	105	120	130	155	180	> 180
$\Delta\Theta$	8	9.14	9.9	11.8	13.7	–

Тривалість експлуатації скорочується також від впливу напруженості електричного поля.

$$\lg \tau = \lg A_e - m \lg E, \quad (3)$$

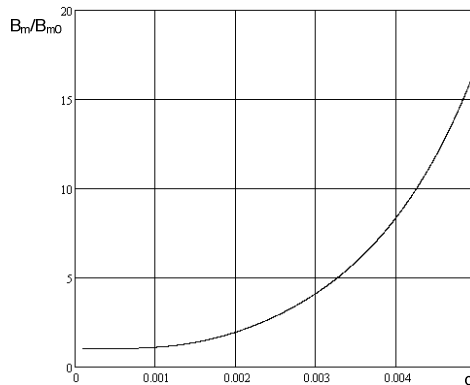
де E – напруженість електричного поля;

A_e, m – коефіцієнти, які залежать від властивостей ізоляційного матеріалу.

Джерелом додаткових втрат у вигляді тепла та вібрації є сердечник статора з послабленим пресуванням та закороченими листами електротехнічної сталі. Додавання двох впливів може призвести до пробію ніж за умови теплового старіння.

Пакети статора та якоря через можливість виділення додаткових втрат та безпосередньому впливові на обмотки є важливими чинниками зниження надійності МПС. Погіршення властивостей сердечника МПС залежить не стільки від зміни властивостей

ЕТС з часом, як від руйнування міжлистової ізоляції, що призводить до закорочування суміжних листів та до зниження магнітної індукції в закорочених контурах рис. 2. Даний рисунок показує, що дія вихрових струмів, які пропорційні квадрату магнітної індукції недостатньо компенсується при закорочуванні декількох листів ЕТС.



B_m – значення магнітної індукції по товщині листа; B_{m0} – значення індукції в середині листа ЕТС;
 d – товщина закороченої ділянки пакету сердечника

Рисунок 2 – Зростання магнітної індукції в залежності від товщини закороченого контуру

У переважній більшості випадків діелектриком між пластинами статора та якоря є діоксид кремнію. Дана сполука руйнується від механічного впливу, тому правильне обслуговування та кваліфікований ремонт є пріоритетом в експлуатації машини.

МПС є складною електромеханічною системою, кожен елемент якої впливає як на стан всієї машини так і на властивості інших конструктивних частин. Тому виникає необхідність встановлення залежностей між впливом зміни властивостей кожного елемента на параметри та час безвідмовної роботи МПС. Для цього потрібно створити системи діагностики стану МПС, що передбачає наступні кроки:

- створення адекватної математичної моделі МПС, яка враховуватиме вплив зміни властивостей конструктивних елементів на параметри машини;
- розробка методики діагностики стану електричної машини, яка тривалий час експлуатувалася чи пройшла ремонт.
- розробка структури та підбір елементної бази випробувального комплексу, який би давав необхідні вихідні дані для аналізу стану досліджуваної машини.
- створення алгоритму програми аналізу отриманих даних для визначення дійсних параметрів та характеристик машин з високим ступенем напрацювання на відмову.

У роботі розглянуто причини погіршення стану та виходу з ладу основних конструктивних елементів та вузлів машини постійного струму. Описано механізм зміни параметрів основних конструктивних елементів. Визначено подальші кроки у забезпеченні визначення впливу зміни властивостей конструктивних елементів на параметри МПС.

Список літератури

1. Гольдберг О.Д., Гурин Я.С., Свириденко И.С. проектирование электрических машин: Учебник для вузов / Под ред. Гольдберга О.Д. – М.: Высш. шк., 1984. – 431 с.
2. Котеленец Н.Ф. Испытания, эксплуатация и ремонт электрических машин: Учебник для вузов / Котеленец Н.Ф., Акимова Н.А., Антонов М.В. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 384с.
3. Кузнецов Н.Л. Надежность электрических машин: учеб. пособие для вузов / Кузнецов Н.Л. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 432 с.

4. Харяджан А.А. Послеремонтная диагностика и паспортизация машин постоянного тока с учетом изменения состояния пакета стали якоря: автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук: спец. 05.09.01 «Электрические машины и аппараты». – Кременчуг, 2004. – 28с.
5. Гемке Р.Г. Неисправности электрических машин. – Л.: Энергия, 1969. – 397с.

И. Куц, А. Гарбузенко

Определение и обоснование изменения свойств основных конструктивных элементов МПТ в процессе длительной эксплуатации

В статье определены особенности изменения свойств основных конструктивных элементов и узлов машины постоянного тока при длительной эксплуатации. Рассмотрено влияние элементов которые изменяют свои характеристики во времени на надежность и работоспособность МПТ. Намечены пути решения проблемы определения состояния конструктивных элементов машин постоянного тока, которые имеют высокое время наработки на отказ.

I. Kushch, A. Garbuzenko

Definition and justification of change properties of the basic structural elements of the DC motor in long term use

The article describes the features and properties of the basic causes of change of structural components and assemblies DC machine for long term use. Influence of the elements that change characteristics over time in reliability and performance of DC machines is proved. Found ways to solve the problem of determine the state of structural elements of DC machines which long time have been are in use.

Одержано 15.09.12

УДК 621.317.33

І. С. Гришук, асп., М. В. Кубкін, асист., О. А. Козловський, асист.

Кіровоградський національний технічний університет

До питання визначення опору ожеледно-паморозевих відкладень

Запропоновано спосіб вимірювання електричного опору ожеледно-паморозевих відкладень за допомогою двоканального осцилографа, що базується на методі використання закону Ома для змінного струму. Приведені вирази для розрахунку значень опору та ємності дослідного зразка, а також метрологічні оцінки розробленого способу вимірювання.

вимірювання електричних величин, електричний опір, ожеледно-паморозеві відкладення

Вступ. Щорічно у зимовий період року повітряні лінії електропередачі (ПЛЕ) піддаються дії ожеледно-паморозевих відкладень (ОПВ), що призводить до скорочення їх розрахункового строку служби, а у найбільш тяжких випадках — і до руйнування. Традиційно захист ПЛЕ від ожеледно-вітрових аварій проводиться за допомогою електротеплового методу, що передбачає профілактичний нагрів проводів або плавку ожеледі. При необґрунтовано ранньому профілактичному нагріві з наступним

© І. С. Гришук, М. В. Кубкін, О. А. Козловський, 2012

4. Харяджан А.А. Послеремонтная диагностика и паспортизация машин постоянного тока с учетом изменения состояния пакета стали якоря: автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук: спец. 05.09.01 «Электрические машины и аппараты». – Кременчуг, 2004. – 28с.
5. Гемке Р.Г. Неисправности электрических машин. – Л.: Энергия, 1969. – 397с.

И. Куц, А. Гарбузенко

Определение и обоснование изменения свойств основных конструктивных элементов МПТ в процессе длительной эксплуатации

В статье определены особенности изменения свойств основных конструктивных элементов и узлов машины постоянного тока при длительной эксплуатации. Рассмотрено влияние элементов которые изменяют свои характеристики во времени на надежность и работоспособность МПТ. Намечены пути решения проблемы определения состояния конструктивных элементов машин постоянного тока, которые имеют высокое время наработки на отказ.

I. Kushch, A.Garbuzenko

Definition and justification of change properties of the basic structural elements of the DC motor in long term use

The article describes the features and properties of the basic causes of change of structural components and assemblies DC machine for long term use. Influence of the elements that change characteristics over time in reliability and performance of DC machines is proved. Found ways to solve the problem of determine the state of structural elements of DC machines which long time have been are in use.

Одержано 15.09.12

УДК 621.317.33

І. С. Гришук, асп., М. В. Кубкін, асист., О. А. Козловський, асист.

Кіровоградський національний технічний університет

До питання визначення опору ожеледно-паморозевих відкладень

Запропоновано спосіб вимірювання електричного опору ожеледно-паморозевих відкладень за допомогою двоканального осцилографа, що базується на методі використання закону Ома для змінного струму. Приведені вирази для розрахунку значень опору та ємності дослідного зразка, а також метрологічні оцінки розробленого способу вимірювання.

вимірювання електричних величин, електричний опір, ожеледно-паморозеві відкладення

Вступ. Щорічно у зимовий період року повітряні лінії електропередачі (ПЛЕ) піддаються дії ожеледно-паморозевих відкладень (ОПВ), що призводить до скорочення їх розрахункового строку служби, а у найбільш тяжких випадках — і до руйнування. Традиційно захист ПЛЕ від ожеледно-вітрових аварій проводиться за допомогою електротеплового методу, що передбачає профілактичний нагрів проводів або плавку ожеледі. При необґрунтовано ранньому профілактичному нагріві з наступним

© І. С. Гришук, М. В. Кубкін, О. А. Козловський, 2012

зниженням інтенсивності ожеледоутворення витрати на проведення цих заходів будуть марними. Якщо ж початок плавки ожеледі запізнаний, а процес обледеніння інтенсивний, то можливе виникнення значних пошкоджень ПЛЕ. Точно визначити час проведення того чи іншого заходу захисту ПЛЕ від ОПВ можливо використовуючи прогнозування та контроль процесу утворення відкладень.

В останній час проводиться розробка та удосконалення інформаційних систем контролю обледеніння (ІСКО) проводів та тросів ПЛЕ [1, 2]. Складовими частинами сучасної ІСКО є наступні підсистеми: прогнозування часу початку обледеніння проводу; раннього визначення утворення ОПВ та класифікації їх типу; контролю ожеледного навантаження; передачі даних.

Постановка задачі. Ефективність підсистеми раннього визначення утворення ОПВ та класифікації їх типу визначається насамперед її здатністю класифікувати максимальну кількість видів ОПВ (з урахуванням ступеню їх небезпеки для ПЛЕ) на ранній стадії їх утворення. Існуючі підсистеми мають ряд недоліків, що пов'язані, насамперед, з типами первинних вимірювальних перетворювачів (ПВП) та алгоритмами обробки отриманої інформації [3].

Проведений аналіз існуючих ПВП показав, що у якості параметру контролю необхідно використовувати електричний опір ОПВ. Для спрощення розробки запропонованого ПВП [4] доцільно провести комп'ютерне моделювання його режимів роботи для різних типів ОПВ при різній температурі останніх. Так як для цього необхідна інформація про залежність питомого опору ОПВ від його густини та температури, виникає необхідність визначення опору для зразків різних типів ОПВ при їх різній температурі.

Аналіз публікацій. Вимірювати опір речовини можливо в постійному електричному та у змінному електромагнітному полях.

Визначити опір ОПВ на постійному струмі складно, так як дія постійного електричного поля викликає поляризацію ОПВ, через яку якої його опір значно зростає, тому такі вимірювання не дають надійних результатів. Таким чином вимірювання доцільно проводити на змінному струмі.

Для вимірювання електричного опору змінному струму найбільше розповсюдження отримали методи: 1) порівняння з мірою; 2) використання закону Ома для змінного струму.

Методи порівняння з мірою реалізуються за допомогою мостів та потенціометрів змінного струму. Незважаючи на високу точність вимірювання, мости та потенціометри мають значні розміри. Окрім того, так як не існує взірцевої міри змінної ЕРС, потенціометри за точністю вимірювання значно поступаються мостам змінного струму. Реалізація цифрових приладів на основі мостових схем супроводжується значними ускладненнями як схемного рішення, так і автоматизації процесу зрівноваження.

Суть *методу використання закону Ома* полягає у вимірюванні напруги та струму в колі, а також зсуву фаз між ними і обчислення значення опору за законом Ома. До переваг цього методу можна віднести відносно просту реалізацію. Метод закону Ома по відношенню до методу порівняння з мірою має невисоку точність. Проте, така точність зазвичай є достатньою для практичних застосувань результатів вимірювання.

Існує декілька реалізацій цього методу.

У цифрових *RLC*-метрах вимірювання базуються на аналізі проходження тестового синусоїдального сигналу з заданою частотою через коло вимірювання. Недоліками цих приладів є фіксовані частоти вимірювання та низька верхня межа вимірювального діапазону опору — до 10 МОм. Прилади з плавним регулюванням

тестової частоти та з широкими вимірвальними діапазонами (до 100 ГОм) мають значну вартість.

Спосіб «вольтметрів–фазометра» полягає в наступному: коло, що складається із послідовно з'єднаних елементів з відомим та невідомим (шуканим) значеннями опору під'єднується до генератора сигналів. Проводяться вимірювання напруги генератора, спаду напруги на відомому опорі та кута зсуву фаз між цими напругами. За значенням спаду напруги на відомому опорі та значенням самого опору обчислюється струм в колі, а після за законом Ома знаходиться значення шуканого опору. Недоліком методу є велика кількість приладів вимірювання (2 вольтметри та 1 фазометр), перевагою — можливість вимірювання опору на різних частотах та можливість плавного регулювання частоти тестової напруги.

Аналогом способу «вольтметрів—фазометра» є спосіб, в якому в якості вимірвального пристрою використовується двоканальний осцилограф. Значення напруг та зсуву фаз обчислюються за осцилограмою. Сучасні цифрові осцилографи дозволяють провести вимірювання зазначених величин в автоматичному режимі. Метод є достатньо простим, легко реалізується та добре зарекомендував себе у частотному діапазоні від 10^{-4} до 10^7 Гц [5]. Таким чином, для вимірювання опору ОПВ доцільним є метод закону Ома з використанням осцилографа.

Метою статті є висвітлення способу вимірювання електричного опору ожеледно-паморозевих відкладень за допомогою осцилографа.

Основна частина. Схема запропонованого способу представлена на рис. 1. Відмінною рисою способу є використання в якості опору з відомим значенням не окремого елемента (резистора), а внутрішнього опору осцилографа. Це пов'язано з наступними міркуваннями. Так як за попередньою оцінкою значення опору зразка ОПВ знаходиться в межах 1...4 ГОм, то струм через зразок буде достатньо малим. Тому, якщо в якості елемента з відомим опором використовувати низькоомний резистор, спад напруги на ньому буде нижче межі чутливості осцилографа. У разі використання резистора з великим значенням опору $10^5...10^7$ Ом, він буде шунтуватись близьким по значенню внутрішнім опором осцилографа. Тому, при вимірюванні за наведеним нижче способом, в якості опору з відомим значенням використовується вхідний опір осцилографа.

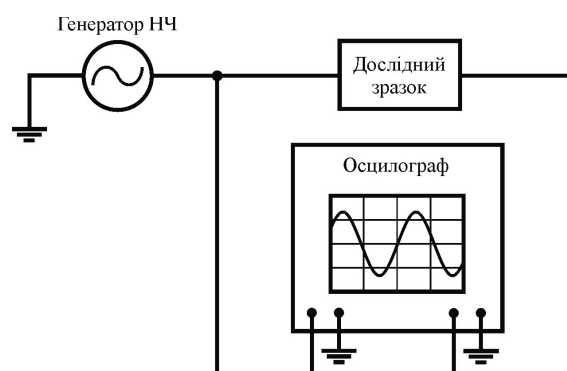
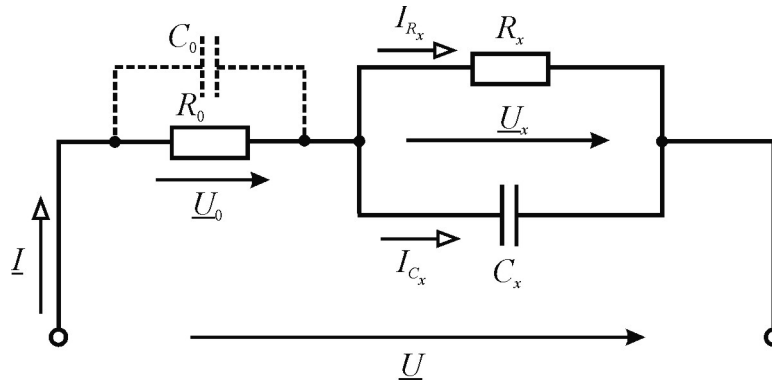


Рисунок 1 — Функціональна схема вимірювання опору з використанням осцилографа

Дослідний зразок можна представити у вигляді еквівалентної схеми заміщення паралельно з'єднаних опору R_x та ємності C_x , а вхідний опір осцилографа — у вигляді з'єднаних паралельно активного опору R_0 та ємності C_0 (рис. 2). Для усунення впливу ємності C_0 необхідно, щоб виконувалась умова:

$$\frac{1}{2\pi f C_0} \gg R_0, \quad (1)$$

де f — частота напруги генератора сигналів.



R_0, C_0 — відповідно вхідні опір та ємність осцилографа; R_x, C_x — відповідно опір та ємність дослідного зразку; I — повний струм в колі; I_{R_x}, I_{C_x} — відповідно активна та реактивна складові повного струму; U — напруга генератора сигналів; U_0 — спад напруги на опорі R_0 ; U_x — спад напруги на дослідному зразку

Рисунок 2 — Електрична схема заміщення функціональної схеми

Виходячи зі схеми заміщення, значення шуканих опору R_x та ємності C_x можна визначити як:

$$R_x = \frac{U_x}{I_{R_x}}; \quad (2)$$

$$C_x = \frac{1}{\omega X_{C_x}} = \frac{1}{\omega U_x} I_{C_x}. \quad (3)$$

Значення U_x, I_{R_x}, I_{C_x} , знаходяться за векторною діаграмою струмів та напруг (рис. 3).

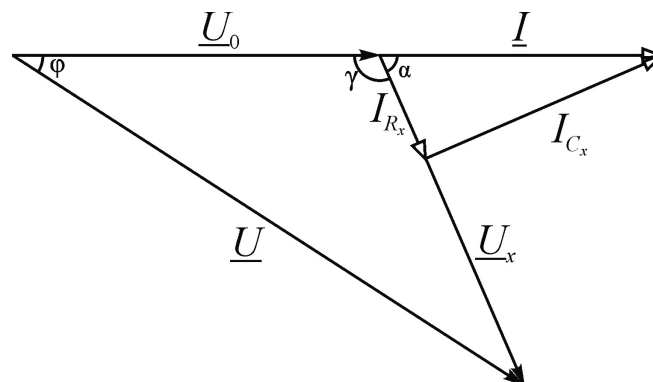


Рисунок 3 — Векторна діаграма струмів та напруг для кола зображеного на рис. 2

Шляхом вимірювань, згідно схеми (рис. 1), отримуються значення напруг U, U_0 та кут зсуву фаз φ між ними:

$$\varphi = \omega\tau = 2\pi f\tau, \quad (4)$$

де τ — горизонтальна різниця фаз (рис. 4).

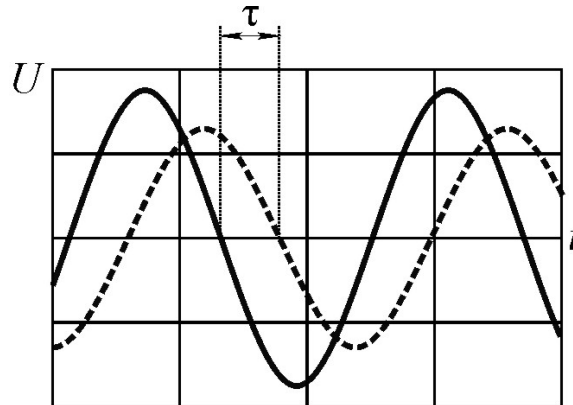


Рисунок 4 — До визначення кута зсуву фаз φ між U та U_0 за осцилограмою

За теоремою косинусів, згідно векторної діаграми, значення напруги U_x визначається як:

$$U_x = \sqrt{U^2 + U_0^2 - 2UU_0 \cos \varphi}. \quad (5)$$

Струми I_{R_x} та I_{C_x} будуть відповідно визначатись:

$$I_{R_x} = I \cos \alpha; \quad (6)$$

$$I_{C_x} = I \sin \alpha, \quad (7)$$

де $I = \frac{U_0}{R_0}$ — значення повного струму;

$\alpha = \arcsin\left(\frac{U}{U_x} \sin \varphi\right)$ — кут зсуву фаз між складовими струму I .

Підставивши вирази (5), (6), (7) в рівняння (2) та (3) отримуємо:

$$R_x = \frac{\sqrt{U^2 + U_0^2 - 2UU_0 \cos(2\pi f \tau)}}{\frac{U_0}{R_0} \cos \left[\arcsin \left(\frac{U}{\sqrt{U^2 + U_0^2 - 2UU_0 \cos(2\pi f \tau)}} \sin(2\pi f \tau) \right) \right]}; \quad (8)$$

$$C_x = \frac{1}{2\pi f} \frac{\frac{U_0}{R_0} \sin \left[\arcsin \left(\frac{U}{\sqrt{U^2 + U_0^2 - 2UU_0 \cos(2\pi f \tau)}} \sin(2\pi f \tau) \right) \right]}{\sqrt{U^2 + U_0^2 - 2UU_0 \cos(2\pi f \tau)}}. \quad (9)$$

Перетворюючи (8) та (9) остаточно маємо:

$$R_x = \frac{R_0}{U_0} \frac{U^2 + U_0^2 - 2UU_0 \cos(2\pi f \tau)}{\sqrt{U^2 \cos^2(2\pi f \tau) + U_0^2 - 2UU_0 \cos(2\pi f \tau)}}; \quad (10)$$

$$C_x = \frac{1}{2\pi f} \frac{U_0}{R_0} \frac{U \sin(2\pi f \tau)}{U^2 + U_0^2 - 2UU_0 \cos(2\pi f \tau)}. \quad (11)$$

Вирази (10) та (11) є справедливими для випадку, коли опір дослідного зразка приблизно дорівнює вхідному опору осцилографа ($R_x \approx R_0$), тоді й напруга генератора сигналів U не буде значно відрізнятися від спаду напруги на опорі U_0 ($U \approx U_0$). Коли опір дослідного зразка є значно більшим ніж вхідний опір осцилографа ($R_k \gg R_0$), напруга генератора сигналів U буде значно більшою за спад напруги U_0 на опорі R_0 ($U \gg U_0$), а отже падіння напруги на дослідному зразку U_x буде близьке до напруги генератора сигналів ($U \approx U_x$). Зважаючи на це, вирази (10) та (11) приймуть вигляд:

$$R_x = \frac{R_0}{U_0} \frac{U}{\cos(2\pi f \tau)}; \quad (12)$$

$$C_x = \frac{1}{2\pi f} \frac{U_0}{R_0} \frac{\sin(2\pi f \tau)}{U}. \quad (13)$$

Абсолютні похибки визначення опору ΔR_x та ємності ΔC_x , враховуючи кореляцію між U та U_0 , φ та τ , будуть [6]:

$$\Delta R_x = \left| \frac{\partial R_x}{\partial U} \Delta U \right| + \left| \frac{\partial R_x}{\partial U_0} \Delta U_0 \right| + \left| \frac{\partial R_x}{\partial R_0} \Delta R_0 \right| + \left| \frac{\partial R_x}{\partial f} \Delta f \right| + \left| \frac{\partial R_x}{\partial \tau} \Delta \tau \right|; \quad (14)$$

$$\Delta C_x = \left| \frac{\partial C_x}{\partial U} \Delta U \right| + \left| \frac{\partial C_x}{\partial U_0} \Delta U_0 \right| + \left| \frac{\partial C_x}{\partial R_0} \Delta R_0 \right| + \left| \frac{\partial C_x}{\partial f} \Delta f \right| + \left| \frac{\partial C_x}{\partial \tau} \Delta \tau \right|, \quad (15)$$

де $\Delta U, \Delta U_0, \Delta R_0, \Delta f, \Delta \tau$ — абсолютні похибки вимірювання U, U_0, R_0, f, τ відповідно.

Вирази (14) та (15) будуть давати *верхню* межу похибок вимірювання.

Для перевірки методики проведено експеримент з відомими значеннями опору резистора $R_x = 22 \text{ МОм} \pm 5\%$ та ємності конденсатора $C_x = 2,7 \text{ нФ} \pm 10\%$. Для виконання умови (1) вимірювання проводились на частоті $f \approx 20 \text{ Гц}$. В якості джерела тестового сигналу використано генератор низькочастотних сигналів ГЗ–102, а в якості осцилографа — цифровий чотирьохканальний осцилограф RIGOL DS1104В. Вхідний опір осцилографа $R_0 = 1 \text{ МОм} \pm 2\%$. Похибки вимірювань осцилографа за напругою та часом складають відповідно [7]:

$$\Delta U = \pm(3\%U_{\text{вим}} + 0,05C_U); \quad (16)$$

$$\Delta\tau = \pm(T_s + 50 \cdot 10^{-6} \tau_{\text{вим}} + 0,4 \cdot 10^{-9} \text{ с}), \quad (17)$$

де $U_{\text{вим}}$ — вимірне значення напруги, В;

C_U — ціна поділки шкали напруг, В/под.;

T_s — час дискретизації, с;

$\tau_{\text{вим}}$ — вимірне значення часу, с.

На рис. 5 представлено осцилограми, на яких наведено криві напруг та результати автоматичного вимірювання їх параметрів: $U = 9,80$ В, $U_0 = 3,05$ В, $f = 20,0$ Гц (рис. 5, а), $\tau = 8,92$ мс = $8,92 \cdot 10^{-3}$ с (рис. 5, б). При цьому: $C_U = 2,85$ В/под., $C_{U_0} = 0,940$ В/под., $T_s = 2 \cdot 10^{-5}$ с. Відповідно до (16), (17) похибки вимірювань будуть складати: $\Delta U = 0,4$ В; $U = 0,1$ В; $\Delta R_0 = 2 \cdot 10^4$ Ом; $\Delta f = 0,01$ Гц; $\Delta\tau = 2 \cdot 10^{-5}$ с.

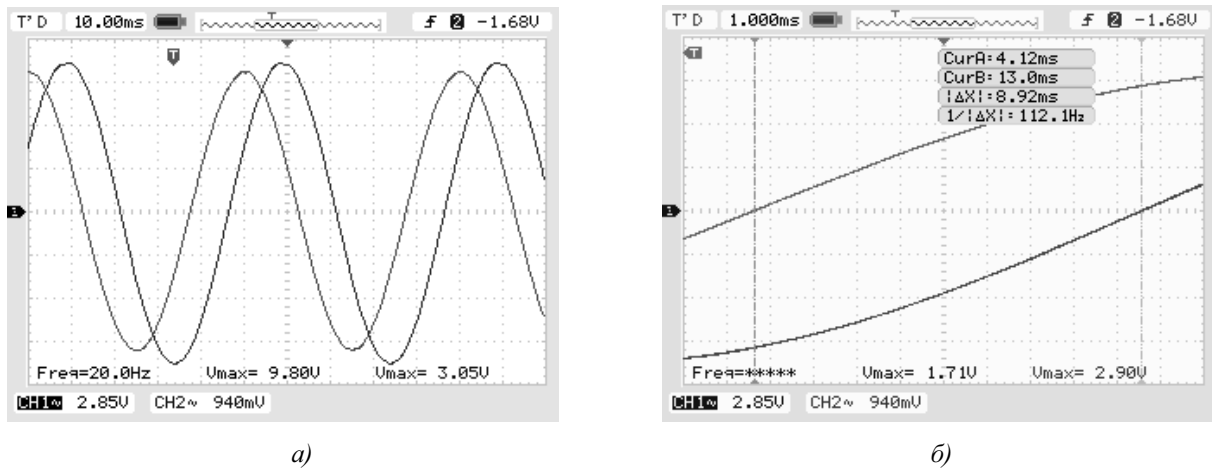


Рисунок 5 — Осцилограми напруг

Середні значення опору R_x та ємності C_x обчислені за (10) та (11):

$$R_x = 21 \text{ МОм}, \quad C_x = 2,7 \text{ нФ}.$$

Абсолютні похибки вимірювання опору ΔR_x та ємності ΔC_x за (14) та (15):

$$\Delta R_x = 3 \text{ МОм}, \quad \Delta C_x = 0,3 \text{ нФ}.$$

Таким чином:

$$R_x = (21 \pm 3) \text{ МОм}, \quad C_x = (2,7 \pm 0,3) \text{ нФ}.$$

Відносні похибки вимірювання:

$$\delta R_x = \pm 15\%, \quad \delta C_x = \pm 10\%.$$

Номінальні значення використаних в досліді резистора та ємності, а також їх значення, обчислені за результатами експерименту, представлені в табл. 1.

Таблиця 1 — Порівняння номінальних та експериментальних значень

Величина	Номінальні значення	Обчислені значення
R_x , МОм	22	21
ΔR_x , МОм	1,1	3
C_x , нФ	2,7	2,7
ΔC_x , нФ	0,27	0,3

З результатів вимірювань можна побачити, що довірчі інтервали номінальних значень та значень, виміряних непрямым методом, перекриваються (рис. 6).

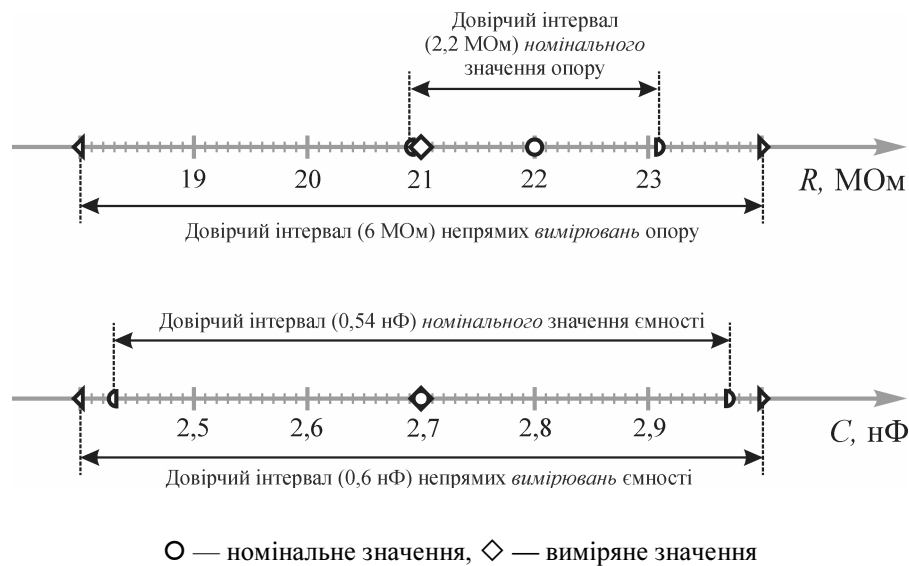


Рисунок 6 — Результати обробки експериментальних даних

Висновки.

- 1) Запропонований спосіб вимірювання опору має необхідну для практичних застосувань точність.
- 2) На підставі проведених досліджень відкривається перспектива проведення експериментальних вимірювань електричного опору ОПВ та розробки алгоритму класифікації типів ОПВ на резистивних ПВП.

Список літератури

1. Дьяков А. Ф. Предотвращение и ликвидация гололедных аварий в электрических сетях энергосистем / А. Ф. Дьяков, А. С. Засыпкин, И. И. Левченко. — Пятигорск: РП «Южэнерготехнадзор», 2000. — 284 с.
2. Козловський О. А. Комп'ютеризована система контролю за станом повітряних ліній електропередачі при ожеледоутворенні / О. А. Козловський, С. В. Серебренников, М. В. Кубкін // Ефективність та якість електропостачання промислових підприємств: V міжнародна науково-технічна конф.: 75-річчю Приазов. держ. техн. ун-ту присвячується: зб. праць. — Маріуполь: Вид-во ПДТУ, 2005. — С.327—329.
3. Козловський О. А. Розробка та комп'ютерне моделювання режимів роботи первинного вимірювального перетворювача ожеледоутворення / О. А. Козловський, М. В. Кубкін, І. С. Гришук // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: збірник наукових праць КНТУ — Кіровоград, 2011. — Вип. 24, Ч.І. — С. 308—315.
4. Пат. 63655 Україна, МПК⁸ H02G 7/16. Сигналізатор обледеніння проводів повітряних ліній електропередачі / О. А. Козловський, І. С. Гришук; заявник і патентотримувач Кіровоградський

- національний технічний університет – №u201106291; заявл. 19.05.2011; опубл. 10.10.2011, Бюл. №19, 2011 р.
5. Petrenko V. Electrical Properties of Ice / Petrenko V. // Special Report 93-20, August 1993. — 70 p.
 6. Новицкий П. В. Оценка погрешностей результатов измерений / П. В. Новицкий, И. А. Зограф — Л.: Энергоатомиздат, 1991. — 304 с.
 7. Rigol User Guide DS1000B Series Digital Oscilloscopes. — Rigol Technologies Inc., 2009 — 166 p.

И. Грищук, М. Кубкин, А. Козловский

К вопросу расчета сопротивления гололедно-изморозевых отложений

Предложен способ измерения электрического сопротивления гололедно-изморозевых отложений с помощью двухканального осциллографа, который базируется на методе использования закона Ома для переменного тока. Приведены выражения для вычисления значений сопротивления и емкости, а также метрологические характеристики предложенного способа.

I. Gryshchuk, M. Kubkin, O. Kozlovskyi

On defining resistance of glaze-ice and rime deposition

The article offers the method of measuring electrical resistance of glaze-ice and rime deposition with the help of dual channel oscilloscope. It is based on the method of usage of Ohm's law for alternating current. The article provides expressions for the calculation of resistance value as well as meteorological evaluation of the developed method of measuring.

Одержано 15.09.12

УДК 621.311.001.57

В.П. Щокін, проф., д-р техн. наук, О.В. Щокіна, ст. викл.

ДВНЗ «Криворізький національний університет», м. Кривий Ріг

ARMAViS-модель процесу електроспоживання рудозбагачувальними фабриками ГЗК

Наведені результати синтезу нейроморфної авторегресійної моделі процесу електроспоживання підрозділами гірничозбагачувальних комбінатів. Результати промислових випробувань розробленої моделі підтверджують ефективність її застосування в інформаційній системі нормування електроспоживання рудозбагачувальними фабриками ГЗК, що дозволить системно впроваджувати заходи з енергозбереження на гірничозбагачувальних підприємствах.

авторегресійна модель, електроспоживання, енергозбереження

*Постановка проблеми у загальному вигляді. В статті наведено результати першого етапу науково-дослідної роботи, яка фінансується ВАТ «ПівдГЗК» (м. Кривий Ріг) згідно договору №*** від ****. Мета роботи – розробка методу нормування електроспоживання рудозбагачувальними фабриками гірничозбагачувального комбінату з метою системного впровадження заходів з енергозбереження.*

Очікувані результати: при впровадженні розробленого методу нормування

- національний технічний університет – №u201106291; заявл. 19.05.2011; опубл. 10.10.2011, Бюл. №19, 2011 р.
5. Petrenko V. Electrical Properties of Ice / Petrenko V. // Special Report 93-20, August 1993. — 70 p.
 6. Новицкий П. В. Оценка погрешностей результатов измерений / П. В. Новицкий, И. А. Зограф — Л.: Энергоатомиздат, 1991. — 304 с.
 7. Rigol User Guide DS1000B Series Digital Oscilloscopes. — Rigol Technologies Inc., 2009 — 166 p.

И. Грищук, М. Кубкин, А. Козловский

К вопросу расчета сопротивления гололедно-изморозевых отложений

Предложен способ измерения электрического сопротивления гололедно-изморозевых отложений с помощью двухканального осциллографа, который базируется на методе использования закона Ома для переменного тока. Приведены выражения для вычисления значений сопротивления и емкости, а также метрологические характеристики предложенного способа.

I. Gryshchuk, M. Kubkin, O. Kozlovskyi

On defining resistance of glaze-ice and rime deposition

The article offers the method of measuring electrical resistance of glaze-ice and rime deposition with the help of dual channel oscilloscope. It is based on the method of usage of Ohm's law for alternating current. The article provides expressions for the calculation of resistance value as well as meteorological evaluation of the developed method of measuring.

Одержано 15.09.12

УДК 621.311.001.57

В.П. Щокін, проф., д-р техн. наук, О.В. Щокіна, ст. викл.

ДВНЗ «Криворізький національний університет», м. Кривий Ріг

ARMAViS-модель процесу електроспоживання рудозбагачувальними фабриками ГЗК

Наведені результати синтезу нейроморфної авторегресійної моделі процесу електроспоживання підрозділами гірничозбагачувальних комбінатів. Результати промислових випробувань розробленої моделі підтверджують ефективність її застосування в інформаційній системі нормування електроспоживання рудозбагачувальними фабриками ГЗК, що дозволить системно впроваджувати заходи з енергозбереження на гірничозбагачувальних підприємствах.

авторегресійна модель, електроспоживання, енергозбереження

*Постановка проблеми у загальному вигляді. В статті наведено результати першого етапу науково-дослідної роботи, яка фінансується ВАТ «ПівдГЗК» (м. Кривий Ріг) згідно договору №*** від ****. Мета роботи – розробка методу нормування електроспоживання рудозбагачувальними фабриками гірничозбагачувального комбінату з метою системного впровадження заходів з енергозбереження.*

Очікувані результати: при впровадженні розробленого методу нормування

електроспоживання на енергоємних виробництвах буде спостерігатися зменшення витрат на проведення планово-попереджувальних ремонтів до 40% та зниження енергоспоживання структурними підрозділами гірничозбагачувальних підприємств до 2%.

Економічний ефект досягається за рахунок: підвищення надійності нормування електроспоживання об'єктами при застосуванні методики ARMAViS-прогнозування; виявлення об'єктів і підрозділів, що споживають електроенергію нераціонально і мають найбільший потенціал енергозбереження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій за даною проблемою. Основу енергозбереження на енергоємних виробництвах складає планомірна реалізація комплексу технічних і технологічних заходів, спрямованих на зниження енергоспоживання об'єктами інфраструктури. На першому етапі застосування методики енергозбереження повинна виконуватись оптимізація електроспоживання інфраструктурою технологічного комплексу на системному рівні. Її метою є створення науково обґрунтованих передумов для проведення цілеспрямованих енергетичних аудитів з наступною реалізацією технічних і технологічних заходів, орієнтованих на енергозбереження в умовах енергоємних виробництв.

Проблемами статистичного аналізу електроспоживання елементами техноценозів та побудови емпіричних моделей процесів електроспоживання присвячена значна кількість наукових робіт Б.І. Кудріна, В.В. Фуфаєва, В.І. Гнатюка [1-3] та ін. У вищезазначених роботах запропоновані методи нормування електроспоживання і відповідно розроблені методики визначення графіків проведення планово-попереджувальних ремонтів на об'єктах техноценозів. До основних особливостей запропонованих методик можна віднести: чергування і періодичність ремонтів визначаються призначенням устаткування, його конструктивними і ремонтними особливостями, а також умовами експлуатації; планово-попереджувальний ремонт (ППР) устаткування передбачає виконання: міжремонтного обслуговування; періодичних оглядів; періодичних планових ремонтів - малих, середніх, капітальних; ППР здійснюються за планом-графіком, який розроблений на основі нормативів ППР: тривалості ремонтного, міжремонтного і міжоглядового циклів; категорій ремонтної складності; трудомісткості і матеріалоємності ремонтних робіт.

Найбільш близьким рішенням, обраним в якості прототипу, є методика оптимального управління енергоспоживанням на системному рівні [3]. Спосіб включає використання усередненого зв'язування для одномірних даних, де на кожному кроці застосована оцінка відстаней між статистичними даними, визначення пари найближчих даних і заміни їх середнім значенням, отримання єдиного об'єднання (кластеру), створення багаторівневої ієрархії, групування об'єктів, проведення нормування електроспоживання у кожній групі і визначення черги об'єктів для проведення енергоаудиту.

Виділення невирішених частин загальної проблеми. Описаний метод статистичного планування енергетичних аудитів [3] має ряд недоліків: синтез емпіричної моделі процесу електроспоживання проводиться на основі класичної теорії статистичної обробки даних, що містить у собі інтервальне оцінювання, а також ранговий і кластерний аналіз, похибка методів при цьому досягає 15%; прогнозування електроспоживання окремими об'єктами й інфраструктурою у цілому, провадиться при використанні рангового аналізу, при цьому точність прогнозування може бути підвищена при використанні відомих парадигм нейронних мереж; кластерний аналіз дозволяє розділити об'єкти по групах за певними ознаками, однак кількість кластерів задається апріорно, що значно знижує точність нормування електроспоживання

об'єктами у кожній групі; статистичний аналіз провадиться з використанням лише даних активної потужності.

Задачею даної роботи є удосконалення прототипу за рахунок використання ARMAViS-прогнозування [4] електроспоживання інфраструктурою, що дозволяє зменшити похибку екстраполяції, підвищити ефективність динамічного планування енергетичних аудитів на енергоємних об'єктах за рахунок розробки методу оцінювання енергетичного стану з урахуванням комплексного впливу різноманітних чинників.

Послідовна реалізація розробленого методу оптимального керування електроспоживанням функціональними групами техноценозів з ARMAViS-прогнозуванням, дозволяє цілеспрямовано впливати на ті об'єкти, які дійсно потребують проведення профілактичних робіт. При цьому фонди, спрямовані на проведення енергетичних обстежень, будуть витрачатися найбільше ефективно, а загальне електроспоживання інфраструктурою буде знижено на 1-2%, що підтверджено виробничими випробуваннями нейронечіткої моделі в короткотривалому прогнозуванні електроспоживання підрозділами ПАТ "ПівніЗК" (м. Кривий Ріг) [5].

Як зазначено вище, нормування електроспоживання об'єктами гірничозбагачувальних підприємств та планування енергетичних аудитів ґрунтується на використанні системи ефективного ARMAViS-прогнозу електроспоживання. Наукове обґрунтування ефективності нейронечіткого прогнозу електроспоживання об'єктами інфраструктури проведено в рамках виконання НДР за договором № Ф11/11-2006 [6].

Результатом виконання НДР є система прогнозування 24-годинних електричних навантажень комбінату. Оскільки однією з важливих властивостей нейронних мереж є здатність прогнозувати тимчасові ряди, в якості базового алгоритму системи прогнозування прийнятий нейромережевий підхід.

Подібна задача - прогнозування 24-годинних навантажень Польської електроенергетичної системи (PSE), вирішена в роботах С.Осовського [7]. Облік властивостей прогнозування перцептронними мережами дає можливість використовувати визначену повторюваність вибірок в залежності від дня тижня і місяця. У роботі [7] виділяються або чотири основних види навантажень, що відповідають суботі, неділі, понеділку й іншим чотирьом робочим дням, або тільки два види, що відповідають святковим і робочим дням.

За результатами проведених [5] статистичних досліджень встановлено, що розподіл по чотирьом типам днів хоча і знижує похибку навчання нейромережі, однак збільшує похибку узагальнення. Отже, в якості оптимального, прийнято розподіл по двом видам робочих днів.

Ще одним фактором, що враховувався у прогнозі [5], є розподіл доби на чотири періоди: рівномірний нічний, піковий ранковий, рівномірний денний і піковий вечірній. Прийнятий поділ доби передбачає зсув виділених періодів відповідно до сезонів.

ARMAViS-модель процесів електроспоживання. У сучасній науковій літературі при висвітленні питань нейропрогнозування, а саме в описах методів синтезу структур нейроідентифікації динаміки об'єктів, використовують таку інтерпретацію апроксимуючих властивостей штучних нейронних мереж (ШНМ):

$$\hat{y}(k+1) = F(u_k, z^{-1}u_k, \dots, z^{-m}u_k; \hat{y}_k, z^{-1}\hat{y}_k, \dots, z^{-n}\hat{y}_k; w_i^{(l)}), \quad (1)$$

де в якості вектора стану ШНМ приймають вектор:

$$\text{col}(y, z^{-1}\hat{y}, \dots, z^{-n}\hat{y}) = \text{col}(\hat{x}_n(k), \hat{x}_{n-1}(k), \dots, \hat{x}_1(k)), \quad (2)$$

де z^{-1} – оператор зсуву.

Результатом ідентифікації динамічної моделі процесів електроспоживання, в сенсі наближення функцій виходу $\hat{y}(t)$ і $y(t)$ з точністю до похибки навчання нейронної мережі $\hat{e}(t) = y(t) - \hat{y}(t)$, є параметрично синтезовані, згідно з певним алгоритмом, значення вагових коефіцієнтів синоптичних зв'язків $w_i^{(l)}$ в шарах ШНМ $l = \overline{1, K}$ з оцінкою вектора стану об'єкта, який прийнято [7] описувати параметрично недовизначеним нелінійним диференціальним рівнянням виду:

$$y(k+1) = f[y(k), y(k-1), \dots, y(k-n+1); u(k), \dots, u(k-m+1)] \quad (3)$$

Нами пропонується розглядати функції, які виконує ШНМ в структурі системи прогнозування з точки зору проєкції властивостей дискретного фільтра, який виконує перетворення вхідної послідовності чисел $y(mT)$ у вихідну $u(mT)$ ($m = 0, 1, \dots, N$). У даному випадку різницеве рівняння (1) з урахуванням заміни неперервного аргументу буде мати такий вигляд:

$$u(mT) = \sum_{k=0}^N \beta_k y[(m-k)T] - \sum_{k=1}^N \alpha_k u[(m-k)T] \quad (4)$$

Співставлення рівнянь (3) та (4) дозволяє довести, що параметрично недовизначене нелінійне диференціальне рівняння (3) є узагальненою формою рівняння дискретного фільтра (4), якщо врахувати, що вагові коефіцієнти β_k ($k = 0, 1, 2, \dots, N$) та α_k ($k = 0, 1, 2, \dots, N$) можуть бути визначені на базі застосування апроксимуючих властивостей інтелектуальних елементів з урахуванням мінімізації квадратичного функціонала

$$J(\varepsilon_u) = 0,5 \varepsilon_u^T \varepsilon_u \quad (5)$$

Рівняння (4) у дискретній формі має вид:

$$y[i] = \sum_{j=0}^q \alpha_j x[i-j] - \sum_{k=1}^p \beta_k y[i-k] + \varepsilon[i] \quad (6)$$

Оскільки відсутня явна залежність вектора ε_u і функції $J(\varepsilon_u)$ у функціоналі (5) від вагових коефіцієнтів $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$, помилка ε_u у процедурі адаптації моделі (6) перераховується в узагальнені помилки $\delta^{(l)}$, які явно залежать від значень $\alpha_0, \dots, \alpha_l$. При цьому адаптація вагових коефіцієнтів моделі (6) на кроці $[i+1]$ виробляється відповідно до наступного шаблону:

$$\alpha_j[i+1] = \alpha_j[i] - h\beta^{(i-j)}[i]\Lambda^{(j)}[i], \quad (7)$$

де $\beta^{(i-j)}$ – розподілений лаг регресора, h – швидкість настроювання,

$$\alpha_j[i] = \alpha_j[i-1] + h \cdot \varepsilon_u[i] \cdot \beta[i-j-1], \quad j = 0, 1 \dots \ell, \lambda > 0. \quad (8)$$

Адаптаційна помилка $\varepsilon_u[i]$ визначається як різниця еталонного значення і фактичного виходу моделі на i -ої ітерації.

З урахуванням адаптивних властивостей моделі (6), які забезпечуються нейроморфним настроюванням вагових коефіцієнтів $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2 \dots \alpha_n$ дані дискретні адаптивні структури, що характеризують адаптивні ARMA-процеси, скорочено запропоновано [4] називати ARMABiS (AutoRegressive with Moving Average Brain-inspired Systems).

Застосування ARMABiS-моделей процесів електроспоживання в методиці оптимального керування електроспоживанням підрозділами гірничозбагачувальних підприємств дозволяє відокремитись від визначеного загального тренда, обумовленого технологічними і технічними змінами виробництва, оскільки модель навчається розпізнавати параметри годинних навантажень, характерні для різних днів. Специфіка конкретного дня задається кодованим вхідним сигналом. Вхідний вектор поєднує наступні значення: основні електротехнічні показники електроспоживання за активною і реактивною складовою; два типи днів; сезонний розподіл періоду прогнозу; розподіл доби на чотири періоди; попередні дані динаміки електроспоживання; основні метеорологічні показники періоду прогнозу; основні показники технологічної сировини; основні показники технічного стану обладнання і інше.

Додатково позначаємо середнє значення енергетичного режиму підрозділу комбінату в j -й день $Pm(j)$, а його варіацію - $\sigma(j)$, що дає змогу визначити годинний профіль j -го дня:

$$p(j, h) = \frac{P(j, h) - Pm(j)}{\sigma(j)}, \quad (9)$$

де $h = 1, 2, \dots, 24$; $P(j, h)$ - фактичне електроспоживання підрозділом комбінату в h -й годині j -дня; $p(j, h)$ - вектор профільного електроспоживання дня.

У розробленій системі прогнозу на базі ARMABiS-моделей процесів електроспоживання, за початкову точку відліку прийняті часи з найбільш стабільним навантаженням у масштабах року. Якість прогнозування розробленої ARMABiS-структури оцінюється показником відсоткової похибки $MAPE$ (Mean Absolute Percentage Error)

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|P_t - \bar{P}_t|}{P_t} \cdot 100\% \quad (10)$$

де \overline{Pt} - безпосередньо прогнозоване значення; Pt - фактичне електроспоживання підрозділом; n - число годин на які складається прогноз.

Розроблена структура прогнозу пройшла промислові випробування в умовах щомісячного прогнозу енергоспоживання комбінатом ВАТ "ПівдГЗК", і була доведена ефективність її використання в інформаційній системі оптимального керування електроспоживанням РЗФ ГЗК а саме: МАРЕ-похибка моделі, в режимі робочого функціонування, не перевищує 1,5%; вхідний вектор моделі охоплює досить широкий спектр інформативних параметрів, що забезпечує зниження похибки узагальнення; модель забезпечує динамічне прогнозування з урахуванням попередніх навчаючих кортежів.

Висновки і перспективи подальших робіт у даному напрямку.

В статті наведено результати побудови ARMABiS-моделі процесу електроспоживання підрозділами гірничозбагачувальних комбінатів, яка може бути ефективно застосована в інформаційній системі нормування електроспоживання рудозбагачувальними фабриками ГЗК з метою системного впровадження заходів з енергозбереження на подібних підприємствах. Подальші роботи будуть спрямовані на розробку інформаційної системи планування енергетичних аудитів на об'єктах енергоємних виробництв.

Список літератури

1. Кудрин Б.И. Проблемы создания и управления ценозами искусственного происхождения // Кибернетические системы ценозов: Синтез и управление. – М.: Наука, 1991. – С. 5 – 17.
2. Фуфаев В.В. Ценологическое определение параметров электропотребления, надежности, монтажа и ремонта электрооборудования предприятий региона. – М.: ЦСИ, 2000. – 320 с.
3. Гнатюк В.И. Закон оптимального построения техноценозов. – Выпуск 29. Ценологические исследования. – М.: Изд-во ТГУ – Центр системных исследований, 2005.
4. Щокін В.П. Адаптивне керування агломераційним комплексом на основі авторегресійних структур з регуляризацією: автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.13.07/ Вадим Петрович Щокін : ДВНЗ «Криворізький національний університет» - Кривий Ріг : 2012. – 40с.
5. Аналіз енергетичних режимів роботи основних цехів ВАТ «ПівдГЗК»: Звіт з НДР/ Криворізький техн. університет. – № 1238. – Кривий Ріг, 2003.-150 с.
6. Розроблення методу та програмного забезпечення нейронечіткого планування енергетичного аудита на об'єктах енергоємних виробництв: Звіт з НДР №Ф11/11-2006 на виконання НТП GP/F11/0002/ Криворізький техн. університет. – Кривий Ріг, 2006.-250 с.
7. Osowski S. Sieci neuronowe do przetwarzania informacji. Oficyna wydawnicza politechniki warszawskiej, Warszawa, 2000. - Pp. 124-128.

В. Щекін, О.Щекіна

ARMABiS-модель процесса электропотребления рудообогатительных фабрик ГОК

Приведены результаты синтеза нейроморфной авторегрессионной модели процесса электропотребления подразделениями горнообогатительных комбинатов. Результаты промышленных испытаний разработанной модели, подтверждают эффективность ее применения в информационной системе нормирования электропотребления рудообогатительными фабриками ГОКов, что позволит системно внедрять мероприятия связанные с энергосбережением на горнообогатительных предприятиях.

V. Shchokin, O..Shchokina

ARMABiS-model of process electro-consumption iron-stone enriching Ore Mining and Processing Plant

The results of synthesis of Neural-AutoRegressive model of process of electro-consumption subdivisions of Ore Mining and Processing Plant. Results of industrial tests of the developed model, confirm efficiency of its application in the informative system of setting norms electro-consumption the Ore Mining and

Processing Plant, that will allow system to inculcate measures related to energy-economy on Ore Mining and Processing Plant.

УДК 621.316.1

В.В. Зінзура, асист.

Кіровоградський національний технічний університет

Задача багатокритеріальної оптимізації регулювання напруги в електричній мережі з глухозаземленою нейтраллю

Стаття присвячена розробці математичної моделі управління пристроєм РПН силового трансформатора, що працює в мережі з ізольованою нейтраллю. Дана модель управління забезпечує зменшення не лише усталеного відхилення трьохфазної напруги, зменшення рівнів несиметрії по зворотній та нульовій послідовностях, а враховує й відхилення фазних напруг, що є досить актуальною задачею для мережі з однофазними споживачами.

відхилення напруги, несиметрія напруги, багатокритеріальна оптимізація, парето-оптимальна множина, утопічна точка

Вступ. В сучасних системах електропостачання досить часто спостерігаються завищені показники якості електричної енергії.

Одними з основних показників, що характеризують якість електричної енергії згідно ГОСТ-113109-97 є усталене відхилення напруги та коефіцієнти несиметрії по зворотній та нульовій послідовностях.

Понаднормове перевищення значень даних показників якості призводить до появи ряду негативних явищ: збільшення втрат електричної енергії, зношення ізоляції, вихід електроприймачів з ладу та ін.

Постановка проблеми. В низьковольтних мережах, що працюють в режимі з глухозаземленою нейтраллю, питома частка однофазних споживачів є досить значна. Для їх нормального функціонування необхідно, щоб значення відхилень фазних напруг не перевищували нормально допустимих значень, встановлених ГОСТ-113109-97. Найбільш дієвим та поширеним способом зниження рівнів показників якості електричної енергії до допустимих меж є застосування спеціальних технічних засобів регулювання та симетрування напруги. Проте дані засоби не завжди можливо використовувати, зважаючи на їх техніко-економічні показники. Одним із шляхів вирішення даної задачі є вдосконалення систем автоматичного управління пристроєм РПН силового трансформатора.

Аналіз публікацій. Питання одночасного зниження несиметрії напруг розглядалось в роботах [1], [2], [3], [4]. В роботі [3] сформульовано задачу багатокритеріальної оптимізації регулювання напруги для трансформатора з безконтактним пристроєм РПН, що працює в мережі з глухозаземленою нейтраллю. Проте в моделі управління, запропонованій в даній роботі не враховуються значення відхилення напруг окремих фаз мережі.

Processing Plant, that will allow system to inculcate measures related to energy-economy on Ore Mining and Processing Plant.

УДК 621.316.1

В.В. Зінзура, асист.

Кіровоградський національний технічний університет

Задача багатокритеріальної оптимізації регулювання напруги в електричній мережі з глухозаземленою нейтраллю

Стаття присвячена розробці математичної моделі управління пристроєм РПН силового трансформатора, що працює в мережі з ізольованою нейтраллю. Дана модель управління забезпечує зменшення не лише усталеного відхилення трьохфазної напруги, зменшення рівнів несиметрії по зворотній та нульовій послідовностях, а враховує й відхилення фазних напруг, що є досить актуальною задачею для мережі з однофазними споживачами.

відхилення напруги, несиметрія напруги, багатокритеріальна оптимізація, парето-оптимальна множина, утопічна точка

Вступ. В сучасних системах електропостачання досить часто спостерігаються завищені показники якості електричної енергії.

Одними з основних показників, що характеризують якість електричної енергії згідно ГОСТ-113109-97 є усталене відхилення напруги та коефіцієнти несиметрії по зворотній та нульовій послідовностях.

Понаднормове перевищення значень даних показників якості призводить до появи ряду негативних явищ: збільшення втрат електричної енергії, зношення ізоляції, вихід електроприймачів з ладу та ін.

Постановка проблеми. В низьковольтних мережах, що працюють в режимі з глухозаземленою нейтраллю, питома частка однофазних споживачів є досить значна. Для їх нормального функціонування необхідно, щоб значення відхилень фазних напруг не перевищували нормально допустимих значень, встановлених ГОСТ-113109-97. Найбільш дієвим та поширеним способом зниження рівнів показників якості електричної енергії до допустимих меж є застосування спеціальних технічних засобів регулювання та симетрування напруги. Проте дані засоби не завжди можливо використовувати, зважаючи на їх техніко-економічні показники. Одним із шляхів вирішення даної задачі є вдосконалення систем автоматичного управління пристроєм РПН силового трансформатора.

Аналіз публікацій. Питання одночасного зниження несиметрії напруг розглядалось в роботах [1], [2], [3], [4]. В роботі [3] сформульовано задачу багатокритеріальної оптимізації регулювання напруги для трансформатора з безконтактним пристроєм РПН, що працює в мережі з глухозаземленою нейтраллю. Проте в моделі управління, запропонованій в даній роботі не враховуються значення відхилення напруг окремих фаз мережі.

Метою статті. Розробка математичної моделі управління пристроєм РПН силового трансформатора, що працює в мережі з глухозаземленою нейтраллю, на основні математичного апарату багатокритеріальної оптимізації, яка б враховувала відхилення напруг кожної з фаз.

Основна частина. Задачу багатокритеріальної оптимізації регулювання напруги, що враховує відхилення фазних напруг, можна записати у вигляді:

$$\begin{cases} Q_1(\mathbf{K}) = |\Delta U_1(\mathbf{K})| = |U_1(\mathbf{K}) - U_{\text{ном}}| \rightarrow \min; \\ Q_2(\mathbf{K}) = U_2(\mathbf{K}) \rightarrow \min; \\ Q_3(\mathbf{K}) = U_0(\mathbf{K}) \rightarrow \min; \\ Q_4(\mathbf{K}) = |\Delta U_{A\phi}(\mathbf{K})| = |U_{A\phi}(\mathbf{K}) - U_{\phi.\text{ном}}| \rightarrow \min; \\ Q_5(\mathbf{K}) = |\Delta U_{B\phi}(\mathbf{K})| = |U_{B\phi}(\mathbf{K}) - U_{\phi.\text{ном}}| \rightarrow \min; \\ Q_6(\mathbf{K}) = |\Delta U_{C\phi}(\mathbf{K})| = |U_{C\phi}(\mathbf{K}) - U_{\phi.\text{ном}}| \rightarrow \min; \\ \mathbf{K} \in \Omega; \end{cases} \quad (1)$$

де $\mathbf{Q}(\mathbf{K}) = (Q_1(\mathbf{K}), Q_2(\mathbf{K}), Q_3(\mathbf{K}), Q_4(\mathbf{K}), Q_5(\mathbf{K}), Q_6(\mathbf{K}))$ – вектор критеріїв управління;

$\mathbf{K} = (k_a, k_b, k_c)$ – вектор коефіцієнтів трансформації трансформатора у фазах А, В, С (вектор управління);

$\Delta U_1(\mathbf{K})$ – різниця значень модуля напруги прямої послідовності та номінальної напруги (пропорційний відхиленню напруги);

$U_2(\mathbf{K})$ – напруга зворотної послідовності;

$U_0(\mathbf{K})$ – напруга нульової послідовності;

$\Delta U_{A\phi}(\mathbf{K}), \Delta U_{B\phi}(\mathbf{K}), \Delta U_{C\phi}(\mathbf{K})$ – різниця значень модулів фазних напруг у фазах А, В, С та номінальної фазної напруги;

$\Omega = \{\mathbf{K} \in \mathbb{R}^3 \mid k_{i\min} \leq k_i \leq k_{i\max}, i = a, b, c\}$ – область допустимих значень вектора коефіцієнтів трансформації трансформатора, яка визначається глибиною регулювання коефіцієнта трансформації (допустимий простір управління);

$k_{i\min}, k_{i\max}, i = a, b, c$ – відповідно мінімальне та максимальне значення коефіцієнту трансформації трансформатора для кожної з фаз.

Як показано в роботі [2], найбільш доцільним способом розв'язку задачі багатокритеріальної оптимізації (1) є розв'язок її шляхом наближення до утопічної точки в просторі критеріїв, який проводиться в два етапи:

1 етап. Оптимізацією окремих критеріїв визначаються координати утопічної точки $\mathbf{Q}_{\text{ут}} = (\Delta U_{1\text{ут}}, U_{2\text{ут}}, U_{0\text{ут}}, \Delta U_{A\text{ут}}, \Delta U_{B\text{ут}}, \Delta U_{C\text{ут}})$ в просторі критеріїв $\{\mathbf{Q}\} \subset \mathbb{R}^6$.

2 етап. Шляхом розв'язку задачі скалярної оптимізації відстані ρ від утопічної точки до парето-оптимальної множини розв'язків в просторі критеріїв знаходяться координати розв'язку задачі багатокритеріальної оптимізації \mathbf{K}^{opt} в просторі управління $\Omega \subset \mathbb{R}^3$.

Задача знаходження аналітичних виразів для визначення координат утопічної точки $\Delta U_{1\text{ут}}, U_{2\text{ут}}$ детально описана в роботі [1], тому наведемо лише кінцеві вирази для її знаходження.

Вираз для знаходження $\Delta U_{1\text{yr}}$:

$$\Delta U_{1\text{yr}} = \begin{cases} 0, \text{sign } \Delta U_1(\mathbf{K}_{\min}) \neq \text{sign } \Delta U_1(\mathbf{K}_{\max}); \\ |\Delta U_1(\mathbf{K}_{\min})|, \text{sign } \Delta U_1(\mathbf{K}_{\min}) = \text{sign } \Delta U_1(\mathbf{K}_{\max}) = -1; \\ |\Delta U_1(\mathbf{K}_{\max})|, \text{sign } \Delta U_1(\mathbf{K}_{\min}) = \text{sign } \Delta U_1(\mathbf{K}_{\max}) = 1; \end{cases} \quad (2)$$

де $\mathbf{K}_{\min} = (k_{A\min}, k_{B\min}, k_{C\min})$, $\mathbf{K}_{\max} = (k_{A\max}, k_{B\max}, k_{C\max})$ – вектори мінімальних і максимальних коефіцієнтів трансформації трансформатора;

ΔU_1 – відхилення напруги прямої послідовності.

Вираз для знаходження $U_{2\text{yr}}$:

$$U_{2\text{yr}} = \begin{cases} U_2 \left[\Phi_{2A}(k_{B\min}, k_{C\max}), k_{B\min}, k_{C\max} \right], (k'_{B2} < k_{B\min}) \wedge \\ \wedge \left\{ \left[(k'_{A2} < k_{A\min}) \wedge (\xi_2 \leq 1) \right] \vee (k_{A\min} \leq k'_{A2} \leq k_{A\max}) \right\}; \\ U_2 \left[\Phi_{2A}(k_{B\max}, k_{C\min}), k_{B\max}, k_{C\min} \right], (k'_{B1} > k_{B\max}) \wedge \\ \wedge \left\{ \left[(k'_{A1} > k_{A\max}) \wedge (\xi_2 > 1) \right] \vee (k_{A\min} \leq k'_{A1} \leq k_{A\max}) \right\}; \\ U_2 \left[k_{A\min}, \Phi_{2B}(k_{A\min}, k_{C\max}), k_{C\max} \right], (k'_{A2} < k_{A\min}) \wedge \\ \wedge \left\{ \left[(k'_{B2} < k_{B\min}) \wedge (\xi_2 > 1) \right] \vee (k_{B\min} \leq k'_{B2} \leq k_{B\max}) \right\}; \\ U_2 \left[k_{A\max}, \Phi_{2B}(k_{A\max}, k_{C\min}), k_{C\min} \right], (k'_{A1} > k_{A\max}) \wedge \\ \wedge \left\{ \left[(k'_{B1} > k_{B\max}) \wedge (\xi_2 \leq 1) \right] \vee (k_{B\min} \leq k'_{B1} \leq k_{B\max}) \right\}; \\ U_2 \left[k_{A\min}, k_{B\max}, \Phi_{2C}(k_{A\min}, k_{B\max}) \right], \left(\xi_2 > \frac{k_{B\max}}{k_{A\min}} \right) \wedge \\ \wedge \neg \left[(k'_{B2} < k_{B\max}) \vee (k'_{A1} > k_{A\min}) \right]; \\ U_2 \left[k_{A\max}, k_{B\min}, \Phi_{2C}(k_{A\max}, k_{B\min}) \right], \left(\xi_2 < \frac{k_{B\min}}{k_{A\max}} \right) \wedge \\ \wedge \neg \left[(k'_{A2} < k_{A\max}) \vee (k'_{B1} > k_{B\min}) \right]; \\ 0, \left(\frac{k_{B\min}}{k_{A\max}} \leq \xi_2 \leq \frac{k_{B\max}}{k_{A\min}} \right) \wedge \neg \left\{ \left[(k'_{A2} < k_{A\min}) \wedge (k'_{B2} < k_{B\max}) \right] \vee \right. \\ \vee \left[(k'_{A1} > k_{A\min}) \wedge (k'_{B1} > k_{B\max}) \right] \vee \left[(k'_{A2} < k_{A\max}) \wedge \right. \\ \left. \left. \wedge (k'_{B2} < k_{B\min}) \right] \vee \left[(k'_{A1} > k_{A\max}) \wedge (k'_{B1} > k_{B\min}) \right] \right\} \end{cases} \quad (3)$$

де $U_{Aa}, U_{Ap}, U_{Ba}, U_{Bp}, U_{Ca}, U_{Cp}$ – активні та реактивні складові векторів напруг $\underline{U}_A, \underline{U}_B, \underline{U}_C$ відповідно;

$\Phi_{2A}(k_B, k_C)$, $\Phi_{2B}(k_A, k_C)$, $\Phi_{2C}(k_A, k_B)$ – розв’язки рівнянь $\partial U_2(\mathbf{K})/\partial k_A = 0$, $\partial U_2(\mathbf{K})/\partial k_B = 0$, $\partial U_2(\mathbf{K})/\partial k_C = 0$ відповідно:

$$\Phi_{2A}(k_B, k_C) = \frac{2k_B k_C \times}{k_B U_{Aa} U_{Ca} + k_C U_{Aa} U_{Ba} + \sqrt{3} k_B U_{Aa} U_{Cp} - \sqrt{3} k_B U_{Ca} U_{Ap} - \times (U_{Aa}^2 + U_{Ap}^2)}; \quad (4)$$

$$\frac{-\sqrt{3} k_C U_{Aa} U_{Bp} + \sqrt{3} k_C U_{Ba} U_{Ap} + k_B U_{Ap} U_{Cp} + k_C U_{Ap} U_{Bp}}{}$$

$$\Phi_{2B}(k_A, k_C) = \frac{2k_A k_C \times}{k_A U_{Ba} U_{Ca} + k_C U_{Aa} U_{Ba} - \sqrt{3} k_A U_{Ba} U_{Cp} + \sqrt{3} k_A U_{Ca} U_{Bp} - \times (U_{Ba}^2 + U_{Bp}^2)}; \quad (5)$$

$$\frac{-\sqrt{3} k_C U_{Aa} U_{Bp} + \sqrt{3} k_C U_{Ba} U_{Ap} + k_A U_{Bp} U_{Cp} + k_C U_{Ap} U_{Bp}}{}$$

$$\Phi_{2C}(k_A, k_B) = \frac{2k_A k_B \times}{k_A U_{Ba} U_{Ca} + k_B U_{Aa} U_{Ca} - \sqrt{3} k_A U_{Ba} U_{Cp} + \sqrt{3} k_A U_{Ca} U_{Bp} + \times (U_{Ca}^2 + U_{Cp}^2)}; \quad (6)$$

$$\frac{+\sqrt{3} k_B U_{Aa} U_{Cp} - \sqrt{3} k_B U_{Ca} U_{Ap} + k_A U_{Bp} U_{Cp} + k_B U_{Ap} U_{Cp}}{}$$

ξ_2 – постійний коефіцієнт:

$$\xi_2 = \frac{U_{Ba} U_{Ca} - \frac{1}{\sqrt{3}} U_{Bp} U_{Ca} + \frac{1}{\sqrt{3}} U_{Ba} U_{Cp} + U_{Bp} U_{Cp}}{U_{Aa} U_{Ca} + \frac{1}{\sqrt{3}} U_{Ap} U_{Ca} - \frac{1}{\sqrt{3}} U_{Aa} U_{Cp} + U_{Ap} U_{Cp}}; \quad (7)$$

k'_{A1} , k'_{B1} , k'_{A2} , k'_{B2} – значення коефіцієнтів трансформації, отримані в результаті підстановки в рівняння системи (8) значень $k_{C\min}$, $k_{C\max}$ відповідно;

$$\left\{ \begin{array}{l} k'_A = \frac{U_{Aa} U_{Ba} - \frac{1}{\sqrt{3}} U_{Ap} U_{Ba} + \frac{1}{\sqrt{3}} U_{Aa} U_{Bp} + U_{Ap} U_{Bp}}{U_{Ba} U_{Ca} - \frac{1}{\sqrt{3}} U_{Bp} U_{Ca} + \frac{1}{\sqrt{3}} U_{Ba} U_{Cp} + U_{Bp} U_{Cp}} k_C; \\ k'_B = \frac{U_{Aa} U_{Ba} - \frac{1}{\sqrt{3}} U_{Ap} U_{Ba} + \frac{1}{\sqrt{3}} U_{Aa} U_{Bp} + U_{Ap} U_{Bp}}{U_{Aa} U_{Ca} + \frac{1}{\sqrt{3}} U_{Ap} U_{Ca} - \frac{1}{\sqrt{3}} U_{Aa} U_{Cp} + U_{Ap} U_{Cp}} k_C. \end{array} \right. \quad (8)$$

Задача знаходження аналітичних виразів для визначення координати утопічної точки $U_{\text{ут}}$ детально описана в роботі [3], тому наведемо лише кінцеві вирази для її знаходження:

$$U_{0\text{УТ}} = \left\{ \begin{array}{l}
 U_0 \left[\Phi_{0A}(k_{B\min}, k_{C\max}), k_{B\min}, k_{C\max} \right], (k_{B2}'' < k_{B\min}) \wedge \\
 \wedge \left\{ \left[(k_{A2}'' < k_{A\min}) \wedge (\xi_0 \leq 1) \right] \vee (k_{A\min} \leq k_{A2}'' \leq k_{A\max}) \right\}; \\
 U_0 \left[\Phi_{0A}(k_{B\max}, k_{C\min}), k_{B\max}, k_{C\min} \right], (k_{B1}'' > k_{B\max}) \wedge \\
 \wedge \left\{ \left[(k_{A1}'' > k_{A\max}) \wedge (\xi_0 > 1) \right] \vee (k_{A\min} \leq k_{A1}'' \leq k_{A\max}) \right\}; \\
 U_0 \left[k_{A\min}, \Phi_{0B}(k_{A\min}, k_{C\max}), k_{C\max} \right], (k_{B2}'' < k_{A\min}) \wedge \\
 \wedge \left\{ \left[(k_{B2}'' < k_{B\min}) \wedge (\xi_0 > 1) \right] \vee (k_{B\min} \leq k_{B2}'' \leq k_{B\max}) \right\}; \\
 U_0 \left[k_{A\max}, \Phi_{0B}(k_{A\max}, k_{C\min}), k_{C\min} \right], (k_{B1}'' > k_{A\max}) \wedge \\
 \wedge \left\{ \left[(k_{B1}'' > k_{B\max}) \wedge (\xi_0 \leq 1) \right] \vee (k_{B\min} \leq k_{B1}'' \leq k_{B\max}) \right\}; \\
 U_0 \left[k_{A\min}, k_{B\max}, \Phi_{0C}(k_{A\min}, k_{B\max}) \right], \left(\xi_0 > \frac{k_{B\max}}{k_{A\min}} \right) \wedge \\
 \wedge \neg \left[(k_{B2}'' < k_{B\max}) \vee (k_{A1}'' > k_{A\min}) \right]; \\
 U_0 \left[k_{A\max}, k_{B\min}, \Phi_{0C}(k_{A\max}, k_{B\min}) \right], \left(\xi_0 < \frac{k_{B\min}}{k_{A\max}} \right) \wedge \\
 \wedge \neg \left[(k_{A2}'' < k_{A\max}) \vee (k_{B1}'' > k_{B\min}) \right]; \\
 0, \left(\frac{k_{B\min}}{k_{A\max}} \leq \xi_0 \leq \frac{k_{B\max}}{k_{A\min}} \right) \wedge \neg \left\{ \left[(k_{A2}'' < k_{A\min}) \wedge (k_{B2}'' < k_{B\max}) \right] \vee \right. \\
 \vee \left[(k_{A1}'' > k_{A\min}) \wedge (k_{B1}'' > k_{B\max}) \right] \vee \left[(k_{A2}'' < k_{A\max}) \wedge (k_{B2}'' < k_{B\min}) \right] \vee \\
 \left. \vee \left[(k_{A1}'' > k_{A\max}) \wedge (k_{B1}'' > k_{B\min}) \right] \right\}
 \end{array} \right. \quad (9)$$

де $\Phi_{0A}(k_B, k_C)$, $\Phi_{0B}(k_A, k_C)$, $\Phi_{0C}(k_A, k_B)$ – розв’язки рівнянь $\partial U_0(\mathbf{K}) / \partial k_A = 0$, $\partial U_0(\mathbf{K}) / \partial k_B = 0$, $\partial U_0(\mathbf{K}) / \partial k_C = 0$ відповідно:

$$\Phi_{0A}(k_B, k_C) = - \frac{2k_B k_C (U_{Aa}^2 + U_{Ap}^2)}{k_B U_{Aa} U_{Ca} + k_C U_{Aa} U_{Ba} + k_B U_{Ap} U_{Cp} + k_C U_{Ap} U_{Bp}}; \quad (10)$$

$$\Phi_{0B}(k_A, k_C) = - \frac{2k_A k_C (U_{Ba}^2 + U_{Bp}^2)}{k_A U_{Ba} U_{Ca} + k_C U_{Aa} U_{Ba} + k_A U_{Bp} U_{Cp} + k_C U_{Ap} U_{Bp}}; \quad (11)$$

$$\Phi_{0C}(k_A, k_B) = - \frac{2k_A k_B (U_{Ca}^2 + U_{Cp}^2)}{k_A U_{Ba} U_{Ca} + k_B U_{Aa} U_{Ca} + k_A U_{Bp} U_{Cp} + k_B U_{Ap} U_{Cp}}, \quad (12)$$

ξ_0 – постійний коефіцієнт:

$$\xi_0 = \frac{U_{Ba}U_{Cp} - U_{Bp}U_{Ca}}{U_{Ap}U_{Ca} - U_{Aa}U_{Cp}}; \quad (13)$$

k_{A1}'' , k_{B1}'' , k_{A2}'' , k_{B2}'' – значення коефіцієнтів трансформації, отримані в результаті підстановки в рівняння системи (8) значень $k_{C\min}$, $k_{C\max}$ відповідно;

$$\begin{cases} k_A'' = \frac{U_{Aa}U_{Bp} - U_{Ap}U_{Ba}}{U_{Ba}U_{Cp} - U_{Bp}U_{Ca}} k_C; \\ k_B'' = \frac{U_{Aa}U_{Bp} - U_{Ap}U_{Ba}}{U_{Ap}U_{Ca} - U_{Aa}U_{Cp}} k_C. \end{cases} \quad (14)$$

Для вирішення задачі знаходження координат ΔU_{Ayt} , ΔU_{Byt} , ΔU_{Cyt} можна скористатись тією ж методикою, що і для знаходження ΔU_{1yt} . Вираз для знаходження ΔU_{Ayt} , ΔU_{Byt} , ΔU_{Cyt} має вигляд:

$$\Delta U_{iyt} = \begin{cases} 0, \text{sign } \Delta U_{i\phi}(k_{i\min}) \neq \text{sign } \Delta U_{i\phi}(k_{i\max}); \\ |\Delta U_{i\phi}(k_{i\min})|, \text{sign } \Delta U_{i\phi}(k_{i\min}) = \text{sign } \Delta U_{i\phi}(k_{i\max}) = -1; \\ |\Delta U_{i\phi}(k_{i\max})|, \text{sign } \Delta U_{i\phi}(k_{i\min}) = \text{sign } \Delta U_{i\phi}(k_{i\max}) = 1; \end{cases} \quad (15)$$

В роботі [2] показано, що найбільш доцільним методом знаходження кінцевого розв'язку задачі багатокритеріальної оптимізації регулювання напруги, що заснований на мінімізації чебишевської відстані до утопічної точки. Для задачі (1) даний метод знаходження кінцевого розв'язку можна записати у вигляді:

$$\begin{cases} \max \left\{ \mu_1 \left| \frac{\Delta U_1(\mathbf{K}) - \Delta U_{yt}}{\beta_1} \right|, \mu_2 \left| \frac{U_2(\mathbf{K}) - U_{2yt}}{\beta_2} \right|, \mu_3 \left| \frac{U_0(\mathbf{K}) - U_{2yt}}{\beta_3} \right|, \right. \\ \left. \mu_4 \left| \frac{U_{A\phi}(\mathbf{K}) - U_{Ayt}}{\beta_4} \right|, \mu_5 \left| \frac{U_{B\phi}(\mathbf{K}) - U_{Byt}}{\beta_5} \right|, \mu_6 \left| \frac{U_{C\phi}(\mathbf{K}) - U_{Cyt}}{\beta_6} \right| \right\} \rightarrow \min; \\ \mathbf{K} \in \Omega, \end{cases} \quad (16)$$

де β_i – коефіцієнти, що враховують різноманітність критеріїв (зазвичай приймаються рівними максимальному відхиленню відповідного критерію);

μ_i – вагові коефіцієнти, що враховують важливість кожного з критеріїв.

Задача (16) є задачею скалярної оптимізації функції багатьох змінних. Для її вирішення доцільно скористатись одним із чисельних методів.

Висновки. В результаті проведеного дослідження:

1. Сформульовано математичну модель управління пристроєм РПН силового трансформатора, яка враховує відхилення фазних напруг.

2. Запропоновано метод розв'язку даної задачі багатокритеріальної оптимізації шляхом наближення до утопічної точки в просторі критеріїв;

Список літератури

1. Плешков П. Г. Теоретичні засади оптимального керування пристроєм РПН силового трансформатора за векторним критерієм. / П. Г. Плешков, В.В. Зінзура, М. В. Кубкін // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету / Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація /. – Вип. 24.Ч.2 – Кіровоград: КНТУ, 2011. -С. 164-173.
2. Зінзура В.В. Методи розв'язку задачі багатокритеріальної оптимізації регулювання напруги в електричних мережах. // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету / Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація /. – Вип. 25.Ч.1 – Кіровоград: КНТУ, 2012.- С. 350-360
3. Плешков П.Г. Оптимальне керування пристроєм РПН силового трансформатора, що працює в мережі з глухозаземленою нейтраллю. / П. Г. Плешков, В. В. Зінзура, М. В. Кубкін // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. Випуск 117 «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – Харків: ХНТУСГ, 2011. – С. 97-99.
4. Бурбело М. Й. Застосування багатоцільової оптимізації для симетрування та зменшення відхилень напруг в електричних мережах / М. Й. Бурбело, А. М. Волоцький, О. В. Бабенко, О. В. Салій // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2005. – № 6. – С. 76 – 79.

В. Зінзура

Задача многокритериальной оптимизации регулирования напряжения в электрической сети с глухозаземленной нейтралью

Статья посвящена разработке математической модели управления устройством РПН силового трансформатора, который работает в сети с изолированной нейтралью. Эта модель управления обеспечивает уменьшение не только установившегося отклонения трехфазного напряжения, уменьшения уровней несимметрии по обратной и нулевой последовательностям, но и учитывает отклонение фазных напряжений, что является актуальной задачей для сети с однофазными потребителями.

V. Zinzura

Problem multiobjective optimization control voltage electric network with dead grounded neutral

The article is devoted to the development of a mathematical model of the control power transformer tap-changer, who works in a network with isolated neutral. This governance model provides not only a steady decrease in the deviation phase voltage, reducing the levels of asymmetry for negative and zero sequences, but the deviation of the phase voltages, which is an important task for the network with single-phase consumers.

Одержано 21.02.12

УДК 621.313.2

В.В. Ромашина, асп.

Кременчуцький національний університет ім. М. Остроградського

Мониторинг и диагностика неисправностей двигателей постоянного тока

В статье предложен метод мониторинга и диагностики неисправностей двигателей постоянного тока, который включает в себя измерение параметров (напряжения, тока, температуры, вибрации), без размещения датчиков внутрь электродвигателя, что дает возможность диагностировать его техническое состояние при работе, не останавливая производственный цикл.

двигатель постоянного тока, мониторинг, диагностика, неисправность, дефект

С развитием способов управления электрическими машинами переменного тока (частотный, импульсный, изменением амплитуды питающего напряжения, амплитудно-фазовый и т.д.), двигателям постоянного тока (ДПТ) предрекали скорую их замену на двигатели переменного тока, но они все еще имеют огромное значение для промышленности. Даже с учетом большого количества систем управления трехфазных двигателей, на ДПТ более дешево плавно регулировать широкий диапазон частоты вращения и соблюдать большую точность поддержания набранной скорости. С учетом сложных условий эксплуатации при относительно длительном сроке работы, ДПТ подвержены ускоренному механическому износу и требуют периодической диагностики и профилактического обслуживания. Наибольшая доля отказов приходится на коллекторно-щеточный механизм и подшипниковый узел [1, 2].

Решающее значение для долгой и стабильной работы двигателя имеет своевременная диагностика степени износа коллекторно-щеточного и подшипниковых узлов, а также выявления дефектов обмоток. Для проверки работоспособности, устранения неисправностей и повышения надежности периодически проводят планово-предупредительные работы, которые включают техобслуживание, текущий и капитальный ремонты.

Техническое обслуживание заключается в ежедневном осмотре электрооборудования, очистке его от пыли и грязи и устранении мелких неисправностей.

Текущий ремонт предусматривает внешний осмотр ДПТ, замену или добавление смазки, проверку вращающихся частей, чистку и обдувку статора и якоря.

Капитальный ремонт включает полную разборку двигателя с выемкой якоря, осмотр всех его деталей и замену не пригодных для дальнейшего использования, а также проведение профилактических испытаний.

Периодичность капитального и текущего ремонта электродвигателей согласно Правилам технической эксплуатации электроустановок, устанавливается лицом, ответственным за электрохозяйство, с учётом данных правил и требований завода-изготовителя.

Целью данной работы является разработка метода мониторинга и диагностики неисправностей двигателей постоянного тока, исходя из оценки параметров, которые могут быть получены путем непосредственного измерения (напряжение, ток, температура, вибрация) в процессе работы, с дальнейшим определением надёжности и

прогнозированием возможного выхода двигателя из строя.

Мониторинг и диагностика неисправностей в электрических машинах (ЭМ) включает в себя, наряду с научным, и экономический аспект, который мотивируется целями повышения надежности и удобством эксплуатации. В ДПТ неисправности делятся на дефекты обмоток, токосъемной системы (коллекторов, щёток), механической части (подшипников, валов, корпусов и др.) и активной стали.

Диагностика неисправностей проводится разными методами, такими как: оценка параметров, спектральный анализ, нейронные сети, нечеткая логика и т.п. [1-3, 6].

Своевременное обнаружение неисправностей требует поиска научных решений моделирования новых испытательных комплексов. В работе представлена структура проведения диагностики неисправностей двигателей постоянного тока с учетом измерения параметров без каких-либо конструкционных изменений на электродвигателе, что дает возможность проводить испытания, не нарушая производственный цикл (рис. 1).

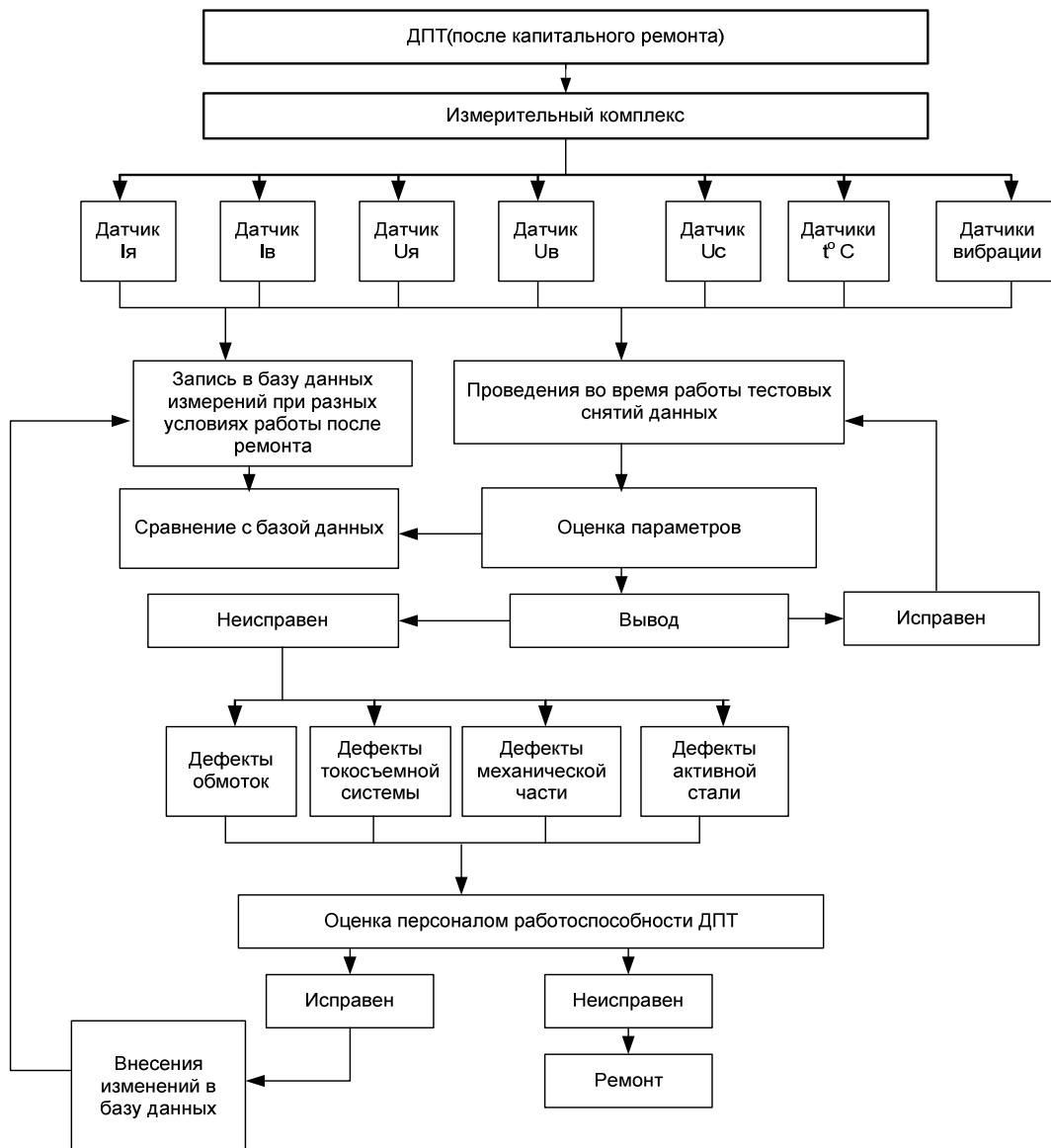


Рисунок 1 – Структура проведения диагностики и мониторинга неисправностей

Данный метод предлагается применить для ДПТ, прошедших капитальный ремонт и послеремонтные испытания согласно ГОСТ 10159-79.

При запуске электродвигателя с помощью измерительных приборов делается первая запись показаний, а также длительность времени проведения испытаний и условия, при которых они проводились (климатические условия и технологический процесс). Запись в базу данных включает в себя показания датчиков тока, напряжения, температуры (двигателя и окружающей среды), вибрации и мощность при которой проводится испытания. После проведения контрольных снятий показаний и их записи в базу данных, система отключается, периодичность следующих тестовых замеров зависит от интенсивности работы двигателя и условий окружающей среды. Так, к примеру, при долговременной работе щетки вырабатываются быстрее, и загрязнения коллектора тоже проходит за меньшее количество времени, чем при кратковременной работе, что может вызвать искрение, а впоследствии – перегрев и подгорание коллектора.

В ходе проведения тестовых снятий данных они обрабатываются системой и сравниваются с базой данных начальных показаний, снятых после поступления отремонтированного двигателя, что дает возможность определения его надежности. Если система исправна, то через некоторое время будут проводиться следующие замеры. В случае наличия неисправности на основе снятых данных определяется дефект. В дальнейшем электродвигатель осматривает обслуживающий персонал и делает вывод о его работоспособности. Если неполадок не обнаружено, то вносятся изменения в существующую базу данных, если же поломка обнаружена, то двигатель отправляется на ремонт.

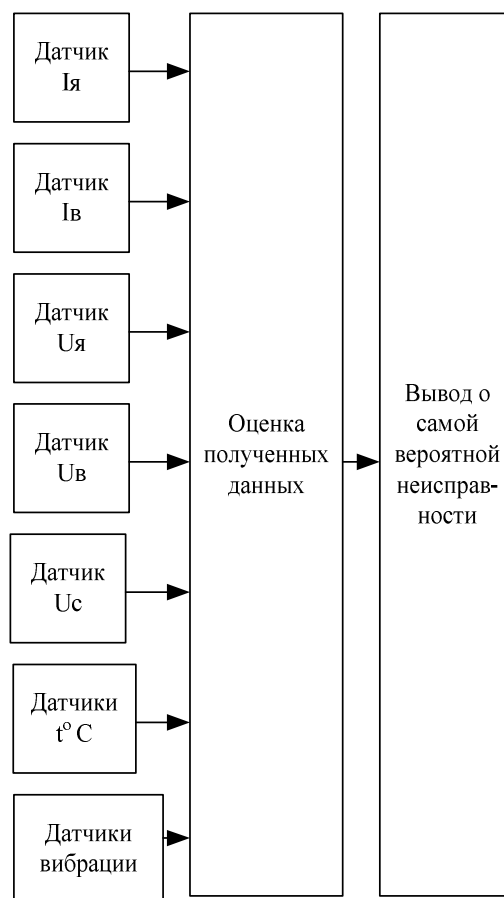


Рисунок 2 – Структура определения вероятной неисправности

Обобщенная математическая модель включает в себя показания с датчиков: $U_{я}(t)$, $U_{в}(t)$, $I_{я}(t)$, $I_{в}(t)$, $T(t)$, $v(t)$,

где $U_{я}(t)$, $U_{в}(t)$ – значения напряжения якоря и возбуждения за определенный период времени;

$I_{я}(t)$, $I_{в}(t)$ – значения тока якоря и возбуждения за определенный период времени;

$T(t)$ – значения температуры за определенный период времени;

$v(t)$ – значения вибрации за определенный период времени.

Также в модель входят граничные значения $U_{яг}$, $U_{вг}$, $I_{яг}$, $I_{вг}$, $T_{г}$, $v_{г}$, при достижении которых возможен вероятный выход из строя ДПТ. Они вводятся лицом входящим в обслуживающий персонал. В период работы для улучшения системы эти данные могут меняться. Для каждого режима работы вводятся свои граничные значения, т.е обобщенно это можно записать в виде следующей системы:

$$\begin{cases} U_{\bar{y}}(t) \leq U_{\bar{y}\bar{a}}, & U_{\bar{a}}(t) \leq U_{\bar{a}\bar{a}}, \\ I_{\bar{y}}(t) \leq I_{\bar{y}\bar{a}}, & I_{\bar{a}}(t) \leq I_{\bar{a}\bar{a}}, \\ T(t) \leq T_{\bar{a}}, & v(t) \leq v_{\bar{a}}. \end{cases}$$

При работе системы полученные данные одного из значений сравниваются с граничными значениями. В случае превышения граничных значений на протяжении определенного периода времени (который задается обслуживающим персоналом), система сигнализирует о возможной поломке.

Каждая неисправность включает в себя определённый показатель с каждого датчика и чем больше этих показаний совпадает, тем вероятнее определённый дефект (рис. 2).

Данный метод оценки работоспособности является практичным и не требует производить изменения в самом двигателе, т.е не нарушает его конструкцию. Он также не обходится без вмешательства человека в работу диагностического комплекса, но более дешевый и мобильный, чем полностью автоматизированные системы, которые также требуют периодических настроек.

Список литературы

1. Котеленец Н.Ф., Кузнецов Н.Л. Испытания и надежность электрических машин. – М.: Высшая школа, 1988. – 232 с.
2. Котеленец Н.Ф., Акимова Н.А., Антонов М.В. Испытание, эксплуатация и ремонт электрических машин: Учеб. для вузов. М.: Academia, 2003. – 384 с.
3. Скалозубов В.В., Швец О.М. Нейросетевые модели диагностики электродвигателей постоянного тока // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2009. – №4. – С. 7-11.
4. Ивченко Ю.Н., Скалозубов В.В., Швец О.М. Методы автоматизированного управления парком электродвигателей железнодорожных стрелочных приводов «по текущему состоянию» // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2010. – №4. – С. 96-102.
5. Прус В.В. Старение электрических машин в ходе продолжительной эксплуатации и ремонта // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КДПУ, 2009. – Вип. 4/2009 (57) частина 1. – С. 74-77.
6. Коваль В.А. Система нагружения двигателя постоянного тока с использованием автоколебательного режима // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КДПУ, 2008. – Вип. 4/2008 (51) частина 2. – С. 66-70.
7. Станішевський І.С. Определение и выражение составляющих потерь в электрических машинах постоянного тока с разным уровнем наработки на отказ // Електромеханічні системи, методи моделювання та оптимізації. Збірник наукових праць VIII Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів. – Кременчук, КДУ, 2010. –392 с.

8. Костенко М.П., Пиотровский Л.Н. Электрические машины, Ч. 1, изд. 2-е. – Л.: Энергия, 1964. – 548с.

В.Ромашина

Моніторинг і діагностика несправностей двигунів постійного струму

У статті запропонований метод моніторингу і діагностики несправностей двигунів постійного струму, який включає в себе вимірювання параметрів (напруги, струму, температури, вібрації), без розміщення датчиків усередині електродвигуна, що дає можливість діагностувати його технічний стан при роботі, не зупиняючи виробничий цикл.

V.Romashina

Monitoring and diagnostics of malfunction of the DC motors

In article proposed the method for monitoring and diagnostic of DC motors, which includes the measurement of parameters (voltage, current, temperature, vibration), without placing sensors inside the motor, which makes it possible to diagnose the technical condition during operation without stopping the production cycle.

Одержано 20.09.12

УДК 622.271.4-523

О.О. Харитонов, ст. викладач, О.В. Аніськов, ст. викладач, Н.М. Ляхова, студ.
Криворізький національний університет

Основні тенденції зміни електричних навантажень залізорудних кар'єрів

В статті описано тенденції зміни електричних навантажень при роботі електроприводів гірничих машин в умовах залізорудних кар'єрів. Доведено, щоступінь ризику в результаті зниження якісних показників електропостачання при експлуатації машин більшої потужності виправдовується різким підвищенням їх продуктивності. Виконано статистичний аналіз, який показав, що щорічний приріст споживаної потужності за рахунок введення в експлуатацію більш продуктивного й економічного устаткування змінюється за лінійним законом; за 10 років навантаження зростає в 1,9 рази. Результати аналізу зміни електричних навантажень із урахуванням прогнозу послужили основою при розробці імовірної методики визначення відхилень напруги за фактичними показниками роботи кар'єру.

електричне навантаження, екскаватор, буровий верстат, якісні показники, продуктивність, електроспоживання, гірська маса

Електроспоживання на залізорудних кар'єрах залежить від зміни електричних навантажень, які обумовлені потужностями електроприводів гірничих машин з урахуванням режиму їх роботи. Основним напрямком є систематичне переоснащення кар'єрів потужнішим, високопродуктивним устаткуванням, що забезпечує задану продуктивність по видобутку залізної руди. Результати статистичних обстежень і узагальнення практичного досвіду показують, що специфічні особливості

© О.О. Харитонов, О.В. Аніськов, Н.М. Ляхова, 2012

8. Костенко М.П., Пиотровский Л.Н. Электрические машины, Ч. 1, изд. 2-е. – Л.: Энергия, 1964. – 548с.

В.Ромашина

Моніторинг і діагностика несправностей двигунів постійного струму

У статті запропонований метод моніторингу і діагностики несправностей двигунів постійного струму, який включає в себе вимірювання параметрів (напруги, струму, температури, вібрації), без розміщення датчиків усередині електродвигуна, що дає можливість діагностувати його технічний стан при роботі, не зупиняючи виробничий цикл.

V.Romashina

Monitoring and diagnostics of malfunction of the DC motors

In article proposed the method for monitoring and diagnostic of DC motors, which includes the measurement of parameters (voltage, current, temperature, vibration), without placing sensors inside the motor, which makes it possible to diagnose the technical condition during operation without stopping the production cycle.

Одержано 20.09.12

УДК 622.271.4-523

О.О. Харитонов, ст. викладач, О.В. Аніськов, ст. викладач, Н.М. Ляхова, студ.
Криворізький національний університет

Основні тенденції зміни електричних навантажень залізородних кар'єрів

В статті описано тенденції зміни електричних навантажень при роботі електроприводів гірничих машин в умовах залізородних кар'єрів. Доведено, щоступінь ризику в результаті зниження якісних показників електропостачання при експлуатації машин більшої потужності виправдовується різким підвищенням їх продуктивності. Виконано статистичний аналіз, який показав, що щорічний приріст споживаної потужності за рахунок введення в експлуатацію більш продуктивного й економічного устаткування змінюється за лінійним законом; за 10 років навантаження зростає в 1,9 рази. Результати аналізу зміни електричних навантажень із урахуванням прогнозу послужили основою при розробці імовірної методики визначення відхилень напруги за фактичними показниками роботи кар'єру.

електричне навантаження, екскаватор, буровий верстат, якісні показники, продуктивність, електроспоживання, гірська маса

Електроспоживання на залізородних кар'єрах залежить від зміни електричних навантажень, які обумовлені потужностями електроприводів гірничих машин з урахуванням режиму їх роботи. Основним напрямком є систематичне переоснащення кар'єрів потужнішим, високопродуктивним устаткуванням, що забезпечує задану продуктивність по видобутку залізної руди. Результати статистичних обстежень і узагальнення практичного досвіду показують, що специфічні особливості

© О.О. Харитонов, О.В. Аніськов, Н.М. Ляхова, 2012

технологічного процесу обумовлюють вплив на електроспоживання наступних факторів:

- кількісне збільшення парку застосовуваного технологічного встаткування;
- подальший зріст одиничних потужностей електроприводів гірничих машин у результаті їх модернізації.

Введення в експлуатацію принципово нових типів кар'єрного устаткування у зв'язку з переходом залізрудних кар'єрів на комбінований вид транспортування рудоскельної гірської маси.

Збільшення парку екскаваторів і бурових верстатів зумовлене постійним нарощуванням виробничих потужностей кар'єрів, запровадженням у дію нових робочих горизонтів, для розробки яких потрібне додаткове збільшення кількості гірських машин і механізмів.

Динаміка зміни екскаваторного й бурового навантаження по кар'єрах Криворізького басейну показана на рисунках 1 і 2. Для концентрації й інтенсифікації видобутку руди необхідний подальший ріст продуктивності екскаваторів, бурових верстатів і, отже, значне підвищення обсягів гірських робіт нерозривно зв'язано з корінною зміною структури екскаваторного парку за рахунок підвищення частки на паях моделей з більшою ємністю ковша в загальному обсязі екскавації. Основним напрямком розвитку виймально-навантажувальних робіт є впровадження потужних екскаваторів ЕКГ-12,5 і ЕКГ-20, у стадії конструкторських пророблень перебуває верстат СБШ-400, який знайде застосування на кар'єрах сталевих порід, що розробляють міцні руди.

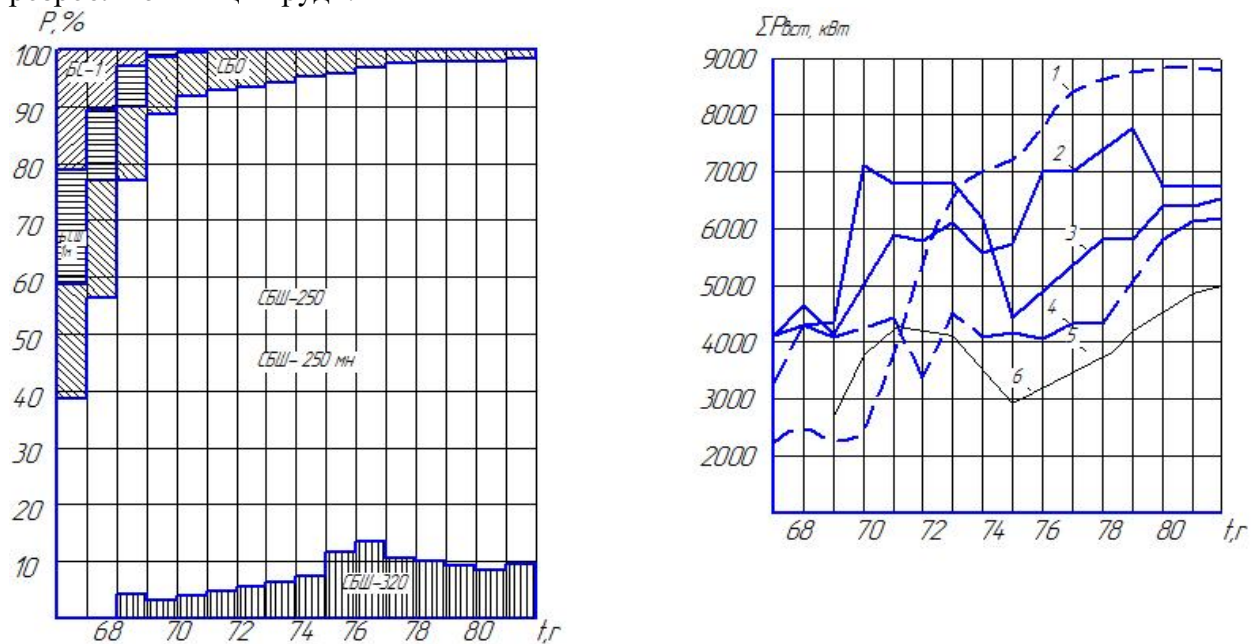


Рисунок 1 – Графіки зміни електричного навантаження при використанні бурових станків на кар'єрах Кривбасу

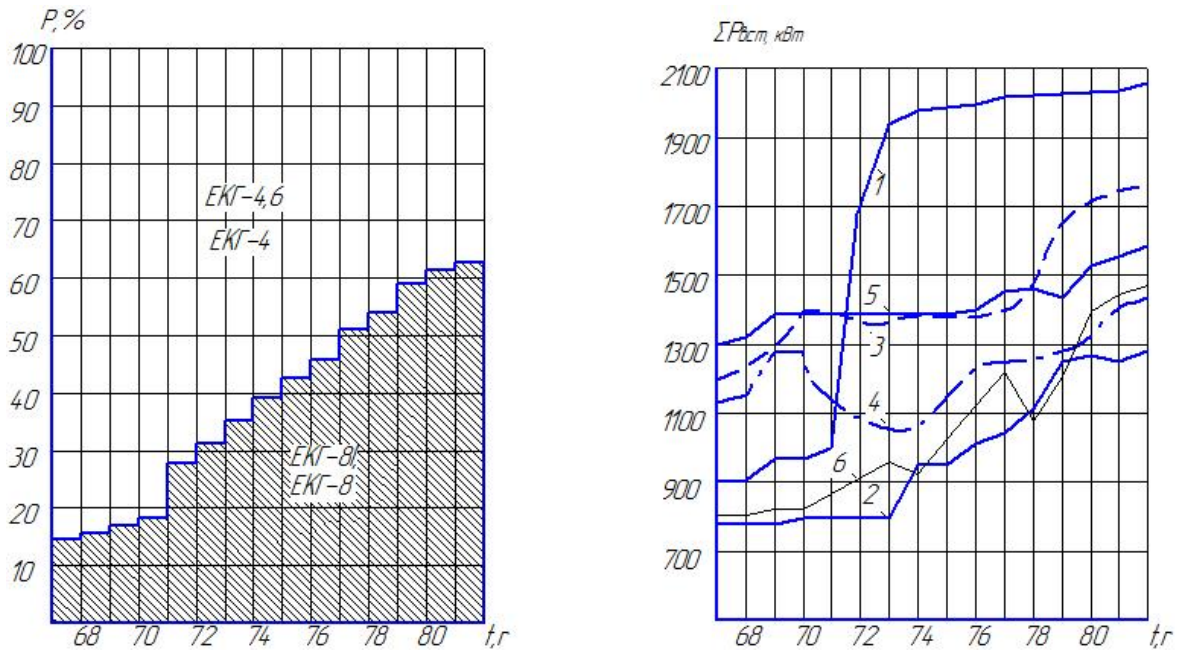


Рисунок 2 – Графіки зміни електричного навантаження при використанні екскаваторів на кар'єрах Кривбасу

Структура електричних навантажень, представлена на рисунках 1 і 2, визначає долеву частку кожного типу устаткування в динаміку формування навантаження кар'єру. Здійснюється заміна екскаваторів ЕКГ-4,6 на ЕКГ-8І, продуктивність яких в 1,4÷1,6 рази вище. При виконанні заданого обсягу робіт збільшення продуктивності машин означає зменшення їх загального числа, зниження надійності й ступені впевненості в забезпеченні заданої програми.

Однак, певний ступінь ризику в результаті зниження якісних показників електропостачання при експлуатації машин більшої потужності виправдовується різким підвищенням їх продуктивності.

У теперішній період залізородні кар'єри Кривбасса перебувають у стадії якісно нового технічного переозброєння: у зв'язку зі збільшенням глибини й довжини фронту гірських робіт гостро встає питання про переведення кар'єрів на комбіновані типи транспортування гірської маси. Перехід на нову циклічно-потоківу технологію означає введення в експлуатацію принципово нового кар'єрного обладнання з електроприводами значної потужності, що приведе до подальшого росту навантажень і погіршенню техніко-економічних показників ЕП.

Виконаний статистичний аналіз показує, що щорічний приріст споживаної потужності за рахунок введення в експлуатацію більш продуктивного й економічного устаткування замість морально застарілого змінюється за лінійним законом; за 10 років навантаження зростає в 1,9 рази. Удосконалювання ж технології транспортування гірської маси спричиняє якісні зміни електричних навантажень кар'єрів.

Збільшення електроспоживання приведе до підвищення вимог до елементів систем електропостачання кар'єрів, вимагає комплексного розв'язку питань підвищення якості електропостачання гірських машин. Результати аналізу зміни електричних навантажень із урахуванням прогнозу послужили основою при розробці імовірної методики визначення відхилень напруги за фактичними показниками роботи кар'єру.

Список літератури

- 1 Шестеренко Е.В. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств / Шестеренко Е.В. – В.: Видавництво „Нова книга”, 2004. – 654 с.
- 2 Маліновський А.А. Основи електроенергетики та електропостачання / А.А. Маліновський, Б.К. Хохулін // Видавництво Національного університету «Львівська політехніка». – 2009. – 348 с.
- 3 Абрамович Б.Н. Электропривод и электроснабжение горных предприятий / Б.Н. Абрамович, Д.А. Устинов // Санкт-Петербургский государственный горный институт им. Г.В.Плеханова. – 2004. – 82 с.

О. Харитонов, О. Аніськов, Н. Ляхова

Основные тенденции изменения электрических нагрузок железорудных карьеров

В статье описаны тенденции изменения электрических нагрузок при работе электроприводов горных машин в условиях железорудных карьеров. Доказано, что степень риска в результате снижения качественных показателей электроснабжения при эксплуатации машин большей мощности оправдывается резким повышением их производительности. Выполнен статистический анализ, который показал, что ежегодный прирост потребляемой мощности за счет введения в эксплуатацию более продуктивного и экономического оборудования изменяется по линейному закону; за 10 лет нагрузки возрастают в 1,9 раза. Результаты анализа изменения электрических нагрузок с учетом прогноза послужили основой при разработке возможной методики определения отклонений напряжения по фактическим показателям работы карьера.

O. Kharitonov, O. Aniskov, N. Lyakhova

Main tendencies of change of electric loadings of iron ore pits

In article tendencies of change of electric loadings are described at operation of electric drives of mountain cars in the conditions of iron ore pits. It is proved that risk degree as a result of decrease in quality indicators of power supply at operation of cars of bigger capacity comes true sharp increase of their productivity. The statistical analysis which showed is made that the annual gain of power consumption at the expense of introduction in operation of more productive and economic equipment changes under the linear law; in 10 years of loading increase in 1,9 times. Results of the analysis of change of electric loadings taking into account a forecast formed a basis when developing a possible technique of definition of deviations of tension on the actual indicators of work of a pit.

Одержано 17.09.12

УДК 681.513.5

О.П. Лобок, канд. фіз.-мат. наук, Б.М. Гончаренко, д-р техн. наук, А.М.Слезенко, студ.

Національний університет харчових технологій

Мінімаксне оптимальне керування лінійними багатовимірними об'єктами за умови визначеного їх збурювання

При оптимальному керуванні складними багатовимірними об'єктами, описуваними у просторі станів, може використовуватися так званий мінімаксний підхід до розв'язування оптимізаційних задач. Викладені суть та послідовність такого підходу. Сформульована задача оптимального керування такими об'єктами за найгірших визначених умов збурювання, наводиться критерій оптимальності керування. Викладена послідовність математичних перетворень, що врешті приводить до виразу оптимального керування за умови повного і точного вимірювання всіх координат стану об'єкта. Практичне застосування мінімаксного підходу підвищить ефективність систем керування технологічними процесами в харчовій промисловості.

оптимальне керування, мінімаксне керування, математична модель, багатовимірний об'єкт керування, квадратичний критерій оптимальності, матричне диференціювання, матричний принцип максимуму, функція Гамільтона

Вступ. Синтез оптимального керування для складних багатовимірних об'єктів в харчовій промисловості передбачає його пошук, як правило, за визначеною математичною моделлю об'єкта та сформульованим критерієм оптимальності керування на основі принципу максимуму Л.С. Понтрягіна та динамічного програмування Р. Беллмана після розв'язання так званого матричного рівняння Ріккати. Цей підхід використовується в основному для детермінованих об'єктів керування, що функціонують в умовах повної визначеності. Якщо ж на об'єкт діють невідомі зовнішні збурення, то в залежності від їх природи використовують методи стохастичного або гарантованого (мінімаксного) управління. В даній роботі розглядається мінімаксний підхід до процесу управління, коли природа збурень, що діють на об'єкт, невідома, але відома область їх допустимих значень.

Постановка проблеми та аналіз досліджень. Застосування методу мінімаксного підходу до синтезу оптимального керування складними багатовимірними об'єктами, описуваними у просторі станів, за найгірших, але визначених умов збурювання вимагає використання деяких штучних заходів для одержання аналітичного розв'язку задачі. Це стосується царини оптимізаційних задач, постановка та розв'язання яких зазвичай вимагають саме принципу максимуму Л.С. Понтрягіна та динамічного програмування Р. Беллмана. Виклад суті та послідовності мінімаксного підходу є метою написання даної статті.

Виклад основного матеріалу. Нижче обговорюється задача мінімаксного керування об'єктом за умови повного і точного вимірювання всіх координат його стану, що взагалі є ідеалізованим випадком. В дійсності через обмеженість точності засобів вимірювання і складності умов функціонування об'єкта завжди існує деяка похибка, а окремі величини взагалі можуть бути недоступні для безпосереднього вимірювання.

Розглянемо математичну матричну модель лінійного багатовимірного об'єкта керування (ОК)

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = A(t)x(t) + B(t)u(t) + K(t)f(t), & t_0 < t \leq T, \\ x(t_0) = Mx^0, \end{cases} \quad (1)$$

де $A(t) \in R^{n \times n}$ – матриця коефіцієнтів розмірності $n \times n$ при змінних n – вимірного вектора стану об'єкта $x(t) \in R^n$; $B(t) \in R^{n \times m}$ – матриця коефіцієнтів розмірності $n \times m$ при векторі керування об'єктом $u(t) \in R^m$; $K(t) \in R^{n \times p}$ – матриця коефіцієнтів розмірності $n \times p$ при векторі зовнішніх збурень $f(t) \in R^p$, що діють на об'єкт; $x^0 \in R^n$ – вектор стану в початковий момент часу t_0 ; $M \in R^{n \times n}$ – матриця, яка визначає елементи вектора стану об'єкта $x(t)$, які є збуреними в початковий момент t_0 .

Відносно збурювальних факторів $f(t)$ і вектора початкових умов x^0 припустимо, що вони належать до обмежувальної області $S_{\lambda(t)}$ у вигляді гіпереліпсоїда виду

$$S_{\lambda(t)} = \left\{ (f, x^0) : (Px^0, x^0) + \int_{t_0}^t (Q(\tau)f(\tau), f(\tau))d\tau \leq \lambda^2(t) \right\}, \quad (2)$$

де $P \in R^{n \times n}$, $Q(t) \in R^{p \times p}$ – задані симетричні додатно визначені вагові матриці, що надалі скорочено будемо записувати у вигляді $P = P^T > 0$, $Q = Q^T > 0$, “ T ” – операція транспонування; $\lambda(t)$ – відома скалярна функція, що визначає динаміку зміни “розміру” еліпсоїда [1]; (\cdot) – скалярний добуток векторів, $(x, y) = x^T y = \sum_{i=1}^n x_i y_i$.

Для оптимізації динаміки вектора стану ОК, що описується моделлю (1), сформулюємо наступний мінімаксий критерій оптимальності

$$J(u) = \sup_{(x^0, f) \in S_{\lambda(t)}} I(u), \quad (3)$$

де $I(u)$ – інтегрально-квадратичний функціонал виду

$$I(u) = \int_{t_0}^T x^T(t)G(t)x(t)dt + \int_{t_0}^T u^T(t)D(t)u(t)dt + x^T(T)Hx(T), \quad (4)$$

в якому $G(t) \in R^{n \times n}$, $D(t) \in R^{m \times m}$, $H \in R^{n \times n}$ – відомі додатно визначені симетричні вагові матриці.

Перший доданок в (4) є інтегральною квадратичною похибкою і характеризує якість регулювання на всьому інтервалі часу $[t_0, T]$. Другий інтеграл в (4) є зваженою «енергією» керування; він включається в критерій для того, щоб обмежити керування. Бажане (або необхідне) обмеження на керування може бути забезпечено відповідним вибором вагової матриці $D(t)$. Останній доданок в (4) являє собою квадратичну термінальну похибку і включається в критерій за необхідності забезпечити максимальну близькість стану системи в кінцевий момент часу до бажаного.

Розглянемо задачу визначення оптимального керування у вигляді зворотного зв'язку

$$u(t) = R(t) \cdot x(t), \quad (5)$$

яке мінімізує критерій (3). Тут $R(t)$ – матриця зворотного зв'язку (матриця підсилення), $x(t)$ – вектор стану об'єкта. Коротко цю задачу запишемо так

$$J(u) = \sup_{(x^0, f) \in S_{\lambda(T)}} I(u) \rightarrow \min_u. \quad (6)$$

На змістовному рівні задача полягає в тому, щоб знайти таке керування $u(t)$, яке за мінімальних енергетичних затрат на нього забезпечить мінімум відхилення змінних стану ОК за найбільш несприятливих умов – дії максимальних за значенням збурень $f(t)$ та x^0 , обмежених областю у вигляді гіпереліпсоїда (2). Таке керування будемо називати мінімаксимим, тобто, таким, що мінімізує відхилення за дії максимальних збурень [2].

Для розв'язання оптимізаційної задачі (6) перетворимо спочатку критерій (3), (4). Підставляючи вираз (5) в (4), одержимо

$$I(u) = \int_{t_0}^T x^T(t) N(t) x(t) dt + x^T(T) H x(T), \quad (7)$$

де $N(t) = G(t) + R^T(t) D(t) R(t)$. Враховуючи, що $N(t) = N^T(t) > 0$, використаємо спектральний розклад матриць $N(t)$ та H у вигляді

$$N(t) = \sum_{i=1}^n \lambda_i v_i(t) v_i^T(t), \quad H = \sum_{i=1}^n \mu_i w_i w_i^T, \quad (8)$$

де λ_i, μ_i – власні значення $v_i(t); w_i$ – власні вектори матриць $N(t)$ та H відповідно.

Приймаючи до уваги співвідношення (8), критерій (7) можна записати так

$$I(u) = \int_{t_0}^T \sum_{i=1}^n \lambda_i \left(x^T(t) v_i(t) \right)^2 dt + \sum_{i=1}^n \mu_i \left(x^T(T) w_i \right)^2. \quad (9)$$

Використовуючи (9), апроксимуємо функціонал (3) наступним чином

$$J(u) = \sup_{(x^0, f) \in S_{\lambda(T)}} I(u) \leq \int_{t_0}^T \sum_{i=1}^n \lambda_i \left[\sup_{(x^0, f) \in S_{\lambda(t)}} \left(x^T(t) v_i(t) \right)^2 \right] dt + \sum_{i=1}^n \mu_i \left[\sup_{(x^0, f) \in S_{\lambda(T)}} \left(x^T(T) w_i \right)^2 \right] = \int_{t_0}^T \sum_{i=1}^n \lambda_i \rho_i(t) dt + \sum_{i=1}^n \mu_i \sigma_i, \quad (10)$$

де

$$\rho_i(t) = \sup_{(x^0, f) \in S_{\lambda(t)}} \left(x^T(t) v_i(t) \right)^2, \quad \sigma_i = \sup_{(x^0, f) \in S_{\lambda(T)}} \left(x^T(T) w_i \right)^2. \quad (11)$$

Знайдемо тепер в останньому функціоналі значення виразів $\rho_i(t)$ та σ_i . Для цього, використовуючи поняття фундаментальної матриці [4], представимо розв'язок рівняння (1) з врахуванням співвідношення (5), у вигляді

$$x(t) = \Phi(t, t_0) M x^0 + \int_{t_0}^t \Phi(t, \tau) K(\tau) f(\tau) d\tau, \quad (12)$$

де $\Phi(t, \tau)$ задовольняє наступній матричній системі диференціальних рівнянь

$$\begin{cases} \frac{\partial \Phi(t, \tau)}{\partial t} = (A(t) + B(t)R(t))\Phi(t, \tau), \\ \Phi(\tau, \tau) = E, \end{cases} \quad (13)$$

в якій E – одинична матриця.

Для подальшого перетворення використаємо нерівність Коші-Шварца [5]

$$(x, y)^2 \leq (x, Qx)(y, Q^{-1}y), \quad (14)$$

де $x, y \in R^n$, $Q \in R^{n \times n}$ – довільна симетрична додатно визначена матриця. Зауважимо, що ця нерівність може бути узагальнена на випадок гільбертових просторів.

Використовуючи співвідношення (12) та нерівність (14), можна одержати наступні вирази для величин $\rho_i(t)$ та σ_i

$$\rho_i(t) = \lambda^2(t)v_i^T(t)L(t)v_i(t), \quad \sigma_i = \lambda^2(T)w_i^T L(T)w_i, \quad (15)$$

де $L(t) = L^T(t) > 0$ – симетрична додатно визначена матриця виду

$$L(t) = \Phi(t, t_0)MP^{-1}M^T\Phi^T(t, t_0) + \int_{t_0}^t \Phi(t, \tau)K(\tau)Q^{-1}(\tau)K^T(\tau)\Phi^T(t, \tau)d\tau.$$

Приймаючи до уваги рівняння (13), неважко переконатись, що матриця $L(t)$ задовольняє наступному матричному диференціальному рівнянню

$$\begin{cases} \frac{dL(t)}{dt} = (A(t) + B(t)R(t))L(t) + L(t)(A(t) + B(t)R(t))^T + K(t)Q^{-1}(t)K^T(t), \\ L(t_0) = MP^{-1}M^T. \end{cases} \quad (16)$$

Далі, використовуючи вирази (15), а також властивості операції $\text{tr}[\cdot]$ – слід матриці [3], з (10) одержимо, що критерій $J(u)$ можна апроксимувати зверху функціоналом $\Theta(R)$ виду

$$\begin{aligned} \Theta(R) &= \int_{t_0}^T \lambda^2(t) \text{tr}[L(t)N(t)]dt + W(L) = \\ &= \int_{t_0}^T \lambda^2(t) \text{tr}\left[L(t)(G(t) + R^T(t)D(t)R(t))\right]dt + W(L), \end{aligned} \quad (17)$$

де $W(L) = \lambda^2(T) \text{tr}[L(T)H]$.

Таким чином, ми прийшли до задачі мінімізації функціоналу $\Theta(R)$

$$\Theta(R) \rightarrow \min_R \quad (18)$$

при обмеженні у вигляді матричного диференціального рівняння (16).

Для розв'язання оптимізаційної задачі (18) використаємо матричний принцип максимуму Понтрягіна [4,5], у відповідності до якого сформуємо функцію Гамільтона виду

$$\begin{aligned} H(L(t), \Psi(t), R(t)) &= -\lambda^2(t) \text{tr}\left[L(t)(G(t) + R^T(t)D(t)R(t))\right] + \\ &+ \text{tr}\left\{\Psi(t)\left[(A(t) + B(t)R(t))L(t) + L(t)(A(t) + B(t)R(t))^T + K(t)Q^{-1}(t)K^T(t)\right]\right\}, \end{aligned} \quad (19)$$

де $\Psi(t) = \Psi^T(t)$ – спряжена матриця, яка задовольняє наступному матричному диференціальному рівнянню

$$\begin{cases} \frac{d\Psi(t)}{dt} = -\frac{\partial}{\partial L(t)} H(L(t), \Psi(t), R(t)), \\ \Psi(T) = -\frac{\partial}{\partial L(T)} W(L), \end{cases} \quad (20)$$

в якому через $\partial / \partial L(t)$ позначена матрична похідна.

Оптимальна матриця $R(t)$ знаходиться з умови максимізації функції Гамільтона (19), тобто з умови

$$H(L(t), \Psi(t), R(t)) \rightarrow \max_R. \quad (21)$$

Використовуючи формули матричного диференціювання, знайдемо матричні похідні в правих частинах спряженої системи (20)

$$\begin{aligned} \frac{\partial H(L(t), \Psi(t), R(t))}{\partial L(t)} &= \Psi(t)(A(t) + B(t)R(t)) + (A(t) + B(t)R(t))^T \Psi(t) - \\ &- \lambda^2(t)(G(t) + R^T(t)D(t)R(t)), \end{aligned} \quad (22)$$

$$\frac{\partial W(L)}{\partial L(T)} = \lambda^2(T)H. \quad (23)$$

Для розв'язання оптимізаційної задачі (21) використаємо необхідну умову екстремуму, а саме – рівність нулю першої похідної функції Гамільтона за шуканою матрицею $R(t)$

$$\begin{aligned} \frac{\partial H(L(t), \Psi(t), R(t))}{\partial R(t)} &= -2\lambda^2(t)D(t)R(t)L(t) + 2B^T(t)\Psi(t)L(t) = \\ &= 2(-\lambda^2(t)D(t)R(t) + B^T(t)\Psi(t))L(t) = 0. \end{aligned} \quad (24)$$

Оскільки матриця $L(t)$ додатно визначена, то рівняння (24) справедливе лише за умови рівності нулю виразу у дужках. Отже, остаточно маємо

$$R(t) = \lambda^{-2}(t)D^{-1}(t)B^T(t)\Psi(t). \quad (25)$$

Підставляючи отриманий для $R(t)$ вираз (25) у співвідношення (22), після деяких нескладних перетворень зведемо рівняння (20) до наступного

$$\frac{d\Psi(t)}{dt} = -A^T(t)\Psi(t) - \Psi(t)A(t) - \lambda^{-2}(t)\Psi(t)B(t)D^{-1}(t)B^T(t)\Psi(t) + \lambda^2(t)G(t).$$

Якщо виконати перепозначення $\Psi(t) \rightarrow -\Psi(t)$, то одержимо остаточно диференціальне рівняння відносно матриці $\Psi(t)$

$$\begin{cases} \frac{d\Psi(t)}{dt} = -A^T(t)\Psi(t) - \Psi(t)A(t) + \lambda^{-2}(t)\Psi(t)B(t)D^{-1}(t)B^T(t)\Psi(t) - \lambda^2(t)G(t), \\ \Psi(T) = \lambda^2(T)H. \end{cases} \quad (26)$$

При цьому матриця зворотного зв'язку (або матриця підсилення) $R(t)$ в оптимальному керуванні (5) буде визначатись за формулою

$$R(t) = -\lambda^{-2}(t)D^{-1}(t)B^T(t)\Psi(t),$$

де $\Psi(t)$ – матриця, яка є розв’язком матричного рівняння (26).

Відзначимо, що матриця $R(t)$ не залежить від стану об’єкта і отже, її можна обчислити і зберегти, наприклад, в базі даних до початку процесу керування, що значно підвищить ефективність знайденого мінімаксного управління.

Можна також зауважити, що за формою одержане мінімаксне управління схоже на оптимальне управління лінійною детермінованою системою без збурень з інтегрально-квадратичним критерієм якості [5].

Висновки: Розглянутий сучасний принцип оптимального керування на основі мінімаксного підходу багатовимірними лінійними об’єктами, для яких найбільші збурювальні чинники обмежуються гіперелепсоїдом певного виду. Здійснена постановка оптимізаційної задачі керування на основі математичного опису об’єкта керування та сформульованого квадратичного критерію оптимальності. Наведено детальне виведення оптимального мінімаксного управління, яке може бути використане для автоматизації різноманітних технологічних процесів в харчовій промисловості, що функціонують в умовах певної невизначеності.

Список літератури

1. 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. –316–317 с.
2. Демьянов В.Ф. Введение в минимакс/В.Ф. Демьянов, В.Н. Малоземов.–М.:Наука,1972.–368с.
3. Певзнер Л.Д. Математические основы теории систем: учеб. пособие/Л.Д. Певзнер, Е.П. Чураков. – М.:Высш. шк.,2009.– 503с.
4. Афанасьев В.Н. Оптимальные системы управления. Аналитическое конструирование/В.Н. Афанасьев. – М.: Изд-во МИЭМ,2007.– 259с.
5. Бублик Б.Н. Минимаксные оценки и регуляторы в динамических системах/Б.Н. Бублик, Н.Ф. Кириченко, А.Г. Наконечный; Академия Наук Украинской ССР, Ордена Ленина институт кибернетики. – К.:АН УССР Ин-т кибернетики,1978.– 47с.

А. Лобок, Б. Гончаренко, А.Слезенко

Минимаксное оптимальное управление линейными многомерными объектами в условиях определённого их возмущения

При оптимальном управлении сложными многомерными объектами, описываемыми в пространстве состояний, например, пекарной камеры хлебопекарной печи, может использоваться так называемый минимаксный подход к решению оптимизационных задач. Изложены суть и последовательность такого подхода. Сформулирована задача оптимального управления такими объектами при наихудших определённых условиях возмущения, приводятся критерий оптимальности управления. Изложена последовательность математических преобразований и замен, которые в итоге приводят к выражению оптимального управляющего действия при условии полного и точного измерения всех координат состояния объекта. Практическое использование минимаксного подхода повысит эффективность систем управления технологическими процессами в пищевой промышленности.

О. Лобок, В. Гончаренко, А.Слезенко

Minimax optimal control linear multidimensional objects by conditions defined their indignation

When optimal control of complex multidimensional objects, described in state space, such as bakery baking oven chamber can be used so-called minmax approach to solve optimization problems. The substance and consistency of this approach. The problem of optimal control of such facilities in the worst conditions specified perturbation, formulated optimality criterion control. Described sequence of mathematical transformations and replacements that ultimately leads to the expression of the optimal controlling act provided full and accurate measurement of the coordinates of the object. This will facilitate the application of the method minmax approach for practical solutions of optimal control problems in the food industry.

Одержана 21.09.12

УДК 621.311:621.34:622.502.5

О.Н. Синчук, проф., д-р техн. наук, Н.И. Лесной, асист.

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского

Р.А. Пархоменко, асист., А. Н. Яловая, соискатель

Криворожский национальный университет

Оценка состояния и определение тактики повышения эффективности работы участковых подстанций железорудных шахт

В статье приведены результаты исследований реальных электрических нагрузок на примере одной из типовых участковых трансформаторных подстанций шахты «Родина» Криворожского железорудного комбината. Показано, что реальные электрические нагрузки значительно ниже расчетных и принятых при проектировании. Предложены рекомендации по повышению эффективности использования установленных мощностей трансформаторов участковых подстанций железорудных шахт.

участковые подстанции, трансформатор, эффективность работы

Введение. Железорудное сырье – руда, 40% которой добывается на отечественных подземных горнорудных предприятиях, является одним из основных источников поступлений в валютный фонд Украины [1].

Весомым слагаемым в общей себестоимости железной руды являются энергетические затраты [1]. Снижение этого сегмента затрат важно, необходимо и реально для государственной экономики [2].

Актуальность исследований. Около 60% электрической энергии потребляемой современными железорудными предприятиями с технологиями подземного ведения горных работ приходится на сугубо подземные потребители [2]. Питание электрические приемники железорудных шахт получают от районных подстанций через главные понизительные подстанции (ГПП) к центральным распределительным подстанциям (ЦРП) и участковым понижающим подстанциям (УПП) (рис.1).

Эксплуатируемые в отечественных железорудных шахтах УПП обычно имеют в своем составе два трансформатора типа ТСВ мощностью 250, 450 или 630 кВА. При этом, как правило, в постоянно рабочем режиме находится лишь один трансформатор, второй в этом случае является резервным.

Цель работы. Оценка состояния и определение тактики повышения эффективности работы участковых подстанций.

Материалы исследований. Результаты исследований показали, что рабочие трансформаторы железорудных шахт Криворожского горнодобывающего региона в настоящее время в течении суток загружены на 10-30% от номинального значения (рис.2), что по предварительной оценке является негативным явлением и требует детального рассмотрения [3].

На рисунке 3 представлены зависимости значений КПД (η) (1) от коэффициента загрузки (K_3) для трансформаторов серии ТСВ.

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P_T}, \quad (1)$$

где ΔP_T – потери активной мощности в трансформаторе; P_1 – мощность, поступающая из сети; P_2 – мощность, отдаваемая трансформатором во вторичную сеть.

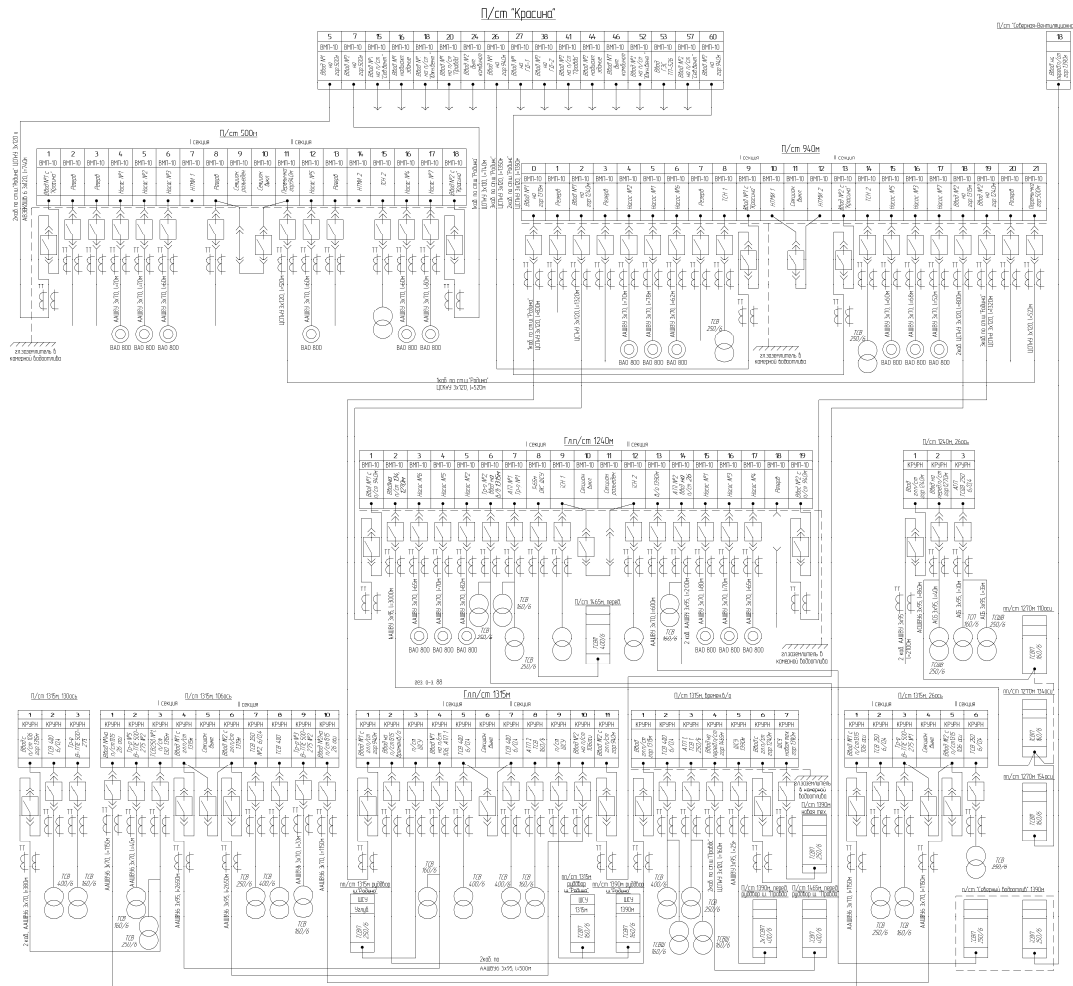


Рисунок 1 – Схема подземного электроснабжения шахты «Родина» ОАО «Кривбассжелезрудком»

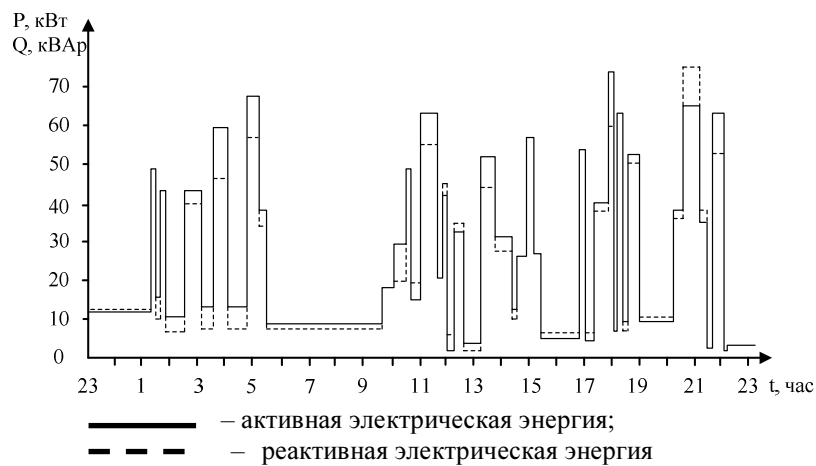


Рисунок 2 – Усредненный график нагрузки трансформатора ТСВ-250 УПП-3 шахты «Родина»

$$\Delta P_T = \Delta P_{XX} + \Delta P_{K3} \cdot K_3^2, \quad (2)$$

Активная мощность на выходе трансформатора:

$$P_2 = K_3 \cdot S_{ном} \cdot \cos(\phi), \quad (3)$$

где $S_{ном}$ – номинальная мощность трансформатора.

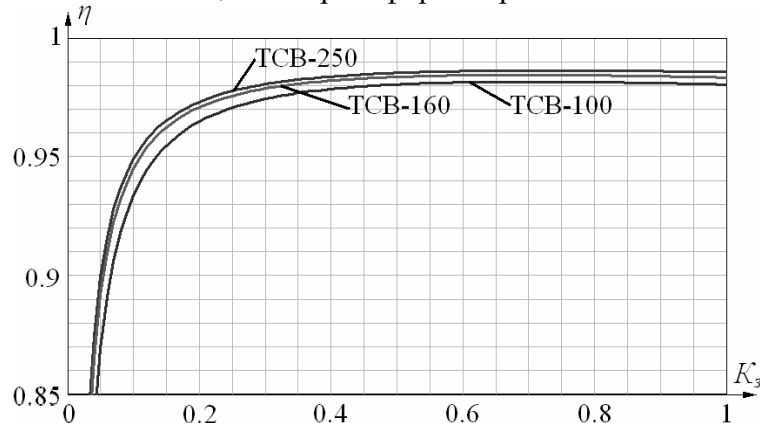


Рисунок 3 – Зависимости значений КПД (η) от коэффициента загрузки (K_3) для трансформаторов серии ТСВ

Как видно из полученных результатов, максимальное значение КПД для этой серии трансформаторов находится в пределах $K_3=0,7-0,75$, что подтверждается теоретическими расчетами полученными путем дифференцирования функции $\eta = f(K_3)$ и приравнявая $\frac{d\eta}{dK_3}$ к нулю. Таким образом из (1) можно найти коэффициент загрузки трансформатора соответствующий условию минимума потерь электрической энергии в трансформаторах:

$$\frac{d\eta}{dK_3} = \left(\frac{P_2}{P_2 - \Delta P_T} \right)' = \left(\frac{K_3 \cdot S_{ном} \cdot \cos(\phi)}{K_3 \cdot S_{ном} \cdot \cos(\phi) - (\Delta P_{XX} + \Delta P_{K3} \cdot K_3^2)} \right)' = 0, \quad (4)$$

$$K_{змт} = \sqrt{\frac{\Delta P_{XX}}{\Delta P_{K3}}}.$$

По результатам эксплуатации трансформатора ТСВ-250 известно, что его среднесуточный коэффициент загрузки находится в диапазоне 15-30% (37-75 кВА), что не соответствует условию минимума потерь электрической энергии (4). При этом трансформатор испытывает потери активной (2) и реактивной (5) мощности равные 1302-1460 Вт и 5936-6492 ВАр соответственно.

$$\Delta Q_T = \Delta Q_{XX} + \Delta Q_{K3} \cdot K_3^2 = \frac{I_{XX}}{100} S_{ном} + \frac{u_{K3}}{100} S_{ном} \cdot K_3^2, \quad (5)$$

Зависимость потерь указанных мощностей для всего диапазона эксплуатации анализируемого трансформатора ТСВ-250 можно увидеть на рисунке 4.

Сравнивая потери активной мощности нескольких трансформаторов серии ТСВ (рис.5-6) можно сделать вывод, что в зависимости от диапазона рабочих нагрузок для их уменьшения могут быть использованы трансформаторы как большей, так и меньшей установочной мощности. Например, в диапазоне нагрузки от 0 до 60 кВт целесообразно использовать трансформатор ТСВ-100, в диапазоне 60-110 кВт – ТСВ-160, а для 110-250 кВт – ТСВ-250. Если же рабочий диапазон нагрузок не находится полностью в одном из ранее перечисленных, это относится и к УПП-3 шахты «Родина», то необходимо проведение дополнительных расчетов. Для уменьшения потерь реактивной

мощности прослеживается четкая закономерность, которая заключается в установке трансформатора с наименьшей возможной установочной мощностью.

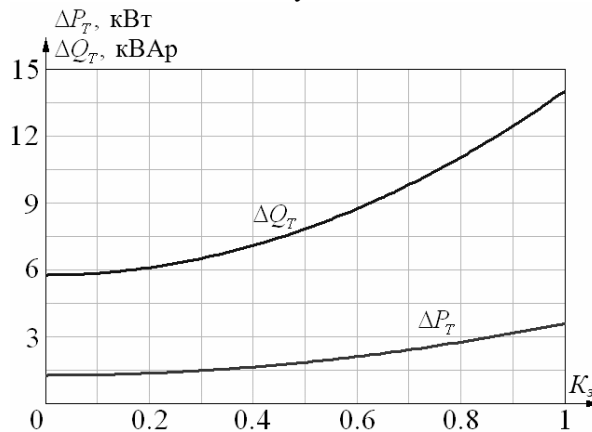
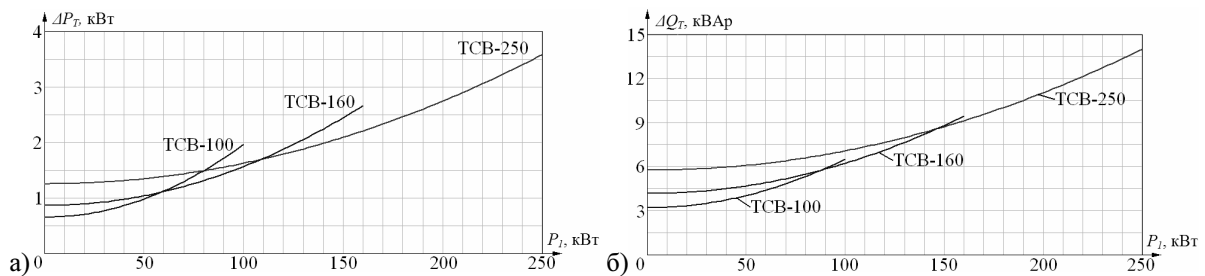
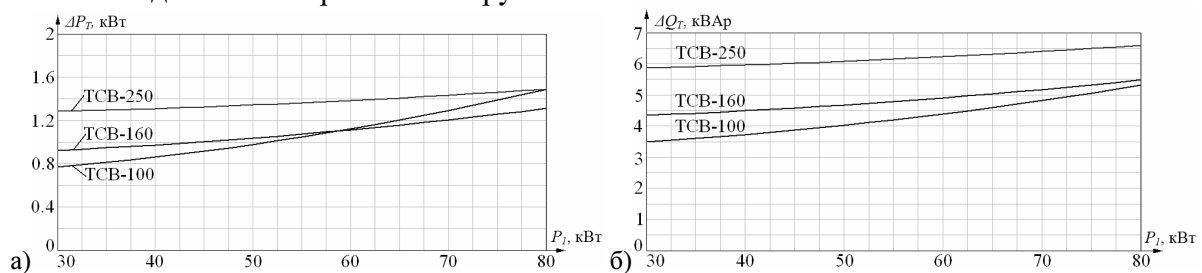


Рисунок 4 – Зависимость потерь активной и реактивной мощностей от коэффициента загрузки трансформатора ТСВ-250



а) потери активной мощности; б) потери реактивной мощности
Рисунок 5 – Потери мощности в трансформаторах серии ТСВ

Анализируя потери мощности в трансформаторах УПП-3 шахты «Родина» при рабочем диапазоне нагрузок (рис.6), можно сделать вывод о целесообразности использования трансформатора ТСВ-160 или ТСВ-100. Однако, малая величина экономии мощности (до 0,5 кВт) и значительная стоимость трансформатора (более 100000 грн) определяют срок окупаемости мероприятия по замене трансформатора в более чем 20 лет. Поэтому представленные результаты исследований следует учесть при замене вышедшего из строя трансформатора, либо при создании новой подстанции со схожим диапазоном рабочей нагрузки.



а) потери активной мощности; б) потери реактивной мощности
Рисунок 6 – Расчетные потери мощности в трансформаторах серии ТСВ при эксплуатации в рабочем диапазоне электрических нагрузок УПП-3 шахты «Родина»

При проектировании и эксплуатации систем промышленного электроснабжения следует также стремиться к максимально возможному использованию установленной трансформаторной мощности. Критерием экономической эффективности при выборе мощности трансформатора является минимум приведенных годовых затрат:

$$Z = \frac{K}{n} + (\Delta P_{XX} + \Delta P_{K3} \cdot K_3^2) \cdot T_{\Gamma} \cdot C_{\text{Э}}, \quad (6)$$

где K – стоимость трансформатора, грн ($K=130000$ для ТСВ-250/6, $K=115000$ для ТСВ-160/6 и $K=100000$ для ТСВ-100/6); n – рассматриваемый срок службы трансформатора, лет ($n=25$) [4]; T_{Γ} – количество часов работы трансформатора в году, час ($T_{\Gamma}=8760$); $C_{\text{Э}}$ – стоимость электроэнергии, грн/(кВт·ч).

На рисунке 7 приведена зависимость удельных приведенных затрат $Z_{\text{уд}} = Z/S$ (где S — передаваемая трансформатором мощность, кВА) трансформатора от коэффициента загрузки, построенная для $T_{\Gamma} = 8760$ часов и $C_{\text{Э}} = 0,8$ грн/(кВт·ч). Из него видно, что удельные приведенные затраты резко возрастают при коэффициенте загрузки, менее 0,3.

Дифференцируя функцию $Z_{\text{уд}} = f(K_3)$ и приравнявая $\frac{dZ_{\text{уд}}}{dK_3}$ нулю, коэффициент загрузки трансформатора, соответствующий минимуму удельных приведенных затрат будет равняться:

$$\frac{dZ_{\text{уд}}}{dK_3} = \left(\frac{\frac{K}{n} + (\Delta P_{XX} + \Delta P_{K3} \cdot K_3^2) \cdot T_{\Gamma} \cdot C_{\text{Э}}}{S_{\text{ном}} \cdot K_3} \right)' = 0,$$

$$k_{\text{змз}} = \sqrt{\frac{\Delta P_{XX}}{\Delta P_{K3}} + \frac{K}{n \cdot C_{\text{Э}} \cdot T_{\Gamma} \cdot \Delta P_{K3}}}. \quad (7)$$

Из (5) и (7) следует, что $k_{\text{змз}}$ превышает коэффициент загрузки, соответствующий минимуму потерь $k_{\text{змн}}$. Эта разница зависит от стоимости электроэнергии $C_{\text{Э}}$, и единовременных капитальных вложений в трансформатор.

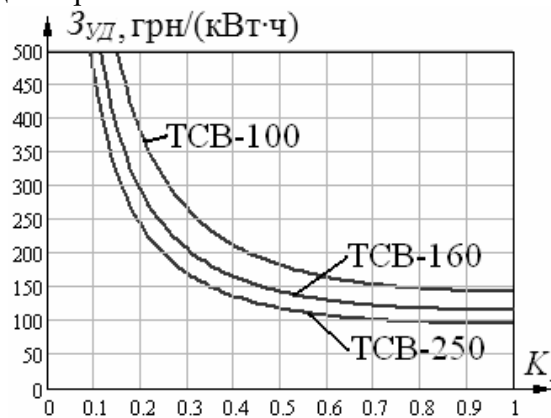


Рисунок 7 – Зависимость удельных приведенных затрат $Z_{\text{уд}}$ от коэффициента загрузки трансформаторов серии ТСВ

Если предположить, что стоимость на электроэнергию не будет являться постоянной, то зависимость эффективного коэффициента загрузки $k_{\text{змз}}$ трансформатора от стоимости электроэнергии $C_{\text{Э}}$ будет изменяться согласно кривой (рис.8). Характер изменения кривой показывает, что с увеличением стоимости на электрическую энергию $k_{\text{змз}}$ уменьшается и что рассматриваемые трансформаторы необходимо загружать практически на номинальную мощность, ограничиваясь лишь представленными характеристиками.

В свою очередь полученные расчетные значения экономически целесообразных режимов загрузки трансформаторов ТСВ-250/6, ТСВ-160/6 и ТСВ-100/6 приведены на рисунке 9. Точка пересечения зависимостей $Z_{\text{уд}} = f(k_{\text{змз}}; C_{\text{Э}})$ и $Z_{\text{уд}} = f(k_{\text{змз}}; S_{\text{ном}})$

соответствует экономически целесообразному коэффициенту загрузки. Так, для рассматриваемого трансформатора ТСВ-250/6 при $C_э = 0,8$ грн/(кВт·ч) эффективный коэффициент загрузки составляет $k_{эмз} = 0,92$, что соответствует минимальным удельным затратам $З_{уд} = 120$ грн/(кВт·ч).

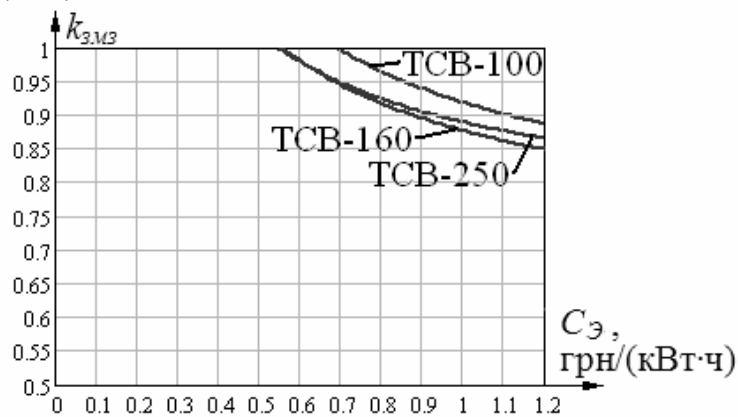


Рисунок 8 – Зависимость эффективного коэффициента загрузки трансформаторов серии ТСВ от стоимости электроэнергии

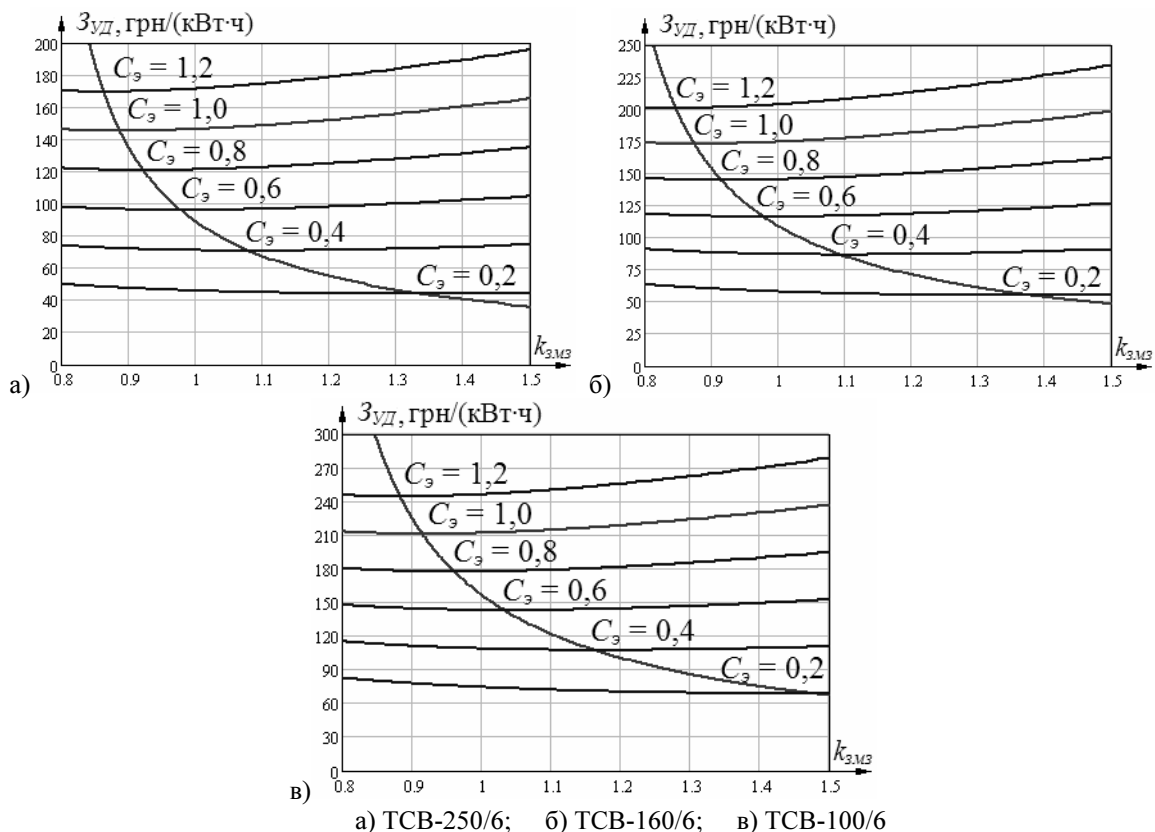


Рисунок 9 – Характеристики изменения эффективных значений загрузки и величины удельных приведенных затрат трансформатора от стоимости электрической энергии

Выводы. 1. На примере тяговой схемы электроснабжения шахты установлено несоответствие в сторону завышения на 50-70% установленных мощностей трансформаторов УПП для рабочего диапазона электрических нагрузок.

2. Замена имеющихся трансформаторов УПП на менее мощные не принесет желаемого экономического эффекта.

3. Для решения задачи повышения эффективности систем электроснабжения железорудных шахт в нынешних условиях производства необходимо проведение комплексных исследований по их реструктуризации.

Список литературы

- 1 Шидловський А.К., Півняк Г.Г., Рогоза М.В., Випанасенко С.І. Геоэкономика та геополітика типа України. – Д.: Національний гірничий університет, 2007. – 282 с.
- 2 Сборник технико-экономических показателей горнодобывающих предприятий Украины в 2009-2010 гг.: Анализ мировой конъюнктуры рынка ЖРС 2004-2011 гг. / Е.Г. Бабец, Л.А. Штанько, В.А. Салганик и др. – Кривой Рог: Видавничий дім, 2011. – 329 с.
- 3 Електрифікація гірничого виробництва: Підручник для ВНЗ у 2-х т. – Вид. 2-ге, перероб. та допов. / Під ред. Л.О. Пучкова, Г.Г. Півняка. – Д.: Національний гірничий університет, 2010. – т.1. – 503 с.
- 4 Мелешко И.Ю., Френкель В.Ю., Кириллов В.М., Майзус С.И. ГОСТ 11677-85 «Трансформаторы силовые общие технические условия». – М.: 1985. – 48 с.

О. Синчук, М. Лісний, Р. Пархоменко, А. Ялова

Оцінка стану й визначення тактики підвищення ефективності роботи дільничних підстанцій залізрудних шахт

У статті наведені результати досліджень реальних електричних навантажень на прикладі однієї з типових дільничних трансформаторних підстанцій шахти «Родина» Криворізького залізрудного комбінату. Показано, що реальні електричні навантаження значно нижче розрахункових і прийнятих при проектуванні. Запропоновані рекомендації з підвищення ефективності використання встановлених потужностей трансформаторів дільничних підстанцій залізрудних шахт.

O. Sinchuk, N. Lesnoi, R. Parhomenko, A. Yalova

Estimation of the state and determination of tactic of increase of efficiency of work of district substations iron-ore mines

In the article the results of researches of the real electric loadings are resulted on the example of one of model district transformer substations of mine «Rodina» of the Kriviy Rig iron-ore combine. It is rotined that the real electric loadings considerably below calculation and accepted at planning. Offered to recommendation on the increase of efficiency of the use of the set powers of transformers of district substations of iron-ore mines.

Получено 14.09.12

УДК 519.876.2

Н.А. Миняйло, доц., канд. техн. наук, Е.С. Усенюк, магістр
Запорозька державна інженерна академія

Совершенствование системы управления согласованной работой смежных участков обжимного цеха ОАО «Запорозжсталь»

В работе рассматривается вопрос согласования режимов работы смежных технологических участков металлургического производства. Разработана модель системы управления согласованным режимом работы группы нагревательных колодцев и обжимного стана для условий ОАО «Запорозжсталь», которая может быть использована при усовершенствовании АСУ технологическими процессами термообработки и прокатки слитков с различными параметрами.
нагревательный колодец, обжимной стан, слиток, система управления, согласованный режим, прогнозирование

Постановка задачи. В последнее время актуальными стали вопросы разработки автоматизированных систем управления на уровне цеха, участка, отделения или производства в целом. Действующие системы управления отдельными технологическими агрегатами или процессами совершенствуются в направлении определения и поддержания рациональных режимов работы, позволяющие обеспечить экономию затрат энергоносителей или повысить качество продукции. Перспективным направлением является также разработка и исследование систем управления смежными технологическими участками (процессами). Существующие системы управления согласованностью работы агрегатов реализованы на уровне цветовой сигнализации или звукового оповещения об изменении режима работы смежного участка, что не всегда позволяет оперативно внести корректировки в ход технологического процесса или решить вопрос об изменении алгоритма управления либо уставок.

Анализ литературных источников. Рассматривая технологические цепочки преобразования сырья в готовую продукцию в любых отраслях промышленности, можно увидеть, что качество на каждом этапе производства определяется эффективностью работы задействованных технологических агрегатов (участков, отделений, цехов) [1,2]. Особенностью некоторых производств является наличие участков, согласованный режим которых влияет на расход энергоресурсов, полноту использования сырья, производительность агрегатов и т.д.

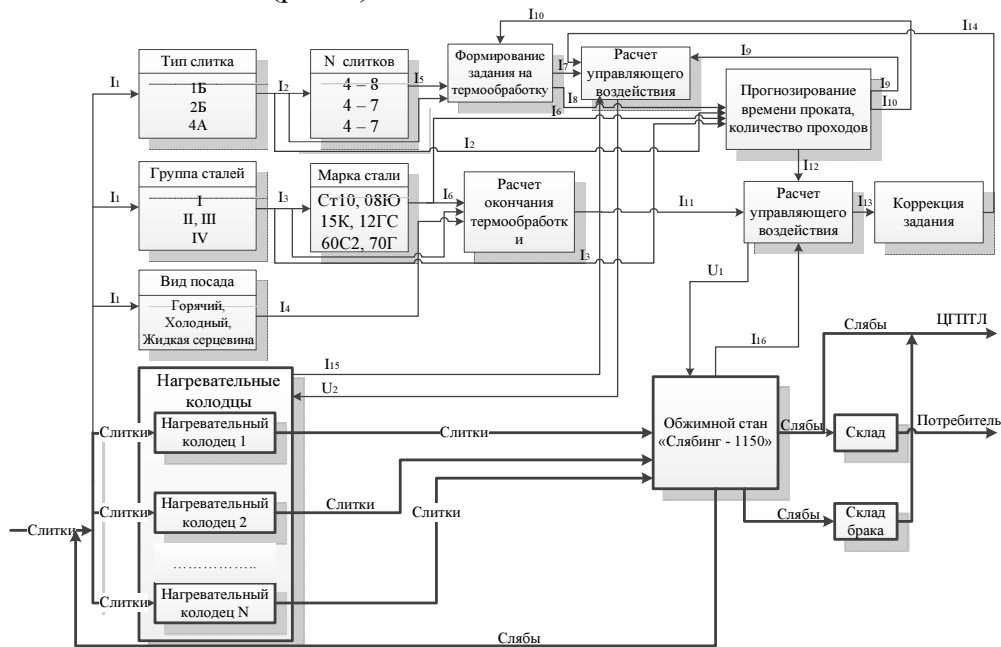
Проведенный анализ литературных источников по проблеме согласованности работы смежных участков на производстве показал, что особенностью технологических процессов является наличие объектов непрерывного, периодического и дискретного типа. Как правило, параметрами согласованности работы дискретных объектов является время, режимы, четкое выполнение команд включения / отключения агрегатов, управление которыми ведется на основе релейно-контактной аппаратуры. Для объектов непрерывного действия - это время и значения технологических параметров, управление которыми может вестись на основе стандартных законов управления.

Одним из основных цехов ОАО "Запорозжсталь" является обжимной, в котором

осуществляется нагрев слитков в регенеративных нагревательных колодцах (НК) и прокатка металла на стане «Слябинг - 1150». На производстве внедрены и используются локальные системы управления (СУ) данными технологическими процессами [3-5]. При этом остаются актуальными вопросы оперативного реагирования и согласования режимов работы при нештатных ситуациях управления прокаткой металла на стане и термообработке слитков в НК.

Цель работы. Для решения вопроса согласованности работы двух участков, которая должна основываться на времени выполнения технологических операций и температуре металла необходимо разработать систему управления, где время определяет график работы стана и НК, а температура металла – качество металлопроката.

Изложение основного материала. В процессе исследования технологических особенностей термообработки слитков [6,7] и дальнейшего обжатия их на стане «Слябинг - 1150» [3,8] была разработана структура автоматизированной информационной системы (рис. 1).

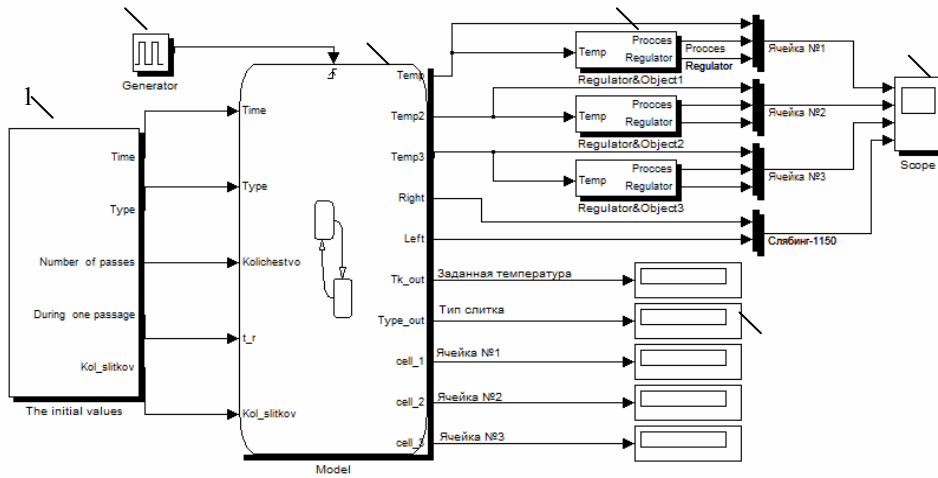


I_1 – номер заказа, I_2 – тип слитка, I_3 – группа сталей, I_4 – вид посада, I_5 – количество слитков в одном НК, I_6 – марка стали, I_7 – задание на термообработку слитков в НК, I_8 – время окончания термообработки слитков в НК, I_9 – спрогнозированное время обжатия слитков, поступающих из одного НК, I_{10} – рассчитанное время окончания проката слитков, поступающих из одного НК, I_{11} – спрогнозированное время окончания термообработки слитков в НК, I_{12} – рассчитанное общее количество проходов слитков на стане, I_{13} – информация для корректировки задания на термообработку слитков в НК в случае нештатной работы стана, I_{14} – корректировка режима термообработки слитков в НК, I_{15} – текущее значение температуры рабочего пространства НК, I_{16} – информация о работе стана, U_1 – сигнал управления на обжимной стан, U_2 – сигнал управления на НК

Рисунок 1 – Структура автоматизированной информационной системы

Моделирование системы управления (СУ) работой объектов, НК и стана, осуществлялось в программной среде MatLab. Структура модели была реализована в прикладном пакете «Simulink» (рис. 2). С помощью интерактивного инструмента разработки в области моделирования сложных, управляемых событиями систем «Stateflow» выполнялась реализация алгоритмов переходов между состояниями технологических агрегатов и системы управления.

При разработке СУ согласованной работой НК и обжимного стана учитывались: марка стали, тип и количество слитков, температурный режим термообработки слитков, степень обжата слитка, время обработки слитков на стане (рис.1).



1 – блок ввода начальных условий; 2 – блок описания взаимодействия состояний технологических агрегатов и системы управления их согласованной работой; 3 – группа блоков САР температурой в рабочем пространстве НК; 4 – группа дисплеев для просмотра числовых значений параметров; 5 – генератор тактовых импульсов; 6 – экран для просмотра результатов моделирования

Рисунок 2 – Структура модели СУ для проведения исследований

Модель СУ в приложении «Stateflow» основывается на описании ее состояний, которые отвечают за формирование начальных условий и расчет необходимого количества задействованных НК («Type_ingout»), формирование задания для режимов термообработки слитков в НК («Temperature_condition[i]»), а также за прокатку слитков на стане («Stan»).

Работа СУ в режиме реального времени осуществляется следующим образом. В состоянии «Type_ingout» (рис.3) на основе исходных данных о параметрах слитков формируется задание для процесса термообработки металла в НК.

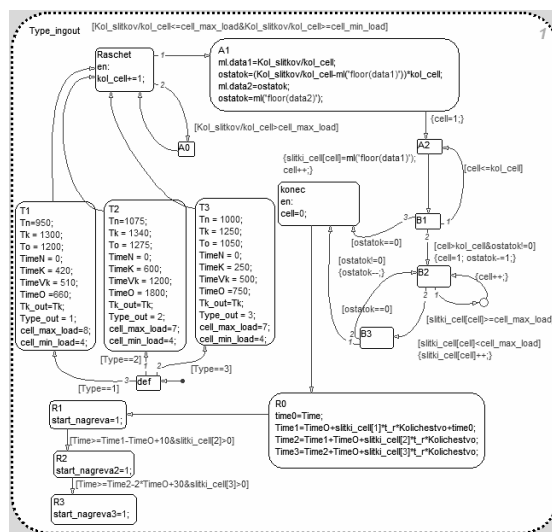


Рисунок 3 – Состояние «Type_ingout»

Также на основании исходных данных рассчитывается необходимое количество НК, в которые загружаются слитки. Для первого НК формируются условия на

термообработку, далее осуществляется переход в состояние «Temperature_condition» и начинается режим нагрева. На основе прогнозируемого времени окончания процесса термообработки слитков в первом НК и необходимого времени на их прокатку рассчитывается время начала процесса нагрева слитков в следующем НК и т.д. для всех задействованных НК.

В состоянии «Temperature_condition» (рис.4) для каждого НК в режиме реального времени формируется задание на весь период термообработки слитков, которое включает в себя задание на режим нагрева, томления и выдержки.

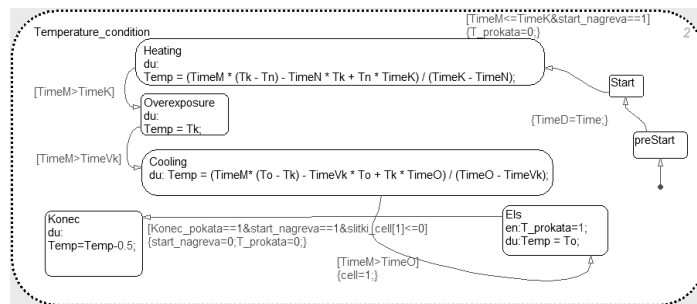


Рисунок 4 – Состояние «Temperature_condition»

Логика работы этого состояния следующая: при получении сигнала из состояния «Type_ingout» «Start_nagreva = 1» в подсостоянии «Heating» на основании формулы (1) формируется задание для режима нагрева слитков в НК.

$$Temp = \frac{Time_M \cdot (T_k - T_n) - Time_N \cdot T_k + T_n \cdot Time_K}{Time_K - Time_N}, \quad (1)$$

где $Time_M$ – рассчитанное время моделирования работы системы;

T_k – конечная температура нагрева слитков в НК, $^{\circ}\text{C}$;

T_n – начальная температура нагрева слитков в НК, $^{\circ}\text{C}$;

$Time_N$ – время начала режима нагрева;

$Time_K$ – время окончания режима нагрева.

После окончания режима нагрева ($Time_M > Time_K$) выполняется переход к подсостоянию «Overexposure», которое формирует задание для режима томления слитков в НК. В этом подсостоянии система находится в течении $Time_K - Time_{Vk}$, при этом температура в НК поддерживается на заданном уровне ($Temp = T_K$).

При выполнении условия ($Time_M > Time_{Vk}$) осуществляется переход к подсостоянию «Cooling», в котором на основании формулы (2) формируется задание для режима выдержки слитков в НК.

$$Temp = \frac{Time_M \cdot (T_0 - T_k) - Time_{Vk} \cdot T_0 + T_k \cdot Time_O}{Time_O - Time_{Vk}}, \quad (2)$$

где T_0 – температура выдержки слитков в НК, $^{\circ}\text{C}$;

$Time_{Vk}$ – время начала режима выдержки слитков в НК;

$Time_O$ – время окончания процесса термообработки слитков в НК.

После окончания процесса термообработки слитков в НК ($Time_M > Time_0$) осуществляется переход к подсостоянию «Els», которое активизирует состояние моделирования работы обжимного стана и нагрева слитков в следующем НК.

На основании сформированного задания состоянием «Temperature_condition» блока «Model» управление режимом термообработки слитков в НК осуществляется с помощью блока «Regulator & Object», в основе которого заложен стандартный ПИ - закон регулирования.

Логика работы обжимного стана «Слябинг - 1150» реализована в блоке «Model» в состоянии «Stan» (рис.5).

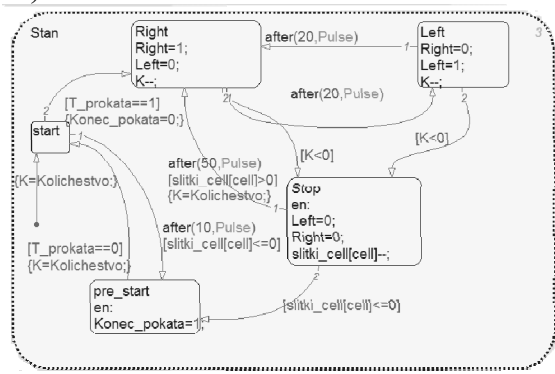


Рисунок 5 – Состояние «Stan»

В состоянии «Stan» на основании принципа работы обжимного стана и начальных условий, которыми являются количество слитков, выдаваемых из НК, количество проходов слитка на стане и время одного прохода, реализована система управления работой обжимного стана.

Работа состояния «Stan» заключается в следующем. При получении сигнала начала прокатки слитков ($T_prokata = 1$) выполняется моделирование процесса прохода слитков вперед и назад на стане с помощью подсостояний «Right» и «Left». Между выполнением проходов установлены соответствующие временные задержки. В состоянии ведется учет количества выполненных слитком проходов. Когда количество проходов будет равно нулю, система переходит в подсостояние «Stop», в котором подсчитывается количество обработанных на стане слитков из текущего НК.

Если количество обжатых слитков равно количеству слитков в НК, то система выдает сигнал об окончании процесса прокатки, если же условие не выполняется работа обжимного стана повторяется для следующего слитка.

Описанная логика работы обжимного стана «Слябинг-1150» повторяется при повторном появлении сигнала ($T_prokata = 1$) о начале проката слитков из последующих НК.

На рис. 6 приведены результаты моделирования системы управления работой двух технологических участков при термообработке и обжатии 21 слитка типа 1Б с количеством проходов каждого слитка на стане равным 5.

Выводы. Таким образом, разработанный подход к построению системы управления согласованием работы двух технологических участков позволяет в автоматическом режиме выдавать рекомендации по загрузке нагревательных колодцев в зависимости от загруженности обжимного стана, менять температурный режим обработки металла в зависимости от типа слитков и определять время начала и окончания прокатки. В результате учета количества одновременно загружаемых слитков в НК позволило приблизить ее к реальным производственным условиям ОАО

«Запорожсталь» и использовать при усовершенствовании действующих АСУ технологическими процессами термообработки и прокатки слитков.

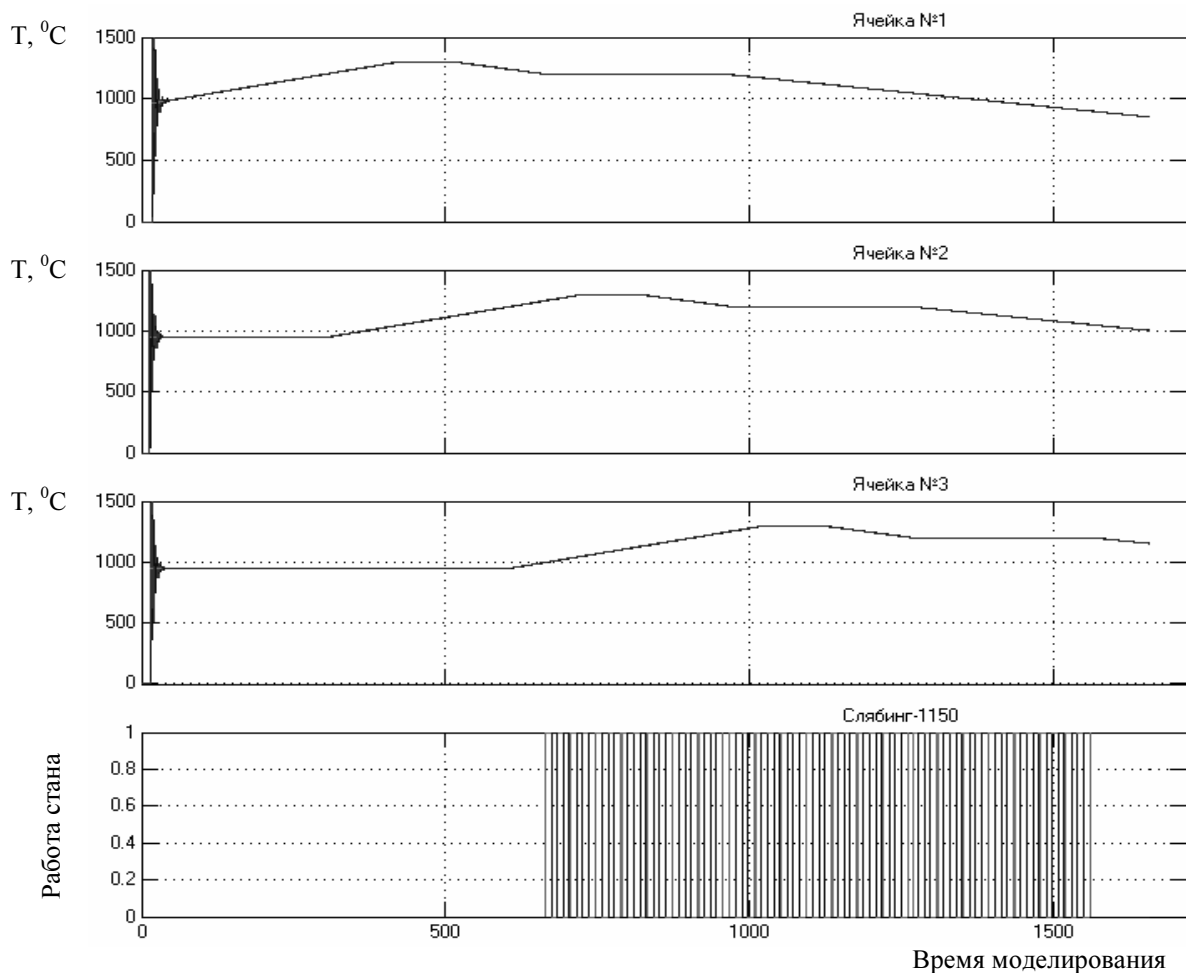


Рисунок 6 – Результаты моделирования системы управления согласованной работой участков термообработки и прокатки обжимного цеха

Список литературы

1. Воскобойников В.Г. Общая металлургия: учебник для ВУЗов / В. Г. Воскобойников, В. А. Кудрин, А. М. Якушев. – М.: Металлургия, 1979. – 488 с.
2. Кудрин В. А. Технология получения качественной стали / В.А. Кудрин, В.М. Парма. – М.: Металлургия, 1984. – 320 с.
3. Восканьянц А. Автоматизированное управление процессами прокатки: учебное пособие / А. Восканьянц. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – Режим доступа к учебному пособию: <http://www.cdl.bmstu.ru/mt10/UTS/frames0.html>.
4. Ляшенко В.С. Программно-технический комплекс сталь-прокат на базе сети ПЭВМ / В. С. Ляшенко, А.И.Егорова, В.Г. Козак // Сталь. – 1993. –№ 9. – С. 95 – 97.
5. Автоматизированная система управления нагревом слитков в нагревательных колодцах обжимного стана / К. Кукуй, С. Сульников, С. Вахранев, А. Светличный // Современные технологии автоматизации. – 2001. – № 3. – С. 26–33.
6. Соколов К. И. Технология термической обработки металлов и проектирование термических цехов: учебник для ВУЗов / К.И. Соколов, И.К. Коротич. – М.: Металлургия, 1998. – 384 с.
7. Башнин Ю.А. Технология термической обработки стали: учебник для ВУЗов / Ю.А. Башнин, Б.К. Ушаков, А.Г. Секей. – М.: Металлургия, 1986. – 424 с.
8. Диомидов Б. Б. Технология прокатного производства / Б. Б. Диомидов, Н. В. Литовченко. – М.: Металлургия, 1979. – 488 с.

Н.Миняйло, Є. Усенюк

Удосконалення системи управління узгодженою роботою суміжних дільниць обтискного цеху ВАТ «Запоріжсталь»

У роботі розглядається питання узгодження режимів роботи суміжних технологічних дільниць металургійного виробництва. Розроблена модель системи управління узгодженим режимом роботи групи нагрівальних колодязів та обтискного стану для умов ВАТ «Запоріжсталь», яка може бути застосована при вдосконаленні АСК технологічними процесами термообробки та прокатки злитків з різними параметрами.

N. Miniailo, E. Usenok

Improve management systems of coordinated work adjacent processes crimp shop of Zaporizhstal JSC

This paper addresses the issue of coherent modes of adjacent sections steel production process. A model management systems harmonization of the work soaking pits and bloomingmills for the conditions of Zaporizhstal JSC which can be used to improve automated process of heat treatment and rolling ingots with different parameters.

Получена 15.09.12

УДК 519.2

**А.А. Стенин, проф., докт. техн. наук, Е.Ю. Мелкумян, канд. техн. наук,
А.Н. Губский, асп.**

Национальный технический университет Украины «КПИ»

Оптимизация качественного состава дисциплин учебного плана специальности.

В данной статье предлагается метод оптимизации качественного состава дисциплин учебного плана специальности, основанный на парнодоминантности экспертных оценок.
оптимизация, учебный план, Интернет-опрос, множество Парето

Введение. Одним из главных факторов повышения уровня подготовки специалистов в высших учебных заведениях Украины является наличие оптимального по качественному составу дисциплин учебного плана конкретной специальности. Помимо обязательных фундаментальных и профориентированных дисциплин в учебный план необходимо ввести специальные дисциплины, направленные на развитие и закрепление знаний, умений и навыков студентов в их будущей профессиональной деятельности. Дисциплины такого учебного плана специальности должны отвечать целому ряду показателей, таких как: важность дисциплины в системе подготовки специалистов данного профиля; содержательность материала дисциплины (научный уровень, глубина изложения); методический уровень изложения (логика размещения материала, ясность изложения) и другие.

Наиболее предпочтительным для формирования и оптимизации такого плана является метод экспертных оценок [1]. В этом случае, оптимальный по качественному

Н.Миняйло, Є. Усенюк

Удосконалення системи управління узгодженою роботою суміжних дільниць обтискного цеху ВАТ «Запоріжсталь»

У роботі розглядається питання узгодження режимів роботи суміжних технологічних дільниць металургійного виробництва. Розроблена модель системи управління узгодженим режимом роботи групи нагрівальних колодязів та обтискного стану для умов ВАТ «Запоріжсталь», яка може бути застосована при вдосконаленні АСК технологічними процесами термообробки та прокатки злитків з різними параметрами.

N. Miniailo, E. Usenok

Improve management systems of coordinated work adjacent processes crimp shop of Zaporizhstal JSC

This paper addresses the issue of coherent modes of adjacent sections steel production process. A model management systems harmonization of the work soaking pits and bloomingmills for the conditions of Zaporizhstal JSC which can be used to improve automated process of heat treatment and rolling ingots with different parameters.

Получена 15.09.12

УДК 519.2

**А.А. Стенин, проф., докт. техн. наук, Е.Ю. Мелкумян, канд. техн. наук,
А.Н. Губский, асп.**

Национальный технический университет Украины «КПИ»

Оптимизация качественного состава дисциплин учебного плана специальности.

В данной статье предлагается метод оптимизации качественного состава дисциплин учебного плана специальности, основанный на парнодоминантности экспертных оценок.
оптимизация, учебный план, Интернет-опрос, множество Парето

Введение. Одним из главных факторов повышения уровня подготовки специалистов в высших учебных заведениях Украины является наличие оптимального по качественному составу дисциплин учебного плана конкретной специальности. Помимо обязательных фундаментальных и профориентированных дисциплин в учебный план необходимо ввести специальные дисциплины, направленные на развитие и закрепление знаний, умений и навыков студентов в их будущей профессиональной деятельности. Дисциплины такого учебного плана специальности должны отвечать целому ряду показателей, таких как: важность дисциплины в системе подготовки специалистов данного профиля; содержательность материала дисциплины (научный уровень, глубина изложения); методический уровень изложения (логика размещения материала, ясность изложения) и другие.

Наиболее предпочтительным для формирования и оптимизации такого плана является метод экспертных оценок [1]. В этом случае, оптимальный по качественному

составу дисциплин учебный план будет результатом коллективного труда экспертов как в области будущей сферы деятельности студентов данной специальности, так и специалистов высшей школы, обладающих высокой компетентностью в отношении выбранных показателей качества учебных дисциплин.

Поскольку ВУЗы, где есть данная специальность, и специалисты-эксперты данного профиля профессиональной деятельности разбросаны по всей Украине и не всегда есть возможность собрать их в одном месте, предлагается использовать систему Интернет-опроса для сбора необходимых экспертных оценок с последующей их обработкой предлагаемым ниже методом.

Постановка задачи. Пусть есть N учебных дисциплин, предлагаемых для включения в учебный план специальности, M - число опрашиваемых через Интернет экспертов, конкретную дисциплину (учебный курс) обозначим через k_i ($i = \overline{1, N}$).

Необходимо выбрать L дисциплин ($L < N$), которые отвечают выбранным показателям качества J_k ($k = \overline{1, Q}$).

Решение задачи. На базе системы Интернет-опроса занесем оценки экспертов в таблицу бальных рангов учебных дисциплин (табл. 1).

Здесь r_{ij}^k - ранг (оценка) i -ой дисциплины j -м экспертом по k -му показателю качества. Ранг представляет собой натуральное число в принятой для оценки шкале бальности.

Таблица 1 – Оценки экспертов

Показатель качества	J_1				...	J_Q			
	k_1	...	...	k_N		k_1	k_2	...	k_N
дисциплина	k_1	...	...	k_N	...	k_1	k_2	...	k_N
эксперт									
Ξ_1	r_{11}^1	...	...	r_{1N}^1	...	r_{11}^Q	r_{12}^Q	...	r_{1N}^Q
Ξ_2	r_{21}^1	...	...	r_{2N}^1	...	r_{21}^Q	r_{22}^Q	...	r_{2N}^Q
...
Ξ_M	r_{M1}^1	...	...	r_{MN}^1	...	r_{M1}^Q	r_{M2}^Q	...	r_{MN}^Q
Сумма рангов	\sum_1^1	...	...	\sum_N^1	...	\sum_1^Q	\sum_2^Q	...	\sum_N^Q
Средний ранг	\bar{r}_1^1	...	...	\bar{r}_N^1	...	\bar{r}_1^Q	\bar{r}_2^Q	...	\bar{r}_N^Q

Сумма рангов и средний ранг определяются соответственно по формулам:

$$\sum_i^k = \sum_{j=1}^M r_{ij}^k, \quad (1)$$

$$\bar{r}_i^k = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M r_{ij}^k. \quad (2)$$

Не теряя общности результата, предположим, что у нас есть 7 учебных дисциплин, которые в результате ранжирования оценок экспертов по показателям содержательности материала (J_1) и методического уровня изложения (J_2) сформировали следующую систему неравенств относительно среднего ранга дисциплины:

$$\text{для } J_1 : k_6 > k_1 > k_2 > k_3 > k_7 > k_5 > k_4, \quad (3)$$

$$\text{для } J_2 : k_6 > k_2 > k_1 > k_7 > k_3 > k_5 > k_4. \quad (4)$$

Смысл неравенств (3) и (4) заключается в парных предпочтениях одного курса по отношению к другому в рамках выбранного показателя качества.

Известно, корректность полученных при обработке экспертных оценок зависит от согласованности группы экспертов. Для оценки согласованности экспертов вычисляем дисперсионный коэффициент конкордации по выбранным показателям качества [2]:

$$W^k = 12S^k / \left(M^2(N^3 - N) - M \sum_{j=1}^M T_j^k \right), \quad (5)$$

где

$$S^k = \sum_{i=1}^N \left(\sum_{j=1}^M r_{ij}^k - r_0^k \right)^2; \quad (6)$$

r_0^k – усредненная ранговая оценка по k-му показателю, т.е.

$$r_0^k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \bar{r}_i^k; \quad (7)$$

T_j^k – показатель связанных рангов в ранжировке j-м экспертом, который определяется как:

$$T_j^k = \sum_{p=1}^{H_j} (h_p^3 - h_p), \quad (8)$$

где H_j - число групп равных рангов у j-го эксперта; h_p - число равных рангов в p-й группе связанных рангов при ранжировке j-м экспертом.

При $\bar{W}^k \geq 0.7$ считается, что группа экспертов работает согласовано. В противном случае необходимо переформировать группу экспертов.

Кроме того, целесообразно различать экспертов по степени компетентности и значимости их мнений, т.е. необходимо провести ранжирование самих экспертов. При ранжировании каждому из них присваивается ранг значимости от 1 (наиболее влиятельный эксперт) до M (наименее влиятельный эксперт). Мнение каждого эксперта

принимается при расчетах с коэффициентом, пропорциональным $1/m_j$, где m_j - ранг j -го эксперта ($j = \overline{1, M}$).

Для оценки взаимосвязи ранжировок учебных курсов вычисляем коэффициент ранговой корреляции Спирмена[3]:

$$\rho = 1 - \frac{6S}{N^3 - N}. \quad (9)$$

Если значение ρ приближается к единице, то это характеризует линейную в среднем зависимость между ранжировками по рассматриваемым показателям.

Для рассматриваемых в нашем случае двух показателей это говорит о том, что дисциплины, получившие высокую оценку по содержательности, имеют высокую оценку по методическому уровню.

Далее проводим упорядочение дисциплин по двум показателям качества, выделяя из неравенств (3) и(4) последовательно доминирующие подмножества (множества Парето). Для наглядности дадим графическую интерпретацию указанного подхода. Для соотношений (3) и (4) на рис. 1 учебные курсы представлены согласно табл.1. подмножествами, с центральной точкой, координаты которой определяются местом данного курса среди рассматриваемых курсов согласно его среднего ранга.

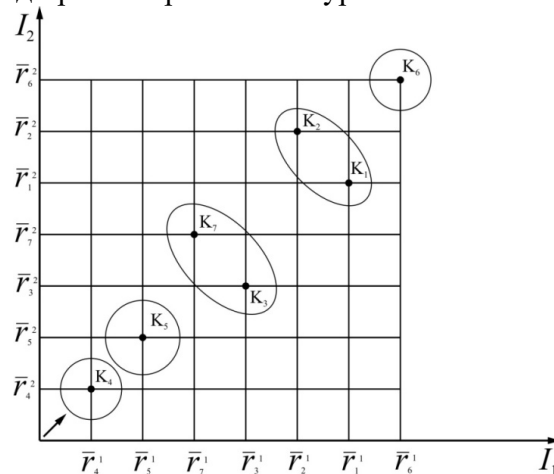


Рисунок 1 - Графическая интерпретация ранговой корреляции учебных курсов

Будем считать, что показатели качества J_1 и J_2 равноценны, т.е. суммарный показатель качества определяется как:

$$J = J_1 + J_2. \quad (10)$$

В этом случае вектор изменения \bar{I} показателя качества J проходит под углом 45° (рис.1). Тогда, как видно из рисунка 1, множество Парето для всей совокупности дисциплин включает только один курс k_6 . Исключая курс k_6 из рассмотрения, вновь выделяем множество Парето, в которое входят два курса k_1 и k_2 . Каждый из этих курсов эффективнее любого другого по обоим показателям, но между собой они несравнимы, поскольку по J_1 , а по J_2 . Продолжая эту процедуру получим следующую цепочку предпочтений учебных дисциплин:

$$k_6 > (k_1 k_2) > (k_3 k_7) > k_5 > k_4. \quad (11)$$

Отсюда, если, например, нам необходимо из 7 учебных курсов выбрать 5, курсы k_5 и k_4 исключаются из рассмотрения. Если же необходимо выбрать 4 курса, то помимо исключения курсов k_5 и k_4 , необходимо исключить один из курсов k_3 или

к₇, что можно сделать введением дополнительного показателя. Следует отметить, что при данном подходе ограничений на количество показателей не существует, также как и на количество курсов и экспертов.

При наличии оптимального по качественному составу дисциплин учебного плана специальности следующей важной задачей повышения уровня подготовки специалистов является формирование моделей и целевых показателей учебного процесса [4].

Заключение. Предложенный метод оптимизации носит универсальный характер и может быть использован для решения оптимизационных задач в различных сферах деятельности человека. При этом нет ограничений на количество экспертов, показателей качества и исследуемых объектов. Использование системы Интернет-опроса позволяет подключить широкий круг специалистов-экспертов для повышения достоверной вероятности оптимальности полученных результатов.

Список литературы

1. Нейлор К. Как построить экспертную систему. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 286 с.
2. Добров Г.М. и др. Экспертные оценки в научно-техническом прогнозировании. – К.: Наукова Думка, 1974. – 160 с.
3. Бешелев С.Л., Гурвич Ф. Г. Математические методы экспертных оценок. – М.: Статистика, 1980. – 263 с.
4. Стенін О.А., Тімошин Ю.А., Домаскіна Н.І., Шалабай І.П. Моделі і цільові показники учбового процесу в автоматизованих учбових системах. Адаптивні системи автоматичного управління// Міжвідомчий науково-технічний збірник. - Дніпропетовськ: Системні технології, 2006, вип. 9(29). - С. 140-147.

О. Стенін, К. Мелкумян, А. Губський

Оптимізація якісного складу дисциплін учбового плану спеціальності.

В статті пропонується метод оптимізації якісного складу дисциплін учбового плану спеціальності, який заснований на парнодомінантності експертних оцінок. Запропонований метод оптимізації носить універсальний характер та може бути використаним для вирішення оптимізаційних задач в різних сферах діяльності людини. При цьому немає обмежень на кількість експертів, показників якості та об'єктів. Використання системи Інтернет-опитування дозволяє підключити широке коло спеціалістів для підвищення довірчої ймовірності оптимальності отриманих результатів.

A. Stenin, K. Melkumian, A. Gubskij

Optimizing the quality of the specialty disciplines of the curriculum

In article are described the method for optimizing the quality of the specialty disciplines of the curriculum. Use of the Internet poll allows you to connect a wide range of specialists and experts to improve the confidence level of optimality of the results.

Получено 25.07.12

УДК 621.34:621.313:621.9:62.83

Г.В.Савеленко, асист., Ю.О.Єрмолаєв, доц., канд. техн. наук,
В.М. Каліч, проф., канд. техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет

Дослідження САУ процесу РОД на верстаті з електромеханічним приводом.

ІІ. Інформаційно-вимірювальний комплекс для проведення експериментальних досліджень

В статті розглянутий інформаційно-вимірювальний комплекс, що дозволяє проводити реєстрацію основних технологічних параметрів процесу РОД на верстаті розмірної обробки дугою з електромеханічним приводом.

лінійний датчик струму, вимірювальний канал, аналогово-цифровий перетворювач, обробка сигналів в режимі реального часу

Вступ. Аналіз і синтез перехідних і усталених режимів роботи САУ електроприводом подачі електрода інструмента (ЕІ) процесу розмірної обробки дугою (РОД) неможливий без отримання достовірної інформації про параметри горіння дуги та реакції електроприводу. Необхідно відмітити наступне: дослідження процесів РОД відбувається з технологічних позицій або з позицій дослідження гідравлічного приводу.

Проведення імітаційного моделювання нелінійної САУ процесу РОД на верстаті з електромеханічним приводом, конструкція якого розглянута в [1, 2] традиційними методами аналізу і синтезу, що ґрунтуються на апараті передаточних функцій і теорії систем підлеглого регулювання може проводитись тільки при досить грубих припущеннях [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження технологічного процесу РОД розглядається в багатьох працях таких авторів, як Носуленко В.І., Боков В.М., Чумаченко О.С., Сіса О.Ф. та інші [4, 5, 6, 7]. Дослідження транзисторного електроприводу постійного струму з широтно-імпульсною модуляцією розглядається в працях Аржанова В.В., Охоткіна Г.П., Белова Г.А., Мелешина В.І., Сімакова Г.М. та інших [8, 9, 10, 11], де відмічаються такі якості транзисторного привода як надійність, великий діапазон регулювання частоти обертання, швидкодія, точність позиціонування.

Мета статті: обґрунтування розробки та впровадження інформаційно-вимірювального комплексу для реєстрації режимів стаціонарного горіння дуги, обриву і короткого замикання дуги (нестационарні режими), фіксація реакції привода на збурюючі впливи. Отримані оцилограми (часові ряди струму і напруги дуги процесу РОД та струму і напруги двигуна подачі ЕІ) необхідні для отримання апріорної інформації про процеси об'єкта дослідження і використання її в подальшому для аналізу роботи привода в різних режимах та для обробки часових рядів стохастичними методами.

Методи вирішення задачі: вибір і опис сучасних датчиків, необхідних для підключення до вимірювальних каналів; розробка інформаційно-вимірювального комплексу для експериментальних досліджень: апіорна обробка осцилограм, отриманих при різних режимах роботи системи автоматичного управління переміщенням електрода-інструмента.

Основні матеріали дослідження. Для аналізу статичних і динамічних режимів роботи систем розробленого експериментального верстата був розроблений інформаційно-вимірювальний комплекс (ІВК) [12], що дозволяє вимірювати миттєві значення струму і напруги дуги процесу РОД та струму і напруги двигуна подачі електрода-інструмента (ЕІ).

Структурна схема розробленого ІВК зображена на рис. 1. Вимірювальні канали по напрузі побудовані по схемі вимірювання, яка дозволяє знімати сигнал з об'єкта дослідження без застосування гальванічної розв'язки. Схема принципова електрична блока спряження і захисту наведена на рис. 1 і є ідентичною як для вимірювального каналу напруги міжелектродного проміжку так і для напруги на якорі двигуна подачі ЕІ. Вимірювальні канали струму процесу РОД та струму двигуна подачі ЕІ будуються за однаковим принципом, так як мають однаковий первинний перетворювач: лінійний датчик струму компанії Honeywell типу CSLA1CH, технічні параметри якого наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Основні технічні характеристики датчика струму відкритого типу компанії Honeywell [13]

Найменування датчика струму	Сенсор	Діапазон, А	Напруга зсуву, В	Температурний дрейф, %/°C	Час відключення, мкс	Струм споживання, мА	Напруга живлення, В	Робоча температура, °C
CSLA1CH	91SS12-2	±150	$U_a / 2$	±0,005	3	19	8...16	-40...150

Блок спряження і захисту для каналу струму перетворює напругу зовнішнього джерела живлення ± 12 В в ± 5 В, яким і живиться датчик струму. Сигнал з вихідних контактів датчика струму надходить на операційний підсилювач AD8138 з коефіцієнтом передачі 1:1, що дозволяє провести уніфікацію вхідного ланцюга мікросистеми збору даних.

Попередня реєстрація сигналів з ціллю визначення їх характеру, а також з ціллю визначення необхідних параметрів аналогово-цифрового перетворювача показала, що перетворювач повинен забезпечувати частоту дискредитації одного каналу не менше ніж 20 кГц. Діапазон вхідної напруги перетворювача повинен складати ± 10 В, орієнтуючись на датчики струму і напруги. Кількість аналогових входів повинно бути не менше чотирьох. Усім вище означеним критеріям відповідає вітчизняна мікросистема збору даних виробництва ХОЛИТ Дэйта Системс типу m-DAQ12 [14], яка й була вибрана нами для побудови ІВК. Мікросистема дозволяє працювати з 4-ма диференційними або 8-ма каналами із загальною землею для введення аналогових сигналів.

Кожен з аналогових каналів підключається до АЦП через програмно-керуємий підсилювач, що дозволяє задавати один з чотирьох діапазонів вимірювання напруги

($\pm 10 \text{ В} \pm 5 \text{ В}$, $\pm 2.5 \text{ В}$, $\pm 1.25 \text{ В}$). Модулі забезпечують безперервний (синхронізований по внутрішньому таймеру) збір даних на частотах дискретизації АЦП від 65 Гц до 100 кГц.

Миттєві значення струму і напруги після блоків спряження та захисту надходять на клемну плату DB-25С, а далі на мікросистему збору даних з інтерфейсом USB типу m-DAQ12.

Програмне забезпечення мікросистеми містить драйвери, DLL-бібліотеку і приклади роботи з нею, ІІb-бібліотеку для середовища графічного програмування Labview, і програму «Осцилограф-реєстратор». Програмне забезпечення, що поставляється разом з мікросистемою збору даних не дозволяє організувати запис, візуалізацію, обробку та збереження результатів експерименту без застосування сторонніх продуктів обробки.

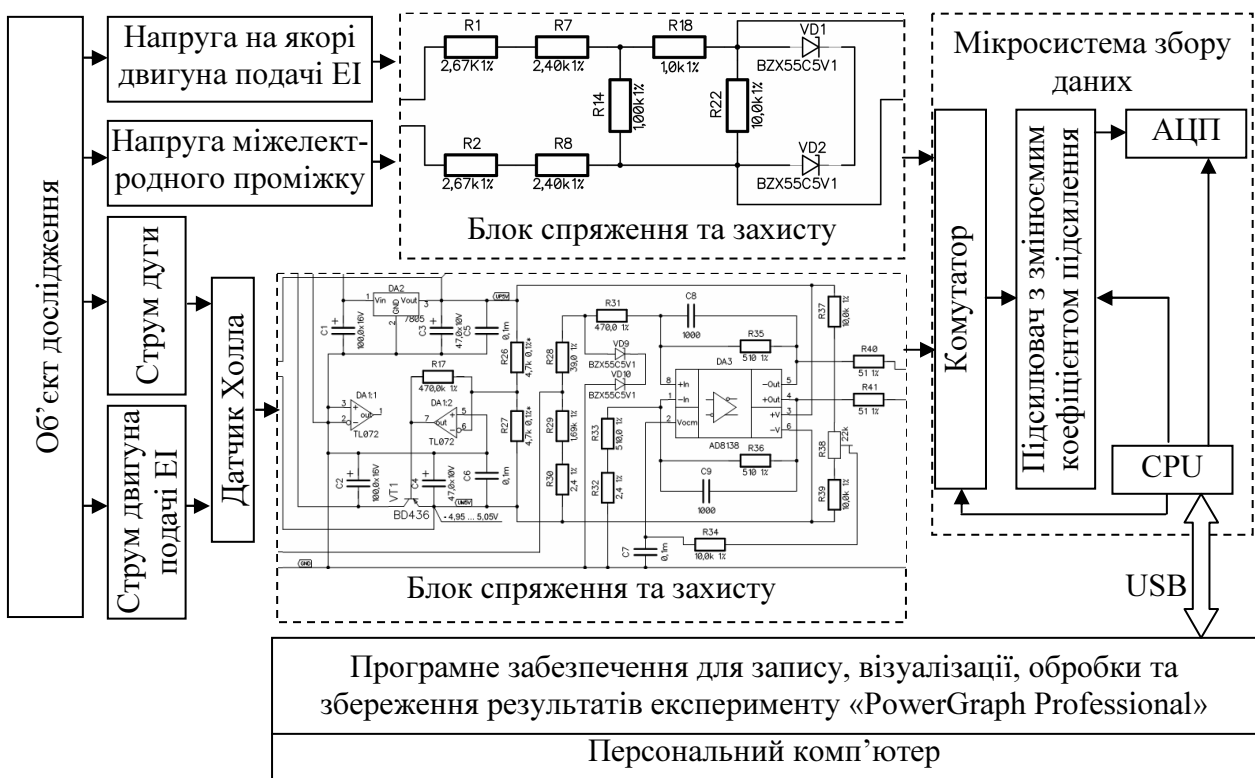


Рисунок 1 – Структурна схема ІВК для проведення експериментальних досліджень

Для виконання вище означених функцій був вибраний програмний продукт «PowerGraph Professional», який задовольняє всім вимогам і може працювати в складі з вибраною мікросистемою збору даних. До складу програми «PowerGraph Professional» входить бібліотека функцій математичної і цифрової обробки сигналів, призначених для проведення обчислень і отримання розрахункових даних. Функції обробки сигналів можуть бути використані як після закінчення реєстрації (режим пост-обробки), так і безпосередньо в процесі отримання даних з мікросистеми збору даних m-DAQ12 (режим реального часу) [15].

Характерні часові ряди значень вимірювальних каналів, отримані в ході проведення експериментальних досліджень, наведені на рис. 2-4. На рис. 2 зображені миттєві значення вимірювальних величин при стаціонарному процесі роботи САУ. Цей процес є квазіоптимальним режимом обробки деталі при РОД, який характеризується

незначним коливанням миттєвих значень напруги дуги 25...35 В та струму дуги, значення якого залежить від підведеної потужності джерела живлення дуги. Стаціонарному процесу горіння дуги та роботи САУ передують зона нестійкого горіння дуги, яка характеризується частими і тривалими обривами горіння дуги (напруги) і перехід її в зону напруги холостого ходу джерела живлення дуги (рис. 3, зона *B*) по відношенню до зони стаціонарного горіння дуги (рис. 3, зона *A*). Миттєві значення вимірювальних каналів, зображені на рис. 3, будуть знаходитись в зонах *A* та *B* доти, поки швидкість подачі ЕІ не буде дорівнювати швидкості зйому металу процесом РОД, причому чим менша зона *B* і більша зона *A* тим ближче до квазіоптимального режиму обробки деталі. На рис. 4 зображений режим короткого замикання дуги при РОД і реакція струму якоря на нього. Зона *C* показує час запізнення реакції струму якоря, яка має зворотний зв'язок по напрузі дуги. Відрізок *D* показує криву перехідного процесу по напрузі двигуна, а відрізок *E* криву перехідного процесу по каналам роботи транзисторного перетворювача (струм двигуна подачі), причому по графічному зображенню відрізків *D* та *E* можна зробити висновок про взаємну кореляцію каналів напруги і струму двигуна подачі ЕІ.

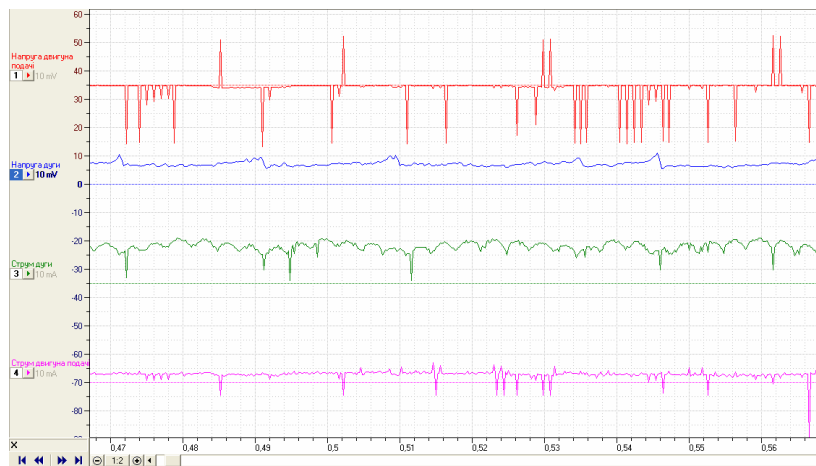
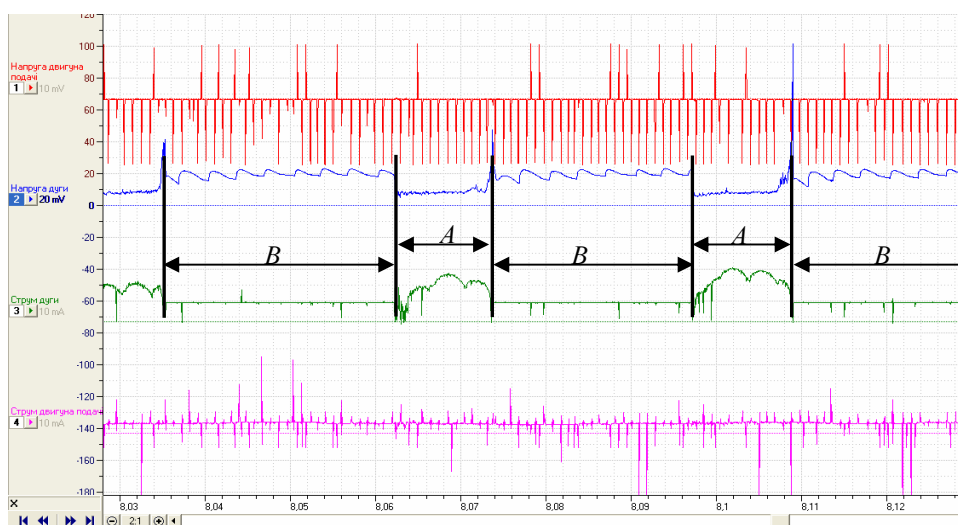
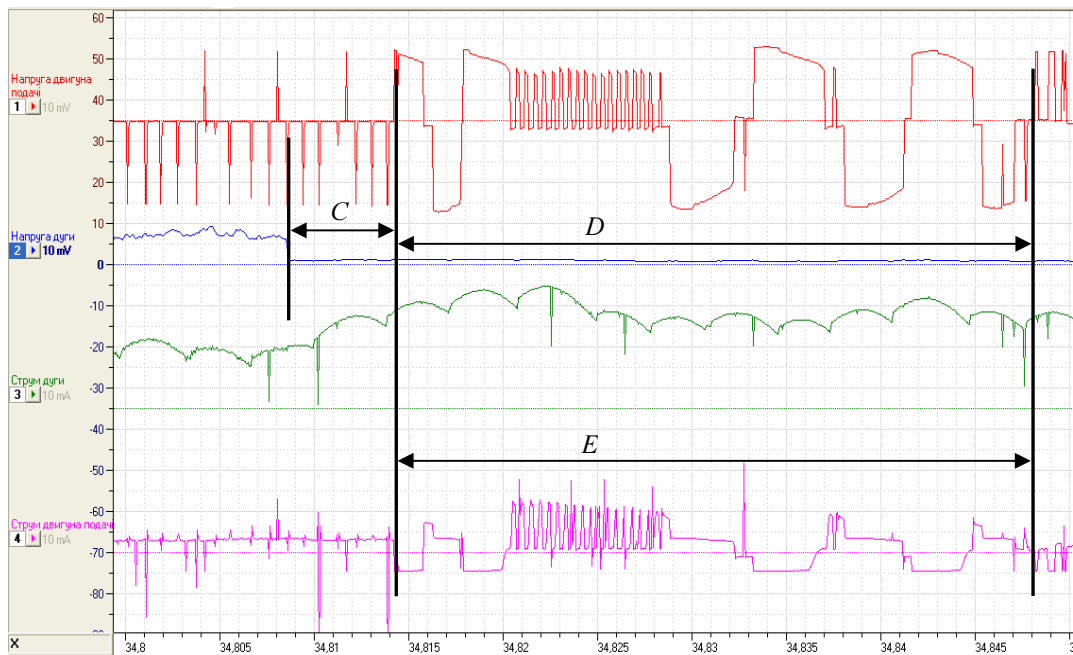


Рисунок 2 – Стаціонарний процес роботи САУ при обробці деталі



A – зона стаціонарного горіння дуги; B – зона обриву дуги

Рисунок 3 – Процес роботи САУ



С – зона реакції привода подачі ЕІ; D, Е – зона перехідного процесу

Рисунок 4 – Реакція привода подачі ЕІ при КЗ

Висновки:

1. Застосована мікросистема збору даних працює з достатньою швидкістю і точністю;
2. По зовнішньому виду часових рядів можливо визначити характер та режим роботи РОД і привода подачі ЕІ, як в стаціонарному так і нестационарному режимах;
3. Отримані осцилограми показують, що «чистий» електропривод має інший характер кривої миттєвих значень струму і напруги, чим реакція привода отримана з урахуванням впливу процесів в електроерозійній головці АМН-1;
4. Із аналізу осцилограм визначені наступні показники: реакція струму якоря на збуджуючу дію (час запізнення) $\tau_{зан} = 0,0058$ с; реакція струму якоря при зміні напрямку руху електрода на протилежне має коливальний характер і його час перехідного процесу складає $\tau_{mn} = 0,0337$ с;
5. Отримані часові ряди можна обробити ймовірнісними методами з застосуванням кореляційно-спектрального аналізу.

Список літератури

1. Єрмолаєв Ю.О., Савеленко Г.В. Розробка САУ електромеханічного привода верстата типу «ДУГА» на базі «ЭШИМ-1» // Збірник наукових праць КНТУ. Вип.15. Кіровоград: КНТУ, 2004. – С. 270-273.
2. Звіт про НДР № держреєстрації 0111U007656. Модернізація електромеханічної частини привода подачі електроерозійного верстата для розмірної обробки дугою. /Вик. Єрмолаєв Ю.О., Савеленко Г.В./ Кіровоград: КНТУ, 2011. – 34 с.
3. Симаков Г.М., Кромм А.А. Быстродействующий микроэлектродный привод с амплитудно-импульсным управлением. /Электричество, 1997, №12, С. 47-50.
4. Носуленко В.И. Размерная обработка металлов стационарной электрической дугой: Дис. канд. техн. наук: 05.03.04. – Кіровоград, 1977. – 202 с.
5. Боков В.М. Розмірне формування поверхонь електричною дугою: Монографія. – Кіровоград: Поліграфічно-видавничий центр ТОВ «Імекс ЛТД», 2002. – 300 с.

6. Чумаченко О.С. Размерная обработка электрической дугой листовых деталей. – Рукопись: Дис. канд. техн. наук: 05.03.07 – Процессы физико-технической обработки. Киевский политехнический институт, Киев, 2002 р.
7. Носуленко В.І., Ермолаев Ю.О., Сіса О.Ф., Телюта Р.В. САК кроковим електроприводом для верстату розмірною обробки дугою. Збірник наукових праць Кіровоградського державного технічного університету /Техніка в сільському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Випуск 11., Кіровоград, 2002.- С. 212-215.
8. Аржанов В.В., Фадеев В.С. Оптимизация параметров широкорегулируемого электропривода постоянного тока. В сборн.: Автоматизация электромеханических систем. Новосибирск: НЭТИ, 1983.- С. 18-28.
9. Охоткин Г.П., Дмитриев А.В. Динамическая модель электропривода ЭШИМ-1. Информационные технологии в электротехнике и электроэнергетике: Материалы IV всерос. науч.-тех. конф. Чувашский государственный университет. Чебоксары, 2002.- С. 116-122.
10. Белов Г.А., Охоткин Г.П. Динамические модели электропривода с ШИМ. Информационные технологии в электротехнике и электроэнергетике: Материалы IV всерос. науч.-тех. конф. Чувашский государственный университет. Чебоксары, 2002.- С. 101-109.
11. Мелешин В.И. Теория и проектирование стабилизированных транзисторных преобразователей постоянного напряжения с широтно-импульсной модуляцией. Автореф. дис. на соиск. учен. степени докт. техн. наук. - М.: МЭИ.- 1987.- 30с.
12. Звіт про НДР № держреєстрації 0111U007657. Розробка інформаційно-вимірювального комплексу для реєстрації стохастичних параметрів роботи електроерозійного верстата для розмірної обробки дугою. /Вик. Ермолаев Ю.О., Савеленко Г.В./ Кіровоград: КНТУ, 2012. – 25 с.
13. А. Маргелов. Датчики тока компании Honeywell. Журнал Chip News №7, 2005. С. 95-99
14. Руководство пользователя V1.2. m-DAQ12. Микросистема сбора данных с интерфейсом USB. ХОЛИТ Дэйта Системс.
15. Справочное руководство ПО «PowerGraph» [Электронный ресурс]: <http://www.powergraph.ru/>

Г. Савеленко, Ю. Ермолаев, В. Калич

Исследование САУ процесса РОД на станке с электромеханическим приводом. II. Информационно измерительный комплекс для проведения экспериментальных исследований

В статье рассматривается информационно-измерительный комплекс, который позволяет проводить регистрацию основных технологических параметров процесса РОД на станке размерной обработки дугой с электромеханическим приводом.

G. Savelenko, Y. Ermolaev, V. Kalich

Research automatic control of ROD process on a machine with an electromechanical drive. II. Information-measuring system for experimental research

The article discusses the information measuring system which allows registration of the main technological parameters of the ROD on the machine dimensional processing of arc with an electromechanical drive.

Одержано 17.02.12

УДК 681.513.5

Т.Г. Руденко, здобувач, Ю.О. Єрмолаєв, доц., канд. техн. наук, В.О. Шалімов, доц., канд. техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет

Розробка автоматизованої системи керування обробкою деревини на поздовжньо-фрезерних верстатах

В статті запропоновано нову автоматизовану комбіновану систему керування механізмами поздовжньо-фрезерних верстатів з метою отримання необхідної продуктивності, якості виробів та енергозбереження.

система керування, поздовжньо-фрезерний верстат, деревообробка

Постановка проблеми. Питання отримання продукції потрібної якості в процесі обробки з мінімальними затратами сировинних, енергетичних, часових, трудових ресурсів є важливим і актуальним в умовах сучасної екологічної та економічної ситуації в Україні та світі, в тому числі і в деревообробній галузі.

Одним із можливих шляхів його вирішення є створення високоефективних автоматизованих систем керування, які дозволяють отримати необхідну якість оброблюваної продукції при мінімальних витратах енергії, сировини та праці.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню процесів різання деревини та вдосконаленню деревообробних верстатів присвячені роботи видатних науковців: О.Л. Бершадського, О.Е. Грубе [1], Ф.М. Манжоса [1, 2], П.А. Афанасьєва, Є.Г. Івановського, І.Т. Глебова [1, 3] та інших. Основним напрямком розвитку деревообробної галузі було зменшення витрат праці людини, збільшення швидкості та продуктивності виробництва [4]. Питанням впровадження сучасних автоматизованих електроприводів, оптимізації алгоритмів управління, їх взаємозв'язку приділено недостатньо уваги. Необхідною умовою вирішення цих задач є впровадження сучасних інноваційних систем контролю та керування [5, 6, 7].

Метою статті є розробка автоматизованої системи керування процесом обробки деревини на поздовжньо-фрезерних верстатах з впровадженням регулятора процесу пуску привода інструмента, регулятора взаємодії головного привода і привода подачі, регулятора шорсткості.

Основні матеріали дослідження.

Поздовжньо-фрезерні верстати належать до групи верстатів підвищеної точності і призначені для чистового оброблення поздовжніх поверхонь деталей з дерева та деревних матеріалів. Точність обробки на верстатах характеризується точністю форми, розмірів деталі і шорсткістю поверхні. Практично всі поздовжньо-фрезерні верстати за своєю структурою мають спільні риси: потужний привод ріжучого інструмента (від одного до чотирьох) та автоматизований привод подачі [2, 3]. Деякі верстати мають систему встановлення розмірів обробки деталей [7]. Функціональна схема конструкції сучасного поздовжньо-фрезерного верстата для калібрування деревних щитів торцевою фрезою представлена на рис. 1.

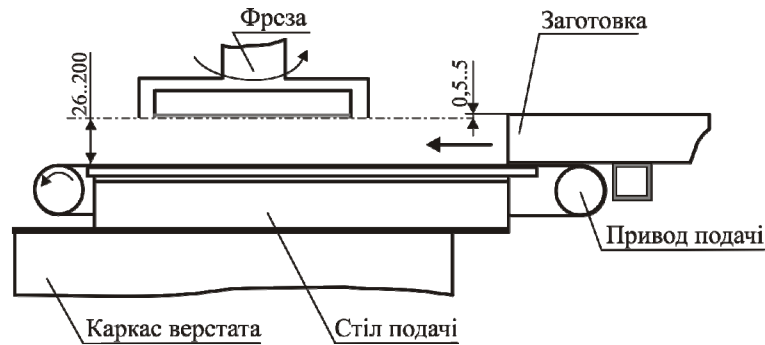


Рисунок 1 – Функціональна схема конструкції верстата

Структурна схема існуючої системи керування деревообробкою поздовжньо-фрезерного верстата показана на рис. 2. Верстат має автоматизовану подачу та встановлення товщини обробки за рахунок системи частотний перетворювач-асинхронний двигун. Система є розімкненою, контроль параметрів двигунів та технологічного процесу не здійснюється, а керування швидкістю подачі і встановлення товщини стружки відбувається з пульта оператора. При існуючій схемі верстат не може виготовляти прогнозовано якісну продукцію та економити електроенергію: чистота поверхні, точність розмірів, витрати електроенергії, час роботи верстата великою мірою залежить від досвіду, фізичного та емоційного стану людини-оператора.

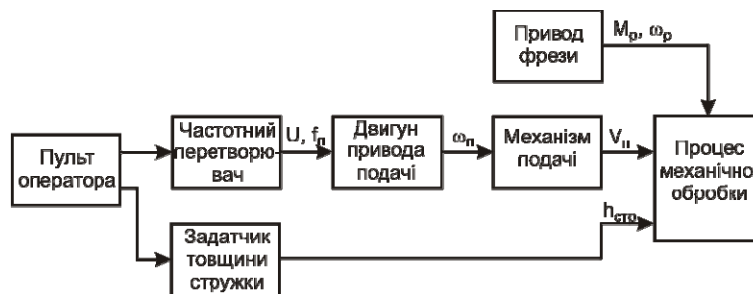


Рисунок 2 – Структурна схема існуючої системи керування поздовжньо-фрезерним верстатом

Проаналізувавши недоліки існуючої системи, ми пропонуємо автоматизовану систему керування процесом механічної обробки на поздовжньо-фрезерному верстаті рис. 3.

В структурній схемі керування виділяються три локальні системи:

1) Система плавного пуску привода інструмента (потужністю 11-15 кВт) [8], яка включає в себе систему тиристорний перетворювач напруги – асинхронний двигун (ТПН-АД) і датчик струму (ДС).

2) Система подачі, складена з транспортера, що переміщує заготовку. Транспортер приводиться в рух від асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором, живлення якого здійснюється через систему перетворювач частоти – асинхронний двигун. Система замикається по вихідній координаті шорсткості через датчик шорсткості (ДШ) з метою забезпечення необхідної якості обробленої заготовки.

3) Система регулювання навантаження привода інструмента, яка включає в себе датчик струму (ДС), блок керування з управлінням швидкістю подачі (транспортера).

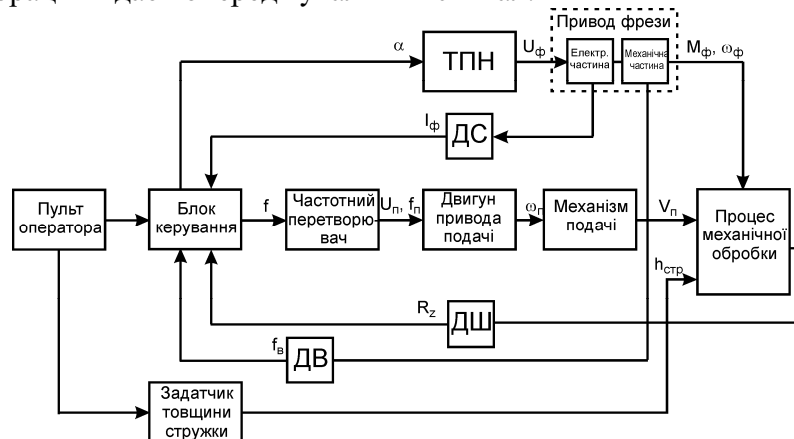
Велику увагу при розробці систем керування приділяється отриманню необхідної якості продукції. Важливим показником якості механічної обробки є чистота поверхні або шорсткість деревини, яка має конструктивний вплив на технологічні та експлуатаційні властивості деталі: величину припуску на обробку, міцність склеювання, якість облицювання, особливо тонкими плівками, витрати

лакофарбових матеріалів або клею, працезатрати на подальшу обробку. Шорсткість є інформативним параметром і має пряму залежність від ряду факторів: швидкості подачі, вібрацій верстата, точності встановлення лез фрезерного інструмента, затуплення лез, властивостей сировини та інших. Більшість з них не можливо змінити в процесі обробки, тому доцільним є використання профілометра та віброаналізатора, поєднаних в мікропроцесорну систему контролю та керування процесом деревообробки.

Аналіз приладів вимірювання шорсткості поверхні деревини показав, що найбільш придатним для використання в системі автоматичного керування якістю обробки деревини є лазерний датчик. Позитивний досвід використання лазерних первинних перетворювачів для дослідження шорсткості деревини з високою точністю без урахування анатомічних нерівностей описаний в роботах американських та румунських науковців [9, 10].

Параметром оптимізації режиму різання є швидкість подачі, яка збільшується або зменшується в залежності від шорсткості обробленої поверхні і завантаженості привода інструмента.

Вібрація інструмента пов'язана з дисбалансом ріжучого інструмента, що обертається, швидкістю різання, недостатньою жорсткістю вузлів верстата і їх передчасним зносом, кількістю ножів фрези. Впливи цих коливань позначаються на чистоті поверхні, тому для контролю використано датчик вібрації (ДВ), який при підвищенні вібрації видає попереджувальний сигнал.



ТПН – тривісторний перетворювач напруги; ДС – датчик струму; ДШ – датчик шорсткості;
ДВ – датчик вібрації

Рисунок 3 - Структурна схема системи керування якістю обробки поздовжньо-фрезерного верстата

Система має наступні переваги:

- контроль якості обробки здійснюється в умовах цеху і не потребує лабораторій та додаткового обладнання;

- вибір високо потужних двигунів обумовлений необхідністю запасу по моменту різання, для можливості роботи фрезерного інструмента, при цьому недостатнє завантаження асинхронного двигуна знижує його ККД і веде до нераціонального використання електроенергії, а перевантаження призводить до зносу ізоляції двигуна і скорочення строку його служби, тому керування пуском та режимами роботи привода інструмента сприяє енергозбереженню;

- привід подачі забезпечує оптимальну швидкість подачі як з точки зору технологічного процесу (потрібну чистоту поверхні деталі, точність розмірів та ККД проводу фрези), так і з точки зору режимів роботи самого двигуна;

- підвищення якості обробки за один прохід, зменшення витрат промислового часу на обробку деталі і трудових затрат, зменшення кількості браку, вибір оптимального режиму в процесі обробки.

Висновки.

1. Проаналізовані діючі системи керування електроприводів фрезерних верстатів.

2. Визначені фактори, що впливають на якість виробів, пов'язані з роботою систем керування приводами.

3. Висвітлені питання з впровадженням нових датчиків.

4. Запропонована нова автоматизована комбінована система керування механізмами поздовжньо-фрезерних верстатів з метою отримання необхідної продуктивності, якості виробів та енергозбереження.

Список літератури

1. Глебов И. Т. Резание древесины: учебное пособие / И. Т. Глебов. – СПб.: «Лань», 2010. – 256 с.
2. Манжос Ф. М. Дереворежущие станки /Ф.М. Манжос. –М.: «Лесн. пром.-сть», 1974. – 456 с.
3. Глебов И.Т. Оборудование отрасли: конструкции и эксплуатация деревообрабатывающих машин. Учебное пособие / Глебов И.Т. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2004. – 286 с.
4. Николаев А. Ф. Автоматизированные системы в деревообработке / Николаев Аркадий Федорович. – М.: Лесн. пром.-сть, 1981. – 79 с.
5. Свиридов Л.Т. Современные процессы и оборудование в деревообработке / Свиридов Л.Т., Ивановский А.В., Ивановский В.П. // Успехи современного естествознания. – 2011. – № 10 – С. 92–94. – Режим доступа: http://www.rae.ru/use/section=content&op=show_article&article_id=7981347
6. Амалицкий В.В. Оборудование и инструмент современных деревообрабатывающих производств / Амалицкий В.В. // Лесной вестник. – 2000. – №1. – С.190 – 191.
7. Вельк А. А. Оборудование для обработки массивной древесины / Вельк А. А., Гейхман Б. Н., Сидоров Ю. П. // Деревообрабатывающая промышленность. – 1991. – № 12. – С. 17–20.
8. Єрмолаєв Ю.О. Обґрунтування впровадження системи плавного пуску для привода фрез верстата СФ-АСТРА-РК8/ Ю.О. Єрмолаєв, Т.Г. Руденко // Техніка в сільськогосподарському машинобудуванні, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць Кіровоград. нац. техн. ун-ту / – 2012. – Вип. 25. Ч. 1 – С. 365-371.
9. Lemaster Richard L. High Speed Surface Assessment of Wood and Wood-Based Composites [Електронний ресурс] / Richard L. Lemaster, James B. Taylor (North Carolina State University): presented at the 14th International Wood Machining Seminar, Epinal, France, 12-19 September 1999. – Режим доступа: http://www.ncsu.edu/wmtrp/publications/14IWMS_lemaster.pdf.
10. Gurau L. Comparative study of laser triangulation and stylus measurements of roughness on wood surfaces [Електронний ресурс] / Lidia Gurau, Hugh Mansfield-Williams, Mark Irle // ProLigno (Brasov, Romania). – 2005. – Vol. 1, № 1. – P. 75–82. – Режим доступа до журн.: <http://www.proligno.ro/en/articles/2005/200501.htm>.

Т. Руденко, Ю. Ермолаєв, В. Шалимов

Разработка автоматизированной системы управления обработкой древесины на продольно-фрезерных станках

В статье предложена новая автоматизированная комбинированная система управления механизмами продольно-фрезерных станков с целью получения необходимой производительности, качества изделий и энергозбережения.

T. Rudenko, U. Ermolaev, V. Shalimov

The development of an automated control system woodworking milling machines

In the article the new automated combined control system of the milling machines mechanisms is proposed with a view to get the required performance, product quality and energy savings.

Одержано 21.09.12

УДК 621.775.8:6П4.522.13

В.В. Пукалов, доц., канд. техн. наук, В.В. Свяцький, доц., канд. техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет

Автоматизована лінія неперервного отримання металевих волокон для пористих систем фільтрації

Наведено результати експериментальних випробувань волокнових свинцевих елементів для фільтрації агресивних середовищ. Висвітлені переваги таких фільтрів над металокерамічними (порошковими) фільтрами. Дано опис технологічної автоматизованої лінії отримання металевих волокон.
автоматизована лінія, фільтр, волокно, повсть, випробування, електроліт, агресивне середовище

Для підвищення корозійної стійкості, зносостійкості і поліпшення декоративного виду виробів в технологічних циклах більшості машинобудівних, металообробних, приладобудівних, ремонтних і інших підприємств широко застосовують гальванічні покриття. В процесі електролітичного нанесення гальванічних покриттів водними розчинами або розчинами розплавлених солей неминуче утворюються забруднені суспензіями водні розчини, які не можна скидати без очищення у водоймища і каналізацію або запускати їх в технологічний обіг. Подібні агресивні водні розчини застосовуються не тільки в гальванічних виробництвах, але і в кольоровій металургії, нафтохімічній, хімічній, медичній, харчовій галузях промисловості і у виробництві добрив.

У всіх випадках методів обробки відпрацьованих агресивних водних розчинів обов'язковою є фільтрація. Наприклад, при виділенні цінних компонентів (кольорових металів) методом вилужнювання термообробленого гальванічного шламу з використанням сірчаної кислоти в технологічній лінії застосовуються вісім фільтрів різної пористості. Відмічено, що основні труднощі при фільтрації пульпи пов'язані з низькою стійкістю фільтруючих елементів [1].

В даний час для очищення відпрацьованих агресивних розчинів найбільш переважними є металоволокнові фільтри. Зігнута система капілярів, хаотичне переплетення волокон і їхнє механічне зчеплення, рівномірний опір крізному потоку і можливість отримання пористості до 95% і, отже, досягнення великої робочої площі визначають їхню однозначну перевагу по відношенню до інших фільтруючих матеріалів. Проте складність отримання металевих волокон за допомогою традиційних технологій, наприклад, волочінням, екструзією розплаву, обмежують застосування пористих волокнових матеріалів в промисловості.

З метою усунення цих недоліків в Кіровоградському національному технічному університеті був розроблений принципово новий, дешевий і ефективний технологічний процес отримання металевих волокон методом пресування литих гранул. Суть способу полягає в тому, що гранули змішують з ізолюючим порошком, наприклад, графітом, і суміш піддають екструзії. Порошок, запобігаючи схоплюванню гранул при пресуванні, дозволяє деформуватися кожній гранулі окремо, внаслідок чого гранули витягуються у вигляді достатньо ізольованих ниток.

Технологічний процес отримання свинцевих волокон [2] складається з приготування розплаву, грануляції розплавленого металу, миття гранул, сушки гранул, класифікації, змішування, пресування, затарювання і контролю якості продукції (рис. 1).

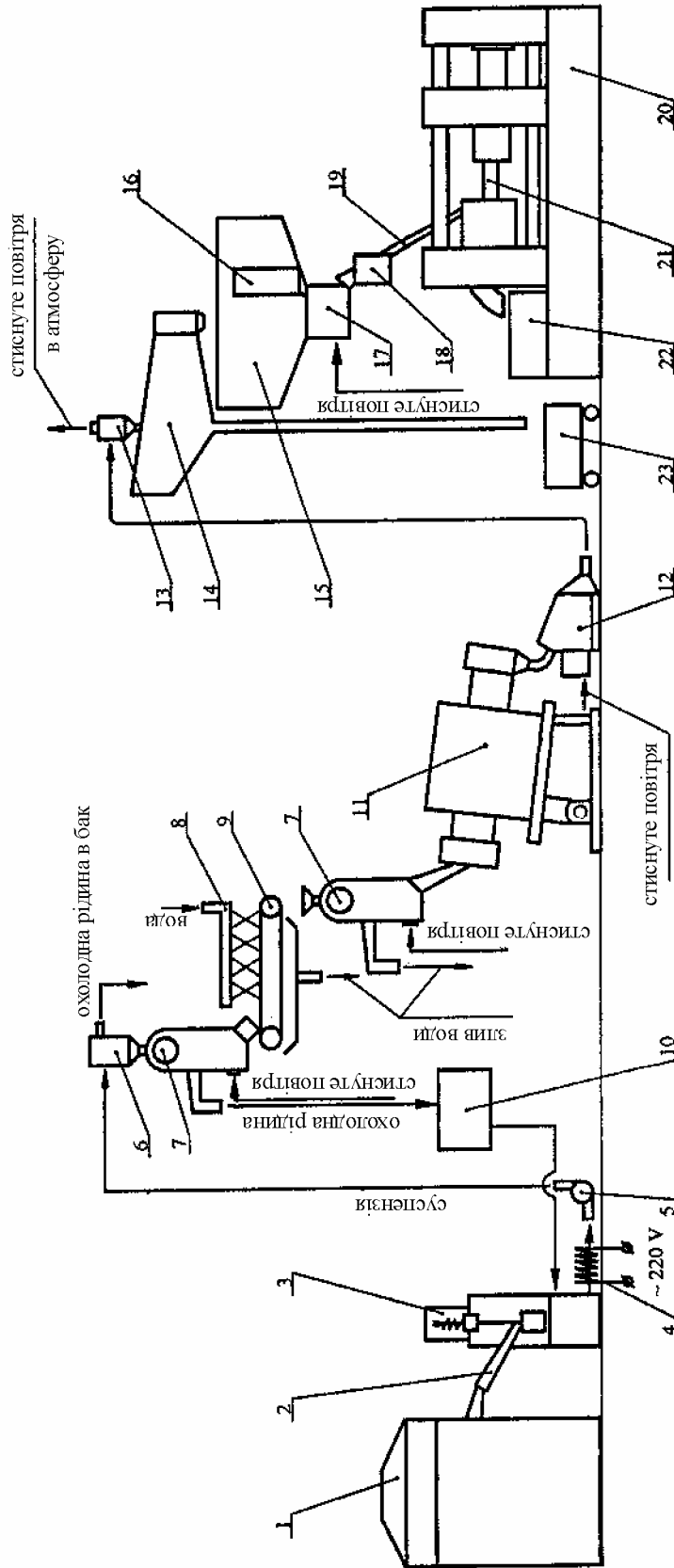


Рисунок 1 – Апаратурно-технологічна схема отримання свинцевих волокон:
 1 – піч для приготування розплаву; 2 – жолоб; 3 – гранулятор; 4 – електродвигун; 5 – відцентровий насос; 6 – відстійник; 7 – центрифуга;
 8 – мийниця; 9 – контейнер; 10 – бак для охолодної рідини; 11 – сушильна барабанна піч; 12 – пневматичний насос; 13 – циклон; 14 – сортувальне
 решето; 15 – вібробункер для гранул; 16 – вібробункер для поверхнево-активних речовин; 17 – змішувач інжекційний; 18 – дозатор; 19 – трубопровід;
 20 – гідравлічний горизонтальний прес; 21 – оснащення; 22 – тара; 23 – візок для відходів

Рисунок 1 – Апаратурно-технологічна схема отримання свинцевих волокон:

Для приготування розплаву сировиною слугує свинець марки С2 ГОСТ 3778-77Е. Подача розплаву з печі здійснюється самопливом по жолобу на гранулятор [3], що забезпечує частоту коливань стакана n від 2 до 2,5 Гц і амплітуду коливань стакана A від 3,5 до 4 мм при жорсткому ударі в кінці кожного півперіоду коливання [4]. За охолодну рідину застосовується рідина на основі водного розчину рідкого мила із в'язкістю від $42500 \cdot 10^{-5}$ до $43500 \cdot 10^{-5}$ Па·с при температурі 35 °С.

Миття гранул виконується в дві стадії: при центрифугуванні і при остаточній промивці на конвеєрі. Транспортування гранул від гранулятора здійснюється в суспензії насосом відцентрового типу. Між гранулятором і центрифугою передбачається відбір надлишку рідини за допомогою відстійника. Остаточна промивка гранул проводиться струменями води при їхньому русі по конвеєру до центрифуги. Сушка гранул проводиться в барабанній печі, що обертається. Транспортування гранул від печі для сушки до класифікатора проводиться за допомогою стислого повітря по повітропроводу. Для запобігання прориву стислого повітря до класифікатора і роздування гранул, в кінці повітропроводу застосовується циклон.

За класифікатор гранул застосовується сортувальне решето із сітками №4 і №5 по ГОСТ 3584-73. Гранули фракції (+4) – (–5) мм по похилому жолобу поступають в пристрій для змішування (інжекційний змішувач) з поверхнево-активною речовиною (ПАР) у вигляді дрібнодисперсного порошку [5]. Після змішувача гранули поступають у вібробункер. Для засипки гранул в контейнер застосовується дозуючий пристрій, при цьому по трубопроводу гранули подаються безпосередньо до контейнера для пресування.

Режими пресування гранул на волокна [6 – 8]: коефіцієнт витяжки μ – від 80 до 85, висота робочого поясочка матриці h не більше 1 мм, розділове середовище – суспензія графіт-гліцерин (з розрахунку від $2 \cdot 10^{-3}$ до $3 \cdot 10^{-3}$ кг графіту і від $0,4 \cdot 10^{-3}$ до $0,6 \cdot 10^{-3}$ л гліцерину на 1 кг насипної маси гранул).

Для подальшого повстювання волокна нарізували завдовжки від 20 до 30 мм. Методом осадження в гліцерині в контейнері з неіржавіючої сталі діаметром 100 мм нарізані волокна формували у вигляді металевої повсті. Після промивки гасом і сушки повсть в контейнері піддавали ущільненню до заданої пористості (20; 30; 40; 50 і 60%).

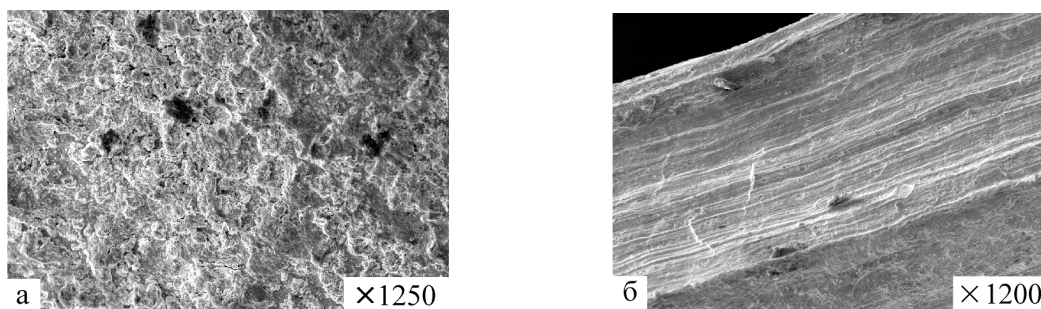


Рисунок 2 – Фрактографії поверхонь: а – литої гранули; б – волокна, отриманого при $\mu = 81$

Аналіз виконаних металографічних досліджень [8, 9] показав, що екструдовані волокна мають шорстку розвинену поверхню і нерівноважну структуру (рис. 2), добре зчіплюються між собою. При цьому кожне волокно залежно від його розмірів і щільності повсті може мати до ста зв'язків із сусідніми волокнами, що в десятки разів перевищує кількість міжчасткових зв'язків у вісесиметричних частинок пористих фільтрів, які виготовлені методами порошкової металургії, навіть при їхньому ідеальному укладанні.

При дослідженні характеру розподілу пор і їхніх розмірів волокнові зразки просочували сплавом Вуда (50% Вi, 25% Рb, 13% Сu, 12% Сd), робили пошарові шліфи і проруховували зрізи. Спеціальні випробування проводили згідно ГОСТ 25277-82 на фільтрувальних установках ПО „Прогрес” (м. Бердичів), що спеціалізується на виробництві фільтрів різного призначення (ПМЖ, ПТЖ, ПТВ, ПТК); стендові випробування виконували згідно вимогам ГОСТ 2.601-95; вимірювання параметрів – по ГОСТ 17108-86. Перевірку міцності волокнових пористих зразків при максимальному перепаді тиску електроліту (0,5 МПа) визначали по ГОСТ 26070-83. Для перевірки міцності металоволокнових фільтрів при аксіальному стискаючому навантаженні використовували методику стиснення між притискними шайбами по ГОСТ 15.001-88. Пристрій для прикладання аксіального навантаження імітував умови роботи фільтроелемента. За номінальне навантаження приймали максимальну силу, яка не приводила до утворення залишкової деформації і порушення фільтруючих властивостей і видимих порушень пористої структури. Всі випробування проводили на зразках в кількості не менше трьох.

Випробування фільтрів із забрудненим відпрацьованим електролітом проводили з урахуванням вимог до фільтрації: у 10^{-6} м³ відпрацьованого електроліту повинне бути не більше 15 частинок забруднювача розміром, що перевищує 10^{-12} м. За забруднений електроліт використовували відпрацьований електроліт для сумісного знежирення і травлення. Температура випробування складала (40 ± 2) °С. Вміст суспензії у відпрацьованому електроліті перевищував 50 г/л.

При випробуваннях свинцевих фільтроелементів визначали характеристики структурних параметрів, гідро- і повітропроникності і механічних властивостей.

При випробуванні фільтроелементів на пористість відмічено, що при загальній пористості більше 20% практично тупикової і закритої пористості в них немає. Відмічено, що розмір пор у великій мірі залежить від щільності фільтроелементів (табл. 1). Результати розрахунку коефіцієнта звивистості пор $\beta_{\text{пор}}$ і експериментальна перевірка показали, що при пористості від 0,20 до 0,60 коефіцієнт $\beta_{\text{пор}}$ дорівнював від 1 до 1,5.

При випробуванні на проникність мали на увазі, що вона характеризує властивість пористого матеріалу пропускати через себе рідину під дією прикладеного градієнта тиску і визначається відношенням об'єму фільтрованої рідини до площі поверхні фільтруючої перегородки певної товщини і тривалості фільтрації при фіксованому перепаді тиску.

На рис. 3 і рис. 4 наведені результати випробувань повітро- і вологопроникності фільтроелементів різної пористості. Аналіз експериментальних даних показує, що проникність збільшується у міру зменшення щільності фільтрів, перепаду тиску і розмірів пор.

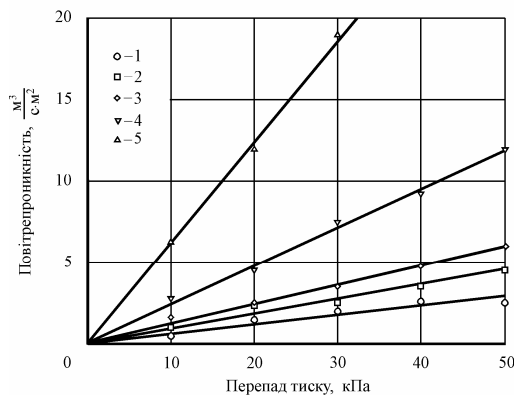
Таблиця 1 - Розмір пор залежно від щільності фільтроелементів

Пористість, %	Розмір пор, мкм
20	від 7 до 10
30	від 10 до 18
40	від 18 до 36
50	від 40 до 65
60	від 70 до 90

Регенерація фільтроелементів проводилася зворотним продуванням повітрям при тиску, що є більшим на 0,05 МПа за тиск фільтрації. Тривалість зворотного продування не перевищувала двох-трьох секунд, витрата повітря становила від 30 до 50 м³/кг. Інтервал між продуваннями складав від п'яти до шести хвилин. Результати регенерації показали, що після трьох-чотирьох продувань повітрям проникність фільтроелементів досягає початкового значення.

Результати дослідження показали, що дослідні фільтроелементи зі свинцевих волокон пористістю від 20% до 60% мали такі показники:

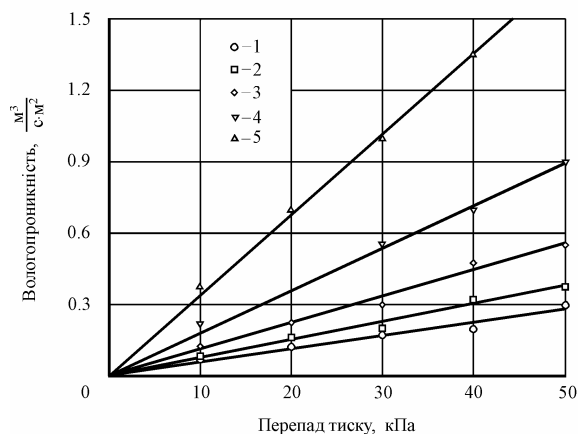
- коефіцієнт проникності, м² від 10⁻⁹ до 10⁻⁷;
- максимальний розмір пор, мкм до 1000;
- середній розмір пір, мкм від 10 до 300;
- питома поверхня, м²/г від 0,01 до 800;
- розподіл локальної проникності
(коефіцієнт варіації) від 0 до 0,5;
- капілярний потенціал, м²/с² до 8;
- межа міцності при поперечному вигині, МПа від 30 до 60.



Товщина фільтроелемента 10 мм.

Пористість: 1 – 20%; 2 – 30%; 3 – 40%; 4 – 50%; 5 – 60%

Рисунок 3 – Повітропроникність фільтроелементів із свинцевих волокон



Товщина фільтроелемента 12 мм.

Пористість: 1 – 20%; 2 – 30%; 3 – 40%; 4 – 50%; 5 – 60%

Рисунок 4 – Вологопроникність фільтроелементів із свинцевих волокон

В цілому можна зробити висновок, що свинцеві волокнисті фільтроелементи володіють низкою переваг в порівнянні з металокерамічними (порошковими) фільтрами. Вони є більш проникні, стійкі проти корозії, володіють високою пружністю,

допускають легку регенерацію. Високий коефіцієнт проникності при мінімальних розмірах пор сприяє підвищенню терміну служби фільтрів, зменшенню їхніх габаритів і маси, дає можливість одержувати якісний фільтрат. Крім того, дані випробування на повітропроникність дають можливість стверджувати, що фільтроелементи з волокон свинцю можуть ефективно використовуватися не тільки для фільтрації агресивних розчинів, але і очищення газів в технологічних циклах хімічного, нафтохімічного, металургійного виробництв.

Список літератури

1. Оборудование цехов электрохимических покрытий: Справочник.– Л.: Машиностроение, 1987.– 210 с.
2. Шепельский Н.В., Пукалов В.В., Свяцкий В.В. Разработка технического задания на проектирование опытно-промышленной установки непрерывного получения металлических волокон // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Загальнодерж. міжвідомч. науково-техн. зб. – Кіровоград: КДТУ, 2001. – Вип. 31. – С. 141 – 145.
3. Патент №17942 (Україна), МКВ 6 В 22 F 9/08. Пристрій для отримання металевих гранул / М.В. Шепельський, В.П. Пукалов, В.В. Пукалов, В.В. Свяцкий (Україна). – №96104104; Заявл. 29.10.96; Опубл. 03.06.97, Промислова власність. – 1997. – №5.
4. Шепельский Н.В., Пукалов В.В., Свяцкий В.В. Оптимизация режимов литья гранул // Зб. наук. праць КІСМ. – Кіровоград: КІСМ. – 1998. – Вип. 4. – С. 208 – 212.
5. Свяцкий В.В. Особенности технологии получения металлических волокон прессованием литых гранул // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в металургії та машинобудуванні: Збірн. науков. праць ДДМА. – Краматорськ-Хмельницький, 2002. – С. 242 – 248.
6. Шепельский Н.В., Пукалов В.В., Свяцкий В.В. Энергосиловые условия прессования волокон // Зб. наук. праць КІСМ. – Кіровоград: КІСМ. – 1998. – Вип. 4. – С. 213 – 217.
7. Шепельский Н.В., Свяцкий В.В. Влияние геометрии очага деформации на процесс получения разобщенных волокон при прессовании литых гранул // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в металургії та машинобудуванні: Збірн. наук. праць ДДМА. – Краматорськ-Слов'янськ, 2000. – С. 242 – 248.
8. Шепельский Н.В., Свяцкий В.В., Свяцкая Л.П. Оптимизация профиля прессового инструмента при прессовании металлических волокон // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні. Тематичн. зб. наук. праць ДДМА. – Краматорськ, 2004. – С. 212 – 216.
9. Свяцкий В.В., Свяцкая Л.П. Дослідження характеру руйнування поверхні контакту дискретних частинок при зсувних деформаціях // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: Зб. наук. праць КДТУ. – Кіровоград: КДТУ, 2007. – Вип. 18. – С. 131 – 135.

В. Пукалов, В. Свяцкий

Автоматизированная линия непрерывного получения металлических волокон для пористых систем фильтрации

Приведены результаты экспериментальных испытаний волоконных свинцовых элементов для фильтрации агрессивных сред. Показаны преимущества таких фильтров над металлокерамическими (порошковыми) фильтрами. Дано описание технологической автоматизированной линии получения металлических волокон.

V. Pukalov, V. Svyatsky

The automated line of continuous reception of metal fibres for filtering porous systems

The results of experimental tests of lead fiber elements for hostile environment filtration are considered. The advantages of such filters in comparison with metal-ceramic powder filters are presented. The description of the technological automated line of metal fibres reception is given.

Одержано 12.09.12.

УДК 691.342: 004.942

А.Л. Становский, проф, д-р техн. наук, Е.Ю. Лебедева, А.В. Торопенко
Одесский национальный политехнический университет

Автоматизация технологического процесса изготовления изделий из синтегран

Предложена система технической диагностики, основанная на динамической марковской модели процессов перемещения компонентов гетерогенных материалов при их хранении, обработке, перемешивании, транспортировке, заполнении ими литейных форм, что позволило снизить непроизводственные потери технологических смесей и их компонентов, а также повысить качество выпускаемой продукции.

марковская модель, гетерогенный материал, реология композитов

Введение. Наиболее ответственным этапом технологического процесса изготовления изделий из композиционных материалов является заполнение формообразующей оснастки: опалубки, литейной формы и т.п. На этом этапе закладываются основные показатели качества готового изделия, определяется, будет ли оно годным, закладываются его свойства, внешний вид. Поэтому реологические характеристики исходной смеси существенно влияют на перечисленные показатели.

В то же время, реология гетерогенных материалов, как правило, не может быть описана ни законами гидравлики, ни моделями, применяемыми в механике грунтов для сыпучих материалов, поскольку, зачастую, такие исходные смеси содержат разнородные по размерам, конфигурациям, агрегатным состояниям компоненты, изменяющие в процессе перемещения основные физические свойства, например, вязкость.

1. Постановка проблемы. Основной проблемой при проектировании технологии изготовления изделий из гетерогенных материалов с существенно различающимися компонентами (бетоны и железобетоны, синтегран и т.п.) является отсутствие адекватных структурных имитационных моделей, на входе которых — характеристики процессов перемешивания таких материалов, заполнения ими соответствующих форм, а также процессов их химического либо физического затвердевания, а на выходе — структурозависимые свойства будущих изделий: плотность, пористость, воздухо- и влагонепроницаемость, изотропность, прочность, ударная вязкость, способность к вибропоглощению и др.

2. Анализ последних достижений и публикаций. Существующие структурные модели взаимопроникающих компонентов гетерогенных материалов представляют собой, чаще всего, трехмерный объем, заполненный параллелепипедами различных размеров, моделирующими твердые компоненты смеси, и свободным пространством между этими параллелепипедами, моделирующим поры [1, 2]. Недостатком такого представления является, во-первых, несоответствие формы реальных компонентов параллелепипедам, во-вторых, их взаимная неподвижность, что исключает моделирование реологии, а также отсутствие учета изменения внешних воздействий на элементы и их физических свойств в процессе перемещения.

Известны из литейного производства модели, в которых учитывается перемещение масс исходных материалов под действием внешних сил, но и их

возможности весьма ограничены, т.к. они не учитывают существенные разнородности размеров элементов исходных материалов [3, 4]. С другой стороны, модели, применяемые в механике грунтов, также, к сожалению, не учитывают изменение свойств, происходящих со связующими материалами исходных смесей при их затвердевании [5, 6]. Развивающееся в последнее время представление о структурных превращениях, основанное на математическом аппарате марковских процессов, требует «обучения» модели на реальных событиях, так как реальные значения вероятностей марковских переходов должны коррелировать с фактическими событиями, происходящими при течении гетерогенных сред [7, 8].

3. Целью настоящей работы является создание адекватной динамической модели заполнения пространства форм и последующего уплотнения под действием разнообразных сил (гравитации, вибрации, центробежных и т.д.), использующей в процессе решения разнообразных задач теорию марковских процессов.

4. Основной материал. Реология исходных композиционных материалов, используемых при изготовлении изделий в строительстве, машиностроении, и т.д., осложняется тем, что такие материалы зачастую содержат компоненты, находящиеся в трех агрегатных состояниях (твердое, жидкое, газообразное), причем как сами состояния, так и соответствующие этим состояниям свойства многих компонентов изменяются во времени.

Рассмотрим простой пример. Пусть двумерная модель мгновенного состояния гетерогенной смеси имеет вид, представленный на рис. 1. На этом рисунке отдельная песчинка смеси соответствует одному квадрату сетки (рис. 1, а), один крупный элемент (например, кусок гравия) — постоянному сообществу таких клеток (рис. 1, б — д), а жидкости и газы, заполняющие поры между песком и гравием, представляют собой оставшееся пространство, условно разделенное на клетки того же размера.

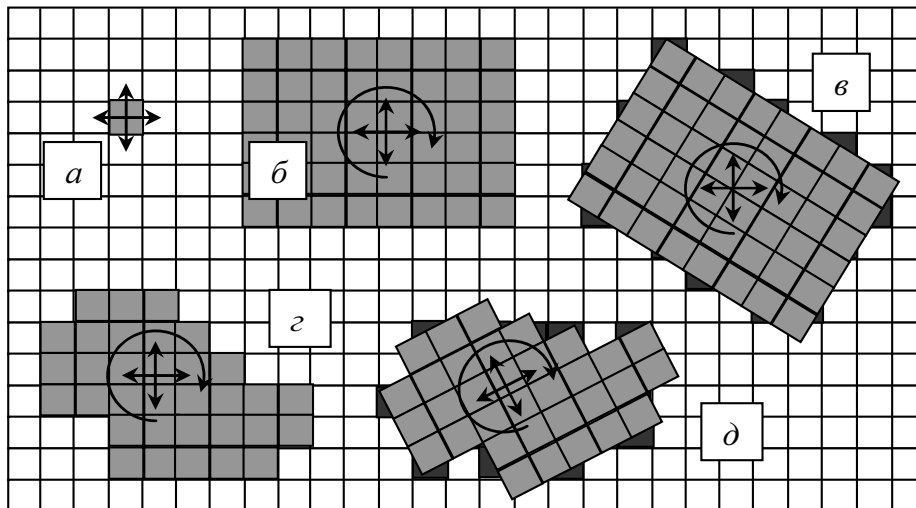


Рисунок 1 – Схема дискретизации пространства, заполненного моделями фракций композиционного материала

Изменением состояния системы считается изменение (перемещение) хотя бы одного ее элемента. Модель перемещения выглядит следующим образом: элемент с некоторыми свойствами в заданной клетке исчезает, элемент с таким же (для твердого или газообразного) или измененными (для жидкого) свойствами появляется в одной из четырех соседних ортогонально расположенных клеток.

Естественно, если элемент занимает площадь более одной клетки, то движение (поступательное, вращательное) таких клеток должно происходить совместно: на одну

величину и в одном направлении.

Поворот одноклеточного элемента в модели не предусмотрен, а поворот сообщества элементов приводит к его распространению на те клетки, где перекрытие исходной сетки превышает 50 % ее площади (рис. 1, в, д).

Движение каждого элемента может происходить при наличии следующих обстоятельств:

- внешние силы достаточны для перемещения;
- свободно или легко освобождается пространство в направлении действующей силы, куда может переместиться моделируемый фрагмент;

Если для перемещения фрагмента место для его новой позиции должно быть освобождено от элементов других компонентов, то необходимо выполнить расчет, хватает ли внешней энергии, затрачиваемой на перемещение, чтобы преодолеть сопротивление и указанное освобождение произошло.

В соответствии с представлениями, приведенными на рис. 1, каждый квадратный элемент сетки может находиться в следующем состоянии:

- заполнен газом («пустой»);
- заполнен твердым телом (песчинка, фрагмент гравия);
- заполнен жидкостью (связующее — смола, цементный раствор — до затвердевания).

Марковская модель процесса изменения состояния ячейки представляет собой граф, в основании которого — одно из исходных состояний: незаполненная ячейка (рис. 2, а), ячейка, заполненная песчинкой (рис. 2, б), и ячейка, заполненная фрагментом гравия (рис. 2, в).

Любое изменение структуры осуществляется в результате перехода, происходящего с той или иной степенью вероятности, в значении которой «защиты» перечисленные выше внешние воздействия и свойства материалов смеси. С помощью марковской модели на каждом шаге моделирования определяются все возможные состояния после каждой операции, вероятности перехода к этим состояниям и статистические характеристики времени, необходимые для завершения перехода.

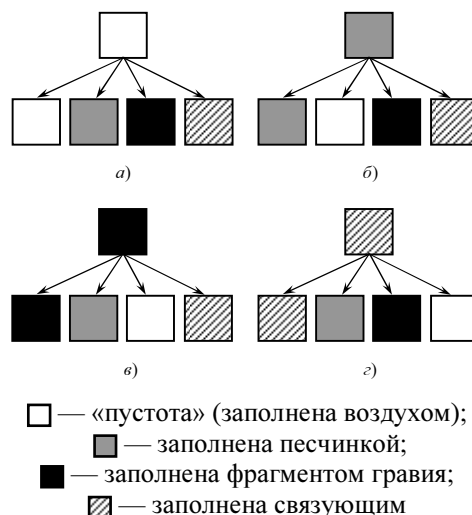


Рисунок 2 – Схема марковских переходов в состоянии ячейки модели

Вязкость твердого состояния принимается равной бесконечности, вязкость газообразного — нулю, а вязкость жидкого состояния определяется на каждой итерации моделирования в зависимости от реальных химических процессов твердения

связующих (образование нерастворимых гидросиликатов цемента, поликонденсации смол и т.д.).

В результате использования предложенной модели удалось получить соотношения, связывающие реологические характеристики исходных смесей, параметры механизма их твердения, параметры внешних воздействий с технологически важными характеристиками технологического процесса. Так, например, для станкостроительного предприятия, использующего гетерогенный материал синтегран для изготовления станин металлорежущих станков, получены данные по стойкости исходной смеси к расслоению и затвердеванию, а также оптимальные амплитуды и частоты вибрационного воздействия на исходную смесь при заполнении ею формы.

Выводы. Предложена динамическая марковская модель процессов перемещения компонентов гетерогенных материалов при их хранении, транспортировке, заполнении ими литейных форм, что позволило снизить непроизводительные потери смеси и ее компонентов, а также повысить качество выпускаемой продукции.

Список литературы

1. Дульнев Г.Н. Процессы переноса в неоднородных средах / Г.Н. Дульнев, В.В. Новиков. — Л.: Энергоатомиздат, 1991. — 248 с.
2. Дульнев Г.Н. Теплопроводность смесей композиционных материалов / Г.Н. Дульнев, Ю.П. Заричняк. — Л.: Энергия, 1974. — 264 с.
3. Становский А.Л. Схемотехническое моделирование переноса в анизотропных средах / А.Л. Становский, Г.В. Кострова, Т.В. Лысенко // Материалы 4-й Украинской конференции по автоматическому управлению «Автоматика — 1997». — Черкассы: ЧИТИ, 1997. — С. 73.
4. Кострова Г.В. Схемотехнічне проектування у машинобудуванні / Г.В. Кострова, Т.В. Лисенко, О.Л. Становський. — Одеса: ОДПУ, 1994. — 147 с.
5. Орнатский Н.В. Механика грунтов. — М.: МГУ, 1950. — 420 с.
6. Николаевский В.Н. Механика насыщенных пористых сред / В.Н. Николаевский, К.С. Басниев, А.Т. Горбунов. — М.: Недра, 1970. — 339 с.
7. Кельберт М.Я. Вероятность и статистика в примерах и задачах. Т.ІІ: Марковские цепи как отправная точка теории случайных процессов и их приложения / М.Я. Кельберт, Ю.М. Сухов. — М.: МЦНМО, 2009. — 588 с.
8. Байхельт Ф. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход / Ф. Байхельт, П. Франкен. — М.: Радио и связь, 1988. — 392 с.

О. Становський, О. Лебедєва, А. Торопенко

Автоматизація технологічного процесу виготовлення виробів із синтеграну

Запропоновано систему технічної діагностики, засновану на динамічній марковській моделі процесів переміщення компонентів гетерогенних матеріалів при їхньому зберіганні, обробці, перемішуванні, транспортуванні, заповненні ними ливарних форм, що дозволило знизити невиробничі витрати технологічних сумішей та їх компонентів, а також підвищити якість продукції, що випускається.

A. Stanovsky, E. Lebedeva, A. Toropenko

Simulation of the heterogeneous materials equipment filling

The system of technical preliminary treatment based on the dynamic Markov model of heterogeneous materials components conveyance processes at their storage, processing, hashing, transportation, filling with them of casting molds is offered that has allowed to lower non-productive losses of technological mixtures and their components, and also to raise quality of exhausted production.

Получено 14.09.12

УДК 550.34.03.25

Ю.П.Таран, інженер

ПАО «Запорожский алюминиевый комбинат»

А.Н.Николаенко, проф., канд. тех. наук

Запорожская государственная инженерная академия

Способ управления формированием алюминиевой заготовки

Процесс формирования заготовки при непрерывном литье алюминия на машине роторного типа с последующей прокаткой полученного слитка, характеризуется нестабильностью. Она вносится как работой прокатного стана, так литейной машины. Разработка способа управления формированием алюминиевой заготовки является актуальной задачей при совершенствовании системы управления этими металлургическими агрегатами.

алюминиевая катанка, система управления литейно-прокатным модулем

Производство алюминиевой катанки методом непрерывного литья и проката металла является одним из самых эффективных способов получения данной продукции. Процесс непрерывного литья алюминия характеризуется получением заготовки неограниченной длины. Благодаря непрерывности литья при кристаллизации алюминия достигается полная равномерность структуры слитка по его длине, повышается качество металла. Однако эти показатели хуже, чем у металла, подвергнутого последующей обработке давлением, т.е. прокатке. Возникла реальная необходимость объединить процессы непрерывного литья и прокатки в одном агрегате – литейно-прокатном модуле, ЛПМ.

Литейно-прокатный модуль – это технологический агрегат, объединяющий в себе два независимых устройства. Первое – это литейная машина роторного типа 1, на которой реализуется направленный процесс слиткообразования, а второе – прокатный стан 3, где из полученной заготовки 2 вытягивается алюминиевая катанка. После прокатки, катанка попадает на автоматизированное наматывающее устройство 4, где формируются бунты заданного веса, рис.1.

Непременным условием процесса непрерывного литья и проката алюминия является соблюдение закона постоянства секундных объёмов металла, проходящего через литейное колесо и клетки прокатного стана. Поэтому скорости движения отлитой заготовки после литья V_l и до проката V_{ex} должны быть одинаковы

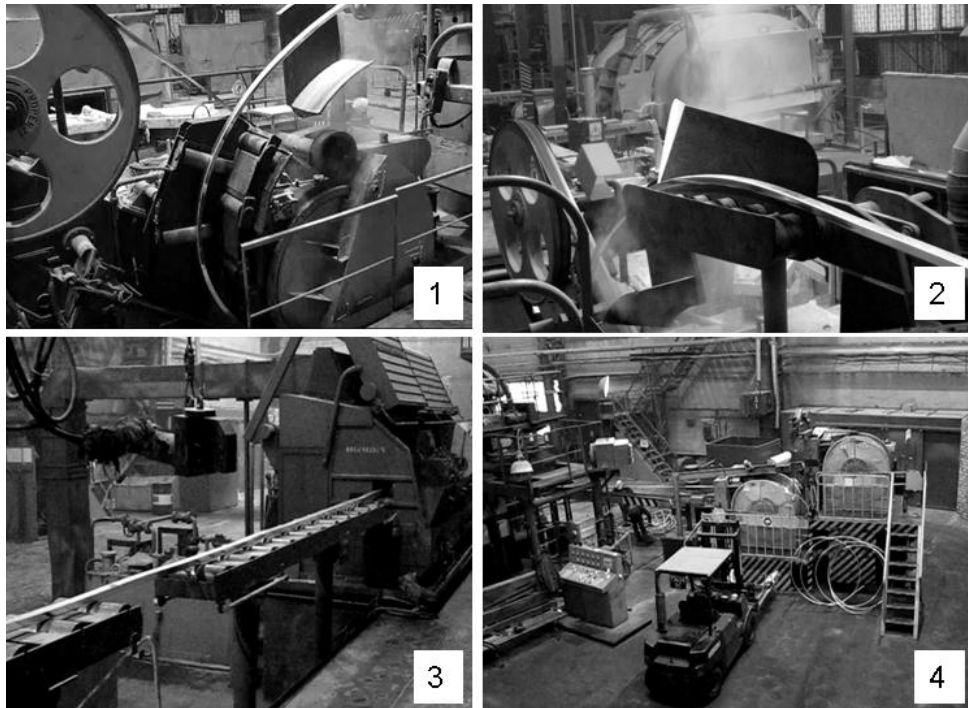
$$V_l = V_{ex} . \quad (1)$$

Однако воздействие возмущающих факторов литья и проката на формирование отлитой заготовки нарушает это правило и средняя длина заготовки изменяется на величину отклонения длины заготовки Δl_n :

$$\Delta l_n = (V_l - V_{ex})t_z , \quad (2)$$

где t_z - время прохождения металлом участка от литейной машины до

прокатного стана.



1 – литейная машина; 2 – полученная заготовка; 3 – прокатный стан;
4 – устройство для намотки катанки

Рисунок 1 – Технологическая линия по производству алюминиевой катанки компании «Continuous Properzi S.P.A.»

При отклонении длины заготовки от базового значения, существующие одноконтурные системы управления ЛПМ автоматически осуществляют управляющие воздействия на электропривод прокатного стана. В результате скорость проката изменяется пропорционально отклонению длины заготовки, без учета параметров возмущений. Возникают ускорения привода стана. Ускорения привода стана приводят к сбоям в работе устройства для намотки катанки и значительной потере производительности линии в целом [1, 2].

Проведены исследования: влияния теплообменных процессов в литейной машине на формирование длины получаемого слитка; влияния работы прокатного стана на отклонение длины заготовки; взаимного влияния литейной машины и прокатного стана при непрерывном литье и прокате алюминия. Цель изысканий – формализация возмущающих воздействий литья и проката на отклонение длины заготовки в виде математического описания.

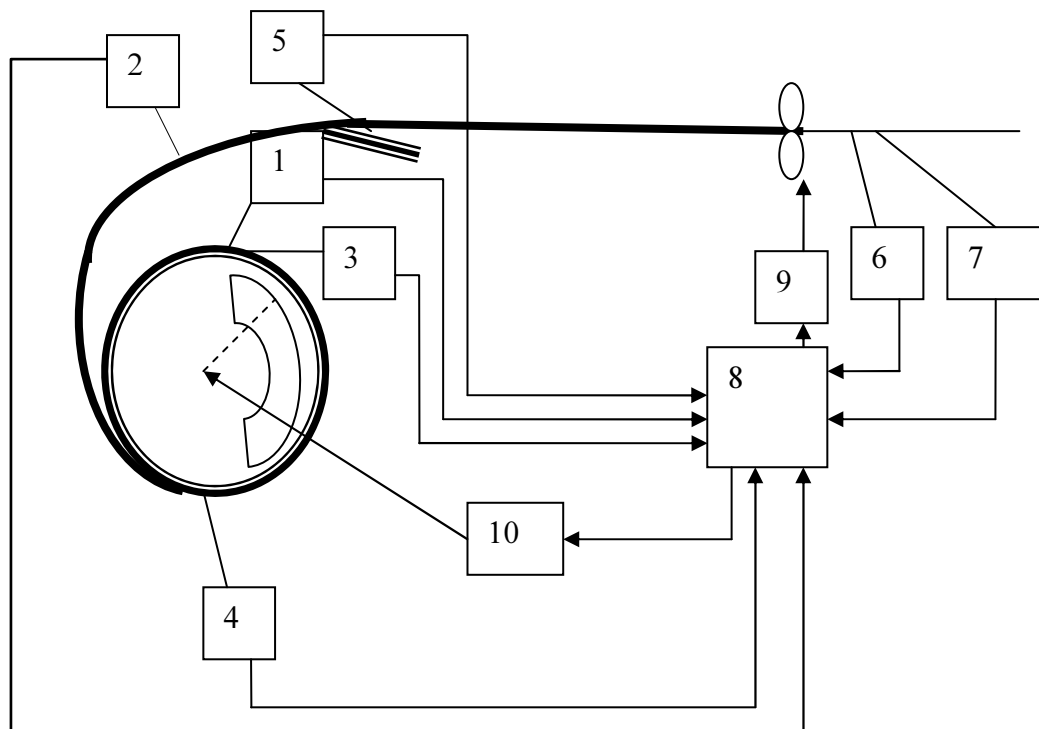
По результатам исследований созданы математическое описание и компьютерная модель, которые имитируют процесс формирования заготовки. Обобщёнными параметрами возмущений приняты линейная усадка для процесса литья и коэффициент вытяжки для процесса прокатки [3, 4]. Линейная усадка определяется скоростью изменения избыточной температуры слитка по его длине. Коэффициент вытяжки вычисляется как отношение площади сечения катанки на выходе прокатного стана к сечению отлитой заготовки. Учтено влияние изменений площади сечения катанки на обороты электропривода прокатного стана.

С помощью модели проведены измерения отклонения длины при изменении рабочих температур литейной машины и диаметра катанки в рамках технологического

допуска. Результаты моделирования сравнивались с измерениями линейной усадки и отклонением длины заготовки на ЛПМ компании «Continuous Properzi S.P.A.» и показали полную идентичность.

Для решения задачи компенсации воздействия возмущений процесса литья и проката на работу ЛПМ разработан новый способ управления агрегатом. Длина заготовки корректируется изменением угловой скорости электропривода прокатного стана при стабильных оборотах литейного колеса. Регулирование оборотов электропривода прокатного стана происходит не только по отклонению длины заготовки от базового значения, но в зависимости от появления линейной усадки металла в изложнице и изменений общего коэффициента вытяжки всех клеток прокатного стана.

Комбинированная система автоматического регулирования, реализующая предложенный способ управления изображена на рис.3. Процесс управления по разработанному способу происходит следующим образом. При пуске ЛПМ программа логического контроллера 8 устанавливает такое соотношение угловых скоростей электроприводов литейного колеса 10 и прокатного стана 9, при котором длина заготовки приводится к базовому значению. При изменении длины заготовки, программируемый контроллер получает соответствующий сигнал рассогласования от углового датчика положения 5 и формирует управляющее воздействие на электропривод прокатного стана, который увеличивает или уменьшает скорость движения заготовки на входе в прокатный стан, пока длина ее не достигнет базового значения.



1 – термопара для измерения температуры жидкого алюминия на входе в литейное колесо; 2 – пирометр для измерения температуры отлитой заготовки; 3 – пирометр для измерения температуры изложницы в начале литья; 4 – пирометр для измерения температуры изложницы при выходе металла из изложницы; 5 – угловой датчик положения заготовки; 6 – лазерный датчик толщины катанки; 7 – датчик скорости катанки на выходе из прокатного стана; 8 – программируемый логический контроллер; 9 – электропривод прокатного стана; 10 – электропривод литейного колеса

Рисунок 2 – Комбинированная САР для управления длиной заготовки

Если условия работы литейной машины привели к появлению линейной усадки, о чем свидетельствуют показания термомпары 1 и пирометров 2, 3, 4, контроллер формирует величину корректирующего воздействия на электропривод стан, в соответствии с рассчитанным значением таким образом, чтобы длина заготовки вернулась в заданное положение.

Когда условия работы прокатного стана приведут к изменению диаметра катанки, на входе программируемого логического контроллера изменятся сигналы с датчиков толщины 6 и скорости движения катанки 7. Контроллер рассчитает скорость заготовки на входе в прокатный стан и по ее значению скорректирует сигнал управления скоростью валков таким образом, чтобы длина заготовки осталась постоянной. Все неточности в регулировании длины заготовки, которые возникнут в течение корректирующих действий контроллера, исправляются им за сигналом углового датчика положения заготовки. Приоритет использования способа защищен патентом [5].

Действующая на Запорожском алюминиевом комбинате система автоматического регулирования (САР) длины заготовки является одноконтурной и работает по ПИ-закону. В отличие от существующей, разработанная система регулирования предусматривает формирование при возникновении возмущений дополнительного сигнала в канал управления. Это возможно благодаря тому, что $\Delta l_n(2)$ является зависимой от величины управляющего воздействия – скорости электропривода прокатного стана [4].

Разработаны компьютерные модели одноконтурной САР и комбинированной системы управления. Проведено моделирование их работы в диапазоне рабочих температур заготовки от 450°C до 526°C и изложницы от 130°C до 150°C. Диаметр катанки изменялся от 9,8 мм до 9,5 мм. Сравнение качества регулирования показало, что при использовании комбинированной САР, в отличие от одноконтурной САР, время переходного процесса в 40 раз меньше и в 10 раз меньше максимальное динамическое отклонение. При этом изменение управляющего воздействия имело следующий характер, рис.3. На рисунке видно, что комбинированная САР (график 2) выходит на необходимую скорость вращения электропривода раньше, чем одноконтурная САР (график 1).

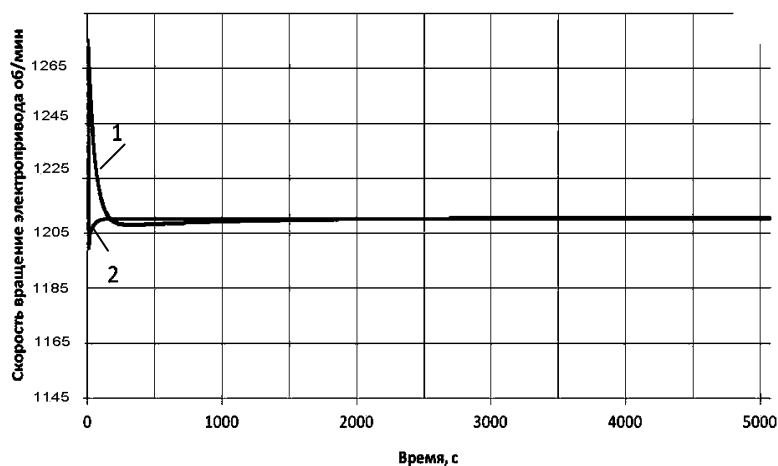
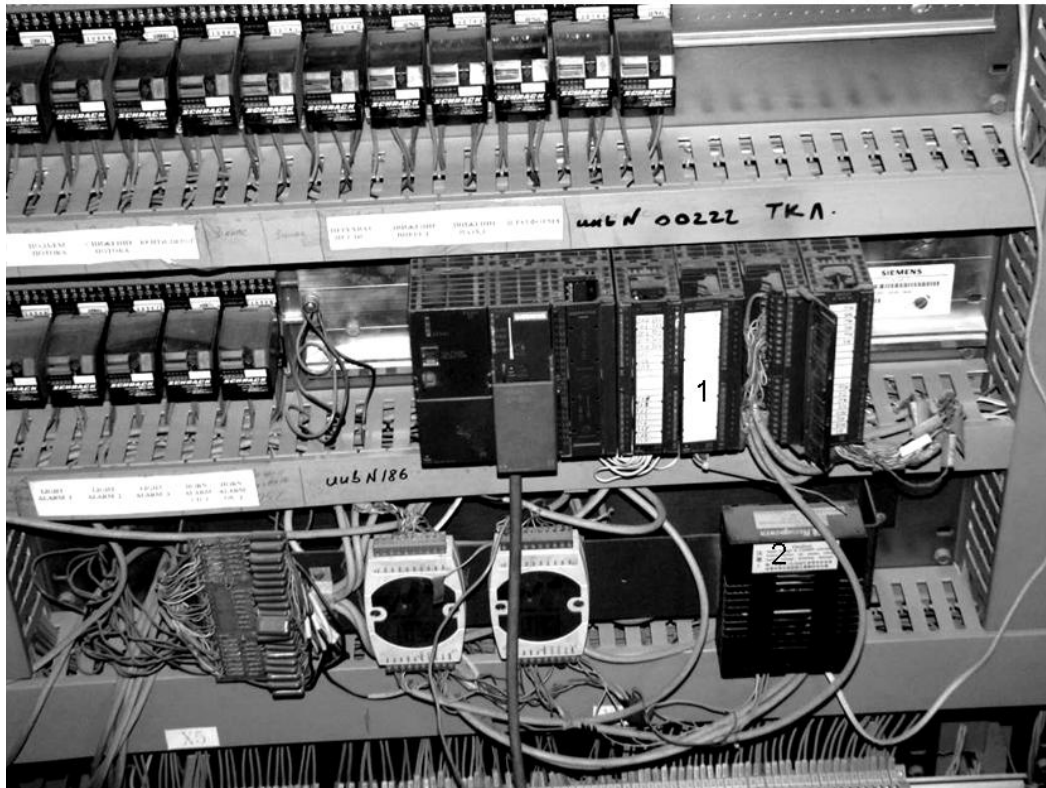


Рисунок 3 – Управляющее воздействие на привод прокатного стана одноконтурной САР – 1 и комбинированной САР – 2

Для промышленной реализации разработанного способа управления ЛПМ создан технологический контроллер линии (ТКЛ), который управляет приводами

постоянного тока литейного колеса и прокатного стана. ТКЛ собран на модулях серии S7-300 фирмы Siemens, с программным обеспечением на базе STEP7, также изготовлена и введена в эксплуатацию информационно-измерительная система «Объект», рис. 4 [6,7].



1 – контроллер ТКЛ, 2 – информационно-измерительная система «Объект»

Рисунок 4– Контроллер ТКЛ и информационно-измерительная система «Объект» в шкафу управления ЛПМ

Качество регулирования системы управления литейно-прокатным модулем в первую очередь определяется производительностью технологической линии в целом. Эффективность разработанного способа управления определялась сравнением стандартных отклонений длины заготовки и оборотов привода стана при использовании как одноконтурной САР, так и комбинированной системы управления. По полученным результатам измерений установлено, что применение разработанного способа обеспечивает уменьшение стандартного отклонения длины заготовки в 1,57 раза, а стандартного отклонения оборотов привода прокатного стана в 5 раз.

Снижение ускорений привода прокатного стана положительно сказывается на производительности линии в целом, что подтверждает статистический анализ сбоев в работе наматывающего устройства. После внедрения контроллера ТКЛ, при производстве катанки диаметром 9,8 мм, за период с 01.12.2012 по 23.01.2012, получены следующие результаты: откатано и намотано 1368 бунт, зафиксировано 9 сбоев, коэффициент сбойности $K_{сб} = 152$ (1 сбой на 152 бунты). При старом способе управления, $K_{сб} = 24$.

Теоретические и экспериментальные исследования показывают, что качество управления литейно-прокатным модулем значительно улучшается при использовании разработанной комбинированной САР. Применение разработанного способа управления позволило увеличить производительность технологической линии по производству алюминиевой катанки на 3 %.

Список литературы

1. Таран Ю.П. Совершенствование управления скоростными режимами работы технологической линии по производству катанки / Ю.П.Таран, А.Н Николаенко // Запорожье: Metallurgia. Научные труды ЗГИА. – 2007. – №16. – С. 139 - 144.
2. Таран Ю.П. Исследования динамических режимов процесса литья и проката на технологической линии по производству алюминиевой катанки / Ю.П.Таран, А.Н Николаенко // Одесса. Доклады 15 международной конференции по автоматическому управлению. – 2008. – С.586 – 590.
3. Таран Ю.П. Исследование температурных деформаций алюминиевой заготовки при её непрерывном литье / Ю.П.Таран, А.Н Николаенко // Запорожье: Metallurgia. Научные труды ЗГИА. – 2010. – № 22. – С. 174–181.
4. Таран Ю.П., Исследования влияния работы прокатного стана на формирование заготовки при непрерывном литье алюминия / Ю.П.Таран, А.Н Николаенко // Запорожье: Metallurgia. Сборник научных трудов. – 2011. – № 22. – С. 191–196.
5. Таран Ю.П. Способ управления формированием алюминиевой заготовки. / Ю.П.Таран, А.Н Николаенко. – Патент № 69836 на полезную модель.
6. Таран Ю.П. Локальная информационно-измерительная система для контроля параметров технологического процесса / Ю.П.Таран, А.Н Николаенко // Запорожье: Metallurgia. Сборник научных трудов. – 2007. – № 16. – С. 145–146.
7. Таран Ю.П. Информационно-измерительные системы «Объект» для мониторинга зданий и сооружений / Ю.П.Таран // Современные проблемы строительства. – Донецк: 2007. – С. 245–250.

Ю.Таран, А.Николаенко

Спосіб управління формуванням алюмінієвої заготовки

Процес формування заготовки при безперервному литті алюмінію на машині роторного типу з подальшою прокаткою отриманого злитка, характеризується нестабільністю. Вона вноситься роботою як прокатного стану, так і ливарної машини. Розробка способу управління формуванням алюмінієвої заготовки є актуальною задачею при вдосконаленні системи управління цими металургійними агрегатами.

U. Taran, A. Nikolaenko

A new way to control the formation of aluminum billet

The process of billet forming during the uninterrupted aluminum casting on a rotor-type machine with the further rolling of the obtained ingot is characterized by instability, which is introduced by the operation of the rolling mill and casting machine. Development of ways to control the formation of aluminum billet is an important task for improving the performance of these metallurgical units.

Одержано 14.09.12

УДК 681.517.631

А.О. Дудник, асп., мол. наук. співр.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Особливості побудови системи керування біотехнічним об'єктом з урахуванням природних збурень (на прикладі споруд закритого ґрунту)

В статті описано процедуру синтезу системи керування процесами вирощування овочевої продукції в теплицях з точки зору комплексного підходу до біотехнічного об'єкту з врахуванням як мікрокліматичних, біологічних особливостей процесу, так і з урахуванням впливу зовнішніх природних збурень. Вирішення даного наукового завдання дозволяє виробити ефективне управляюче рішення на основі отриманого прогнозованого значення зовнішніх збурень та забезпечити максимальний економічний прибуток при мінімізації витрат на вирощування продукції.

біотехнічний об'єкт, теплиця, збурення, інтенсивність сонячної радіації, прогнозування, нейромережеві технології

Сучасний рівень витрат енергоносіїв на вирощування тепличної продукції, що склався в агрокомплексі України, значно перевищує відповідні показники аналогічних виробництв у розвинутих країнах світу. Великі витрати палива на обігрів культивацийних споруд зумовлені декількома причинами, основними з яких є низькі теплозахисні властивості огорожуючих конструкцій та недосконала робота систем опалення.

У зв'язку з високою вартістю енергоресурсів важливого значення та актуальності набуває розробка нових комплексних рішень, які дозволять значно зменшити витрати енергії на вирощування овочевої продукції в теплицях.

Технологічний комплекс вирощування овочевої продукції (ТКВОП) у повній комплектації являє собою складну систему, що складається з таких елементів:

- біотехнічний об'єкт (система «рослина-теплиця»);
- підсистема факторів мікроклімату;
- підсистема факторів зовнішнього середовища;
- підсистема чинників економічної ефективності;
- підсистема управління;
- підсистема обмежень ресурсів;
- ідсистема прогнозування.

Кожна із зазначених підсистем являє собою важливу складову технологічного комплексу, аналіз якого призведе до найбільш повного уявлення про сам процес і про можливість його регулювання. Додатковими складовими технологічного комплексу вирощування овочевої продукції вважаємо підсистему факторів зовнішнього середовища та підсистему прогнозування. Таким чином, перевагою розробленого комплексу є врахування впливів параметрів зовнішнього середовища та оперативність прийняття управлінських рішень на основі попередньо отриманих прогнозів.

Основними факторами зовнішнього середовища, що впливають на продуктивність рослин в теплицях, є температура та інтенсивність сонячної радіації [3]. Оптичне випромінювання впливає на тепловий режим споруд і є важливим джерелом

енергії в закритому ґрунті, що також необхідно враховувати в тепловому балансі споруд і рослин.

З огляду на високу енергоємність тепличного рослинництва, нерационально затрачати енергію, наприклад, на обігрів, коли через обмеженість інших факторів не можна домогтися підвищення темпів росту і розвитку рослин. Саме тому було поставлене завдання визначення такого кліматичного режиму, який дозволив би одержати максимально можливий врожай при мінімальних затратах.

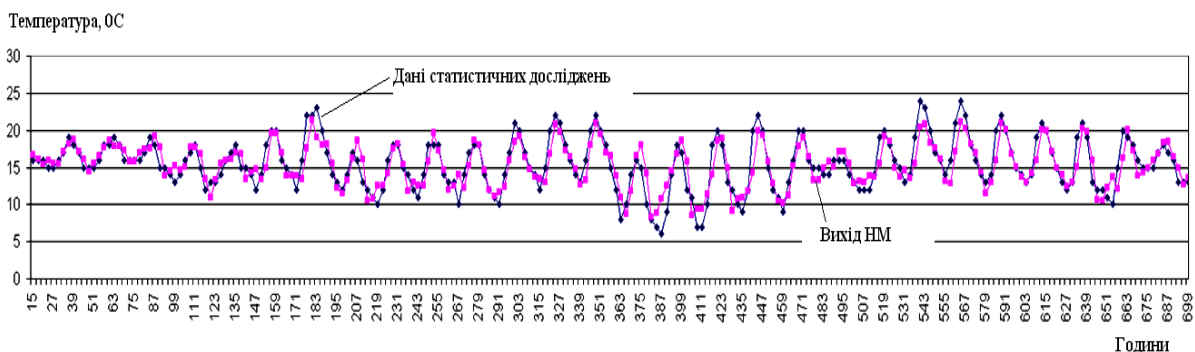
Інформаційно-вимірювальну систему (ІВС) для фіксації та моніторингу таких параметрів зовнішнього середовища, як інтенсивність сонячної радіації та зовнішня температура повітря, впроваджено у ПАТ «Комбінат «Тепличний» (Київська обл.) (рис.1).



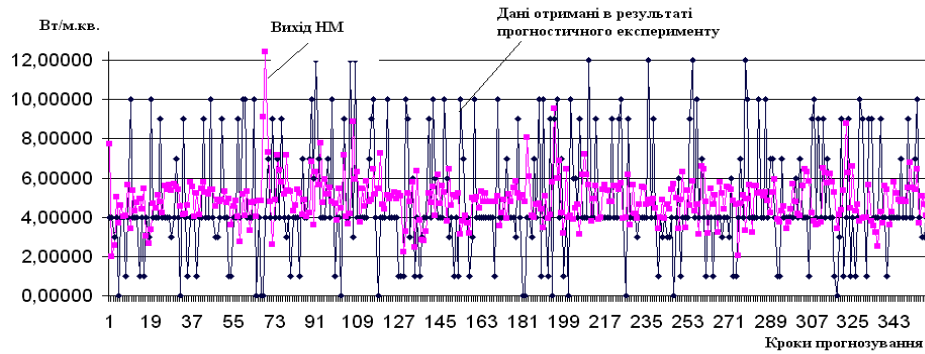
Рисунок 1 – Інформаційно-вимірювальна система інтенсивності сонячної радіації та зовнішньої температури повітря

На основі статистичних даних, отриманих за допомогою ІВС, з метою отримання прогнозу зовнішніх збурень застосували методику прогнозування часових рядів температури та інтенсивності сонячної радіації з використанням нейромережових технологій.

Для синтезу та дослідження НМ використовували програмний пакет Statistica Neural Networks. З метою отримання прогнозованих значень інтенсивності сонячної радіації обрали різновид нейронної мережі – багатошаровий перцептрон, що за попередніми дослідженнями виявив найменшу похибку і найкращу прогностичну здатність щодо нестационарних та нелінійних процесів, які містять елементи невизначеності [5]. Для температурного часового ряду прийнятна точність предиктів була отримана за допомогою багатошарового перцептрону з двома нейронами у прихованому шарі (рис.2а) [6].



а)



б)

Рисунок 2 - Графіки прогнозування температурних часових рядів (а) та часового ряду інтенсивності сонячної радіації (б)

У випадку прогнозування інтенсивності сонячної радіації необхідної ефективності предикту не отримали (рис.2б), що пояснюється зашумленістю інформаційного сигналу, пов'язану із можливим впливом значного переліку природних чинників [3, 8]: висоти і типу хмар; абсолютної вологості; горизонтальної і вертикальної складових швидкості вітру; концентрації і розміру аерозолі; розмірів хмарних ядер конденсації і крапель; розміру кристалів; водності; випромінювальної спроможності і водозапасу хмар; інтенсивності опадів тощо.

Для отримання кращої якості прогнозованих значень з можливістю реалізації прогностичного блоку застосували математичні фільтри. З метою забезпечення необхідної умови адекватного представлення даних та можливості формування адаптивного базису, який функціонально залежатиме від змістової складової самого сигналу, а не буде попередньо вибраним та незмінним, як у класичних підходах, обрали перетворення Гільберта-Хуанга (ННТ), під яким розуміють метод частотно-часового аналізу на основі емпіричної модової декомпозиції (EMD) нелінійних та нестационарних процесів і Гільбертів спектральний аналіз (HSA) [10-11].

Загалом метод EMD базується на припущенні, що будь-який набір даних вміщує різні режими коливальних процесів [10]. Кожен із таких коливальних режимів можна представити функцією внутрішньої моди (IMF) з відповідними обмеженнями: кількість екстремумів і кількість нульових перетинів функції повинні дорівнювати або відрізнятися не більше, ніж на одиницю; у будь-якій точці функції середнє значення огинаючих кривих, які визначенні локальними екстремумами, має дорівнювати 0.

Тобто IMF являють собою коливальні режими, які замість постійних амплітуди та частоти можуть мати змінні амплітуду та частоту, як функції часу.

Суть EMD полягає в послідовному (ітераційному) встановленні функцій емпіричних мод $c_j(t)$ і залишків $r_j(t) = r_{j-1}(t) - c_j(t)$, де $j = 1, 2, 3, \dots, n$ при $r_0 = y(t)$. Результатом розкладання буде представлення сигналу в вигляді суми модових функцій і кінцевого залишку [10]:

$$x(t) = \sum_{j=1}^n c_j(t) + r_n(t), \quad (1)$$

де n — кількість емпіричних мод, яка встановлюється під час розрахунків.

Дослідження [10-11] продемонстрували, що відповідний адаптивний базис хоча і не визначений аналітично, але задовольняє вимогам традиційних базисів: завершеністю, сходимістю, ортогональністю та єдиністю (твердження спірне). При цьому EMD має чіткий алгоритм ітераційного розрахунку, що створює передумови для його програмної реалізації в системах керування [11].

Для досліджень використали часовий відрізок у 6 годин (дані отримані ІВС), що технологічно обґрунтовано з точки зору ширини часового вікна для подальших предиктів.

Для усунення помилок перетворення на кінцевих інтервалах оброблюваного масиву даних досліджуваній часовий відрізок продовжили на кінцевих ділянках на 1% (43 точки) Також здійснили його центрування стосовно середньоарифметичного значення – 133,807 Вт/м² (рис. 3).

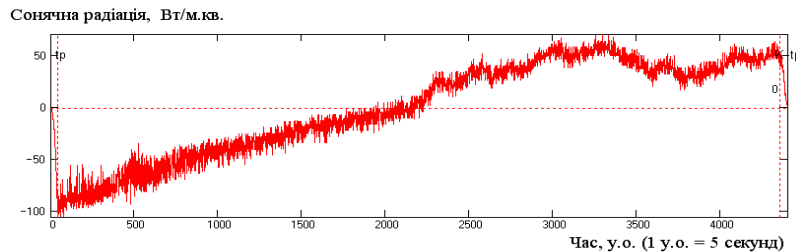


Рисунок 3 – Нормований та продовжений часовий ряд сонячної радіації

Таким чином, нами була встановлена межа зрізування – 65 у.о.; верхня межа повного придушення високочастотних складових для всіх фільтрів – однакова. Також прийняли, що очищення від шумів часового ряду сонячної радіації потребуватиме проведення чотириразового відсіву шумів, тобто формування $IMF-1 = IMF-1a + IMF-1b + IMF-1c + IMF-1d$ (рис. 4).

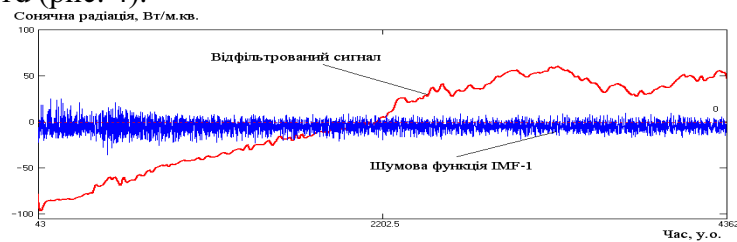


Рисунок 4 – Результати фільтрації часового ряду сонячної радіації

Денормувавши відфільтрований сигнал, візуально проаналізували результати використання перетворення Гільберта-Хуанга та встановили кількість виявлених шумових складових у вхідному сигналі – 23,762% (рис. 5).

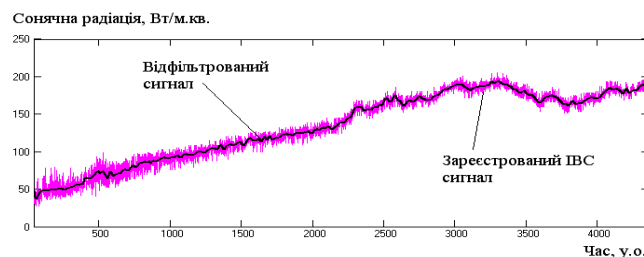


Рисунок 5 – Накладання вхідного та відфільтрованого сигналів часового ряду сонячної радіації

В результаті використання математичного фільтру точність предиктів для інтенсивності сонячної радіації значно підвищилась, що дозволило продовжити дослідження зазначених нейронних мереж та провести пошук методів оптимізації, які б мінімізували похибку їх роботи. Покращення предиктивної ефективності нейронної мережі можлива з використанням оптимізаційних математичних апаратів, серед яких виділяється генетичний алгоритм (ГА).

Суть методу полягає у налаштуванні вагових коефіцієнтів нейронної мережі шляхом випадкового перехрещування хромосом до тих пір, поки не буде знайдено

оптимальне рішення. Розв'язку задачі відповідає хромосома з мінімальним значенням функції належності, що визначає оптимальний вектор вагових коефіцієнтів W_i , при цьому похибка навчання менша заданої величини ε_{\min} .

Було проведено визначення оптимальних вагових коефіцієнтів нейронної мережі типу багатошаровий перцептрон для часового ряду інтенсивності сонячної радіації за допомогою генетичного алгоритму разом з використанням математичного фільтру. Аналізуючи проєкції часових рядів інтенсивності сонячної радіації (рис. 6), необхідно відмітити, що НМ відносно вірно спрогнозували її зміни. При прогнозуванні на 2 години вперед в цілому спостерігається підвищення точності прогнозу нейронною мережею із використанням генетичного алгоритму (середньоквадратична помилка – $1,1192 \text{ Вт/м}^2$) порівняно із звичайною нейронною мережею (середньоквадратична помилка – $2,8016 \text{ Вт/м}^2$). Проведені дослідження дозволяють припустити ефективність використання ГА і для температурного часового ряду.

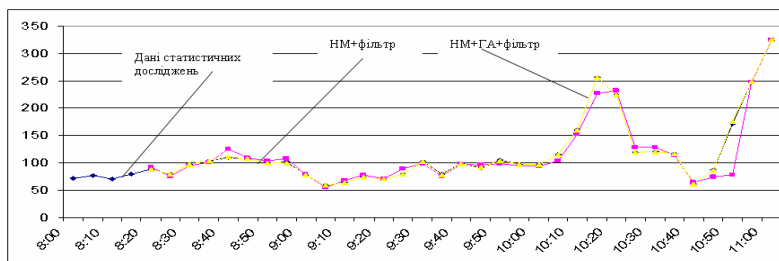
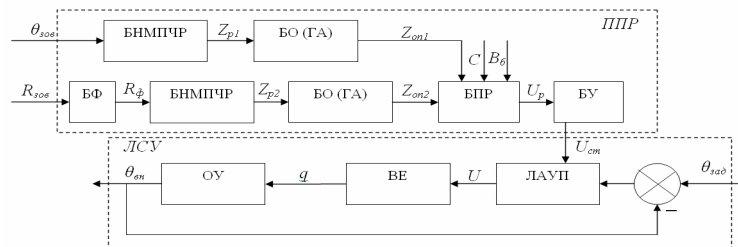


Рисунок 6 – Графіки навіщального прогнозування часових рядів інтенсивності сонячної радіації нейронними мережами

На основі проведених досліджень зробили схему системи керування процесом вирощування рослин в теплиці (рис.7).



ППР – підсистема прийняття рішень; БФ – блок фільтрації інтенсивності сонячної радіації; БНМПЧР – блок нейромережевого моделювання і прогнозування часових рядів; БО(ГА) – блок оптимізації на основі генетичного алгоритму; БПР – блок прийняття рішень; БУ – блок управління; ЛСУ – локальна система управління; ЛАУП – локальний автоматичний управляючий пристрій; ВЕ – виконавчі елементи; ОУ – об'єкт управління

Рисунок 7 – Структурна схема системи керування процесом вирощування в теплиці

БНМПЧР створюється на основі нейронної мережі типу багатошаровий перцептрон температурного часового ряду та для часового ряду сонячної радіації. З використанням блоку оптимізації на основі використання генетичного алгоритму відбувається оптимізація нейронної мережі. Вид розпізнаного образу з БО(ГА) передається в БПР, у базі даних якого для кожного образу зберігаються можливі варіанти дій управління й показники якості (B_{σ}) для кожної дії за продуктивністю виробництва, матеріальними та енергетичними витратами у фізичних одиницях. У БПР вводяться дані вартості складових прибутку C , з урахуванням яких методами теорії ігор і статистичних рішень здійснюється вибір оптимальної стратегії управління (U_p). За

допомогою БУ проводиться зміна заданої дії $U_{зад}$ або зміна оптимальної – для нового образу стратегії управління U_{cm} у ЛАУП.

Отже, розроблена система керування процесом вирощування овочевої продукції в теплиці дозволить забезпечити найбільший прибуток від реалізації виробленої продукції та мінімізувати енергетичні витрати на вирощування.

Список літератури

1. Заєць Н.А. Використання генетичного алгоритму для вирішення оптимізаційних задач в електротехніці /Н.А. Заєць, В.М. Штепа // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – К.: НУБіПУ. – 2011. – Вип. 166. – С. 157 – 164.
2. Каллан Р. Основные концепции нейронных сетей / Р. Каллан. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. – 516 с.
3. Клешнин А. Ф. Растение и свет. Теория и практика светокультуры растений./ Клешнин А. Ф. – М.: Изд-во АН СССР, 1954. - 456 с.
4. Кондратьев К.Я., Атмосферный аэрозоль / К.Я. Кондратьев, Н.И. Москаленко, Д.И.Поздняков. – М.: Гидрометеоиздат, 1965. – 692 с.
5. Лисенко В.П. Оптимальне управління: стан та перспективи розвитку в тепличній галузі / В.П. Лисенко, А.О.Дудник // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – К.: НУБіПУ. – 2011. – Вип. 166. – с.
6. Лисенко В.П. Застосування теорії статистичних рішень та ймовірнісної нейронної мережі для класифікації температурних образів / В.П. Лисенко, В.М. Штепа, Б.Л. Головінський, А.О. Дудник, Н.А. Заєць // Тези доповідей міжнародної науково-практичної конференції “Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту”. – Херсон: ХНТУ. – 2011. – С. 274 – 278.
7. Отнес Р. Прикладной анализ временных рядов / Р. Отнес, Л. Эноксон. – М.: Мир, 1982. – 428 с.
8. Серякова Л.П. Метеорологические условия и растения. /Л.:Ленингр. гидромет. институт. –1971.– 77с.
9. Гарчевский И.А. Основы фотосинтеза, М.: Высшая школа, 1977. – 253 с.
10. Huang N. E., Shen Z., Long S. R., Wu M. C., Shih H. H., Zheng Q., Yen N.-C., Tung C. C., and Liu H. H. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis. Proceedings of R. Soc. London, Ser. A, 454, pp. 903-995, 1998
11. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and nonstationary time series analysis / Huang N. E., Shen Z., Long S. R., Wu M. L. [and others]. — Proc. R. Soc. London, 1998. — Vol. 454. — P. 903—995.
12. Thornley J.H.M., Hurd R.G. An Analysis of the Growth of Young Tomato Plants in Water Culture at Different Light Integrals and CO₂ Concentrations \ Annals of Botany \ – Vol.38, Issue 2 – pp. 389-400 - 1979.

А. Дудник

Особенности построения системы управления биотехническим объектом с учетом природных возмущений (на примере сооружений закрытой почвы)

В статье описано процедуру синтеза системы управления процессами выращивания овощной продукции в теплицах с точки зрения комплексного подхода к биотехническому объекту с учетом как микроклиматических, биологических особенностей процесса, так и с учетом влияния внешних возмущений. Решение данного научного задания позволяет выработать эффективное управляющее решение на основе полученного прогнозированного значения внешних возмущений и обеспечить максимальную экономическую прибыль при минимизации затрат на выращивание продукции.

А. Dudnik

Features of creation of a control system of biotechnical object taking into account natural indignations (on an example of constructions of the closed soil)

In article it is described procedure of synthesis of a control system by processes of cultivation of vegetable production in hothouses from the point of view of a complex campaign to biotechnical object with the account as mikroklivatichesky, biological features of process, and taking into account influence of external indignations. The solution of this scientific task allows to develop the effective operating decision on the basis of the received predicted value of external indignations and to provide the maximum economic profit at minimization of expenses for production cultivation.

Одержано 03.09.12

УДК 621.565:536.24:664.002

В. В. Клименко, проф., канд. техн. наук

Полтавський національний технічний університет ім. Ю. Кондратюка

В. Н. Корнієнко, канд. техн. наук

Державна наукова установа «Всеросійський науково-дослідний інститут холодильної промисловості Россільгопакадемії»

О. В. Скрипник, канд. техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет

Стендові випробовування макетного зразка газогідратного акумулятора природного холоду

У статті описано конструкцію макетного зразка газогідратного акумулятора природного холоду (ГАПХ) для систем охолодження плодів і овочів з активним вентиляванням і стенд для його випробовувань. Приведено методику і результати випробовувань. Підтверджено працездатність макетного зразка в умовах, характерних для експлуатації систем охолодження плодів і овочів з активним вентиляванням. За результатами досліджень рекомендовано проводити конструктивні розрахунки промислових ГАПХ з умов теплообміну.

газогідратний холодоакумулятор – охолодження – природний холод – макетний зразок – стенд для випробовувань – утворення і плавлення газогідратів – теплообмін

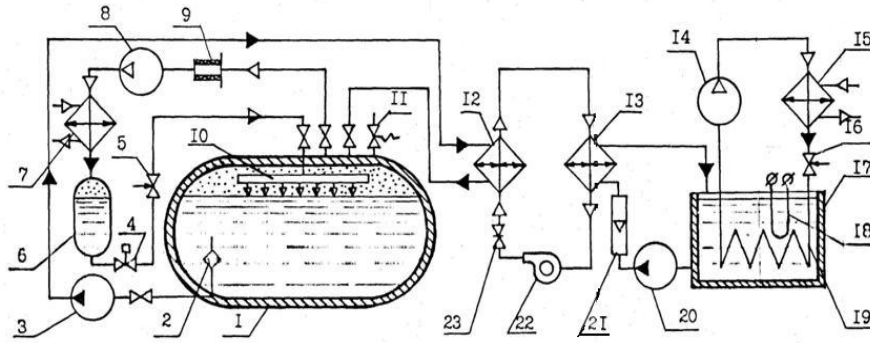
З метою зменшення енерговитрат для охолодження плодів і овочів часто застосовують системи активного вентилявання, що використовують природний холод, термодинамічна цінність якого визначається добовою термічною нерівновагою зовнішнього повітря [1 – 3].

Підвищити ефективність таких систем можна включенням в їхню схему газогідратного акумулятора природного холоду (ГАПХ) [3]. Проведені теоретичні і експериментальні дослідження термодинаміки і кінетики газогідратних процесів підтвердили перевагу застосування газогідратів для акумуляування природного холоду [4, 5].

Створенню і впровадженню промислових зразків ГАПХ передує розробка й випробовування макетного зразка, що дозволить перевірити обґрунтованість застосування отриманих результатів досліджень лабораторних моделей для розробки ГАПХ промислових масштабів, працездатність холодоакумулятора в умовах, характерних для натурних умов використання природного холоду.

Для досліджень процесів газогідратного акумуляування природного холоду в умовах, близьких до промислових, розроблено і створено макетний зразок акумулятора номінальною холодоємністю 100 МДж та стенд для його випробовувань, схема яких представлена на рис.1, а загальний вигляд – на рис. 2. Конструкційні матеріали для макетного зразка вибирали з урахуванням даних експериментальних досліджень по корозійній і хімічній активності гідратовмісних систем [6].

Конструкція макетного зразка акумулятора природного холоду включає такі основні елементи: ємність для утворення, зберігання і плавлення гідратів 1, компресорно–конденсаторний агрегат для циркуляції гідратоутворювача, повітряний охолоджувач гідратної води 12 і насос гідратної води 3 (рис.1). Всі елементи акумулятора скомпоновані в єдиний блок, розташований на шасі автомобільного



1 – ємність для утворення, збереження і плавлення газогідратів; 2 – сітчастий фільтр; 3, 20 – водяні насоси; 4 – соленоїдний вентиль; 5, 16 – регулюючі вентилі; 6 – ресивер; 7, 15 – повітряні конденсатори; 8, 14 – компресори; 9 – фільтр-осушувач; 10 – розподільник гідратоутворюючого агента; 11 – запобіжний клапан; 12 – повітряний охолоджувач гідратної води; 13 – повітроохолоджувач; 17 – бак; 18 – електронагрівальний елемент(ТЕН); 19 – занурений випарник; 21 – ротаметр; 22 – вентилятор; 23 – повітряна заслінка

Рисунок 1 – Схема макетного зразка газогідратного акумулятора природного холоду і стенда для його випробовувань

причепи для зручності транспортування до місця проведення промислових випробовувань (рис. 2).

Ємність 1, об'ємом 1 м^3 , виконана зі сталі 20 товщиною 6 мм і розрахована на робочий тиск 1,0 МПа. У верхній частині ємності встановлений розподільник гідратоутворюючого агента 10 з нержавіючої труби діаметром $10 \times 1,5$ мм, зігнутої у вигляді синусоїди. У ньому просвердлені 74 отвори діаметром 1,5 мм для подачі гідратоутворювача (парорідиної суміші R – 22) у процесі зарядки акумулятора. Ємність обладнана запобіжним клапаном, відрегульованим на тиск 1,1 МПа.

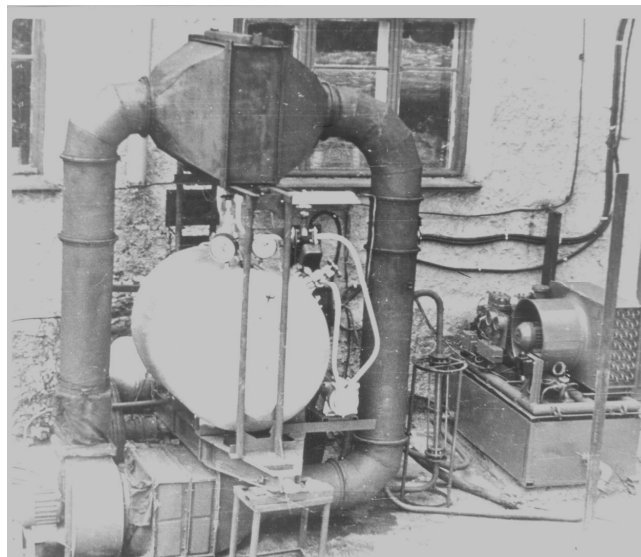


Рисунок 2 – Загальний вигляд макетного зразка газогідратного акумулятора природного холоду і стенда для його випробовувань.

Над ємністю розміщений охолоджувач гідратної води 12 із площею теплопередаючої поверхні з боку повітря 27 м^2 і коефіцієнтом оребрення 5,7. Вода надходить у нього зверху на трубні ґрати і стікає вниз по вертикально розташованих трубах, оребрених з боку повітряного потоку. Збоку ємності на рамі для подачі

гідратної води встановлено вихровий насос 3 марки ВКО – 1/16 продуктивністю $3,6 \text{ м}^3/\text{год}$ і напором 16 м. вод. стовпа при 1450 об/хв. Щоб уникнути втрат R – 22 через витoki для насоса 3 був виготовлений новий сальник з парою тертя поліуретан–бронза. На всмоктувальній стороні цього насоса в нижній частині ємності передбачено сітчастий фільтр.

Контур циркуляції гідратоутворювача містить крейцкопфний компресор 8, виготовлений на базі стандартного компресора 2ФВ – 4, повітряний конденсатор 7 від агрегату ФАК – 0,7, електродвигун для приводу компресора і вентилятора конденсатора, ресивер обсягом $0,2 \text{ м}^3$ для збереження R – 22, дросельний 5 і соленоїдний 4 вентилялі, фільтр–осушувач 9, встановлений на всмоктувальній стороні компресора 8. Зміни в конструкції компресора 8 були спрямовані на запобігання попадання мастила в ємність. Крейцкопфами і їхніми напрямними служать поршні і циліндри компресора 2ФВ – 4. Над базовим блоком циліндрів встановлена приставка, у якій розташовані сальникові ущільнення штовхачів, закріплені на поршнях компресора 2ФВ – 4. До приставки кріпиться стандартний блок циліндрів. На різьбленні штовхачів закріплені поршні, виготовлені зі сталі 45 з канавками під графітофторпластові кільця.

Стенд для випробовувань складається з власне акумулятора холоду, повітряного циркуляційного контуру і холодильно–нагрівальної установки. Остання виконана на базі МХУ – 8 і включає: компресор ФВ – 6 (на рис. 1 – позиція 14) і повітряний конденсатор 15 у вигляді компресорно–конденсаторного агрегату, розташованого на теплоізолюваному баці 17 об'ємом 1 м^3 , заглибний випарник 19, електронагрівальні елементи 18, загальною потужністю 8 кВт, насос 20 марки 1,5 К – 6 б, продуктивністю $9,6 \text{ м}^3/\text{г}$ і напором 12 м. вод. стовпа при 1450 про/хв.

Температуру суспензії і пари гідратоутворювача в ємності, води і повітря до і після повітроохолоджувача 12 вимірювали лабораторними термометрами з ціною розподілу $0,1^\circ\text{C}$ і термopарами ТКХ – 4009, приєднаними до приладу КСП – 4. Тиск у ємності контролювали зразковим манометром з діапазоном вимірів $0\div 1 \text{ МПа}$ і класом точності 0,4.

Витрати холодоносія через повітроохолоджувач 13 визначали ротаметром РМ 1,6 Ж УЗ, гідратної води через охолоджувач 12 – за допомогою діафрагми і дифманометру ДТ – 50 з діапазоном вимірів $0\div 700 \text{ мм}$ рідини і похибкою $\pm 2 \text{ мм}$, а повітря в контурі – за допомогою кутової напірної трубки, встановленої у повітропровід після охолоджувача 12, яка працює в комплекті з мікроманометром ММН – 240 (5) – 1,0 з діапазоном вимірів $0\div 10 \text{ кПа}$ і класом точності 1,0; гідратоутворюючого агенту – по мірних мітках покажчика рівня в ресивері, який показує обсяг рідкого гідратоутворювача в літрах.

Після монтажу контрольно–вимірювальних приладів були проведені випробовування на міцність і герметичність макетного зразка холодоакумулятора (з урахуванням використання в якості гідратоутворювача R – 22) і стенда для його випробовувань.

Стендові іспити макетного зразка проводили таким чином. У режимі зарядки акумулятора спочатку включали холодильну установку і насос 20. При цьому холодоносіє, поступово охолоджуючись до $274\div 276 \text{ К}$, забирався з бака насосом і прокачувався через повітроохолоджувач 13. Одночасно уключався вентилятор і повітря, циркулюючи в повітряному контурі, охолоджувалось до $279\div 286 \text{ К}$. При сталому режимі вода з ємності подавалася насосом 3 в охолоджувач 12, де її температура знижувалася на $1,5\div 3 \text{ К}$ менше рівноважної температури гідратоутворення, яка відповідає робочому тиску в ємності. Через дросельний вентиль 5 з ресивера в ємність надходив у виді парорідиної суміші R – 22. Робочий тиск

у ємності підтримували періодичним включенням (відключенням) компресора 8. Момент початку утворення гідратів фіксували по стрибку температури суспензії і тискові гідратоутворювача в ємності 1.

Після утворення гідратів відключали всі агрегати і створювали необхідні умови для іспитів у режимі розрядки. Для цього за допомогою ТЕН нагрівали холодоносії у баці 17 і підвищували температуру повітря, яке циркулює через охолоджувач 12. При сталому режимі гідратна вода подавалася в охолоджувач 12, нагрівалася і направлялася в ємність 1 для плавлення гідратів. Необхідний рівноважний тиск у ній підтримували шляхом відсмоктування за допомогою компресора 8 пароподібного R – 22, що після конденсатора 7 у рідкому виді направлявся в ресивер.

У ході налагодження і попередніх випробовувань виявилось, що через сальник насоса 3 гідратної води відбувається витік гідратоутворювача, а через деякий час після початку роботи холодоакумулятора гідратоутворюючий агент перестає надходити в ємність з водою 1.

Це викликало необхідність змінити конструкцію сальника і пару тертя поліуретан–бронза замінити на графіт–сталь 45, а розподільник гідратоутворюючого агенту 10, що знаходився внизу ємності під шаром води, розмістити над рівнем води в паровій області. Після цих змін вдалося досягти усталеної роботи макетного зразка холодоакумулятора в різних режимах випробовувань.

Результати стендових випробовувань і їхній аналіз показали, що в початковий період процесу гідратоутворення швидкість зарядки q_3 акумулятора досягає $50 \div 60 \text{ кВт/м}^3$ (рис.3), що добре узгоджується з даними по швидкостях гідратоутворення, отриманими в лабораторних кристалізаторах. Однак реальні середні швидкості зарядки після першої години роботи акумулятора виявилися істотно нижче: $15 \div 20 \text{ кВт/м}^3$. Це пов'язано, на нашу думку, з недостатньою поверхнею теплообміну в охолоджувачі 12, що не дозволило досягти необхідних значень теплових потоків у процесі зарядки, незважаючи на частковий відвід теплоти гідратоутворення киплячим гідратоутворювачем.

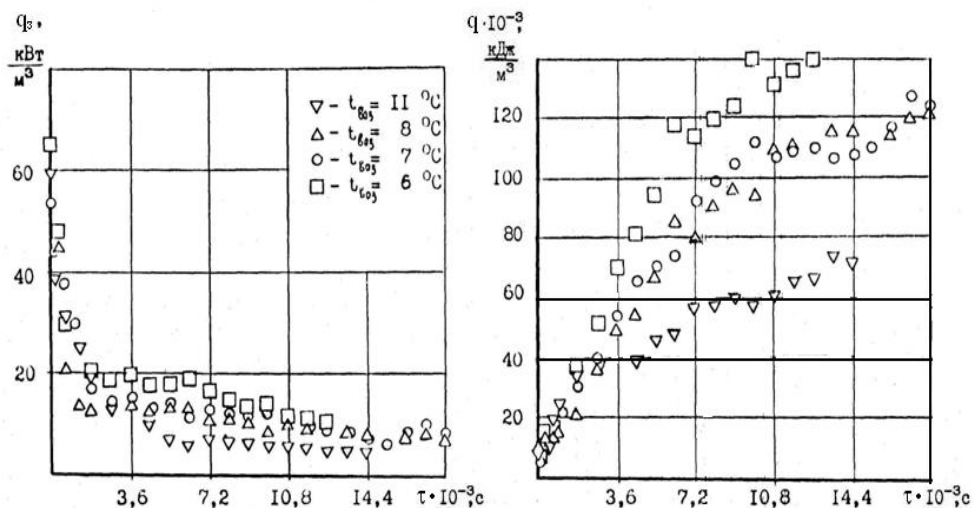


Рисунок 3 – Залежність швидкості зарядки q_3 і холодоємності q макетного зразка від тривалості процесу τ і температури повітря $t_{\text{лов}}$ на вході в повітряний охолоджувач гідратної води

Установлено, що при температурах циркулюючого повітря $279 \div 281 \text{ K}$ в акумуляторі підтримується різниця температур $2 \div 4 \text{ K}$ між гідратною водою після охолоджувача 12 і рівноважною температурою в ємності 1. Процес гідратоутворення

при цьому протікає з достатнім ступенем інтенсивності: холодоємність q складає $120\div 150$ МДж/м³ за 3...4 години роботи. При температурах повітря на вході в охолоджувач 12 понад 283 К процес гідратування погіршується, що помітно позначається на величині q , яка за чотири години досягала 70 МДж/м³ (рис.3).

У режимі розрядки акумулятор працював більш стійко при температурах циркулюючого повітря 288÷298 К. При цьому швидкість розрядки коливалася в межах $20\div 35$ кВт/м³, а її значення лімітувалося тільки умовами зовнішнього теплообміну, так само, як для лабораторних моделей і макетного зразка газогідратного акумулятора в системі з холодильною машиною [7].

Експериментально при випробуваннях встановлено, що швидкість процесів зарядки і розрядки, які прямо пропорційно залежать відповідно від величин швидкості утворення і плавлення газогідратів, у макетному зразку ГАПХ лімітується умовами теплопередачі, тому конструктивні розрахунки промислових акумуляторів такого типу можна проводити з умов теплообміну.

Список літератури

1. Жадан В. З. Теплофизические основы хранения сочного растительного сырья на пищевых предприятиях / В. З. Жадан. – М.: Пищевая промышленность, 1976. – 238 с
2. Жадан В. З. Критерий климатического районирования страны в целях использования естественного холода в картофеле – и овощехранилищах / В. З. Жадан, Н. Н. Рослов, Л. В. Мартынова, С. И. Кулаков // Холодильная техника. – 1986. – №6. – С. 16 – 21.
3. Клименко В. В. Рациональное использование термической неравновесности наружного воздуха / В. В. Клименко, В. Н. Корниенко // Холодильная техника – 1989. – № 6. – С. 24 – 27.
4. Клименко В. В. Термодинамический анализ холодильных установок с аккумуляторами холода / Клименко В. В., Корниенко В. Н. // Холодильная техника. – 1994. – № 6. – С. 13 – 15.
5. Клименко В. В. Экспериментальная оценка процесса гидратообразования при аккумуляции холода / Клименко В. В. // Холодильная техника. – 1986. – № 10. – С. 33 – 36.
6. Клименко В. В., Бандуріна О. В., Корнієнко В. М. Експериментальне дослідження взаємодії гетерогених систем, які містять газогідрати, з конструкційними та ущільнюючими матеріалами / В. В. Клименко, О. В. Бандуріна, В. М. Корнієнко // Галузеве машинобудування та будівництво: збірник наукових праць ПолтНТУ. – 2011. – Вип. 1(29). – С. 225 – 229.
7. Корниенко В. Н. Экспериментальное исследование макетного образца газогидратного хладоаккумулятора для систем с холодильными машинами / В. Н. Корниенко, В. В. Клименко, А. В. Скрипник // Холодильная техника і технологія. – 2011. – № 6(134). – С. 15 – 18.

В. Клименко, В. Корниенко, А. Скрипник

Стандовые испытания макетного образца газогидратного аккумулятора естественного холода

В статье описано конструкцию макетного образца газогидратного аккумулятора естественного холода (ГАКЕХ) для систем охлаждения плодов и овощей с активным вентилированием и стенд для его испытаний. Приведена методика и результаты испытаний. Подтверждена работоспособность макетного образца в условиях, характерных для эксплуатации систем охлаждения плодов и овощей с активным вентилированием. По результатам испытаний рекомендовано проводить конструктивные расчеты промышленных ГАКЕХ из условий теплообмена.

V. Klymenko, V. Kornienko, A. Skrypnyk,

Bench tests of a model sample gas hydrate the accumulator of a natural cold

In article it is described a design of a model sample gas hydrate accumulator natural cold (GHANC) for systems of cooling fruits and vegetables with active aeration and the stand for its tests. The technique and results of tests is resulted. Serviceability of a model sample in conditions is confirmed, characteristic for operation of systems cooling fruits and vegetables with active aeration. By results of tests it is recommended to carry out constructive calculations industrial GHANC from conditions of heat exchange.

Одержано 21.09.12

УДК 6.31

В.І. Рубльов, проф., д-р техн. наук, В.Є. Рубльов, студ.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Показники якості промислової продукції як складова її дизайну

Дизайн розглядається, як об'єкт технічної естетики з характерними показниками. Наведена номенклатура груп показників якості промислової продукції, що прийнята в нормативних документах. З нормованої номенклатури показників якості виділений перелік показників характерних для дизайну техніки. Він охоплює функціонально-технологічні показники і показники економічні, ергономічні, безпеки, екології, естетичні і інші нормовані показники. Описані співвідношення показників якості промислової продукції і дизайну.

дизайн, технічна естетика, техніка, якість, номенклатура, промислова продукція, перелік, нормативна документація

Постановка проблеми. **Дизайн** ([англ.](#) *design* інженер-конструктор, от [лат.](#) *designare* отмерять) - це творча діяльність, метою якої є визначення формальних якостей промислових виробів. Ці якості включають і зовнішні риси виробу, але головним чином ті структурні і функціональні взаємозв'язки, які перетворюють виріб на єдине ціле як з погляду споживача, так і з погляду виготівника. Дизайн прагне охопити всі аспекти навколишнього людину середовища, яке обумовлене промисловим виробництвом.

В даний час якість промислової продукції (далі "ПП") охоплюється групами показників, які вказані в ГОСТ 22851-77 "Выбор номенклатуры показателей качества промышленной продукции. Основные положения" [1]. Але при цьому не вказуються показники, які характеризують дизайн ПП.

Об'єкт дизайну має естетичну цінність і особливе значення, що виявляється людиною в ситуації естетичного сприйняття, емоційного, чуттєвого переживання і оцінки ступеня відповідності об'єкту естетичному ідеалу суб'єкта.

Проблема. Вищевказане визначає проблему визначення показників дизайну та їх узгодження з нормованої номенклатурою показників якості ПП.

Аналіз останніх досліджень. У середині ХХ сторіччя в професійному лексиконі для позначення формоутворення в умовах індустріального виробництва уживалося поняття «індустріальний дизайн». Тим самим підкреслювався його нерозривний зв'язок з промисловим виробництвом і конкретизувалася багатозначність терміну «дизайн». Потім в кінці ХХ століття проектно-художню діяльність у області індустріального формоутворення стали називати більш стисло — «дизайн». Частково це пов'язано і з тим, що суспільство вступило у фазу постіндустріального розвитку, відбулися значні зміни в цілістановках «індустріального дизайну».

Сучасне уявлення про дизайн в світі розглядається набагато ширше, ніж промислове проектування. Дизайн як творчий процес можна розділити на [2-5]:

- художній дизайн — створення речового миру суто з погляду естетики сприйняття (зовнішні прояви форми);

- технічну естетику — науку про дизайн, що враховує всі аспекти, і перш за все конструктивність (ранній етап становлення), функціональність (середній),

комфортність виробництва, експлуатації, утилізації технічного виробу і т. д. (сучасне розуміння).

Об'єктом дизайну може стати практично будь-який новий технічний промисловий виріб. Розглядаються наступні його основні категорії:

- образ - ідеальне уявлення про об'єкт, художньо-образна модель, створена уявою дизайнера.

- функція - робота, яку повинен виконувати виріб, а також смислова, знакова і ціннісна ролі речі.

- морфологія - будова, структура форми виробу, організована відповідно до його функції, матеріалу і способу виготовлення, утілююча задум дизайнера.

- технологічна форма - морфологія, втілена в способі промислового виробництва речі-об'єкту дизайн-проекування в результаті художнього осмислення технології.

- естетична цінність - особливе значення об'єкту, що виявляється людиною в ситуації естетичного сприйняття, емоційного, чуттєвого переживання і оцінки ступеня відповідності об'єкту естетичному ідеалу суб'єкта.

Особливе місце в історико-теоретичних дослідженнях дизайну займає «державний дизайн», що дав поштовх комплексному підходу у вивченні індустріального дизайну [4 - 6].

Мета роботи. Пристосувати показники технічного дизайну до нормованих показників якості ПП для їх однозначного поняття.

Задачі.

1. Встановити номенклатуру показників технічного дизайну.

2. Визначити групи номенклатури показників якості ПП, які реалізуються при виконанні дизайнерських робіт

3. Сформулювати перелік показників технічного дизайну нової промислової продукції.

Методика роботи. При відборі показників якості ПП для показників технічного дизайну доцільно використовувати метод інформаційного пошуку і морфологічного аналізу [7, 8]. Для цього використовується матриця у виді таблиці з графами (таблиця 1), у яких вказуються показники якості ПП. З них відбираються показники, характерні для дизайнерських рішень при проектуванні і виготовленні виробів. Відбір показників дизайну з урахуванням вищевказаного виконується з позицій поняття категорій об'єкту дизайну.

Результати досліджень. На основі інформаційного пошуку встановлені наступні показники дизайну ПП: уявлення про об'єкт, як художньо-образної моделі, функція виробу, форми виробу, технологічна форма виробу і естетична цінність виробу.

У відповідності з Законом України “Про інноваційну діяльність” об'єкт дизайну повинний мати патентно-правовий захист (стаття 6) [9]. Тому серед показників, що характеризують його, як ПП, доцільно розглядати патентно-правові показники у складі властивості “Уявлення про об'єкт” (табл. 1).

Серед показників якості ПП відповідно ГОСТ 22851-77 розглядаються наступні групи (таблиця 1): показники призначення; показники економного використання сировини, матеріалів, палива і енергії; показники надійності (безвідмовності, довговічності, збереження, ремонтпридатності); ергономічні показники; естетичні показники; показники технологічності; показники транспортабельності; показники стандартизації і уніфікації; патентно-правові показники; екологічні показники; показники безпеки [1, 10].

Аналіз вказує, що по показниках дизайну показники якості ПП розподіляються наступним чином:

1. На показник дизайну “уявлення про об’єкт” припадає чотири показника якості ПП: “показники призначення, збереженості, показники естетичні, патенто – правові”.

Таблиця 1 - Визначення розподілу показників дизайну сумісних з групами показників якості промислової продукції

№ п/п	Назва груп по-казників якості по ГОСТ 22851-77	Поняття показників дизайну промислової продукції					Кількість підгруп показників
		Уявлення про об’єкт, ДУВ	Функціональне призначення,ДФП	Форма виробу ДФВ	Технологічна форма, ДТ	Естетична цінність, ДЕ	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Показники призначення, П	+	+				9
2	Показники економічного використання сировини, матеріалів, палива і енергії, Е		+				7
3	Показники надійності, Н						
3.1	Безвідмовності, Н _б						3
3.2	Довговічності, Н _д						12
3.3	Ремонтпридатності, Н _р						2
3.4	Збереженості, Н _з	+					2
4	Показники ергономічні, Е _р			+			4
5	Показники естетичні, Е _с	+				+	8
6	Показники технологічні, Т _{ех}				+		4
7	Показники транспортability, Т _р				+		5
8	Показники стандартизації і уніфікації, С _{тв}						4

9	Показники патенто-правові, П _п	+					3
10	Показники екологічні, Е _к						2
11	Показники безпеки, Б						3
	Показники технічної естетики/ Пріоритети	4/1 П, Н _з , Е _с , П _п	2/2, П, Е	1/2, Е _р	2/2, Т _{ех.} , Т _р	1/2, Е _с	

2. На показник дизайну “функціональне призначення” припадає два показника якості ПП - “показники призначення і показники економічного використання сировини, матеріалів, палива і енергії”. Також два показника якості ПП - “показники технологічні і показники транспортабельності” припадають на показник “технологічної форми” дизайну.

3. На показники дизайну “форма виробу” і “естетична цінність” припадає по одному показнику якості ПП. Група ергономічних показників якості ПП припадає на показники “форми виробу”. Група естетичних показників якості ПП припадає на показники “естетична цінність”.

4. Пріоритетним направленням використання показників якості ПП є показник дизайну “уявлення про об’єкт” – чотири показника якості ПП.

Систему вищевказаних 4 груп показників дизайну промислової продукції для оперативності їх уявлення доцільно описати аналітичним виразом з теорії множин:

$$\{\Omega\} = \{DUV\} \cup \{ДФп\} \cup \{ДФв\} \cup \{ДЕ\} \cup \{ДТ\}. \quad (1)$$

Враховуючі показники дизайну ПП сумісні з назвою груп показників якості (таблиця 1) і склад підгруп показників якості промислової продукції (таблиця 1) загальна кількість підгруп показників дизайну ПП рівна 59:

$$\sum_1^5 3 = \sum_1^{22} DUv + \sum_1^{16} ДФп + \sum_1^4 ДФв + \sum_1^8 E + \sum_1^9 Дт = 59. \quad (2)$$

Прикладами показників призначення можуть служити: показник продуктивності; максимальна і мінімальна швидкості; потужність; показник маневреності; показник прохідності; показник чутливості; вміст корисної речовини; вміст шкідливих домішок; мінімально допустима температура зовнішнього повітря.

До показників економічного використання сировини, матеріалів, палива і енергії відносяться: питомі витрати сировини (матеріалів); витрати сировини (матеріалів) при регламентованих умовах; питомі витрати палива; питомі витрати енергії (енергоносія); коефіцієнт корисної дії; витрати палива при заданому (регламентованому) режимі експлуатації; витрати енергії (енергоносія) при заданому (регламентованому) режимі експлуатації виробу.

Показники збереження характеризують властивість об’єктів зберігати справний і працездатний стан або властивості продуктів і матеріалів зберігати придатний до

споживання стан на протязі і після зберігання і (або) транспортування. До них відносяться гамма-процентний термін збереження та середній термін збереження.

Ергономічні показники характеризують систему «людина-виріб (зокрема, «людина-машина»)» і враховують комплекс: гігієнічних; антропометричних; фізіологічних; психологічних властивостей людини.

Естетичні показники характеризують інформаційну виразність, раціональність форми, цілісність композиції і досконалість виробничого виконання продукції. До них відносяться: показник стильової відповідності; показник відповідності моді; показник функціонально-конструктивної пристосованості; показник організованості об'ємно - просторової структури; показник колірного колориту; показник ретельності покриття і обробки поверхні: показник чистоти виконання сполучень, округлості і поверхонь, що сполучаються; показник чіткості виконання фірмових знаків, покажчиків і упаковки.

Показники технологічності характеризують властивості продукції, обумовлюючі оптимальний розподіл витрат матеріалів, засобів праці і часу при технологічній підготовці виробництва, виготовлення і експлуатації продукції.

До них відносяться: трудомісткість виготовлення продукції; технологічна собівартість виробу; відносна трудомісткість підготовки виробу до функціонування; питома вартість ремонтів.

Показники транспортабельності характеризують пристосованість продукції до переміщення в просторі (транспортуванню), що не супроводжується її використанням або споживанням. До показників транспортабельності відносяться: середня тривалість підготовки продукції до транспортування; середня трудомісткість підготовки продукції до транспортування; середня тривалість установки продукції на засіб транспортування певного вигляду; коефіцієнт використання об'єму засобу транспортування; середня тривалість розвантаження партії продукції із засобу транспортування певного вигляду.

Патентно-правові показники характеризують ступінь, оновлення технічних рішень, використаних в продукції, їх патентний захист, а також можливість безперешкодної реалізації продукції в Україні і за кордоном. До патентно-правових показників відносяться: показники патентного захисту; показники патентної чистоти; показники територіального розповсюдження.

Наведений опис підгруп показників якості вказують на їх різноманітність при реалізації дизайну ПП.

Висновки.

1. Показана неоднозначність понять дизайну стосовно створення техніки. З нормованої номенклатури показників якості виділений перелік показників характерних для дизайну ПП. Він охоплює функціонально - технологічні показники і показники економічні, ергономічні, естетичні і інші нормативні показники.

2. Сформульована проблема визначення показників дизайну ПП з урахуванням нормованої номенклатури показників якості промислової продукції.

3. Серед показників дизайну ПП розглядалися наступні: показники уявлення про об'єкт, функція виробу, форми виробу, технологічна форма виробу і естетична цінність виробу.

4. Найбільша кількість показників якості промислової продукції припадає на показник технічної естетики виробу “уявлення про об'єкт” – чотири показника якості промислової продукції (показники призначення, збереженості, показники естетичні, патентно – правові).

Список літератури

1. ГОСТ 22851-77 Выбор номенклатуры показателей качества промышленной продукции. Основные положения.
2. Розенсон И. Основы теории дизайна / И. Розенсон. — СПб.: Питер, 2006. — 224 с.
3. Лазарев Е. Н. Дизайн машин / Е. Н. Лазарев. - Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние. 1988. – 256 с.: ил.
4. Рунге В. Ф. История дизайна, науки и техники / В. Ф. Рунге. // Учебное пособие. Москва: Изд-во: Архитектура. - С, Книга 1.- 2006 - 368 с. – Книга 2. – 434 с.
5. Михайлов С. М. История дизайна. Том 1 / С. М. Михайлов // Учеб. для вузов. — Москва: Союз Дизайнеров России. 2002. – 270 с.
6. Михайлов С. М. История дизайна. Том 2 / С. М. Михайлов // Учеб. для вузов. — Москва: Союз Дизайнеров России, 2003. – 270 с.
7. Рублёв В. И. Основы научных исследований / В. И. Рублёв, Т. В. Судакова, Е. В. Саклакова // Учебное пособие. – Ставрополь: изд-во СевКавГТУ, 2004.-200 с.: ил.
8. ДСТУ 3574-97. Патентні дослідження. Основні положення та порядок проведення.
9. Закон України “Про інноваційну діяльність”.
10. Рубльов В. І. Аналітична модель системи показників якості та їх оцінка при сертифікаційних випробуваннях сільськогосподарської техніки / В. І. Рубльов, В. С. Рубльов // Вісник ХНТУСГ ім. П.Василенко.- «Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві».Вип. 110,- Харків. 2011 – С.3-13.

В. Рубльов, В. Рубльов

Показатели качества промышленной продукции как составная её дизайна

Дизайн рассматривается, как объект технической эстетики с характерными показателями. Представлена номенклатура групп показателей качества промышленной продукции, которая принята в нормативных документах. Из нормативной номенклатуры показателей качества выделен перечень показателей, характерных для дизайна техники. Он включает функционально-технологические показатели и показатели экономические, эргономические, безопасности, экологические, эстетические и другие нормативные показатели. Описаны соотношения показателей качества промышленной продукции и дизайна.

V. Rublov, V. Rublov

Indexes of quality of industrial products as component its design

A design is examined, as object of technical aesthetics with characteristic indexes. The nomenclature of groups indexes of quality of industrial products which is accepted in normative documents is represented. From the normative nomenclature of indexes of quality the list of indexes is abstracted, characteristic for the design of technique. He includes functional-technological indexes and indexes economic, ergonomics, safety, ecological, aesthetic et al normative indexes. Correlations of indexes of quality of industrial products and design are described.

Одержано 17.06.12

УДК 621.664

Ю.В. Кулешков, проф., канд. техн. наук, Т.В. Руденко, канд. техн. наук,
М.В. Красота, доц., канд. техн. наук, В.В. Русских, доц., канд. техн. наук,
К.Ю. Кулешкова, инженер

Кировоградский национальный технический университет

Ресурсные испытания шестеренного насоса с увеличенным удельным рабочим объемом

В статье представлены результаты проведения ресурсных испытаний шестеренных насосов с увеличенным удельным рабочим объемом. Приведена методика ускоренных ресурсных испытаний, методики расчета технического, среднего и гамма-процентного ресурса. Проведен анализ изменения коэффициента подачи насоса в зависимости от времени наработки.

шестеренный насос, удельный рабочий объем, ресурс, коэффициент подачи насоса

Методика проведения ускоренных ресурсных стендовых испытаний. Цель проведения ускоренных стендовых ресурсных испытаний состояла в определении технического ресурса экспериментального НШ с увеличенным удельным рабочим объемом (УУРОН) и сравнении полученного результата с серийным насосом.

Технический ресурс экспериментального НШ с УУРОН может быть найден путем определения времени наработки насоса на ресурсный отказ, наступление которого определяется снижением коэффициента подачи насоса до предельного состояния. В соответствии с ГСТУ 3-25-180-97 [1] предельным состоянием НШ следует считать такое состояние, при котором номинальное значение коэффициента подачи, определенное техническими требованиями, уменьшится на 20%.

Первый этап – режим обкатки и испытания при использовании чистой рабочей жидкости в соответствии с ГОСТ 1862-84, режимы обкатки и испытания в соответствии с ГСТУ 3-25-180-97 [1]. Обкатку и испытание насосов проводили на стенде для исследования технических характеристик насосов DS 1036-4/N в соответствии с ДСТУ 2192-93 и ГОСТ 14658 – 86 на ПАТ “Гидросила”.

В процессе обкатки проверяется функционирование насоса, его герметичность, отсутствие подсосывания воздуха, коэффициент подачи и номинальная мощность по программе, предусмотренной в ГСТУ 3-25-180-97 [1].

После обкатки перед проведением ресурсных испытаний определяли коэффициент подачи - η_v и потребляемую мощность насоса - N . Определение этих показателей проводилось при следующих режимах:

Рабочее давление, МПа	16,0
Число оборотов, об/с	40
Рабочая жидкость	масло минеральное МГЕ-46В
Температура рабочей жидкости, °С	50±5°С.

После обкатки на указанных режимах и испытаний по основным техническим параметрам насосы ставились на ускоренные ресурсные испытания.

Ресурсным испытаниям подвергали девять экспериментальных насосов. Ускоренные ресурсные стендовые испытания проводилась на стенде ресурсных испытаний СИН-25 на Кировоградском ПАТ “Гидросила”.

Испытания проводилась в соответствии с методикой, изложенной в [1], которая предусматривает: ускорение ресурсных испытаний путем циклического изменения нагрузки испытуемого НШ от нуля до номинального значения (0...16 МПа) с частотой цикла 0,5...1,25 Гц. При этом скорость нарастания давления в гидравлической системе до номинальной величины не должна превышать 350 МПа/с, а во время снижения не больше 1000 МПа/с; общий объем испытаний не менее 10^6 циклов; испытания проводят в четыре этапа, продолжительность этапа должна быть $2,5 \cdot 10^5$ циклов. После каждого этапа ресурсных испытаний исследуемый определялся коэффициент подачи насоса.

Ресурсные испытания проводили в соответствии с режимами, представленными в таблице 1.

В ходе проведения стендовых испытаний контроль коэффициента подачи, общего КПД, проводили после проведения каждого из четырех этапов испытаний.

Представленная методика ресурсных испытаний обеспечивает ускорение испытаний с коэффициентом ускорения $K_{\text{уск}} = 10$.

Таблица 1 - Режимы ресурсных испытаний экспериментального НШ

Показатели режимов стендовых ресурсных испытаний НШ	Значения показателей
Давление, МПа	16
Частота вращения, с^{-1} (об/мин)	40 (2400)
Частота повторения цикла нагружения насоса, Гц	1,0
Количество этапов испытания	4
Продолжительность этапа испытания	$2,5 \cdot 10^5$ циклов ($2,5 \cdot 10^5$ с или приблизительно 70 ч.)
Общая продолжительность испытаний	10^6 циклов (10^6 с или приблизительно 280 ч.)
Коэффициент ускорения ресурсных испытаний	10
Температура рабочей жидкости, °С	не более 50
Рабочая жидкость	МГЕ 46В(ТУ 38.001347-83)

Методика определения технического ресурса при проведении стендовых ресурсных испытаний. Последовательность определения технического ресурса следующая:

1. Определение коэффициента подачи НШ перед проведением i -го этапа стендовых ресурсных ускоренных испытаний - η_{v0} .

2. Проведение i -го этапа стендовых ресурсных ускоренных испытаний по методике, приведенной выше.

3. Определение коэффициента подачи НШ после проведения i -го этапа стендовых ресурсных ускоренных испытаний - η_{vi} .

4. Определение скорости изменения коэффициента подачи экспериментального НШ с УУРОН при проведении i -го этапа стендовых ресурсных ускоренных испытаний по формуле

$$V_{\eta i} = \frac{\eta_{v0} - \eta_{vi}}{K_{\text{уск}} \cdot t} = \frac{\Delta \eta_{vi}}{K_{\text{уск}} \cdot t}, \quad (1)$$

где η_{v0} - КП НШ перед проведением i -го этапа стендовых ресурсных ускоренных испытаний;

η_{vi} - КП НШ после проведения i -го этапа стендовых ресурсных ускоренных

испытаний;

t - продолжительность этапа стендовых ресурсных ускоренных испытаний,
 $t \approx 70$ час;

$K_{\text{уск}}$ - коэффициент ускорения стендовых ресурсных испытаний, $K_{\text{уск}} = 10$.

5. Сравнение полученного коэффициента подачи НШ после проведения i -го этапа стендовых ресурсных ускоренных испытаний с предельным, то есть определение справедливости неравенства

$$\eta_{v0} - \eta_{vi} < 0,2. \quad (2)$$

При этом, если неравенство (2) выполняется, то проводим II-й этап (следующий этап) стендовых ресурсных ускоренных испытаний.

6. Проведение N-го этапа стендовых ресурсных ускоренных испытаний по методике, которая представлена выше.

7. Определение КП НШ после проведения N - го этапа стендовых ресурсных ускоренных испытаний - η_{vN} .

8. Определение скорости изменения коэффициента подачи экспериментального НШ при проведенные N-го этапа стендовых ресурсных ускоренных испытаний по формуле

$$V_{\eta i} = \frac{\eta_{vN-1} - \eta_{vN}}{K_{\text{уск}} \cdot t} = \frac{\Delta \eta_{vN}}{K_{\text{уск}} \cdot t}, \quad (3)$$

где η_{vN-1} - коэффициента подачи НШ перед проведением (N- i)-го этапа стендовых ресурсных ускоренных испытаний;

η_{vN} - коэффициента подачи НШ после проведения N-го этапа стендовых ресурсных ускоренных испытаний;

9. Сравнение полученного коэффициента подачи НШ после проведения N-го этапа стендовых ресурсных ускоренных испытаний с предельным значением, то есть определение справедливости неравенства

$$\eta_{v0} - \eta_{vN} < 0,2. \quad (4)$$

При этом, если неравенство (2) выполняется, то проводим следующий (N+i)-й этап стендовых ресурсных ускоренных испытаний.

Если же неравенство (4) не выполняется, то есть выполняется неравенство вида

$$\eta_{v0} - \eta_{vN} > 0,2, \quad (5)$$

то технический ресурс НШ определяют по формуле

$$T = t \cdot N \cdot K_{\text{уск}} - \frac{\eta_{v2} - \eta_{vN}}{V_{\eta N}}, \quad (6)$$

где N - номер этапа стендовых ресурсных ускоренных испытаний;

$V_{\eta N}$ - скорость изменения КП НШ при проведении N-го этапа испытаний.

В случае, если насос не вырабатывает ресурс после очередного этапа испытаний технический ресурс НШ определяют в соответствии со следующей зависимости

$$T = t \cdot N \cdot K_{\text{уск}} + \frac{\eta_{v2} - \eta_{vN}}{V_{\eta N}}, \quad (7)$$

где N - номер этапа стендовых ресурсных ускоренных испытаний;

$V_{\eta N}$ - скорость изменения КП НШ при проведении N -го этапа испытаний.

Методика расчета среднего и гамма-процентного ресурса экспериментальных НШ. Результаты ускоренных стендовых испытаний НШ определяли как средний ресурс экспериментальной партии НШ. Средний ресурс наработки НШ \bar{O}_i определяли по известной формуле

$$\bar{T}_n = \frac{\sum_{i=1}^n T_{ni}}{n}, \quad (8)$$

где T_{ni} - наработка i -того насоса на ресурсный отказ, то есть к тому моменту, когда его коэффициент подачи достигнет предельного значения

$$\eta_{vz} = \eta_{vn} - 0,20, \quad (9)$$

где η_{vn} - номинальное значение коэффициента подачи НШ.

Обычно, при определении коэффициента подачи насосов, после наработки во время стендовых ускоренных ресурсных испытаний определенного количества часов оказывается, что их КП точно не отвечает равенству (9), а колеблется около этого значения. Для определения КП каждого насоса использовали интерполяцию для насосов, в которых $\eta_{vf} > \eta_{vnn}$ и экстраполяцию для тех насосов, в которых $\eta_{vf} < \eta_{vnn}$.

Более информативным показателем следует считать гамма - процентный ресурс. Расчет гамма – процентного ресурса проводили по методике, изложенной в [2], которая состоит в следующем.

Во-первых, предполагаем, что теоретический закон распределения ресурса машин подчиняется нормальному распределению. Тогда гамма - процентный ресурс рассчитывают по формуле

$$T_\gamma = \bar{T} - H_\gamma S_{a_i}, \quad (10)$$

где \bar{T} - средний ресурс НШ, час;

H_γ - квантиль нормального закона распределения;

S_{a_i} - стандартное отклонение единичного замера, которое определяется в соответствии с выражением

$$S_{a_i} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2}{n-1}}, \quad (11)$$

где T_i - i -тое значение наработки на отказ, час;

n - число объектов исследования.

Результаты определения технического ресурса экспериментальных НШ с УУРОН. Результаты ускоренных стендовых испытаний экспериментального НШ показали, что скорость падения КП экспериментального НШ неравномерна и имеет тенденцию к нарастанию по мере изнашивания деталей насоса, что наглядно видно из графика, представленного на рис. 1.

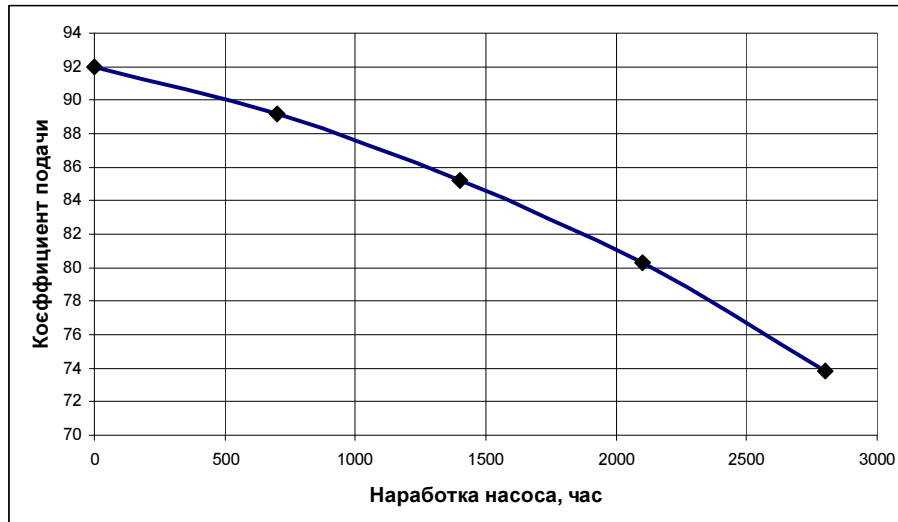


Рисунок 1 - Графік залежності зміни коефіцієнта подачі експериментального насоса НШ- 32 УУРОН від наработки

Середній ресурс експериментального НШ- 32 УУРОН, визначається в відповідності з виразом (8), становить 3060,0 годин, що, практично відповідає ресурсу серійного НШ, який за даними ГСТУ 3-25-180-97 [1] становить 3000 годин.

Гамма-процентний ($\gamma = 90\%$) ресурс експериментального НШ-32 УУРОН, визначається в відповідності з формулою (10), приймаючи $\bar{T} = 3060,0$ год, $H_{\gamma=90\%} = 1,282$, $S_{T_i} = 44,554$.

Тоді гамма - процентний ($\gamma = 90\%$) ресурс експериментального НШ-32 УУРОН, становить: $T_{\gamma} = 3060,0 - 1,282 \cdot 44,554 = 3003,0$ год, що практично збігається з гамма - процентним ресурсом серійного НШ, який в відповідності з ГСТУ 3-25-180-97 становить 3000 годин [1].

Стендові ресурсні випробування експериментальних НШ з УУРОН дозволили встановити, що швидкість падіння КП нерівномірна і має тенденцію до зростання за мірою зношування деталей насоса. Середній ресурс НШ з УУРОН становить 3060,0 годин, що практично збігається з середнім ресурсом серійного насоса, який становить 3000,0 годин. Гамма-процентний ($\gamma = 90\%$) ресурс НШ з УУРОН становить 3003,0 годин, що, практично збігається з гамма-процентним ресурсом серійного НШ, який становить 3000 годин.

Список літератури

1. Насоси шестеренні об'ємного гідроприводу. Технічні умови. ГСТУ 3-25-180-97. – К.: Мінпром політики України, 1998. – 48 с.
2. Методика стендових випробувань шестеренного насоса / [Кулешков Ю.В., Матвієнко О.О., Руденко Т.В. та ін] // збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету «Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація» – Кіровоград, КНТУ – 2011. – № 24 (ч.ІІ) – С. 97–110.
3. Черновол М.І., Кулешков Ю.В. Основні напрями вдосконалення шестеренних насосів сільськогосподарської техніки Вісник аграрної науки, серпень 2008 № 8 – С. 52 - 54.
4. Усовершенствование математической модели мгновенной подачи шестеренного насоса / [Кулешков Ю.В., Осин Р.А., Руденко Т.В., Матвиенко А.А.] // збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету «Техніка в сільськогосподарському

- виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація» – Кіровоград, КНТУ. – 2008. – № 20. – С. 253–262.
5. Кулешков Ю.В., Черновол М.І., Руденко Т.В. Гуцул В.І., Осін Р.А. Дослідження поведінки математичної моделі питомого робочого об'єму шестеренного насоса типу НШ від параметрів зубчастого зачеплення. Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація Випуск 23 Кіровоград 2010.- С. 278 – 390.
 6. Кулешков Ю.В., Руденко Т.В. Осін Р.А., Повышение удельной подачи шестеренного насоса. MOTROL Motorization and Power Industry in Agriculture/ Volume 11A/ Simferopol – Lublin 2009. S.193 – 206.
 7. Черновол М.І., Кулешков Ю.В. Оптимізація зубчастого зачеплення шестеренного насоса типу НШ у напрямі підвищення його питомого об'єму. Вісник аграрної науки, травень 2011, № 5. – С. 42 – 45.
 8. Шестеренные насосы с асимметричной линией зацепления шестерен / [Кулешков Ю.А., Черновол М.И., Без О.В., Титов Ю.А.] //Теория, конструкция и расчет – Кіровоград: «КОД», 2009. – 243 с.
 9. Гідроприводи об'ємні. Насоси об'ємні та гідромотори. ДСТУ 2192-93. – Загальні технічні вимоги. Чинний від 1.07.94 р.
 10. ГОСТ 13823-78 (СТ СЭВ 2576-80, СТ СЭВ 2577-80) Гидроприводы объемные, насосы объемные и гидромоторы. Общие технические требования. Государственный комитет СССР по стандартам.
 11. М.: 1978. – 7 с.
 12. Юдин Е.М. Шестеренные насосы. Основные параметры и их расчет/ Юдин Е.М. – [2-е изд. перераб. и доп.]. – М.: Машиностроение, 1964. – 236 с.
 13. Чиняев И.А. Роторные насосы: [справочное пособие] / Чиняев И.А. – Л.: Машиностроение, 1969. – 216 с.
 14. Артемьев Ю.Н. Качество ремонта и надежность машин в сельском хозяйстве. – М.: Колос, 1981. – 239 с.

Ю. Кулешков, Т. Руденко, М. Красота, В. Русских, К. Кулешкова

Ресурсні випробування шестеренного насоса із збільшеним питомим робочим об'ємом

В статті представлені результати проведення ресурсних випробувань шестеренних насосів із збільшеним питомим робочим об'ємом. Наведена методика прискорених ресурсних випробувань, методика розрахунку технічного, середнього і гамма-процентного ресурсу. Проведений аналіз зміни коефіцієнта подачі насоса в залежності від часу напрацювання

Y.Kuleshkov, T. Rudenko, M. Krasota, V. Russkih, K. Kuleshkova

Resource tests of cog-wheel pump with the megascopic specific swept volume

In the article the results of realization of resource tests of cog-wheel pumps are presented with the megascopic specific swept volume. Methodology over of speed-up resource tests, methodologies of calculation technical, middle and gamma-процентного resource, is brought. The analysis of change of coefficient of serve of pump is conducted depending on time of work.

Получено 21.09.12

УДК 621.74:658.5

Т.Г. Сабирзянов, проф., д-р техн. наук

Кировоградский национальный технический университет

К расчёту экономической эффективности снижения возврата в литейном производстве

Составлены и проанализированы балансы металла при различных количествах возврата и одинаковых количествах жидкого металла и угара. Показано, что при этих условиях уменьшение количества возврата приводит к увеличению на такую же величину количества годного металла и количества покупной части металлозавалки. Приведен пример расчёта экономической эффективности снижения возврата.

баланс металла, снижение возврата, эффективность, пример

В литейном производстве одним из резервов повышения экономической эффективности изготовления отливок является уменьшение количества идущего на переплавку возврата собственного производства (литники, брак, сливы и сплески) при соответствующем увеличении количества годного литья.

В данной работе рассматривается способ определения экономической эффективности снижения возврата, основанный на использовании материального и стоимостного балансов.

Уравнение баланса металла (на 1 т годного или на годовую программу цеха) представляют в виде:

$$M = G + L + B + C + U, \quad (1)$$

где M – количество покупной металлозавалки L плюс количество возврата B :

$$M = L + B; \quad (2)$$

G , L , B и C – количество, соответственно, годного литья, литников, брака, а также сливов и сплесков;

U – количество угоревшего металла.

В уравнении (1) сумма количеств литников, брака и сливов со сплесками представляет собой количество возврата:

$$B = L + B + C, \quad (3)$$

а сумма количеств годного литья и возврата – количество жидкого металла:

$$Ж = G + L + B + C. \quad (4)$$

Значения L , G и B определяются по заводским данным, а величины C и U , в зависимости от вида литейного сплава, развеса и сложности отливок, типа плавильного агрегата и других факторов, принимаются в процентах от массы металлозавалки M :

$$C = 0,01cM; \quad (5)$$

$$U = 0,01yM, \quad (6)$$

где c и y – относительное количество сливов и сплесков, а также угара металла, в процентах от массы металлозавалки M .

Подставив соотношения (2), (5) и (6) в (1) и решив полученное уравнение относительно M , находим:

$$M = (\Gamma + Л + Б)/(1 - 0,01c - 0,01y). \quad (7)$$

Умножив и разделив правую часть уравнения (7) на 100, получаем более распространённую форму [1,2] данного соотношения:

$$M = 100(\Gamma + Л + Б)/(100 - c - y). \quad (8)$$

Массу металлозавалки можно также выразить через количество жидкого металла (см. формулу (4)):

$$M = (\Gamma + Л + Б + С)/(1 - 0,01y). \quad (9)$$

Уравнение (9) тождественно уравнению (7) и отличается от последнего лишь своей формой.

Из уравнений (2), (3) и (9) следует выражение для массы металлозавалки:

$$П + В = (\Gamma + Б)/(1 - 0,01y), \quad (10)$$

согласно которому при $y = 0$ количество годного литья в точности равно покупной части металлозавалки.

Если принять количество жидкого металла $\Gamma + Б$ и угара y неизменными, то уменьшение $В$ на какую-либо величину автоматически приведёт к увеличению на такую же величину годного металла Γ .

Поскольку при указанных условиях правая часть уравнения (10) является константой, левая его часть также должна оставаться постоянной, а это, в силу уменьшения $В$, приведёт к возрастанию на ту же величину покупной части металлозавалки $П$.

Последнее обстоятельство будет негативно влиять на экономическую эффективность снижения массы возврата. Однако значительно бóльшим будет положительный эффект, обусловленный увеличением выхода годного литья при том же общем расходе металлозавалки.

В табл. 1 представлены материальные балансы для $Б = 41,7$ кг (числитель) и $20,4$ кг (знаменатель) при $М = 1410,4$ кг и $y = 5\%$.

Таблица 1 – Материальные балансы производства отливок из серого чугуна до (числитель) и после (знаменатель) снижения количества брака с $41,7$ кг до $20,4$ кг при постоянных значениях $М = 1410,4$ кг и $y = 5\%$.

Приход				Расход			
№ п/п	Статья	кг	%	№ п/п	Статья	кг	%
1.	Покупная шихта	1070,5/1091,8	75,9/77,4	1.	Годное литьё	1000,0/1021,3	70,9/72,5
2.	Возврат	339,9/318,6	24,1/22,6	2.	Литники	270,0/270,0	19,1/19,1
				3.	Брак	41,7/20,4	3,0/1,4
				4.	Сливы и сплески	28,2/28,2	2,0/2,0
				5.	Угар металла	70,5/70,5	5,0/5,0
	Всего	1410,4/1410,4	100,0/100,0		Всего	1410,4/1410,4	100,0/100,0

Рассчитаем годовой экономический эффект представленного в табл. 1 снижения количества брака с 41,7 до 20,4 кг на тонну годного при годовой производительности литейного цеха 10000 т годных отливок.

Примем, согласно [3], цену покупного металлолома, в пересчёте на гривны, 427,2 грн/т и полную себестоимость годных отливок 3800 грн/т.

Экономический эффект будет равен разности между себестоимостью годного литья и ценой дополнительного количества покупной части металлической шихты, умноженной на $\Delta\Gamma = \Delta\Pi = -\Delta B = 21,3$ кг/т годного (см. табл. 1) = 0,0213 т/т годного:

$$\Xi = (3800 - 427,2) \cdot 0,0213 \cdot 10000 = 718406 \text{ грн/год.}$$

Выводы. Составлены и проанализированы балансы металла при производстве отливок из серого чугуна для различных количеств брака – 41,7 и 20,4 кг на 1410,4 кг металлозавалки. Показано, что при неизменных количествах жидкого металла и угара количество покупной части металлической шихты и количество годного металла возрастают на величину снижения количества возврата.

При цене покупной части металлической шихты 427,2 грн/т и себестоимости годных отливок 3800 грн/т для цеха производительностью 10000 т годных отливок в год экономический эффект указанного снижения количества брака составляет $0,718 \cdot 10^6$ грн/год.

Список литературы

1. Рыбальченко Н.А. Проектирование литейных цехов. – Харьков: Из-во ХГУ, 1965. – 306 с.
2. Методические указания к дипломному проектированию для студентов специальности 0502 / Сост. И.Н. Москалёв, Л.П. Владимиров, В.С. Миронов. – Кировоград: КИСМ, 1985. – 76 с.
3. Маслов А.Ф. Экономика, организация и планирование литейного производства. – М.: Машиностроение, 1975. – 352 с.

T. Sabirjanov

До розрахунку економічної ефективності зменшення кількості металевих відходів у ливарному виробництві

Складені й проаналізовані баланси металу при різних кількостях власних металевих відходів і однакових кількостях рідкого металу та угару. Показано, що за цих умов зменшення кількості відходів приводить до збільшення на таку ж величину кількості придатного литва та кількості покупної частини металозавалки. Наведено приклад розрахунку економічної ефективності зменшення кількості відходів.

T. Sabirjanov

To the calculation of the economic effectivity of a metal waste products decrease in the foundry

The metal balances at difference quantity of a metal waste products and identical quantity of a liquid metal and irrevocable losses show that decrease of a metal waste products leads to increase of the identical quantity of a fit metal and purchase part of a loadmetal. The example of the economic effectivity calculation is considered.

Одержано 20.06.12

УДК 620.178.16

В.И. Кубич, ст. преп., Л.И. Ивченко, проф., д-р техн. наук
Запорожский национальный технический университет

Трибоспектральный анализ поверхностных слоев медьсодержащего покрытия на чугунной подложке

Приведены результаты склерометрирования поверхностных структур образованных в слоях чугунной подложки натурального образца - шейки и покрытия из бронзы БрОФ4-0,25, при его формировании фрикционной обработкой в галлиево-индиевой среде, и проведения испытаний на износостойкость трибосопряжения «шейка-покрытие-вкладыш»

слой, взаимодействие, поверхностное сканирование, индентор, покрытие, подложка, структура

Вступление. Структурное состояние приповерхностных слоев элементов трибосопряжений обуславливает их способность выдерживать деформации, определяемые условиями контактного взаимодействия, и противостоять зарождению внутренних дефектов, лежащих в основе протекания процессов поверхностного разрушения. Для работы трибосопряжения «шейка-вкладыш» коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания характерны знакопеременные и изменяемые по величине нагружения от сил, действующих в кривошипно-шатунном механизме, и смены видов трения по наличию смазочного материала - моторного масла: переход от граничного трения к жидкостному. В условиях разрушения масляных пленок – контакт по ювенильным контурным площадкам контакта. В таких условиях трибосопряжения с шейками коленчатых валов, восстановленными шлифованием под ремонтный размер, имеют низкий ресурс работы. При шлифовании поверхности шейки возможны процессы интенсификации неоднородности структур с фрагментальным переупрочнением, что затрудняет последующую (эксплуатационную) структурную прирабатываемость материалов деталей, которая характеризуется сменой упрочнения и разупрочнения. В результате в приповерхностных слоях накапливаются дефекты, снижающие усталостную прочность и приводящие к образованию абразивных частиц. Упрочнение поверхности связано с уплотнением структуры материала, что снижает капиллярообразование, их наполняемость поверхностно-активными веществами моторного масла, ухудшает процессы смачивания поверхности, активизации прирабатываемости самого моторного масла. Последнее обусловлено формированием на активных центрах мономолекулярных слоев многоатомных молекул и их структурирование, что обеспечивает уровень несущей способности масляной пленки [1-3].

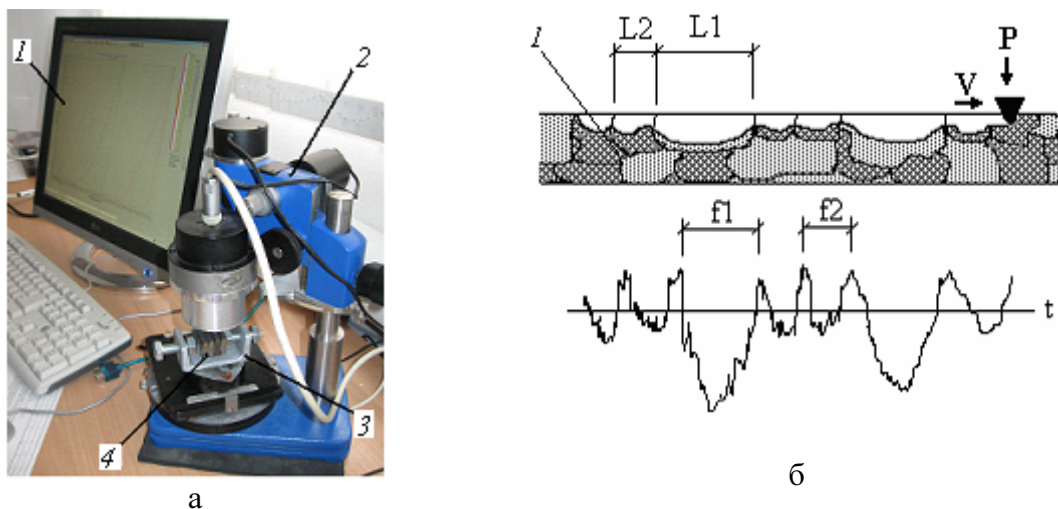
Постановка проблемы. Повышение износостойкости трибосопряжений восстанавливаемого коленчатого вала возможно за счет применения поверхностно-активной галлиево-индиевой среды для фрикционного формирования покрытия из бронзы БрОФ4-0,25 на поверхности его шеек [4].

В проведенных ранее электронно-микроскопических и микрорентгеноспектральных исследованиях поперечных шлифов образцов покрытия, сформированного с использованием галлиево-индиевой среды на стали 45 и чугуне ВЧ50 была выявлена характерная неоднородность их структуры, обусловленная

соответствующим распределением элементов покрытия (медь, галлий, индий, олово, железо, кислород). По результатам исследований представлена модель поперечного сечения покрытия, которая отображает пластинчатый характер структуры квазипериодического типа в направлении от поверхности покрытия к основному металлу и сосредоточение элементов в зависимости от их природы в разных прослойках [5]. Однако есть предположение о том, что подобная ориентация структуры может быть следствием полирования поверхности во время изготовления шлифа. Этот факт и вызывает необходимость в проведении дополнительных исследований строения структурного состояния покрытия на обрабатываемой подложке шейки. Полученные результаты свидетельствуют или, опровергнув представленную модель с характерными признаками неоднородности формируемых структур.

Целью работы является проведение трибоспектрального анализа поверхностных слоев покрытия, шейки без выполнения операций по шлифованию исследуемой поверхности.

Методы исследования. Для проведения исследований использовался метод сканирования поверхности индентором (склерометрия). Метод сканирования базируется на непрерывной регистрации сопротивления движению индентора по поверхности с заданной нагрузкой. Сканирование анализируемых поверхностей выполнялось с помощью прибора «Микрон-гамма» (рис. 1). Определение статистических связей между сопротивлениями локальных микрообъемов материала контактному деформированию методами теории случайных процессов позволяет произвести комплексную оценку состояния поверхностного слоя на трассе сканирования [6]. По спектральной плотности можно судить о размерах, количестве и о прочности фрагментов на трассе сканирования. Такая операция позволяет оценить разброс и неоднородность прочностных свойств структур, что и обусловит пластинчатый характер структуры квазипериодического типа.



1 - окно программного обеспечения измерений; 2 - направляющая прибора; 3 - струбцина; 4 - фрагменты образцов шеек; б - модель, поясняющая принцип трибоспектрального метода: 1 - структура поверхностного слоя; L1 - мягких и крупные фрагменты; L2 - твердых и мелкие фрагменты; P - направление силы нагружения индентором, сН; V - скорость перемещения индентора, мкм/с; t - время сканирования, с; f1, f2 - линейные размеры фрагментов с разными прочностными свойствами, мкм

Рисунок 1 - Внешний вид приборов аппаратного комплекса: а - нанотестер «Микрон-гамма»

Для поверхностного сканирования использовались следующие режимы:

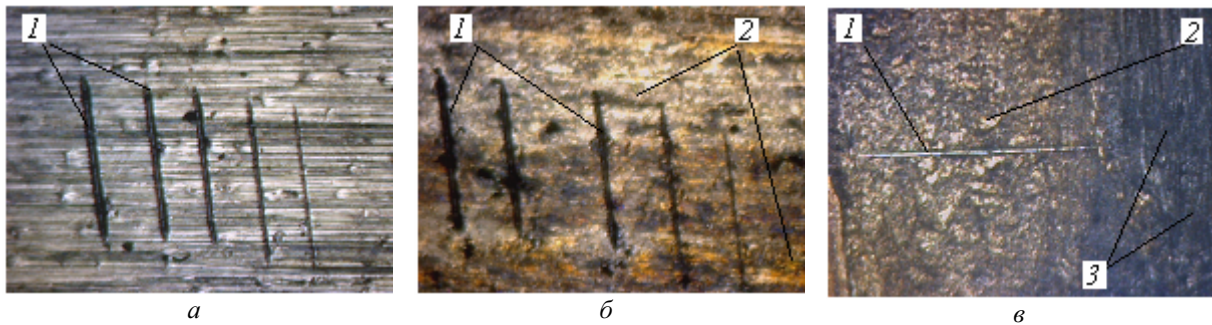
- нагрузка на индентор постоянная: 10, 20,30,40, 50 сН;
- скорость перемещения индентора 10 мкм/с;
- средняя длина трассы сканирования 350-550 мкм;
- размер сканируемого участка $\approx (350 \times 520)$ мкм.

Для анализа использовались образцы-шейки, материал чугун ВЧ50, без покрытия, с покрытием до испытаний, с покрытием после испытаний трибосопряжений «шейка-покрытие-вкладыш» с натурными образцами на износостойкость [7]. При этом для измерений после испытаний использовались фрагменты образцов-шеек (рис.1, поз.4), вырезанные из них электроэрозионным способом [8].

Результаты поверхностного сканирования фиксировались программным обеспечением прибора и отображались на экране монитора в виде графических зависимостей изменения глубины внедрения индентора по пути его перемещения с задаваемой нагрузкой.

Результаты исследований и обсуждение. На рис.2 представлены фотографии сканированных поверхностей образцов со следами царапания с явно выраженной шириной борозд.

На рис.3 приведены виды графических зависимостей глубины внедрения индентора по пути его перемещения, которые отображают прочностные свойства структур поверхностных слоев образцов.



1 - следы трассирования с разными нагрузками; 2 - медьсодержащая структура; 3 - поверхность без покрытия

Рисунок 2 - Фотографии поверхностей образцов-шеек (а) без покрытия до испытаний, (б) с покрытием до испытаний, (в) с покрытием после испытаний, х600

Анализ полученных графических зависимостей показал следующее. Для образцов без покрытия наблюдается:

- при нагрузке на индентор $P_1=10$ сН на глубине 2,2-2,4 мкм располагаются фрагменты более прочных перлитных структур[8] с размерами: длина $l_{cp}=43-47$ мкм, высота $h_{cp}=2,2-2,4$ мкм и фрагменты менее прочных перлитных структур с размерами длина $l_{cp}=36-53$ мкм, высота $h_{cp}=1,5-2,2$ мкм;

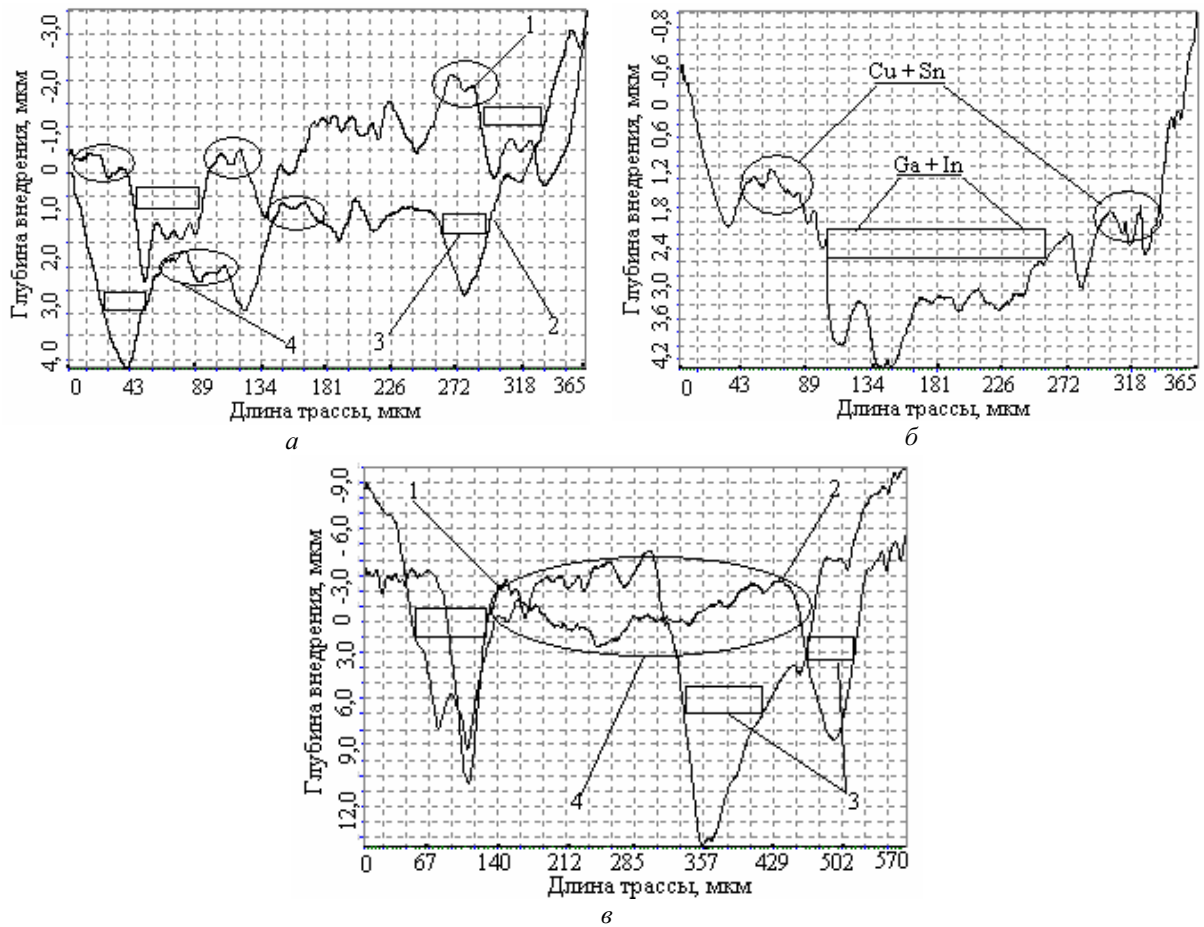
- при нагрузке на индентор $P_5=50$ сН на глубине 1,7-4,5 мкм также располагаются фрагменты с геометрическими размерами, характерными для нагрузки $P_1=10$ сН;

- для нагрузок на индентор $P_1- P_4$ (20,30,40 сН) характер изменения графической зависимости аналогичен для нагрузок P_1, P_5 .

Для образцов с покрытием плотность распределения фрагментов структур с отличающимися прочностными свойствами иная:

- при нагрузке на индентор $P_3=10$ сН максимальная глубина внедрения 3,4-3,6 мкм, преимущественно фрагменты менее прочные, образованные галлием и индием, с геометрическими размерами: длина $l_{cp}=145-158$ мкм, высота $h_{cp}=2,5-2,8$ мкм, более прочные, образованные медью и оловом, с размерами длина $l_{cp}=36-43$ мкм, высота $h_{cp}=2,8-3,2$ мкм;

- при нагрузке на индентор P_1, P_2, P_4, P_5 (10,20, 40,50) сН глубины внедрения составили 3,4-6,0 мкм. Фрагментальное выражение распределения прочностных свойств структур сохраняется, при этом геометрические размеры менее прочных структур имеют размеры $l_{cp}=137-158$ мкм, $h_{cp}=1,2-2,0$ мкм.



a - без покрытия, 1 - нагрузка $P_1=10$ сН; 2 - нагрузка $P_5=50$ сН; 3 - менее прочные фрагменты; 4 - более прочные фрагменты; *б* - с покрытием до испытания $P_3=30$ сН; *в* - с покрытием после испытания: 1 - нагрузка $P_1=10$ сН; 2 - нагрузка $P_3=30$ сН; 3 - менее прочные фрагменты; 4 - более прочные фрагменты

Рисунок 3 - Вид графических зависимостей изменения глубины внедрения индентора по длине трассы сканирования поверхности

Для образцов с покрытием после испытаний характерно наличие участков с относительно ровными прочностными свойствами и участков с ярко выраженными пиками, вершинами вглубь образца. Длина участков более прочных структур на глубине 1,2-2,2 мкм составляет 253-271 мкм, менее прочных 55-95 мкм, причем глубины внедрения составили 7-11 мкм.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что как структура приповерхностного слоя чугушной подложки, так и структура формируемого покрытия перед испытаниями обладает неоднородностью распределения прочностных свойств.

Характер распределения фрагментов по глубине с разными геометрическими размерами и прочностными свойствами обуславливает формирование ячеистой структуры, которая при поперечном шлифовании образцов и определяет ее пластинчатый вид.

Выводы.

В результате проведенного трибоспектрального анализа поверхностных слоев покрытия, шейки без выполнения операций по шлифованию исследуемой поверхности получены сведения, подтверждающие факт неоднородности распределения прочностных свойств поверхностных структур и их пластинчатого строения.

Список литературы

1. Справочник по триботехнике: в 3-х т. Т.1 Теоретические основы / Под общ. ред. М. Хебды, А.В. Чичинадзе. - М.: Машиностроение, 1989. - 400 с.
2. Белый А.В. Структура и методы формирования поверхностных слоев/А.В.Белый, Г.Ф.Карпенко, Н.К.Мышкин - М.: Машиностроение, 1991. - 268 с.
3. Гаркунов, Д.Н. Триботехника /Д.Н. Гаркунов. - М.: Машиностроение, 1985. - 424 с.
4. Пат. № 49630 Україна, МПК (2009) С23С 30/00. Склад поверхнево-активної речовини для формування зносостійких покриттів / В.І. Кубіч, Л.Й. Івченко, заявник і патентовласник Запорізький національний технічний університет. -№ u200909788; заявл. 11.05.2010; опубл. 11.05.2010, Бюл. №9, 2010.
5. Кубич В.И. О состоянии поверхностных слоев шеек коленчатых валов двигателей внутреннего сгорания, подвергнутых антифрикционной обработке / В.И. Кубич, Л.И. Ивченко // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. - 2009.- №1. - С. 37-42.
6. Игнатович С.Р. Аппаратурный комплекс для микро- и нанотестирования поверхности материалов и покрытий / С.Р. Игнатович, В.Н Шмаров, И.М. Закиев // Технологические системы. - 2009. - №5(49). - С.72-78.
7. Кубич В.И. Износостойкость деталей трибосоприжения «шейка-вкладыш» с медьсодержащими покрытиями / В.И. Кубич, Л.И. Ивченко // Проблемы трибологии. - 2011. - №2. - С.103-110
8. Кубіч В.І. Металлографічний аналіз приповерхневих шарів підложек образцов шеек коленчатых валов ДВС / В.І. Кубіч // Тиждень науки - 2011: щоріч. наук.-практ. конф., 11-15 квітня 2011 р.: зб. тез допов., Т.І. - Запоріжжя, 2011. - С.184-185.

В. Кубіч, Л. Івченко

Трибоспектральний аналіз приповерхневих шарів покриття, що утримує мідь на чавунній підкладці

Наведено результати склерометрування поверхневих структур, що утворюються в шарах чавунної підкладці натурального зразку - шийці та покриття з бронзи БрОФ4-0,25, при його формуванні фрикційною обробкою у галієво-індієвому середовищі, і проведення випробувань на зносостійкість трибоз'єднання «шийка-покриття-вкладиш».

V. Kubich, L. Ivshenko

Spectrum of dimensions that can be obtained by means of friction surface layer coating that keeps copper in cast-iron lining

The results of measurements using the instrument sclerometer surface structures formed in the layers of cast-iron lining specimen - neck and finish with bronze BrOF4-0, 25, at his formation of friction treatment in, gallium-indium environment, and testing for durability triboconjugation of «neck - coating - bearing».

Получено 30.05.12

УДК 621.793

В.І. Похмурський, д-р техн. наук, М.М. Студент, д-р техн. наук, В.М. Гвоздецький, інж., Т.Р. Ступницький, інж.

Фізико-механічний інститут імені Г.В. Карпенка

О.Й. Мажейка, канд. техн. наук, С.І. Маркович, канд. техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет

Вплив складу шихти порошкових дротів на механічні властивості електродугових покриттів

В статті досліджено залежність механічних характеристик електродугових покриттів від сомо організаційних процесів, що відбуваються при їх формуванні під впливом елементного складу шихти порошкових дротів.

порошкові дроти, шихта, електродугові покриття, когезійна міцність, напруження розтягу

Метод електродугового напилення покриттів (ЕДП) знайшов широке застосування в різних областях промисловості. Значне використання його можливостей досягається застосуванням спеціальних порошкових електродних дротів (ПД) для напилення, які дозволяють підвищити адгезійну міцність, твердість, зносостійкість, триботехнічні і антикорозійні властивості покриттів до рівня плазмових покриттів, але при набагато менших затратах [1...7]. Однак недостатня вивченість процесів формування ЕДП із ПД та їх впливу на структурно-фазовий склад і механічні характеристики стримує їх використання. В даній роботі досліджено впливу складу шихти на когезію покриттів із ПД.

1. Методика експерименту

ПД виготовляли в одношаровому виконанні. Для оболонки ПД використали стрічку з мало вуглецевої сталі 08пс (0,05...0,11 % С, не більше 0,02 % S, 0,025...0,5 % Mn, 0,04 % P).

Хімічний склад порошків, які додавали до складу шихти ПД наведено у табл. 1. Коефіцієнт заповнення ПД визначали згідно формули:

$$K_z = G_{пор} / G_{дроту} = G_{пор} / (G_{пор} + G_{об}), \quad (1)$$

де $G_{пор}$, $G_{об}$ – відповідно вага порошкового наповнювача та оболонки;

$G_{дроту}$ - загальна вага дроту.

ЕДП наносили на зразки з вуглецевої сталі 20 шляхом розпилення електродних дротів за допомогою електродугового металізатора з модифікованою системою розпилювання, за якої електрична дуга горить в каналі розпилювальної головки, що дає змогу одержувати дрібнодисперсні покриття [8].

Таблиця 1 - Матеріали, використані під час виготовлення ПД

Назва матеріалу	Марка	ГОСТ
ферохром високо вуглецевий	ФХ-800	4757-85
феромарганець	ФМн 05	4755-80
феротитан	ФТИ-40А	4761-80
Феромолібден	ФМО-60	4756-77
Феровольфрам	ФВ70	
порошок алюмінію	ПА-40	
хром металевий	Х99А	5905-79
порошок нікелю	ПИК-1Л5	9722-79
лігатура залізохромбор	ФХБ-2	ТУ 14-5-106-73

Для очищення стисненого повітря від твердих частинок, води і мінерального мастила використали фільтр (23–25–4–4ХЛ4).

Процес нанесення ЕДП на зразок передбачає наступні операції: знежирення зразка, його струминне оброблення корундом, напилювання та контроль його якості і нарешті шліфування зразка.

Параметри напилювання зразків після дробоструминного оброблення: сила струму 150 А, робоча напруга 32 В, віддаль від сопла до поверхні напилювання - 150мм, тиск стисненого повітря 0,65 МПа.

Для визначення напружень першого роду у покриттях визначали за методикою, розробленою для біметалевих кілець [9], у яких відношення радіусів центральної лінії до радіальної товщини кільця не менше 10. Формула 2 для визначення напружень враховує модулі пружності і сталевого кільця-підкладки, і напиленого шару:

$$\sigma_{\text{кол}} = (2 \cdot E_1 / D_t^2) \cdot [(0,5 \cdot (t_2^2 \cdot c + t_1^2 + 2 \cdot t_1 \cdot t_2 \cdot c) / (t_2 \cdot c + t_1) - (a + da))] \cdot \Delta D, \quad (2)$$

де D – діаметр кільця;

t_1 – товщина кільця;

t_2 – товщина нанесеного покриття;

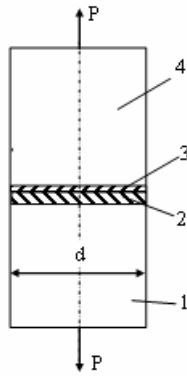
t – товщина кільця разом з нанесеним ЕДП;

c – коефіцієнт, визначений зі співвідношення: $c = E_1 / E_2$, E_1 , E_2 - модулі пружності сталі та напиленого ЕДП;

a – відстань від поверхні нанесеного покриття до досліджуваного елементарного шару da ; da – товщина досліджуваного елементарного шару.

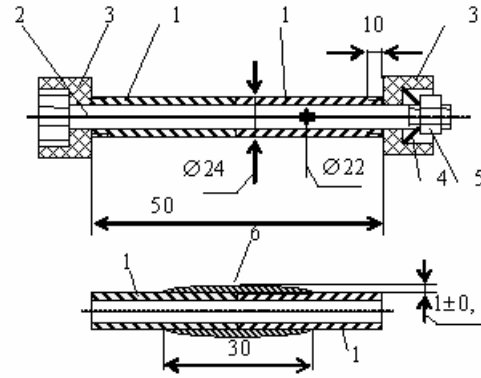
Адгезію ЕДП до сталевій основі [10] визначали клеєвим методом: поверхню покриття 2 на зразку циліндричної форми 1 діаметром 20 мм. через епоксидний клей 3 з'єднували з шайбою 4 (рис. 1). Після цього зразок розривали і фіксували зусилля.

Міцність ЕДП за розтягу (когезію) визначали, використавши зразок, складений з двох трубок (рис. 2). Через дві половинки зразка 1 пропускали штифт 2, яким стягували їх разом, використавши захисні шайби 3, пружину 4 та гайку 5. На бічну поверхню зібраного таким чином зразка по периметру стику двох його частин наносили ЕДП. Після цього зразок звільняли від оправки і розтягували, фіксуючи зусилля в момент руйнування покриття в місці стику двох частин трубок.



1 – зразок; 2 – покриття; 3 – прошарок клею;
4 – шайба

Рисунок 1 – Зразок для визначення міцності зчеплення ЕДП з поверхню напилювання за методикою склеювання



1 – дві частини зразка; 2 – штифт; 3 – захисні шайби;
4 – пружина; 5 – гайка; 6 – покриття

Рисунок 2 – Схема пристрою для нанесення покриття на зразок для визначення когезії ЕДП за розтягу

Модуль пружності ЕДП визначали методом прогину та розрахунок проводили за наступним виразом (3) [11].

$$E = \frac{Lv^3 \times (P_2 - P_1)}{4bh^3 (Z_2 - Z_1)}, \quad (3)$$

де Lv – відстань між ножами основи, мм.;

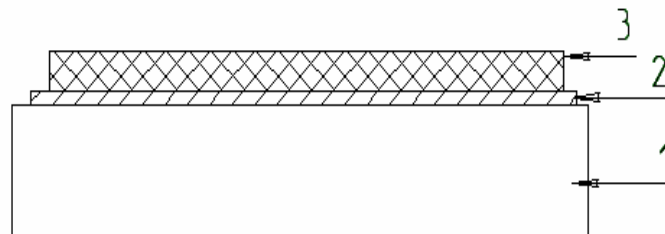
P_1, P_2 – величина навантажень першого та другого, гр.;

b – ширина пластини, мм.;

h – товщина пластини, мм.;

Z_1, Z_2 – покази індикатора при першому та другому навантаженні, мм.

Балочні зразки із матеріалу ЕДП для визначення модуля пружності методом трьох точкового прогину виготовляли наступним чином. Поверхню зразків 1 (рис. 3) 100×20×6 мм. із сталі 20 розміром 150×20 мм. залужували оловом 2 товщиною 40-50 мкм. та піддавали струминній обробці корундом для підготовки залуженої поверхні до напилення. Зразки у кількості 6 од. кріпили на твірній поверхні шестигранника і наносили ЕДП із ПД товщиною 1,5 мм.. Пластини шліфували по напиленій стороні до товщини покриття 1 мм. та з торців до ширини 20 мм.. Підготовлені зразки ставили у нагріту піч, температура якої на 20°C вище температури плавлення олова. При нагріві сталевих пластин із покриттям шар олова розплавлявся, внаслідок чого за рахунок внутрішніх напружень покриття самовільно відшаровувалися. Таким чином отримували зразки балочного типу із матеріалу покриття розмірами 90×20×1 мм.



1 – стальна пластина 2 – лужений шар, 3 – напилене ЕДП
Рисунок 3 – Залужена стальна пластина із напиленим ЕДП

2. Результати та обговорення експериментальних даних

Експериментально встановлено, що за додавання до складу шихти ПД 50X10G2 до 10 мас. % Мо або Al у чистому вигляді адгезія ЕДП до сталі підвищується в два рази (рис. 4). Разом з тим за їх одночасного додавання до складу шихти ПД проявляється

ефект синергізму від легування. Зокрема, за додавання до складу шихти ПД 10 мас. % Мо та 5 мас. % Al адгезія ЕДП, отриманого з такого ПД, підвищується вже не в два, а в 2,5 рази, порівняно з покриттям із ПД без додавання одного з компонентів.

Підвищення адгезивної міцності ЕДП з ПД 50X10Г2М (0...10)Ю(0...10) зумовлене більшою тепловою енергією, яку запасають дисперговані краплини ПД, що містять Мо або Al. Це спричинено протіканням екзотермічних алюмотермічних реакцій та виділенням великої кількості тепла розплавом Мо на поверхні сталеві підкладки.

Експериментально встановлено, що когезивна міцність ЕДП з ПД визначається наступними чинниками:

а) товщиною оксидних плівок, що утворюються між ламелями під час формування ЕДП;

б) рівнем залишкових напружень розтягу у ЕДП.

Найбільше на когезивну міцність ЕДП впливають вуглець і алюміній (рис. 7) та бор (рис. 8а). Зі збільшенням вмісту вуглецю в ЕДП від 0 до 2 мас. % когезивна міцність зростає на ~60 % (від 150 до 245 МПа (рис. 8б)). Позитивний вплив вуглецю зумовлений тим, що під час польоту диспергованих краплин розплаву ПД вуглець реагує з киснем повітря ($2\cdot C + O_2 = CO_2$). Внаслідок цього навколо краплин утворюється захисна атмосфера з вуглекислого газу, яка ускладнює окиснення їх поверхні. При цьому товщина оксидних плівок між ламелями напиленого покриття зменшується і сила зчеплення між ними зростає.

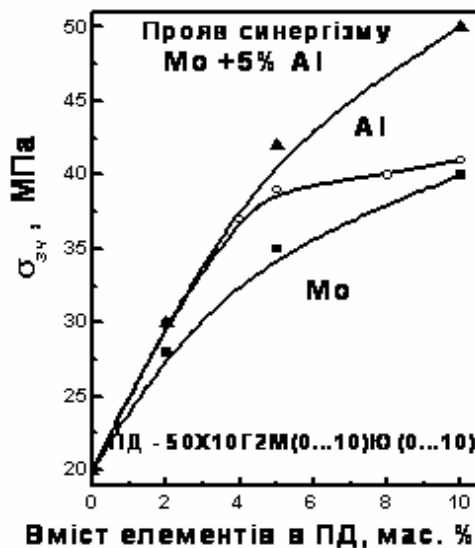


Рисунок 4 – Вплив вмісту елементів легування (Al та Mo) в ПД 50X10Г2М(0...10)Ю(0...10) на адгезивну міцність $\sigma_{зч}$ електродугових покриттів

Зміна вмісту титану та хрому у складі шихти практично не впливає на когезивну міцність ЕДП (рис. 5). Разом з тим за одночасного додавання до складу шихти ПД хрому, титану, алюмінію та вуглецю проявляється синергізм їх впливу, що супроводжується істотним підвищенням (до 300 МПа) когезивної міцності ЕДП (рис. 7).

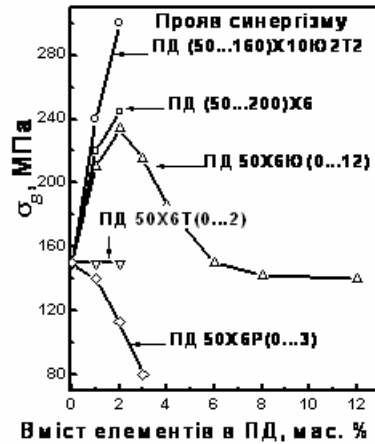
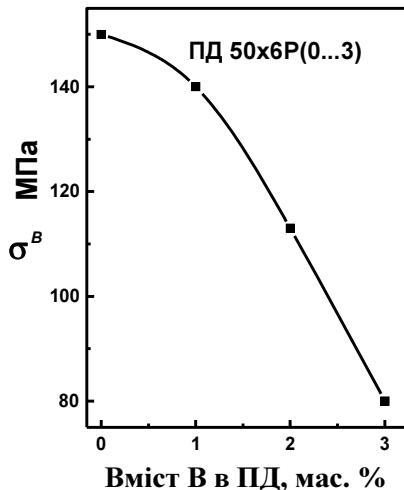


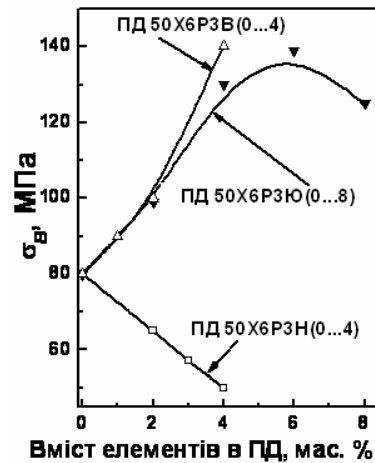
Рисунок 5 – Вплив вмісту елементів Ti, Cr, Al, C та графіту на когезивну міцність σ_B ЕДП отриманих з ПД

Додавання до ПД 1...3 мас. % бору теж зменшує когезивну міцність ЕДП (рис. 6а). Бор, та елементи, що утворюють евтектики, для прикладу нікель, підвищують твердість та знижують МГ покриттів, сприяють зникненню пластичних ламелей в покритті. Релаксація напружень розтягу під час напилювання відбувається тоді шляхом утворення мережі мікротріщин (рис. 7), що суттєво зменшує когезивну міцність ЕДП.

Підвищення когезивної міцності ЕДП з ПД за додавання до складу їх шихти до 2 мас. % Al (рис. 5) спричинене зростанням мікрогетерогенності покриттів та теплової енергії, що виділяється в краплинах внаслідок протікання алюмотермічних реакцій. Обидва чинники сприяють зниженню залишкових напружень розтягу у покриттях. Із збільшенням вмісту Al у шихті ПД на поверхні краплин, що формують покриття, утворюється тугоплавка оксидна плівка Al_2O_3 , яка знижує когезивний зв'язок між ламелями (рис. 8).



а



б

Рисунок 6 – Вплив вмісту В в ПД 50X6 (а) та Al, Ni, W (б) в ПД X6P3 на когезивну міцність σ_B електродугових покриттів

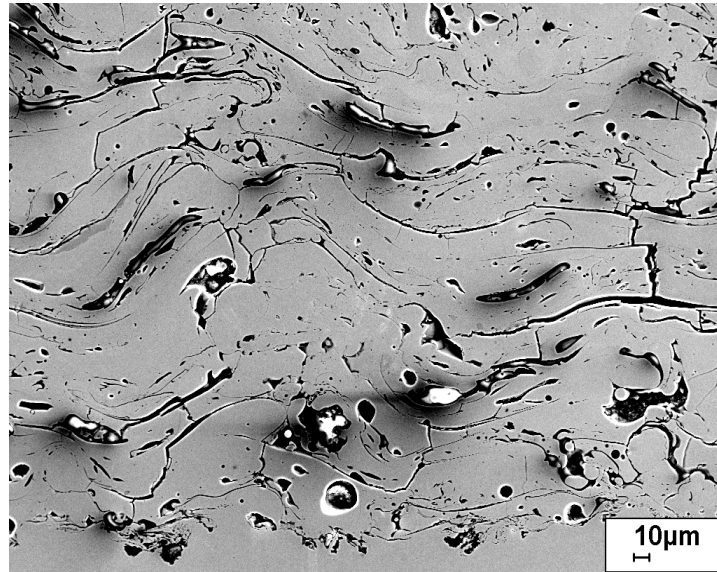
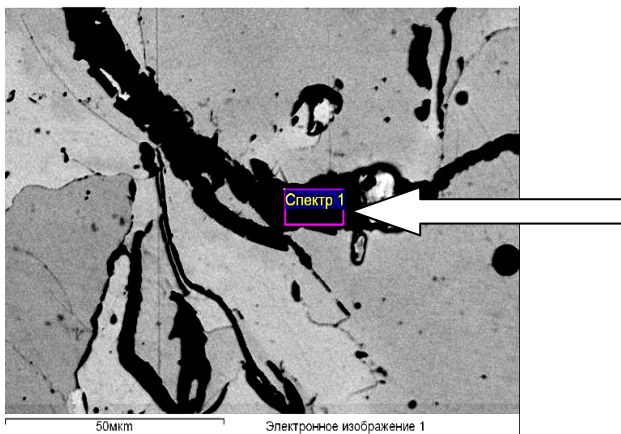


Рисунок 7 – Релаксація напружень розтягу шляхом формування мережі мікротріщин у покритті під час його напилювання з ПДХ6Р3Ю2

Додавання до шихти ПД титану сприяє утворенню на поверхні краплин, що формують покриття, менш тугоплавкої плівки $TiO_2 \cdot Al_2O_3$, а вуглець, утворивши захисну атмосферу навколо краплин, зменшує її товщину.



Елемент	Ваговий %
O	36.47
Al	42.16
Cr	0.79
Fe	20,58
Разом	100.00

Рисунок 8 – Хімічний склад оксидних фаз вздовж меж розділу ламелей у покритті з ПД Х6Р3Ю12

Вплив фазового стану ЕДП на рівень залишкових напружень

Встановлено, що, найвищі залишкові напруження розтягу (165 МПа) виникають у покриттях із матричною фазою стабільного або залишкового аустеніту, нижчі (105 МПа) – із матричною фазою стабільного фериту, ще нижчі (70 МПа) – із матричною фазою фериту, в якому відбувається поліморфне перетворення, і найнижчі (12 МПа) – із матричною фазою мартенситу (рис. 9). Така велика різниця за рівнем залишкових напружень зумовлена відмінністю за КТР і, як наслідок, різною зміною об'єму під час охолодження покриттів на поверхні підкладки та фазових перетворень, що проходять із збільшенням об'єму під час протікання перетворень (рис. 10). Найбільше (на 2 %) об'єм покриття зростає під час перетворення аустеніту в мартенсит.

Таким чином режимами напилювання ЕДП та їх фазовим станом можна мінімізувати залишкові напруження розтягу в них.

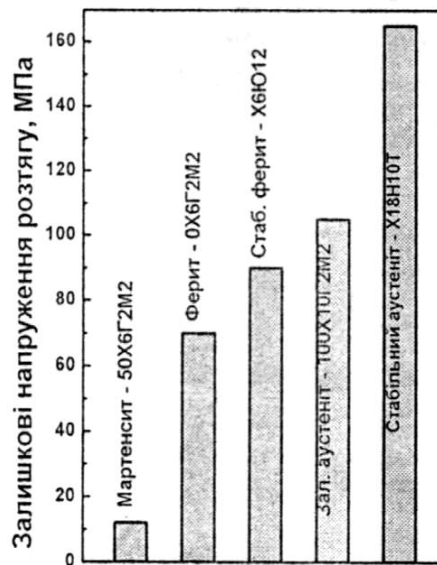


Рисунок 9 – Порівняння ЕДП за рівнем залишкових напружень розтягу $\sigma_{кол}^{max}$ в них, спричинених їх відмінністю за фазовим складом

3. Синергізм впливу напилювання різнорідними ПД на механічні властивості ЕДП

Високі механічні характеристики, особливо для ЕДП з високою мікротвердістю 700-900 HV, які схильні до розтріскування вже в процесі нанесення на підкладку, можна забезпечити при використанні для напилення ЕДП двох різнорідних дротів. Склад шихти одного з ПД повинен створювати передумови для формування у покритті мартенситної структури, яка забезпечуватиме низький рівень залишкових напружень розтягу. Шихта іншого ПД повинна містити значну кількість алюмінію. Під час формування покриттів на межах розділу краплин розплавленого металу з обох різнорідних дротів відбувається екзотермічна реакція, яка забезпечує зварювання ламелей між собою на мікрорівні. Це спричиняє суттєве підвищення когезивної міцності ЕДП (підвищення досягає 300 %).

Зокрема, синергізм впливу складу шихти ПД на когезивну міцність ЕДП можна проілюструвати на прикладі ЕДП, отриманого розпилюванням різнорідних дротів (рис. 10) [12].

До складу шихти одного з них (ПД системи Fe-Cr-B-Al) додається значна кількість алюмінію (6...12 мас. %) і бору (3...4 мас. %). Цим забезпечується висока твердість ($HV_{0,3} = 800...1200$) ЕДП. Шихта іншого ПД не повинна містити Al і повинна забезпечити утворення в ЕДП мартенситної матриці з низьким рівнем залишкових напружень (зокрема ПД системи Fe-Cr-Mo).

За одночасного використання різнорідних ПД (ПД X6P3Ю12 і ПД 50X6Г2М2) когезивна міцність ЕДП практично втричі вища, ніж для ЕДП отриманого розпилюванням двох однакових ПД X6P3Ю12 і на 33 % вища, ніж властива ЕДП з двох однакових ПД 50X6Г2М2. Причому адгезивна міцність ЕДП з різнорідних дротів і залишкові напруження у ньому знаходяться між відповідними рівнями для ЕДП, отриманими з використанням однакових ПД (рис. 10).

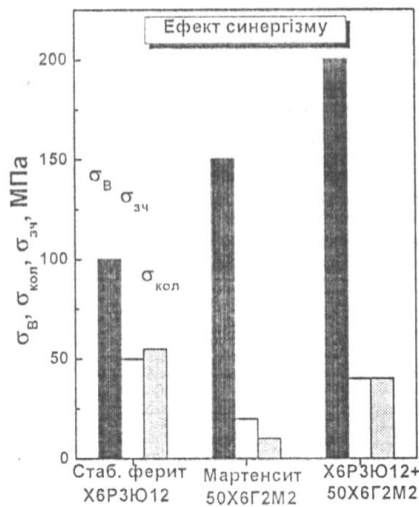
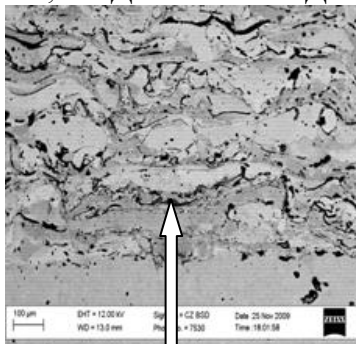


Рисунок 10 – Зміна механічних властивостей (когезивної σ_B та адгезивної $\sigma_{зч}$ міцностей та залишкових колових напружень $\sigma_{кол}$) ЕДП, отриманих електродуговим напилюванням однаковими (або ПД Х6РЗЮ12, або ПД 50Х6Г2М2), або різнорідними дротами одночасно (ПД Х6РЗЮ12 і ПД 50Х6Г2М2)

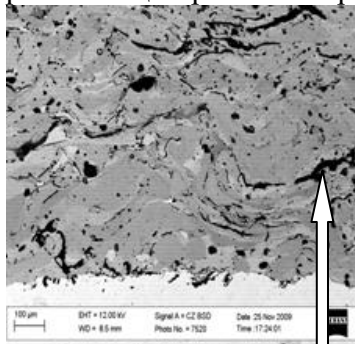
На поверхнях краплин, які утворюються під час розпилювання ПД Fe-Cr-Mo, формується переважно плівка із оксидів заліза Fe_nO_m (рис. 13), а на поверхнях краплин з ПД Fe-Cr-V-Al – плівка на основі Al_2O_3 (рис. 8., рис.12). Структура ЕДП з двох різнорідних ПД (Х6РЗЮ12 + 50Х6Г2М2) характеризується високою мікрогетерогенністю (рис. 13).

На границях між різнорідними ламелями практично відсутні оксидні плівки. Це зумовлено мікрозварюванням різнорідних ламелей внаслідок протікання на їх межах екзотермічних алюмотермічної реакції (рис. 14), $2/3 Fe_2O_3 + 4/3 Al = 4/3 Fe + 2/3 Al_2O_3 + 3,50 \text{ кДж/г}$ шихти ПД при кристалізації краплин в процесі напилення ЕДП.



Fe_nO_m

Рисунок 11 – Структура та хімічний склад оксидних фаз на межах розділу ламелей у ЕДП з ПД 50Х6Г2М2



Al_2O_3

Рисунок 12 – Структура та хімічний склад оксидних фаз на межах розділу ламелей у ЕДП з ПД Х6РЗЮ12

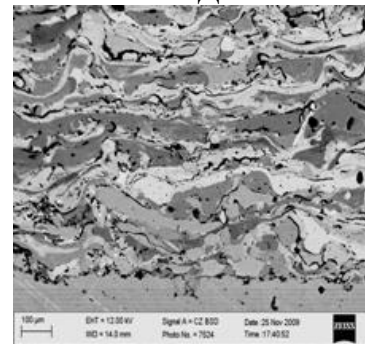
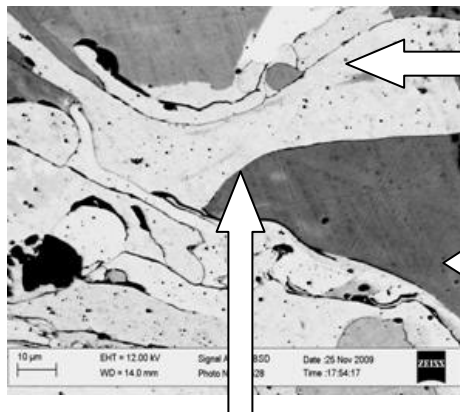


Рисунок 13 – Структура покриття, напиленого двома різнорідними дротами: ПД Х6РЗЮ12 і ПД 50Х6Г2М2

4. Зміна механічних характеристик ЕДП із ПД системи легування Fe-Cr-V-Al за підвищених температур

Під час тривалих експозицій за температури випробовувань $600^{\circ}C$, внаслідок росту дисперсних фаз – зміцнювальної фази - боридів $FeCr_2B$, твердість всіх ЕДП зменшується і стабілізується на рівні 500..550 HV (рис. 15a). Так, згідно

металографічного аналізу, після наплення розмір боридів не перевищує 50 нм, а після витримки 5000 год. 600⁰С їх розмір зростає до 300..500 нм.



Елемент	Ваговий %
Ti	0,4
Cr	6,5
Mn	1,3
Fe	90,0
Mo	1,8
Разом	100.00
Елемент	Ваговий %
Al	10.6
Cr	5.6
Fe	83.8
Разом	100.0

Мікрозварювання різнорідних краплин

Рисунок 14 – Структура та хімічний склад ламелей ЕДП, напленого двома різнорідними дротами: ПД Х6Р3Ю12 і ПД 50Х6Г2М2

Проте гаряча мікротвердість за температури випробовувань 600⁰С зменшується не суттєво та становить 450...500 НВ. Впродовж тривалих експозицій за температури випробовувань 600⁰С когезивна міцність покриттів суттєво зростає (рис. 15б).

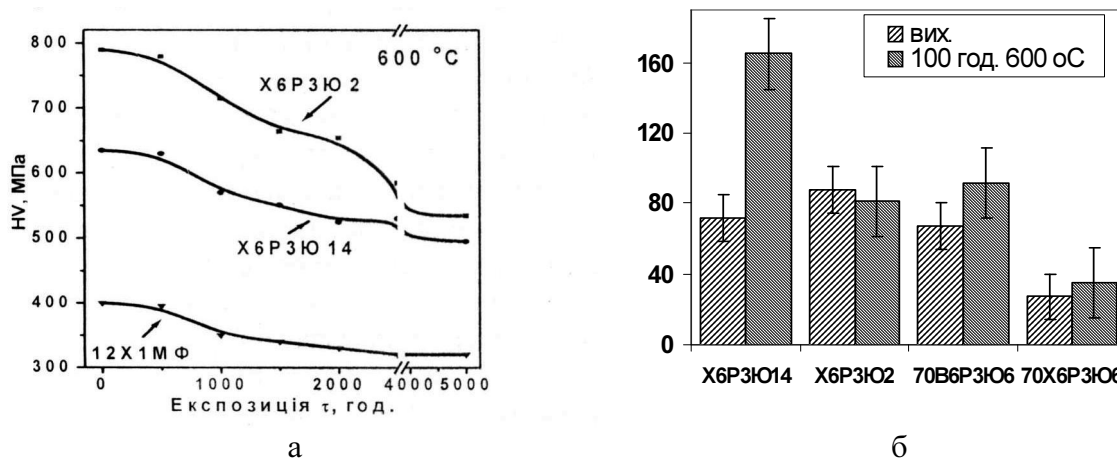


Рисунок 15 – Вплив експозиції за температури 600⁰С на механічні характеристики електродугових покриттів, а – мікротвердість, б – когезивну міцність, 100 год

Такий ефект зумовлений армуванням структури ЕДП тонкими оксидними плівками. При цьому ЕДП запозичує композитну структуру.

Найбільше зміцнення спостерігається для ЕДП із ПД Х6Р3Ю14, що зумовлено армуванням плівками на основі оксиду алюмінію. Встановлено, що модуль пружності ЕДП зростає при підвищенні температури випробовувань вище 350⁰С (рис. 16а) і далі зростає при збільшенні тривалості експозицій (рис. 16б).

Так за експозиції в 1000 год. за температури випробовувань 600⁰С модуль пружності ЕДП із ПД 70В6Р3Ю6 зростає майже у три рази, а для ЕДП із ПД Х6Р3Ю14 на 70%. З'ясовано, що зростання модуля пружності зумовлено внутрішнім міжламелярним окисненням та прямо пропорційно кількості оксидної фази у ЕДП.

Тривалі експозиції зразків за температури 600⁰С приводять до зменшення напружень розтягу у ЕДП. Визначено два часові етапи 1, 2 (рис. 17) та два механізми за якими відбувається зменшення напружень розтягу у покриттях.

Так на першому етапі, що триває до 20 год. за температури 600°C , зменшення напружень відбувається за рахунок розпаду аустеніту у структурі ЕДП, що збільшує об'єм ЕДП (рис. 17, етап - 1).

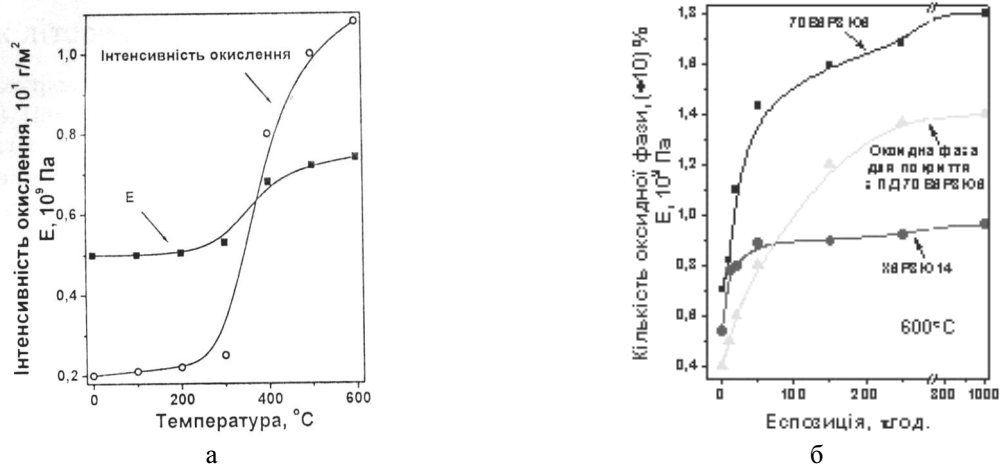


Рисунок 16 – Вплив температури (ПД Х6Р3Ю14) *а*) та експозиції *б*) на зміну модуля пружності ЕДП

На другому етапі із збільшенням експозиції, напруження стиску зростають внаслідок проходження процесу внутрішньоламелярного окиснення ЕДП, і як наслідок збільшення кількості оксидної фази, що суттєво збільшує об'єм ЕДП (рис. 17, етап - 2).

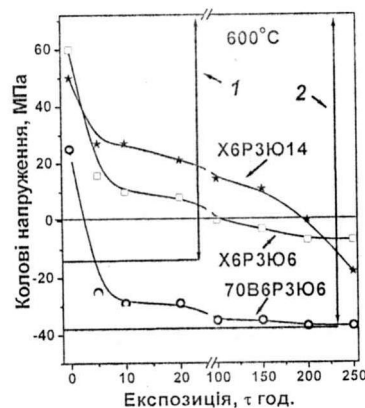


Рисунок 17 – Вплив експозиції на рівень напружень у ЕДП за температури випробувань 600°C

5. Висновки:

1. Встановлено кореляційні залежності між компонентним складом шихти ПД та механічними властивостями отриманих ЕДП. З'ясовано, що максимальна когезивна міцність забезпечується за наявності у складі шихти ПД вуглецю, алюмінію та титану. При цьому вздовж меж ламелей формуються оксидні плівки мінімальної товщини. Під час утворення та польоту краплин розплаву ПД присутній в них вуглець вигоряє з утворенням вуглекислого газу і формує навколо крапель захисну атмосферу. Алюміній та титан забезпечують мінімальну кількість оксидів на поверхні краплин.

2. Встановлено можливість прояву синергічного підвищення когезивної міцності покриттів при використанні для напилення ЕДП двох різнорідних дротів. Синергізм у зростанні когезивної міцності ЕДП забезпечується протіканням алюмотермічних реакцій на межах різнорідних краплин під час їх формування.

3. Встановлено закономірності зміни модуля пружності ЕДП системи Fe-Cr-B-Al з підвищенням температури. Показано, що при підвищенні температури випробувань вище 400°C, внаслідок внутрішнього окиснення, модуль пружності зростає у 1,5-2,5 рази, що прямо пропорційно вмісту в них міжламельних оксидів.

4. Досліджено механізм зниження напружень розтягу у ЕДП за температури 500-700°C і показано, що він відбувається внаслідок збільшення об'єму ЕДП за рахунок внутрішнього міжламельного окиснення.

Список літератури

7. Електродугові відновні та захисні покриття / В.І. Похмурський, М.М. Студент, В.М. Довгунік, Г.В. Похмурська, І.Й. Сидорак. – Львів: Фіз.-мех. ін-т ім. Г.В. Карпенка НАН України, 2005. – 190
8. Застосування електродугової металізації порошковими дротами системи Fe-Cr-C-Al для відновлення деталей машин / В.І. Похмурський, М.М. Студент, В.М. Довгунік, І.Й. Сидорак // *Машинознавство*. – 1999. – № 1. – С. 13–18
9. Tribological properties of arc sprayed coatings obtained from FeCrB and FeCr based powder wires / A. Pokhmurska, M. Student, E. Bielanska, E. Beltowska, V. Dovhunyk // *Surface & Coating Technology*. – 2002. – V. 151-152. – P. 490-494
10. Порошковые проволоки систем FeCrB+Al и FeCr+Al+C для восстановительных электрометаллизационных покрытий / В.И. Похмурский, М.М. Студент, В.М. Довгунік, И.И. Сидорак // *Автомат. сварка*. – 2002. – № 3. – С. 32-35.
11. Структура и трибологические свойства покрытий, полученных методом электродуговой металлизации / В.И. Похмурский, М.М. Студент, И.И. Сидорак, Ю.М. Кусков, И.И. Рябцев, В.М. Довгунік // *Автомат. сварка*. – 2003. – № 8. – С. 13-17.
12. Возникновение и перераспределение внутренних напряжений в электродуговых покрытиях во время формирования. / В.И. Похмурский, М.М. Студент, В.М. Довгунік, І.Й. Сидорак, Ю.В. Дзьоба, И.А. Рябцев // *Там же*. – 2006. – № 10. – С.15-20.
13. Effect of high-temperature corrosion on the gas-abrasive resistance of electric-arc coatings / М.М. Студент, Н. В. Pokhmurs'ka, V.V. Hvozdet's'kyi, М. Ya. Holovchuk, M.S. Romaniv // *Materials Science*. – 2009. – 45, N 4. – P. 481-489.
14. А.с. №1657230 СССР, МКИ В05 В7/22. Распылительная головка к электрометаллизатору / В.И. Похмурский, М.М. Студент, В.С. Пих, М.А. Тыхан. Оpubл. 23.06.91 Бюл. №23. – 3 с.
15. [Бабичев М. А. Методы определения внутренних напряжений в деталях машин. М.: Изд-во АН СССР, 1955. – 132 с.](#)
16. ГОСТ 9.304-87. Единая система от коррозии и старения. Покрытия газотермические. Общие требования и методы контроля. – Введ. 18.12.87. – М.: Госкомстандарт СССР, 1987. – 13 с.
17. Тушинский Л.И. Исследование структур и физико-механических свойств покрытий. / Л.И. Тушинский, А.В. Плохов. – Новосибирск: Наука, 1986. – 197 с.
18. Пат. № 40721 У України, МПК (2009) C23C 4/00, B22F 7/00, B32B 15/00. Порошковий дріт для одержання зносостійких електродугових покриттів / В.І.Похмурський, М.М.Студент, Ю.В.Дзьоба, І.Й.Сидорак; заявник і патентовласник ФМІ НАН України. – U2008 12842; заявл. 03.11.2008; опубл. 27.04.2009, Бюл. № 8.

В. Похмурський, М. Студент, В. Гвоздецький, Т. Ступницький, О. Мажейка, С. Маркович

Влияние состава шихты порошковых проволок на механические свойства электродуговых покрытий

В статье исследовано зависимость механических характеристик электродуговых покрытий от сомоорганизационных процессов, которые происходят при их формировании под воздействием элементного состава шихты порошковых проволок.

V. Pokhmurskiy, M. Student, V. Gvozdeckiy, T. Stupnickiy, O. Mazheyka, S. Markovich

Influence of composition of charge powder-like wires on mechanical properties of elektrometal coverages

The results of research of dependence of mechanical properties of elektrometal coverage are resulted from processes which take a place at their forming under act of element composition of powder-like wires.

Одержано 30.07.12

УДК 621.81.001.66(075.8)

В.В. Васильків, доц., канд. техн. наук

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Технології виготовлення секційних гвинтових заготовок

Робота присвячена питанням підвищення ефективності виробництва гвинтових секційних заготовок деталей машин за рахунок обґрунтованого вибору раціональних схем їх формоутворення та розроблення ресурсозберігаючих технологічних процесів їх виробництва. Представлено багатоваріантну структуру і класифікацію схем формоутворення гвинтових секційних заготовок штампованим методом (штампування розрізних шайб з листового прокату та їх розтягування на крок). Запропоновано нові способи виготовлення таких заготовок. Визначено умови доцільного використання таких технологій.

гвинтові секційні заготовки, формоутворення

Деталі машин, одержаних із секційних гвинтових заготовок (СГЗ) набувають усе більшого використання у різних галузях промислового виробництва. Підтвердженням цього є помітна тенденція до зростання обсягу та номенклатури таких деталей, які використовують в якості: робочих органів гвинтових змішувачів, подрібнювачів, грануляторів, шнекових транспортерів у будівельній, харчовій та переробній промисловості, сільськогосподарському машинобудуванні; гвинтових елементів теплообмінних апаратів (холодильні установки, апарати повітряного охолодження, калорифери, радіатори, теплоенергонагрівачі тощо) в нафтохімічній, газовій, енергетичній промисловості, в холодильному машинобудуванні та інших галузях, які використовують теплообмінні процеси; витих (стрічкових) магнітопроводів роторів електричних машин, трансформаторів в енергетичному та електротехнічному машинобудуванні тощо.

Виготовлення деталей типу шнеків із СГЗ здійснюють шляхом вирізування або вирубування з листового прокату початкових заготовок, виконаних у вигляді кільцевих секторів (секторних заготовок). Такі заготовки є розгортками витків на площину. Потім здійснюють формування крокової спіралі (надають їм форму випка) у штампі, або за допомогою спеціальних пристосувань до утворення СГЗ з наступним збиранням витків на валу, або з одночасним калібруванням на крок та зварюванням один з одним або попереднім зварюванням витків один з одним з наступним калібруванням на крок одержаної багатовиткової гвинтової заготовки. Далі здійснюють приварювання витків по внутрішній або зовнішній крайках до опорних елементів.

Розробці та дослідженню технологій виготовлення СГЗ присвячені праці Гевка Б.М., Бродського І.Л., Кравченка А.В., Вернікова Р.М., Гергета О.Д., Рогатинського Р.М., Маковкіна А.Ф., Пилипця М.І., Пилипаки С.Ф., Балдіної Є.М., Рябінова Д.Л., Мотико А.С., Гервасьєва А.М., Железкова В. Н., Даніеля Бен-Натана, Kamegawa Masayasu, Sasaki Shinji та ін. вчених. Незважаючи на значну кількість наукових праць, які присвячені виробництву таких заготовок, відсутня класифікація способів виготовлення таких заготовок, яка дозволить здійснювати синтез та обґрунтований вибір таких технологій. Крім цього рівень технологічного забезпечення їх виробництва в нашій державі та за її межами залишається недостатньо високим, а наукова база для його створення не завжди відповідає сучасним вимогам. Тому вирішення наукового завдання, яке полягає в розробці нових технологій виготовлення СГЗ з листових заготовок є актуальним, доцільним, значущим і перспективним для машинобудівної галузі України та інших держав.

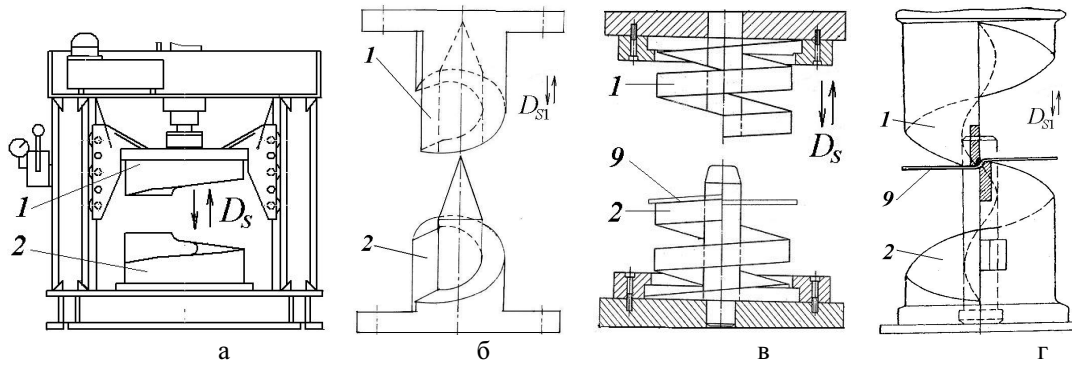
Тому метою роботи є системний аналіз та класифікація способів виготовлення СГЗ.

В результаті проведених досліджень розроблена узагальнена класифікація сучасних методів формоутворення СГЗ (рис. 1). Окремі способи виготовлення секційних гвинтових заготовок представлено на рис. 2 - 12. Основними структурними елементами схем формоутворення розглядуваних заготовок є: формуючі або опорні елементи: валки, ролики, планки, матриці, пуансони, калібри (на рисунках позначено п. 1, 2); оправа (вал), направляюча труба; гофро- або фаскоформувальні елементи (валки, матриці, пуансони) (на рисунках позначено п. 4); калібрувальні гофроформувальні елементи; початкова заготовка (секторна заготовка, смуга) (на рисунках позначено п. 9); гвинтова заготовка (на рисунках позначено п. 10); направляючі елементи спіралі; елементи формування кроку; проміжна заготовка (на рисунках позначено п.14); пристрій для кріплення витків до опорного елемента (на рисунках позначено п. 15); додаткові накладні елементи.

Поширеним способом формоутворення СГЗ є витяжка в штампі на пресі за допомогою пуансона і матриці з гвинтовими робочими поверхнями (рис. 2). Використання такого способу пов'язано з необхідністю вирішення питань центрування та фіксації заготовки (розтягування витка на великий кут викликає спотворення форми і розмірів витка, оскільки заготовка в процесі розтягування (формування) нічим не утримується від зміщення). Крім цього, при виготовленні СГЗ з тонкостінних матеріалів має місце значне пружинення. Тому для компенсації такого пружинення та фіксації заготовки на рухомій і нерухомій опорних частинах штампа можуть встановлюватись гнучкі інструменти, які можуть бути виконані у вигляді звернених один до одного циліндричних пружин стиску (рис. 2 в). У конструкції, яка представлена на рис. 2 г передбачені ножі, що мають поздовжні пази на різучій кромці для утворення заусенця, що втримує при розтягуванні заготовку. При русі траверси преса вниз заготовка розрізається по радіусі верхнім та нижнім ножами, що мають поздовжні пази, які утворюють заусенці і утримують заготівлю від зсуву. При подальшому русі траверси преса вниз, матрицею 1 і пуансоном 2 відбувається розтягування кільцевої заготовки (формування гвинтової поверхні витка), при цьому заусенці, утримуючись на виїмках ножів, не дозволяють заготовці зміщуватись, зберігаючи правильну форму окружності за зовнішнім та внутрішнім діаметрами. Після зняття витка здійснюють обрізування заусенців. Часто у матриці передбачають бурти для попередження зміщення заготовки у процесі її деформації.



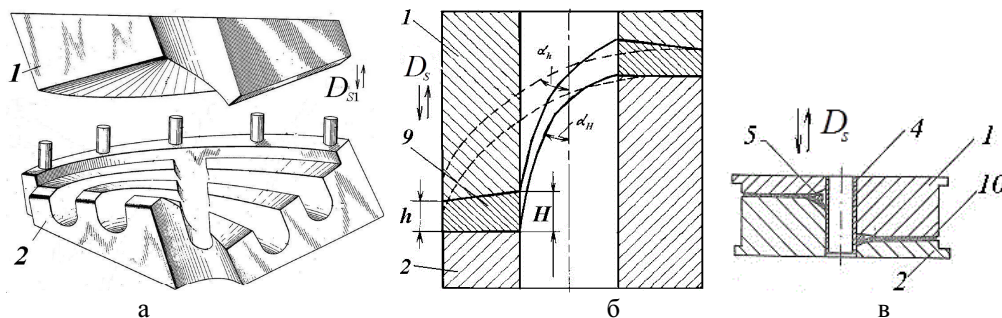
Рисунок 1 - Узагальнена класифікація основних способів формоутворення СГЗ



а – ОАО «Институт «Севзапэнергопроект» [1]; б – фірми "GU YIFENG" (Китай); в – автори - Потапенков М.А., Щекальов Н.А., Бер В.І., Горев Д.Н. (А.С. СРСР №963604); г – автори - І.С. Катков, Н.И. Бахтеев, В.М. Манаев, В.Н. Захаров, М.С. Кальнієнков, Н.Ф. Рудалев і В.М.Максіменко (А.С. СРСР №733784)

Рисунок 2 - Схеми формоутворення СГЗ на штампах

Формування крокових спіралей може здійснюватись шляхом холодного або гарячого штампування. Перший спосіб є менш енергомісткий та продуктивніший у порівнянні з другим. Так, наприклад, за даними німецької фірми "Lutz Kurth Bohrund Brunnenaustrustungen GmbH" формування витка в гарячому стані здійснюється в спеціальній матриці за тридцять хвилин, а в холодному стані - за одну-півтори хвилини. Для покращення умов деформування металу одну із робочих поверхонь штамп виконують профільованими за допомогою передбачених складно орієнтованих канавок (рис. 3 а).



а – автор – Joseph D. Christian (Пат. №US1748206 (А)); б – Пат. Росії №2080234С2; в - фірми "TRUSTUL ANTREPRIZA GENERALA CO" (Румунія)

Рисунок 3 - Схеми формоутворення СГЗ на штампах із профільованими робочими поверхнями пуансона і матриці

З метою зменшення нерівномірного затиску (закушування) листової заготовки штампом та реалізації формовки тільки деформацією зсуву винахідники Оніщенко А.К., Пополітов М.П., Тімохін В.С., Шілков В.Б. (Пат. Росії №2080234С2) запропонували між робочими гелікоїдними поверхнями пуансона та матриці виконувати щілину розбіжною до центру внутрішньої гвинтової лінії у відповідності із залежністю:

$$\delta = H - h = a \left((\sin \alpha_H)^{-1} - (\sin \alpha_h)^{-1} \right), \quad (1)$$

де H і h - щілини відповідно по внутрішній і зовнішній гвинтових лініях;

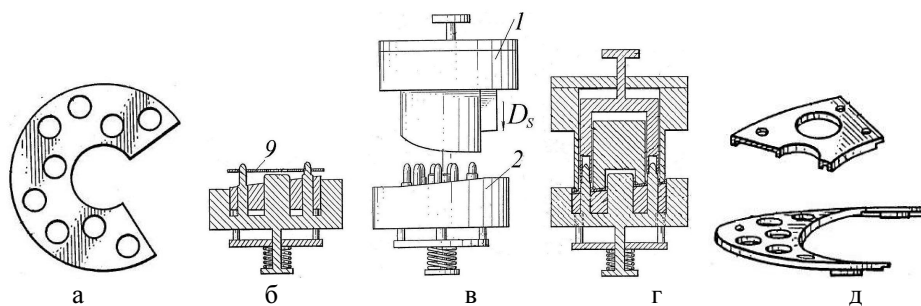
a - товщина листової заготовки;

α_H і α_h - кути підйому відповідно внутрішньої і зовнішньої гвинтових ліній.

Щілина може бути виконана розбіжною у верхній частині, в нижній частині або в обох частинах.

Інженери Filip Stefan Gheorghe, Luru Minela, Gheorghe Ion із фірми “TRUSTUL ANTREPRIZA GENERALA CO” (Ромунія) запропонували встановлювати на робочу поверхню штампа гвинтову вставку 5, виконану із високоміцного матеріалу (рис. 3 в). Вставка формує ребро жорсткості на внутрішній країці витка і тим самим знижує пружинення і підвищує жорсткість витка.

Зменшенню зусиль деформування сприяє спосіб виконання витків перфорованими. Такі витки часто використовують як каркас для кріплення секторних пластин, або як елементи армування полімерних ГЗ. Виготовлення перфорованих СГЗ здійснюють із перфорованих (рис. 4) або суцільних початкових кільцевих секторних заготовок (рис. 5). В першому випадку перфорація здійснюється як другий етап після формування крокової заготовки в штампі.



а – перфорована початкова секторна заготовка, б – схема встановлення заготовки у матриці; в – схема формоутворення; г – кінцеве положення матриці та пуансона у процесі формоутворення; д – гвинтова заготовка

Рисунок 4 - Структурна схема процесу формоутворення перфорованих СГЗ фірми “KAMUI COMPANY LTD” (США) із перфорованих початкових секторних заготовок

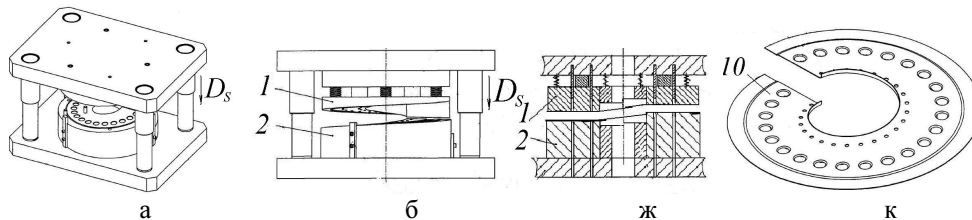
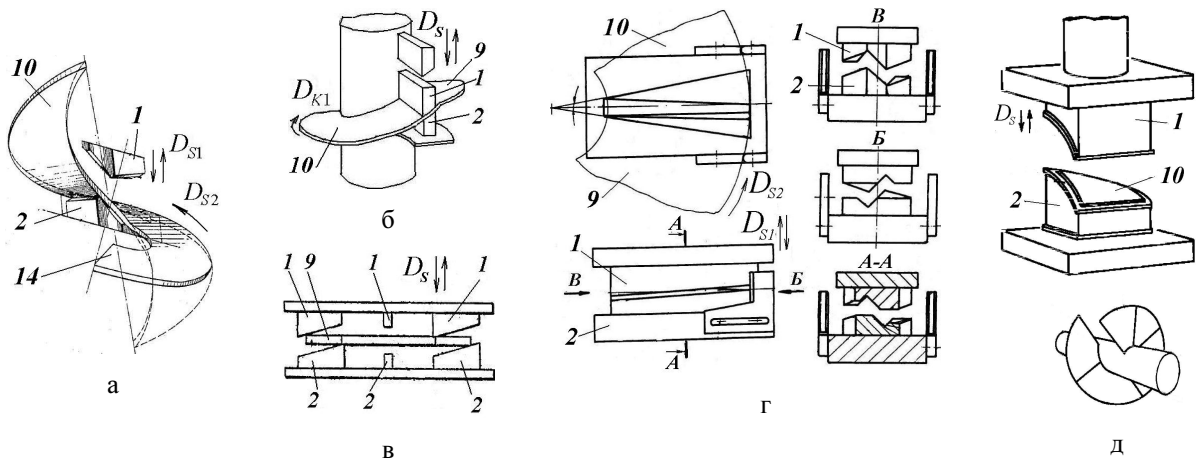


Рисунок 5 - Структурна схема процесу формоутворення перфорованих СГЗ фірми “713TH RES INST OF CHINA SHIPBU” (Китай) із суцільних початкових секторних заготовок

Для підвищення точності формоутворення СГЗ із високоміцних матеріалів часто здійснюють покрокову деформацію сегментних ділянок кільцевої заготовки за допомогою сегментних пуансона і матриці з робочими гелікоїдними поверхнями (рис. 6). Таку технологію, наприклад, використовують такі відомі фірми як “Industrial Screw Conveyors, Inc.” (США), “Pengo” (США), “Muttersgesellschaft Herzing & Schroth” (Німеччина). Схему, яка представлена на рис. 6 в, рекомендується використовувати для заготовок з центральним кутом приблизно 180 град. Робочі поверхні пуансона і матриці мають нахил, який враховує наявність пружинення. Розміщення робочих елементів зумовлює кручення поперечного перерізу витка. Для покращення умов деформування металу польські винахідники Stefan Biela та Czeslaw Brzeźniak (Пат. №№PL295433, PL168281В(В1)) запропонували виконувати робочі поверхні штампу профільованими за допомогою передбачених складно орієнтованих канавок (рис. 6 г). У багатьох випадках в якості початкових заготовок використовують сегментні (кільцеві секторні) заготовки із незначними

центральною кутами (рис. 6 д). Відповідно після деформації таких заготовок одержують короткі СГЗ, які потім зварюють між собою. Така технологія дозволяє використовувати більш міцні матеріали.



а – заводу “PET ARN ALTENA” (м. Remscheid-Hasten, Німеччина); б - автори - Kameyama Mei, Kawashima Takeo (Пат. №JP62060170); в - фірми “LEE NORSE CO” (Великобританія); г - автори - Stefan Biela та Czeslaw Brzeźniak (Пат. №№PL295433, PL168281B (B1)); д - фірми “ISHIKAWAJIMA HARIMA HEAVY IND” (Японія)

Рисунок 6 - Схеми формоутворення СГЗ шляхом покрокового деформування початкових заготовок

У процесі виготовлення коротких СГЗ таким матеріалам легше надати необхідної форми. Крім цього, з окремих секційних елементів із високоміцних матеріалів можна утворити гвинтову заготовку будь-кого кроку та діаметру. Для покращення умов деформування таких початкових заготовок у процесі формування крокової спіралі польські винахідники Zwolinski Janislaw, Zatyka Henryk, Pawlicki Jakub (Пат. №PL181471 (B1)) запропонували використовувати виготовляти СГЗ із послідовно з’єднаних секторних заготовок із різними центральними кутами. Іншим технічним рішенням покращення процесів деформації при формоутворенні ГЗ із високоміцних матеріалів є використання плоских кільцевих заготовок із надрізами зі сторони внутрішнього діаметра або прорізи у секторах (рис. 7).

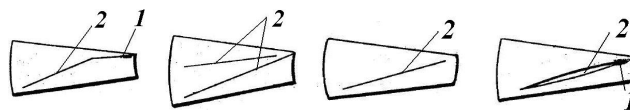


Рисунок 7 - Види початкових заготовок у формі секторів із прорізами: 1 – зварний шов; 2 - прорізь

При виготовленні широковиткових гвинтових заготовок витки роблять складеними із зовнішнього та внутрішнього СГЗ. Це покращує профілювання витка на крок.

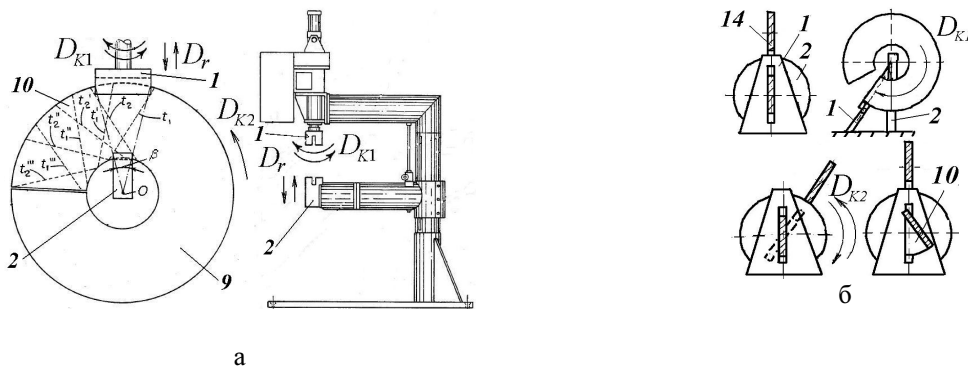
Прикладом спеціальної технології виготовлення СГЗ є витяжка витка в штампі, що містить матрицю і пуансон, які виготовленні з матеріалу з ефектом пам’яті форми. Матриця і пуансон являють собою дві секторні ділянки плоского диску. Потім нагрівають штамп, в результаті чого робочі поверхні матриці і пуансона набувають гвинтової форми і надають гвинтової форми заготовці (Пат №RU2008125).

Окрему групу способів виготовлення СГЗ складають технології, що базуються на деформаціях покрокового скручування початкових заготовок (дискретного розтягування заготовки в осьовому напрямку) (рис. 8).

У способі, наведеному на рис. 8 а, заготовка встановлюється між верхнім та нижнім штампами. Ділянка верхньої крайки кільцевої секторної заготовки вставляється

в паз верхнього штампа, а внутрішня – в паз нижнього штампа. Значення центрального кута $\beta = 14...20^\circ$. У процесі формоутворення нижній штамп залишається нерухомим, а верхній повертається на кут, різниці кутів нахилу зовнішньої та внутрішньої крайок витка ШГЗ (t_1, t_1', t_1'' і т. д. – лінії деформації);. Потім верхній штамп піднімається а заготовку повертають відносно її осі O . Після цього верхній штамп опускають і цикл деформації повторюється.

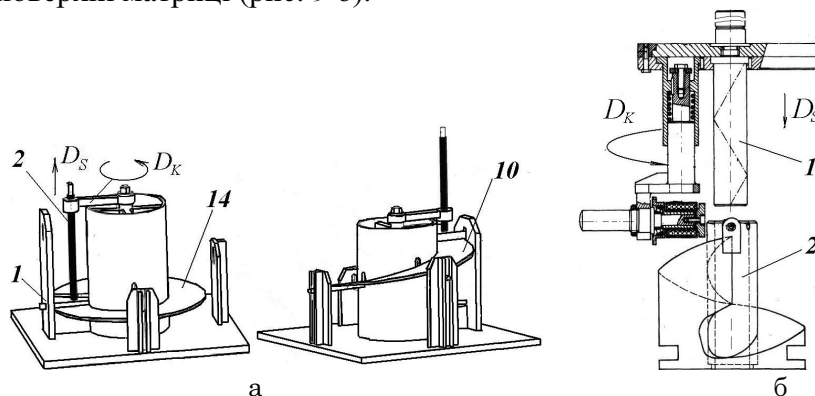
Згідно схеми, поданої на рис. 8 б розтягування здійснюють дискретно і покроково за секторами, на які попередньо поділено початкову заготовку. Завдання вдосконалення таких технологій пов'язані із автоматизацією процесу та покращення умов подачі заготовки в зону деформації (Пат. №АТ354829, А.С. СРСР №667282А). Такий спосіб, наприклад, використовується фірмою “OESTREICHER PURATOR” (Австрія).



а – фірми “KOPPERS CO INC” (США); б – автор – Золотухін С.В. (Пат. України №53522)

Рисунок 8 - Схеми формоутворення СГЗ способом покрокового скручування початкових заготовок

Можливість корекції в процесі гнуття геометричних параметрів витка гвинтової заготовки та підвищену точність забезпечують технології, що ґрунтуються на схемах плавного деформування початкових заготовок (рис. 9). При опусканні пуансона, завдяки гвинтовому русі формуючого елемента відбувається плавне осьове розтягування (рис. 9 а) або обкатування формувальним роликом заготовки, розміщеної на гвинтовій поверхні матриці (рис. 9 б).



а – фірми “TIANJIN BORUIKANG MACHINERY MF” (Китай); б – винахідники - Frydrych Milan і Dobesch Otto (Чехія, Пат. №CS8706986)

Рисунок 9 - Схеми формоутворення СГЗ способами обкатування

Одним із поширених способів формування крокових спіралей в одиничному виробництві є згинання витків по лініях, кожні дві суміжні із яких утворюють трикутні

сегменти (рис. 10). Такий спосіб використовується також для деформації початкових секторних заготовок із незначними центральними кутами (Пат. №US2437259).

У виробництві часто використовують так звану схему “вільного розтягування”, яка полягає в деформації заготовки шляхом осевого переміщення її кінців. Схему подану на рис. 11 а використовують для розтягування кільцевих заготовок із секторним вирізом, а схеми рис. 11 в, е, г, д - для розтягування кільцевих заготовок із радіальною проріззю. Для реалізації таких схем використовують різне обладнання (Пат. №№JP4105715, US4693861 (A1)), JP60259422 (A), EP0161787 (A3), EP0161787 (B1), JP2005052851). Схема 11 б використовується для калібрування на крок початкової заготовки та одночасного закріплення одержаної СГЗ на валу для одержання деталі типу шнек.

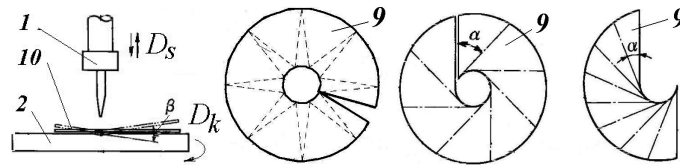
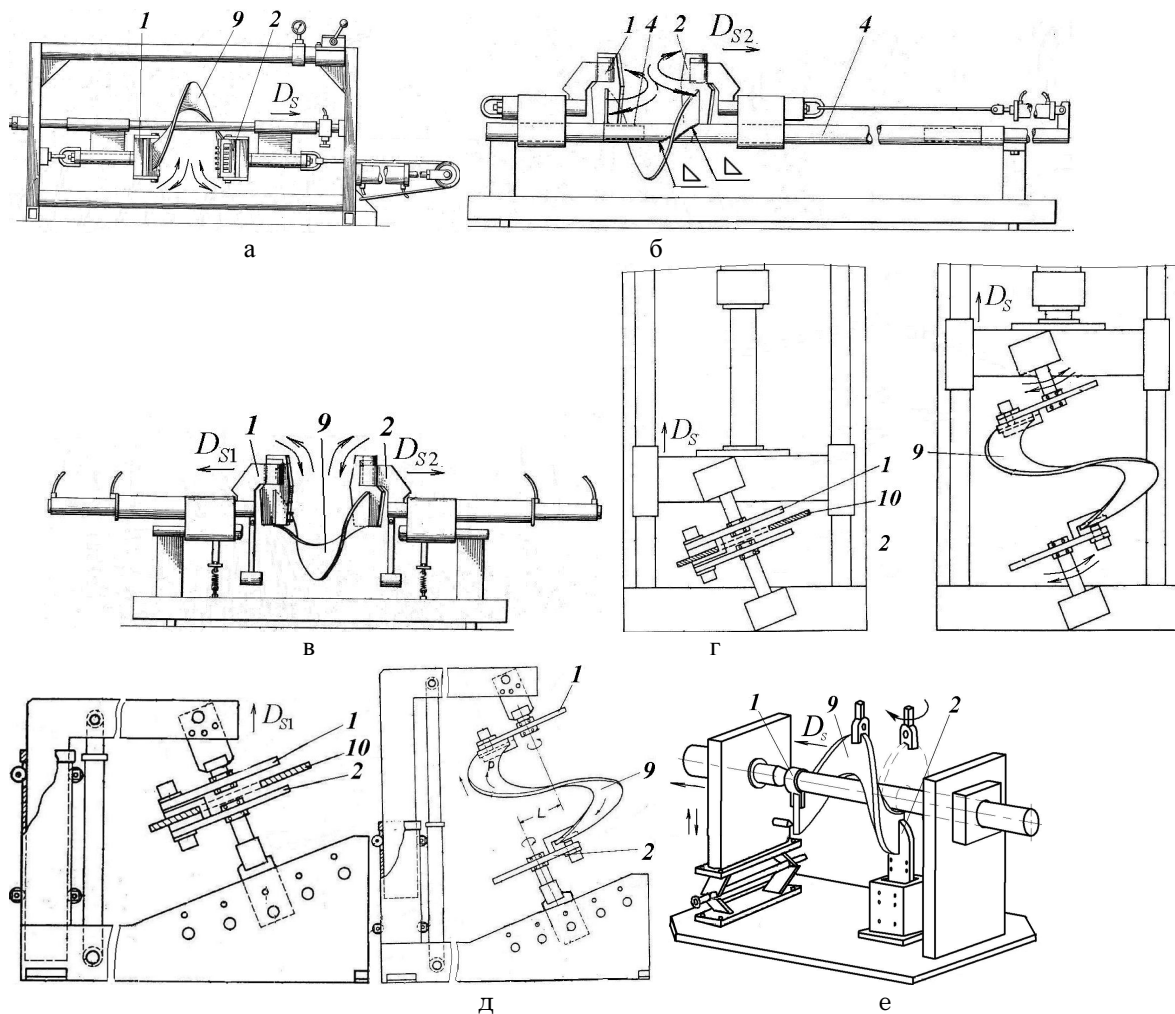


Рисунок 10 - Схема формоутворення СГЗ способом згинання фірми “ISHIKAWAJIMA HARIMA HEAVY IND” (Японія) та конструкції кільцевих секторних заготовок з лініями згину, які утворюють трикутні сегменти із центральним кутом α (штрих пунктиром позначено лінії згину витка)

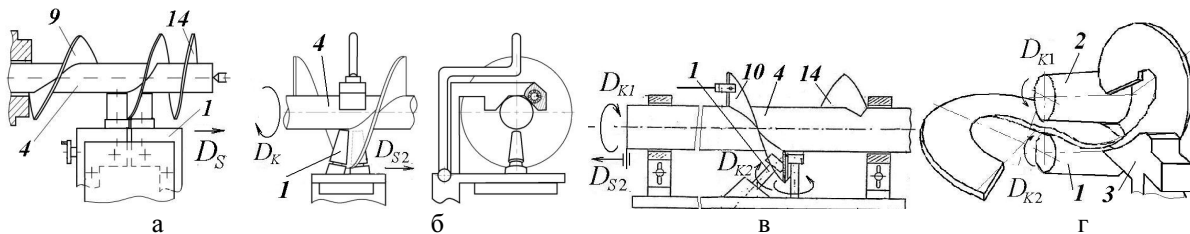


а, б, в – автор - Трасу Т. Fender (Пат. №US3485116); г, д - компанії “ISHIFUKU KENSETSU KK” (Японія); е – фірм “HOSHIN SANGYO KK” і “NIPPON STEEL CORP” (Японія)

Рисунок 11 - Схеми формоутворення СГЗ способами вільного розтягування:

Загалом, процеси калібрування на крок, об'єднані із операцією встановлення і закріплення спіралі на валу, знайшли широке використання як в масовому, так і одиничному виробництві. Схеми формоутворення реалізуються здебільшого за допомогою вилкових, гребінкових та пальцевих пристроїв, встановлених на токарних верстатах (рис. 12 а, б). Особливістю таких способів є відсутність необхідності використання спеціального оснащення для кожного типорозміру шнека, та можливість виготовлення шнеків зі змінним кроком. Для підвищення точності і жорсткості СГЗ фірма "AGROMAT KFT" (Угорщина) впровадила у виробництво технологію калібрування на крок, шляхом прокатування витків у спеціальному пристосуванні (рис. 12 в). В результаті цього змінюється профіль поперечного перерізу витка.

До одних із спеціальних способів виготовлення СГЗ належить прокатування. Таку технологію вперше запропонували інженери із інструментального заводу PET ARN ALTENA із міста Remscheid-Hasten (Німеччина) ще в 1927 році. В 1930р. вони одержали патент №509251.



а – [2]; б – автори - Макаліш А.М. і Горемикін В.П. (А.с. СРСР №609567); в - компанії "MITSUBISHI HEAVY IND LTD" (Японія); г – [2]

Рисунок 12 - Схеми формоутворення СГЗ способом осиметричного обтискання

Згідно такого способу смугову заготовку прямокутного перерізу пропускають між конічними вальцями, які утворюють між собою клиноподібну щілину. Внаслідок зміни січення з прямокутного на трапецеподібне збільшується ширина смуги, і вона скручується до утворення плоского витка. Потім одержану кільцеву заготовку піддають послідовному деформуванню ділянок кільцевої заготовки в штампі з гвинтовими робочими поверхнями пуансона та матриці. Вдосконаленням такого способу є використання в якості початкової заготовки кільцевих секторних заготовок, а також використання у механізмі прокатування у зоні виходу деформованої заготовки із валків клинового механізму, тобто пристрою для формування крокової спіралі (рис. 12 г).

Основними шляхами вдосконалення способів виготовлення СГЗ є використання оригінального обладнання (ротаційних штампів (пристроїв для торцевого обкатування) для штампування шляхом обкатування роликком по гвинтовій робочій поверхні матриці) та пошук нових схем: а) одержання плоских кільцевих секторних заготовок шляхом використання в якості початкових заготовок смугових, трубних, неперервно-секторних заготовок (у формі кільцевих секторів, з'єднаних пазовими перемичками) тощо; б) деформування секторних заготовок. Наприклад, вдосконаленням способу виготовлення СГЗ, при якому одержують кільцеву секторну заготовку та деформують її в штампі між пуансоном, з гвинтовою робочою поверхнею, та матрицею шляхом їх змикання по товщині заготовки, є деформування секторної заготовки шляхом проникнення пуансона з кільцевою секторною заготовкою в пружну матрицю з плоскою робочою поверхнею. Іншими прикладами є вібраційне, магнітно-імпульсне, статико-імпульсне штампування тощо.

Перевагами СГЗ у порівнянні із прокатними і навивними гвинтовими заготовками є невибагливість до матеріалу, можливість виготовлення на універсальному обладнанні з використанням типових штампів або обладнання для газового або повітряно-плазмового різання і відпрацьованою технологією виготовлення; їх область застосування поширюється на всі спіралі із коефіцієнтом видовження спіралі $2,6...3$; на заготовки спіралі у яких виготовляється із матеріалу з коефіцієнтом видовження $\delta_3 < 0,12...0,15$; на всі спіралі, відношення ширини B до товщини H витка яких $b = B / H > 100$; на спіралі також з $b > 20$ і кроком $T < 0,7D$, а також коли одночасно $H > 4...5$, $B > 20$, чи $H > 4...5$, $B > 80$ мм (гаряче витягування на крок спіралі).

Висновки. В результаті проведених пошукових досліджень розроблена класифікація способів формоутворення СГЗ, висвітлені області їх застосування, а також відмічені шляхи їх вдосконалення.

Список літератури

1. Железков В. Н. Винтовые сваи в энергетической и других отраслях строительства. Монография. / В. Н. Железков. – СПб.: изд. Дом Прагма, 2004. – 128 с.
2. Технологічні основи формотворення різнопрофільних гвинтових заготовок /Б.М. Гевко, М.І. Пилипець, В.В. Васильків, Д.Л. Радик. – Тернопіль: Вид-во ТДТУ ім. І. Пулюя, 2009. – 457 с.

В.Васильків

Технологии изготовления секционных винтовых заготовок

Работа посвящена вопросам повышения эффективности изготовления винтовых секционных заготовок деталей машин за счет обоснованного выбора рациональных схем их формообразования и разработки ресурсосберегающих технологических процессов их производства. Предоставлено многовариантную структуру и классификацию схем формообразования винтовых секционных заготовок штампосварным методом (штамповка разрезных шайб из листового проката и их растяжения на шаг). Предложены новые способы для изготовления таких заготовок. Определены условия целесообразного использования таких технологий.

V. Vasylykiv

Technologies producing screw flight billets

The article deals with problems of effective increase in making of machine part of sectional screw flights billets due to the informed choice of rational schemes for their shaping and development of rational progressive technological process for their manufacturing. The multivariant structures and classification of schemes shaping of sectional screw flight billets by stamp welding method (punching of cut washers out of a rolled metal and their step stretch) are presented. The new ways manufacturing such billets are proposed. The conditions of the appropriate use of such technologies are determinated.

Одержано 21.09.12

УДК 631.227:681.311

М.А. Зиновик, проф., д-р хим. наук, Е.В. Зиновик, доц., канд. хим. наук

Кировоградский национальный технический университет

Условия образования и эволюции вторичной микроструктуры в ферритах системы Mg-Mn-Zn-Ca-Fe-O

С помощью микроструктурного анализа исследованы условия образования, эволюции и исчезновения вторичной микроструктуры. Установлено, что она образуется в окисленных образцах при 823-1223 К в процессе охлаждения на воздухе от температуры обжига или в результате отжига закаленных образцов на воздухе и при 773-1223 – в вакууме. Вторичная микроструктура обратима: повторный высокотемпературный обжиг приводит к её исчезновению. При отжиге в области температур 773-823 К формируется точечная микроструктура, которая при повышении температуры эволюционирует в линии, а последние в сетчатую структуру.

феррит, первичная и вторичная микроструктуры, обжиг, закалка, отжиг, микрошлифы, микрофотографии

При высокотемпературном обжиге образцов формируется первичная микроструктура в виде поликристаллов. Она легко выявляется с помощью оптического микроскопа на микрошлифах, подвергнутых химическому травлению [1]. Повторные термообработки спеченных образцов не приводят к её исчезновению, поэтому первичная микроструктура является необратимой.

Вторичная микроструктура* формируется внутри кристаллитов и выявляется под микроскопом в виде фигур травления. В зависимости от режимов термообработки вторичная микроструктура может изменяться по форме и размерам или вовсе исчезать. Поэтому, в отличие от первичной, она является обратимой. Такая особенность вторичной микроструктуры позволяет изменять электромагнитные параметры в широких пределах и доводить бракованные изделия до годных. В частности, в производстве элементов памяти для переключающих и логических устройств таким путем достигнуто значительное снижение брака [3].

Вторичная микроструктура изучалась в работах [2, 3] в связи с поиском технологии, позволяющей повысить выход годных изделий (элементов).

Несмотря на важное прикладное значение такой микроструктуры системных исследований условий её образования не проводилось. Восполнение этого пробела – цель настоящей работы.

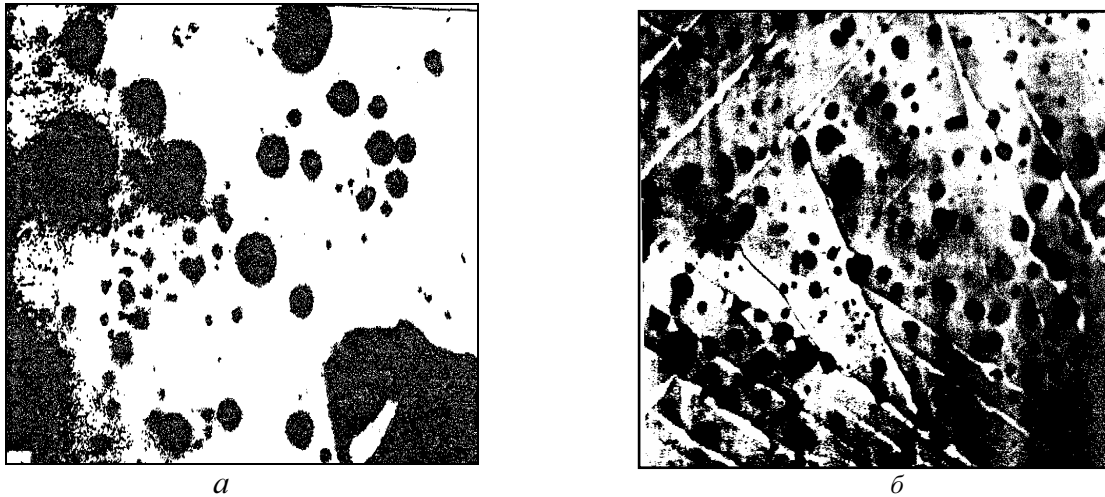
Объектом исследования являлись элементы памяти (образцы торроидальной формы с размерами 3,1×1,5×1,4 мм) стандартизированной марки 0,16 Вт состава $(\text{MgFe}_2\text{O}_4)_{0,203}(\text{Mn}^{2+}\text{Fe}_2\text{O}_4)_{0,299}(\text{ZnFe}_2\text{O}_4)_{0,252}(\text{CaFe}_2\text{O}_4)_{0,068}(\text{Mn}^{2+}\text{Mn}^{3+}_2\text{O}_4)_{0,178}$ (1), которые используются в промышленности и сельском хозяйстве при создании автоматизированных систем управления различными процессами.

© М.А. Зиновик, Е.В. Зиновик, 2012

* Впервые вторичная микроструктура в ферритах обнаружена Зиновиком М.А. [2].

Подготовка образцов и методы исследования не отличались от описанных в работе [3].

Результаты исследований и их обсуждение. Исследование полированных шлифов экспериментальных образцов, прошедших различные термообработки, не показало каких-либо особенностей микроструктуры. Во всех случаях под микроскопом наблюдалось белое поле феррита, покрытое черными пятнами (порами) (рис.1,*a*).



a – однофазный образец состава (1); *б* – двухфазный (шпинель+ M_2O_3 ($M= Fe+Mn$)) образец состава $MnFe_2O_4$

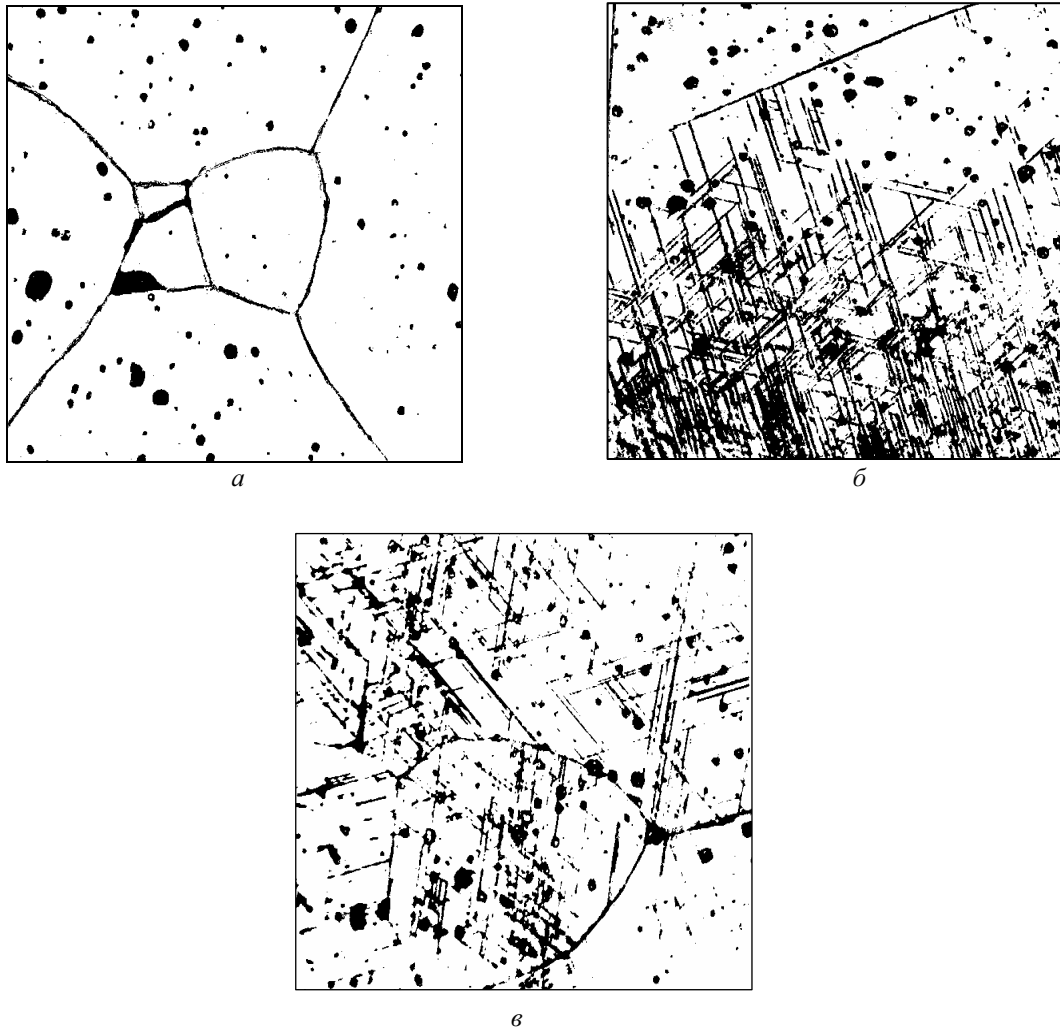
Рисунок 1– Микроструктура полированных образцов до травления кислотой

Все образцы были однофазными. Дополнительная фаза, которая предположительно могла образоваться вследствие окисления Mn^{2+} до Mn^{3+} и распада $Mn^{2+}Fe_2O_4$, $Mn^{2+}Mn_2^{3+}O_4$, легко была бы обнаружена. Это подтверждает рис. 1,*б*, на котором хорошо видна вторая фаза M_2O_3 ($M= Fe+Mn$) в виде белых иглоподобных образований, возникающих при окислении и распаде феррита марганца в процессе медленного охлаждения на воздухе. Гомогенность образцов состава (1) подтверждается также и рентгенофазовым анализом [4]. В то же время магнитные свойства образцов в зависимости от условий термообработки изменяются в широких пределах [5]. Причиной этого является образование вторичной микроструктуры различного характера, которая выявляется на микрошлифах путем травления 5%-м водным раствором плавиковой кислоты (рис.2 – 4). В работе [6] показано, что окисление $Mn^{2+} \rightarrow Mn^{3+}$ в феррите состава (1) протекает во время охлаждения при сохранении однофазного состояния и сопровождается формированием дефектной шпинели с катионными вакансиями типа $M_3O_{4+\gamma}$. Вторичная микроструктура представляет собой участки шпинели с такой дефектностью, которые, по сравнению с матрицей феррита, естественно легче поддаются травлению кислотой.

Для образцов, закаленных в интервале 1273 К – температура обжига, а также медленно охлажденных до комнатной температуры в вакууме, характерна обычная первичная микроструктура с четко выраженными границами поликристаллов (рис. 2, *a*). Величина их находится в пределах 0,02 – 0,15 мм. Образцы же, закаленные при температурах, меньших 1273 К, показали после травления «сетку», которая возникает на поверхности (рис.2, *б*), а при дальнейшем охлаждении на воздухе распространяется во всем объеме образцов (рис. 2, *в*). Магнитные свойства при этом резко ухудшаются

[5]. Следовательно, образование вторичной микроструктуры связано с окислением образцов.

Низкотемпературный отжиг при 673 К в течение 20 часов на воздухе и в вакууме не изменил исходную микроструктуру образцов независимо от температуры их закалки и способа охлаждения после высокотемпературного обжига. Магнитные свойства закаленных элементов при этом несколько повысились за счёт снятия возникших при закалке механических напряжений [3].



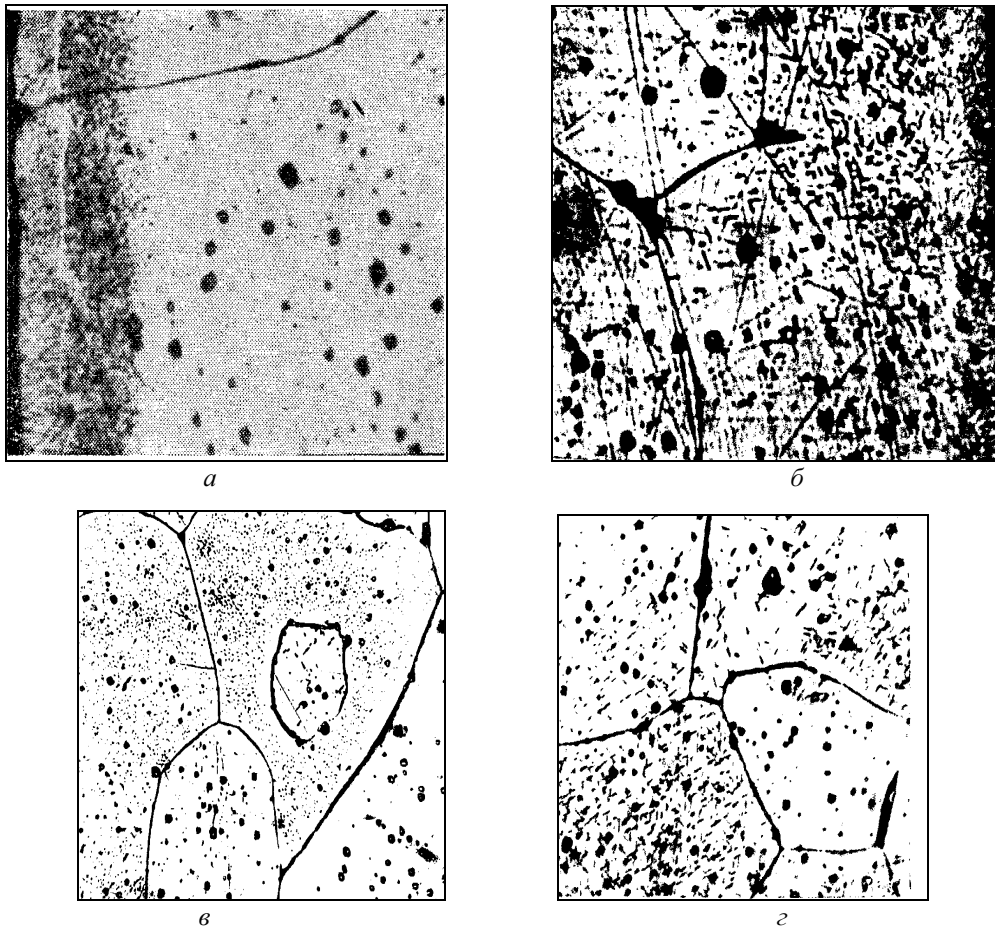
a – закалка от 1273К; *б* – закалка от 1223 К; *в*– охлаждение на воздухе с печью до комнатной температуры

Рисунок 2 – Микроструктура однофазных образцов, прошедших обжиг на воздухе при 1603 К, 3 ч.

Повышение температуры отжига спеченных образцов до 823 К вызвало образование вторичной микроструктуры (рис. 3). Для образцов, закаленных на воздухе вместе никелевой пластиной от 1603 К и отожженных при 823 К, фигуры травления возникают на поверхности (рис.3, *a*, *б*), а от 1273 К – и в объеме образца (рис.3, *в*, *г*). Они характеризуются менее протяженными образованиями, чем показанные на рис.2, *б*, *в*.

Характерно, что спеченные при высокой температуре образцы в процессе низкотемпературного отжига до 1073 К не изменяют своей массы, то есть не окисляются.

Отжиг на воздухе при 873 К привел к образованию микроструктуры, аналогичной показанной на рис. 3, б, г. Интересно, что и магнитные свойства при этом изменились так же, как после отжига в вакууме при 823 К, к которому относятся рисунки 3, б, г [5]. Из этого следует вывод о том, что в отсутствие атмосферного давления (в вакууме) вторичная микроструктура возникает при меньшей (~ на 50°) температуре отжига. Этот результат можно объяснить тем, что атмосферное давление, так же как и снижение температуры, уменьшает подвижность участков с повышенной дефектностью и тормозит их ассоциацию.



а, б – закалка от 1603К (*а* – отжиг на воздухе, *б* – в вакууме);
в, г – закалка от 1273К (*в* – отжиг на воздухе, *г* – в вакууме)

Рисунок 3 – Микроструктура закаленных образцов (обжиг на воздухе при 1603К, 3ч.), а затем отожженных при 823К, 15ч.

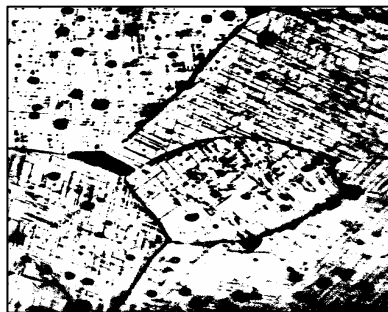


Рисунок 4 – Микроструктура закаленного от 1273К образца (обжиг при 1603К, 3ч.), а затем отожженного на воздухе при 973К, 1ч.

Дальнейшее повышение температуры низкотемпературного отжига способствовало образованию сетчатой микроструктуры.

На рис. 4 хорошо видно, что точечные образования постепенно сливаются, возникают линии, характерные для рис. 2, б, в. Магнитные свойства этих образцов также аналогичны медленно охлажденным на воздухе образцам [5].

После всех рассмотренных выше термообработок при 1603 К в течение 0,5 часа и закалены от 1473 К перемещением никелевой пластины из печи на воздух микроструктура всех образцов после этого обжига соответствовала первоначальной (рис. 2, а). Магнитные свойства образцов также отвечали исходному состоянию [5, 7]. Следовательно, образование вторичной микроструктуры имеет обратимый характер.

Выводы. Вторичная микроструктура образуется: 1) в образцах прошедших высокотемпературное окисление; 2) в области температур 823 -1223 К при охлаждении на воздухе от температуры обжига или в результате отжига закаленных образцов на воздухе и при 773 – 1223 К – в вакууме.

Вторичная микроструктура обратима: при повторном высокотемпературном обжиге она полностью исчезает.

Повышение температуры отжига сопровождается эволюцией вторичной микроструктуры: при 773 -823 К формируется точечная структура в виде беспорядочно расположенных внутри кристаллитов точек, которые при повышении температуры вначале выстраиваются и сливаются в линии, а затем линии образуют сетчатую структуру. Обратный процесс не возможен: получить точечную структуру из сетчатой нельзя.

Список литературы

1. Рабкин Л.И. Ферриты / Рабкин Л.И., Соскин С.А., Эпштейн Б.Ш. – Л.: Энергия, 1968. –384 с.
2. Зиновик М.А. Синтез, структурные, термодинамические и магнитные свойства многокомпонентных ферритов в системах Cu-Mn-Fe-O и Mg-Mn-Zn-Ca-Fe-O: дис. ... канд. хим. наук: 02.00.04. – Свердловск, АН СССР.- Институт электрохимии, 1971. – 145с.
3. Зиновик М.А. Влияние условий термической обработки на структуру и функциональные свойства ферритовых элементов электроавтоматики / Зиновик М.А., Зиновик Е.В. – Кіровоград: КНТУ, 2011. – С. 284-290. – (Збірник наукових праць КНТУ. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація; вип. 24, Ч.1).
4. Щепеткин А.А. Влияние термообработки на кристаллическую структуру и свойства магниймарганцевых ферритов / Щепеткин А.А., Зиновик М.А., Деулин М.И., Чуфаров Г.И.// Изв. АН СССР, Неорган. материалы. – 1969. – Т.5, №7. – С.1259-1263.
5. Зиновик М.А. Влияние термообработки на магнитные свойства ферритов с прямоугольной петлей гистерезиса / Зиновик М.А., Щепеткин А.А., Чуфаров Г.И.// Электронная техника. Серия 14. Материалы. – 1968. – Вып.6. – С.144-156.
6. Зиновик М.А. Ферриты с прямоугольной и квадратной петлей гистерезиса / Зиновик М.А, Зиновик Е.В. // Порошковая металлургия. – 2005. – №1/2. – С. 80-89.
7. Зиновик М.А. О природе спонтанной прямоугольной и квадратной петель магнитного гистерезиса ферритов /Зиновик М.А, Зиновик Е.В. // Российская АН, Неорганические материалы. – 2004. – Т.40, №5. – С.617 – 624.

М. Зиновік, О. Зиновік

Умови утворення і еволюції вторинної микроструктури у феритах системи Mg-Mn-Zn-Ca-Fe-O

За допомогою микроструктурного аналізу досліджено умови утворення, еволюції і зникнення вторинної микроструктури. Встановлено, що вона утворюється в окислених зразках при 823-1223 К в процесі охолодження на повітрі від температури випалення або в результаті відпалу загартованих зразків на повітрі і при 773-1223 - у вакуумі. Вторинна микроструктура обратима: повторне високотемпературне випалення призводить до її зникнення. При відпалі в ділянці температур 773-823 К формується точкова микроструктура, яка при підвищенні температури еволюціонує в лінії, а останні в сітчасту структуру.

M. Zinovik, E. Zinovik

Conditions of forming and evolution of secondary microstructure in ferrites of Mg-Mn-Zn-Ca-Fe-O system

We have studied by microstructural analysis conditions of forming evolution and vanishing of secondary microstructure. It was found that it is formed in oxidized patterns under 823 – 1223 K in vacuum. Secondary microstructure is reversible: secondary high temperature kilning leads to its vanishing. During annealing under 773 – 1223 K spot microstructure is formed that under temperature rising evolutionizes in lines and the last into netted structure.

Получено 20.09.12

УДК 631.33: 631.58

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

О.М. Гайденко, ст.наук.співроб., канд. техн. наук
Кіровоградська державна сільськогосподарська дослідна станція

Полеві випробовування експериментальної сівалки прямого посіву зернових культур

Наведено результати польових випробовувань експериментальної сівалки прямого посіву зернових культур. Підтверджено ефективність застосування посівної секції з сошниками, які мають гострий кут входження в ґрунт. Визначено головні агротехнічні показники роботи посівного агрегату.
сівалка, посівна секція, сошник, рослинні рештки, зернові культури, no-till, стеблевідвід

Інтенсивні технології вирощування сільськогосподарських культур, які були найбільш поширені в кінці ХХ століття привели до підвищення небезпечних ерозійних процесів, наслідком чого стало значне зниження природної родючості ґрунтів. Пошук шляхів вирішення проблеми привів до застосування енергоощадних і безпечних з екологічної точки зору, так званих, no-till технологій. Такі технології замінюють традиційні підходи до вирощування сільськогосподарських культур і в даний час вони отримують широке розповсюдження на українських полях [1, 2, 3].

Великий інтерес до сівби без попереднього обробітку ґрунту привів до появи на ринку сільськогосподарської техніки надмірно великої кількості сівалок прямого посіву, так як вони є головною машиною у механізованих no-till технологіях вирощування сільськогосподарських культур. Такі машини, в більшості імпортного виробництва, не завжди адаптуються до умов роботи на наших ґрунтах, не повністю забезпечують агротехнічні і екологічні вимоги, мають високу вартість, питому металоємність, що не дозволяє отримати бажаний ефект сільськогосподарським виробникам від застосування таких технологій [4]. Актуальною стає задача створення порівняно недорогих сівалок прямого посіву, які б не мали наведених вище недоліків.

Проведені теоретичні дослідження [5, 6] започаткували вирішення проблеми надмірної ваги посівних машин для сівби по необробленому полю. Визначені напрями вдосконалення і обґрунтовані основні конструктивні параметри стеблевідводу сошника

M. Zinovik, E. Zinovik

Conditions of forming and evolution of secondary microstructure in ferrites of Mg-Mn-Zn-Ca-Fe-O system

We have studied by microstructural analysis conditions of forming evolution and vanishing of secondary microstructure. It was found that it is formed in oxidized patterns under 823 – 1223 K in vacuum. Secondary microstructure is reversible: secondary high temperature kilning leads to its vanishing. During annealing under 773 – 1223 K spot microstructure is formed that under temperature rising evolutionizes in lines and the last into netted structure.

Получено 20.09.12

УДК 631.33: 631.58

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

О.М. Гайденко, ст.наук.співроб., канд. техн. наук
Кіровоградська державна сільськогосподарська дослідна станція

Полеві випробовування експериментальної сівалки прямого посіву зернових культур

Наведено результати польових випробовувань експериментальної сівалки прямого посіву зернових культур. Підтверджено ефективність застосування посівної секції з сошниками, які мають гострий кут входження в ґрунт. Визначено головні агротехнічні показники роботи посівного агрегату.
сівалка, посівна секція, сошник, рослинні рештки, зернові культури, no-till, стеблевідвід

Інтенсивні технології вирощування сільськогосподарських культур, які були найбільш поширені в кінці ХХ століття привели до підвищення небезпечних ерозійних процесів, наслідком чого стало значне зниження природної родючості ґрунтів. Пошук шляхів вирішення проблеми привів до застосування енергоощадних і безпечних з екологічної точки зору, так званих, no-till технологій. Такі технології замінюють традиційні підходи до вирощування сільськогосподарських культур і в даний час вони отримують широке розповсюдження на українських полях [1, 2, 3].

Великий інтерес до сівби без попереднього обробітку ґрунту привів до появи на ринку сільськогосподарської техніки надмірно великої кількості сівалок прямого посіву, так як вони є головною машиною у механізованих no-till технологіях вирощування сільськогосподарських культур. Такі машини, в більшості імпортного виробництва, не завжди адаптуються до умов роботи на наших ґрунтах, не повністю забезпечують агротехнічні і екологічні вимоги, мають високу вартість, питому металоємність, що не дозволяє отримати бажаний ефект сільськогосподарським виробникам від застосування таких технологій [4]. Актуальною стає задача створення порівняно недорогих сівалок прямого посіву, які б не мали наведених вище недоліків.

Проведені теоретичні дослідження [5, 6] започаткували вирішення проблеми надмірної ваги посівних машин для сівби по необробленому полю. Визначені напрями вдосконалення і обґрунтовані основні конструктивні параметри стеблевідводу сошника

посівної секції, стали підставою для розробки експериментальної сівалки для прямого посіву зернових культур.

Розроблена на кафедрі сільськогосподарського машинобудування КНТУ, у відповідності до виконання фундаментального дослідження “Науково-технологічні основи обґрунтування параметрів робочих органів сучасних посівних систем” (держбюджетна тема № 24Б111), конструкція посівної секції з сошником, який має гострий кут входження в ґрунт [7] передбачає дещо кращі показники роботи з аналогічними сівалками. Для встановлення агротехнічних показників її роботи та підтвердження конкурентоздатності є необхідність проведення польових випробовувань.

Основною метою польових випробовувань було визначення ефективності роботи експериментальної посівної секції, обґрунтування можливості використання сівалки із сошниками, які мають гострий кут входження в ґрунт, уточнення оптимальних значень його конструктивних параметрів в польових умовах та експериментальна перевірка теоретичних положень і висновків.

Задачі випробовувань полягали у визначенні агротехнічних показників роботи посівної секції з сошником, який має гострий кут входження в ґрунт: глибину загорання насіння, нерівномірність загорання залежно від швидкості руху посівного агрегату.

Для проведення випробовувань у польових умовах була виготовлена експериментальна сівалка (рис. 1) на якій встановили посівні секції з сошниками, які мають гострий кут входження в ґрунт. Господарські польові випробовування проводили у вересні 2012 року на полі №2 насіннево-технологічної сівозміни Кіровоградської державної сільськогосподарської дослідної станції ІСГСЗ НААН.



Рисунок 1 – Загальний вигляд посівного агрегату з експериментальною селекційною сівалкою прямого посіву ССПП-1,5

Сівалка складається з рами, начіпного пристрою, бункера для насіння і добрив, з котушковими висівними апаратами, до рами сівалки за допомогою паралелограмної підвіски прикріплюються посівні секції в два ряди, з сошниками з гострим кутом входження в ґрунт. Для порівняльної характеристики на сівалку були встановлені крайні сошники: дводисковий і анкерний (рис. 2).

Для доступу обслуговуючого персоналу для завантаження посівним матеріалом і добривами встановлена підніжка дошка з перилом. Привод висівних апаратів здійснюється від опорно-приводних коліс, через редуктор. Зміна норми висіву здійснюється за допомогою механізму регулювання. Глибина сівби регулюється індивідуально кожного сошника за допомогою натискних штанг і опорних котків. Для встановлення сівалки на зберігання передбачено опорні стояки.

Методика польових випробовувань передбачала визначення типу ґрунту та його механічний склад; рельєф ділянки; вологості та твердості ґрунту; характеристику рослинних решток, які залишилися після збирання попередника, а також визначення нерівномірності розподілу насіння по глибині по етильованій частині.

Визначення вологості та твердості ґрунту проводили за стандартною методикою згідно [8, 9]. Для проведення випробовувань була вибрана і підготовлена ділянка поля згідно з рекомендаціями і методикою [10, 11], на якій з різною швидкістю (від 5 до 15 км/год) виконували сівбу, де експериментальні сошники сівалки були відрегульовані на різну глибину сівби за схемою рис. 3.



Рисунок 2 – Сошники, встановлені на експериментальній сівалці

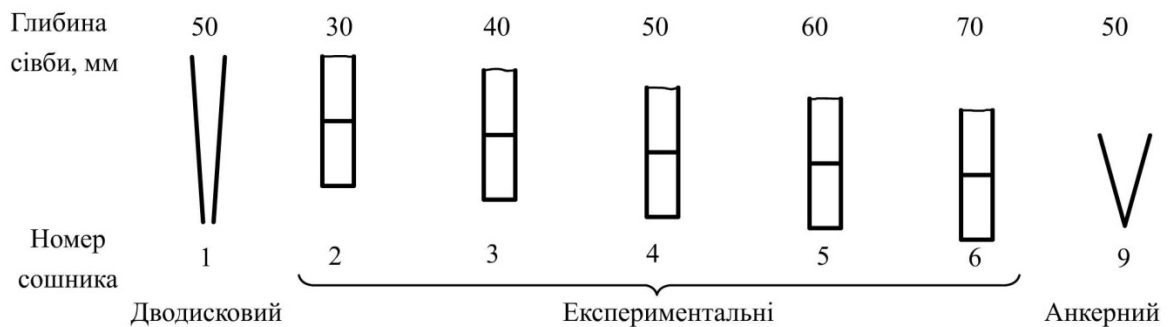


Рисунок 3 – Схема встановлення сошників на глибину сівби

Визначення характеристики рослинних решток виконували у відповідності з [10], для чого клали квадратну рамку (рис. 4) з розмірами 1x1 м на поверхню поля, і збирали всі рослинні рештки в поліетиленові мішки для подальшого аналізу, при цьому попередньо рахували кількість стоячих рослинних решток і їх висоту.



Рисунок 4 – Визначення кількості рослинних решток на поверхні поля

Випробовування проводили на необробленому полі після збирання сої. Місце проведення випробувань мало наступну характеристику:

- попередник – соя сорту "Медея";
- кількість стоячих рослинних решток, шт/м² – 43-68;
- середній діаметр рослинних решток, мм – 5,4;
- середня довжина стоячих рослинних решток, м – 0,15–0,18;
- маса рослинних решток, г/м² – 496, (табл. 1, рис. 5);
- рельєф поверхні поля – плато вирівняне, схил до 1°.

Значення вологості в шарі ґрунту від 0 до 5 см становило 8,3 %, від 5 до 10 см – 12,5 %. Середнє значення вологості посівного шару ґрунту становило 10,4 %. Твердість ґрунту в шарі від 0 до 5 см становило 8,1 кгс/см², в шарі від 5 до 10 см - 15,8 кгс/см².

Встановлена норма висіву насіння становила 200 кг/га, добрива не застосовувалися.

Таблиця 1 – Характеристика рослинних решток

№ п/п	Найменування рослинних решток	Вага	Відносний вміст, %
1.	Стебла сої до 10 см	52	10,5
2.	Стебла сої від 10 до 20 см	104	21,0
3.	Стебла сої від 20 до 30 см	36	7,3
4.	Дрібні стебла і листя сої	192	38,7
5.	Стебла бур'янів	58	11,6
6.	Стебла кукурудзи врожаю 2011 року	54	10,9
	Загальна вага	496	

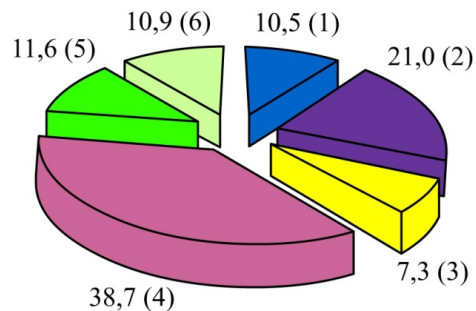


Рисунок 5 – Загальний вигляд і відносний вміст рослинних решток

В якості посівного матеріалу використовували насіння озимої пшениці сорту "Куяльник", (табл. 2).

Таблиця 2 – Характеристика посівного матеріалу

№ п/п	Найменування показників	Одиниці вимірювання	Значення
1.	Сорт	Куяльник	
2.	Чистота насіння	%	100
3.	Схожість	%	98
4.	Посівна придатність	%	96
5.	Вологість	%	10,6
6.	Маса 1000 шт. насіння	г	35,5
7.	Насипна щільність	кг/м ³	772

За результатами проведених досліджень встановлено:

- конструкція експериментальної селекційної сівалки прямого посіву ССПП-1,5 (табл. 3) є працездатною;

Таблиця 3 – Технічна характеристика експериментальної селекційної сівалки для прямого посіву ССПП-1,5

№ п/п	Найменування показників	Одиниці виміру	Значення показників
1	2	3	4
1.	Тип машини		начіпна
2.	Агрегативання	кл. трактора	1,4-2,0
3.	Спосіб сівби		рядковий
4.	Ширина захвату	м	1,5
5.	Робоча швидкість	км/год	12
6.	Транспортна швидкість	км/год	18
7.	Продуктивність:		
	- основного часу	га/год	1,80
	- експлуатаційного часу	га/год	1,26
	- змінного часу	га/зм.	8,82
8.	Норма висіву:		
	- насіння	кг/га	50-250
	- добрив	кг/га	50-200
9.	Необхідна ширина поворотної смуги	м	6
10.	Глибина ходу сошника	мм	0...100
11.	Кількість обслуговуючого персоналу	чол.	1
12.	Габаритні розміри:		
	- довжина	мм	1970
	- ширина	мм	2000 (1575 рама)
	- висота	мм	1780
13.	Дорожній просвіт	мм	350
14.	Питома матеріалоемність	кг/м	486,7
15.	Маса сівалки:		
	- суха конструкційна	кг	730
	- експлуатаційна	кг	1130
16.	Кількість сошників	шт.	9
17.	Відстань між сошниками	мм	150

- сошники посівних секцій з гострим кутом входження в ґрунт обладнані оригінальними елементами конструкції стеблевідводою, забезпечують надійне виконання технологічного процесу, успішно відводять рослинні рештки від стояків запобігаючи їх накопиченню;

- попередній аналіз статистичних даних по показнику глибини заробки насіння свідчить про вищу рівномірність висіву посівного матеріалу порівняно з дисковими та анкерними базовими сошниками.

Список літератури

1. Гассен Д. Прямой посев - дорога в будущее / Д. Гассен, Ф. Гассен.- Днепропетровск: Корпорация "Агро-Союз", 2004.- 206 с.
2. Ресурсозберігаючі технології механічного обробітку ґрунту в сучасному землеробстві України / [І.Д. Примака, В.О. Єщенко, Ю.П. Манько та ін.]; за ред. І.Д. Примака.- К.: „КВІЦ“, 2007.- 272 с.
3. Сысолин П.В. Прямой посев зерновых культур – это дань моды или необходимость для сельских тружеников / П.В. Сысолин, В.М. Сало // Техніка АПК.- 2008.- № 8.- С. 18.
4. Сало В.М. Вибір напрямів вдосконалення сошників сівалок прямого посіву зернових культур / В.М. Сало, О.Р. Лузан // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин.- Кіровоград: КНТУ, 2010, Вип. 40, Част. II.- С. 271-277.
5. Сало В.М. Обґрунтування форми стеблепідіймача сошника для прямої сівби зернових культур / В.М. Сало, О.Р. Лузан, С.Я. Гончарова, П.Г. Лузан // Сільськогосподарські машини: Зб. наук. ст.- Луцьк: Ред.-вид. відділ ЛНТУ, 2011.- Вип. 21.- Том II.- С. 64-74.
6. Лузан О.Р. Дослідження руху рослинних решток по горизонтальній частині стеблевідводу сошника / О.Р. Лузан, В.М. Сало, В.В. Гончаров, П.Г. Лузан // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: зб. наук. праць.- Кіровоград: КНТУ, 2011.- Вип. 41, (Частина II). С. 49–55.
7. Посівна секція для сівалок прямого посіву: Пат. 71793 Україна, МПК А01С 7/20 (2006.01) / Сало В.М., Лузан П.Г., Лузан О.Р., Гончаров В.В., Данилик В.В.; заявник і патентовласник Кіровоград. нац. техн. ун-т.: - № а 2012 0000 726; заявл. 24.01.2012; опубл. 25.07.2012, Бюл. №14.
8. Сельскохозяйственная техника. Методы определения условий испытания: ГОСТ 20915-75.- [Чинний від 1975-06-19].- М.: Издательство стандартов, 1975.- 42 с.- (Міждержавний стандарт).
9. Якість ґрунту. Визначання твердості ґрунту твердоміром Ревякіна: ДСТУ 5096:2008.- Вид. офіц.- К.: Держспоживстандарт України, 2009.- IV, 4с.: табл., рис.- (Національний стандарт України).
10. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): [учеб. для вузов] / Б.А. Доспехов; Изд. 5-е, перераб. и доп.- М.: Агропромиздат, 1985.- 351 с.
11. Сеялки тракторные. Методы испытаний: ГОСТ 31345-2007.- [Дата введения 2009-01-01].- М.: ФГУП «Стандартинформ», 2007.- 57 с.- (Межгосударственный стандарт).

Е. Лузан, В. Сало, П. Лузан, О. Гайденко

Полевые испытания экспериментальной сеялки прямого посева зерновых культур

Приведены результаты полевых испытаний экспериментальной сеялки прямого посева зерновых культур. Подтверждена эффективность применения посевной секции с сошниками, которые имеют острый угол входения в почву. Определены агротехнические показатели работы посевного агрегата.

E. Luzan, V. Salo, P. Luzan, O. Gajdenko

Field trials of experimental seed drill direct sowing of crops

The results of the production test pilot drill direct sowing of crops. Confirmed the effectiveness of seeding Section openers with acute angle entering the soil. The main agronomic performance of the seed unit.

Одержано 27.09.12.

УДК 633.521:631.172

А.С. Лімонт, доц., канд. техн. наук

Житомирський національний агроекологічний університет

Температура повітря і в стрічках льоносоломи при готуванні трести росяним мочінням

Визначено статистичний зв'язок температур повітря і на поверхні стрічок розстеленої льоносоломи при її росяному мочінні. Досліджено зміну температури під стрічками в денний і нічний періоди доби залежно від щільності розстелених стрічок.

льоносолома, стрічка, щільність, треста, росяне мочіння, повітря, температура

Постановка проблеми. При збиранні льону-довгунця тресту готують переважно тепловим або росяним мочінням. Крім цих, найбільш застосовуваних в період інтенсивного льонарства в Україні, відомі і інші способи оброблення соломи і серед них, наприклад, холодноводне мочіння та хімічні або фізико-хімічні способи. Холодноводне мочіння, що його здійснюють в річках та озерах, дуже трудомістке і екологічно шкідливе. Хімічне та фізико-хімічні способи із-за складності устаткування і його дороговизни не отримали широкого поширення і в Україні їх не застосовували [1]. Теплове мочіння вимагає значної потреби в тепловій і електричній енергії, воді та в очищенні стоків і у разі його реалізації можливий шкідливий вплив на довкілля. Готування трести росяним мочінням відносять до екологічно безпечних і енергозберігаючих способів оброблення льоносоломи. Проте таке оброблення соломи залежить від погодних умов льонозбирального періоду. У цій статті передбачено висвітлити деякі з питань проблеми оцінювання погодних умов при готуванні трести росяним мочінням.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. При комбайновому збиранні льону-довгунця готування трести росяним мочінням розпочинається з вибирання стебел, їх очісування від насінневих коробочок і наступного розстилання в стрічку для вилежування. Вилежування соломи до перетворення її в тресту, якість останньої, вихід і якість волокна залежать від товщини стрічки розстеленої соломи. Товщину стрічки визначають з використанням декількох показників, серед яких одним із оцінних є щільність, тобто кількість розстелених стебел в розрахунку на 1 м довжини стрічки n_{cm} (шт./м). Щільність стрічки залежить від густоти стеблостою перед збиранням (шт./м²) та робочої ширини захвату комбайна. З урахуванням прогнозованої густоти стеблостою і ширини захвату комбайна щільність стрічки розстелених стебел соломи може сягати 4000 шт./м і більше. Проте за такої щільності за свідченням багатьох дослідників вихід волокна із рошенцевої трести та його якісні показники дещо знижуються.

Готування трести росяним мочінням проходить в польових умовах і зумовлено дією мікроорганізмів, розвиток яких інтенсифікується за відповідних температури, вологи та світла, що є факторами природних умов. Щодо температури, то за [2] найкращою є температура 15...20°C, за [3] оптимальною – 18...20°C, за [4, 5] найбільш сприятливою, що близька до 18°C, а за [6] розстилання соломи на стелищах дає належні результати за температури 17...20°C. Кількісне оцінювання розвитку мікроорганізмів, що сприяють вилежуванню трести, в нижніх і верхніх шарах розстелених стрічок з

урахуванням їх щільності (1087, 1653, 1723 та 2134 шт./м) наведене у працях, наприклад, Н.Г. Коренського [7] та Б.Ф. Слонєвського [8]. Дослідники вказують, що кількісний і якісний склад мікроорганізмів залежить від погодних умов вилежування трести і їх розвитку сприяє перевертання стрічок, за якого зменшується різниця між кількістю грибів у верхньому і нижньому шарах стрічок. У працях [4, 5] вказано, що різкі коливання температури негативно відбиваються на життєдіяльності мікроорганізмів, збільшуючи тривалість вилежування трести та спричинюючи зниження якості волокна. Н.Г. Коренський [7] відмічає, що температурні умови в стрічках розстеленого льону-довгунця зі збільшенням норми розстилання від 2,2...2,5 до 6,8...7 т/га (від 1087 до 2134 шт. стебел на 1 м стрічки) менш залежать від коливань температури повітря, які негативно впливають на процес мацерації льону-довгунця. Проте в літературних джерелах не виявлені відомості як щодо мінливості температури повітря в льонозбиральний період, так і про мінливість температури в розстелених стрічках соломи при її росяному мочінні.

Мета дослідження полягала у визначенні температурних умов готування льонотрести росяним мочінням з оцінюванням температури повітря і температури в розстелених стрічках соломи як факторів екологічно спрямованого виробництва льону-довгунця. *Завдання дослідження:* 1) визначити і проаналізувати добовий хід температури повітря і на поверхні розстелених стрічок соломи; 2) з'ясувати мінливість температури повітря і на поверхні розстелених стрічок у світловий та у нічний періоди доби; 3) дослідити статистичний зв'язок між температурою на поверхні розстелених стрічок і температурою повітря у світловий та у нічний періоди доби; 4) опрацювати модельні рівняння і лінії регресії температури на поверхні стрічок на температуру повітря; 5) оцінити зміну температури під стрічкою розстеленої соломи залежно від її щільності та відшукати прогностичні функції результативної ознаки на факторіальну.

Об'єкт та методика дослідження. Об'єктом дослідження був один із складових елементів технологічного процесу готування трести росяним мочінням, що полягав в оцінюванні температурних умов вилежування соломи. Спостереження за температурними умовами в процесі вилежування соломи льону-довгунця сорту Томський-10 вели впродовж трьох років (1972, 1973 і 1974 рр.). В день збирання льону-довгунця агрегатом у складі комбайна ЛК-4Т з одержаних комбайнових стрічок вручну формували дослідні стрічки зі щільністю 500...4000 шт./м з інтервалом в 500 шт./м. Стрічки визначеної щільності розстеляли в с. Грозіно Коростенського району Житомирської області на полі з трав'яним покривом під ними зі щільністю в середньому 967 г/м^2 за вологості трави 67,9%. Визначення температури на поверхнях стрічок і під ними вели за методикою, що наведена у книзі [9] за показами рідинних термометрів ТМ-3. Температуру повітря вибирали з відповідних форм звітності Коростенської метеостанції. Наявність відповідного трав'яного покриву під розстеленими стрічками усувала можливість контакту термометрів безпосередньо з ґрунтом. Обробка експериментальних даних здійснена на засадах математичної статистики [10, 11, 12] та з використанням стандартних комп'ютерних програм.

Результати дослідження. Аналіз добового ходу температури повітря і на поверхні розстелених стрічок свідчить, що найнижчі температури спостерігаються о шостій годині, а від 6-ї до 14 чи 15 години температури зростають, сягаючи в ці години максимального значення, а від вказаного часу до заходу сонця і далі вночі та до 6 години температура знижується. Відмічено, що у світловий період доби (вдень) при вимірюванні температур о 9-й, 12, 15 і 18-й годинах температура на поверхні розстелених стрічок перевищує температуру повітря. В час від заходу до сходу сонця (вночі) при вимірюванні температур о 21-й, 24 (0), з і 6-й годинах температура на поверхні розстелених стрічок нижча, ніж температура повітря. Інакше у світловий

період доби (до 15, а інколи до 18 години) стрічки «прогріваються», а вночі і до 6 години – «охолоджуються».

Опрацьовано дві статистичні вибірки, перша із яких являла двомірний варіаційний ряд «температура повітря – температура на поверхні стрічок», які характеризували температурний стан стрічок у світловий період доби, а друга – «температура повітря – температура на поверхні стрічок» в нічний період доби. В цих рядах факторіальною ознакою визначено температуру повітря, а результативною – температуру на поверхні стрічок. В результаті опрацювання досліджуваних рядів виявилось, що в світловий період доби середнє арифметичне значення і середнє квадратичне відхилення температури повітря дорівнюють відповідно 21,3 і 3,3°C, а коефіцієнт варіації – 15,5%. У світловий період доби середнє арифметичне значення, середнє квадратичне відхилення і коефіцієнт варіації температури на поверхні стрічок перевищували відповідні показники температури повітря і становили відповідно 27,1 і 6,3°C та 23,2%.

У нічний період доби середнє арифметичне значення і середнє квадратичне відхилення та коефіцієнт варіації температури повітря дорівнюють відповідно 14,5 і 2,3°C та 15,9%. В цей же період доби аналогічні показники на поверхні розстелених стрічок становили 12,0 і 2,4°C та 20,0%. З наведених даних випливає, що у нічний і світловий періоди доби мінливість температури на поверхні стрічок перевищує мінливість температури повітря на 4,1 і 7,7%.

Кореляційний аналіз показав, що коефіцієнти кореляції між результативною і факторіальною ознаками мають додатні значення і стосовно зміни температур у світловий період доби коефіцієнт кореляції дорівнює 0,762, а у нічний час – 0,695. Визначено, що модельні рівняння регресії температури на поверхні стрічок $t_{нс}$ (°C) на температуру повітря $t_{п}$ (°C) мають вигляд:

стосовно світлового періоду доби

$$t_{нс} = -4,42 + 1,48 t_{п} \quad (1)$$

при $r = 0,762$; $\lambda_{пв} = 0,18$; $S_y = 4,08^\circ\text{C}$ і $k_d = 0,581$;

стосовно нічного періоду доби

$$t_{нс} = 1,30 + 0,738 t_{п} \quad (2)$$

при $r = 0,695$; $\lambda_{пв} = 0,14$; $S_y = 1,72^\circ\text{C}$ і $k_d = 0,483$,

де r – коефіцієнт кореляції між досліджуваними результативною і факторіальною ознаками;

$\lambda_{пв}$ – показник оцінювання вирівнювання експериментальних значень температури на поверхні стрічок рівнянням прямої лінійної регресії з додатним кутовим коефіцієнтом, що являє відношення основної помилки вирівнювання до середнього значення результативної ознаки [11];

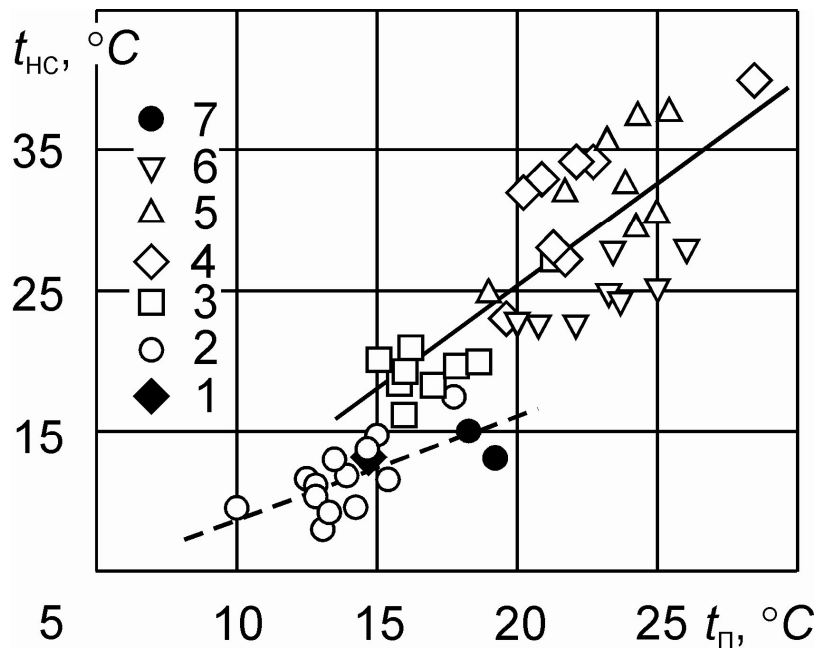
S_y – помилка рівнянь (1) і (2) прямої лінійної регресії, яку визначали за середнім квадратичним відхиленням результативної ознаки і коефіцієнтом кореляції між досліджуваними ознаками [12];

k_d – коефіцієнт детермінації, що визначає силу впливу факторіальної ознаки на результативну [10].

Додатні коефіцієнти кореляції є ознакою підвищення температури на поверхні стрічок при збільшенні температури повітря. Проте менше значення коефіцієнта кореляції, що характеризує температурний стан стрічок у нічний час доби, є свідченням сповільненої інтенсивності зростання температури на поверхні стрічок у порівнянні з температурою у світловий період доби. Розрахований показник $\lambda_{пв}$ дещо перевищує

значення, що визначає умову задовільного вирівнювання [11]. За помилками S_y рівнянь (1) і (2) з'ясували, що в зону, яка визначає межі зміни температури на поверхні стрічок з урахуванням цих помилок, увійшло 67,7 і 68,8% значень $t_{нс}$, використаних для розрахунку вказаних рівнянь. За значеннями коефіцієнтів детермінації варіація температури повітря у світловий період доби на 58%, а в нічний – на 48% причинно зумовлює варіацію температури на поверхні стрічок.

Кореляційні поля, що характеризують зв'язок між температурою на поверхні стрічок і температурою повітря у світловий і нічний періоди доби, та модельні лінії прямої регресії, які побудовані за рівняннями (1) і (2), наведені на рис. 1.



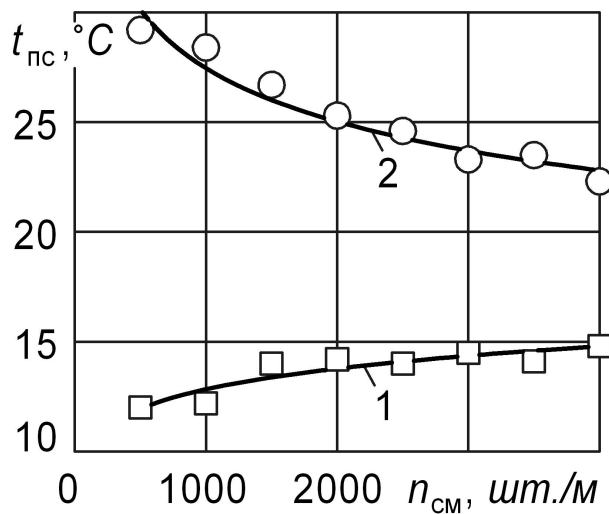
1 – нуль година; 2 – шоста; 3 – дев'ята; 4 – дванадцята;
5 – п'ятнадцята; 6 – вісімнадцята та 7 – двадцять перша година

Рисунок 1 – Зміна температури на поверхні стрічок $t_{нс}$ у світловий (суцільна лінія) та у нічний (пунктирна) періоди доби залежно від температури повітря $t_{п}$

З рис. 1 і рівнянь (1) і (2) за другими їх членами видно, що у світловий період доби із підвищенням температури повітря температура на поверхні стрічок зростає більш інтенсивно, ніж у нічний час. За другим членом рівняння (2), оскільки він менший одиниці опосередковано можна констатувати, що у нічний час температура на поверхні розстелених стрічок дещо нижча від температури повітря, а у світловий період доби – навпаки, що і простежується з рівняння (1).

Проаналізуємо зміну температури під стрічками розстеленої соломи залежно від їх щільності. Цю зміну оцінимо стосовно характерних годин доби, а саме шостої і п'ятнадцятої, в які температура повітря і в стрічках соломи переважно відповідно найнижча і найвища. Виявилось, що о шостій годині температура під стрічками у міру збільшення їх щільності зростає, а о п'ятнадцятій годині – навпаки спадає. Для з'ясування характеру зазначеної зміни температури залежно від щільності розстелених стрічок здійснено вирівнювання експериментальних значень температури рівняннями прямої залежності, гіперболи, експоненти та показової, степеневі і логарифмічної функцій. Оцінювання міри наближення апроксимуючих ліній до експериментальних даних здійснено за R^2 -коефіцієнтами. Вибір відповідної апроксимуючої залежності здійснено і з урахуванням результатів попередніх досліджень, логічних міркувань та рекомендацій акад. В.П. Горячкіна [13].

Вирівнювання експериментальних значень температури під стрічками о шостій годині залежно від щільності стрічок прямою з додатним кутовим коефіцієнтом забезпечило значення R^2 -коефіцієнта 0,726, гіперболою – 0,793, експонентою і показовою функцією – 0,718, степеневою і логарифмічною залежностями відповідно 0,841 і 0,842. Графічне зображення кривих досліджуваної зміни рівняннями степеневою і логарифмічної залежностей засвідчило про фактичне їх співпадання. Апроксимація досліджуваної зміни рівнянням прямої свідчить, що в межах від 500 до 4000 стебел на 1 м стрічки збільшення щільності на 1000 шт./м викликає підвищення температури під стрічкою на 0,72°C (майже на 1°C). У разі апроксимації цієї зміни рівнянням гіперболи за її асимптотою із збільшенням щільності розстелених стрічок в досліджуваних межах температури під ними сягає граничного значення, яке становить 14,8°C (майже 15°C). У графічному поданні експериментальні дані і крива зміни температури під стрічками о шостій годині залежно від щільності стрічок наведені на рис. 2.



1 – о шостій годині; 2 – о п'ятнадцятій годині

Рисунок 2 – Зміна температури під стрічкою $t_{пс}$ залежно від її щільності $n_{см}$

Наведені на рис. 2 дані є результатом трирічних спостережень, за яких стосовно кривої 1 середні арифметичні значення температур повітря і на поверхні розстелених стрічок становили відповідно 13,4 і 11,1°C. Отже, о шостій годині температура повітря перевищувала температуру на поверхні стрічок, а температура під стрічками перевищувала температуру на поверхні стрічок. До відповідної щільності стрічок (орієнтовно 1500...2000 шт./м) температура під ними нижча, ніж температура повітря. З подальшим підвищенням щільності стрічок температура під ними в аналізований час дещо перевищує температуру повітря. Отже, із збільшенням кількості розстелених стебел в стрічці уповільнюється «остигання» їх нижніх шарів. В математичній формі зміну температури під стрічкою $t_{пс}$ (°C) о шостій годині залежно від щільності $n_{см}$ (шт./м) можна подати рівнянням степеневої функції вигляду

$$t_{пс} = 6,32 n_{см}^{0,10247} . \quad (3)$$

Крива 1, що наведена на рис. 2, побудована за рівнянням (3). Основна помилка вирівнювання експериментальних значень температури під стрічками о шостій годині залежно від щільності стрічки рівнянням степеневої функції (3) становила 0,40°C. Відношення цієї помилки до середнього значення досліджуваної температури дорівнювало 0,029, що свідчить про дотримання умови задовільного вирівнювання експериментальних даних [12].

Температура під стрічками о 15-й годині залежно від щільності стрічок за її

збільшення знижується. Здійснено вирівнювання експериментальних даних рівняннями прямої з від'ємним кутовим коефіцієнтом, гіперболи, експоненціальної і показової функцій та степеневі і логарифмічної залежностей. У разі вирівнювання досліджуваної зміни рівнянням прямої R^2 -коефіцієнт мав значення 0,961, рівняннями експоненціальної і показової функцій – 0,968, логарифмічної і степеневі залежностей – відповідно 0,951 і 0,939, а гіперболи – 0,774. Як видно вирівнювання експериментальних даних наведеними апроксимуючими залежностями забезпечують належну міру їх наближення до реальної зміни температури під стрічкою залежно від її щільності. Графічне подання зміни температури за експоненціальною і показовою функціями свідчить про їх майже цілковите наближення до зміни за прямою з від'ємним кутовим коефіцієнтом. З рівняння прямолінійної зміни температури під стрічками о 15-й годині залежно від щільності стрічок випливає, що із підвищенням щільності на 1000 шт./м температура під стрічкою знижується на 2°C. З рівняння гіперболічної зміни температури залежно від щільності розстелених стрічок простежується, що з її підвищенням температура під стрічками сягає свого асимптотичного зниження, яке становить близько 23°C. За спостереженнями температура повітря о 15-й годині в середньому становила 23,3°C, а температура на поверхні стрічок – 33,5°C. На рис. 2 наведені експериментальні дані температури під стрічками та її прогнозована зміна залежно від щільності стрічок за кривою 2. Крива 2 є графічним зображенням степеневою функції вигляду

$$t_{\text{пс.15}} = 69,294 n_{\text{см}}^{-0,134} \quad \text{при } \sigma_0 = 0,63^\circ\text{C} \text{ і } \lambda_{\text{пв}} = 0,025, \quad (4)$$

де $t_{\text{пс.15}}$ – температура (°C) під стрічкою о 15-й годині;

$n_{\text{см}}$ – щільність стрічки, шт./м;

σ_0 – основна помилка вирівнювання експериментальних значень температури під стрічками о 15-й годині визначеною степеневою функцією;

$\lambda_{\text{пв}}$ – показник оцінювання вирівнювання експериментальних значень $t_{\text{пс.15}}$ рівнянням (4).

Отже, о 15-й годині температура повітря в дні трирічних спостережень в середньому була на 10,2°C нижча за температуру на поверхні стрічок, а температура під стрічками у всьому діапазоні зміни їхньої щільності була нижча за температуру на поверхні стрічок. Температура під стрічками при зміні їхньої щільності від 500 до 2500 шт./м перевищувала температуру повітря, а з подальшим підвищенням щільності була дещо нижчою у порівнянні з температурою повітря.

Висновки. В льонозбиральний період готування льонотрести росяним мочінням мінімальні температура повітря і на поверхні розстелених стрічок спостерігаються, як правило, перед сходом сонця і орієнтовно припадають на 6-у, а максимальні – на 15-у годину. Мінливість температури на поверхні стрічок перевищує мінливість температури повітря у нічний час на 4,1%, а у світловий період доби на 7,7%. Між температурою на поверхні розстелених стрічок і температурою повітря виявлений додатний кореляційний зв'язок, що стосовно світлового періоду доби оцінюється коефіцієнтом кореляції 0,762, а нічного – 0,695. У світловий період доби температура на поверхні стрічок перевищує температуру повітря, а в нічний – температура на поверхні стрічок нижча температури повітря. О 6-й і 15-й годині температура під стрічкою при підвищенні їхньої щільності у першому випадку зростає, а в другому зменшується за степеневими залежностями. З'ясовані модельні рівняння і лінії регресії з оцінювання температурного стану розстелених стрічок соломи підтверджують доцільність екологічно безпечного і енергозберігаючого росяного мочіння соломи та є однією з складових щодо розкриття змісту впливу щільності стрічок соломи на вихід і якість волокна, що одержують з рошенцевої трести [14].

Напрямок подальших розвідок на нашу думку слід спрямувати на продовження вивчення температурного стану розстелених стрічок соломи при готуванні трести росяним мочінням та оцінюванні впливу температури на поверхні ґрунту на зміну температури у верхньому і нижніх шарах стрічок.

Список літератури

1. Виробництво льоноволокна та його використання: монографія / [І.П. Карпець, А.Ф. Скорченко, Л.А. Чурсіна та ін.]. – К.: Нора-прінт, 2002. – 128 с.
2. Сивцов А.Н. Первичная обработка льна / А.Н. Сивцов, С.Е. Чесноков. – Костромское книжное изд-во, 1954. – 94 с.
3. Основи ведення льонарства в сучасних умовах / [Скорченко А.Ф., Карпець І.П., Ковальов В.Б. та ін.]; під ред. А.Ф. Скорченка. – К.: Нора-прінт, 2002. – 48 с.
4. Егоров М.Е. Комбайновая уборка и первичная обработка льна-долгунца / Егоров М.Е. – М.: Россельхозиздат, 1976. – 122 с.
5. Макаров В.В. Первичная обработка льна / Макаров В.В. – М.: Сельхозгиз, 1950. – 176 с.
6. Пиуновский И.И. Исследование технологии отдельной уборки льна / И.И. Пиуновский, К.Ф. Терпиловский, В.П. Клявина // ЦНИИМЭСХ Нечерноземной зоны СССР: труды. – Минск: Урожай, 1969. – Т. 6. – С. 142 – 151.
7. Коренский Н.Г. Исследование сушки, толщины расстила и переворачивания соломы при вылежке на льнище в условиях Белорусской ССР: автореф. дис. на соискание учен. степени канд. с.-х. наук: спец. 06.538 «Растениеводство» / Н.Г. Коренский. – Жодино, 1969. – 27 с.
8. Слоневский Б.Ф. Микологические процессы и качество тресты / Б.Ф. Слоневский, Л.Е. Старченко, М.И. Андрушків // Лен и конопля. – 1972. – № 9. – С. 36 – 37.
9. Чирков Ю.И. Агрометеорология: учеб. [для студ. высш. учеб. завед. по агроном. спец.] / Чирков Ю.И. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 296 с.
10. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении: учеб. пособ. / Дмитриев Е.А. – М.: Изд-во Москов. ун-та, 1972. – 292 с.
11. Методика статистической обработки эмпирических данных: РТМ 44 – 62. – М.: Изд-во стандартов, 1966. – 100 с.
12. Уланова Е.С. Методика корреляционного и регрессионного анализа в агрометеорологии: монография / Е.С. Уланова, В.Н. Забелин. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 208 с.
13. Горячкин В.П. Общая схема процессов / В.П. Горячкин. – М.: Колос, 1968. – С. 608 – 645. – (Собрание сочинений: в 3 т. / В.П. Горячкин, т. 1).
14. Лімонт А.С. Оцінювання виходу і якості довгого волокна з урахуванням щільності стрічок розстеленої льносоломи / А.С. Лімонт // Вісн. Харків. нац. техніч. ун-ту с. г. ім. Петра Василенка: механізація с.-г. виробництва. – Х., 2012. – Вип. 124, Т. 2. – С. 348 – 357.

А. Лімонт

Температура воздуха и в лентах льносоломы при приготовлении тресты росяной мочкой

Определена статистическая связь температур воздуха и на поверхности лент разостланной льносоломы при ее росяной мочке. Исследовано изменение температуры под лентами в дневной и ночной периоды суток в зависимости от плотности разостланных лент.

А. Limont

Temperature of air and atrips of atraw during the preparation of stock with dew-retting

There was defined the statistic connection of air temperatures and at the surface of strips of outspread flax straw while its dew retting. There was studied the change of temperature under the strips at day and night periods of a day, depending upon the density of outspread strips.

Одержано 14.09.12

УДК 621.664

**Ю.В. Кулешков, проф., канд. техн. наук, Т.В. Руденко, канд. техн. наук,
М.В. Красота, доц., канд. техн. наук, В.В. Русских, доц., канд. техн. наук,
К.Ю. Кулешкова, инженер**

Кировоградский национальный технический университет

Экспериментальные исследования шестеренного насоса с увеличенным удельным рабочим объемом

В статье изложены результаты экспериментальных исследований функциональных параметров шестеренных насосов с увеличенным удельным рабочим объемом. Приведены режимы испытаний, получены основные характеристики насоса на разных режимах работы.

шестеренный насос, удельный рабочий объем

В работах [1] приведены параметры зубчатого зацепления шестеренного насоса (НШ), полученные расчетным путем и позволяющие увеличить рабочий объем насоса (РОН) и подачу.

Основной целью экспериментальных исследований шестеренного насоса с увеличенным удельным рабочим объемом (НШ УУРОН) было подтверждение результатов полученных теоретическим путем.

Для проведения экспериментальных исследований были разработаны и спроектированы два НШ с УУРОН: насос третьего типоразмерного ряда НШ 32 УУРОН и насос второго типоразмерного ряда НШ 20 УУРОН.

Основными задачами экспериментальных исследований было определение основных технических характеристик НШ УУРОН:

- давления, развиваемое насосом, МПа;
- рабочего объема;
- подачи, м³/с;
- коэффициента подачи;
- потребляемой мощности, Вт;
- развиваемой мощности, Вт;
- общего и механического КПД.

Экспериментальные исследования по определению основных технических характеристик насосов проводили в соответствии с методиками, которые используются в гидролабораториях Кировоградского ПАТ „Гидросила” и с рекомендациями, представленными в ГСТУ 3-25-180-97, ДСТУ 2192-93 [2, 3].

Сравнительный анализ полученных технических характеристик экспериментальных НШ и серийного НШ проводили в соответствии с данными приведенными в ГСТУ 3-25-180-97 и ДСТУ 2192-93 [2, 3].

Методики и оборудование, используемые при проведении экспериментальных исследований НШ подробно описаны в работах [3, 4].

В соответствии с ГОСТ 13823-78 [5] функциональные параметры следует определять не менее чем для пяти режимов, в том числе для предельных и номинальных значений. Исходя из этого, были разработаны режимы экспериментального исследования НШ, которые приведены в табл. 1. При этом

давление, при котором проводили исследования технических характеристик экспериментального НШ, отвечает насосу 3-го исполнения $P_{ном}=16$ МПа и $P_{max} = 21,0$ МПа [2].

Таблица 1 - Режимы проведения экспериментальных исследований НШ

Параметр	Режимы экспериментальных исследований				
	0	5,0	10,0	16,0	21,0
Давление, МПа					
Частота вращения, n, c^{-1} (об/мин)	8,3 (500)	8,3 (500)	8,3 (500)	8,3 (500)	8,3 (500)
	16 (1000)	16 (1000)	16 (1000)	16 (1000)	16 (1000)
	32 (1920)	32 (1920)	32 (1920)	32 (1920)	32 (1920)
	40 (2400)	40 (2400)	40 (2400)	40 (2400)	40 (2400)
	50 (3000)	50 (3000)	50 (3000)	50 (3000)	50 (3000)
Температура рабочей жидкости (МГЕ 46В ТУ 38.001347-83), °С	35...50				

Результаты определения номинального давления, развиваемого экспериментальным НШ УУРОН

Методика определения номинального давления, развиваемого НШ, подробно изложена в статье [6].

Исследования по определению номинального давления, развиваемого экспериментальным насосом начали с давления 10 МПа, при температуре РЖ - 35⁰С при номинальной частоте вращения $n = 40 c^{-1}$. Результаты испытаний приведены в табл. 2 и на рис. 1.

Таблица 2 - Результаты определения номинального давления, создаваемого экспериментальными насосами

Номер цикла	Давление, при котором проводили испытания, МПа	Температура РЖ в конце цикла испытания экспериментального насоса (продолжительность цикла – 3 мин.), °С	
		НШ-20(32) УУРОН	НШ-32 УУРОН
1	10,0	39,0	37,0
2	11,0	41,0	39,0
3	12,0	44,0	42,0
4	13,0	47,0	45,0
5	14,0	53,0	50,0
6	15,0	60,0	57,0
7	16,0	75,0	67,0
8	17,0	90,0	85,0

Из табл. 2 и рис. 1 видим, что температура рабочей жидкости постепенно возрастает с ростом давления по криволинейной зависимости. При давлении 17 МПа прирост температуры превышает предельную - $\Delta t = 50^0$ за продолжительность цикла работы насоса – 3 мин. Поэтому за номинальное давление следует принять давление, при котором прирост температуры не превышает допустимого значения, т.е. 16 МПа,

что отвечает номинальному давлению серийного НШ третьего исполнения.

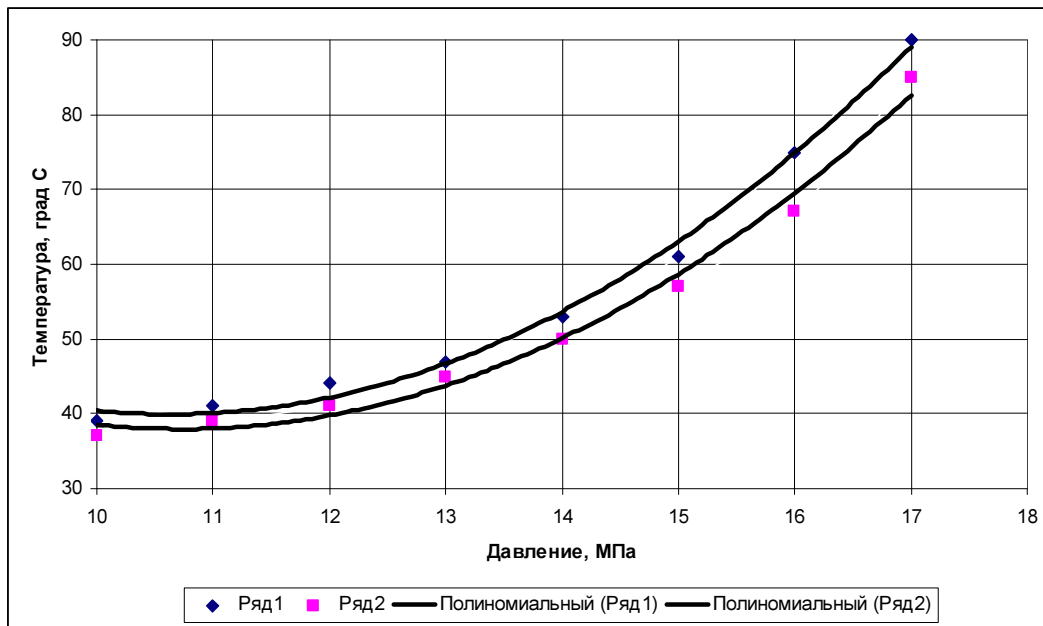


Рисунок 1 - Результаты определения номинального давления экспериментальных НШ

Определение зависимости коэффициента подачи экспериментального насоса от развиваемого давления

Методика определения зависимости коэффициента подачи экспериментального насоса от развиваемого давления включает в себя определение трех взаимосвязанных параметров: рабочего объема, коэффициента подачи и подачи. Подробно данная методика изложена в [6-9].

Определении рабочего объема насоса. Расчетные значения РОН по результатам теоретических исследований были представлены в [1].

Результаты экспериментальных исследований рабочего объема насоса, а также теоретические данные, полученные ранее, приведены в табл. 3.

Таблица 3 - Сравнительный анализ результатов определения рабочего объема экспериментального насоса теоретическим и экспериментальным методами

Типоразмер НШ	Метод определения рабочего объема НШ		Относительное расхождение, %
	Теоретический (расчетный) по аналитическим зависимостям V_{0m}	Экспериментальный на стенде для испытания насоса $V_{0э}$	
НШ 20 УУРОН, см ³	32,0	31,9	0,3125
НШ 32 УУРОН, см ³	36,456	36,33	0,3456

Сравнительный анализ значений рабочего объема насоса, полученных теоретическим (расчетным) и экспериментальным путем, представленный в табл. 3 показал высокую сходимость результатов, расхождение не превысило 0,35 %.

Результаты исследования коэффициента подачи экспериментального насоса с УУРОН в зависимости от развиваемого давления и частоты вращения. Исследования экспериментальных насосов проводили в соответствии с режимами, представленными в табл. 1.

Определение коэффициента подачи НШ осуществляют на специальных стендах

для испытания НШ, обладающих возможностью регулирования давления, развиваемого НШ, изменения частоты вращения и определения числа оборотов НШ, необходимых для заполнения мерного бака стенда.

Определение коэффициента подачи НШ производилось на стенде. При испытаниях выполняли регулировку частоты вращения и давления, развиваемого НШ, созданием нагрузки с помощью дросселя. После дросселя распределителем поток рабочей жидкости направлялся в мерный бак. Одновременно включали счетчик циклов. После заполнения мерного бака счетчик циклов выключался с помощью поплавкового выключателя, а распределитель переводился в положение «на слив».

Коэффициент подачи НШ определяли в соответствии с зависимостью

$$\eta_v = \frac{V_{м.б.}}{n_{ф} \cdot V_{0м}},$$

где $V_{м.б.}$ - объем мерного бака, принимаем равным 39960 см^3 ;

$n_{ф}$ - фактическое число оборотов (находим по данным электроимпульсного счетчика), при перекачивании объема рабочей жидкости, равного объему мерного бака, об;

$V_{0м}$ - теоретическое значение РОН, см^3 .

Результаты исследования зависимости коэффициента подачи насоса от давления для разных значений частоты вращения насосов НШ-20 УУРОН и НШ-32 УУРОН представлены в виде графиков на рис. 2 и 3. При проведении исследований коэффициента подачи и построении графических зависимостей коэффициента подачи от давления для разной частоты оборотов использовали рекомендации, представленные в ГСТУ 3-25-180-97, ДСТУ 2192-93 и ГОСТ 13823-78 [2, 3, 5].

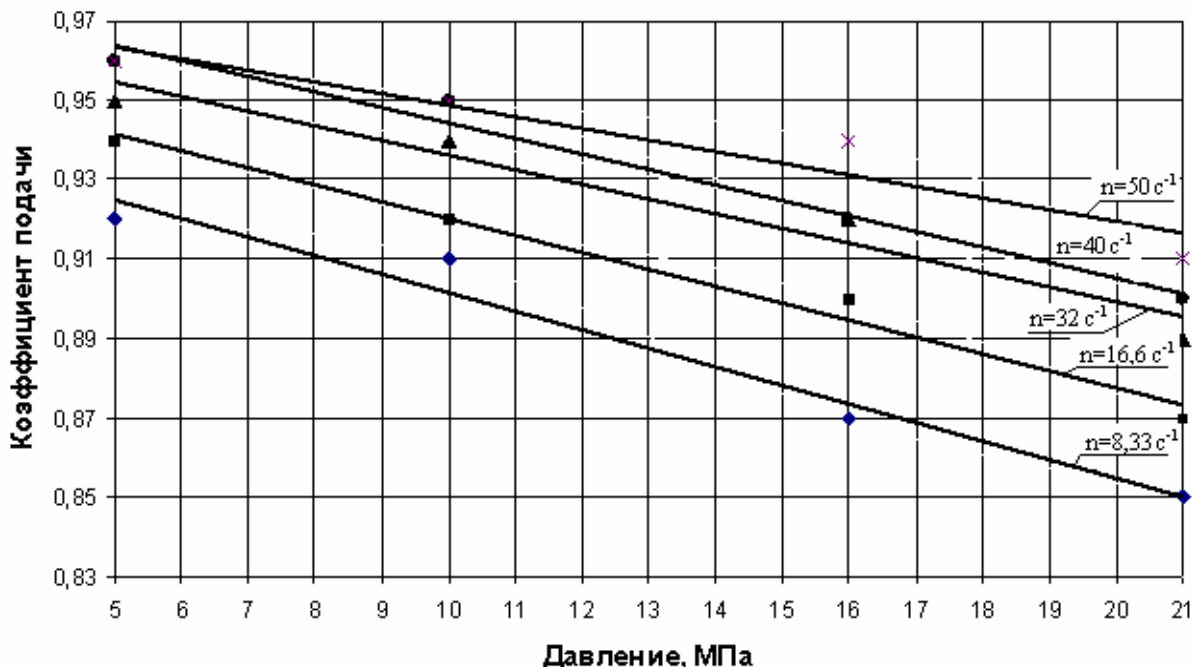


Рисунок 2 - Зависимости коэффициента подачи экспериментального насоса НШ-20 УУРОН от давления - p для разных значений частоты вращения - n

Характер полученных зависимостей, как для насоса НШ-20 УУРОН, так и для насоса НШ 32 УУРОН вполне соответствует аналогичным зависимостям для серийных НШ [2], т.е. с ростом давления коэффициент подачи НШ снижается по линейной

зависимости.

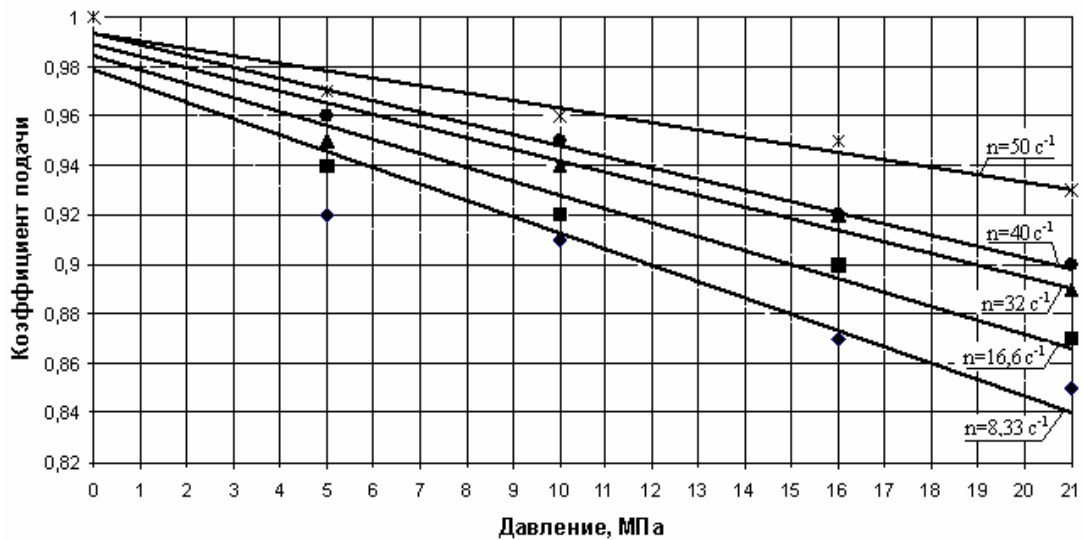


Рисунок 3 - Зависимости коэффициента подачи экспериментального насоса НШ-32 УУРОН от давления - p для разных значений частоты вращения - n

Кроме того, следует отметить, что с увеличением частоты вращения насоса скорость снижения КП уменьшается (рис. 5 и рис. 6), что объясняется наличием вязкой составляющей, противодействующей утечкам рабочей жидкости через зазоры в сопряжениях НШ.

Определение подачи экспериментального НШ

Методика определения подачи экспериментального НШ с УУРОН подробно изложена в [6, 9].

При проведении исследований определяли закономерности изменения подачи экспериментального НШ с УУРОН от развиваемого давления и частоты вращения. Исследуемые характеристики являются нагрузочными характеристиками насоса.

Результаты исследований теоретической и фактической подачи насосов НШ-20 УУРОН и НШ-32 УУРОН в зависимости от развиваемого давления и частоты вращения шестерен представлены в виде графиков (рис. 4 и 5).

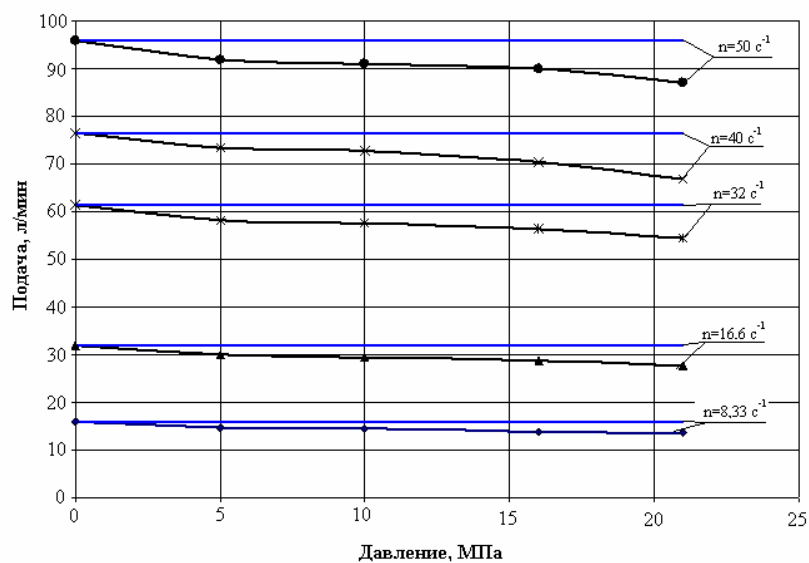


Рисунок 4 - Зависимости геометрической (теоретической) и фактической подачи насоса НШ-20 УУРОН от давления

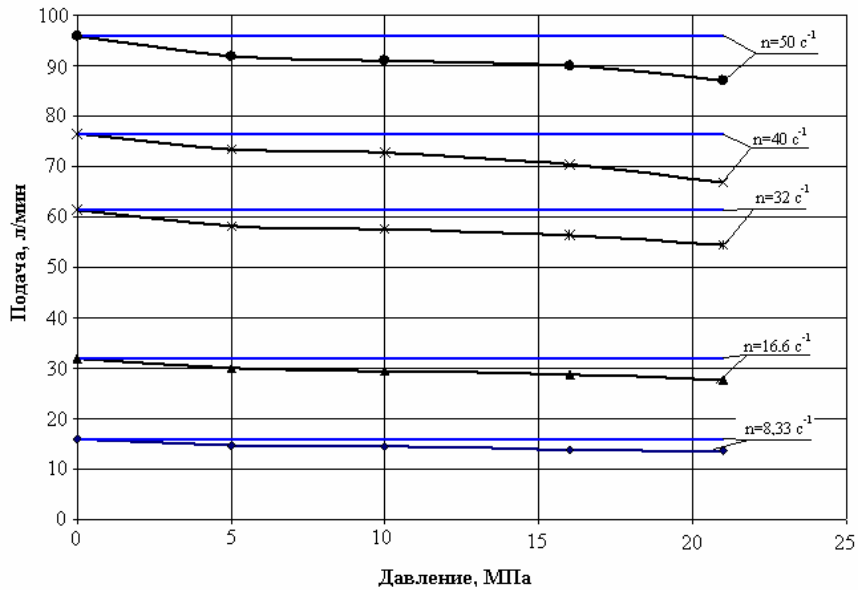


Рисунок 5 - Зависимость геометрической (теоретической) и фактической подачи насоса типа НШ-32 УУРОН от давления

Аналізуючи графіки, представлені на рис. 4 і 5, видно, що теоретична подача не залежить від розвиваемого насосом тиску, а однозначно визначається РОН і частотою обертання НШ. В отличие от теоретической, фактическая подача зависит от развиваемого НШ давления, поскольку с ростом давления уменьшается КП НШ. Разница между теоретическими и экспериментальными кривыми объясняется наличием утечек рабочей жидкости в качающем узле насоса.

Определение общего и механического КПД экспериментального НШ в зависимости от развиваемого давления

Методика определения зависимости общего и механического КПД экспериментального НШ от развиваемого насосом давления представлена в [2, 6, 9].

Результаты исследования зависимости механического и общего КПД от развиваемого насосом давления при разных значениях частоты вращения (табл. 1) представлены в виде графиков (рис. 6, 7).

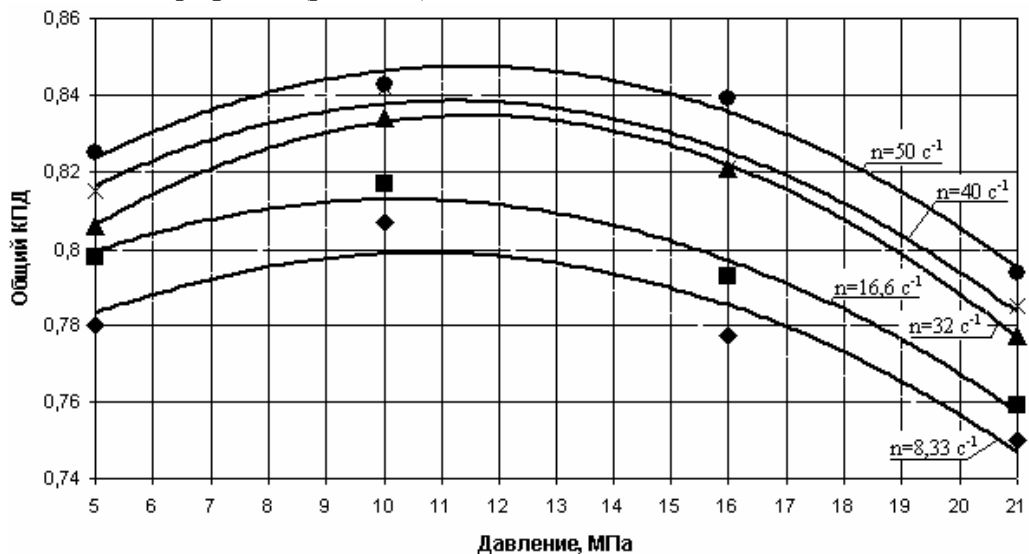


Рисунок 6 - Зависимость общего КПД насоса НШ-20 (32) УУРОН от давления

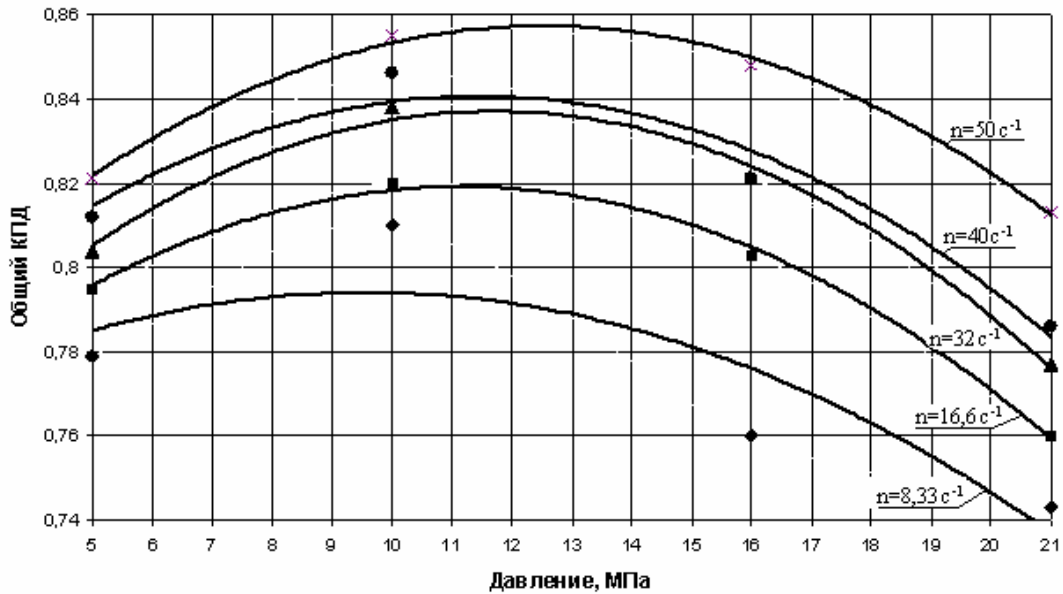


Рисунок 7 - Зависимость общего КПД насоса НШ- 32 УУРОН от давления

Експериментальні криві загального КПД НШ с УУРОН апроксимовані кривими другого порядку. Из рис. 6 и 7 видим, что общий КПД достигает максимума при давлении 11...14 МПа. Помимо этого следует отметить, что с увеличением числа оборотов общий КПД НШ возрастает. Приведенные зависимости общего КПД от давления экспериментальных НШ, как по качественным, так и по количественным параметрам соответствуют серийным насосам [2].

По результатам экспериментальных исследований и расчетов были получены графики зависимости механического КПД от давления для НШ-20 УУРОН и НШ-32 УУРОН при разных частотах вращения насоса (рис. 8 и 9).

Анализируя данные графики, можно отметить следующее:

- кривые, отображающие зависимость механического КПД от давления для насосов НШ-20 УУРОН и НШ-32 УУРОН практически идентичны как по форме кривой, так и по значению механического КПД независимо от типоразмера насоса;
- механический КПД не зависит от частоты вращения НШ;
- механический КПД экспериментальных НШ возрастает до определенного уровня развиваемого насосом давления, что объясняется улучшением условий смазки подшипников насоса, а затем начинает снижаться, что объясняется увеличением сил трения в сопряжениях НШ; кривые зависимости механического КПД от давления имеют максимум в области давления $p = 14...15$ МПа;
- кривые, отображающие зависимость общего КПД от давления, представленные на рис. 6 и 7, по своей форме могут быть апроксимированы кривыми второго порядка (параболами), направленными вершиной вверх с оптимумом, лежащим в пределах $p = 15...17$ МПа.

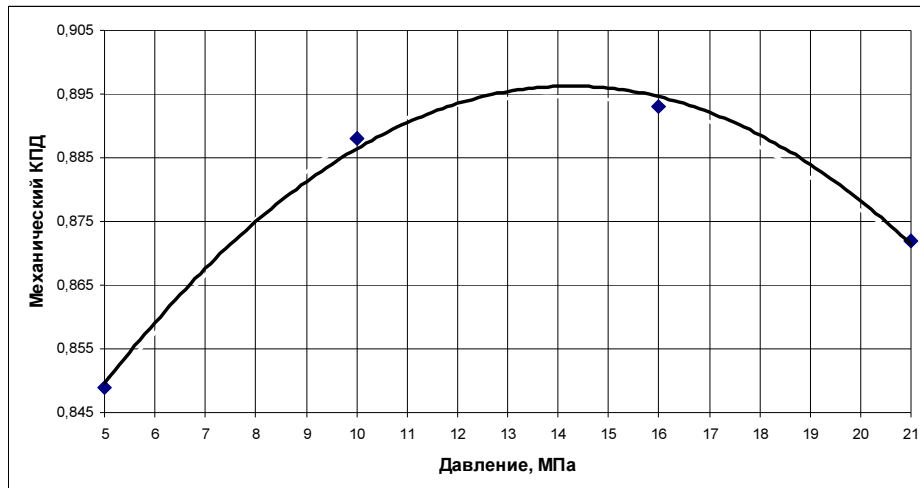


Рисунок 8 - Зависимость механического КПД насоса НШ-20 УУРОН от давления экспериментального насоса

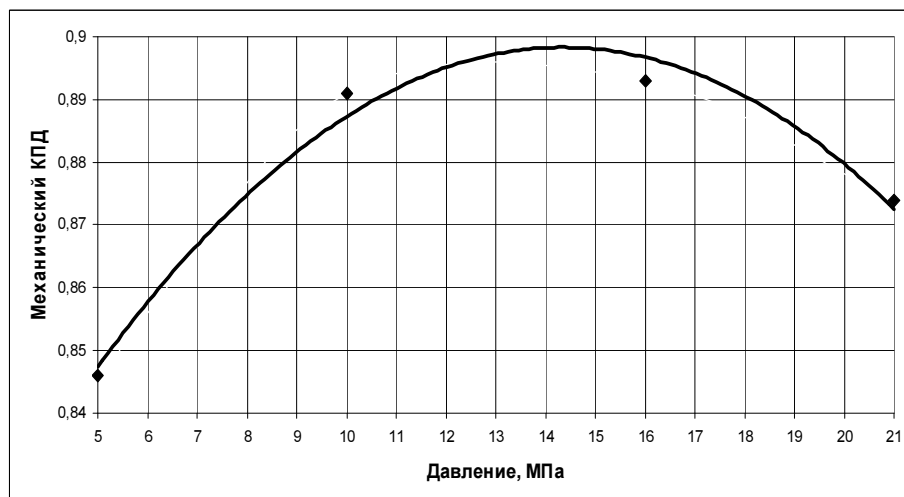


Рисунок 9 - Зависимость механического КПД насоса НШ- 32 УУРОН от давления экспериментального

Сравнивая полученные кривые с кривыми механического КПД серийных насосов [2], видим, что они идентичны, как по форме, так и по величине.

Определение развиваемой мощности экспериментальным НШ в зависимости от давления и частоты вращения

Результаты определения мощности, развиваемой экспериментальными насосами в зависимости от давления и частоты вращения, представлены в виде графиков рис. 10 и 11 соответственно для насосов НШ-20 УУРОН и НШ-32 УУРОН.

Анализируя графики видим, что мощность, развиваемая насосом, линейно зависит от давления. По полученным экспериментальным данным можно сделать вывод, что с возрастанием РОН, развиваемая мощность пропорционально возрастает. Помимо этого с увеличением частоты вращения насоса, что соответствует увеличению подачи насоса, мощность его также возрастает по линейной зависимости.

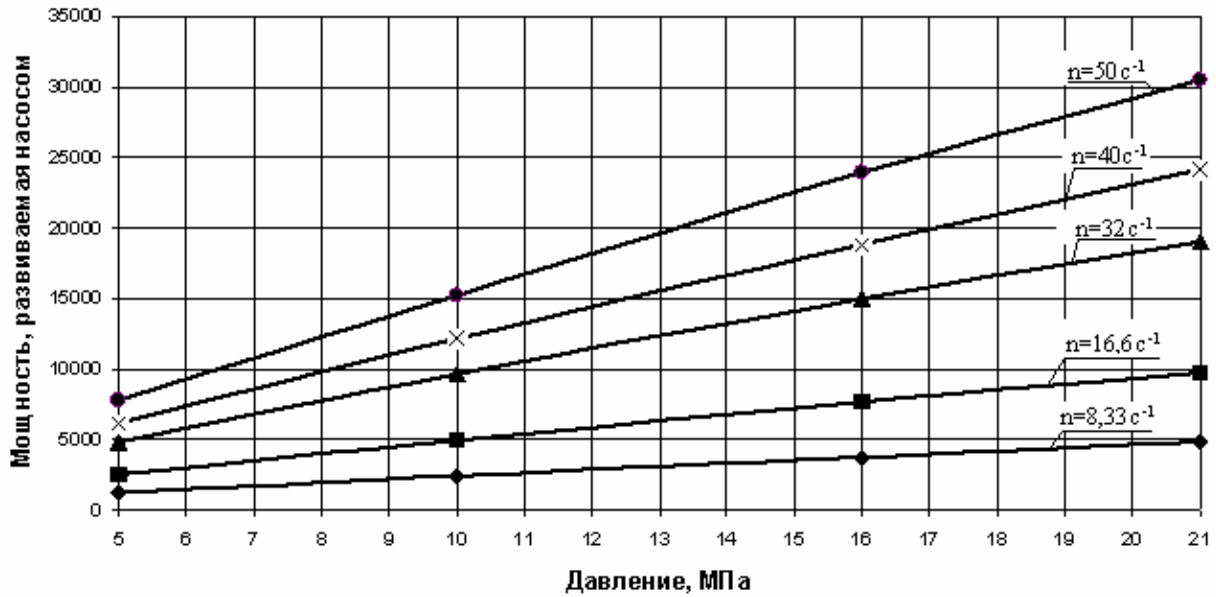


Рисунок 10 - Зависимость мощности, развиваемой экспериментальным насосом НШ-20 УУРОН, от давления для разных значений частоты вращения

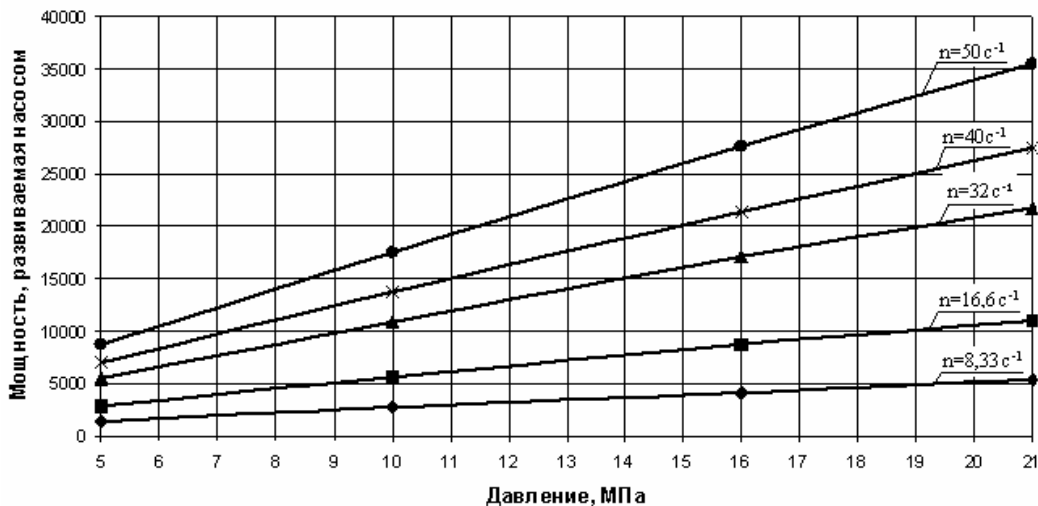


Рисунок 11 - Зависимость мощности, развиваемой экспериментальным насосом НШ-32 УУРОН, от давления для разных значений частоты вращения

Выводы.

Результаты проведенных экспериментальных исследований работоспособности экспериментальных НШ позволяют сделать следующие выводы.

1. Исследования показали, что расхождение между значениями рабочего объема НШ УУРОН, определенными экспериментальным и теоретическим путем не превышает 0,35 %, что подтверждает точность теоретических расчетов.

2. Стендовые экспериментальные исследования основных технических характеристик опытных образцов НШ 32 УУРОН и НШ 20 УУРОН показали, что:

- давление, развиваемое экспериментальными НШ с УУРОН соответствует НШ третьего исполнения, и составляет: номинальное давление $p = 16,0$ МПа, а максимальное - $p = 21,0$ МПа;

- зависимость коэффициента подачи от давления имеет убывающий линейный характер;

- теоретическая подача не зависит от давления, а определяется рабочим объемом насоса и оборотами НШ; фактическая же подача, убывает по мере повышения давления, поскольку пропорциональна также и коэффициенту подачи НШ;

- зависимости общего и механического КПД экспериментального насоса от давления аппроксимируются кривыми второго порядка, имеют вид параболы с оптимумом, лежащим в пределах 12...16 МПа, при этом механический КПД экспериментальных насосов не зависит от оборотов насоса;

- зависимость развиваемой мощности от давления носит возрастающий линейный характер, при этом с увеличением оборотов насоса, скорость возрастания мощности увеличивается, что объясняется увеличением коэффициента подачи НШ.

3. Результаты сравнительного анализа значений теоретического (расчетного) и экспериментального рабочего объема насосов показали, что максимальное расхождение между ними не превышает 0,35%. Кроме того, расхождение между теоретическими и фактическим значением функциональных показателей: давления, подачи, общего и механического КПД и технического ресурса экспериментального НШ с повышенной удельной подачей не превосходит 5,0 %. Такое совпадение теоретических результатов с экспериментальными является подтверждением достоверности теоретических исследований.

Список литературы

1. Ю.В. Кулешков, Р.А. Осин, Т.В. Руденко, М.В. Красота. Оптимизация зубчатого зацепления шестеренного насоса с целью повышения его удельной подачи. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин, вип. 41, ч. II. – Кіровоград: КНТУ, 2011. —270 с.
2. Насоси шестеренні об'ємного гідроприводу. Технічні умови. ГСТУ 3-25-180-97. – К.: Мінпром політики України, 1998. – 48 с.
3. Гідроприводи об'ємні. Насоси об'ємні та гідромотори. ДСТУ 2192-93. – Загальні технічні вимоги. Чинний від 1.07.94 р.
4. Черновол М.І., Кулешков Ю.В. Оптимізація зубчастого зачеплення шестеренного насоса типу НШ у напрямі підвищення його питомого об'єму. Вісник аграрної науки, травень 2011 № 5 – с. 42 – 45.
5. ГОСТ 13823-78 (СТ СЭВ 2576-80, СТ СЭВ 2577-80) Гидроприводы объемные, насосы объемные и гидромоторы. Общие технические требования. Государственный комитет СССР по стандартам. М. 1978 – 7 с.
6. Методика стендових випробувань шестеренного насоса / [Кулешков Ю.В., Матвієнко О.О., Руденко Т.В. та ін] // збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету «Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація» – Кіровоград, КНТУ – 2011. – № 24 (ч.ІІ) – С. 97–110.
7. Юдин Е.М. Шестеренные насосы. Основные параметры и их расчет/ Юдин Е.М. – [2-е изд. перераб. и доп.]. – М.: Машиностроение, 1964. – 236 с.
8. Чиняев И.А. Роторные насосы: [справочное пособие] / Чиняев И.А. – Л.: Машиностроение, 1969. – 216 с.
9. Шестеренные насосы с асимметричной линией зацепления шестерен / [Кулешков Ю.А., Черновол М.И., Без О.В., Титов Ю.А.] //Теория, конструкция и расчет – Кіровоград: «КОД», 2009 – 243 с.
10. Черновол М.І., Кулешков Ю.В. Основні напрями вдосконалення шестеренних насосів сільськогосподарської техніки Вісник аграрної науки, серпень 2008 № 8 – с. 52 - 54.
11. Усовершенствование математической модели мгновенной подачи шестеренного насоса / [Кулешков Ю.В., Осин Р.А., Руденко Т.В., Матвиенко А.А.] // збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету «Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація» – Кіровоград, КНТУ – 2008 – № 20 – С. 253–262.
12. Кулешков Ю.В., Черновол М.І., Руденко Т.В. Гуцул В.І., Осін Р.А. Дослідження поведінки математичної моделі питомого робочого об'єму шестеренного насоса типу НШ від параметрів зубчастого зачеплення. Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація Випуск 23 Кіровоград 2010, с. 278 – 390.

13. Кулешков Ю.В., Руденко Т.В. Осин Р.А., Повышение удельной подачи шестеренного насоса. MOTROL Motorization and Power Industry in Agriculture/ Volume 11A/ Simferopol – Lublin 2009. S.193 – 206.
14. Артемьев Ю.Н. Качество ремонта и надежность машин в сельском хозяйстве. – М.: Колос, 1981. – 239 с.

Ю. Кулешков, Р. Осин, Т. Руденко, М. Красота, К. Кулешкова

Експериментальні дослідження шестеренного насоса із збільшеним питомим робочим об'ємом

В статті представлені результати експериментальних досліджень функціональних параметрів шестеренних насосів із збільшеним питомим робочим об'ємом. Приведені режими випробувань, отримані основні характеристики насоса на різних режимах роботи

Y.Kuleshkov, R.Osin, T.Rudenko, M.Krasota, K.Kuleshkova

Experimental researches of cog-wheel pump with the megascopic specific swept volume

In the article the results of experimental researches of functional parameters of cog-wheel pumps are expounded with the megascopic specific swept volume. The modes over of tests are brought, basic descriptions of pump are got on different office hours.

Получено 21.09.12

УДК 631.354:633.18

Н.Н. Данченко, доц., канд. техн. наук

Таврический государственный агротехнологический университет, г. Мелитополь

Л.А. Дробашко, ст. преподав.

Крымский институт информационно-полиграфических технологий, г. Симферополь

Густота стеблестоя как внешний фактор условий функционирования очёсывающего хедера комбайна

Статья посвящена проблеме динамики функционирования очесывающих жаток, в ней приведены методика и результаты исследований неравномерности густоты стеблестоя риса, как по ширине захвата жатки, так и по направлению движения комбайна.

очёс на корню, очёсывающий хедер, копирование высоты стеблестоя, глубина погружения, густота стеблестоя, статистические характеристики параметров стеблестоя, условия функционирования

Производство зерна – ключевая, стратегически важная отрасль экономики современных стран мира (США, Китай, Франция, Германия, Россия и др.). Они являются не только главными поставщиками зерна на мировом рынке, но и считаются флагманами передовых технологий и крупнейшими производителями зерноуборочной техники.

В условиях крупного производства, широкой межхозяйственной кооперации средних и мелких сельхозпроизводителей комбайновая технология является наиболее распространенной технологией уборки зерновых культур. Из всего исторически

© Н.Н. Данченко, Л.А. Дробашко, 2012

13. Кулешков Ю.В., Руденко Т.В. Осин Р.А., Повышение удельной подачи шестеренного насоса. MOTROL Motorization and Power Industry in Agriculture/ Volume 11A/ Simferopol – Lublin 2009. S.193 – 206.
14. Артемьев Ю.Н. Качество ремонта и надежность машин в сельском хозяйстве. – М.: Колос, 1981. – 239 с.

Ю. Кулешков, Р. Осин, Т. Руденко, М. Красота, К. Кулешкова

Експериментальні дослідження шестеренного насоса із збільшеним питомим робочим об'ємом

В статті представлені результати експериментальних досліджень функціональних параметрів шестеренних насосів із збільшеним питомим робочим об'ємом. Приведені режими випробувань, отримані основні характеристики насоса на різних режимах роботи

Y.Kuleshkov, R.Osin, T.Rudenko, M.Krasota, K.Kuleshkova

Experimental researches of cog-wheel pump with the megascopic specific swept volume

In the article the results of experimental researches of functional parameters of cog-wheel pumps are expounded with the megascopic specific swept volume. The modes over of tests are brought, basic descriptions of pump are got on different office hours.

Получено 21.09.12

УДК 631.354:633.18

Н.Н. Данченко, доц., канд. техн. наук

Таврический государственный агротехнологический университет, г. Мелитополь

Л.А. Дробашко, ст. преподав.

Крымский институт информационно-полиграфических технологий, г. Симферополь

Густота стеблестоя как внешний фактор условий функционирования очёсывающего хедера комбайна

Статья посвящена проблеме динамики функционирования очесывающих жаток, в ней приведены методика и результаты исследований неравномерности густоты стеблестоя риса, как по ширине захвата жатки, так и по направлению движения комбайна.

очёс на корню, очёсывающий хедер, копирование высоты стеблестоя, глубина погружения, густота стеблестоя, статистические характеристики параметров стеблестоя, условия функционирования

Производство зерна – ключевая, стратегически важная отрасль экономики современных стран мира (США, Китай, Франция, Германия, Россия и др.). Они являются не только главными поставщиками зерна на мировом рынке, но и считаются флагманами передовых технологий и крупнейшими производителями зерноуборочной техники.

В условиях крупного производства, широкой межхозяйственной кооперации средних и мелких сельхозпроизводителей комбайновая технология является наиболее распространенной технологией уборки зерновых культур. Из всего исторически

© Н.Н. Данченко, Л.А. Дробашко, 2012

сложившегося многообразия технологий она успешно прошла проверку временем на эффективность и надежность.

Но есть и другая правда. Резервы совершенствования комбайновой технологии и конструкций высокопроизводительных зерноуборочных комбайнов без изменения фундаментальных их основ и принципов работы, как показывает практика, фактически исчерпаны. Одним из перспективных направлений развития зерноуборочной техники и технологий уборки, по мнению многих специалистов, является использование принципа обмолота колосьев (метелок) растений на корню [1-4].

Фундаментальные исследования нового способа уборки зерновых культур очёсом растений на корню были начаты в 1973 году сотрудниками отраслевой лаборатории Мелитопольского института механизации сельского хозяйства (ныне Таврический государственный агротехнологический университет) под руководством к.т.н., доцента Шабанова Петра Антоновича [5]. Сегодня эти работы продолжают последователи и ученики д.т.н., проф. П.А.Шабанова.

На раннем этапе этих исследований были всесторонне изучены анатомо-морфологические особенности строения и физико-механические свойства растений различных зерновых культур (колосовых и метелочных), в частности, пшеницы, риса, овса, ячменя, зернового сорго и других культур с целью определения рациональных способов их обмолота. Выяснилось, что в наиболее полной мере агробиологическим и механическим свойствам растений указанных культур соответствует принцип очёса их соцветий на корню.

Понадобилось около десяти лет кропотливых исследований и лабораторно-полевых испытаний разнообразных опытных образцов очесывающих устройств, в результате которых было создано эффективное, надежное в работе и перспективное двухбарабанное очесывающее устройство МОН-4,0 (1983 г.). Первый макетный образец МОН-4,0 успешно прошел в 1984-1985 годах полевые испытания на уборке риса, а в последующем и на других зерновых культурах (рис.1) [5, 6].



Рисунок 1 – Общий вид очесывающего устройства МОН-4,0 конструкции МИМСХ

Новую научную идею быстро подхватили и стали активно развивать многие исследователи и конструкторы, ею заинтересовались производители в нашей стране и далеко за ее пределами. Многочисленные публикации, выступления ведущих специалистов, рост количества патентов в данной области научно-технических разработок, реклама зерноуборочной техники очесывающего типа свидетельствуют о

достоинствах новой технологии и очесывающих жаток, применяемых на уборке зерновых культур. А именно: высокая производительность, низкие потери и высокое качество бункерного зерна, существенно меньшие энергозатраты, значительное снижение динамических нагрузок на рабочие органы комбайна из-за малого количества соломистых примесей в зерновом ворохе, поступающем от очесывающей жатки в его молотилку, высокая надежность работы на засорённом и полеглом хлебостое и другие преимущества [2-4, 7].

Наряду с этим, во многих работах обращается особое внимание на важность для очесывающих жаток такого регулировочного параметра, как глубина погружения очесывающих рабочих органов в стеблестой [3, 8]. Процесс контроля и управления этим параметром при работе очесывающих жаток на повышенных скоростях усложняется большой изменчивостью по длине гона комбайна и ширине захвата жатки высоты стеблестоя и ярусности залегания в нём соцветий (колосьев, метелок) [9]. Отсюда возникла необходимость в разработке такой системы автоматического копирования высоты стеблестоя, которая обеспечивала бы непрерывный контроль и стабилизацию на требуемом уровне глубины погружения очесывающего устройства в стеблестой [10].

Другой мало изученной проблемой оказалась динамическая устойчивость положения относительно поверхности стеблестоя очесывающего хедера комбайна при его работе на повышенных скоростях. Природа внешних возмущающих воздействий на очесывающий хедер, приводящая к нарушению его динамической устойчивости и появлению пространственных колебаний, остается до сих пор не выясненной. В качестве одной из рабочих гипотез на этот счет, по нашему мнению, может служить предположение о том, что одной из ключевых характеристик внешних условий функционирования очесывающей жатки, определяющей ее динамические свойства, является степень неравномерности густоты стеблестоя по площади поля.

Поэтому целью данной работы явилось изучение степени изменчивости густоты стеблестоя по ширине захвата очесывающего хедера и по длине гона комбайна. Исследования проводились на вызревшем стеблестое риса в КСП «Герои Сиваша» Краснопереконского района АР Крым.

Методика полевых исследований заключалась в следующем. На выбранной делянке чека вдоль гона комбайна по всей ширине захвата хедера с шагом $S_j = 1$ м размечались 44 поперечных сечения, затем в каждом сечении устанавливалось встык 8 рамок стандартного для агробиологических опытов размером $0,5 \times 0,5$ м, расстояние между центрами рамок в сечении $S_i = 0,5$ м (рис. 2). После этого в площади каждой рамки отдельно подсчитывалось и регистрировалось количество стеблей риса. Общая площадь обследованного стеблестоя составила 516 м^2 , а объем выборки определен количеством рамок, установленных на данной площади, $N = 352$. Такая выборка вполне может считаться репрезентативной в рамках поставленной задачи. Математическая обработка результатов измерений производилась с использованием пакета программ SPSS-13,0. Анализ полученных данных проводился в три этапа. На первом этапе изучались статистические характеристики для всей совокупности значений густоты стеблестоя. На втором этапе анализировались данные, характеризующие изменчивость исследуемого параметра по ширине захвата очесывающего хедера. На третьем этапе исследовались характеристики изменчивости густоты стеблестоя по длине гона комбайна.

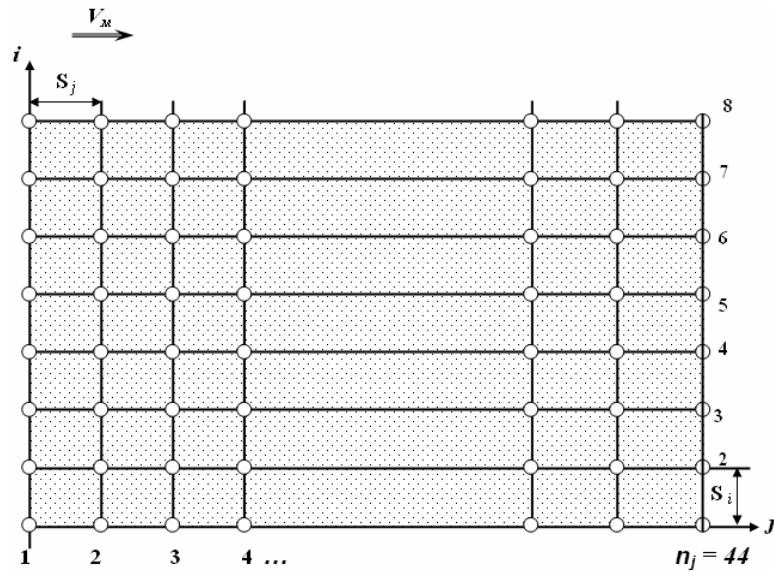


Рисунок 2 – Схема замірів в польовому досвіді ($S_i = 0,5$ м; $S_j = 1,0$ м)

Розподілення густоти стеблестоя (сорт риса «Краснодарський 424») в межах досліджуваної площі чека характеризують дані вимірювань, приведені в табл.1.

Таблиця 1 – Розподілення густоти стеблестоя в межах ділянки чека

Номер сечення	Густина стеблестоя в площині рамок, шт./м ²							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	392	392	304	260	476	256	304	268
2	296	152	284	372	296	576	216	340
3	220	216	228	412	340	448	296	196
4	248	300	272	496	304	332	200	208
5	288	280	296	352	228	304	256	128
6	248	80	128	260	256	192	284	300
7	296	324	200	344	236	264	404	124
8	232	344	284	416	324	476	364	316
9	252	232	196	304	304	208	316	224
10	288	344	304	308	272	252	300	372
11	328	396	732	524	352	376	304	172
12	208	276	228	408	316	156	276	364
13	208	284	272	296	208	344	208	380
14	268	316	192	140	248	316	184	224
15	336	332	260	268	276	148	180	280
16	452	232	136	188	252	208	284	304
17	320	328	368	392	300	328	336	272
18	336	408	160	384	204	344	84	392
19	220	412	304	340	360	220	288	224
20	276	472	396	396	172	316	304	248
21	172	192	156	304	244	248	192	388
22	180	368	336	300	220	116	320	228
23	224	296	336	220	172	276	216	256
24	232	284	220	264	196	252	192	292
25	200	272	376	280	224	124	268	224

26	268	352	436	308	416	308	380	144
27	184	236	216	392	356	376	264	232
28	208	304	248	348	224	224	372	236
29	448	304	332	196	260	192	488	192
30	276	296	228	308	280	372	228	204
31	324	380	332	268	232	224	288	180
32	224	184	312	280	252	228	232	292
33	268	272	232	260	284	244	252	280
34	304	252	300	572	252	260	284	368
35	300	304	328	392	236	268	308	328
36	252	232	412	452	292	340	216	220
37	132	160	200	396	144	168	200	220
38	328	304	296	236	228	264	220	144
39	224	188	316	372	276	276	248	228
40	196	292	276	272	284	224	256	284
41	180	264	224	284	220	280	308	264
42	172	152	204	156	244	76	256	256
43	232	200	180	476	112	100	140	100
44	384	300	196	224	288	252	260	188

Статистические характеристики изменчивости густоты стеблестоя риса по всей исследованной площади чека и плотность распределения данной случайной величины представлены в табл. 2 и на рис. 3.

Таблица 2 – Статистические характеристики густоты стеблестоя (G , шт./м²)

Наименование показателей	Значение
Количество рамок	352
Среднее значение густоты	275,8
Стандартная ошибка среднего	4,54
Стандартное отклонение	85,2
Минимальное значение густоты	76
Максимальное значение густоты	732
Коэффициент вариации, %	30,9

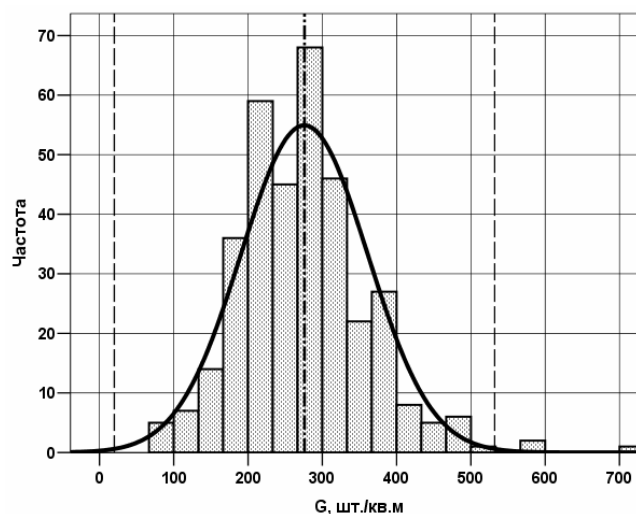


Рисунок 3 – Плотность распределения густоты стеблестоя для всей совокупности измерений

Результаты статистической обработки (табл. 2, рис. 3) показали, что густота стеблестоя (G) достоверно подчиняется закону нормального распределения, параметры которого характеризуются выборочной средней $G_{cp} = 276$ шт./м² и стандартным отклонением $\sigma = 85$ шт./м². С вероятностью $P = 0,954$ густота стеблестоя риса изменяется в пределах (106; 446) шт./м², а её высокую вариабельность характеризует коэффициент вариации $v_{\sigma} = 30,9$ %. При допущении, что силы, действующие на рабочие органы очесывающей жатки, пропорциональны густоте стеблестоя, становится очевидным факт о достаточно изменчивом характере динамических нагрузок на жатку.

Степень неравномерности (δ , %) густоты стеблестоя по ширине захвата жатки в каждом сечении предлагается определять по границам (G_{max} ; G_{min}) варьирования параметра G и его среднему (G_{cp}) для всего массива значений, полученному для каждого j -го сечения, пользуясь такой формулой:

$$\delta_j = \frac{G_{jmax} - G_{jmin}}{G_{jcd}} \cdot 100. \quad (1)$$

Результаты обработки данных (табл. 1) с использованием формулы (1) сведены в табл. 3 и представлены на рис. 4.

Таблица 3 – Неравномерность густоты стеблестоя по ширине захвата жатки

Номер сечения	Параметры густоты стеблестоя по сечениям, шт./м ²					
	Среднее	Максимум	Минимум	Размах	Коэффициент вариации, v_{σ} , %	Степень неравномерности, δ , %
1	332	476	256	220	24,1	66,3
2	317	576	152	424	39,6	133,8
3	294	448	196	252	32,8	85,7
4	295	496	200	296	31,7	100,3
5	267	352	128	224	25,0	83,9
6	218	300	80	220	35,9	100,9
7	274	404	124	280	32,1	102,2
8	345	476	232	244	22,0	70,7
9	255	316	196	120	18,6	47,1
10	305	372	252	120	12,5	39,3
11	398	732	172	560	41,9	140,7
12	279	408	156	252	29,7	90,3
13	275	380	208	172	23,7	62,5
14	236	316	140	176	26,8	74,6
15	260	336	148	188	25,4	72,3
16	257	452	136	316	37,0	123,0
17	330	392	272	120	11,3	36,4
18	289	408	84	324	42,4	112,1
19	296	412	220	192	24,3	64,9
20	323	472	172	300	29,6	92,9
21	237	388	156	232	32,8	97,9
22	259	368	116	252	33,5	97,3
23	250	336	172	164	20,9	65,6
24	242	292	192	100	15,7	41,3
25	246	376	124	252	29,6	102,4

26	327	436	144	292	28,6	89,3
27	282	392	184	208	28,5	73,8
28	271	372	208	164	23,1	60,5
29	302	488	192	296	38,4	98,0
30	274	372	204	168	19,7	61,3
31	279	380	180	200	23,6	71,7
32	251	312	184	128	16,8	51,0
33	262	284	232	52	6,9	19,8
34	324	572	252	320	33,1	98,8
35	308	392	236	156	14,9	50,6
36	302	452	216	236	30,1	78,1
37	203	396	132	264	41,4	130,0
38	253	328	144	184	23,2	72,7
39	266	372	188	184	21,8	69,2
40	261	292	196	96	13,0	36,8
41	253	308	180	128	16,5	50,6
42	190	256	76	180	33,2	94,7
43	193	476	100	376	64,7	194,8
44	262	384	188	196	24,4	74,8

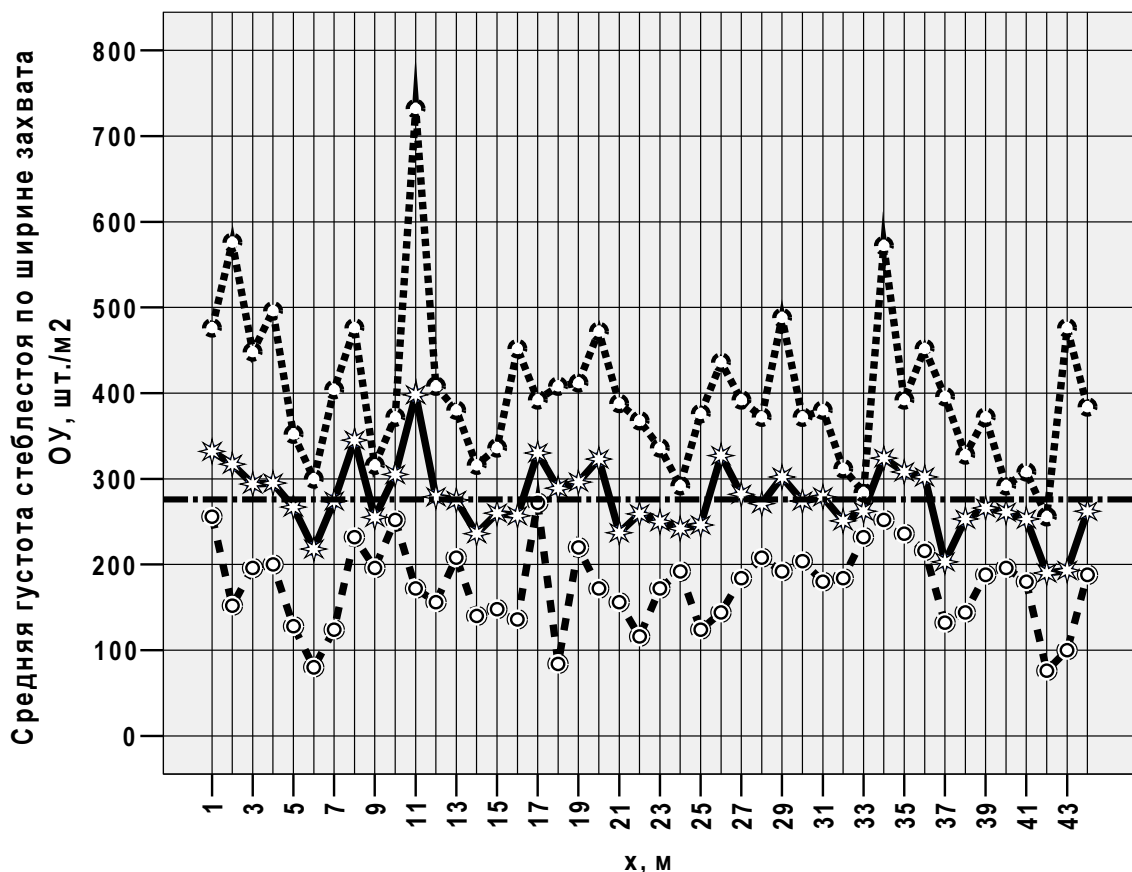


Рисунок 4 – Изменчивость средней и границ варьирования густоты стеблестоя вдоль гона комбайна

Из этих материалов следует, что средняя для каждого сечения густота стеблестоя по отношению к генеральной средней ($G_{cp} = 276 \text{ шт./м}^2$), полученной для всей обследованной площади чека, в значительной мере варьирует по длине гона (от 190 до 398 шт./м² при коэффициенте вариации $v_{\sigma} = 14,8\%$). Степень неравномерности

густоти стеблестоя по ширине захвата очёсывающей жатки (δ , %), учитывающая размах её значений ($G_{\max} - G_{\min}$) в каждом j -ом сечении, изменчива по длине гона в существенно большей мере, чем средние значения $G_{j\text{ср}}$ густоты. Так, при среднем значении показателя $\delta_{\text{ср}} = 81,4$ % (для всей совокупности значений) границы варьирования δ_j заключены в пределах (19,8; 194,8 %), а коэффициент вариации его равен $v_{\sigma} = 39,8$ %. Отсюда следует вывод о том, что очёсывающий барабан жатки постоянно испытывает переменные по величине и характеру распределения по его длине динамические нагрузки со стороны стеблестоя.

Таким образом, приведенные результаты исследований подтвердили гипотезу о том, что одним из основных факторов дестабилизации динамической устойчивости положения очёсывающих жаток относительно поверхности стеблестоя и относительно остова комбайна является неравномерность густоты стеблестоя, как по ширине захвата жатки, так и по длине гона.

Список литературы

1. Погорелый Л.В. Колосоуборки – «стрипперы-очёсыватели» – фатаморгана или новая эра в зерноуборке? / Л.В. Погорелый, С.Н. Коваль // Перспективні технології збирання зернових культур, рису та насіння трав: матеріали міжнар. конф., (Мелітополь, 11-14 черв. 2003р.) / М-во аграр. політики, Тавр. держ. агротех. акад. - Праці ТДАТА. – Мелітополь: Таврійська державна агротехнічна академія, 2003.– Вип. 16.– С. 31–57.
2. Бурьянов А. И. Обоснование класса комбайна для уборки зерновых методом очеса / А. И: Бурьянов, Н. И. Пасечный // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2004. - № 4. - С. 21-23.
3. Сысолин П.В. Проблемы и перспективы внедрения в Украине технологии уборки зерновых колосовых культур методом очесывания колосков / П.В. Сысолин, И. Иваненко // Техника АПК. – 2008. - № 5.– С.24–29.
4. Жалнин Э. В. Альтернативные технологии уборки зерновых / Э. В. Жалнин // Сельский механизатор. 2010. - № 9. — С. 12-17.
5. Шабанов П.А. Отраслевая научно-техническая лаборатория зерноуборочных машин Таврической агротехнической академии (краткий исторический обзор) / П.А.Шабанов, Н.Н. Данченко // Перспективні технології збирання зернових культур, рису та насіння трав: матеріали міжнар. конф., (Мелітополь, 11-14 черв. 2003р.) / Міністерство аграрної політики, Тавр. держ. агротех. акад. - Праці ТДАТА. – Мелітополь: Таврійська державна агротехнічна академія, 2003.– Вип. 16.– С. 5–23.
6. Шабанов П.А. Обмолот зерновых культур на корню / [Шабанов П.А., Данченко Н.Н., Гончаров Б.И., Голубев И.К., Самофалов Н.К., Аблогин Н.Н.] // Техника в сельском хозяйстве. - 1987. - № 7. - С.15-16.
7. Думенко К.Н. Анализ перспектив развития высоконадежной зерноуборочной техники в Украине / К.Н. Думенко // Энергоресурсосберегающие технологии и технические средства для их обеспечения в сельскохозяйственном производстве: материалы междунар. конф. молодых ученых (Минск, 25-26 авг.2010 г.) / РУП «Науч.-практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по механизации сельского хозяйства». –Минск: НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2010. – С.69-76.
8. Данченко Н.Н. Механико-технологические основы контроля и управления глубиной погружения очёсывающего устройства в стеблестой / [Данченко Н.Н., Дробашко Л.А., Стоев Н.Ф., Спириинцев Д.В.] // – Праці ТДАТА– 2005.– Вип. 31.– С. 113-119.
9. Данченко Н.Н. Агробиологические и биометрические характеристики стеблестоя риса – главные предпосылки к технологии его очеса на корню и автоматизации управления этим процессом / Н.Н. Данченко, Л.А. Дробашко // – Праці ТДАТА.– 2006.– Вип. 43.– С. 73– 85.
10. Дробашко Л.А. Биометрия стеблестоя как внешний фактор условий функционирования очёсывающего устройства / Дробашко Л.А., Данченко Н.Н., Стоев Н.Ф. // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць Кіровоградського нац. техн. університету. –Кіровоград : КНТУ, 2009.– Вип. 22.– С. 86–89.

М. Данченко, Л. Дробашко

Густина стеблостою як зовнішній чинник умов функціонування обчісуючого хедера комбайна

Стаття присвячена проблемі динаміки функціонування обчісуючих жниварок, в ній наведено методику та результати досліджень нерівномірності густини стояння рослин рису як по ширині захвату жнивarki, так і за напрямком руху комбайна

N. Danchenko, L. Drobashko

The density of the mutual position of plant as an external factor of the functioning of the stripper header the combine harvester

The article deals with the dynamics of the functioning of the stripper header, there are methods and results of studies of uneven density of standing rice plants both in width stripping header, and in the direction of movement combine.

Одержано 20.09.12

УДК 631.3:636

К.М. Деркач, асп.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Удосконалення технології вилучення жиркових речовин з барометричних вод систем дезодорування масложирових виробництв для отримання кормових добавок

У статті розроблено модельна установка для вилучення жиркових речовин з барометричних вод систем дезодорування масложирових виробництв. Визначено оптимальні конструктивно-режимні параметри модельної установки, розподіл зони аерування з використанням інструмента інтерактивної сегментації цифрових зображень.

установка для вилучення жиркових речовин, розподіл зони аерування, інтерактивна сегментація

У годівлі сільськогосподарських тварин широко використовуються рослинні жири, застосовуються побічні продукти та відходи масложирових виробництв [1, 2]. В останні роки на масложирових виробництвах застосовується дистиляційне рафінування рослинних олій. У конденсаторах змішування систем дезодорування рослинних олій жирковий дистилят переходить в барометричну воду системи дезодорування. В цьому випадку необхідно вилучати жиркові речовини з барометричної води та піни, що накопичується в барометричній коробці [3]. Одним з основних напрямів в області вилучення жиркових речовин з технологічних вод масложирових виробництв є розташування додаткового обладнання для вилучення жиркових речовин з води [4]. У

© К.М. Деркач, 2012

М. Данченко, Л. Дробашко

Густина стеблостою як зовнішній чинник умов функціонування обчісуючого хедера комбайна

Стаття присвячена проблемі динаміки функціонування обчісуючих жниварок, в ній наведено методику та результати досліджень нерівномірності густини стояння рослин рису як по ширині захвату жнивarki, так і за напрямком руху комбайна

N. Danchenko, L. Drobashko

The density of the mutual position of plant as an external factor of the functioning of the stripper header the combine harvester

The article deals with the dynamics of the functioning of the stripper header, there are methods and results of studies of uneven density of standing rice plants both in width stripping header, and in the direction of movement combine.

Одержано 20.09.12

УДК 631.3:636

К.М. Деркач, асп.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Удосконалення технології вилучення жиркових речовин з барометричних вод систем дезодорування масложирових виробництв для отримання кормових добавок

У статті розроблено модельна установка для вилучення жиркових речовин з барометричних вод систем дезодорування масложирових виробництв. Визначено оптимальні конструктивно-режимні параметри модельної установки, розподіл зони аерування з використанням інструмента інтерактивної сегментації цифрових зображень.

установка для вилучення жиркових речовин, розподіл зони аерування, інтерактивна сегментація

У годівлі сільськогосподарських тварин широко використовуються рослинні жири, застосовуються побічні продукти та відходи масложирових виробництв [1, 2]. В останні роки на масложирових виробництвах застосовується дистиляційне рафінування рослинних олій. У конденсаторах змішування систем дезодорування рослинних олій жирковий дистилят переходить в барометричну воду системи дезодорування. В цьому випадку необхідно вилучати жиркові речовини з барометричної води та піни, що накопичується в барометричній коробці [3]. Одним з основних напрямів в області вилучення жиркових речовин з технологічних вод масложирових виробництв є розташування додаткового обладнання для вилучення жиркових речовин з води [4]. У

© К.М. Деркач, 2012

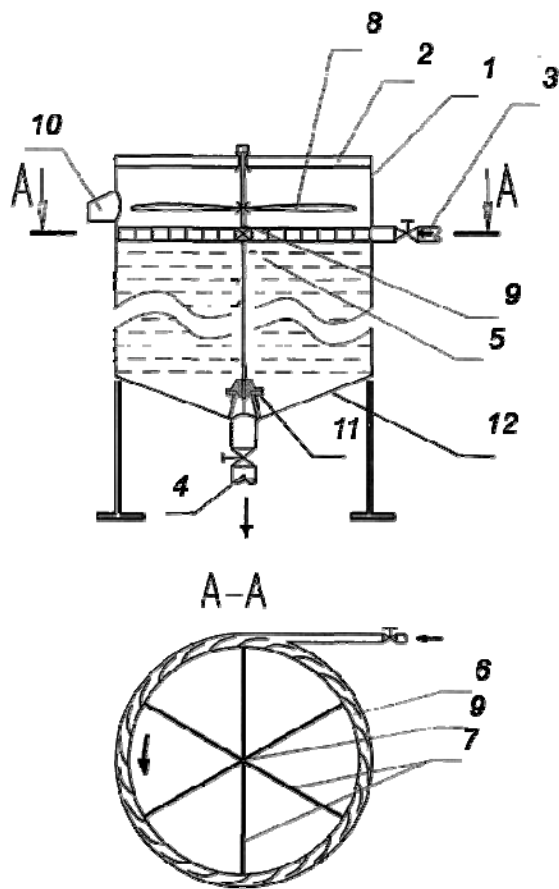
зв'язку з цим розробка установки для вилучення жирних речовин з барометричних вод систем дезодорування масложирних виробництв є актуальною.

Раніше нами були проведені попередні дослідження [5, 6], направлені на розробку установки для вилучення жирних речовин з води з механічним диспергуванням повітря. Проте ці дослідження мають попередній характер і потребують подальшого розвитку та визначення оптимальних частоти обертання вала установки, кількості лопаток і променів на кільцеподібному перемішуючому пристрої для забезпечення більшої зони аерування.

В роботі [7] для визначення розподілу зони аерування відокремлювали область, в якій знаходяться бульбашки газу, від області, в якій бульбашки газу відсутні за допомогою операції бінаризації вихідного цифрового зображення. Для інтерактивної сегментації зображень широко застосовується алгоритм Magic Wand, що вбудований практично у кожен сучасний графічний редактор [8]. Користувач вказує піксель об'єкта та задає поріг. Алгоритм Magic Wand відносить до об'єкта область, що включає заданий піксель, і кольори всіх пікселів якої відрізняються від кольору заданого пікселя не більше, ніж на даний поріг. По вказівці користувача можна виділити лише зв'язну підобласть, що включає заданий піксель.

Метою даної статті є визначення оптимальних конструктивно-режимних параметрів модельної установки для вилучення жирних речовин з барометричних вод систем дезодорування масложирних виробництв, що сприяють утворенню більшої зони аерування у ємкості модельної установки.

Дослідження здійснювалися на експериментальному стенді, що складався з лабораторної модельної установки для вилучення жирних речовин з барометричних вод з механічним диспергуванням повітря, відцентрового насоса з номінальною об'ємною подачею 1,8 м³/год, ємкостей вихідної та обробленої барометричної води, шлангів і штуцерів з запірною арматурою. Лабораторна модельна установка (рис. 1, а) складалася з ємкості 1 у вигляді вертикального циліндра, виконаного з прозорого оргскла, що дозволяло спостерігати за процесом вилучення жирних речовин з модельної барометричної води та отримувати цифрові зображення для визначення розподілу зони аерування, висотою 800 мм, діаметром 650 мм з конічним днищем 12 і кришкою 2, з штуцерами 3 і 4, що мали вентиля, відповідно, для підведення вихідної та відведення обробленої модельної барометричної води, кільцеподібного перемішуючого пристрою 5 з зовнішніми лопатками 6 і внутрішніми променями 7 і веслоподібного скидача піни 8, які були закріплені на одному вертикальному валу 9, верхній кінець якого вільно обертася в кришці 2, а нижній кінець був рухомо закріплений у кінцевому підшипнику 11, розташованому на конічному днищі 12, лотка 10 для видалення піни з ємкості 1, розташованого тангенціально вище рівня води.



а)

б)

а) – схема лабораторної модельної установки; б) – загальний вигляд лабораторної модельної установки

Рисунок 1 – Лабораторна модельна установка

Лабораторна модельна установка працювала наступним чином. Закривали вентиль на відвідному штуцері 4 і відкривали вентиль на підвідному штуцері 3. При цьому вихідна вода надходила з шлангу по підвідному штуцеру 3 в ємкість 1. Після заповнення цієї ємкості водою до рівня, що забезпечував покриття верхньої поверхні кільцеподібного перемішуючого пристрою 5, відкривали вентиль на відвідному штуцері 4. При цьому витрату води через ємкість підтримували за допомогою запірної арматури таку, щоб рівень її залишався незмінним. Струмінь вихідної води, що надходив у ємкість тангенціально з шлангу через штуцер 3, діяв на зовнішні лопатки 6 перемішуючого пристрою 5, приводячи його в обертальний рух разом з валом 9, верхній кінець якого вільно обертався в кришці 2, а нижній кінець був рухомо закріплений в кінцевому підшипнику 11, і закріпленим на ньому веслоподібним скидачем піни 8. При цьому зовнішні лопатки 6 і внутрішні промені 7 кільцеподібного перемішуючого пристрою 5 створювали турбулентний водний потік, у який затягувалися бульбочки атмосферного повітря, що знаходилося вище рівня води, які прилипали до крапельок жирних речовин з утворенням піни, що видалялася назовні через розташований тангенціально вище рівня води лотік 10, веслоподібним скидачем 8, що приводився в рух валом 9.

В якості модельної барометричної води системи дезодорування застосовували емульсію типу «олія в воді» з концентрацією олії 0,15% (мас.). Для приготування модельної барометричної води об'ємом 250 л використовували господарсько-питну воду з централізованого водопроводу, підігріту до температури 40 °С за допомогою побутового погрузного водонагрівача ЕПО-1,0/220 ГОСТ 14705-83, та дезодоровану виморожену соняшникову олію «Олейна класична» марки «П» виробництва ЗАТ «Дніпропетровський олійноекстракційний завод» (Україна). Для приготування модельної барометричної води протягом кількох хвилин дві рідини перемішували циркуляцією по системі «ємкість-насос-ємкість» за допомогою відцентрового насоса.

Оптимальні технологічні параметри визначали за розподілом зони аерування та ступенем вилучення олії з модельної барометричної води. Для сегментації зображень на області з бульбашками повітря та без них використовували інструмент інтерактивної сегментації Magic Wand у програмі Adobe Photoshop CS3 Extended. В якості затравочних пікселів використовували послідовно пікселі областей з бульбашками повітря. Для визначення параметра Tolerance інструмента Magic Wand виділяли послідовно пікселі областей з бульбашками повітря та підбирали максимальний параметр Tolerance, при якому не виділялися області без бульбашок повітря. Для зручності аналізу сегментованих зображень змінювали колір кожної області сегментованих зображень так, щоб вони візуально легко відрізнялися. Ступінь вилучення олії з модельної барометричної води розраховували за формулою:

$$\alpha = \frac{C_0 - C_k}{C_0} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де α - ступінь вилучення олії з модельної барометричної води, %;

C_0 - початкова концентрація олії в модельній барометричній воді, %;

C_k - кінцева концентрація олії в воді, %.

Початкову C_0 та кінцеву C_k концентрації визначали за допомогою нефелометра типу НФМ. Для отримання цифрових зображень застосовували цифровий фотоапарат Olympus μ 700.

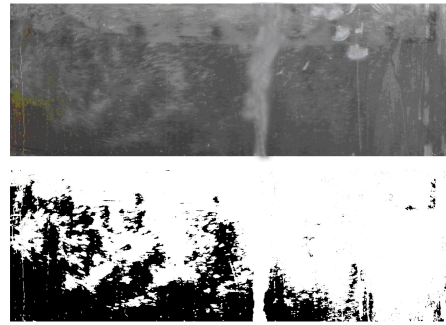
Для зважування олії використовували ваги лабораторні ВЛР-1000 3-го класу точності з межею зважування 1000 г, ціною ділення шкали 10 мг, точністю вимірювання 10 мг за ГОСТ 24104-88. Для вимірювання часу використовували секундомір механічний СОСпр-26-2-010 2-го класу точності з межею вимірювання 60 хвилин, ціною ділення секундної шкали 0,2 с, ціною ділення лічильника хвилин 1 хвилина, точністю вимірювання 0,6 с за 10 хвилин.

Для визначення оптимальних технологічних параметрів змінювали частоту обертання вала установки в діапазоні 10...100 об/хв з кроком 10 об/хв за допомогою запірної арматури на підвідному штуцері, кількість лопаток і променів на перемішуючому пристрої, відповідно, в діапазоні 12...24 з кроком 2 та в діапазоні 4...8 з кроком 2.

Дослідження показали, що кращий розподіл зони аерування та ступінь вилучення олії з модельної барометричної води, що склав у середньому 56%, вищий при частоті обертання вала установки 90 об/хв, кількості лопаток 22 та променів 4. Тому оптимальними параметрами модельної установки для вилучення жирних речовин з барометричної води є наступні: частота обертання вала установки 90 об/хв, кількість лопаток на кільцеподібному перемішуючому пристрої 22, кількість променів на кільцеподібному перемішуючому пристрої 4. Параметр Tolerance інструмента Magic Wand при визначенні розподілу зони аерування (рис. 2) знаходився у діапазоні 32...70.



а)



б)

а) – в ємкості лабораторної модельної установки; б) – після інтерактивної сегментації за допомогою Magic Wand

Рисунок 2 – Розподіл зони аерування

За отриманими результатами виготовлено зразок модельної установки для вилучення жирових речовин з барометричних вод систем дезодорування масложирових виробництв (рис. 3).



а)



б)



а) – загальний вигляд; б) – перемішуючий пристрій, скидач піни, закріплені на валу

Рисунок 1 – Модельна установка

Висновки. 1. Розроблено модельну установку для вилучення жирових речовин з барометричних вод систем дезодорування та визначено оптимальну частоту обертання вала модельної установки, на якому закріплені кільцеподібний перемішуючий пристрій і скидач піни, 90 об/хв, оптимальну кількість лопаток на кільцеподібному перемішуючому пристрої 22, оптимальну кількість променів на кільцеподібному перемішуючому пристрої 4.

2. Визначено розподіл зони аерування у ємкості лабораторної модельної установки з використанням інструмента Magic Wand інтерактивної сегментації цифрових зображень.

Подальші дослідження будуть направлені на розробку раціональної технології отримання кормових добавок з жиромістких відходів масложирових виробництв і

введення їх у розсіпні комбікорми, використовуючи викладені вище результати досліджень.

Список літератури

1. Дурст Л., Виттман М. Кормление сельскохозяйственных животных. - Винница : Нова книга, 2003. - 382 с.
2. Свеженцов А.И., Коробко В.Н. Нетрадиционные кормовые добавки для животных и птицы. – Днепропетровск : Арт-Пресс, 2004. - 296 с.
3. Васильева Г.Ф. Дезодорация масел и жиров. - СПб. : ГИОРД, 2000. - 184 с.
4. Гавриленков А.М. Экологическая безопасность пищевых производств / А.М. Гавриленков, С.С. Зарцына, С.Б. Зуева - СПб. : ГИОРД, 2006. - 272 с.
5. Деркач К. М., Осокін В.В. Установка для очищення води від емульгованих речовин // Збірка доповідей IV Міжнародної наукової конференції аспірантів та студентів. Т.1. – Донецьк : ДонНТУ, 2005. – С. 115-116.
6. Пат. 57661 Україна, МПК C02F 1/40. Установка для вилучення жирових речовин із води / Р.М. Рогатинський, К.М. Деркач. – № u 2010 09302; заявл. 26.07.2010 ; опубл. 10.03.2011, Бюл. № 5.– 3с.
7. Барыбин А.И. Исследование зоны аэрации во флотационной камере при горизонтальном расположении эжекторного аэратора // Проблемы водопостачання, водовідведення та гідравліки : наук.-техн. зб. - К.: КНУБА, 2009. - Вип. 12. - С. 178-184.
8. Вадим Конушин, Владимир Вежнев. Методы сегментации изображений: интерактивная сегментация. Компьютерная графика и мультимедиа. Выпуск №5(1)/2007. <http://cgm.computergraphics.ru/content/view/172>

К. Деркач

Усовершенствование технологии извлечения жировых веществ из барометрических вод систем дезодорации масложировых производств для получения кормовых добавок

В статье разработана модельная установка для извлечения жировых веществ из барометрических вод систем дезодорирования масложировых производств. Определены оптимальные конструктивно-режимные параметры модельной установки, распределение зоны аэрирования с использованием инструмента интерактивной сегментации цифровых изображений.

К. Derkach

Improvement of technology of moving fatty substances away from barometric waters of the systems of deodorizing of oils and fatty productions for the production of forage additions

In the article the model plant for moving fatty substances away from barometric waters of the systems of deodorizing of oils and fatty productions is developed. The optimal structurally-regime parameters of the model plant, distribution of zone of aeration are certain with the use of instrument of interactive segmentation of digital images.

Одержано 21.09.12

УДК 656.7.086 (45)

**Т.Ф. Шмельова, доц., канд. техн. наук, Ю.В. Сікірда, доц., канд. техн. наук,
А.В. Землянський, асп., С.О. Астаф'єв, асп.**

Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету

Інформаційно-аналітичний діагностичний комплекс для дослідження закономірностей діяльності людини-оператора аеронавігаційної системи

В статті розглянутий склад і функції інформаційно-аналітичного діагностичного комплексу для дослідження закономірностей діяльності операторів аеронавігаційної системи та їх колективів.
аеронавігаційна система, людина-оператор, позаштатні польотні ситуації, інформаційна підтримка, емоційний стан, соціонічна модель, програмний комплекс

Вступ. Згідно з документами, що регламентують льотну експлуатацію і управління повітряним рухом, остаточне рішення при виникненні позаштатних ситуацій приймає командир ПК. Але в зв'язку з великою часткою прийняття екіпажем ПК неадекватних рішень, що складає 90% причин авіаційних подій у світі для всіх типів ПК [1; 2], відповідальність за своєчасні й вірні рекомендації в позаштатних ситуаціях покладено на авіадиспетчера. Для цього важливо для диспетчера володіти оперативною інформацією про розвиток позаштатної ситуації, про поточний емоційний стан людини-оператора (Л-О), що управляє ПК, а також мати кількісну оцінку прогнозу розвитку позаштатної ситуації з урахуванням індивідуальних якостей та можливостей Л-О, що діє в екстремальних умовах. Найбільш поширеними засобами оцінки стану роботи пілота є параметри пілотування (відхилення елеронів, руля напрямку тощо) та радіообмін між пілотом та диспетчером. Більш доступними є параметри пілотування – темп і амплітуда рухів пілота при керуванні ПК, які реєструються сучасними засобами і змінюються з ростом емоційної напруги. Для діагностики емоційного стану Л-О застосовувались апостеріорні дані, отримані вченими Санкт-Петербурзького державного університету цивільної авіації М.Ф. Михайликом, О.В. Малишевським при аналізі фактичного матеріалу Міжнародного авіаційного комітету щодо розслідування авіаційних подій [1]. 7% причин АП, що виникають з вини людського фактору, складають порушення взаємодії між членами екіпажу ПК [1]. Значна кількість інцидентів і випадків пошкодження ПК на землі (до 34%) також пов'язана з порушеннями взаємодії в різних колективах авіаційних фахівців, які забезпечують виконання польотів [1]. Сумісна діяльність грає важливу роль в процесі роботи екіпажу ПК і диспетчерської зміни. Особливості взаємодії в групах авіаційних фахівців найбільше проявляються в особливих випадках польоту. Також вид професійної діяльності впливає на психологічний та соціальний тип особистості [3]. Незважаючи на безліч методик для оцінки та підвищення ефективності діяльності льотного складу, в Україні практично не використовуються соціометричний і соціонічний підходи до комплектування льотних екіпажів, диспетчерських змін та інших колективів авіаційних фахівців [1], не діагностуються відповідні соціонічні параметри авіаційних операторів.

Аналіз досліджень і публікацій. Дослідження професійної діяльності людини є важливою і складною проблемою інженерної психології, ергономіки, психології і фізіології праці. Зростаюча ціна помилок оператора визначає постійну необхідність пошуку шляхів і засобів забезпечення ефективного функціонування людини в подібних системах в нормальних і екстремальних умовах діяльності.

Аналіз літературних джерел показав, що при вирішенні питань безпеки польотів основна увага приділяється підвищенню рівня професійної підготовки Л-О аеронавігаційної системи (АНС) [3], приведенню у відповідність можливостей і обмежень Л-О з технічними характеристиками АНС [4]. Одним з шляхів вдосконалення інформаційного забезпечення Л-О АНС в умовах обмеженого часу на прийняття рішення (ПР) і його напруженого психофізіологічного стану є використання систем підтримки прийняття рішень [6]. За допомогою комп'ютерних систем інформаційної підтримки Л-О має можливість використовувати дані, знання, об'єктивні й суб'єктивні моделі для аналізу і розв'язання слабкоструктурованих і неструктурованих проблем [7].

Одним з основних факторів в аваріях і катастрофах, що сталися внаслідок людської помилки, є відсутність операційного розуміння ситуації [8]. Операційне розуміння ситуації – життєво важливий елемент діяльності людини, де велика інтенсивність інформаційного потоку, а невірне рішення може призвести до тяжких наслідків. Моделі поведінкової діяльності людини–оператора Ендслі «Situational Awareness» (операційне поняття ситуації) та групи людей «Team Situational Awareness» [8] дають цілісне розуміння ситуації та можливість людині-оператору цілеспрямовано і ефективно діяти в критичних ситуаціях. Дослідження людського фактора виконуються в межах концепцій ІСАО впровадженням систем CNS/ATM [5]: орієнтована на людину автоматизація, ситуативна обізнаність, контроль за помилками.

Математичне моделювання операторської діяльності в середині двадцятого століття було стимульоване розвитком кібернетичних систем та штучного інтелекту. В [9] розглянуто аналіз діяльності Л-О як ланки в людино-машинній системі, отримані результати моделювання таких видів людської діяльності, як отримання і переробка інформації, прийняття рішень. Наведено значну кількість математичних моделей Л-О та відповідних ергономічних рекомендацій, основаних на психології. Моделювання операторської діяльності в різних її аспектах наведено в [10; 11]. Аналіз останніх публікацій показує, що дослідження операторської діяльності націлені на вирішення відомими методами локальних задач сприйняття, переробки інформації, аналізу впливу зовнішнього середовища на ПР Л-О. Основним висновком щодо сучасного стану моделювання операторської діяльності є те, що відсутні комплексні дослідження етапів ПР і факторів, що впливають на ПР Л-О. Математичні моделі операторської діяльності, розглянуті в публікаціях, здебільшого мають описовий характер, тобто відсутні кількісні дані якісних характеристик результатів діяльності Л-О в різних умовах експлуатації об'єкта керування [12; 13]. Також в дослідженнях відсутні загальні моделі, які б подали операторську діяльність як з погляду динаміки показників оперативності, так і з погляду статичних показників – параметрів та характеристик закону розподілу цих даних. Ідентифікація інтелектуальної діяльності Л-О за експериментальними даними та отримання кількісних характеристик щодо отримання і розпізнання інформації надається в [14] для ідентифікації операторського персоналу, зокрема в тренажерних системах професійного відбору, навчання та атестації, а також формування однорідних за ступенем кваліфікації груп.

За основу психодіагностичних обстежень в дослідженні брався метод тестування за допомогою тесту ММ-1, розробленого російськими вченими С.Д. Лейченком, О.В. Малишевським і М.Ф. Михайликом [1], і який увійшов до системи професійного відбору авіаційних фахівців в Росії.

З метою оцінки динаміки змін кількісних і якісних соціонічних показників авіаційних фахівців в процесі їх професійної підготовки і професійної діяльності доцільно застосування автоматизованої діагностики. Моніторинг поточного емоційного стану Л-О і діагностика деформацій емоційного досвіду у вигляді переходів до небезпечних типів діяльності Л-О (розсудливого чи емоційного) в екстремальних ситуаціях та визначення функціональної стійкості Л-О дозволить своєчасно попередити розвиток польотної ситуації в сторону погіршення. Отримана інформація може бути використана в рамках програми аудитів безпеки польотів LOSA «Line operations Safety Audit» з метою створення бази даних дій екіпажів в реальних польотах [19].

Постановка завдання. Завданням статті є розробка інформаційно-аналітичного діагностичного комплексу, який буде застосовуватись для:

- дослідження закономірностей діяльності Л-О АНС при керуванні ПК в екстремальних умовах;
- дослідження взаємодії операторів в процесі виконання ними професійних обов'язків.

Склад інформаційно-аналітичного діагностичного комплексу для дослідження закономірностей діяльності людини-оператора аеронавігаційної системи

Для дослідження закономірностей діяльності Л-О АНС розроблений інформаційно-аналітичний діагностичний комплекс, який містить:

- спеціалізований програмний комплекс «Підказка» для інформаційної підтримки Л-О з метою прийняття ним оперативного своєчасного рішення щодо вибору оптимальної стратегії завершення польоту в позаштатних ситуаціях, що потребують вимушеної посадки ПК;
- програмний комплекс оцінювання психофізіологічних властивостей Л-О за допомогою комп'ютерної програми «Діагностика емоційного стану людини-оператора»;
- автоматизований модуль «Діагностика соціонічної моделі людини-оператора» для визначення соціонічного типу Л-О в процесі виконання ним професійних обов'язків.

Був побудований спеціалізований програмний комплекс «Підказка» для інформаційної підтримки Л-О АНС з метою прийняття ним оперативного своєчасного рішення щодо вибору оптимальної стратегії завершення польоту в позаштатних ситуаціях, що потребують вимушеної посадки ПК [15; 16].

Програмний комплекс "Підказка" дозволяє:

- видавати рекомендації щодо можливості подальшого продовження польоту або необхідності виконання вимушеної посадки ПК за допомогою зручного для користувача інтерфейсу;
- визначати область досяжності ПК у випадку необхідності виконання вимушеної посадки;
- формувати оцінку потенційних альтернатив завершення польоту і визначати оптимальний варіант за критерієм мінімізації потенційного збитку.

Комп'ютерна програма «Діагностика емоційного стану людини-оператора»

Комп'ютерна програма «Діагностика емоційного стану людини-оператора» розроблена для діагностичного модуля, який входить до програмного комплексу оцінювання психофізіологічних властивостей Л-О. Діагностичний модуль призначений для оперативного визначення деформацій емоційного стану пілота та випередження прийняття ним рішення в очікуваних і неочікуваних умовах експлуатації ПК [18]. Особливе значення має моніторинг емоційного стану Л-О в процесі діяльності в особливих випадках в польоті.

Для визначення поточного емоційного стану пілота в умовах розвитку польотних ситуацій застосовувалася концепція психічної діяльності людини, в основу якої покладена відома властивість свідомості людини затримувати або прискорювати течію суб'єктивного часу відносно реального часу. Існує три типи емоційної діяльності людини-оператора [1]: спонтанний (оптимальний); емоційний; розсудливий. Спонтанне (оптимальне) пілотування характеризується правильністю та своєчасністю дій пілота в екстремальній ситуації. При рості емоціональної напруги виникає деформація емоційного досвіду і можливий перехід пілота до потенційно небезпечних видів психічної діяльності: емоційної – із випередженням дій відносно реального часу та розсудливої – із запізненням дій відносно реального часу. За допомогою моніторингу поточного стану Л-О, важливо своєчасно визначити внутрішні зміни в емоційному стані Л-О, які виникли під дією нестандартних зовнішніх обставин.

Програмний комплекс оцінювання психофізіологічних властивостей Л-О за допомогою комп'ютерної програми «Діагностика емоційного стану людини-оператора» дозволяє:

- диференціювати та визначити поточний емоційний стан Л-О за амплітудою та темпом відхилення елеронів і руля напрямку;
- діагностувати спонтанне (оптимальне) пілотування, яке характеризується правильністю та своєчасністю дій пілота;
- здійснювати моніторинг дій Л-О, діагностувати ріст емоційної напруги при виникненні позаштатної ситуації шляхом визначення деформацій емоційного досвіду пілота, тобто, переходу до потенційно небезпечних видів психічної діяльності:

- 1) емоційної з випередженням дій відносно реального часу;
- 2) розсудливої з запізненням дій відносно реального часу;

- визначати стійкість системи «Л-О – ПК» та оцінювати функціональну стійкість людини-оператора.

Автоматизований модуль розроблений за допомогою інтегрованого середовища розробки Borland Delphi 7 з використанням мови програмування Object Pascal, що підтримує основні принципи об'єктно-орієнтованого програмування.

Дії пілота в оптимальному (спонтанному), емоційному та розсудливому режимах діяльності в реальному часі визначені фазовими траєкторіями відхилень елеронів і руля напрямку, отриманих за допомогою засобів об'єктивного контролю [17]. Для діагностики емоційного досвіду Л-О в навчальній програмі замість координат реальних рухів елеронів і руля напрямку застосовується генератор випадкових чисел.

Апріорні моделі спонтанного (оптимального), емоційного та розсудливого типів діяльності Л-О визначені за графіками, отриманими Міжнародним авіаційним комітетом на основі апостеріорних досліджень фактичного матеріалу розслідування авіаційних подій.

На рис. 1 наводиться визначення спонтанного типу управління ПК, який характеризується правильністю та своєчасністю дій пілота в екстремальній ситуації.

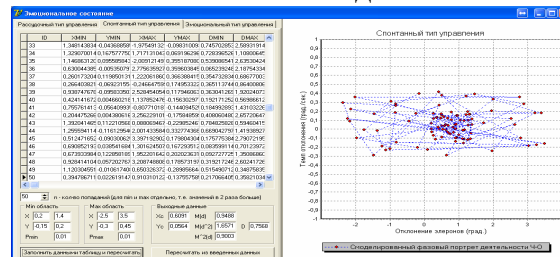


Рисунок 1 – Діагностика спонтанного досвіду Л-О

На рис. 2 надається діагностика деформації емоційного досвіду Л-О (перехід до емоційного типу керування ПК), який відноситься до потенційно небезпечних видів психічної діяльності і характеризується ростом емоційної напруги з випередженням дій відносно реального часу.

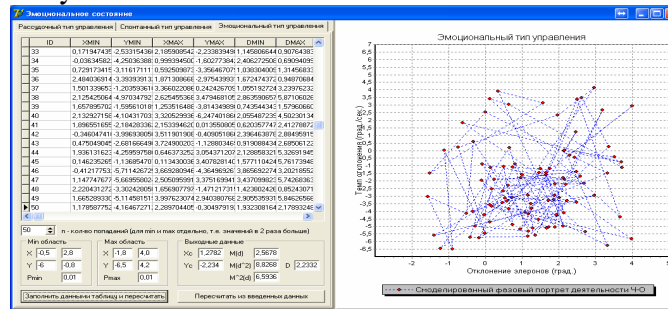


Рисунок 2 – Діагностика деформації емоційного досвіду Л-О (перехід до емоційного типу керування ПК)

Діагностика поточного емоційного стану пілота проводиться методами дисперсійного аналізу на основі отриманих моделей спонтанного (оптимального), емоційного та розсудливого типів діяльності Л-О [17]. Оцінка функціональної стійкості Л-О визначається за критерієм Найквіста. При розсудливому та емоційному типах керування ПК виникає нестабільність при керуванні ПК (рис. 3).

База даних емоційного стану Л-О містить інформацію про поточний емоційний стан пілота, нормативні моделі емоційного стану Л-О і його психофізіологічні характеристики, а також відповідні характеристики польотних ситуацій (нормальної, ускладненої, складної, аварійної, катастрофічної). Блок результатів діагностики містить інформацію про поточний емоційний стан Л-О, зміни в емоційному стані Л-О та прогноз функціональної стійкості Л-О.

Комп'ютерна програма «Діагностика емоційного стану людини-оператора» призначена для збору даних про роботу екіпажу, аналізу дій людини-оператора і прогнозування його функціональної стійкості.

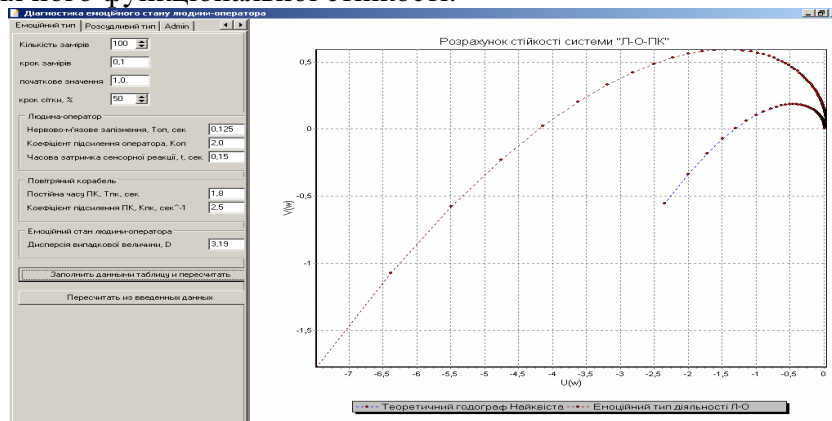


Рисунок 3 – «Screenshot» інтерфейсу комп'ютерної програми «Діагностика емоційного стану людини-оператора» розрахунку стійкості системи "Л-О – ПК" при виникненні деформації емоційного стану для емоційного типу керування ПК

Комп'ютерна програма «Діагностика соціонічної моделі людини-оператора»

Для визначення соціонічних характеристик авіаційних фахівців на основі опитувальника ММ-1 створено автоматизований модуль «Діагностика соціонічної моделі людини-оператора», який використовується в тренажерно-навчальній системі для реалізації індивідуального підходу в навчанні з урахуванням типу особистості

студента [20]. Результати оцінювання Л-О за допомогою автоматизованого модуля «Діагностика соціонічної моделі людини-оператора» представлені в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати оцінювання Л-О за соціонічною моделлю

№ з/п	Тип інформаційного метаболізму		ПД «раціональність-іrrаціональність»	Вид професійної спрямованості
1	Логіко-інтуїтивний екстраверт	ЛЕ	Раціональність	Науково-дослідна діяльність
2	Логіко-інтуїтивний інтроверт	ЛІ	Раціональність	
3	Інтуїтивно-логічний інтроверт	ЛІІ	Іrrаціональність	
4	Інтуїтивно-логічний екстраверт	ЛІЕ	Іrrаціональність	
5	Інтуїтивно-етичний екстраверт	ІЕЕ	Іrrаціональність	Гуманітарно-мистецька діяльність
6	Інтуїтивно-етичний інтроверт	ІЕІ	Іrrаціональність	
7	Етико-інтуїтивний інтроверт	ЕІІ	Раціональність	
8	Етико-інтуїтивний екстраверт	ЕІЕ	Раціональність	
9	Етико-сенсорний екстраверт	ЕСЕ	Раціональність	Соціально-комунікативна діяльність
10	Етико-сенсорний інтроверт	ЕСІ	Раціональність	
11	Сенсорно-етичний інтроверт	СЕІ	Іrrаціональність	
12	Сенсорно-етичний екстраверт	СЕЕ	Іrrаціональність	
13	Сенсорно-логічний екстраверт	СЛЕ	Іrrаціональність	Техніко-управлінська діяльність
14	Сенсорно-логічний інтроверт	СЛІ	Іrrаціональність	
15	Логіко-сенсорний інтроверт	ЛСІ	Раціональність	
16	Логіко-сенсорний екстраверт	ЛСЕ	Раціональність	

Автоматизований модуль «Діагностика соціонічної моделі людини-оператора» за допомогою тесту ММ-1 дозволяє визначити (табл. 1):

- соціонічний тип людини-оператора (тип інформаційного метаболізму (ТІМ));
- за психологічними дихотоміями (ПД) "екстраверсія-інтроверсія", "етика-логіка", "сенсорика-інтуїція", "раціональність-іrrаціональність" – психічний тип оператора: екстраверт; інтроверт; етик, логік, сенсорик, інтуїт, раціонал, іrrаціонал;
- професійну спрямованість (ПС) – вид професійної діяльності особистості за критерієм енерговитрат, тобто здатність вирішувати професійні завдання і повністю реалізувати свій потенціал: науково-дослідна діяльність, гуманітарно-мистецька діяльність, соціально-комунікативна діяльність, техніко-управлінська діяльність.

Комп'ютерна програма розроблена за допомогою мови високого рівня Object Pascal в середовищі Lazarus з використанням компілятора Free Pascal.

В даний час для визначення соціотипу використовують два методи: інтроспекції і тестування. Метод інтроспекції використовується досить рідко, оскільки вимагає певного рівня психологічних знань і навичок у його застосуванні. Тому за основу психодіагностичних обстежень в автоматизованому модулі взятий метод тестування за допомогою тесту ММ-1, розробленого російськими вченими С.Д. Лейченком, О.В. Малишевським і М.Ф. Михайликом [1]. Додатковими результатами, що отримуються за тестом ММ-1, є психічний тип Л-О за характеристиками ПД; вид ПС Л-О. На рис. 4 представлений інтерфейс першого блоку питань, за результатами розрахунків якого визначається тип Л-О: екстраверт чи інтроверт.

Аналогічно визначаються типи Л-О за психологічними дихотоміями «логіка-етика», «сенсорика-інтуїція», «раціональність-іrrаціональність» [20]. Визначення соціонічних характеристик авіаційних фахівців за допомогою автоматизованого модуля дозволяє реалізувати адаптивний підхід в системі навчання і професійної діяльності. Застосування адаптивного підходу в тренажерно-навчальній системі підвищує ефективність підготовки за рахунок використання індивідуального підходу з

урахуванням типу особистості студента. Визначення соціонічних моделей Л-О в процесі виконання професійних задач дає можливість оптимізувати колективну роботу авіаційних фахівців. Застосування автоматизованого модуля в авіаційній тренажерно-навчальній системі дозволяє проводити оперативну психодіагностику слухачів в процесі виконання ними вправ різної складності індивідуально і в групі, а також досліджувати типологічні зміни соціонічних моделей Л-О.

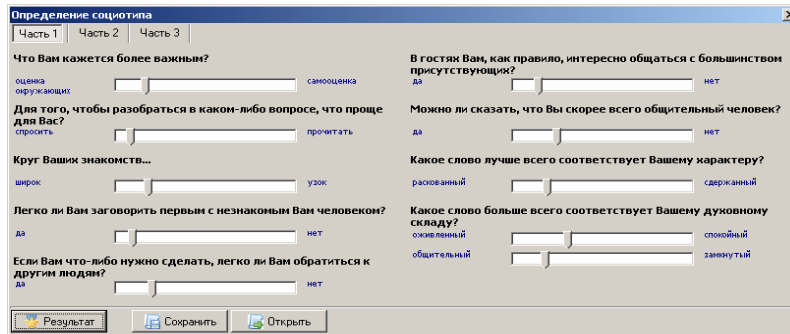


Рисунок 4 – Интерфейс для визначення ПД «екстраверсія-інтроверсія»

Можливим є застосування автоматизованого модуля «Діагностика соціонічної моделі Л-О» в системі професійного відбору для визначення професійно важливих якостей авіаційних фахівців.

Висновки

Були побудовані наступні програмні комплекси, які входять до складу інформаційно-аналітичного діагностичного комплексу для дослідження закономірностей діяльності Л-О АНС:

1. Програмний комплекс «Підказка» призначений для інформаційної підтримки оператора з метою прийняття ним оперативного своєчасного рішення щодо вибору оптимальної стратегії завершення польоту в позаштатних ситуаціях, що потребують вимушеної посадки ПК.

2. Комп'ютерна програма «Діагностика емоційного стану людини-оператора» призначена для оперативного визначення деформацій емоційного досвіду пілота та випередження прийняття ним рішення.

3. Автоматизований модуль «Діагностика соціонічної моделі людини-оператора» призначений для визначення соціонічних характеристик авіаційних фахівців.

Розроблені програми можуть використовуватись для дослідження закономірностей діяльності операторів та їх колективів в системах навігаційного обслуговування і управління рухом.

Список літератури

1. Лейченко С. Д. Человеческий фактор в авиации: моногр. / С. Д. Лейченко, А. В. Малышевский, Н. Ф. Михайлик. – Кировоград: ИМЕКС, 2006. – 512 с.
2. Швец В. А. Анализ состояния аварийности гражданских воздушных судов Украины за период 1998-2007 гг. / В. А. Швец, О. Н. Алексеев. – К.: Госавиаадминистрация, 2008. – 83 с.
3. Макаров Р. Н. Психологические основы дидактики летного обучения / Р. Н. Макаров, Н. А. Нидзий, Ж. К. Шишкин. – М.: МАПЧАК, 2000. – 534 с.
4. Эргономика: сб. матер. по человеческому фактору. – № 6 // Circ. ICAO 238-AN/143. – Канада, Монреаль: ICAO, 1992. – 467 с.
5. Человеческий фактор в системах CNS/ATM. Разработка ориентированной на человека автоматики и передовой техники для будущих аэронавигационных систем: сб. матер. по человеческому фактору. – № 11 // Circ. ICAO 249-AN/149. – Канада, Монреаль, 1994. – 71 с.

6. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений: навч. посіб. / Б. М. Герасимов, В. М. Локазюк, О. Г. Оксюк, О. В. Поморова. – К.: Вид-во Європ. ун-ту, 2007. – 335 с.
7. Трахтенгерц Э. А. Компьютерная поддержка принятия решений / Э. А. Трахтенгерц. – М.: СИНТЕГ, 1998. – 376 с.
8. Endsley M. R. Designing for situation awareness: An approach to user-centered design / M.R. Endsley, V. Bolte, D. G. Jones. – London: Taylor & Francis, 2003. – 112 p.
9. Шеридан Т.Б. Системы человек – машина. Модели обработки информации, управления и принятия решений человеком-оператором / Т.Б. Шеридан, У.Р. Феррелл; пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1980. – 400 с.
10. Зараковский Г. М. Закономерности функционирования эргатических систем / Г. М. Зараковский, В. В. Павлов. – М.: Радио и связь, 1987. – 232 с.
11. Шибанов Г. П. Количественная оценка деятельности человека в системах “человек-техника” / Г. П. Шибанов. – М.: Машиностроение. – 1983. – 263 с.
12. Сёмик Т. М. Современные информационные технологии для изучения механизмов индивидуальной психофизиологической адаптации человека / Т. М. Сёмик, Т. А. Андон // Проблемы програмування: спец. вип. – 2008. – № 2–3. – С. 695-702.
13. Кирхар Н. В., Ходаков Д. В. Модели деятельности пользователя компьютеризованной системы / Н. В. Кирхар, Д. В. Ходаков // Вестник ХНТУ: Информационные технологии. – № 4(27). – 2007. – С. 370-378.
14. Камінський Р. М. Моделювання динаміки оперативності космонавта в умовах тривалого перебування на пілотованих системах / Р. М. Камінський // Космічна наука і технологія. – 1998. – Т. 4. – №4. – С. 156-165.
15. Сікірда Ю. В. Моделювання системи підтримки прийняття рішень авіадиспетчера в позаштатних польотних ситуаціях: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06 / Ю.В. Сікірда. – К., 2004. – 184 с.
16. А.с. Комп'ютерна програма оптимізації вибору альтернативного варіанта завершення польоту повітряного корабля в позаштатних ситуаціях «Підказка»: свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №37872 від 11.04.2011 р. / В. П. Харченко, Т. Ф. Шмельова, Ю. В. Сікірда, О. В. Герасименко.
17. Харченко В. П. Графоаналітичні моделі прийняття рішень людиною-оператором аеронавігаційної системи / В. П. Харченко, Т. Ф. Шмельова, Ю. В. Сікірда // Вісник Національного авіаційного університету. – 2011. – №1. – С. 5-17.
18. А.с. Комп'ютерна програма «Діагностика емоційного стану людини-оператора»: свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №43526 від 28.04.2012 р. / В. П. Харченко, Т. Ф. Шмельова, Ю. В. Сікірда, С. О. Астаф'єв.
19. LOSA Advisory Circular. – USA: The University of Texas. Human Factors Research Project, 2004. – 31 p.
20. А.с. Комп'ютерна програма «Діагностика соціонічної моделі людини-оператора»: свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №42340 від 20.02.2012 р. / В. П. Харченко, Т. Ф. Шмельова, Ю. В. Сікірда, А. В. Землянський.

Т. Шмелева, Ю. Сікірда, А. Землянський, С. Астаф'єв

Информационно-аналитический диагностический комплекс для исследования закономерностей деятельности человека-оператора аэронавигационной системы

В статье рассмотрен состав и функции информационно-аналитического диагностического комплекса для исследования закономерностей деятельности операторов аэронавигационной системы и их коллективов.

T. Shmelova, Y. Sikirda, A. Zemlyanskiy, S. Astafiev

Information-Analytical Diagnostic Complex for the Research of Patterns of Air Navigation System's Human-Operator Activity

This article describes the composition and functions of information-analytical diagnostic complex for the research of patterns of activity of Air Navigation System's operators and their teams.

Одержано 20.09.12

Зміст

<i>С.І. Осадчий, О.К. Дідик, М.С. Мірошніченко</i> Адаптація комбінованої системи стабілізації потоку хлібної маси до зміни середньої урожайності	3
<i>А.М. Мацуї, В.О. Кондратець, О.М. Сербул</i> Обґрунтування довжини гнучких пневматичних трубок при вимірюванні параметрів хвильового процесу завиткового живильника	8
<i>А.М. Сільвестров, Л. Ю. Спінул, О.М. Скринник</i> Побудова математичних моделей складних нелінійних залежностей "вхід-вихід» об'єктів автоматизації.....	14
<i>Г.Н. Семенов, В.М. Шавранський</i> Синтез логічної функції змінних системи контролю за газонафтопроявами під час процесу буріння свердловин.....	18
<i>Е.А. Давыдов, А.Л. Шекеро, М. Миховски, А. Алексиев, Д.В. Трушаков</i> Пространственно-временной анализ дифрагированных сигналов методом TOFD при автоматизированном неразрушающем контроле.....	27
<i>В.О. Версаль, Ю.В. Версаль</i> Інтелектуальна система контролю фізіологічного стану тварин.....	33
<i>І.В. Савеленко, П. Г. Плсшков, С.В. Серебренніков, І.О. Переверзєв</i> Автоматизоване регулювання режиму місцевого опалення при неякісному централізованому теплопостачанні.....	40
<i>А.Ю. Орлович, А.І. Котши, О.В. Співак</i> Контроль мікроклімату розподільчого пристрою напругою 10 кВ	48
<i>В.П. Калінчик, В.П. Розен, А.В. Скачок</i> Метод розподілу енергоресурсу між споживачами.....	52
<i>Ф.П. Шкрабец, А.В. Остапчук, Е.П. Месяц, А.В. Акулов</i> Обеспечение перевода подземного электроснабжения энергоемких шахт на напряжение 35 кВ.....	58
<i>А.М. Сільвестров, О.М. Скринник, К. В. Уманська</i> Метод точної лінеаризації експериментально виміряних нелінійних залежностей.....	64
<i>П.А. Становский, Л.В. Бовнегра, Ю.В. Шихирева</i> Автоматизированный мониторинг протекания технологических процессов с помощью низкочастотных видеопотоков.....	70
<i>О.Н. Синчук, И.О. Синчук, А.Н. Яловая, Н.И. Лесной</i> «Холодный» резерв недогруженных силовых трансформаторов – путь повышения эффективности электроснабжения железорудных комбинатов.....	74

<i>В.И. Поддубняк, В.А. Зубенко</i> Разработка имитационной модели канала передачи дискретных сообщений с использованием каскадных кодовых конструкций.....	80
<i>И.М. Кихтев, А.М. Павленко, А.В. Яковлева</i> Экспериментальные исследования распределения лучистой энергии от U-образного трубного излучателя	85
<i>А.І. Котиш, О.І. Сіріков, М.В. Кубкін, В.П. Солдатенко</i> Розрахунок ефективності впровадження регульованого електроприводу в насосних установках.....	91
<i>В.А. Зозуля, К.Ю. Кулешикова</i> Обгрунтування зменшення енерговитрат при визначенні коефіцієнта подачі шестеренного насоса	96
<i>В.В. Турупалов</i> Аналіз принципів побудови моделі центру обробки даних телекомунікаційної мережі.....	101
<i>Н.В. Смирнова, В.В. Смирнов</i> Определение веса объекта в процессе его перемещения по измерительной платформе в условиях воздействия аддитивных помех	104
<i>С. М. Якимець</i> Система гірничопідземного радіозв'язку та автоматизації управління тяговими електротехнічними комплексами рудникових електровозів в умовах залізорудних шахт.....	110
<i>С.В. Овчаров, Р.В. Телюта, А.В. Буряк</i> Розробка технічного засобу перетворення електричної енергії в теплову на принципі «котушка в сталі».....	114
<i>Є.М. Іншеков, І.В. Калінчик</i> Оптимізація режимів електроспоживання підприємства хімічної промисловості.....	121
<i>І. О. Сінчук, А. М. Ялова, К. П. Богодист</i> До питання розбудови структури служби енергоменеджменту гірничорудного комбінату.....	126
<i>К.Г. Петрова, С.В. Серебренніков, О.І. Сіріков</i> Нейро-нечітке сегментування роздрібного ринку електроенергії	134
<i>Ю.И.Казанцев, П.Г. Стець</i> Энергетические характеристики как основа нормирования электроэнергии и ее рационального использования в электроэнергетических системах.....	142
<i>С.В. Бережний, О.Є. Мельник</i> Методи визначення питомих норм електроспоживання.....	145

<i>В.І. Кравченко</i> Підвищення ефективності використання місцевих видів палива в котельній техніці.....	151
<i>О. П. Голик, Р. В. Жесан, Я.В. Степанова.</i> Аналіз можливостей задоволення енергетичних потреб автономного споживача за рахунок відновлюваних джерел енергії.....	155
<i>О.П. Лобок, Б.М. Гончаренко, А.М.Слезенко</i> Аналіз методів аналітичного конструювання оптимальних регуляторів для детермінованих та стохастичних багатовимірних об'єктів.....	162
<i>Н.В. Жукова, Р.І. Біндюг</i> Етапи розробки САУ чорнової групи клітей в умовах енергозберігаючих технологій виробництва дрібного сорту.....	168
<i>П.Г.Плешков, П.Г. Стець</i> Моніторинг енергозберігаючих заходів для вирішення проблеми енергозбереження комунально – побутових споживачів.....	176
<i>А.В. Калініченко, А.В. Некрасов</i> Визначення надійності системи керування вентиляно-індукторного двигуна	181
<i>А.А. Колб</i> Объединение параллельных и последовательных активных фильтров и способы управления ими.....	187
<i>М. В. Кубкін, В. П. Солдатенко</i> Імітаційна модель комбінованої електроенергетичної системи з відновлюваними джерелами енергії.....	192
<i>А.Ю. Лисих</i> Завдання оптимізації у розв'язанні прикладних задач нелінійної механіки.....	203
<i>І.А. Куц, А.С. Гарбузенко</i> Визначення та обґрунтування особливостей зміни властивостей конструктивних елементів машин постійного струму у процесі тривалої експлуатації.....	208
<i>І. С. Грищук, М. В. Кубкін, О. А. Козловський</i> До питання визначення опору ожеледно-паморозевих відкладень.....	213
<i>В.П. Щокін, О.В. Щокіна</i> ARMAViS-модель процесу електроспоживання рудозбагачувальними фабриками ГЗК.....	221
<i>В.В. Зінзура</i> Задача багатокритеріальної оптимізації регулювання напруги в електричній мережі з глухозаземленою нейтраллю.....	227

<i>В.В. Ромашина</i> Мониторинг и диагностика неисправностей двигателей постоянного тока	234
<i>О.О. Харитонов, О.В. Аніськов, Н.М. Ляхова</i> Основні тенденції зміни електричних навантажень залізородних кар'єрів.....	238
<i>О.П. Лобок, Б.М. Гончаренко, А.М.Слезенко</i> Мінімаксне оптимальне керування лінійними багатовимірними об'єктами за умови визначеного їх збурювання.....	242
<i>О.Н. Синчук, Н.И. Лесной, Р.А. Пархоменко, А. Н. Яловая</i> Оценка состояния и определение тактики повышения эффективности работы участковых подстанций железорудных шахт.....	248
<i>Н.А. Миняйло, Е.С. Усенюк</i> Совершенствование системы управления согласованной работой смежных участков обжимного цеха ОАО «Запорожсталь».....	255
<i>А.А. Стенин, Е.Ю. Мелкумян, А.Н. Губский</i> Оптимизация качественного состава дисциплин учебного плана специальности.....	261
<i>Г.В.Савеленко, Ю.О.Єрмолаєв, В.М. Каліч</i> Дослідження САУ процесу РОД на верстаті з електромеханічним приводом. II. Інформаційно-вимірвальний комплекс для проведення експериментальних досліджень	266
<i>Т.Г. Руденко, Ю.О. Єрмолаєв, В.О. Шалімов</i> Розробка автоматизованої системи керування обробкою деревини на поздовжньо-фрезерних верстатах.....	272
<i>В.В. Пукалов, В.В. Свяцький</i> Автоматизована лінія неперервного отримання металевих волокон для пористих систем фільтрації	276
<i>А.Л. Становский, Е.Ю. Лебедева, А.В. Торопенко</i> Автоматизация технологического процесса изготовления изделий из синтеграны.....	282
<i>Ю.П.Таран, А.Н.Николаенко</i> Способ управления формированием алюминиевой заготовки.....	286
<i>А.О. Дудник</i> Особенности побудови системи керування біотехнічним об'єктом з урахуванням природних збурень (на прикладі споруд закритого ґрунту).....	292
<i>В. В. Клименко, В. Н. Корнієнко, О. В. Скрипник</i> Стенові випробовування макетного зразка газогідратного акумулятора природного холоду.....	298

В.І. Рубльов, В.Є. Рубльов Показники якості промислової продукції як складова її дизайну	303
<i>Ю.В. Кулешков, Т.В. Руденко, М.В. Красота, В.В. Русских, К.Ю. Кулешкова</i> Ресурсные испытания шестеренного насоса с увеличенным удельным рабочим объемом.....	309
<i>Т.Г. Сабирзянов</i> К расчёту экономической эффективности снижения возврата в литейном производстве.....	315
<i>В.И. Кубич, Л.И. Ищенко</i> Трибоспектральный анализ поверхностных слоев медьсодержащего покрытия на чугунной подложк.....	318
<i>В.І. Похмурський, М.М. Студент, В.М. Гвоздецький, Т.Р. Ступницький, О.Й. Мажейка, С.І. Маркович</i> Вплив складу шихти порошкових дротів на механічні властивості електродугових покриттів.....	323
<i>В.В. Васильків</i> Технології виготовлення секційних гвинтових заготовок.....	334
<i>М.А. Зиновик, Е.В. Зиновик</i> Условия образования и эволюции вторичной микроструктуры в ферритах системы Mg-Mn-Zn-Ca-Fe-O.....	343
<i>О.Р. Лузан, В.М. Сало, П.Г. Лузан, О.М. Гайденко</i> Польові випробовування експериментальної сівалки прямого посіву зернових культур.....	348
<i>А.С. Лімонт</i> Температура повітря і в стрічках льоносолами при готуванні трести росяним мочінням.....	354
<i>Ю.В. Кулешков, Т.В. Руденко, М.В. Красота, В.В. Русских, К.Ю. Кулешкова</i> Экспериментальные исследования шестеренного насоса с увеличенным удельным рабочим объемом.....	361
<i>Н.Н. Данченко, Л.А. Дробашко</i> Густота стеблестоя как внешний фактор условий функционирования очёсывающего хедера комбайна.....	371
<i>К.М. Деркач</i> Удосконалення технології вилучення жирових речовин з барометричних вод систем дезодорування масложирових виробництв для отримання кормових добавок	379
<i>Т.Ф. Шмельова, Ю.В. Сікірда, А.В. Землянський, С.О. Астаф'єв</i> Інформаційно-аналітичний діагностичний комплекс для дослідження закономірностей діяльності людини-оператора аеронавігаційної системи.....	385

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ
КІРОВОГРАДСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

**ТЕХНІКА В СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОМУ ВИРОБНИЦТВІ,
ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ,
АВТОМАТИЗАЦІЯ**

Випуск 25

Частина II

Відповідальний за випуск І.В. Шепеленко

Комп'ютерна верстка І.М. Каліч

Тиражування О. Г. Каліч

*Приватне підприємство «Ексклюзив-Систем»
Свідоцтво про реєстрацію № 05720-ПП-1 від 10.12.1996.
25006, м. Кіровоград, вул. Шевченка, 25
тел./факс 24-35-53*

Здано в набір 21.09.2012 Підписано до друку 24.09.2012. Формат 60x84 1/8.
Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman Умов. друк. арк.49,75
Обл. вид. арк. 37,7. Наклад 300 прим. Замовлення №00048.