

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Таврійський державний агротехнологічний університет



Науковий вісник

Таврійського державного агротехнологічного університету



Випуск 7 , Том 1

Електронне наукове фахове видання

Мелітополь – 2017 р.

УДК 621

ПЗ8

Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету [Електронний ресурс]. – Мелітополь: ТДАТУ, 2017. – Вип. 7, Т. 1. –

Режим доступу: <http://nauka.tsatu.edu.ua/e-journals-tdatu/e-index.html>.

Друкується за рішенням Вченої Ради ТДАТУ,
Протокол № 12 від 30.05.2017 р.

Представлені результати досліджень вчених України в галузі механізації сільського господарства, енергетики і автоматизації процесів сільськогосподарського виробництва та прикладної геометрії, інженерної графіки.

Редакційна колегія праць ТДАТУ:

Кюрчев В.М. - д.т.н., проф., ректор ТДАТУ (головний редактор);
Надикто В.Т. - чл.-кор. НААН України, д.т.н., проф. (заступник головного редактора); Діордієв В.Т. - д.т.н., проф. (відповідальний секретар); Гнатушенко В.В. - д.т.н., проф.; Дідур В.А. - д.т.н., проф.; Єремєєв В.С. - д.т.н., проф.; Кушнар'єв А.С. - чл.-кор. НААН України, д.т.н., проф.; Леженкін О. М. - д.т.н. проф.; Малкіна В.М. – д.т.н., проф.; Назаренко І.П. - д.т.н., проф.; Панченко А.І. - д.т.н., проф.; Скляр О.Г. - к.т.н., проф.; Тарасенко В.В. - д.т.н., проф.; Фурман І.О. - д.т.н., проф.

Реферативні бази: Україніка наукова, Google Scholar, РИНЦ.

Фахова реєстрація Наказ МОН України № 820 від 11.07.2016
Галузь науки: технічні.

Відповідальний за випуск – д.т.н., професор Назаренко І.П.

Адреса редакції: ТДАТУ
Просп. Б. Хмельницького 18,
м. Мелітополь, Запорізька обл.,
72310 Україна

ISSN 2220-8674

© Таврійський державний агротехнологічний університет, 2017.

Електронне наукове фахове видання

Науковий вісник
Таврійського державного агротехнологічного університету

Випуск 7, Том 1

Відповідальний за випуск – д.т.н., професор Назаренко І.П.

Підписано до друку 7.06.2017 р. друк. ТДАТУ.
18,4 умов. друк. арк. тираж 2 прим.



ЗМІСТ

ОЦІНКА ГРАДІЄНТІВ ГЕНЕРУЮЧОЇ ПОТУЖНОСТІ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК	3
Кузнєцов М.П., Лисенко О.В.	
МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВПЛИВУ ПРОНИКНЕННЯ ОПТИЧНОГО ІНФРАЧЕРВОНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ В ПОКРИВ БДЖІЛ.....	11
Кунденко М. П., Прудка О.А.	
АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА МЕДОГОНКИ З ДВИГУНОМ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ	23
Лисиченко М.Л., Хандола Ю.М., Серєда А.І., Назаренко О.Ю.	
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ШЛЯХОМ ЗАМІНИ СИСТЕМООРІЄНТОВАНОГО ПІДХОДУ НА КЛІЄНТООРІЄНТОВАНИЙ ПІДХІД	30
Мороз О.М., Друзь В.О.	
ЕЛЕКТРИЧНИЙ ФІЛЬТР ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ОЛИВ.....	36
Назаренко І.П., Коваль Д.М.	
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНА СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ НАПОРУ ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСУ	41
Островерхов М. Я., Бурик М. П.	
КОМПАКТНЫЕ УПРАВЛЯЕМЫЕ САМОКОМПЕНСИРУЮЩИЕСЯ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА	47
Постолатий В.М., Быкова Е.В.	
BIOTROPIC PARAMETERS OF ELECTROMAGNETIC RADIATION FOR REGENERATION OF ANIMAL INJURED BONE TISSUE	68
Oleksandr Orel, Ilya Vlasoy, Mykola Orel	
ДО ПИТАННЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ Й ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВИРОБІВ КАБЕЛЬНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ ТА ТРАНСФОРМАТОРОБУДУВАННЯ.....	74
Безотосний В.Ф., Козлов В.В., Набокова О.В.	
АНАЛІЗ МЕТОДІВ СИНТЕЗУ ЧАСТОТ ДЛЯ МОЖЛИВОГО ЗАСТОСУВАННЯ В ДИСТАНЦІЙНІЙ РЕФЛЕКТОМЕТРІЇ.....	80
Борохов І.В.	



ЕКСПЛУАТАЦІЙНИЙ КОНТРОЛЬ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ ОСЕРДЯ ТА МЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ.....	84
Вовк О.Ю., Квітка С.О., Квітка О.С.	
МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗНОСА ПРЕЦИЗИОННЫХ ПАР ТНВД ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СРЕДСТВА МТА.....	93
Вороновский И.Б.	
ОБЩЕСИСТЕМНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ АГРАРНЫХ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ.....	103
Диордиев А.А., Диордиев В.Т.	
КОГЕНЕРАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИКОРИСТАННЯ ВДЕ В АПК .	109
Жарков А.В., Жарков В.Я.	
СИНТЕЗ СТРУКТУРИ МЕРЕЖ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВ АПК, ЩО МІСТЯТЬ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ.....	118
Заболотний А.П.	
ДОСЛІДЖЕННЯ ВТРАТ АКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В АСИНХРОННОМУ ЕЛЕКТРОДВИГУНІ.....	125
Квітка С.О., Вовк О.Ю., Квітка О.С.	
СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИБОРА СИЛОВИХ ПОЛУПРОВІДНИКОВИХ ПРИБОРІВ ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК.....	134
Корнус Т.М., Логвин К.А., Добров Б.С., Закуцкая В.О.	
КЛАСИФІКАЦІЯ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНИХ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ ПО ТЯГОВИМ КАТЕГОРІЯМ	141
Кулагін Д.О., Яценко Д.В., Яценко О.В.	
СПОСОБИ ОЦІНКИ ВТРАТ НА ВИХРОВІ СТРУМИ У ЕЛЕМЕНТАХ КОНСТРУКЦІЇ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ.....	148
Кулагін Д.О., Волков М.А.	
ПАРАМЕТРИ ДІАГНОСТУВАННЯ ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В АСИНХРОННОМУ ЕЛЕКТРОДВИГУНІ	158
Курашкін С.Ф., Попова І.О.	
НЕЧЕТКІ АДАПТИВНІ ПІД-РЕГУЛЯТОРИ ТА МЕТОДИКА ЇХ налаштування	162
Лобода О.І.	



РОЗПОДІЛ ЕМП ПОБЛИЗУ ГАЗОВОГО РОЗРЯДУ ІНДУКОВАНОГО КРАПЛЕЮ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА.....	168
Лобода О.І., Залеський А.В.	
ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ ВИТРАТОМІР-ЛІЧИЛЬНИК ДЛЯ СИСТЕМИ ОБЛІКУ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ	175
Нестерчук Д.М.	
АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ ДІАГНОСТИКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТА МОНІТОРИНГУ РЕЖИМІВ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ.....	187
Пазій В.Г., Мірошник О.О.	
ОБГРУНТУВАННЯ ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКИ РЕЖИМУ РОБОТИ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА ПРИ ОБ'ЄДНАННІ НЕЙТРАЛЕЙ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ І ОБМОТКИ СТАТОРА	196
Попова І. О., Курашкін С.Ф.	
ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-ВОЛНОВЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ В ВЕТЕРИНАРИИ И МЕДИЦИНЕ В ЛЕЧЕБНЫХ ЦЕЛЯХ.....	201
Попрядухин В.С.	
ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МОНІТОРИНГ ЗЕРНООЧИСНО- СУШИЛЬНИХ ПУНКТІВ	206
Постнікова М.В.	
ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ЕНЕРГООЩАДНОЇ САУ ОПРОМІНЕННЯМ РОСЛИН.....	212
Сабо А.Г., Речина О.М.	
ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИЙ МЕТОД ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ПРОЦЕСУ СУШКИ ФРУКТІВ	219
Савойський О.Ю., Яковлев В.Ф.	
РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ МОНІТОРИНГУ СИГНАЛІВ ОСНОВНИХ процесів ФУНКЦІОНУВАННЯ ГАЗОТУРБІННОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ	225
Смоляров Г.А., Толбатов А.В.	
ДОСЛІДЖЕННЯ ВТРАТ АКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В АСИНХРОННОМУ ЕЛЕКТРОДВИГУНІ У ФУНКЦІЇ ЖИВЛЯЧОЇ НАПРУГИ.....	232
Стребков О.А.	
ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ охолоджувача молока ДЛЯ МАЛИХ ФЕРМ.....	243
Стручаев М.І, Постол Ю.О.	



ЕЛЕКТРОГЕНЕРАТОР ДЛЯ НИЗЬКООБЕРТОВОЇ ВІТРОУСТАНОВКИ.....	248
Тимошенко Г.А., Рясна О.В.	
МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ЕЛЕКТРОЗЕРНОВОЇ МАШИНИ БАРАБАННОГО ТИПУ	255
Чебанов А.Б.	
ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОМАСООБМІННИХ ПРОЦЕСІВ	262
Шандиба О.Б., Артюхова Н.О., Думанчук М.Ю., Річкаль Н.М.	
БЛОК ФІЛЬТРАЦІЇ ЕЛЕКТРОННО-АКУСТИЧНОГО ПРИСТРОЮ ВИЗНАЧЕННЯ ЯКІСНИХ ОЗНАК БІООБ'ЄКТІВ.....	269
Яковлєв В.Ф., Стриж В.О., Борищик Н.М.	
ЕЛЕКТРОМОБІЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ ЗАСІБ ДЛЯ ОБРОБКИ ҐРУНТУ ПРИСАДИБНИХ ДІЛЯНОК.....	277
Яковлєв В.Ф., Приходько М.С.	
ПОХИБКИ ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ ВНУТРІШНІХ ПОШКОДЖЕНЬ БІООБ'ЄКТІВ АКУСТИЧНИМ МЕТОДОМ.....	283
Яковлєв В.Ф.	
ЗМІСТ	289

**ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ КОМПЛЕКСИ ТА СИСТЕМИ**

УДК 620.92

**ОЦІНКА ГРАДІЄНТІВ ГЕНЕРУЮЧОЇ ПОТУЖНОСТІ
ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК****Кузнєцов М.П.**^{*}, д.т.н.**Лисенко О.В.**^{**}, к.т.н.^{*}*Інститут відновлювальної енергетики*^{**}*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел. 0619 421174

Анотація – проведено оцінку поточної мінливості потужності вітрового потоку на півдні України за дворічним масивом 10-хвилинних вимірів швидкості та напрямку вітру метеопостом Боті-ївської ВЕС, Приазовського району, Запорізької області. А саме, проведено розрахунок та аналіз темпів зміни швидкості вітру та як наслідок генеруючої потужності, що є важливими показниками стабільної роботи електричної мережі.

Ключові слова: вітроенергетична установка, вітроенергетичний потенціал, генеруючі потужність.

Постановка проблеми. На теперішній час у світі актуальним завданням енергетики є пошуки оптимальних варіантів енергозабезпечення та енергонезалежності за рахунок зменшення споживання імпортованих енергоресурсів, у першу чергу для України – природного газу.

За показником енергоємності ВВП України в декілька разів перевищує показники розвинених країн Західної і Східної Європи. Енергоємність ВВП України (дані на 2014 рік) становила 0,348 кг умовного палива на долар виробленої продукції. Таким чином, питомі енерговитрати України (на \$1 ВВП), в середньому, перевищують рівень Великобританії в 4,8 рази, Туреччини в 3,8 рази, Польщі в 3 рази, Білорусії в 1,8 разів. [1]

Це свідчить про гостру необхідність для України підвищення рівня енергоефективності, впровадження альтернативних енергозощаджуючих технологій для зміцнення національної енергетичної безпеки, і має бути однією з пріоритетних цілей державної політики.

Аналіз останніх досліджень. Протягом останніх років в Україні діяли 12 державних вітряних електростанцій із сумарною встановле-



ною потужністю 94 МВт, що становить лише 0,2% від загального обсягу генеруючих потужностей в Україні. [2].

Аналізу спостережень метеорологічних показників та оцінці вітрового режиму території України присвячено ряд робіт вітчизняних фахівців. Але вивчення особливостей вітрового режиму та, як наслідок, енергетичних показників вітрового потоку окремих регіонів України майже не проводилося.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Оцінка градієнтів поточної генеруючої потужності вітроенергетичних установок за характеристиками вітрового потоку на прикладі метеоданих, отриманих з Ботіївської ВЕС у Приазовському районі Запорізької області.

Основні матеріали дослідження (основна частина). Важливою характеристикою вітрового режиму є його поривчастість, в даному випадку темп зміни швидкості вітру за короткий часовий проміжок. Для стабільної роботи електричної мережі показовим є темп зміни генеруючої потужності. Наявні метеодані дають можливість оцінити зміну потужності ВЕУ (в умовних одиницях, або в долях номінальної потужності) за 10 хвилин, яку можна розглядати як випадковий елементарний стрибок потужності. Використовуючи нелінійну залежність (1), масив даних щодо швидкості вітру трансформуємо в масив значень потужності ВЕУ.

$$P_1(v) = \begin{cases} 0, & v < V_0, v \geq V_m \\ P(v, a_1, a_2, \dots), & V_0 \leq v \leq V_p \\ P_w, & V_p < v < V_m \end{cases} \quad (1)$$

де V_0 , V_p та V_m – відповідно стартова, розрахункова (що відповідає номінальній потужності P_H) та максимальна швидкості вітру;

a_i – параметри, що описують вигляд кривої потужності на ділянці без обмежень.

Розрахуємо характер розподілу елементарних стрибків потужності як випадкової величини.

В табл. 1-3 наведено дані попереднього аналізу для характерних місяців 2016 р. (зима, весна, літо, осінь), що стосуються вимірів на висоті 94 м. Як показав аналіз даних, математичне очікування стрибків близьке до нуля, а їх розподіл має ознаки симетрії. Припускаючи нормальність розподілу величини стрибків, знаходимо максимальну амплітуду стрибків з імовірністю 0,99 (квантиль нормального розподілу 2,58) та з імовірністю 0,95 (квантиль 1,96).

Як бачимо, значні стрибки (більше половини номінальної потужності) мають характер окремих викидів, і вже при відсіюванні 1% екс-



тремальних значень (симетрично по 0,5% додатних та від'ємних) розмах стрибків становить близько 0,17 номінальної потужності ВЕУ, а при відкиданні 5% – 0,13 номінальної потужності. Імовірність 0,95 тут розглядається як прийнятний показник, що зокрема застосовується до технічної надійності ВЕУ чи до забезпечення частоти в електромережі. Імовірність 0,99 демонструє вплив імовірних збоїв при вимірюванні, які мають нетиповий для даного процесу характер.

Таблиця 1 - Показники розподілу стрибків потужності ВЕУ (у долях від номінальної потужності)

місяць	ΔP_{\max}	ΔP_{\min}	σ	$2,58 \cdot \sigma$	$1,96 \cdot \sigma$
січень	0,39	-0,45	0,059	0,15	0,12
квітень	0,47	-0,45	0,068	0,17	0,13
липень	0,37	-0,55	0,063	0,16	0,12
жовтень	0,46	-0,56	0,052	0,13	0,10

Перевіримо, наскільки показники нормального розподілу відповідають фактичним для наявного масиву даних. В табл. 2 наведено гістограми розподілу величини стрибків по градаціях потужності.

Таблиця 2 - Гістограми стрибків потужності

діапазон	Частота			
	січень	квітень	липень	жовтень
> -0,6	0	1	0	1
-0,6...-0,5	0	1	1	2
-0,5...-0,4	1	2	1	0
-0,4...-0,3	3	8	3	3
-0,3...-0,2	20	34	29	13
-0,2...-0,1	182	170	194	115
-0,1...0,0	2142	2026	2022	2171
0,0...0,1	1937	1828	1988	2028
0,1...0,2	152	204	179	108
0,2...0,3	18	33	39	18
0,3...0,4	8	6	7	2
0,4...0,5	0	5	0	2
0,5...0,6	0	1	0	0

Для порівняння з показниками нормального розподілу визначимо екстремальні значення стрибків потужності, відкидаючи (симетрично) кількість вимірів, що відповідає ймовірностям 0,99 та 0,95 (табл. 3).

Результати підрахунку фактичних даних вказують на дещо вищі показники елементарних стрибків потужності, ніж розраховані за квантилями нормального розподілу. Тут фактичний розподіл відповідає нормальному за параметром симетрії, проте не відповідає за параметром ексцесу. Коригування величини середньоквадратичного відхилення дозволяє досить точно моделювати фактичний розподіл нормальним – в даному випадку достатньо вважати σ меншим на 20% порівняно з фактичним значенням. Графічне порівняння фактичного, нормального та коригованого розподілів наведено на рис. 1.

Таблиця 3 - Граничні показники стрибків потужності ВЕУ

місяць	max 0,99	min 0,99	max 0,95	min 0,95
січень	0,22	-0,21	0,15	-0,15
квітень	0,27	-0,26	0,17	-0,16
липень	0,26	-0,24	0,17	-0,16
жовтень	0,20	-0,20	0,14	-0,13

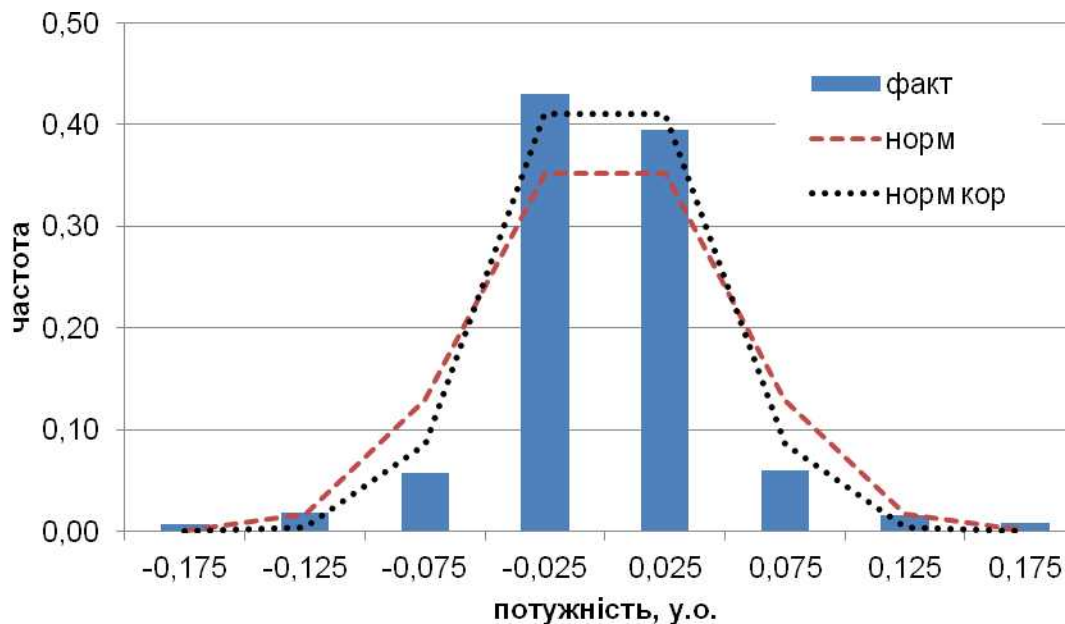


Рис. 1. Гістограма стрибків потужності ВЕУ (фактична та нормальна)

Для порівняння наведемо аналогічні результати для вимірів, зроблених на висоті 66 м (табл. 4 та 5).



Таблиця 4 - Показники розподілу стрибків потужності ВЕУ (66 м)

місяць	ΔP_{\max}	ΔP_{\min}	σ	$2,58 \cdot \sigma$	$1,96 \cdot \sigma$	max 0,99	min 0,99	max 0,95	min 0,95
січень	0,40	-0,42	0,062	0,16	0,12	0,25	-0,23	0,16	-0,17
квітень	0,49	-0,55	0,066	0,17	0,13	0,27	-0,26	0,17	-0,16
липень	0,36	-0,48	0,061	0,16	0,12	0,25	-0,24	0,15	-0,14
жовтень	0,66	-0,66	0,060	0,15	0,12	0,25	-0,23	0,14	-1,45

Таблиця 5 - Гістограми стрибків потужності (висота 66 м).

діапазон	Частота			
	січень	квітень	липень	жовтень
> -0,6	0	1	1	1
-0,6...-0,5	0	1	0	2
-0,5...-0,4	1	0	1	1
-0,4...-0,3	5	6	0	4
-0,3...-0,2	23	29	33	20
-0,2...-0,1	187	191	159	151
-0,1...0,0	2081	2004	2078	2134
0,0...0,1	1946	1856	1994	1985
0,1...0,2	184	182	158	131
0,2...0,3	28	41	34	27
0,3...0,4	7	6	5	5
0,4...0,5	1	2	0	1
0,5...0,6	0	0	0	1

Можна пересвідчитися, що основні закономірності розподілу стрибків потужності справедливі на обох висотах. Цей висновок є важливим при проведенні передінвестиційних досліджень для проектів будівництва ВЕС. Прийняті в даний час правила (законодавчі чи у вигляді сталої практики) передбачають не менш як річний цикл вимірювання швидкості вітру безпосередньо на майданчику планованого будівництва. При цьому висота розташування датчиків швидкості вітру має бути якомога ближчою до осі ротора ВЕУ, які проектується до встановлення, проте не менше як на 2/3 цієї висоти. Отже, досліджені дані свідчать про допустимість мінімальної в заданих межах висоти вимірів, що суттєво впливає на вартість вимірювання.



Розглянемо, наскільки тривалими є процеси зміни потужності, для чого аналогічним чином розглянемо стрибки потужності за 30 хвилин та за одну годину. Використаємо дані вимірів на висоті 94 м. Розрахунок величини стрибків виконується методом ковзного вікна, тобто розглядаються всі можливі різниці потужності з відповідним зсувом по часу. Результати наведено в табл. 6 та 7.

Порівнюючи ці результати з даними таблиць 1 та 3 стосовно стрибків за 10 хвилин, можна зробити наступні висновки.

Зі зростанням довжини часового інтервалу розмах змін потужності природно зростає, але дещо повільніше, тобто імовірність тривалого зростання чи спаду потужності зменшується. Це характерно як для абсолютного максимуму стрибків, так і для імовірного з різним ступенем достовірності (рис. 2). Характер розподілу стрибків при цьому якісно такий же, тобто відмінність від нормального за величиною ексцесу [3] зберігається, хоча коефіцієнт ексцесу дещо зменшується.

Таблиця 6 - Показники розподілу стрибків потужності ВЕУ за 30 хв

місяць	ΔP_{\max}	ΔP_{\min}	σ	$2,58 \cdot \sigma$	$1,96 \cdot \sigma$	max 0,99	min 0,99	max 0,95	min 0,95
січень	0,715	-0,640	0,104	0,267	0,203	0,39	-0,37	0,24	-0,23
квітень	0,724	-0,610	0,115	0,297	0,225	0,50	-0,43	0,26	-0,25
липень	0,649	-0,470	0,105	0,270	0,205	0,39	-0,36	0,25	-0,25
жовтень	0,516	-0,665	0,083	0,214	0,163	0,34	-0,32	0,19	-0,19

Таблиця 7 - Показники розподілу стрибків потужності ВЕУ за 1 год

місяць	ΔP_{\max}	ΔP_{\min}	σ	$2,58 \cdot \sigma$	$1,96 \cdot \sigma$	max 0,99	min 0,99	max 0,95	min 0,95
січень	0,82	-0,74	0,142	0,367	0,279	0,48	-0,49	0,31	-0,30
квітень	0,85	-0,80	0,157	0,406	0,309	0,60	-0,57	0,36	-0,35
липень	0,80	-0,77	0,146	0,376	0,285	0,50	-0,49	0,34	-0,32
жовтень	0,72	-0,76	0,111	0,285	0,217	0,42	-0,43	0,26	-0,25

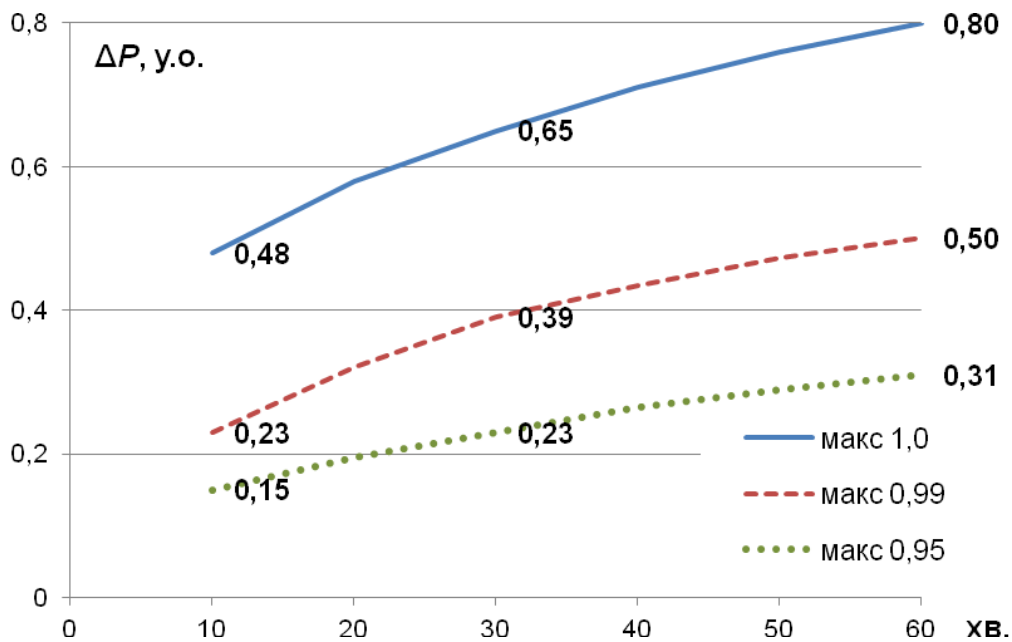


Рис. 2. Максимальне значення стрибків потужності з різною імовірністю

Висновок. Досліджені показники вітрового режиму дозволяють точніше спрогнозувати роботу вітроелектричної станції в досліджуваному регіоні та її вплив на характер постачання електроенергії при роботі у складі централізованої чи локальної енергосистеми. При цьому перелік досліджених параметрів не є вичерпним, потреба в додаткових дослідженнях визначається особливостями роботи енергосистеми як в частині генерування, так і споживання електроенергії.

Список використаних джерел

1. Нова Директива з енергоефективності: шанс для України підтвердити курс на енергоощадність [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://www.ukrenergiaudit.org/ua/novini/460-nova-direktiva-z-energoefektivnosti-shans-dlya-ukrajini-pidtvrditi-kurs-na-energooshchadnist.html>

2. Розпорядження Кабінету Міністрів України "Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2030 року" від 24 липня 2013 – № 1071-р. // Урядовий кур'єр від 29.01.2014. – № 17.

3. ГОСТ Р ИСО 5479-2002: Статистические методы. Проверка отклонения распределения вероятностей от нормального распределения



ОЦЕНКА БРОСКОВ ГЕНЕРИРУЮЩЕЙ МОЩНОСТИ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Кузнецов Н.П., Лисенко О.В.

Аннотация – проведена оценка колебаний мощности ветрового потока на юге Украины по двухлетнему массиву 10-минутных измерений скорости и направления ветра метеопостом Ботиевской ВЭС, Приазовского района Запорожской области. В частности, проведен расчет и анализ темпов изменения скорости ветра и, как следствие, генерирующей мощности, что являются важными показателями стабильной работы электрической сети.

ESTIMATION OF THE GENERATING CAPACITY OF WIND POWER PLANTS

M. Kuznietsov, O. Lysenko

Summary

In the article, an estimation of the wind power fluxes in the south of Ukraine for a two-year array of 10-minute measurements of wind speed and direction by the weather checkpoint of the Botievskaya wind farm, the Priazovski district of the Zaporozhye region was carried out. In particular, the calculation and analysis of the rate of change in wind speed and as a consequence of the generating capacity was shown, which are important indicators of the stable operation of the electrical network.



УДК 681.518.3.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВПЛИВУ ПРОНИКНЕННЯ ОПТИЧНОГО ІНФРАЧЕРВОНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ В ПОКРИВ БДЖІЛ

Кунденко М. П., д.т.н.,
Прудка О.А., аспірант*

*Харківський національний технічний університет сільського
господарства імені Петра Василенка*

Тел.: +3 8 (066) 083 27 21

Анотація - розроблено математичну модель проникнення інфрачервоного випромінювання в покрив бджіл. Виведено формули для розрахунку ефективного потоку оптичного випромінювання та поглинутої енергії, що поглинається відповідними прошарками покриву комахи.

Ключові слова: бджола, потік, енергія, інфрачервоне випромінювання.

Постановка проблеми. В наш час термін інфрачервоного випромінювання відомий майже всім, але роботи, які були б зв'язані з вивченням впливу оптичного інфрачервоного випромінювання на живі організми майже не проводяться. Цей напрям в науці вважається майже не дослідженим, незважаючи на те що обмежений вплив інфрачервоного випромінювання може призводити до позитивного впливу на життєдіяльність біологічних об'єктів.

Аналіз останніх досліджень. Більшість бджолиних сімей страждає від захворювання, яке супроводжується загибеллю цілих бджолосімей, що має назву Вароатоз. Це інвазійна хвороба дорослих особин бджолої сім'ї, їх личинок і лялечок, що викликається кліщем Варроа Якобсон.

Методи боротьби з кліщем підрозділяють на два типи: хімічні та фізичні. Хімічні методи лікування бджолосімей полягають в обробці вуликів, та всієї пасіки хімічними препаратами. Найбільш ефективними є препарати на основі: бромпропілата (препарати фольбекс, акарасана), органічних карбонових кислот (щавлева, мурашина), фенотізіна (препарати фенотіазін, варрофен і ін.).

Фізичні методи полягають в обробці бджіл за допомогою фізичних процесів. До таких методів відносять: термічну обробку, іонізую-

* Науковий керівник - Кунденко М. П., д.т.н., професор
© Кунденко М. П., Прудка О.А.



че випромінювання, інфрачервоне та ультрафіолетове випромінювання, ультразвук, поляризаційне поле, електричний струм, вакуум та ін.

Але такі методи мають свої недоліки. Розглянемо недоліки хімічних методів:

- хімічні препарати від бджоли потрапляють до меду, що не сприяє отриманню екологічно чистої продукції;
- хімічні препарати діють негативно, впливаючи на бджіл та бждолопродукти та ін.

Якщо ж говорити про фізичні методи, то найпоширенішим фізичним методом є термообробка, але вона також має свої недоліки:

- час термообробки (15 - 20 хв.) не витримують бджоли з переповненим кишечником та голодні бджоли;
- при низькій температурі повітря (до 10 °С) треба витримати бджіл у касеті перед термообробкою 10 - 15 хвилин в приміщенні з температурою 15- 18 °С і стільки ж після обробки та ін.

Одним з ефективних способів лікування бджіл є спосіб, який полягає в утворенні обмеженого простору, до якого переміщують бджолосім'ю, перед цим обробивши її високодисперсним матеріалом, наприклад, крохмалем, та опромінюють з усіх сторін електромагнітним випромінюванням [1].

Отже, завдання наступних досліджень полягає в розробці та впровадженні в виробництво установки з методом інфрачервоного опромінення для обробки бджолосімей з метою лікування їх від кліща з найменшими втратами.

Формулювання цілей статті. Розробити математичну модель для розрахунку фізичних характеристик інфрачервоного випромінювання з метою подальшого впровадження їх в виробництво.

Основні матеріали дослідження. В загальному вигляді покрив комахи є складним оптичним неоднорідним середовищем, що в свою чергу, створює складність у створенні реальної математичної моделі, яка б точно описувала процеси розподілу енергії оптичного випромінювання у структурах покриву. Тому справедливим є використання покривних рівнянь переносу променистої енергії в середовищі, що розсіює її та розроблене на базисі першого закону термодинаміки Ю. Владіміровим [2] та С. Чандрасекаром [3].

Спектральний потік, який проникає в оптичне середовище позначимо як $F_{\lambda}(r, n)$, де λ – довжина хвилі, $r = (x, y, z)$ – точка в просторі, в якій реєструється випромінювання, $n = (n_x, n_y, n_z)$ – одиничний вектор проникнення оптичного випромінювання в певному напрямку. Причому має місце вираз: $n_x + n_y + n_z = 1$. Рівняння переносу променистої енергії в середовищі, що розсіює її матиме вигляд



$$n \nabla F_{\lambda}(r, n) + \alpha_{\lambda}(r, n) F_{\lambda}(r, n) = \int_{4\pi} F_{\lambda}(r, n) \alpha_{\lambda}^{\varepsilon}(r, n \rightarrow n) dn + f_{\lambda}(r, n) \quad (1)$$

Щоб відмітити те, що інтегрування відбувається по одиничній сфері, введено знак 4π під інтегралом. Першим доданком лівої частини є похідна потоку випромінювання в точці r , напрямку n

$$n \cdot \nabla F_{\lambda}(r, n) = n_x \frac{dF_{\lambda}}{dx} + n_y \frac{dF_{\lambda}}{dy} + n_z \frac{dF_{\lambda}}{dz} \quad (2)$$

Енергію випромінювання, що поглинається або розсіюється при проходженні елементарного відрізка відстані $(r, r + ndr)$ в напрямку n , характеризує другий доданок лівої частини виразу (1). Функція $\alpha_{\lambda}(r, n)$ є прямою характеристикою просторового коефіцієнту поглинання оптичного потоку та складається із двох частин: $\beta_{\lambda}(r, n)$ – коефіцієнта поглинання потоку оптичного випромінювання середовищем, $\rho_{\lambda}(r, n)$ – коефіцієнта розсіяння потоку випромінювання середовищем

$$\alpha_{\lambda}(r, n) = \beta_{\lambda}(r, n) + \rho_{\lambda}(r, n), \quad (3)$$

де $\alpha_{\lambda}^{\varepsilon}(r, n \rightarrow n) dn$ – функція, що характеризує енергію розсіювання в елементарному об'ємі структури r , що поглинає випромінювання.

Так як ціллю даних досліджень є визначення розподілу енергії в глибину покриву комахи, то подальший розгляд виразу (1) буде вестися тільки відносно вертикальної координати $z(\sigma)$, де σ – товщина покриву

$$n_z \cdot \frac{dF_{\lambda}(z, n)}{dz} + \alpha_{\lambda}(z, n) F_{\lambda}(z, n) = \int_{4\pi} F_{\lambda}(z, n) \alpha_{\lambda}^{\varepsilon}(z, n \rightarrow n) dn + f_{\lambda}(z, n), \quad (4)$$

Досліджуючи особливості будови покриву бджоли варто відмітити, що покрив умовно розділяють на кутикулу, епідерміс та базальну мембрану. Кутикула, в свою чергу, ділиться на кутикулін, екзокутикулу та ендокутикулу. Кожен із прошарків покриву має різноманітний склад клітин. Узагальнення, з точки зору, оптичних характеристик показало, що спільним для них є те, що всі клітини в своєму складі вміщують воду в вільному чи зв'язаному вигляді. Результати цитологічних досліджень доводять, що чим ближче до поверхні покриву знаходяться клітини, тим менше їх біологічне функціонування, тобто клітина має меншу кількість води[4]. Відповідно до зміни кількості води в клітинах вони змінюють свої оптичні властивості, внаслідок чого і відповідні прошарки покриву також змінюють свої властивості.

Із вище викладеного слідує, що взаємодію оптичного випромінювання із покривом комахи можна показати у вигляді спрощеної схеми (рис.1).

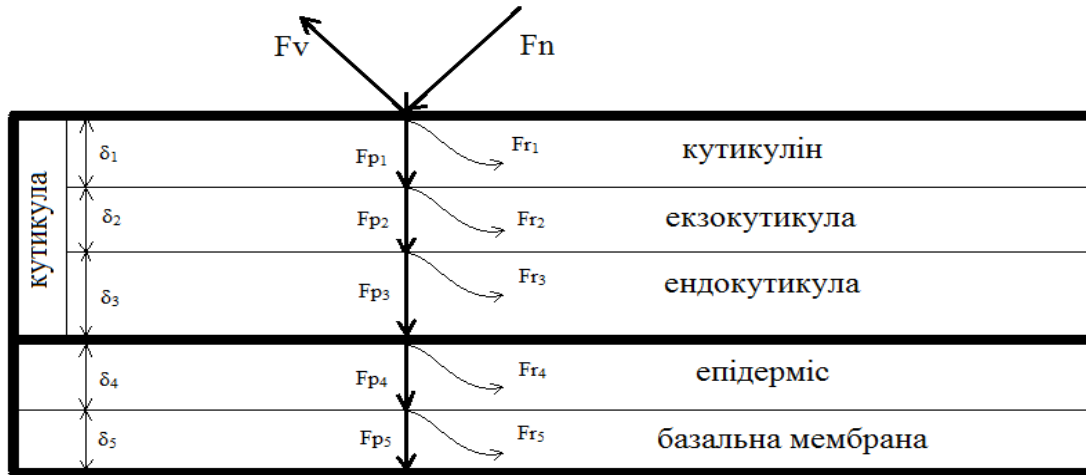


Рис. 1. Розподіл оптичного випромінювання, що потрапляє на поверхню покриву комахи

З аналізу рисунку слідує, що оптичне випромінювання яке потрапляє на поверхню комахи F_n , частково відбивається назовні F_v та частково проникає в покрив F_p . При проходженні оптичного випромінювання в товщину покриву частина випромінювання розсіюється F_r , а інша частина поглинається F_p . Якщо ж говорити про ефективне використання F_p поглинутого потоку випромінювання, то має місце вираз

$$F_p = F^e + F^s, \quad (5)$$

де $F^e = F_{kyl} + F_{ekz} + F_{end} + F_{enid} + F_{baz}$ - потік випромінювання який мав ефективну дію в товщі покриву;

F^s - втрачена частина потоку оптичного випромінювання в товщі покриву.

Виходячи із структури комахи, можна стверджувати, що потік оптичного випромінювання частково поглинається кутикуліном F_{p1} , екзокутикулою F_{p2} , ендоктикулою F_{p3} , епідермісом F_{p4} та базальною мембраною F_{p5} . Таким чином, вираз для оптичного потоку випромінювання матиме вигляд

$$F_n = F_v + F_p + F_r, \quad (6)$$

Якщо $F_p = F_{p1} + F_{p2} + F_{p3} + F_{p4} + F_{p5}$, а $F_r = F_{r1} + F_{r2} + F_{r3} + F_{r4} + F_{r5}$ то вираз (6) перетвориться на вираз

$$F_n = F_v + (F_{p1} + F_{p2} + F_{p3} + F_{p4} + F_{p5}) + (F_{r1} + F_{r2} + F_{r3} + F_{r4} + F_{r5}), \quad (7)$$



Так як невідомо, яка частина енергії поглинутого випромінювання розсіюється в товщі покривів комахи, а яка поглинається, то введемо коефіцієнт ефективності поглинутого випромінювання (7) k

$$k = \gamma \cdot \beta, \quad (8)$$

де γ – енергетичний коефіцієнт поглинання при виконанні корисної роботи в цілому;

β – енергетичний коефіцієнт поглинання при виконанні головної роботи – наприклад, заданої фотохімічної реакції.

Враховуючи сказане вище, ефективний потік оптичного випромінювання поглинутий організмом запишеться у вигляді

$$F^e = k_{kyt} F_{kyt} + k_{ekz} F_{ekz} + k_{end} F_{end} + k_{enid} F_{enid} + k_{baz} F_{baz}, \quad (9)$$

де k_{kyt} – коефіцієнт фітобіологічної ефективності поглинання випромінювання кутикуліном;

k_{ekz} – коефіцієнт фітобіологічної ефективності поглинання випромінювання шаром екзокутикули;

k_{end} – коефіцієнт фітобіологічної ефективності поглинання випромінювання шаром ендокутикули;

k_{enid} – коефіцієнт фітобіологічної ефективності поглинання випромінювання шаром епідермісу;

k_{baz} – коефіцієнт фітобіологічної ефективності поглинання випромінювання базальною мембраною.

За законом Бугера-Ламберта-Бера потік оптичного випромінювання, що поглинається шаром кутикуліну, має вигляд

$$F_{kyt} = (F_n - F_v)(1 - e^{-\alpha_1 \delta_1}) = F_1(1 - e^{-\alpha_1 \delta_1}), \quad (10)$$

де α_1 - показник поглинання випромінювання в товщі кутикуліна;

δ_1 - товщина кутикулінового шару, мм;

$F_1 = F_n - F_v$ – потік оптичного випромінювання, що надходить до шару кутикуліна, Вт.

Потік оптичного випромінювання, який пройшов шар кутикуліну та надходить до екзокутикули, матиме вигляд

$$F_2 = F_1 - F_1(1 - e^{-\alpha_1 \delta_1}) = F_1 e^{-\alpha_1 \delta_1}, \quad (11)$$

Аналогічно, до потоку оптичного випромінювання, що поглинається в шарі кутикуліну, запишеться вираз для потоку випромінювання поглинутого в шарі екзокутикули

$$F_{ekz} = F_1 e^{-\alpha_1 \delta_1} (1 - e^{-\alpha_2 \delta_2}), \quad (12)$$



Потік випромінювання, що надходить до ендокутикули вираховується аналогічно до F_2

$$F_3 = F_1 e^{-(\alpha_1 \delta_1 + \alpha_2 \delta_2)}, \quad (13)$$

Випромінювання, що поглинається в ендокутикулі

$$F_{end} = F_1 e^{-(\alpha_1 \delta_1 + \alpha_2 \delta_2)} (1 - e^{-\alpha_3 \delta_3}), \quad (14)$$

де a_3 - показник поглинання оптичного випромінювання ендокутикулою;

δ_3 - товщина шару ендокутикули.

Потік випромінювання, що надходить до шару епідермісу

$$F_4 = F_1 e^{-(\alpha_1 \delta_1 + \alpha_2 \delta_2 + \alpha_3 \delta_3)}, \quad (15)$$

Аналогічно потік, який поглинається в епідермісі

$$F_{enid} = F_1 e^{-(\alpha_1 \delta_1 + \alpha_2 \delta_2 + \alpha_3 \delta_3)} (1 - e^{-\alpha_4 \delta_4}), \quad (16)$$

де a_4 – показник поглинання оптичного випромінювання в шарі епідермісу;

δ_4 - товщина шару епідермісу, мм.

Потік випромінювання, що надходить до базальної мембрани

$$F_5 = F_1 e^{-(\alpha_1 \delta_1 + \alpha_2 \delta_2 + \alpha_3 \delta_3 + \alpha_4 \delta_4)}, \quad (17)$$

Тоді поглинутий потік в базальній мембрані матиме вигляд

$$F_{baz} = F_1 e^{-(\alpha_1 \delta_1 + \alpha_2 \delta_2 + \alpha_3 \delta_3 + \alpha_4 \delta_4)} (1 - e^{-\alpha_5 \delta_5}), \quad (18)$$

де a_5 – показник поглинання оптичного випромінювання в базальній мембрані;

δ_5 – товщина базальної мембрани, мм.

Оптичне випромінювання, що ефективно поглинуте товщею комахи

$$F^e = (F_n - F_v)(k_{kvt} (1 - e^{-\alpha_1 \delta_1}) + k_{ekz} e^{-\alpha_1 \delta_1} (1 - e^{-\alpha_2 \delta_2}) + k_{end} e^{-(\alpha_1 \delta_1 + \alpha_2 \delta_2)} (1 - e^{-\alpha_3 \delta_3}) + k_{enid} e^{-(\alpha_1 \delta_1 + \alpha_2 \delta_2 + \alpha_3 \delta_3)} (1 - e^{-\alpha_4 \delta_4}) + k_{baz} e^{-(\alpha_1 \delta_1 + \alpha_2 \delta_2 + \alpha_3 \delta_3 + \alpha_4 \delta_4)} (1 - e^{-\alpha_5 \delta_5})), \quad (19)$$

де k_i – біологічна активність випромінювання, що була поглинута відповідним шаром товщі комахи;

a_i - показник поглинання i -того шару;

δ_i – товщина i -того шару.



Так як джерела випромінювання мають складний спектр випромінювання, то вони характеризуються розподілом інтенсивності випромінювання $\varphi(\lambda)$ у певному діапазоні хвиль $\lambda_1 \div \lambda_2$, тому показники поглинання структур покриву будуть залежати від довжини хвилі λ , а отже, вираз (19) набуватиме вигляд

$$F^e = (F_n(\lambda) - F_v(\lambda))(k_{\text{квр}}(\lambda)(1 - e^{-\alpha_1(\lambda)\delta_1}) + k_{\text{екз}}(\lambda)e^{-\alpha_1(\lambda)\delta_1}(1 - e^{-\alpha_2(\lambda)\delta_2}) + k_{\text{енд}}(\lambda)e^{-(\alpha_1(\lambda)\delta_1 + \alpha_2(\lambda)\delta_2)}(1 - e^{-\alpha_3(\lambda)\delta_3}) + k_{\text{енд}}(\lambda)e^{-(\alpha_1(\lambda)\delta_1 + \alpha_2(\lambda)\delta_2 + \alpha_3(\lambda)\delta_3)}(1 - e^{-\alpha_4(\lambda)\delta_4}) + k_{\text{баз}}(\lambda)e^{-(\alpha_1(\lambda)\delta_1 + \alpha_2(\lambda)\delta_2 + \alpha_3(\lambda)\delta_3 + \alpha_4(\lambda)\delta_4)}(1 - e^{-\alpha_5(\lambda)\delta_5}))$$

Енергія фотонів поглинутого випромінювання, що спричиняє біологічну дію при опроміненні комах джерелами із оптичним випромінюванням складного спектрального складу, визначається з виразу:

$$W = \iint_{00}^{\lambda t} \varphi(\lambda, t) \cdot k(\lambda) d\lambda dt, \quad (21)$$

де $\varphi(\lambda, t)$ – спектральна інтенсивність потоку випромінювання від джерела;

$k(\lambda)$ – спектральна біологічна ефективність поглинутого випромінювання;

λ – довжина хвилі випромінювання; t – час опромінення.

З виразу (21) можна визначити енергію випромінювання, яка ефективно поглинається в структурах покриву комах:

W_1 – енергія, що поглинута в прошарку кутикуліну товщиною δ_1

$$W_1 = \iint_{00}^{\lambda t} \varphi(\lambda, t)(1 - \rho(\lambda))(1 - e^{-\alpha_1(\lambda)\delta_1})k_{\text{квр}}(\lambda)d\lambda dt, \quad (22)$$

W_2 – енергія випромінювання, що поглинута в екзокутикулі

$$W_2 = \iint_{00}^{\lambda t} \varphi(\lambda, t)(1 - \rho(\lambda))e^{-\alpha_1(\lambda)\delta_1}(1 - e^{-\alpha_2(\lambda)\delta_2})k_{\text{екз}}(\lambda)d\lambda dt, \quad (23)$$

W_3 – енергія випромінювання, що поглинута в ендокутикулі

$$W_3 = \iint_{00}^{\lambda t} \varphi(\lambda, t)(1 - \rho(\lambda))k_{\text{енд}}(\lambda)e^{-(\alpha_1(\lambda)\delta_1 + \alpha_2(\lambda)\delta_2)}(1 - e^{-\alpha_3(\lambda)\delta_3})d\lambda dt, \quad (24)$$

W_4 – енергія випромінювання, що поглинута шаром епідермісу

$$W_4 = \iint_{00}^{\lambda t} \varphi(\lambda, t)(1 - \rho(\lambda))e^{-(\alpha_1(\lambda)\delta_1 + \alpha_2(\lambda)\delta_2 + \alpha_3(\lambda)\delta_3)}(1 - e^{-\alpha_4(\lambda)\delta_4})k_{\text{енд}}(\lambda)d\lambda dt, \quad (25)$$

W_5 – енергія випромінювання поглинута в базальній мембрані

$$W_5 = \iint_{00}^{\lambda t} \varphi(\lambda, t)(1 - \rho(\lambda))e^{-(\alpha_1(\lambda)\delta_1 + \alpha_2(\lambda)\delta_2 + \alpha_3(\lambda)\delta_3 + \alpha_4(\lambda)\delta_4)}(1 - e^{-\alpha_5(\lambda)\delta_5})k_{\text{баз}}(\lambda)d\lambda dt, \quad (26)$$



З попередніх виразів для $W_1 \div W_5$ з'являється можливість визначити кількісну характеристику енергії оптичного випромінювання, яка поглинається покривом комахи та приймає участь у фотобіологічній реакції з ефективністю $k_i(\lambda)$.

Данні вирази були отримані, враховуючи такі положення:

- фотони оптичного випромінювання, що сприймаються молекулярними структурами, розділяються рівномірно в товщі δ кожного прошарку поверхні;
- показники поглинання α залежать лише від довжини хвилі оптичного випромінювання.

В нашому випадку показник поглинання α є не тільки функцією для довжини хвилі, а й для просторового розподілу або концентрації сприймаючих молекулярних структур в товщі і об'ємі кожного прошарку покриву. Враховуючи це, математичний вираз енергії поглинутого випромінювання і перетвореного прошарком покриву комахи (з ефективністю перетворення) $k_i(\lambda)$, матиме вигляд:

- енергія поглинутого оптичного випромінювання в кутикуліні

$$W_1 = \iiint \varphi(\lambda, t)(1 - \rho(\lambda))(1 - e^{-\alpha_1(\lambda, \delta_1)\delta_1})k_{kyt}(\lambda)d\lambda dt d\delta, \quad (27)$$

- енергія поглинутого оптичного випромінювання в екзокутикулі

$$W_2 = \iiint \varphi(\lambda, t)(1 - \rho(\lambda))e^{-\alpha_1(\lambda, \delta_1)\delta_1}(1 - e^{-\alpha_2(\lambda, \delta_2)\delta_2})k_{ekz}(\lambda)d\lambda dt d\delta, \quad (28)$$

- енергія поглинутого оптичного випромінювання в ендоктикуліні

$$W_3 = \iiint \varphi(\lambda, t)(1 - \rho(\lambda))e^{-(\alpha_1(\lambda, \delta_1)\delta_1 + \alpha_2(\lambda, \delta_2)\delta_2)}(1 - e^{-\alpha_3(\lambda, \delta_3)\delta_3})k_{end}(\lambda)d\lambda dt d\delta, \quad (29)$$

- енергія поглинутого оптичного випромінювання в епідермісі

$$W_4 = \iiint \varphi(\lambda, t)(1 - \rho(\lambda))e^{-(\alpha_1(\lambda, \delta_1)\delta_1 + \alpha_2(\lambda, \delta_2)\delta_2 + \alpha_3(\lambda, \delta_3)\delta_3)}(1 - e^{-\alpha_4(\lambda, \delta_4)\delta_4})k_{enid}(\lambda)d\lambda dt d\delta \quad (30)$$

- енергія поглинутого оптичного випромінювання в базальній мембрані

$$W_5 = \iiint \varphi(\lambda, t)(1 - \rho(\lambda))e^{-(\alpha_1(\lambda, \delta_1)\delta_1 + \alpha_2(\lambda, \delta_2)\delta_2 + \alpha_3(\lambda, \delta_3)\delta_3 + \alpha_4(\lambda, \delta_4)\delta_4)} \times (1 - e^{-\alpha_5(\lambda, \delta_5)\delta_5})k_{baz}(\lambda)d\lambda dt d\delta, \quad (31)$$

Звідси, загальна енергія ефективно поглинута покривом комахи матиме вигляд



$$\begin{aligned}
W_p = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 = & \iiint [\varphi(\lambda, t)(1 - \rho(\lambda)) \times \\
& \times (1 - e^{-\alpha_1(\lambda, \delta_1)\delta_1}) k_{\text{квр}}(\lambda) + \varphi(\lambda, t)(1 - \rho(\lambda)) e^{-\alpha_1(\lambda, \delta_1)\delta_1} \times \\
& \times (1 - e^{-\alpha_2(\lambda, \delta_2)\delta_2}) k_{\text{екз}}(\lambda) + \varphi(\lambda, t)(1 - \rho(\lambda)) e^{-(\alpha_1(\lambda, \delta_1)\delta_1 + \alpha_2(\lambda, \delta_2)\delta_2)} \times \\
& \times (1 - e^{-\alpha_3(\lambda, \delta_3)\delta_3}) k_{\text{енд}}(\lambda) + \varphi(\lambda, t)(1 - \rho(\lambda)) e^{-(\alpha_1(\lambda, \delta_1)\delta_1 + \alpha_2(\lambda, \delta_2)\delta_2 + \alpha_3(\lambda, \delta_3)\delta_3)} \times \\
& \times (1 - e^{-\alpha_4(\lambda, \delta_4)\delta_4}) k_{\text{енд}}(\lambda) + \varphi(\lambda, t)(1 - \rho(\lambda)) e^{-(\alpha_1(\lambda, \delta_1)\delta_1 + \alpha_2(\lambda, \delta_2)\delta_2 + \alpha_3(\lambda, \delta_3)\delta_3 + \alpha_4(\lambda, \delta_4)\delta_4)} \times \\
& \times (1 - e^{-\alpha_5(\lambda, \delta_5)\delta_5}) k_{\text{баз}}(\lambda)] d\lambda dt d\delta
\end{aligned} \tag{32}$$

За допомогою математичних операцій енергія, що ефективно поглинається в товщі покриву, запишеться у вигляді

$$\begin{aligned}
W_p = & \iiint \varphi(\lambda, t)(1 - \rho(\lambda)) \left((1 - e^{-\alpha_1(\lambda, \delta_1)\delta_1}) k_{\text{квр}}(\lambda) + e^{-\alpha_1(\lambda, \delta_1)\delta_1} (1 - e^{-\alpha_2(\lambda, \delta_2)\delta_2}) k_{\text{екз}}(\lambda) + \right. \\
& + e^{-(\alpha_1(\lambda, \delta_1)\delta_1 + \alpha_2(\lambda, \delta_2)\delta_2)} (1 - e^{-\alpha_3(\lambda, \delta_3)\delta_3}) k_{\text{енд}}(\lambda) + \\
& + e^{-(\alpha_1(\lambda, \delta_1)\delta_1 + \alpha_2(\lambda, \delta_2)\delta_2 + \alpha_3(\lambda, \delta_3)\delta_3)} (1 - e^{-\alpha_4(\lambda, \delta_4)\delta_4}) k_{\text{енд}}(\lambda) + \\
& \left. + e^{-(\alpha_1(\lambda, \delta_1)\delta_1 + \alpha_2(\lambda, \delta_2)\delta_2 + \alpha_3(\lambda, \delta_3)\delta_3 + \alpha_4(\lambda, \delta_4)\delta_4)} (1 - e^{-\alpha_5(\lambda, \delta_5)\delta_5}) k_{\text{баз}}(\lambda) \right) d\lambda dt d\delta
\end{aligned} \tag{33}$$

де W_p – енергія оптичного випромінювання, ефективно поглинута всім шкірним покривом комахи за час опромінення t ;

$k_i(\lambda)$ – відносна спектральна ефективність в певному шарі покриву з довжиною хвилі λ ;

$\varphi(\lambda, t)$ – функція спектральної інтенсивності потоку джерела оптичного випромінювання в процесі опромінення;

$\rho(\lambda)$ – коефіцієнт відбиття оптичного випромінювання поверхнею тіла комахи з довжиною хвилі λ ;

$\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4, \delta_5$ – товщини прошарків поверхні відповідно: кутикуліну, екзокутикули, ендокутикули, епідермісу та базальної мембрани;

$\alpha_1(\lambda, \delta_1), \alpha_2(\lambda, \delta_2), \alpha_3(\lambda, \delta_3), \alpha_4(\lambda, \delta_4), \alpha_5(\lambda, \delta_5)$ – спектральні показники поглинання оптичного випромінювання з довжиною хвилі λ по товщі прошарку відповідно: кутикуліну, екзокутикули, ендокутикули, епідермісу та базальної мембрани.

Аналізуючи отриманий вираз (33) маємо, що $(1 - e^{-\alpha_i(\lambda, \delta_i)\delta_i})$ – характеризує енергію оптичного випромінювання, що поглинається в шарі товщиною δ_i , а вираз $e^{-\alpha_i(\lambda, \delta_i)\delta_i}$ характеризує енергію, що проходить через певний шар покриву.



В даних розрахунках важливо врахувати те, що епідерміс складається з нашарувань плоских зневоднених клітин, які втратили можливість біологічного функціонування («життєдіяльності»). Таким чином, епідерміс є прошарком із мертвих клітин і тому говорити про біологічну активність поглинутого в ньому випромінювання не правильно. Реальним є визначення поглинутого в епідермісі випромінювання, як розсіяного (втраченого). З вище сказаного маємо, що вираз $(1 - e^{-\alpha_4(\lambda, \delta_4)\delta_4}) = 0$.

Отже, вираз для ефективно поглинутої енергії оптичного випромінювання матиме вигляд

$$W_p = \iiint \varphi(\lambda, t)(1 - \rho(\lambda)) \left((1 - e^{-\alpha_1(\lambda, \delta_1)\delta_1}) k_{\text{квт}}(\lambda) + e^{-\alpha_1(\lambda, \delta_1)\delta_1} (1 - e^{-\alpha_2(\lambda, \delta_2)\delta_2}) k_{\text{екз}}(\lambda) + e^{-\alpha_1(\lambda, \delta_1)\delta_1 + \alpha_2(\lambda, \delta_2)\delta_2} (1 - e^{-\alpha_3(\lambda, \delta_3)\delta_3}) k_{\text{енд}}(\lambda) + e^{-\alpha_1(\lambda, \delta_1)\delta_1 + \alpha_2(\lambda, \delta_2)\delta_2 + \alpha_3(\lambda, \delta_3)\delta_3 + \alpha_4(\lambda, \delta_4)\delta_4} \times \right. \\ \left. \times (1 - e^{-\alpha_5(\lambda, \delta_5)\delta_5}) k_{\text{баз}}(\lambda) \right) d\lambda dt d\delta \quad (34)$$

В отриманому виразі також необхідно врахувати, що базальна мембрана являє собою тонкий безклітковий шар, який є опорою для клітин епідермісу, тому біологічна активність поглинутого в ній випромінювання наближається до нуля. Враховуючи цей факт, енергія поглинутого оптичного випромінювання запишеться у вигляді

$$W_p = \iiint \varphi(\lambda, t)(1 - \rho(\lambda)) \left((1 - e^{-\alpha_1(\lambda, \delta_1)\delta_1}) k_{\text{квт}}(\lambda) + e^{-\alpha_1(\lambda, \delta_1)\delta_1} (1 - e^{-\alpha_2(\lambda, \delta_2)\delta_2}) k_{\text{екз}}(\lambda) + e^{-\alpha_1(\lambda, \delta_1)\delta_1 + \alpha_2(\lambda, \delta_2)\delta_2} (1 - e^{-\alpha_3(\lambda, \delta_3)\delta_3}) k_{\text{енд}}(\lambda) \right) d\lambda dt d\delta \quad (35)$$

Аналізуючи отриманий вираз для W_p , з точки зору, визначення кількості затраченої енергії оптичного випромінювання на біологічну дію в організмі комахи, потрібно знати спектральні показники поглинання випромінювання в поглинаючих структурах покриву $\alpha_i(\lambda, \delta_i)$ і відповідні коефіцієнти біологічної ефективності поглинутого випромінювання $k_i(\lambda)$. Кількісні значення цих величин сучасній науці не відомі, тому введемо деякі припущення.

Випромінювання, що було поглинуте шаром кутикуліну, екзокутикулою та ендокутикулою тобто всією кутикулою, спричиняє кількісно і якісно однакову біологічну дію, тобто $k_{\text{квт}}(\lambda) = k_{\text{екз}}(\lambda) = k_{\text{енд}}(\lambda) = k(\lambda)$. Тоді

$$W_p = \iiint \varphi(\lambda, t)(1 - \rho(\lambda)) k(\lambda) (1 - e^{-\alpha_1(\lambda, \delta_1)\delta_1 + \alpha_2(\lambda, \delta_2)\delta_2 + \alpha_3(\lambda, \delta_3)\delta_3}) d\lambda dt d\delta, \quad (36)$$

де $\alpha_i(\lambda, \delta_i)$ – показники поглинання оптичного випромінювання в структурах покриву однакові, тоді

$$W_p = \iiint \varphi(\lambda, t)(1 - \rho(\lambda)) k(\lambda) (1 - e^{-\alpha(\lambda, \delta_1)\delta_1 + \alpha(\lambda, \delta_2)\delta_2 + \alpha(\lambda, \delta_3)\delta_3}) d\lambda dt d\delta, \quad (37)$$



З огляду на закони фотобіології введемо позначення для виразу $e^{-\alpha_i(\lambda, \delta_i)\delta_i}$ через $\tau(\lambda, \delta_i)$ – експоненціальний коефіцієнт пропускання, а $1 - e^{-\alpha_i(\lambda, \delta_i)\delta_i}$ через коефіцієнт поглинання $\varepsilon(\lambda, \delta_i)$, тоді отримаємо

$$W_p = \iiint \varphi(\lambda, t)(1 - \rho(\lambda))k(\lambda)\varepsilon(\lambda, \delta_{1,2,3})d\lambda dt d\delta, \quad (38)$$

або

$$W_p = \iiint \varphi(\lambda, t)(1 - \rho(\lambda))k(\lambda)(1 - \tau(\lambda, \delta_{1,2,3}))d\lambda dt d\delta, \quad (39)$$

Висновок. З отриманих виразів видно, що енергія, затрачена на утворення продукту конкретної фітобіологічної реакції в товщі покриття комахи, залежить від спектрального складу джерела $\varphi(\lambda, t)$ в період опромінення, ефективності фітобіологічної реакції $k(\lambda)$, спектрального коефіцієнта відбиття $\rho(\lambda)$ поверхневого покриття комахи, а також спектральних коефіцієнтів поглинання $\varepsilon(\lambda, \delta_i)$ та пропускання $\tau(\lambda, \delta_i)$ відповідних шарів покриття.

Враховуючи властивості фотонів на різних ділянках спектру оптичного випромінювання при визначенні енергії дії інфрачервоного випромінювання варто користуватися виразом (39), це пов'язане з тим, що фотони інфрачервоного випромінювання мають невелику енергію та проникають глибоко в структури, які знаходяться під покриттям. А для визначення енергії дії ультрафіолетового випромінювання слід використовувати вираз (38).

Так як в даній роботі вивчається вплив оптичного випромінювання саме інфрачервоного спектру, то проаналізуємо формулу (39). Спектральна щільність потоку випромінювання $\varphi(\lambda, t)$ є характеристикою певного джерела оптичного випромінювання, а отже є відомою; спектральний коефіцієнт відбивання хітинового покриття комахи $\rho(\lambda)$ легко визначається у виробничих умовах фотометром; $k(\lambda)$ – коефіцієнт ефективності фотобіологічної реакції визначається спектром конкретної фітобіологічної дії і потребує більш глибокого вивчення. Проблемою на даному етапі є визначення спектрального коефіцієнту пропускання $\tau(\lambda, \delta_i)$ прошарків покриття.

Список використаних джерел.

1. Патент України № 59767 Спосіб боротьби з вароатозом бджіл/ М. А. Романченко, О. С. Нікітіна, С.П. Нікітін [і др.]. Заявник та патентовласник М.А. Романченко - № у 2010 14346 заявл. 30.11.2010; опубл. 25.05.2011, Бюл. №10



2. *Владимиров Ю.А.* Первичные физико-химические стадии действия УФ излучения на белки.- В кн.: Ультрафиолетовое излучение.- М.: Медицина, 1996. - Сб. 4, - С. 5-13.

3. *Червынский Л.С., Лавриненко Ю.Н., Моисеев М.М., Андреев М.П.*// Установка для ультрафиолетового облучения / А.С. 16833596 СССР. Бюл.38, 1991

4. *Калабухова Т.Н.* Изучение механизма УФ-инактивации ферментов. / *Т.Н. Калабухова, Н.В. Кондакова, Л.Х. Эйдус* // Биологическое действие ультрафиолетового излучения/. – М.: Наука, 1975. -С. 15-20

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЛИЯНИЯ ПРОНИКНОВЕНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ПОКРОВ ПЧЕЛ

Кунденко Н.П., Прудка О.А.

Аннотация - Разработана математическая модель проникновения инфракрасного излучения в покров пчел. Выведены формулы для расчета эффективного потока оптического излучения и поглощенной энергии, которая поглощается соответствующими слоями покрова пчелы.

MATHEMATICAL MODEL OF INFLUENCE PENETRATION OF THE OPTICAL INFRARED RADIATION INTO COVERS OF BEES

N. Kundenko, O. Prudka

Summary

The mathematical model penetration of an infrared radiation into a cover of bees is developed. Formulas for calculation of an efficient stream of optical radiation and the absorbed energy which is absorbed by the corresponding spheres of a cover of a bee were obtained.



УДК 621.3.077

АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА МЕДОГОНКИ З ДВИГУНОМ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Лисиченко М.Л., д.т.н.,

Хандола Ю.М., к.т.н.,

Середа А.І., к.т.н.,

Назаренко О.Ю., к.т.н.

Харківський національний технічний університет

сільського господарства ім. П. Василенка

Тел. (057)712-50-56

Анотація – розроблений алгоритм роботи синхронно-поворотної медогонки та побудована діаграма залежності частоти обертання від часу роботи. На основі теоретичних досліджень та розрахунків розроблена електрична схема автоматичного керування електроприводом медогонки.

Ключові слова: синхронно-поворотна медогонка, система автоматичного регулювання, електропривод з двигуном постійного струму.

Постановка проблеми. В сучасних умовах господарювання у 95% випадків бджолярі здійснюють відкачку меду з використанням власної фізичної сили для привода медогонки. Використання людського фактора і великий обсяг часу відкачування впливають на якість відкачки меду, збільшується кількість працівників, які беруть участь у виробництві та неминуче збільшується час виробничого процесу. Крім того, по мірі збільшення фізичної втоми, пасічнику важко контролювати необхідну швидкість центрифуги для відкачки меду і тримати її постійною. Це призводить до поломки рамок або неповного відкачування меду [1]. Існуючі в даний час електроприводи медогонок неефективні і призводять до неякісного відкачування меду, так як не враховують особливості механічної характеристики робочої машини та фізичні властивості меду [2].

Аналіз останніх досліджень. В даний час у бджільництві використовуються різні види і типи медогонок [2]. Завдяки розвитку виробництва медогонок, хоча і дуже повільному і не прогресивному, на ринку представлені медогонки на дві, три, чотири, тридцять дві і п'ятдесят рамок [3]. У свою чергу, зазначені медогонки поділяються на машини з різними типами приводів. Одні з механічним, інші з електрич-



ним приводами. Медогонки з механічним приводом поділяються на центрифуги з пасовою і черв'ячною передачею. У них електропривод може бути постійного і змінного струму. Необхідно відзначити, що медогонки з електроприводом випускають тільки на велике число рамок і, в основному, для промислового бджільництва.

Для підвищення якості відкачки меду і зниження ймовірності руйнування рамок слід визначити діапазон швидкості обертання барабана: максимальну і мінімальну швидкості. Раціональний електропривод повинен забезпечувати плавне регулювання заданого діапазону швидкості обертання барабана [6]. Важливу роль для підвищення ефективності процесу відкачки меду має можливість автоматизації центрифуги.

Мета статті. Розробка та дослідження схеми керування електропривода медогонки з двигуном постійного струму.

Основні матеріали досліджень. Тип центрифуги визначаємо виходячи з кількості рамок, приводних характеристик і об'єму бака. Як показує досвід бджолярів, для пасіки з 40-50 вуликами достатньо медогонки на чотири рамки. Вибираємо центрифугу «Медогонка РЕП» на чотири рамки, з оборотно-хордовими касетами, ремінним приводом та баком з нержавіючої сталі.

Визначаємо фізико-хімічні параметри меду з метою подальшого визначення динамічних характеристик і нижньої межі діапазону регулювання частоти обертання:

а) Температура. Температура визначається в залежності від температури рамок в момент відкачки меду. З огляду на те, що температура рамок після вилучення з вулика становить близько 28-32 °С, то рекомендована температура для розрахунку параметрів електродвигуна становить 30 °С [3].

б) Вологість. Вологість меду визначається портативним рефрактометром. З огляду на статистичні дані по дослідженню різних сортів меду, визначено, що середньостатистична вологість меду в Україні становить близько 18-19 % [3]. Для розрахунку електроприводу приймаємо вологість меду 18,5 %.

в) В'язкість. В'язкість меду визначається в лабораторних умовах і залежить від температури та вологості.

При визначенні діапазону частоти обертання центрифуги в процесі відкачки меду, головним є вибір мінімальної частоти обертання, при якій відбувається витікання меду з рамок і швидкості, при якій відбувається деформація і руйнування вощини в рамках. Так само, визначення діапазону обумовлено необхідністю вибору етапів зміни швидкості обертання і уточнення швидкісних меж даних етапів з подальшим визначенням і побудовою навантажувальних діаграм, які будуть основними вихідними даними для вибору електродвигуна. Для



меду вологістю 18,5 % і температурою 30 °С встановлені наступні діапазони частот обертання по етапах: 1 етап – від 80 до 90 об/хв; 2 етап – від 100 до 120 об/хв; 3 етап – від 160 до 180 об/хв.

Вибір електродвигунів складається із відповідності ряду вимог. На підставі вихідних даних, отриманих в процесі розрахунку для вибору потужності двигуна, необхідно [4]:

а) Розрахувати еквівалентне (середньоквадратичне) навантаження електроприводу і нанести його на навантажувальну діаграму.

б) Визначити необхідну потужність двигуна з умов забезпечення:

- допустимого нагріву електродвигуна;
- пуску з повним навантаженням і зниженням напруги на акумуляторній батареї до 7,5 %;
- статичної стійкості електроприводу при максимальному навантаженні та можливому зниженні напруги живлення на 7,5 %.

в) Вибрати двигун за розрахованими даними по каталогу.

Аналіз літературних джерел [1, 2] показав, що кожен бджоляр налаштовує свою медогонку в залежності від часу викачування, погодних умов та фізичних властивостей меду. На основі досвіду спеціалістів агропромислової фірми «Меліса-93», були розроблені режими роботи для 4-х рамкової медогонки з нержавіючої сталі та автоматичними рамками «Дадан».

Процес відкачування меду за вибраною медогонкою відбувається в три етапи. Перший етап – відкачування, на малій швидкості першої сторони рамки витікає 15% від загальної маси меду в рамці. Через заданий проміжок часу двигун зупиняється, автоматично включається реверс, касети перевертаються для відкачування другої сторони. Другий етап – відкачування меду з другої сторони рамки – 50 %, спочатку на малій швидкості, потім без зупинки через заданий проміжок часу, двигун прискорюється – виконується повна осушка другої сторони на високій швидкості та зупинка. Третій етап – включається реверс, касети перевертаються для відкачування 35 % меду та повної осушки першої сторони на високій швидкості. Двигун зупиняється за допомогою динамічного гальмування або гальмуванням противмиканням [5].

На основі попередніх розрахунків та консультацій спеціалістів агропромислової фірми «Меліса-93», був розроблений алгоритм роботи синхронно-поворотної медогонки та побудована діаграма залежності частоти обертання від часу роботи:

- швидкий розгін, з ривком, до швидкості 90 ± 10 об/хв., для повороту касет ≈ 2 с.;
- робота зі швидкістю 90 ± 10 об/хв. Тривалість - 60 ± 10 с.;
- гальмування до 10 с.;
- час стоянки мінімальний до 1 с.;
- реверс та швидкий розгін, з ривком, до швидкості 90 ± 10 об/хв.



для повороту касет ≈ 2 с.;

- робота зі швидкістю 100 ± 10 об/хв. Тривалість – 60 ± 10 с.;
- збільшення швидкості до 150 ± 10 об/хв.;
- робота зі швидкістю 150 ± 10 об/хв. Тривалість – 90 ± 10 с.;
- гальмування до 10 с.;
- реверс та швидкий розгін, з ривком, до швидкості 150 ± 10

об/хв. для повороту касет ≈ 2 с.;

- робота зі швидкістю 150 ± 10 об/хв. Тривалість – 90 ± 10 с.;
- гальмування до 10 с.;
- сигнал про закінчення програми роботи.

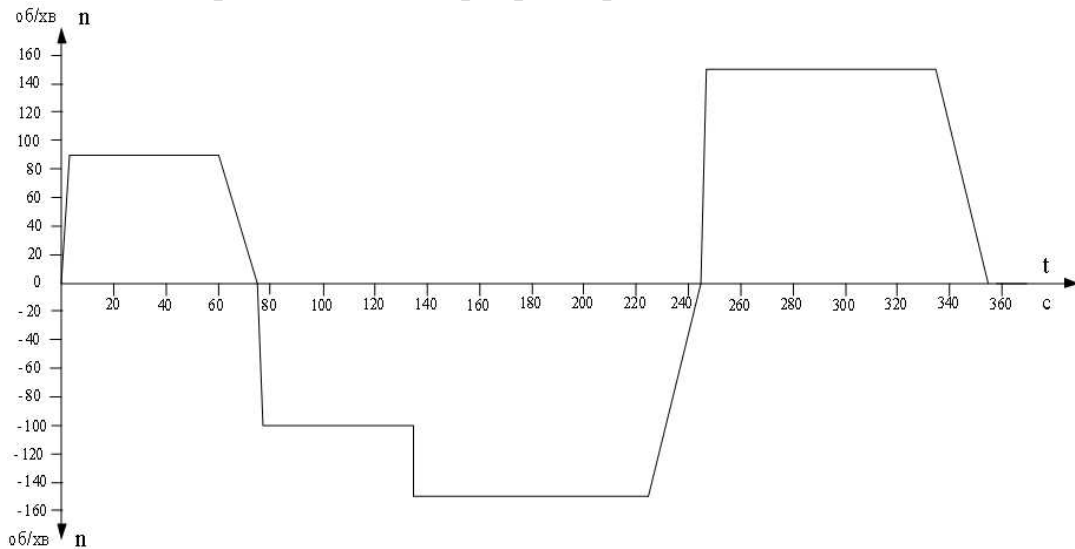


Рис. 1. Діаграма залежності частоти обертання від часу роботи

На кафедрі автоматизованих електромеханічних систем була розроблена електрична схема керування електроприводом медогонки з двигуном постійного струму, яка передбачає ручний та автоматичний режими роботи (рис. 2). Під час роботи на всіх етапах є можливість змінювати час роботи (1÷10 хвилин) та частоту обертання двигуна (60÷200 об/хв.).

Можливості ручного керування:

- регулювання часу роботи;
- регулювання швидкості обертання;
- можливість змінювати параметри часу та швидкості під час роботи;
- реверс;
- зупинка за бажанням, по закінченню заданого часу з гальмуванням;
- аварійна зупинка з гальмуванням.

Після вмикання живлення медогонки користувачеві пропонується вибрати програму руху (синхронно поворотної, радіальної медогонки або ручний режим).

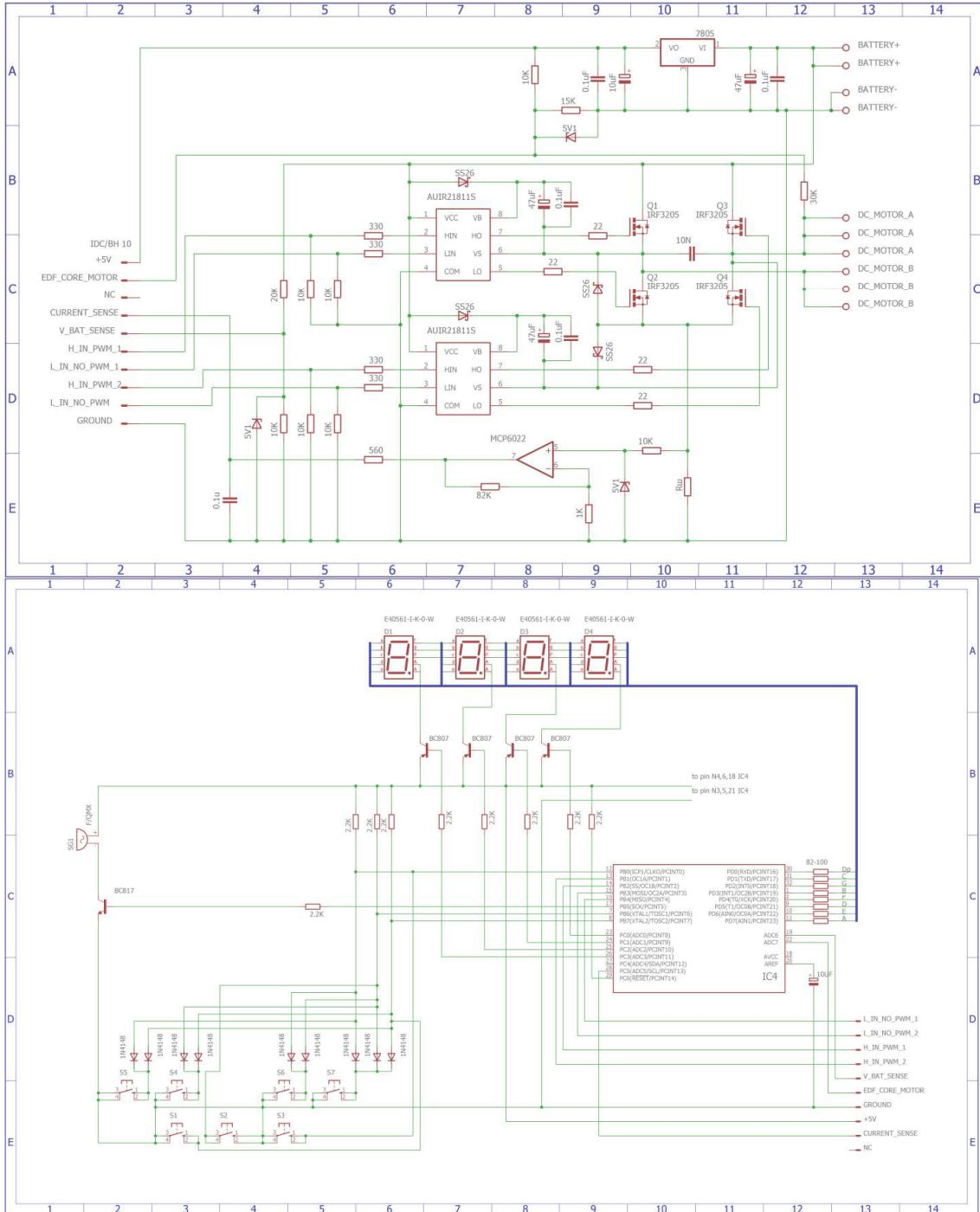


Рис. 2. Електрична схема автоматичного керування електроприводом синхронно-поворотної медогонки

Користувач має можливість не обирати програму, тоді буде працювати програма, яка використовувалася останньою, або обрати і зберегти іншу програму руху. Після вибору програми руху на дисплеї з'являться значення напруги акумуляторної батареї для контролю її розряду. При натисканні клавіш зліва та справа дисплею на екран будуть виводитися і регулюватися значення швидкості та значення часу, якщо натискання клавіш відбуватиметься до запуску програми руху, то



регулюватися будуть параметри першого кроку вибраної програми. Це дає можливість корегувати перший крок програми перед її запуском, а для ручного режиму роботи, в якому лише один етап, це і будуть в ручну контрольовані параметри. В подальшому, натискаючи кнопку «меню», налаштуємо частоту обертання та час для всіх етапів роботи.

Після пуску програми на дисплеї будуть з'являтися значення швидкості та часу, що залишився до кінця роботи даного етапу (розгін-робота-гальмування). Під час роботи є можливість кнопками «Час» та «Швидкість» корегувати час, що залишився до кінця роботи поточного етапу та плинну частоту обертання. В будь який момент існує можливість зупинити виконання програми кнопкою «Стоп» і двигун зупиниться використовуючи тип гальмування попередньо встановлений в інженерному меню налаштувань (динамічне або проти вмиканням). Також існує можливість вимкнути гальмування для ручної зупинки програми.

Контролер медогонки має наступні види захисту від аварійних ситуацій:

- захист від короткого замикання та перевантаження;
- захист від аварійного розряду акумулятора;
- захист від високого значення напруги живлення на вході.

При появі будь-якої із описаних ситуацій, відбувається зупинка двигуна та сигналізація про помилку на дисплеї контролера.

Даний тип контролера не має зворотного зв'язку по швидкості обертання, тому для її підтримання на заданому рівні під час роботи відбувається контроль за напругою акумулятора і корегування швидкості при її збільшенні чи зменшенні приймаючи при цьому, що механічна характеристика двигуна абсолютно жорстка.

Висновки. Визначений діапазон регулювання швидкості обертання барабана медогонки в залежності від фізичних властивостей меду. На основі досліджень та розрахунків розроблена електрична схема автоматичного керування електроприводом центрифуги та виготовлений експериментальний екземпляр контролера медогонки.

Практичні дослідження довели, що автоматизована система керування електроприводом центрифуги підвищує якість відкачування меду, збільшує продуктивність пасіки та зменшує ймовірність поломки рамок. Контролер для автоматичного керування електроприводом центрифуги, розроблений та випробуваний на кафедрі автоматизованих електромеханічних систем, використовується агропромисловою фірмою «Меліса 93» в медогонці з синхронно-поворотними рамками.

Список використаних джерел.

1. Туников Г. М. Технология производства и переработки продукции пчеловодства: учебное пособие для студентов высших учебных



заведений / Г. М.Туников, Н. И. Кривцов, В. И. Лебедев и др. – М.: Колос, 2001. – 176 с.

2. Королев В. Пчеловодство. Новая энциклопедия / В. Королев, Г. Котова – М: ЭКСМО, 2010. – 304 с.

3. Корж В. Н. Пчеловодство. Практический курс / В. Н. Корж – Ростов н/Д.: Феникс, 2010. – 544 с.

4. Гаврилюк І. А. Курс лекцій з електроприводу сільськогосподарських машин, агрегатів та поточних ліній. Підручник / І. А. Гаврилюк , Ю. М. Хандола – Харків: факт, 2008. – 578 с.

5. Хандола Ю. М. Перспективи застосування регульованого електроприводу в АПК / Ю. М. Хандола, М. Л. Лисиченко, А. О. Лісняк – Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка, “Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України ”– Харків: ХНТУСГ, 2016. – Вип. 175. – С. 71-79.

6. Назаренко О. Ю. Вибір раціонального електроустаткування для приготування кормів на тваринницьких фермах малих форм господарювання / О. Ю. Назаренко – Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка, “Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України ”– Харків: ХНТУСГ, 2016. – Вип. 175. – С. 108-109.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА МЕДОГОНКИ С ДВИГАТЕЛЕМ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Лисиченко Н.Л., Хандола Ю.Н., Середя А.И., Назаренко О.Ю.

Аннотация - разработан алгоритм работы синхронно-поворотной медогонки и построена диаграмма зависимости частоты вращения от времени работы. На основании теоретических исследований и расчетов разработана электрическая схема автоматического управления электроприводом медогонки.

AUTOMATION OF ELECTRIC HONEY EXTRACTOR WITH MOTOR DC

N. Lisichenko, Y. Handola, A. Sereda, O. Nazarenko

Summary

The algorithm of synchronous rotary honey and built a chart depending on the rotation frequency of running time. Based on theoretical studies and calculations designed electric circuit automatic control electric honey.



УДК 621.31:332

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ШЛЯХОМ ЗАМІНИ СИСТЕМООРІЄНТОВАНОГО ПІДХОДУ НА КЛІЄНТООРІЄНТОВАНИЙ ПІДХІД

Мороз О.М., д.т.н.,

Друзь В.О., аспірант*

Харківський національний технічний університет

сільського господарства ім. Петра Василенка

Тел.: (057) 712-52-45

Анотація – в статті проаналізовано важливість клієнтоорієнтованого підходу в розвитку енергетичного підприємства, наведено різне авторське тлумачення, обґрунтовано та наведено визначення поняття «клієнтоорієнтованість» різними авторами, як ключової компетенції компанії. Розглянуто сутність, ознаки та підходи до впровадження клієнтоорієнтованого підходу в енергетиці та реалізації клієнтоорієнтованої енергетичної політики.

Ключові слова: енергетичне підприємство, клієнт-споживач, клієнтоорієнтований підхід, конкурентні переваги.

Постановка проблеми. Надійність та якість електроенергії в Україні та і у всьому світі набуває особливої актуальності в сучасних економічних умовах. Вирішення цих проблем обумовлюють дослідження таких питань як ефективність функціонування енергетичних підприємств, оптимізація їх діяльності, утримання конкурентних переваг на ринку та багатьох інших.

Сьогодні електроенергетична галузь зазнає глибоких перетворень та змін, зумовлених розвитком ринкових відносин, зміною законодавства, переоснащенням, інноваційною діяльністю, тощо. За таких умов першочерговим постає питання заміни існуючих принципів та підходів в електроенергетиці.

На даний момент виникла потреба у зосередженні уваги постачальника електричної енергії на забезпеченні клієнтів (споживачів) високоякісними послугами та наданні їм додаткових послуг та робіт. Таким чином вся діяльність постачальника електричної енергії повинна бути спрямована на інтереси споживача, і персона споживача стане основою такої діяльності. Саме тому, в даному контексті, вкрай важ-

* Науковий керівник - Мороз О.М., д.т.н., професор

© Мороз О.М., Друзь В.О.



ливо змінити застарілий системоорієнтований підхід на підхід орієнтований на клієнта.

Аналіз останніх досліджень. В науковій літературі дане питання не отримало значної уваги. З іншої сторони, питання поліпшення надійності та якості електроенергії постійно перебуває в епіцентрі уваги дослідників. Також, чимало вчених окремо досліджували відзначені нами підходи, проте питання забезпечення надійності та якості електроенергії шляхом заміни системоорієнтованого підходу на підхід орієнтований на клієнта залишилось поза їхньою увагою. Серед дослідників, які вивчали це питання в тій чи іншій мірі, відмітимо таких як І.З. Должанський, Є. Крикавський, Н. Косар, Л. Мороз, М.Ш. Сотник, С.О. Хованський, В.Я. Чевганова та інші.

Формулювання цілей статті. Аналіз праць свідчить про недостатню кількість та компетентність досліджень даного питання, тому і виникає необхідність подальшого вивчення даної проблематики, що зумовлює актуальність даної теми. На перший план виходять механізми поліпшення ставлення до клієнта, методи створення максимальної цінності надаваних послуг для клієнтів, створення унікальних умов для задоволення потреб клієнтів.

Основні матеріали дослідження. Останні роки спостерігається стрімкий розвиток електроенергетики, зумовлений виникненням багатьох факторів, які і визначають необхідність кардинальних змін у відношенні до споживача. В науковій літературі в цілому існує єдине розуміння сутності клієнтоорієнтованого підходу. Так, з точки зору Коновал В.В. клієнтоорієнтований підхід є провідною парадигмою ведення бізнесу, що дозволяє управляти відносинами з клієнтами, проводити моніторинг клієнтів і ринку, підтримувати і розвивати найбільш цінних і значущих клієнтів, виводити з системи клієнтів, що є для компанії баластом і оновлювати систему новими продуктивними клієнтами [3].

Ми це розуміємо наступним чином: у зв'язку із стрімким розвитком технологій спостерігається в цілому високий рівень асортименту послуг, що надаються. Таким чином, за умови застосування системоорієнтованого підходу, значення використання методів операційної ефективності чи зниження цін нівелюється, адже якість і надійність послуг в цілому за таких умов є сталими елементами.

На нашу думку, для означення клієнтоорієнтованості вдалим є формулювання Б. Рижківського, який наголошує, що «клієнтоорієнтованість – це інструмент управління взаємовідносинами з клієнтами, націлений на отримання стійкого прибутку в довгостроковому періоді, що ґрунтується на трьох критеріях: ключова компетенція, цільові клієнти і рівність позицій» [2]. Отже, клієнтоорієнтований підхід визначається як інструмент взаємодії підприємства і клієнта на партнерсь-



ких засадах щодо задоволення його потреб, який спрямовується на підвищення виробничого потенціалу підприємства у довгостроковому періоді.

Проте, аналіз поняття клієнтоорієнтованості в економічній теорії не дає можливості у повній мірі зрозуміти сутність даного підходу при забезпеченні надійності та якості електроенергії. Відповідно необхідно провести аналіз особливості клієнтоорієнтованого підходу у діяльності електроенергетичних підприємств.

Так, С. Смерічевський та А. Татарінов відзначають, що клієнтоорієнтований підхід дає нові можливості для компаній, пов'язані зі збільшенням її необхідних потреб клієнтам, збільшенням ступеня їх задоволеності та, в остаточному підсумку, збільшенням прибутковості діяльності компаній [5]. Тобто, дані дослідники розкривають три основних ознаки даного підходу:

- 1) збільшення відповідності потребам клієнтів;
- 2) збільшення ступеня їх задоволеності;
- 3) збільшення прибутковості діяльності електроенергетичних компаній.

Іншими словами, основу даного підходу становить встановлення двосторонніх відносин між споживачами та надавачами послуг, в результаті чого спостерігається спільне задоволення інтересів. Одна сторона отримує можливість стати споживачем якісніших послуг згідно її інтересів, інша сторона за рахунок таких змін збільшує свої прибутки.

В. Я. Чевганова розглядає клієнтоорієнтований підхід як економічний процес, що забезпечує контакти енергетичного підприємства і споживача, сприяє ефективності здійснюваних ними обмінів, дає змогу доповнити і змінити функції процесу управління, визначити тактичні і стратегічні цілі, накреслити програму їх реалізації. Крім того, застосування клієнтоорієнтованого підходу на підприємствах електроенергетичної галузі диктується ще і умовами сучасного стану розвитку енергетичних підприємств, зокрема, комерціалізацією галузі з введенням жорстких бюджетних обмежень на фінансування її розвитку; переходом від адміністративних методів до економічного впливу на електровикористання; можливістю самостійно визначати напрями розвитку енергетичного підприємства [6].

Найвагомішими ознаками клієнтоорієнтованого підходу є:

- 1) забезпечення контактів енергетичного підприємства і споживача;
- 2) сприяння ефективності здійснюваних ними обмінів;
- 3) надання можливості змін і доповнень функції процесу управління;
- 4) визначення стратегічних і тактичних цілей;
- 5) окреслення програми їх реалізації.



Використання даного підходу є більш виправданим у сучасних умовах, адже в даному випадку відбувається врахування ринкових умов та досягнення стійких конкурентних переваг.

Яким же чином застосування даного підходу впливає на надійність та якість електроенергії? Необхідно відмітити, перш за все те, що забезпечення якості електроенергії є основним напрямком підвищення ефективності функціонування всього енергетичного комплексу країни. Показники та норми якості електричної енергії встановлюються на рівні державних стандартів.

Якість електричної енергії характеризує рівень електромагнітних (кондуктивних) перешкод в мережі і міру їх впливу на апарати і прилади, а норми **якості електричної енергії** є рівнями електромагнітної сумісності (для кондуктивних електромагнітних завад в системах електропостачання загального призначення / ДСТУ). Таким чином, **якість електричної енергії системи електропостачання характеризують за рівнем перешкод, а самі рівні перешкод називають показниками якості електричної енергії**. Основними показниками якості електроенергії (ПЯЕ) є відхилення, колювання, синусоїдальність, симетрія, провал, імпульс напруги та перенапруга [4].

А. В. Волошко з даного приводу відзначає, що електропередавальні організації при видачі технічних умов на підключення споживачів електроенергії та при укладанні договорів про постачання електроенергії не включають до них вимоги щодо показників якості електроенергії, не визначають умови здійснення контролю за ними. Тож контроль або не проводиться взагалі, або носить формальний характер, без застосування жодних заходів щодо приведення показників якості електричної енергії до рівня, визначеного Державним стандартом. Це призводить до необґрунтованих економічних втрат багатьох споживачів електроенергії, що є наслідком зниження ефективності використання промислового та побутового електрообладнання, виходу його з ладу [1].

Аналізуючи характеристики клієнтоорієнтованого підходу, відзначаємо, що його застосування в даній сфері унеможливить відсутність контролю за якістю електроенергетики. Одною з основних переваг клієнтоорієнтованості є двосторонність зв'язків, наявність двосторонньої вигоди від співробітництва та гарантування надання максимально якісних послуг в обмін на клієнтську лояльність та безумовне виконання іншою стороною своїх обов'язків. Постачаючи електроенергію нижчого рівня, ніж передбачено стандартами та договором між постачальником та споживачем, енергетичні підприємства порушують найголовніші складові клієнтоорієнтованості, тож зміна підходів безумовно матиме позитивне відображення у забезпеченні надання якісної електроенергії.



Висновки. Таким чином сутність клієнтоорієнтованого підходу в діяльності підприємств, що здійснюють енергозабезпечення, полягає у вивченні та задоволенні інтересів споживачів, встановленні партнерських відносин між споживачами та виробниками. В даному процесі ключову роль відіграє одночасне урахування потреб електроенергетичної галузі та суспільства і на сьогоднішньому етапі розвитку господарських відносин є основним пріоритетом стратегії розвитку енергетичного підприємства. А отже, застосування клієнтоорієнтованого підходу дозволяє за рахунок реалізацій основних його підходів досягати поставлених цілей діяльності таких підприємств.

Сама специфіка діяльності будь-якого енергетичного підприємства спрямована на задоволення потреб та очікувань своїх споживачів, тож клієнтоорієнтованість на сьогоднішній день є найкращим рішенням для забезпечення надійності і якості електроенергії.

Список використаних джерел.

1) *Волошко А. В.* Щодо моніторингу якості електричної енергії / *А. В. Волошко, А. Л. Харчук* // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. - 2014. - Вип. 2. - С. 47-52.

2) Книга делового человека: справочник / *Л. Е. Варданян, А. И. Канащенков, А. В. Носов и др.*; под ред. *Г. А. Краюхина, Э. С. Минаева.* – М.: Высшая школа, 1993. – 350 с.

3) *Коновал В.В.* Управління виробничим потенціалом промислових підприємств (на прикладі підприємств легкої промисловості): дис... на здоб. ступеня канд. екон. наук: 08.00.04 / Хмельницький національний ун-т. – Хмельницький, 2015. – 240 с.

4) Проблемні питання забезпечення та контролю якості електричної енергії (методологічне забезпечення та прилади вимірювання параметрів якості електроенергії на сучасному етапі): матеріали круглого столу ІХ Міжнародного форуму "Паливно-енергетичний комплекс України: сьогодні та майбутнє", 20–22 вересня 2011 р., м. Київ. – К.: Міжнародний виставковий центр, 2011. – 31 с.

5) *Смерічевський С. Ф.* Розвиток потенціалу підприємства за рахунок побудови системи управління лояльністю клієнтів / *С.Ф. Смерічевський, А. В. Татарінов* // Економіка та держава. – 2007. – № 9. – С. 17–19.

6) *Чевганова В. Я.* Клієнтоорієнтованість як інструмент підвищення ефективності діяльності енергетичного підприємства / *В. Я. Чевганова* // Економіка і регіон. – 2011. – № 3. – С. 126-128.



**ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПУТЕМ ЗАМЕНЫ СИСТЕМО
ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА НА
КЛИЕНТООРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОХОД**

Мороз А. Н., Друзь В. О.

Аннотация - в статье проанализированы важность клиенто-ориентированного подхода в развитии энергетического предприятия, приведены разное авторское толкование, обосновано и дано определение понятия «клиентоориентированность» разными авторами, как ключевой компетенции компании. Рассмотрены сущность, признаки и подходы к внедрению клиентоориентированного подхода в энергетике и реализации клиентоориентированной энергетической политики.

**PROVIDING RELIABILITY AND QUALITY OF ELECTRICITY
BY REPLACING A SYSTEM-ORIENTED APPROACH
TO CUSTOMER-RELATIONSHIP APPROACH**

Moroz O., Druz V.

Summary

In the article is analyzed the importance of customer-relationship approach to development of the energy enterprise, are given the interpretations by different authors, is substantiated the essence and given the author's definition to «customer-relationship» as a key competence of the company. The essence, characteristics and approaches to the implementation of customer-relationship approach in the energy sector and implementation of customer-relationship energy policy.



УДК 66.086.2

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ФІЛЬТР ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ОЛИВ

Назаренко І.П., д.т.н.

Коваль Д.М., інженер

Таврійський державний агротехнологічний університет

Телефони: (0619)42-11-74, (0619)42-11-52, (068)796-81-32,

(098)434-17-75

Анотація – в статті розглянуто конструкцію і основні параметри фільтру для електричної сепарації і очищення олив.

Ключові слова: очищення, електричний фільтр, конструкція, сітчасті електроди.

Постановка проблеми. Нафтові оливи, рослинні олії та інші рідини, що являють собою слабопровідні суспензії, широко використовуються в народному господарстві та в різних галузях техніки. Повторне використання нафтових олив, рослинних олій та інших рідин дозволяє уникнути зайвих витрат, тому виникає необхідність у розробці електротехнологічного фільтру для очищення цих продуктів.

Аналіз останніх досліджень. Існує багато засобів очищення і відновлення нафтових олив і рослинних олій, великий інтерес викликають, в першу чергу, фізичні способи очищення від забруднень, зокрема, очищення в електричному полі та комбіновані способи [1]. В якості технічних засобів використовують фільтри для електричного очищення і сепарації з використанням різних електродних систем: плоских паралельних електродів для створення однорідного поля, комбінації електродів у вигляді пластин, циліндрів, голок, сіток, конусів, гіперболічних циліндрів та інших для створення неоднорідного поля.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою дослідження є визначення конструктивних параметрів та конструювання фільтру як елемента електротехнологічного комплексу очищення паливно-мастильних рідин.

Основна частина. В фільтрах для електричного очищення і сепарації використовують різні системи електродів, що дозволяють досягти різної конфігурації електричного поля. Система плоских електродів з паралельними плоскими пластинами застосовується в пристроях очищення і сепарації, де використовується електрофоретична дія поля, коагуляція дисперсних частинок в електричному полі з наступним відстоюванням, коли не потрібна значна неоднорідність поля. Прикла-



дом є електроосаджувачі з вертикальними перфорованими електродами, які працюють на постійному струмі на основі електрофоретичного ефекту. Під дією сил електричного поля зважені частинки осідають на електродах, очищений продукт виходить з фільтру через верхній патрубок. При цьому частинки рухаються до отворів і утримуються діелектрофоретичною силою неоднорідного електричного поля, отвори закупорюються і потребують частої промивки [2].

Для усунення цього недоліку використовують біжуче електричне поле, яке дозволяє переміщувати зважені частинки домішок вздовж електродів без осадження завдяки силі [3]

$$\vec{F} = 4\pi\epsilon_c a^3 \frac{(\epsilon_q - \epsilon_c) \left(\frac{\sigma_q}{\omega} + 2 \frac{\sigma_c}{\omega} \right) - (\epsilon_q + 2\epsilon_c) \left(\frac{\sigma_q}{\omega} - \frac{\sigma_c}{\omega} \right)}{(\epsilon_q + 2\epsilon_c) + \left(\frac{\sigma_q}{\omega} + 2 \frac{\sigma_c}{\omega} \right)^2} \times$$
$$\times \left(E_x \frac{\partial \vec{E}}{\partial x} + E_y \frac{\partial \vec{E}}{\partial y} + E_z \frac{\partial \vec{E}}{\partial z} \right) = A \left(E_x \frac{\partial \vec{E}}{\partial x} + E_y \frac{\partial \vec{E}}{\partial y} + E_z \frac{\partial \vec{E}}{\partial z} \right), \quad (1)$$

де ϵ_c, ϵ_q - діелектрична проникність середовища та частинки відповідно, Ф/м;

σ_c, σ_q - питома електропровідність середовища та частинки відповідно, См/м;

a - радіус частинки, м;

E - напруженість електричного поля, В/м.

Аналіз формули (1) та дослідження динаміки частинок, приведені в роботі [3], показують, що для збільшення величини сили потрібно зменшувати відстань між електродами, що створюють біжуче електричне поле. Це забезпечує підвищення ступені очищення, ефективності роботи фільтру та його спроможність вилучати дрібні частинки розміром до 5 мкм.

В даному дослідженні пропонується конструкція фільтру рулонного типу з сітчастими електродами шириною 100 мм, який живиться трифазною системою напруги змінного струму. В якості електродів використовується латунна сітка товщиною 0,5 мм з квадратними отворами з розміром чарунки 1×1 мм. Міжелектродний простір заповнений двома шарами ізолюючої акрилової сітки загальною товщиною 1 мм з розміром квадратних отворів 5×5 мм. Сітки електродів намотані на текстолітовий стрижень діаметром 20 мм із кутовим зміщенням початку кожної сітки 120 °, що відповідає куту зсуву фаз у трифазній

системі змінного струму (рис. 1). До кінців сіток припаяні мідні живлячі проводи, які приєднуються до джерела живлення (рис. 2).



Рис. 1. Укладка сіток на стрижні

Корпус фільтра – це пластмасовий циліндр висотою 200 мм з внутрішнім діаметром 100 мм з товщиною стінки 10 мм (рис. 3). В якості дна використовується диск із прозорого органічного скла товщиною 20 мм, в якому профрезеровані три концентричні канавки трапецієвидного перерізу шириною 10 мм. Канавки віддалені від центру на різну відстань, що дозволяє розділити потік очищеної рідини від забрудненої (рис. 4). В дно фільтра в усі три канавки вставлені штуцери, до яких можна приєднати шланги з кранами для відведення рідин з різною концентрацією домішок (рис. 5).



Рис. 2. Виводи для приєднання джерела живлення



Рис. 3. Загальний вигляд фільтра



Рис. 4. Дно фільтру з профрезерованими канавками



Рис. 5. Штуцери для приєднання відвідних шлангів

Основні параметри фільтру наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Основні конструктивні параметри фільтру для очищення олив

Параметр	Значення
Висота корпусу фільтру, мм	200
Внутрішній діаметр фільтру, мм	100
Ширина сіток, мм	100
Розмір чарунки латунної сітки, мм	1×1
Товщина латунної сітки, мм	0,5
Розмір чарунки ізолюючої акрилової сітки, мм	5×5
Товщина ізолюючої акрилової сітки, мм	1
Внутрішній діаметр шлангів для відведення домішок, мм	10

Принцип роботи фільтру заснований на силі, яка діє на поляризовану частинку в біжучому електричному полі [3]. В запропонованій конструкції ця сила спрямована вздовж радіусу циліндра, а потік рідини – вздовж його утворюючої. Завдяки цьому забезпечується дрейф частинок домішок від осі циліндру до стінки. Це дає змогу відокремити домішки в окремий вихідний патрубок і забезпечити безперервний режим роботи без періодичного очищення сітчастих електродів.

Висновок. Таким чином, сконструйований фільтр для очищення олив дозволить відокремлювати очищений потік рідини від забрудненого та вилучати частки розміром до 5 мкм за рахунок зменшення міжелектродної відстані, крім того потребують подальші дослідження режими його роботи та робота у складі електротехнологічного комплексу.

*Список використаних джерел.*

1. Назаренко І.П. Методи і технічні засоби очищення нафтопродуктів. / І.П.Назаренко, Д.М. Коваль, С.В. Дубініна // Електрон. текстові дані. – on-line. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2015. –Вип.5, т.2. . – С. 232-236. – Режим доступу: <http://nauka.tsatu.edu.ua/e-journals-tdatu/e-index.html>.

2. Эфендиев О.Ф. Электроочистка жидкости в пищевой промышленности/ О.Ф. Эфендиев. – М.: Пищевая промышленность, 1977. – 149 с.

3 Назаренко И. П. Очистка и сепарация слабопроводящих суспензий в бегущем электрическом поле / И. П. Назаренко // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Международ. науч.-техн. конф. (Минск, 16-17 окт. 2013 г.). В 3 т. Т. 3. / РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства». - Минск: НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2014. - С. 51- 58.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ФИЛЬТР ДЛЯ ОЧИСТКИ МАСЕЛ**Назаренко И.П., Коваль Д.Н.**

Аннотация – в статье рассмотрено конструирование и основные параметры фильтра для электрической сепарации и очистки масел.

ELECTRIC FILTER FOR OILS' CLEANING**I. P. Nazarenko, D. M. Koval***Summary*

The article considers the design and basic parameters of a filter for electrical separation and oil cleaning.



УДК 681.515

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНА СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ НАПОРУ ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСУ

Островерхов М. Я., д.т.н.,

Бурик М. П., к.т.н.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Телефон:(096)849-0-949

Анотація - запропоновано систему керування насосною установкою з векторно-керованим асинхронним електроприводом на основі концепції зворотних задач динаміки в поєднанні з мінімізацією локальних функціоналів миттєвих значень енергії, яка забезпечує якісне регулювання напором в умовах дії параметричних збурень та має задовільні енергетичні показники.

Ключові слова: енергоефективність, система керування, відцентровий насос.

Постановка проблеми. Для перекачування відцентровими насосами рідин у різних галузях народного господарства витрачається мільярди кВт·год електроенергії [1]. Для зменшення використання електроенергії використовують системи з частотним регулюванням. Але постійне зростання електроенергії та вимоги до якості керування напором насосної установки вимагають застосування векторно-керованих асинхронних електроприводів, які мають задовільні енергетичні показники. На якість керування напором гідравлічної мережі впливає багато різних факторів, а саме: зміна параметрів мережі, відхилення характеристик насосу, неточне визначення параметрів установки та варіація параметрів асинхронного двигуна з короткозамкнутим ротором (АД).

Це обумовлює застосування робастної системи керування з векторно-керованим електроприводом, яка забезпечує під час дії параметричних збурень енергоефективне регулювання напором гідравлічної мережі.

Аналіз останніх досліджень. Низька вартість та висока надійність при експлуатації є основною перевагою асинхронних електроприводів над іншими. Але АД - складна взаємозв'язана та нелінійна система. Тому необхідно використовувати алгоритми керування, що забезпечують слабку чутливість системи керування до дії різних дестабілізуючих факторів та просту декомпозицію системи. Алгоритми керування на основі концепції зворотних



задач динаміки в поєднанні з мінімізацією локальних функціоналів миттєвих значень енергій забезпечують грубість до параметричних збурень та стабілізацію динамічних та статичних показників електропривода [2].

Переваги запропонованого методу керування координатами асинхронних електроприводів є наступними:

- проста реалізації представлених алгоритмів керування за рахунок відсутності диференціальних ланок;
- коефіцієнти регуляторів не залежать від параметрів об'єкту регулювання;
- процеси в реальному контурі прямують до бажаних за рахунок підвищення коефіцієнта підсилення, при цьому забезпечується динамічна декомпозиція системи;
- стійкість контуру керування зберігається при підвищенні коефіцієнта підсилення регулятора.

Формулювання цілей статті. Дослідити розроблену систему керування напором насосної установки з векторно-керованим асинхронним електроприводом, що забезпечить енергоефективне регулювання під час дії різних дестабілізуючих факторів.

Основні матеріали дослідження. Нелінійна модель простої ділянки гідравлічної мережі та динамічна модель мережі з насосом показані в [2, 3].

Еквівалентна двохфазна математична модель АД у синхронній системі координат з урахуванням диференціального рівняння ділянки гідравлічної мережі під час роботи відцентрового насосу з протитиском описується за допомогою системи

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{T_Q}{2Q_n(a_p + a_l)} \frac{dH}{dt} + H = \frac{T_Q}{Q_n(a_p + a_l)} \frac{H_0}{\omega_n} \frac{1}{J} \left[\frac{3}{2} p_n \frac{L_m}{L_2} (\psi_2 |i_{1q}) \right] + V_H, \\ \frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{J} \left[\frac{3}{2} p_n \frac{L_m}{L_2} (\psi_2 |i_{1q}) \right] - \frac{1}{J} [T_1]; \\ \frac{di_{1d}}{dt} + \left(\frac{R_1}{\sigma} + \alpha\beta L_m \right) i_{1d} = V_{1d} + \frac{u_{1d}}{\sigma}; \\ \frac{di_{1q}}{dt} + \left(\frac{R_1}{\sigma} + \alpha\beta L_m \right) i_{1q} = V_{1q} + \frac{u_{1q}}{\sigma}; \\ \frac{d|\psi_2|}{dt} + \alpha|\psi_2| = \alpha L_m i_{1d}; \\ \frac{d\varepsilon_0}{dt} = \omega_0 = \omega p_n + \frac{\alpha L_m i_{1q}}{|\psi_2|} + k_1 (e_{i1d} - \hat{i}_{1d}), \quad \varepsilon_0(0) = 0; \\ \frac{e_{i1d}}{dt} = k (i_{1d} - \hat{i}_{1d}), \end{array} \right. \quad (1)$$

де $T_Q = L/(sg)$ – коефіцієнт математичної моделі;

L – повна довжина ділянки, м;



s – переріз трубопроводу, м²;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

Q_n – номінальне значення подачі при номінальній кутовій швидкості відцентрового насосу в робочій точці, м³/с;

H – напір насосу, м;

a_p – гідравлічний опір насосу, с²/м⁵;

a_l – коефіцієнт опору гідравлічної мережі, с²/м⁵;

H_0 – напір насосу при $Q=0$ та номінальній кутовій швидкості, м;

Q – об'ємна подача, м³/с;

ω – кутова швидкість насосу, рад/с;

ω_n – номінальна кутова швидкість, рад/с;

$V_H = -\frac{T_Q}{Q_n(a_p + a_l)} \frac{H_0}{\omega_n} \frac{1}{J} T_l + \frac{a_l}{(a_p + a_l)} \frac{2H_0}{\omega_n} \omega$ – обмежені за величиною

невизначені координатні збурення ($V_H \leq V_H^0$).

ω_0 – кутова швидкість обертання магнітного поля, рад/с;

J – сумарний момент інерції електропривода, кгм²;

T – електромагнітний момент двигуна, Нм;

$T_l = T_0 \frac{\omega^2}{\omega_i^2} + (T_i - T_0) \frac{\omega}{\omega_i} \sqrt{\frac{H_0 \frac{\omega^2}{\omega_i^2} - H_{st}}{H_0 - H_{st}}}$ – момент навантаження, Нм;

H_{st} – статичний напір, який йде на підйом рідини на необхідну висоту, м;

$p_n=1$ – число пар полюсів;

L_1, L_2, L_m – індуктивність обмотки статора, ротора та контуру намагнічування, Гн;

$|\psi_2|$ – модуль вектора потокозчеплення ротора, Вб;

i_{1d}, i_{1q} – компоненти вектора струму статора, А;

T_0 – момент на валу насосу при номінальній кутовій швидкості та $Q=0$, Нм;

T_n – номінальний момент відцентрового насосу, Нм;

$\alpha=R_2/L_2, \beta=L_m/\sigma L_2, \sigma=L_1-L_m^2/L_2$ – коефіцієнти математичної моделі;

R_1, R_2 – активний опір обмотки статора та ротора, Ом;

U_{1d}, U_{1q} – компоненти вектора напруги статора, В;

ε_o – кутове положення рухомої системи координат (d-q) відносно нерухомої системи координат (a-b), рад;

V_{1d}, V_{1q} – обмежені за величиною ($V_{1d} \leq V_{1d}^0, V_{1q} \leq V_{1q}^0$), проте невизначені координатні збурення;

\hat{i}_{1d} – оцінене значення польової компоненти вектора струму статора;

$(\kappa, \kappa_1) > 0$ – параметри налаштування спостерігача компоненти вектора струму статора i_{1d} .



Розробка алгоритмів керування координатами з векторно-керуваної системи основі запропонованого методу концепції наведено [4], а алгоритм керування напором гідравлічної мережі представлено в [2]. Алгоритм керування напором гідравлічної системи описується як

$$i_{1q}^* = k_H (\gamma_H \int_0^t (H^* - H) dt - H), \quad (2)$$

де k_H – коефіцієнт підсилення регулятора напору;

γ_H – коефіцієнт, за допомогою якого задається бажаний час t_{mn} монотонного перехідного процесу напору $\gamma_H \approx 3/t_{mn}$;

i_{1q}^* – задане значення моментної складової вектора струму, А.

Регулятори мають наступні параметри: компонент струму статора: $\gamma_{i1q} = \gamma_{i1d} = 500$, $k_{i1q} = k_{i1d} = 50$; напір насосної установки $\gamma_H = 100$, $k_H = 1$; модуль потокозчеплення ротора $\gamma_\psi = 100$, $k_\psi = 200$. Параметри спостерігача компоненти вектора струму статора i_{1d} дорівнюють $\kappa = 50$, $\kappa_I = 10$.

Дослідження розробленої системи регулювання напором насосної установки проведено шляхом моделювання при дії параметричного збурення, зокрема, зменшення на 40 % номінального значення активного електричного опору обмотки ротора R_2 . Номінальні дані АД: $P_n = 3$ кВт, $\omega_n = 300$ рад/с, $U_{1n} = 380$ В, $f_{1n} = 50$ Гц – відповідно номінальна потужність, кутова швидкість, лінійна напруга та частота напруги; $R_1 = 2,5$ Ом, $R_2 = 1,6$ Ом - активні опори обмоток статора та ротора, $J = 0,007$ кгм² — момент інерції двигуна; $T_I = 10$ Н·м – момент навантаження. Довжина гідравлічної мережі дорівнює 100 м. Рідина підіймається на висоту $H_{st} = 65,5$ м. У досліді відцентровий насос типу NMD 25/190B/A, який забезпечує подачу рідини 4,5 м³/г та має повний напір 71 м.

Моделювання проводилось за наступною послідовністю:

1) в початковий момент часу $t=0$ с електродвигун прискорюється по заданій траєкторії напору до номінальної кутової швидкості за 2 с;

2) на 3 с виникає різкий стрибок тиску за рахунок зменшення споживання рідини на $H_c = 15$ м;

3) в момент часу $t=4$ с виникає різке збільшення тиску на 15 м.

Суцільною лінією на рис. 1 зображені графіки середньоквадратичного значення активної потужності за цикл $t=5$ с при номінальних параметрах АД, а пунктирною лінією – при дії збурення.

Графіки ефективних активних значень активних потужностей АД показують, що система керування забезпечує однакове споживання активної потужності 2300 Вт за цикл 5с під час дії збурення та при номінальних параметрах АД. В момент часу від 0,5 до 0,88 с під час прискорення АД параметричне збурення призводить до збільшення



споживання середньоквадратичного значення активної потужності на 228 Вт відносно 160 Вт. Зміна тиску в гідравлічній мережі не впливає на енергетичні показники системи за рахунок зменшення та збільшення споживання рідини.

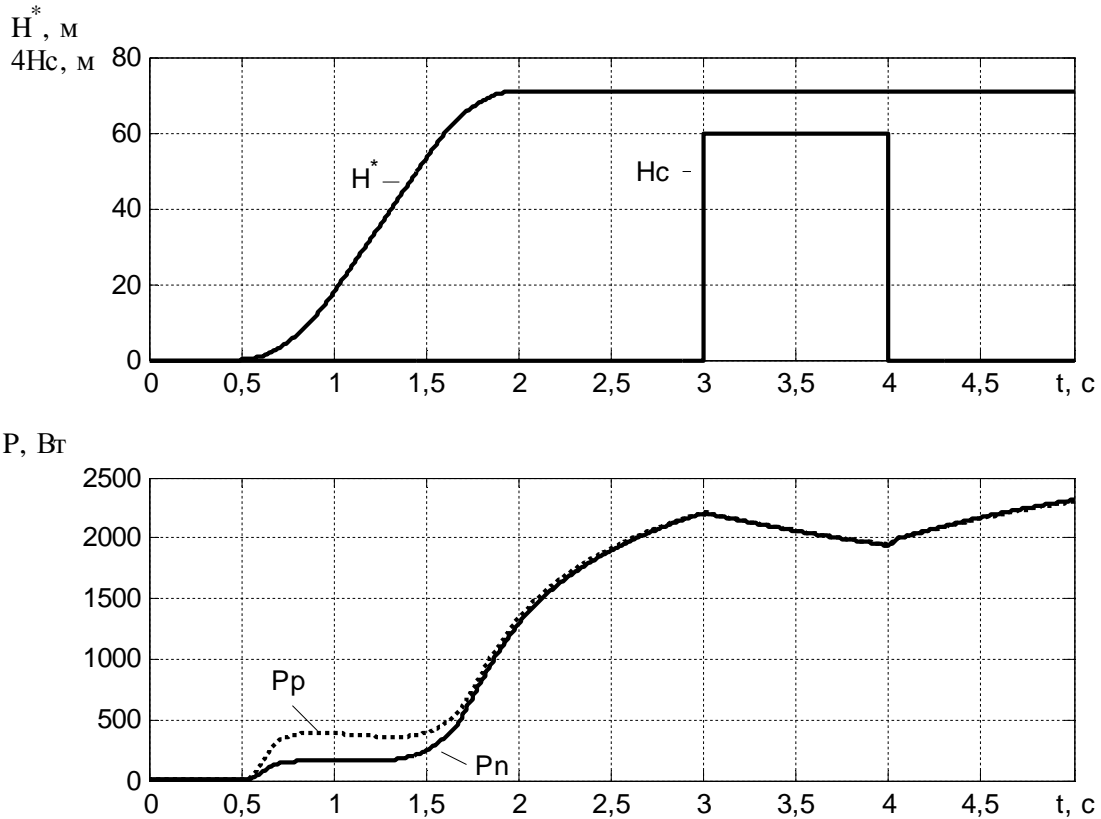


Рис. 1. Графіки заданої траєкторії напору насосної установки та середньоквадратичних значень активних потужностей АД

Висновок. Розроблена груба система керування насосною установкою з векторно-керованим асинхронним електроприводом на основі концепції зворотних задач динаміки в поєднанні з мінімізацією локальних функціоналів миттєвих значень енергії забезпечує задовільні енергетичні показники під час дії збурення.

Список використаних джерел.

1. Лезнов Б.С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуходувных установках / Б.С. Лезнов // . – М.: Энергоатомиздат, 2006. – 360 с.

2. Островерхов М.Я. Система автоматического регулирования напора насосной установки с свойствами слабой чувствительности до параметрических возмущений / М.Я. Островерхов, М.П. Бурик // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. Випуск 175



“Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження АПК України”. – Харків. ХНТУСГ, 2016. – 173 с. – ISBN 5-7987-0176X.

3. Демченко В.А. Автоматизация и моделирование технологических процессов АЭС и ТЭС: Учебное пособие / В.А. Демченко – Одесса: «Астропринт», 2001. – 305 с. – ISBN 966-549-541-0.

4. Островерхов М.Я. Керування електромеханічними системами на основі мінімізації локальних функціоналів миттєвих значень енергій / М.Я. Островерхов, М.П. Бурик // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – Кременчук: КрНУ, 2013. – Вип. 1/2013(21). – С. 40-47. – ISSN 2074-9937.

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПОРОМ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

Островерхов Н.Я, Бурик Н.П.

Аннотация – предложена система регулирования насосной установкой с векторно-управляемым асинхронным электроприводом на основе концепции обратных задач динамики в сочетании с минимизацией локальных функционалов мгновенных значений энергии, которая обеспечивает качественное регулирование напором в условиях действия параметрических возмущений и имеет удовлетворительные энергетические показатели.

ENERGY-EFFICIENT CONTROL SYSTEM OF PRESSURE OF CENTRIFUGAL PUMP

M. Ostroverkhov, M. Buryk

Summary

The control system of a pumping unit with a vector-controlled asynchronous electric drive based on the concept of inverse problems of dynamics combined with the minimization of the local instantaneous energy values functional that has provided qualitative of pressure control under the conditions of parametric perturbations and has satisfactory energy performances.



УДК 621.311

КОМПАКТНЫЕ УПРАВЛЯЕМЫЕ САМОКОМПЕНСИРУЮЩИЕСЯ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Постолатий В.М., д.т.н.,

Быкова Е.В., к.т.н.

Институт Энергетики Академии Наук Молдовы,

Тел: +373 22 735388; E-mail: vpostolati@rambler.ru

Аннотация - изложены принципиальные основы создания и приведены результаты исследований и разработок линий электропередачи нового типа – компактных управляемых самокомпенсирующихся высоковольтных линий электропередач и дана оценка возможных перспектив и эффективности применения предложенных вариантов электропередач нового типа в энергосистемах.

Ключевые слова: компактные управляемые самокомпенсирующиеся линии электропередачи, фазорегулирующие устройства, средства регулирования.

Проблемы в области передачи электроэнергии

Основными техническими проблемами развития современных электроэнергетических систем являются проблемы повышения пропускной способности электропередач, управление режимами энергосистем, обеспечение статической и динамической устойчивости, снижение потерь мощности и энергии, уменьшение экологического влияния.

Проблема снижения капитальных вложений на строительство линий электропередач, сетей и подстанций и другие энергетические объекты, уменьшение потерь электроэнергии и эксплуатационных затрат, являются основным экономическими проблемами.

Выполненные исследования и анализ показали, что реально имеются значительные возможности улучшения технических и экономических показателей линий электропередач переменного тока.

Это предлагается реализовать путем создания управляемых многоцепных (и в частности – двухцепных) самокомпенсирующихся высоковольтных линиях электропередачи (УСВЛ).

Цель работы Настоящая работа имеет своей целью изложить результаты исследований электропередач нового типа – управляемых самокомпенсирующихся высоковольтных линий (УСВЛ).



Они позволяют значительно повысить пропускную способность, создать принципиально новые возможности управляемости энергосистем и улучшения их технико – экономических показателей.

Тематика УСВЛ особенно актуальна в настоящее время в связи с интенсивным развитием исследований и разработок так называемых гибких электропередач переменного тока FACTS [1].

Формированию основных концептуальных положений создания УСВЛ предшествовали работы в области исследований разомкнутых линий [2, 3], а также результаты теоретических и экспериментальных исследований разомкнутых и полуразомкнутых линий электропередач [4-8] дальнейших работ в области управляемых самокомпенсирующихся линий электропередачи [9-11] и фазорегулирующих устройств [12, 13].

Большое значение для разработок вариантов УСВЛ и предложений по их практическому использованию имеют результаты исследований и разработок современных средств компенсации и регулирования [13-15].

Благодаря этому удается обеспечить эффективное управление режимами УСВЛ и примыкающих узлов энергосистем при любом заданном диапазоне величины и направлении передаваемой мощности.

В данной работе освещается ряд аспектов, связанных с направлением исследований и разработок в области УСВЛ.

Основные результаты исследований, этапы исследований

Исследования в области УСВЛ были начаты в 1966 г. Отделом Энергетической кибернетики Академии наук Молдовы, совместно с кафедрой электрических систем Московского Энергетического Института (МЭИ).

В дальнейшем они были продолжены с участием ряда других научно-исследовательских, проектных и производственных организаций. Работы в области УСВЛ велись при активной поддержке Отделения физико-технических проблем энергетики Академии наук, а также Государственного Комитета по науке и технике СССР.

К настоящему времени выполнены научные исследования и разработки вариантов двухцепных УСВЛ различных классов напряжения. Сопоставлены их технических и экономических показателей с другими вариантами. Показано преимущество УСВЛ по целому ряду основных показателей по сравнению с традиционными ВЛ.

Известно, что предел передаваемой по линии мощности, являющийся показателем величины пропускной способности линии электропередачи, определяется выражением

$$P_m = \frac{|\dot{U}_1| \cdot |\dot{U}_2|}{Z_c \cdot \sin \alpha_0 l} \cdot \sin \delta. \quad (1)$$



Различные средства регулирования (относящиеся к оборудованию FACTS) применяют для воздействия на параметры режимов в отдельных узлах энергосистемы, в том числе и в узлах присоединения линий электропередачи.

При этом они могут оказывать влияние:

- на напряжение в начале (\dot{U}_1) и в конце (\dot{U}_2) линии электропередачи (УШР, ИРМ, СТК, СТАТКОМ и др.);

- на величину угла (δ) сдвига напряжений начала и конца линии электропередачи (объединенные регуляторы потока мощности – ОРПМ, тиристорно-управляемые последовательно включенные компенсаторы – ТУПК, УРК, ФРТ-УПК и др.).

Однако ни одно из указанных средств не может воздействовать на значение волнового сопротивления линии (Z_C). Его величина зависит только от параметров самой линии электропередачи и, в первую очередь, от удельного индуктивного сопротивления и удельной емкостной поперечной проводимости. Они определяются типом линии, ее конструкцией и параметрами электромагнитного поля.

При прочих равных условиях эффект от регулирующих воздействий указанных выше средств находится в обратнопропорциональной зависимости от величины (Z_C), т.е. чем меньше величина (Z_C) тем больший эффект по увеличению P_m линии электропередачи достигается при одном и том же регулирующем воздействии с помощью того или иного устройства регулирования (УР), и наоборот.

Проведенный анализ показал, что создавать эффективные управляемые электропередачи большой пропускной способности с глубоким диапазоном регулирования параметров и режимных характеристик становится возможным на базе применения электропередач нового типа с уменьшенным и регулируемым волновым сопротивлением в комплексе с установкой современных устройств и систем регулирования. Одним из перспективных направлений решения указанных задач является создание компактных управляемых самокомпенсирующихся высоковольтных линий электропередачи переменного тока (УСВЛ).

Принципиальная новизна и основная физическая сущность компактных управляемых самокомпенсирующихся линий электропередачи.

Компактные управляемые самокомпенсирующиеся высоковольтные линии электропередачи (УСВЛ) являются многопроводными многоцепными линиями переменного тока.

Для них применимы основы теории электропередач переменного тока, а именно: для описания происходящих в них процессов, проведения расчетов режимов, выбора основных технических решений. Вместе с тем, УСВЛ имеют свои особенности и отличия. Это по-



требовало дополнительных разработок новых методик расчета и новых подходов к выбору основных схем, конструкции и аппаратного оснащения.

Известно, что основные технические характеристики многопроводных линий электропередач определяются свойствами проводниковых материалов и параметрами электромагнитного поля, образуемого вокруг проводников в пространстве, занимаемом линией электропередачи.

Из теоретических основ электротехники [16] известно, что векторные величины – напряженность электрического поля (E) и магнитного (H) определяют плотность потока мощности в электромагнитном поле (Π)

$$\Pi = E \times H . \quad (2)$$

Основываясь на общей теории электромагнитного поля [16] в работе [17] было получено выражение суммарного потока вектора мощности многопроводной линии электропередачи для самого общего случая, которое имеет следующий вид

$$\begin{aligned} -\Pi_{\Sigma} = & \sum_{i=1}^n \sigma_{inp} E_{inp}^2 \pi r_0^2 l - j \frac{\omega l}{\varepsilon \varepsilon_0 2\pi} \sum_{i=1}^n q_i^2 \ln \frac{R_1}{r_0} + \\ & + j \frac{\omega l \mu \mu_0}{2\pi} \sum_{i=1}^n I_i^2 \ln \frac{R_1}{r_0} = P_{\theta\Sigma} - jQ_{C\Sigma} + jQ_{L\Sigma} \end{aligned} , \quad (3)$$

где E_{inp} – продольная составляющая напряженности электрического поля внутри i -го провода;

σ_{inp} – удельная электрическая проводимость провода;

r_0 – радиус провода;

l – длина линии;

ω – угловая частота, рад/с;

ωl – скорость распространения электромагнитной волны, м/с (l – размерность м/рад);

ε_0 – электрическая постоянная;

ε – относительная электрическая проницаемость среды;

μ_0 – магнитная постоянная;

μ – относительная магнитная проницаемость;

q_i – заряд i -го провода;

R_1 – радиус некоторого цилиндра, поверхность которого ограничивает объем пространства вокруг провода, в котором происходит изменение энергии поля;

I_i – ток в i -том проводе;

n – число проводов (фаз) линии;

$P_{\theta\Sigma}$ – суммарные тепловые потери в проводах линии;



$Q_{C\Sigma}$ – суммарная мощность электрического поля линии;
 $Q_{L\Sigma}$ – суммарная мощность магнитного поля линии.

Мощности магнитного и электрического полей имеют обратные знаки, что свидетельствует о их обменном характере.

Для режима натуральной мощности имеет место равенство

$$|-jQ_{C\Sigma}| = |+jQ_{L\Sigma}|. \quad (4)$$

Из выражения (3) при условии (4) было найдено выражение натуральной мощности многопроводной линии

$$P_H = v \cdot U \sum_{i=1}^n q_i \cos(\gamma_i - \alpha_i), \quad (5)$$

где v – скорость распространения электромагнитной волны;

$U=U_i$ – напряжение фазного провода;

γ_i, α_i – аргументы напряжения (U_i) и тока (I_i).

Приведенные выражения (3, 5) показывают каким образом суммарный поток вектора мощности линии зависит от различных факторов.

Они позволяют выявить наиболее влияющие параметры и выполнять оптимизационные расчеты, осуществлять выбор конфигураций расположения фаз, конструкции и угловых сдвигов векторов напряжений фаз, которые в комплексе обеспечивают максимум функции (P_H), с учетом заданных ограничений.

Приведенные выражения позволяют также определить обобщенные характеристики линий различного типа и провести их сопоставления.

На основании исследований и анализа влияющих факторов установлено, что для обеспечения максимальной величины натуральной мощности линии необходимо максимально увеличить суммарный заряд линии.

При этом линии будут обладать максимальной зарядной мощностью. Это становится возможным, если сблизить фазы линии между собой и создать максимальный угловой сдвиг (θ) между векторами напряжений, приложенных к фазам.

Вместе с тем, при малых нагрузках линии и холостом ходе необходимо обеспечить режим, при котором зарядная мощность линии будет иметь минимальное значение. Это условие можно выполнить, если осуществлять регулирование величины суммарного заряда линии. Для этого необходимо уменьшать (в пределе до 0) угловой сдвиг между векторами напряжений сближенных фаз.

Таким образом, для повышения пропускной способности и улучшения показателей линий необходимо изменить их параметры. Это потребует осуществления ряда новых технических решений, касающихся конструкции, схем соединений, способов и средств управления.

Весь комплекс новых технических решений, сформулированных на основании этих результатов нашел свое воплощение в предложенных УСВЛ, которые отличаются от обычных линий по своему исполнению и принципу работы [5-7]. Исходными для анализа и проведения исследований приняты многопроводные многофазные воздушные линии электропередачи.

При произвольном расположении проводов (и фаз) и приложенных векторах напряжений и протекающих токов электромагнитное поле имеет также произвольные параметры. Картина электромагнитного поля двухпроводной линии показана на рис. 1, а многопроводной – на рис. 2.

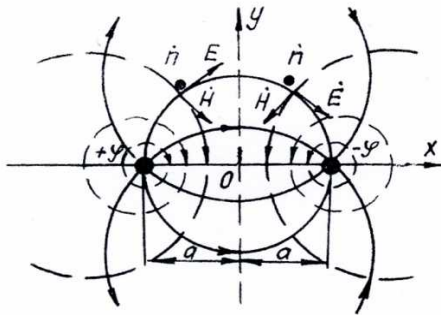


Рис. 1. Конфигурация электромагнитного поля проводов двухпроводной линии электропередачи

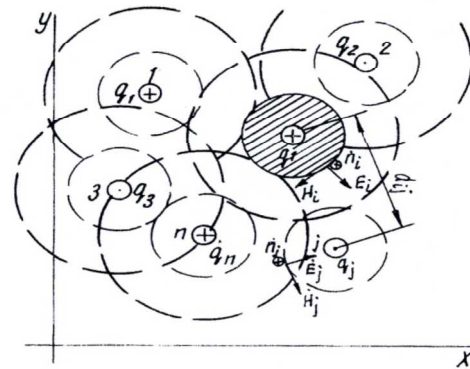


Рис. 2. Конфигурация электромагнитного поля проводов n-проводной линии электропередачи

Задача состоит в том, чтобы в n-проводной (n-фазной) линии проводники расположить так, чтобы при заданных векторных величинах напряжений, приложенных к указанным проводникам, получить максимальную величину суммарного потока вектора мощности, определяемую выражением (3).

Показателем пропускной способности линии может наглядно служить величина натуральной мощности линии, определяемая выражением (5).

Для получения максимальной пропускной способности линии в соответствии с выражением (5) необходимо обеспечить максимальное значение суммы зарядов всех проводников линии.

В принципе, задача является оптимизационной.



Величины зарядов проводников (qi) зависят от значений напряжения (Ui) и эквивалентной емкости (Ci), которая, в свою очередь, определяется геометрическим расположением проводников и их сечением.

При поиске и обосновании вариантов конструкции линии, обладающей максимальной пропускной способностью, необходимо учитывать ряд ограничений. К ним, в первую очередь, относятся ограничения:

- по диэлектрической прочности воздушных промежутков провод-провод (фаза-фаза);
- по предельно допустимой величине напряженности электрического поля на поверхности проводов;
- по условиям безопасности персонала при обслуживании;
- соблюдение существующих нормативов по экологии;
- возможности практической реализации и применения освоенных элементов конструкции и систем оборудования;
- по стоимостным показателям и затратам при эксплуатации;
- соответствие существующим нормам и требованиям, установленным правилами устройства и технической эксплуатации электроустановок (ПУЭ) и ПТЭ).

Одним из принципиальных при создании компактных ВЛ является вопрос, насколько можно сближать провода (фазы) линий электропередач между собой.

Согласно действующим нормам [24, 25] минимально допустимые расстояния между фазами ВЛ определяются с учетом максимальных значений рабочих напряжений, а также с учетом величин коммутационных и грозовых перенапряжений.

Конструкции любых, разрабатываемых и создаваемых вариантов ВЛ, в том числе и компактных УСВЛ, должны рассчитываться с одной и той же нормируемой кратностью перенапряжений. Требования для новых ВЛ, как и традиционных остаются одинаковыми.

Рекомендуемые согласно ПУЭ [24, 25] минимально допустимые междуфазовые расстояния, а также полученные в результате расчетов зависимости для ВЛ различных классов напряжения приведены на рис. 3.

Как видно из приведенных данных, минимально допустимые расстояния между фазами ВЛ по максимальным междуфазовым рабочим напряжениям в 3-3,5 раза меньше, чем принимаемые на практике для традиционных конструкций. По коммутационным и грозовым перенапряжениям они практически в 2 раза меньше.

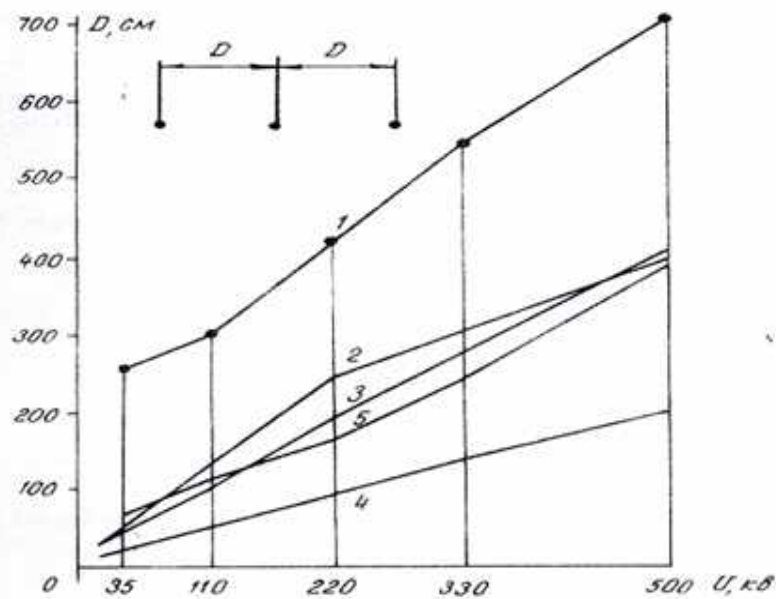


Рис. 3. Минимально допустимые расстояния между фазами ВЛ согласно ПУЭ: 1 – принимаемые для ВЛ обычной конструкции; 2, 3, 5 – по коммутационным и грозовым перенапряжениям; 4 – по максимальным рабочим напряжениям.

Компактные конструкции возможны как для одноцепных трехфазных ВЛ, так и для двухцепных и многоцепных линий.

На рис. 4 показан фрагмент конструкции двух сближенных фаз, которые приняты в качестве основного технического решения для компактных ВЛ.

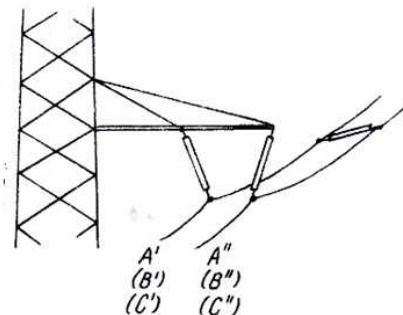


Рис. 4. Фрагмент конструкции двух сближенных фаз компактной ВЛ: A' , B' , C' – возможные фазы одной цепи; A'' , B'' , C'' – возможные фазы второй цепи; в пролете – изоляционный элемент (распорка или стяжка).

При выборе минимального значения расстояний между фазами важно учесть возможные отклонения проводов от их первоначального расположения при воздействии неблагоприятных атмосферных факторов, при возникновении качания и пляски проводов.

Для предотвращения этого между сближенными фазами в пролетах предусматривается установка изолирующих элементов (распорки или стягивающих гирлянд изоляторов). Возможно применение специальных подвесок проводов на опорах, например, с помощью V-образных гирлянд изоляторов или крепление их на изолирующих траверсах. Именно такие решения находят свое применение при создании одноцепных трехфазных компактных ВЛ.

Для двухцепных линий электропередачи с учетом указанных выше ограничений и требований, а также доступности практической реализации и удобства эксплуатации наиболее целесообразны конструкции с горизонтальным расположением фаз.

Возможная конфигурация расположения фаз компактной УСВЛ показана на рис. 5, 6. Там же показан способ, каким образом из пространственного произвольного расположения фаз многопроводной линии сформировать компактную двухцепную УСВЛ.

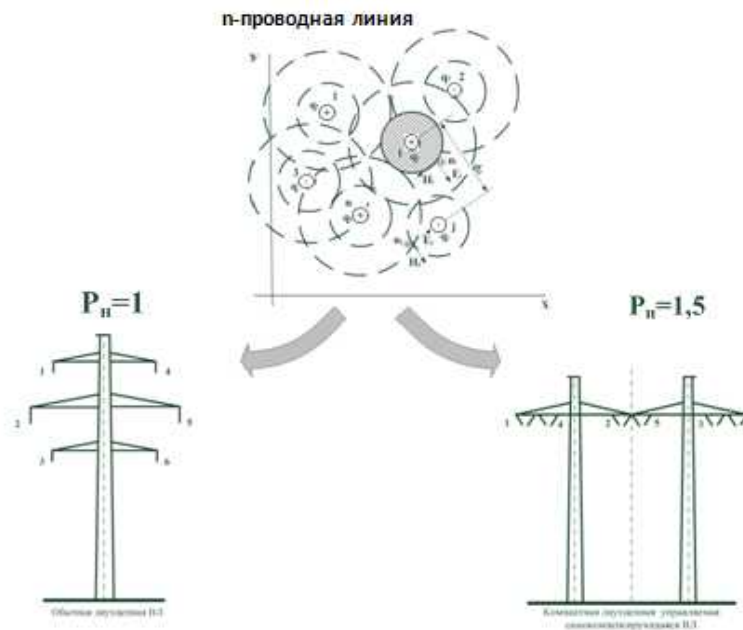


Рис. 5. Исходные варианты опор двухцепных ВЛ: обычной конструкции – слева, УСВЛ – справа

В отличие от двухцепной обычной ВЛ, для которой фазы одной трехфазной цепи располагаются по одну сторону стойки опоры (на рис. 5, 6 – слева) при значительном расстоянии между цепями и фазами самих цепей, в цепи.

Между сближенными фазами отсутствуют заземленные элементы в варианте компактной двухцепной УСВЛ фазы располагаются парами, в которых одна фаза принадлежит первой трехфазной цепи, а вторая – второй цепи.

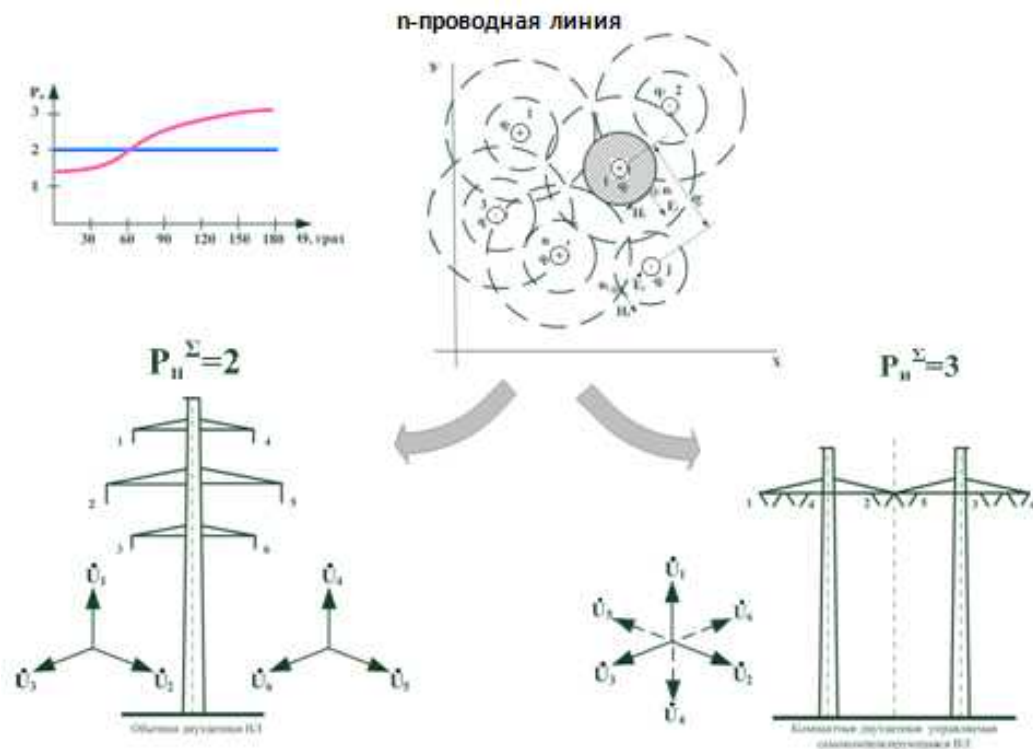


Рис. 6. Расположение фаз на опорах обычной двухцепной ВЛ и компактной двухцепной УСВЛ; график зависимости величины натуральной мощности от углового сдвига между трехфазными системами напряжений цепей (с большим диапазоном изменения – для УСВЛ)

Конструкции опоры таковы, что имеется возможность сблизить фазы между собой на минимально допустимое расстояние. Таким образом, двухцепная компактная УСВЛ будет состоять из трех пар сближенных фаз, используя принципиальное решение (рис. 4).

Варианты схемной реализации компактных двухцепных УСВЛ показаны на рис. 7.

Непременным условием создания компактных двухцепных УСВЛ является установление углового сдвига векторов напряжений одной цепи по отношению к другой (θ). Это обусловлено тем, что от величины угла (θ) зависят эквивалентные параметры УСВЛ. Степень этого влияния зависит от расстояния между сближенными фазами (цепями), а знак – от угла (θ).

Для создания углового сдвига между системами векторов напряжений цепей (соответственно – и токов) предусматривается применение новых схем присоединения к шинам подстанций или установка специальных фазорегулирующих устройств трансформаторного типа.

$$E_m \leq 0,9 E_o. \quad (5)$$

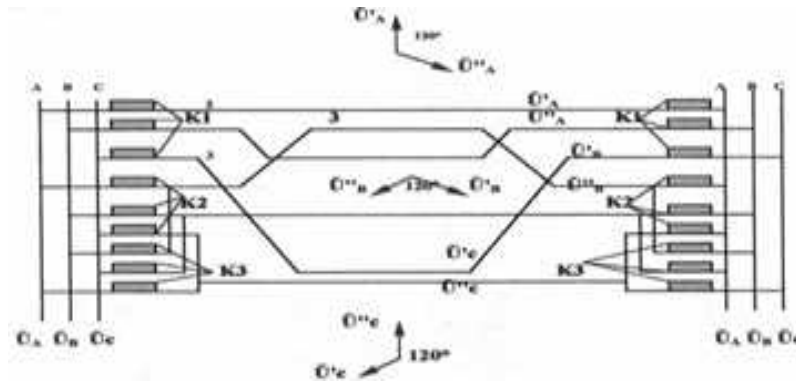


Схема двухцепной электропередачи с дискретным регулирование угла 0-120 град

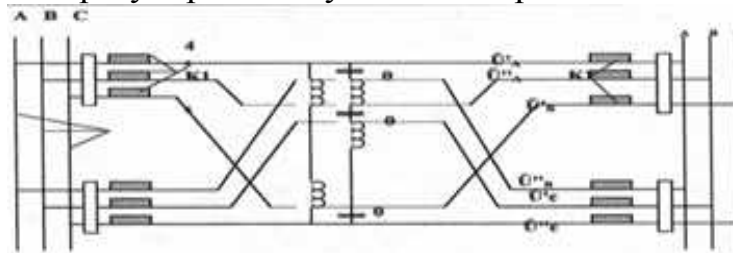


Схема двухцепной электропередачи с возможностью регулирования угла в широком диапазоне с помощью фазорегулирующих устройств и устройств FACST

Рис. 7. Варианты электрических схем компактных двухцепных УСВЛ

Требования к проводам и конструкциям самих фаз УСВЛ остаются такими же, как и для обычных ВЛ. При сопоставлениях принимаются одинаковые плотности тока в проводах и обязательное выполнение условия, при котором максимальная напряженность электрического поля на поверхности проводов (E_m) не должна превышать величину напряженности возникновения короны (E_0).

Выше было приведено выражение (1), определяющее величину пропускной способности ВЛ. Оно применимо и для УСВЛ. Главным параметром, на который осуществляется воздействие в УСВЛ при прочих равных условиях, является волновое сопротивление (Z_c), определяемое в свою очередь выражением

$$Z_c = \sqrt{\frac{r_0 + jx_{03}}{g_0 + jb_{03}}} \quad (6)$$

- где r_0 - удельное активное сопротивление проводов (фаз);
- x_{03} - удельное эквивалентное индуктивное сопротивление проводов (фаз);
- g_0 - удельная активная проводимость проводов (фаз);
- b_{03} - удельная эквивалентная емкостная проводимость проводов (фаз).



Указанные параметры зависят от конфигураций расположения фаз, геометрических расстояний и угловых сдвигов между векторами напряжений фаз и протекающих по ним токов.

Если до сближения фаз разных цепей параметры фаз цепей (индуктивное сопротивление, емкостная проводимость, волновое сопротивление) характеризовались практически только собственными значениями (x_0 , b_0 , Z_{c0}), то после сближения появляются взаимные составляющие параметров цепей, а именно ($\dot{x}_{0\text{вз}}$, $\dot{b}_{0\text{вз}}$, $\dot{Z}_{c0\text{вз}}$), и результирующие параметры фаз принимают новые эквивалентные значения

$$\begin{aligned}\dot{x}_{0\text{вз}} &= x_0 + x_{0\text{вз}} \cdot e^{j\theta}; \\ \dot{b}_{0\text{вз}} &= b_0 - b_{0\text{вз}} \cdot e^{j\theta}; \\ \dot{Z}_{c0\text{вз}} &= Z_{c0} + Z_{c\text{вз}} \cdot e^{j\theta}.\end{aligned}\quad (7)$$

Величины взаимных составляющих сопротивлений в зависимости от степени сближения цепей могут составлять 25-30 % от собственных значений указанных параметров, а их знак зависит от углового сдвига (θ) между протекающими по цепям трехфазными системами векторов токов, который в режиме натуральной мощности ВЛ может быть принят равным величине углового сдвига приложенных к цепям трехфазных систем напряжений.

При $\theta=0^\circ$ каждая из фаз линии будет обладать параметрами

$$\begin{aligned}x_{0\text{вз}} &= x_0 + x_{0\text{вз}}; \\ b_{0\text{вз}} &= b_0 - b_{0\text{вз}}; \\ Z_{c0\text{вз}} &= Z_{c0} + Z_{c\text{вз}}.\end{aligned}\quad (8)$$

При $\theta=180^\circ$ параметры фаз будут иметь следующие значения:

$$\begin{aligned}x_{0\text{вз}} &= x_0 - x_{0\text{вз}}; \\ b_{0\text{вз}} &= b_0 + b_{0\text{вз}}; \\ Z_{c0\text{вз}} &= Z_{c0} - Z_{c\text{вз}}.\end{aligned}\quad (9)$$

При углах в диапазоне $\theta=0\div 180^\circ$ эквивалентные значения параметров принимают промежуточные значения.

Выполненные расчеты показали, что при изменении угла (θ) в пределах $0\div 180^\circ$ указанные параметры характеризуются почти полторагодовым диапазоном регулирования.

Волновое сопротивление линии (Z_c) определяет ее пропускную способность, а емкостная проводимость (b_0) – зарядную мощность (Q_c). Возможность регулирования пропускной способности и зарядной мощности является важным преимуществом УСВЛ перед ВЛ обычного типа. В дальнейшем обоснование эффективности УСВЛ, в том числе и системной эффективности, принято с учетом этих преимуществ УСВЛ.

УСВЛ относятся к категории гибких электропередач, получивших в последние годы развитие как в теоретическом, так и практи-



ческом плане. Направление создания гибких электропередач переменного тока – Flexible Alternating Current Transmission Systems (сокращенно FACTS) подразумевает создание регулируемых электропередач на базе применения различных сосредоточенных средств компенсации и управления, однако при сохранении линии как нерегулируемого объекта.

УСВЛ, воплощая в себе идеи регулируемых электропередач, являются дальнейшим развитием направления гибких электропередач, так как в дополнение включают идеи и способы регулирования параметров и собственно линий. Благодаря этому достигается новый уровень управления режимами и техническими показателями электропередач переменного тока. УСВЛ могут быть названы и управляемыми самокомпенсирующимися гибкими системами передачи электроэнергии на переменном токе – Controlled Flexible Self – Compensation Alternating Current Transmission Power Systems (сокращенно CFACTS).

Технические характеристики вариантов УСВЛ различных классов напряжения.

На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований к настоящему времени выполнены расчеты и разработки конкретных вариантов двухцепных УСВЛ различных классов напряжений, от 10 кВ до 1150 кВ.

В процессе проведения исследований и разработок был решен целый ряд технических вопросов, связанных с новизной конструкций опор, междуфазовой изоляции, нетрадиционных конфигураций расположения фаз, схем присоединения к подстанциям и применения фазорегулирующих устройств, средств компенсации, релейной защиты и управления, отличием режимов и многими другими.

К настоящему времени удалось реально построить и проверить на практике работоспособность двухцепных УСВЛ напряжением 10, 35, 110 кВ (рис. 8).

СВЛ-10 кВ. Первой была сооружена в 1973 г. опытно-промышленная СВЛ-10 кВ протяженностью 1,2 км при проектной нагрузке 3,5 МВт.

Расчеты и натурные эксперименты подтвердили, что реактивное сопротивление СВЛ-10 кВ на 22 % меньше по сравнению с обычными ВЛ. СВЛ-10 кВ обеспечила экономию капитальных затрат в размере 16%. В 1975 г. была сооружена вторая СВЛ-10 кВ протяженностью 9,5 км. Показатели этой линии оказались лучшими, чем первой. Снижение индуктивного сопротивления составило 25%, а экономия капитальных затрат – 24%. Следует отметить, что сближение фаз, имеющих различные потенциалы, как средство увеличения пропускной способности и улучшения технико-экономических показателей, применимо и для обычных трехфазных линий электропередачи.

Внедрение их было начато в распределительных сетях «Молд-энерго». Одноцепные ВЛ-10 кВ с уменьшенными междуфазными расстояниями обеспечивают снижение индуктивного сопротивления на 20-23%, а также улучшение технико-экономических показателей по сравнению с обычными ВЛ.

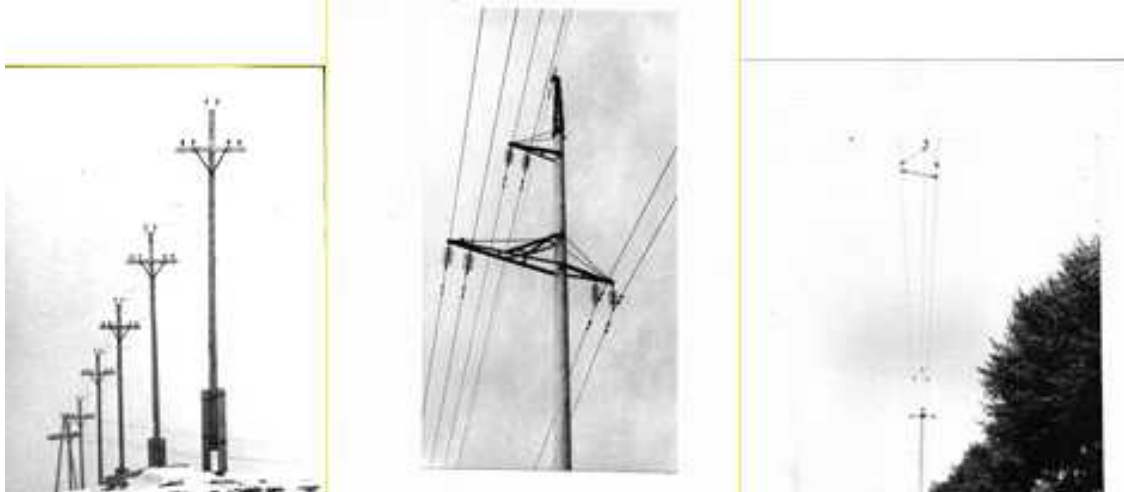


Рис. 8. Первые в мире промышленные двухцепные СВЛ-10,35 кВ и ВЛСФ-10 кВ, построенные в Молдавской энергосистеме

СВЛ-35 кВ. Следующим этапом разработок явилось создание опытно-промышленной СВЛ-35 кВ протяженностью 8,7 км и расчетной нагрузке 12 МВт. В качестве опор для двухцепных СВЛ-10, 35 кВ приняты одностоечные опоры. На данной линии были также проведены натурные испытания и экспериментальным путем определены параметры, которые показали, что реактивное сопротивление СВЛ-35 кВ на 17% меньше, чем у обычной двухцепной ВЛ-35 кВ. Сопоставление проектных технико-экономических показателей показало экономии капитальных вложений на 12, 6%.

УСВЛ-110 кВ. Протяженность разработанной линии составила 76 км, а построенного в 1979 г. первого ее участка – 34 км (рис.2) на одностоечных и второго участка-20 км на двухстоечных двухцепных опорах (рис.3). Особенностью СВЛ-110 кВ является то, что она предназначена для работы в сложно-замкнутой энергосистеме и имеет ряд ответвлений для питания промежуточных потребителей.

При создании СВЛ-110 кВ был решен большой комплекс сложных технических вопросов, связанных с расчетом электрических параметров, расчетом конструкции, выбором изоляции, релейной защиты и автоматики.

Для двухцепной СВЛ-110 кВ разработаны варианты одностоечных и двухстоечных опор на железобетонных типовых стойках. На одностоечных опорах расположение попарно сближенных (стянутых) фаз выполнено по вершинам треугольника, а на двухстоечных – в горизонтальной плоскости.

Расстояния между сближенными фазами приняты равными $d_c=0,3-0,4$ м для СВЛ-10 кВ, $d_c=0,6-0,8$ м – для СВЛ-35 кВ и $d_c=1,1-1,3$ м – для СВЛ-110 кВ. Сближенные фазы зафиксированы друг относительно друга с помощью изоляционных распорок - в СВЛ-10, 35 кВ и с помощью стягивающих гирлянд изоляторов в СВЛ-110 кВ.



Рис. 9. Первая в мире управляемая двухцепная самокомпенсирующаяся высоковольтная линия электропередачи 110 кВ (СВЛ-110 кВ).

Созданию линии предшествовали механические испытания элементов конструкции на полигоне ПО «Союзтехэнерго».

Электрические испытания, проведенные непосредственно на опытно-промышленной СВЛ-110 кВ Бельцы–Новые Беличены, позволили экспериментальным путем определить величину потерь напряжения в нагрузочных режимах; уровни токов короткого замыкания, основные параметры линии при различных режимах работы.

Установлено, что индуктивное сопротивление СВЛ-110 кВ при $\theta=120^\circ$ на 20,3 % ниже, чем у обычной двухцепной ВЛ-110 кВ, емкостная проводимость на 25 % выше. Натуральная мощность СВЛ-110 кВ на 20 % выше, чем у обычной линии.

Увеличение предела передаваемой по СВЛ-110 кВ мощности по сравнению с обычной двухцепной ВЛ-110 кВ, исходя из допустимого уровня потери напряжения, зависит от величины коэффициента мощности нагрузки и составляет: при $\cos \varphi_n=0,95$ – 7,5 %, а при $\cos \varphi_n=0,8$ – 20 %.

СВЛ-110 кВ позволяют также улучшить параметры режима – снизить потери напряжения и уменьшить потери мощности. В случае нетранспонированной СВЛ-110 кВ, работающей в режиме нерегулируемого угла сдвига систем напряжений цепей $\theta=120^\circ$, снижение потерь мощности достигается, в основном, при передаче значительных мощностей, приближающихся к величине натуральной мощности линии и превосходящих ее.

При малых нагрузках снижения потерь мощности на СВЛ-110 кВ при нерегулируемом угле θ не наблюдается. Однако, если на СВЛ-110 кВ применить регулирование угла θ : при малых нагрузках устанавливать $\theta=0^\circ$, а при больших - $\theta=120^\circ$, то во всем диапазоне передаваемой мощности обеспечивается выигрыш в потерях по сравнению с обычными ВЛ.

Снижение потерь мощности в СВЛ зависит от коэффициента мощности нагрузки, чем меньше $\cos \varphi_n$, тем больше экономия. При $\cos \varphi_n = 0,8$ и передаваемой мощности 30 МВт на цепь снижение потерь мощности в СВЛ-110 составляет 3 % по сравнению с обычной ЛЭП. Сопоставление технико-экономических показателей показало, что СВЛ-110 кВ обеспечила по сравнению с обычной двухцепной ВЛ-110 кВ на 10 % экономию капитальных затрат.

На указанных УСВЛ попарно сближены фазы разных цепей при дискретном изменении угла сдвига векторов напряжений цепей $\theta = 0 - 120^\circ$, осуществленном путем особой схемы присоединения к конечным и промежуточным подстанциям, показанной на рис. 7. Для УСВЛ-110 кВ на полигоне ПО «ОРГРЭС» проведены механические испытания двухстоечных специально разработанных опор. Аналогичные работы проведены по моделированию и механическим испытаниям сближенных фаз УСВЛ 220 кВ.

Разработаны варианты конструкции опор компактных управляемых УСВЛ 220 -500 кВ. Выполнено ТЭО ряда УСВЛ – 220 кВ, УСВЛ – 500 кВ (рис. 10).

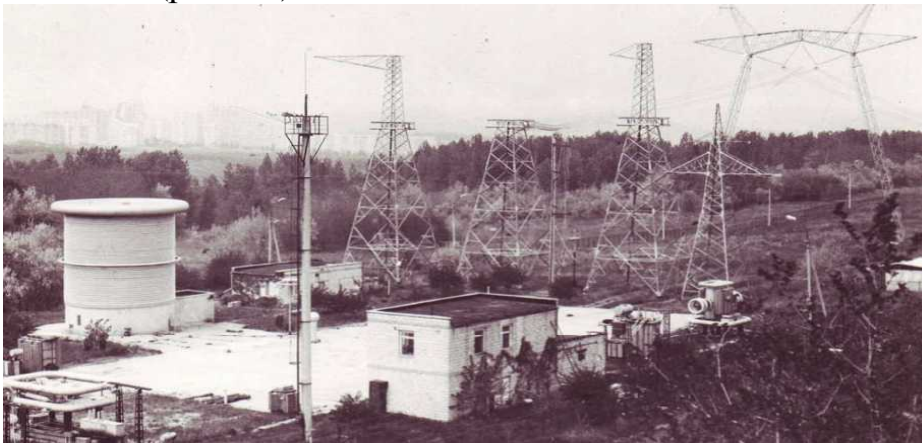


Рис. 10. Высоковольтный полигон: ГИН-2500 кВ, ИТ-500 кВ, две фазы УСВЛ-500 кВ на опоре ВЛ 750 кВ

Разработаны варианты конструкции опор компактных управляемых УСВЛ 220-500 кВ (рис.11, 12). Выполнено ТЭО ряда УСВЛ 220 кВ, 500 кВ.

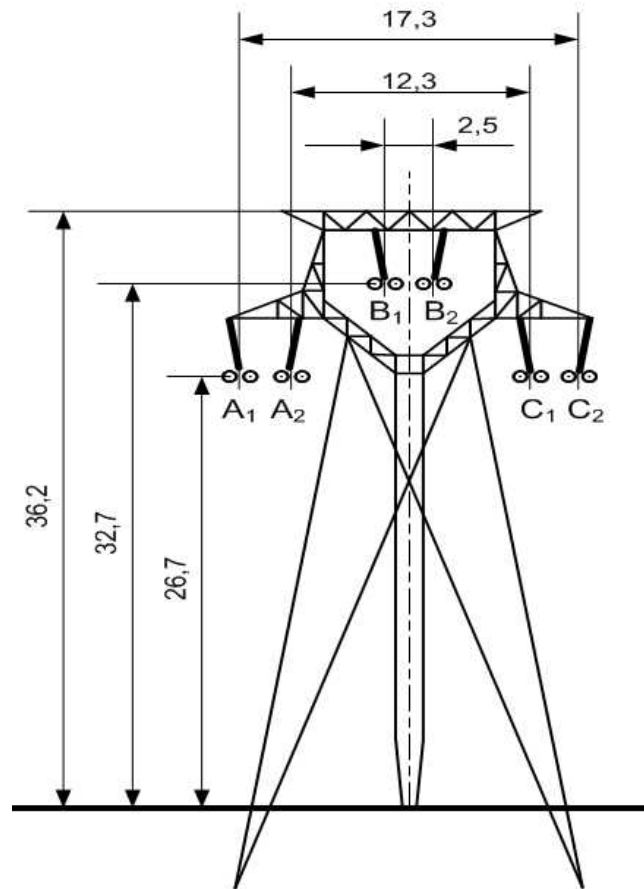


Рис. 11. Вариант конструкции компактной двухцепной УСВЛ-220 кВ

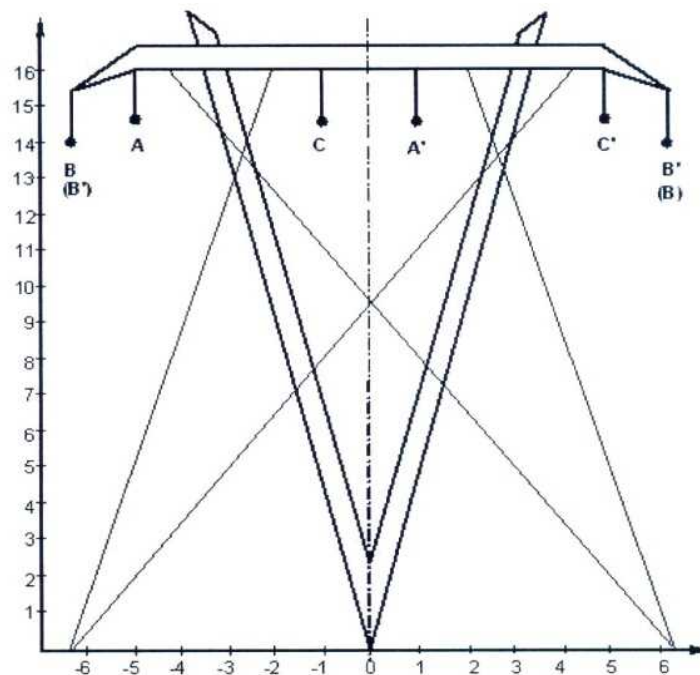


Рис. 12. Вариант оптимизированной опоры двухцепной УСВЛ-330 кВ, провода ЗАС-300/39, $r_p=0,5$ м



Данные исследований основных показателей УСВЛ и сопоставление их с аналогичными характеристиками обычных трехфазных ЛЭП показывает, что УСВЛ:

- превосходят обычные ЛЭП по величине натуральной мощности на 20-40 %;
- обеспечивают экономию на 15-30 % удельных капитальных вложений и приведенных затрат в расчете на единицу передаваемой мощности;
- создают благоприятные возможности для системообразования, регулирования перетоков мощности и снижения суммарных потерь в энергосистеме;
- снижения величины напряженности электрического и магнитного полей вблизи поверхности земли под линиями, благодаря чему оказывают сниженное экологическое влияние;
- УСВЛ позволяют также уменьшить площади земельных угодий, отчуждаемых под строительство.

Выводы

1. Компактные управляемые двухцепные самокомпенсирующиеся высоковольтные линии электропередач (УСВЛ) в сочетании с устройствами FACTS и одноцепные компактные ВЛ обладают рядом достоинств и могут быть успешно использованы, как для транспорта электроэнергии на большие расстояния, так и применены в распределительных электросетях

2. Выполненные исследования и проектные разработки, опыт строительства вариантов УСВЛ и проведенные экспериментальные работы подтверждают возможности реального применения компактных управляемых самокомпенсирующихся ВЛ в сочетании с устройствами FACTS в отдельных, а также в объединенных энергосистемах для решения проблем транспорта и распределения электроэнергии, улучшения параметров режимов энергосистем и получения значительного экономического эффекта.

Список использованной литературы

1. Управляемые (гибкие) системы передачи переменного тока (flexible AC Transmission system, FACTS). Составитель д.т.н. профессор Ю.Г. Шакарян, ОАО «ВНИИЭ», 41 с.

2. *Solovieff I.I.* An Investigation of a special circuit for long transmission of electric power / *I.I. Solovieff*. Канд. дисс., США, 1933, - 156 с.

3. *Ракушев Н.Ф.* Сверхдальняя передача энергии переменным током по разомкнутым линиям / *Н.Ф. Ракушев*. – М.: ГЭИ, 1957, -160 с.



4. *Постолатий В.М.* Исследование управляемых полуразомкнутых электропередач переменного тока / *В.М. Постолатий*. Автореф. канд. дисс. – М., 1968, -28с.

5. А.с. 218294 (СССР). Способ передачи электроэнергии / *В.А. Веников, Г.В. Чалый, В.М. Постолатий*. – Заявл. 6.12.66. № 1116879. Оpubл. в Б.И., 1968, № 17.

6. А.с. 266924 (СССР). Способ передачи электроэнергии / *В.А. Веников, Ю.Н. Астахов, В.М. Постолатий*. – Заявл. 4.11.68. № 1280553. Оpubл. в Б.И., 1970, № 12.

7. А.с. 566288 (СССР). Электропередача переменного тока / *В.М. Постолатий, В.А. Веников, Ю.Н. Астахов, Г.В. Чалый, Л.П. Калинин*. Заявл. 21.03.74. № 2006496. Оpubл. в Б.И., 1977, № 27.

8. Электропередача переменного тока / *Постолатий В.М., Веников В.А., Астахов Ю.Н., Чалый Г.В., Калинин Л.П.* Патенты: США №4001672, 1977; ГДР № 116990, 1976; Франции № 7508749, 1977; Англии № 1488442, 1978; Швеции № 75032268, 1978; Канады № 1038029, 1978; ФРГ № 2511928, 1979; Японии № 1096176, 1982.

9. Астахов Ю.Н. Основные принципы создания и технические характеристики управляемых самокомпенсирующихся линий электропередачи / *Ю.Н. Астахов, В.А. Веников, В.М. Постолатий* и др. - Электричество, 1977, № 12, с. 37-44.

10. *Астахов Ю.Н.* Управляемые линии электропередачи / *Ю.Н. Астахов, В.М. Постолатий, И.Т. Комендант, Г.В. Чалый*. Под ред. В.А. Веникова, Изд-во Штиинца, 1984, 296 с.

11. Управляемые электропередачи. Выпуск № 8 (23), труды Института энергетики АН Молдовы за 2001-2007 г.г. Составители: *Постолатий В.М., Быкова Е.В.* Кишинев, 2007. 234 с.

12. Устройство изменения фазового сдвига / *Бошняга В.А., Калинин Л.П., Постолатий В.М.* Патенты: США № 3975673, 1976; ГДР № 119494, 1976; ГДР № 123846, 1977; США № 4013942, 1977; Англии № 1484522, 1977; Франции № 7522737, 1977; Англии № 1493652, 1978; Швеции № 7508349, 1978; Швеции № 7508350, 1978; ФРГ № 2531578, 1978; ФРГ № 2531644, 1978; Франции № 7522615, 1978; Канады № 1045202, 1978; Канады № 1041172, 1978.

13. *Постолатий В.М.* Современные средства регулирования перетоков мощности и эффективность применения их в энергосистемах / *В.М. Постолатий, Л.П. Калинин, Д.А. Зайцев, Е.В. Быкова* // Сборник докладов международной конференции «Энергетика Молдовы – 2005». с. 2006-219.

14. *Рыжов Ю.П.* Дальние электропередачи сверхвысокого напряжения: учебник для ВУЗов / *Ю.П. Рыжов*. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 488 с.: илл.



15. *Александров Г.Н.* Передача электрической энергии / *Г.Н.Александров.* - СПб.: Изд-во Политехнического университета, - 2007 – 412 с. (Энергетика в политехническом университете).
16. *Поливанов К.М.* Теоретические основы электротехники. Ч.3. Теория электромагнитного поля / *К.М. Поливанов.* – М.: Энергия. 1969. – 352 с.
17. *Постолатий В.М.* Теоретические основы и принципы создания управляемых самокомпенсирующихся линий электропередач / *В.М. Постолатий.* Дис. на соиск. уч. ст. д.т.н., Кишинев, 1987. – 529 с.
18. *Вульф А.А.* Проблема передачи электрической энергии на сверхдальние расстояния по компенсированным линиям / *А.А. Вульф.* – М.: ГЭИ, 1941. – 100 с.
19. *Веников В.А.* Дальние электропередачи / *В.А. Веников.* – М.Л.: ГЭИ, 1960. – 312 с.
20. *Щербаков В.К.* Настроенные электропередачи / *В.К. Щербаков, Э.С. Лукашов, О.В. Ольшевский, А.Т. Путилова.* Новосибирск, - 1963.
21. Комплексные испытания полуволновой электропередачи в сети 500 кВ ЕЭС Европейской части СССР / *Вершков В.А., Нахапетян К.Т., Ольшевский О.В., Совалов С.А., Фотин В.П., Щербаков В.К.* Электричество, 1968, № 8.
22. Технические и экономические характеристики настроенных электропередач. Под ред. *В.К. Щербакова / Воробьев Г.В., Заславская Т.Б., Калюжный А.Х., Лукашов Э.С., Ольшевский О.В., Путилова А.Т., Хакимов Ф.З., Халевин В.К., Щербаков В.К.* Новосибирск. – Наука, 1965. – 68 с.
23. Эффективность применения компактных линий электропередачи переменного тока / *Шакарян Ю.Г., Тимашова Л.В., Карева С.Н., Постолатий В.М., Быкова Е.В., Суслов В.М.* // Сборник статей: Инновационные технические решения в программе НИОКР ПАО «ФСК ЕЭС», под общей редакцией А.Е. Мурова. М.: Издательство АО «НТЦ ФСК ЕЭС», 2016, - С.76-104.
24. Справочник по электрическим сетям 0,4 – 35 кВ и 110 – 1150 кВ./Колл. Авт.-М.: ИД «Энергия», 2009.- Том 10-816 с.
25. Библия энергетика [Текст]: ПУЭ (шестое и седьмое издания, все действующие разделы); МПОТ; ПТЭ. – Новосибирск: Сиб. унив. Из-во, 2011.- 688 с., ил.



КОМПАКТНІ КЕРОВАНІ САМОКОМПЕНСУЮЧІ ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ ЗМІННОГО СТРУМУ

Постолатій В. М., Бикова О.В.

Анотація - викладено принципів засади створення і наведені результати досліджень і розробок ліній електропередачі нового типу - компактних керованих самокомпенсуючих високовольтних ліній електропередач, і дана оцінка можливим перспективам та ефективності застосування запропонованих варіантів електропередач нового типу в енергосистемах.

COMPACT CONTROLLED SELF COMPENSATING AC VOLTAGE LINES

Postolatiy V., Bykova E.

Summary

The basic principles for the creation and the results of research and development of new transmission lines of a new type - compact controlled self-compensating high-voltage transmission lines are given, and an assessment of possible prospects and efficiency of the proposed new transmission options in power systems is given.



UDC 631

BIOTROPIC PARAMETERS OF ELECTROMAGNETIC RADIATION FOR REGENERATION OF ANIMAL INJURED BONE TISSUE

Assoc. Prof. Eng. Oleksandr Orel¹, PhD

Eng. Ilyya Vlasoy²

Eng. Mykola Orel³

¹*Tavria State Agrotechnological University*

²*Ismail Technical school of Mechanization and Electrification of Agriculture*

³*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*

Summary - the development of effective medication-free treatment and means of animal injuries treatment is urgent task. The optimal parameters of electromagnetic field of ultra-high frequency range interacting with the bone tissues of animals have been determined. The aim of the work is to identify the high-frequency range of the electromagnetic field parameters in interaction with animal tissues using the developed mathematical model. The dependence of electric component amplitude of magnetic frequency field was investigated. It has been proved that the dimensions of the limbs and internal tissues significantly affect the internal distribution of the electromagnetic fields. The results of experimental studies have made it possible to determine the optimal frequency, power and radiation source arrangement for the injury treatment of different animal species. The application of electromagnetic radiation with optimal parameters intensifies metabolism on the diseased cells membrane level and assists more rapid recovery of the injured bone tissue.

Key words: injuries, ultra-high frequency, parameters, mathematical model, metabolism, cells membrane

Nowadays, one of the important tasks facing Ukraine's agrarian complex is increase of livestock farming productivity while keeping heard expansion of domestic animals, which depends on efficient animal disease treatment, in particular traumatism.

Animal traumatism is the common group of diseases among all non-contagious diseases amounting to 50% of total disease rate [1].

Now medicaments are mainly used for treatment of animal injuries. In most cases application of antibiotics and other medicated things is not



efficient enough and unsafe, it blocks the disease symptoms. Getting into the human organism via livestock products, antibiotics have negative influence on it, suppress the immunity, contribute to mutated virus replication causing various diseases [1,2].

Therefore, the development of efficient medicament-free treatment and development of technical means for animal injury treatment is actual one.

The data analysis of numerous researches and publications [2] has allowed to state that one of the prospective ways of medicament-free treatment of animal injury is the impact of electromagnetic field (EMF) of LHF-range.

The research aim was on the basis of the developed mathematical model [3,4] to define the biotropic parameters of electromagnetic field of LHF-range during its interaction with animal tissues.

Applying the obtained [3,4] mathematical expressions, the numeric computations of the biotropic parameter values of the electromagnetic field in animal limbs of different geometric dimensions have been made; the optimal frequency of impact which allows to give the appropriate recommendations on technical features of the developed therapeutic apparatus has been defined.

The fundamentals of the computations were the mathematical values [3,4], which describe the distribution of electromagnetic wave of LHF-range on a biological object of cylindrical shape with layered structure by radius

$$\dot{E}_{z\text{пад}}^i + \dot{E}_{z\text{отр}}^i = \sum_{m=0}^{\infty} \left[\dot{B}_m^i J_m(k_i r) + \dot{C}_m^i H_m^{(2)}(k_i r) \right] \cos(m\varphi)$$

According to the obtained expressions the amplitudes of inner fields are complex values which change their phasing depending on animal limb dimensions, incident frequency, electro-physical characteristics of biological tissues and their location inside a limb.

The zeroth harmonic of incident electromagnetic field (the amplitude of harmonics with numbers $m > 1$ is significantly lower than the zeroth one) makes the major influence on an animal limb, which is connected with low resonance characteristics of biological objects being exposed to radiation.

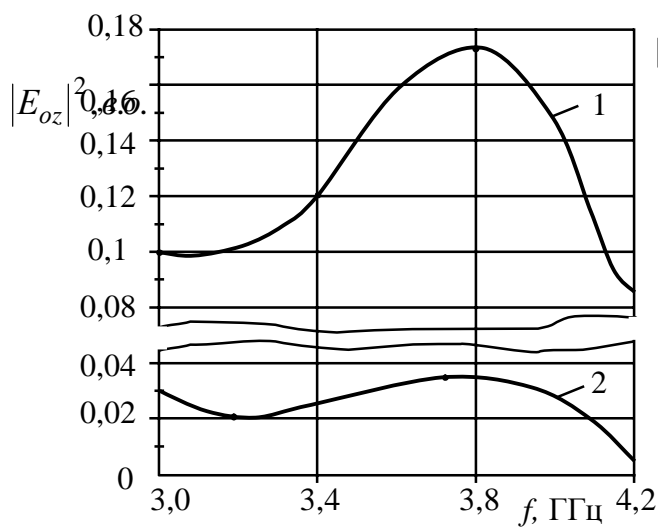
Electromagnetic characteristics of all five layers taken into account [4] were chosen according to reference data. The intensity of the incident field electrical component equals one, which allows going to any concrete value E_0 in calculations, at the same time the case of E-polarization is considered.

The mentioned review of literature data [2] indicates that the main curative effect of electromagnetic radiations in case of bony pathologies is

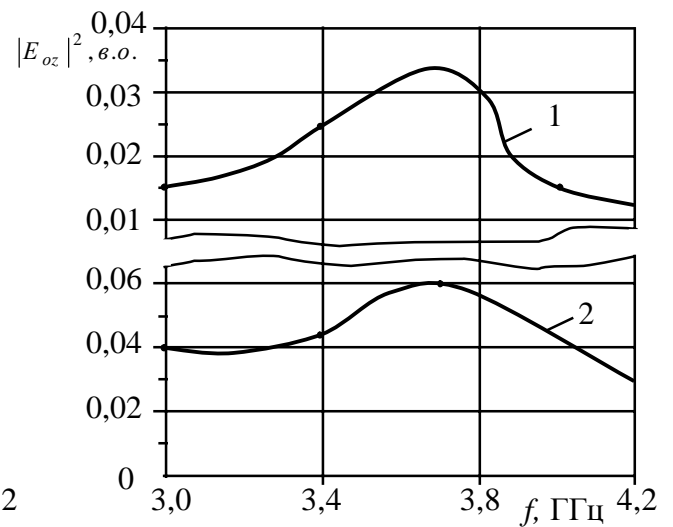
connected with their effect on cell membranes and the activation of ion movement of different microelements through them. At the same time characteristic resonance frequencies of these processes are within the range of 10^9 - 10^{11} Hertz.

Taking into account that during passing of electromagnetic radiations of decameter and centimeter range through an animal limb, on the one hand, there is the radiation absorption, on the other hand, there is their resonance re-scattering on different biological inhomogeneity; first of all, it is necessary to determine at what frequencies the electromagnetic field component strength will be maximum in bone marrow of bony tissue.

According to the aim we have studied the dependence of EMF electric component amplitude on frequency in the area of bone marrow and bony tissue of a limb. To obtain the more universal animal treatment methods the limbs of large animals (a horse, a cow) as well as small ones (a pig, a sheep) were examined. It was done due to the fact that both cross-sectional geometric shapes of limbs and sizes of their internal tissues differ significantly, so this could affect the distribution of inside electromagnetic fields in them.



Pic. 1. The square of amplitude of EMF electric component $|E_{0z}|^2$ versus frequency response f for a pig leg: 1 – in bone marrow area; 2 – in bone tissue area



Pic. 2. The square of amplitude of EMF electric component $|E_{0z}|^2$ versus frequency response f for a cow leg: 1 – in bone marrow area; 2 – in bone tissue area

In picture 1 there are the results of calculations performed within the range of 3.0-4.2 GHz for a pig leg. Picture 1 (curve 1) shows that in the area of bone marrow the maximum value of the electric component is at a frequency of 3.8 GHz. At frequency shift to the left and right from the identified frequency there is the amplitude loss. The same has to be said about the curve 2, where the same response is presented but for the area of

bony tissue. In this case the maximum amplitude is at a frequency of 3.7 GHz. However, the shift into more longwave range affects the field value less than the shift into more shortwave range.

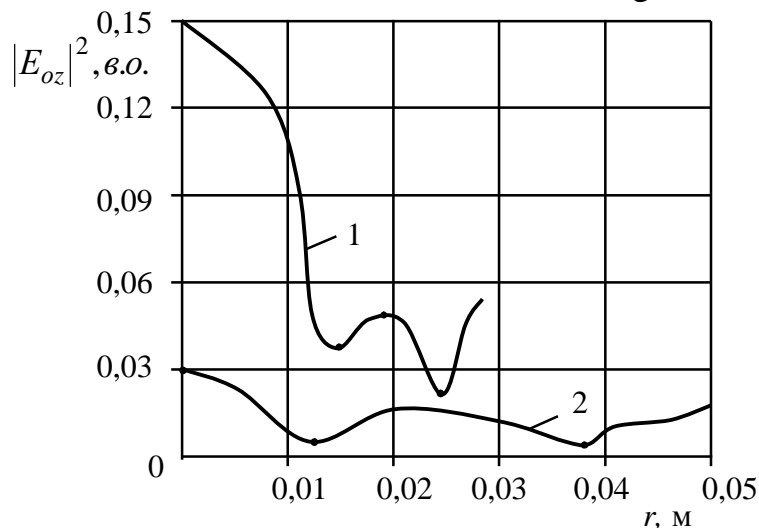
In picture 2 there are curves corresponding to frequency dependence of square for inside field electric component amplitude for a cow leg. It should be mentioned that in this case in the area of bone marrow as well as in the area of bone tissue of a leg the maximum is weaker than for a pig. This is explained by large sizes of a leg and correspondingly the length of incident electromagnetic wave. Therefore, resonance phenomena are weaker. However, in this case the electric component reaches its maximum at the range of frequencies of 3.6 – 3.7. GHz.

According to the obtained results we can conclude that the most acceptable value for radiation of injured legs of farm animals is the frequency within 3.7 GHz from the view of electrodynamics. In addition, the proper location of maximum of effecting field allows to choose the radiation sources with less power flows that is very important for treatment.

It should be emphasized that in the present graphs along the axis of ordinates there is a dimensionless value indicating which part of incident electromagnetic radiation strength reaches the particular area of an injured leg.

Having identified the most acceptable radiation frequency of electromagnetic field, the examination of its distribution in cross-section cut of an injured limb was carried out; it was necessary to determine how efficient was the field affecting the proper injured areas of legs.

In order to get the result, the radius of cross-section cut of leg versus E_{0z} was examined on the basis of its anatomic organization.



Pic. 3. Distribution of amplitude square of electric component of electromagnetic radiation inside animal limbs at a frequency of 3.7 GHz: 1– for a pig; 2– for a cow



In picture 3 (curve 1) there is the dependence of amplitude square of longitudinal component of electric field on a leg cross-section cut radius inside a pig limb. The chosen radiation frequency was equal to 3.7 GHz. According to the picture in the both areas of bone marrow and bony tissue the electric field is more powerful than in other areas. Thus, we have to conclude that radiation at this frequency will have maximum effect on the injured bony tissue and assist its fast recovery.

According to picture 3 (curve 2) illustrating the distribution of electric component $|E_{0z}|^2$ in cross-section cut of a cow leg at a frequency of 3.7 GHz there is the similar result. In this case density of the field is located in the areas of bone marrow and the injured bony tissue.

Thus, despite an animal size (a pig, a cow) the radiation at identified frequency in particular has the maximum stimulating effect on cambio-genetic hardness, cortical layer of bone and soft tissues around the fracture.

The similar results obtained after calculations for limbs of other farming animals (a horse, a sheep) indicate that the most acceptable value of electromagnetic field applied for therapeutic reason during the treatment of limb injuries of different animals is the range from 3.7 to 3.8 GHz. This range is acceptable from the view of obtaining the optimal amplitudes of EMF inside the objects exposed to radiation as well as from the view of optimal distribution of inner field.

Taking into account the above calculations it may be concluded concerning the flow density strength of radiation for an injured limb. According to literature sources, radiation strength at 0.1 mW/cm^2 causes the appearance of membrane cells of the identified potentials, which has positive influence on the transmembrane ion movement. In other words, there is an intensive recovery process for diseased and injured cells. Thus, the radiation source has to create the exact flow density strength in the places of injury.

Taking into account the results (see pics. 1-3) demonstrating which part of radiation strength reaches the injured area (0.005-0.01) and the identified above the necessary strength level for curing effect, it may be defined that the radiation source has to radiate approximately at 100 W/m^2 .

Conclusions

- On the basis of proposed theoretical model, the performed computations have indicated that the most acceptable frequency of electromagnetic radiation for limbs of different farming animals is 3.7-3.8. GHz. In this case the field distribution by limb cross-section cut and its amplitude are the most optimal ones.
- According to the results the radiation has to be of 100 W/m^2 . This intensifies the metabolism in membranes of sick cells and encourages the fastest recovery of injured bony tissue.



References

1. Zagalna veterynarna khirurgia / A.V. Lebediev, V.A. Lukyanovskiy, B.S. Semenov. – M.: Kolos, 2000. – 488p.
2. Orel O.M. Analis metodiv s elektrofizichnykh prystroyiv dlya likuvannya kistkovykh khvorob tvaryn // Pratsi Tavriyskoi derzhvnoi agrotekhnichnoi Akademiyy. – Melitopol: TDATA, 2003. – 190p.
3. Yakovliev V.F., Orel O.M. Model travmovanoiy kistkovoii tkanyny tvaryn , scho znakhodyatsya pid diieiu NCHV oprominiuvannya // Pratsi Tavriyskoi derzhvnoi agrotekhnichnoi Akademiyy. – Melitopol: TDATA, 2003. – Vyp. 12 – 68-73p.
4. Yakovliev V.F., Orel O.M. Do pytaniia pro model travmovanoiy kistkovoii tkanyny tvaryn , scho znakhodyatsya pid diieiu NCHV oprominiuvannya // Pratsi Tavriyskoi derzhvnoi agrotekhnichnoi Akademiyy. – Melitopol: TDATA, 2003. – Vyp. 12 – p. 60-67.

БИОТРОПНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ДЛЯ РЕГЕНЕРАЦІЇ КІСТКОВОГО ТРАВМАТИЗМУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ТВАРИН

О. Орел, И. Власов, Н. Орел

Анотація – викладено результати визначення оптимальних параметрів електромагнітного поля НВЧ-діапазону при взаємодії з тканинами тварин.

БИОТРОПНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ РЕГЕНЕРАЦИИ КОСТНОГО ТРАВМАТИЗМА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ

А. Орел, И. Власов, Н. Орел

Аннотация - изложены результаты определения оптимальных параметров электромагнитного поля СВЧ-диапазона при взаимодействии с тканями животных.



УДК 620.179

ДО ПИТАННЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ Й ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВИРОБІВ КАБЕЛЬНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ ТА ТРАНСФОРМАТОРОБУДУВАННЯ

Безотосний В.Ф., к.т.н.,

Козлов В.В., к.т.н.

Набокова О.В.

Запорізький національний технічний університет

Тел.: 063-522-44-10

Анотація – розглянуті питання автоматизації неруйнуючого експрес контролю товщини ізоляції та дефектів в електропровідних жилах та шинах кабельної промисловості і трансформаторобудуванні. Отримані співвідношення для розрахунку раціональної частоти намагнічування прохідних датчиків.

Ключові слова: дефект ізоляції, контроль неруйнуючий, частота раціональна, датчик прохідний.

Постановка проблеми. Однієї з актуальних завдань при автоматизації технологічних процесів у трансформаторобудуванні, кабельній промисловості й інших областях є контроль товщини ізоляції на елементарних провідниках при їх виготовленні, а також у процесі експлуатації виробів. Актуально також виявлення різних дефектів на попередніх технологічних операціях з наступним їх усуненням в електропровідних проводах, шинах, транспонованих кабелях. До найбільш характерних дефектів відносяться подряпини, раковини, сторонні включення та ін.

Аналіз останніх досліджень. У сучасній дефектоскопії застосовують різні способи неруйнуючого контролю таких виробів (див., наприклад, Мак-Майстер “Довідник по неруйнуючих випробуваннях”), що полягають у тому, що контрольований виріб пропускають через диференційно включені датчики, обмотки збудження яких підключені до джерела змінного струму, а вимірювальні – до схеми індикації. Вікна таких прохідних датчиків звичайно повторюють конфігурацію перетину контрольованого виробу. Для таких способів характерна низька чутливість до дефектів розташованих на ребрах прямокутного перетину. Однак наявність навіть незначного дефекту на ребрі призводить до ушкодження ізоляції при експлуатації готового виробу, що неприпустимо.



Формулювання цілей статті (постановка завдання). Пропонується раціональний спосіб контролю, який відрізняється високою чутливістю до дефектів, які розташовані на ребрах виробів. Це досягається за рахунок того, що магнітний потік проходить у виробі, головним чином, в області ребер завдяки додатковому розвороту датчика навколо осі симетрії до установки робочого зазору між ребрами виробу й внутрішньою поверхнею датчика. При виникненні дефекту ребра (подовжнього або поперечного) ефект розмагнічування й розподіл магнітних силових ліній змінюється, що й фіксується вимірювальними пристроями.

Метою даної роботи є одержання розрахункових співвідношень для вибору раціональної частоти, відповідно до намагнічуючого струму при контролі електромагнітних властивостей матеріалів за складовими комплексного опору обмотки намагнічування. Подальший аналіз проведений для випадку контролю властивостей за уявною складовою.

Основна частина. У загальному випадку, як показано в [1] уявна складова внесеного імпедансу визначається дійсною складовою ефективною магнітної проникності. При розміщенні контрольованого виробу в прохідному перетворювачі електрорушійна сила, що наводитьсь у вимірювальній обмотці, визначається співвідношенням

$$U_{вих} = 2\pi \cdot f \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \mu_{ef} \cdot \mu \cdot H \cdot w_e, \quad (1)$$

де f - частота струму, що намагнічує, Гц;

d - діаметр контрольованого матеріалу, м;

μ_{ef} - ефективна магнітна проникність, Гн/м;

μ - відносна магнітна проникність матеріалу, в.о.;

H - напруженість магнітного поля, А/м;

w_e - кількість витків вимірювальної обмотки.

Ефективна магнітна проникність у співвідношенні (1) враховує вплив вихрових струмів і, згідно [2], визначається вираженням

$$\mu_{ef} = \frac{2}{k \cdot a} \cdot \frac{I_1(k \cdot a)}{I_0(k \cdot a)}, \quad (2)$$

де $I_0(k \cdot a)$ й $I_1(k \cdot a)$ - відповідно функції Бесселя нульового й першого порядків.



Аргумент функції Бесселя в (2) дорівнює

$$k \cdot a = \sqrt{j \cdot \frac{f}{f_g}}. \quad (3)$$

Частота, що відповідає випадку, коли модуль аргументу дорівнює одиниці, називається межевою та визначається виразом

$$f_g = \frac{5066}{\mu \cdot \gamma \cdot d^2}. \quad (4)$$

У роботі [3] доведено, що ефективна магнітна проникність контрольованого матеріалу з достатньою точністю описується рівнянням

$$\mu_{ef} = \frac{2 \cdot \left[\sin\left(\frac{k \cdot a}{\sqrt{2}} - \frac{\pi}{2}\right) - j \cdot \cos\left(\frac{k \cdot a}{\sqrt{2}} - \frac{\pi}{8}\right) \right]}{\sqrt{j \cdot \frac{f}{f_g} \cdot \left[\cos\left(\frac{k \cdot a}{\sqrt{2}} - \frac{\pi}{2}\right) + j \cdot \sin\left(\frac{k \cdot a}{\sqrt{2}} - \frac{\pi}{8}\right) \right]}}. \quad (5)$$

З урахуванням вираження (4), співвідношення (5) прийме вигляд

$$\mu_{ef} = \frac{142,4}{d \sqrt{j \cdot f \cdot \mu \cdot \gamma}} \cdot \frac{\sin\left(0,01d \sqrt{f \cdot \mu \cdot \gamma} - \frac{\pi}{2}\right) - j \cdot \cos\left(0,01d \sqrt{f \cdot \mu \cdot \gamma} - \frac{\pi}{8}\right)}{\cos\left(0,01d \sqrt{f \cdot \mu \cdot \gamma} - \frac{\pi}{2}\right) + j \cdot \sin\left(0,01d \sqrt{f \cdot \mu \cdot \gamma} - \frac{\pi}{8}\right)}. \quad (6)$$

Позначивши

$$U = 0,01d \sqrt{f \cdot \mu \cdot \gamma} - \frac{\pi}{2}; \quad (7)$$

$$V = 0,01d \sqrt{f \cdot \mu \cdot \gamma} - \frac{\pi}{8},$$

одержимо

$$\mu_{ef} = \frac{142,4}{d \sqrt{j \cdot f \cdot \mu \cdot \gamma}} \cdot \frac{\sin U - j \cdot \cos V}{\cos U + j \cdot \sin V}. \quad (8)$$

Знайдено повне збільшення ефективної проникності при зміні електромагнітних властивостей контрольованого матеріалу



$$\partial\mu_{ef} = \frac{\frac{d\gamma}{\gamma} + \frac{d\mu}{\mu}}{d\sqrt{j \cdot f \cdot \mu \cdot \gamma}(\cos U + j \sin V)^2} \cdot \left\{ 1,4 j \cdot d \cdot \sin \frac{3\pi}{8} \sqrt{f \cdot \mu \cdot \gamma} - \right. \\ \left. - 71,2 \left[\cos \frac{3\pi}{8} \cdot \sin(U + V) + j \cdot \cos(U + V) \right] \right\}. \quad (9)$$

Раціональна частота намагнічуючого струму відповідну до максимального збільшення ефективної магнітної проникності при зміні електромагнітних властивостей матеріалу

$$f = \frac{25 \cdot 10^4 \pi^2}{84 d^2 \cdot \gamma \cdot \mu}. \quad (10)$$

Раціональна частота намагнічуючого струму обумовлюється як електромагнітними властивостями контрольованого матеріалу, так і його діаметром. Для ілюстрації приведемо приклад. Контрольований зразок має діаметр $d = 5 \cdot 10^{-3}$ м, електропровідність $\gamma = 4 \cdot 10^6$ I/Ом·м та відносну проникність $\mu = 1,95$. Значення раціональної частоти у відповідності зі співвідношенням (10)

$$f = \frac{25 \cdot 10^4 \pi^2}{84 \cdot (5 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 4 \cdot 10^6 \cdot 1,95} \approx 151 \text{ Гц.}$$

В окремому випадку, при контролі електропровідності матеріалів, співвідношення (9) прийме вигляд

$$\partial\mu_{ef} = \frac{k_1}{k} \cdot \frac{\partial\gamma}{\gamma}, \quad (11)$$

а при контролі магнітної проникності

$$\partial\mu_{ef} = \frac{k_1}{k} \cdot \frac{\partial\mu}{\mu}. \quad (12)$$

При використанні для визначення раціональної частоти годографів, наведених, наприклад в [4], раціональна частота відповідає відношенню f / f_g . Тоді одержимо $f_g = 5066 / 250 \approx 20,2$. Звідки $f = 8,4 \cdot 20,2 \approx 170$ Гц.

Як видно, результати розрахунків по співвідношенню (9) досить добре узгоджуються з результатами, які отриманими за допомогою



годографа комплексного опору перетворювача. Рациональна частота намагнічуючого струму прохідних струмовихрових перетворювачів відповідає максимальному значенню збільшення ефективної магнітної проникності, що викликана зміною електромагнітних властивостей контрольованого матеріалу.

Висновок:

- отримані співвідношення для розрахунків ефективної магнітної проникності залежать від частоти намагнічуючого струму, з урахуванням електромагнітних властивостей досліджуваних матеріалів;

- отримано аналітичне вираження для розрахунків раціональної частоти струмовихрового перетворювача з урахуванням геометричних параметрів і електромагнітних властивостей контрольованих матеріалів;

- спосіб контролю дефектів на ребрах прямокутних електропровідних шин кабельної продукції та методика розрахунку раціональних частот намагнічування прохідних датчиків дозволяє підвищити якість неруйнуючого експрес контролю та автоматизувати виробництво продукції у кабельній промисловості й трансформаторобудуванні.

Список використаних джерел

1. *Безотосный В.Ф.* Применение токовихревого баланса для контроля свойств материалов [Текст] / *В.Ф. Безотосный, В.В. Козлов, О.В. Набокова* // Вестн. национального технического университета "ХПИ". – 2014. - №48. – С. 56-59.

2. *Безотосный В.Ф.* Выбор рациональной частоты тока намагничивания токовихревых преобразователей при контроле материалов [Текст] / *В.Ф. Безотосный, В.В. Козлов, О.В. Набокова* // Электротехника и Электромеханика. - 2012. - №1.- С. 19 – 21.

3. *Безотосный В.Ф.* Учет энергетических факторов при расчете намагниченности ферромагнитных материалов [Текст] / *В.Ф. Безотосный, Э.В. Власенко* // Электротехника и электроэнергетика. – 2004. – №1. – С. 13 – 17.

4. *Безотосный В.Ф.* К вопросу повышения точности расчета выходных характеристик базового многофункционального магнитоупругого датчика [Текст] / *В.Ф. Безотосный, В.В. Козлов, О.В. Набокова* // Вестн. национального технического университета "ХПИ". – 2010. – №48. – С. 56–59.



К ВОПРОСУ АВТОМАТИЗАЦИИ И ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ КАБЕЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ТРАНСФОРМАТОРОСТРОЕНИЯ

Безотосный В.Ф, Козлов В.В, Набокова О.В.

Аннотация – рассмотрены вопросы автоматизации неразрушающего экспресс контроля толщины изоляции и дефектов в электропроводящих жилах и шинах кабельной промышленности и трансформаторостроения. Получены соотношения для расчета рациональной частоты намагничивания проходных датчиков.

TO THE QUESTION OF AUTOMATION AND QUALITY IMPROVEMENT OF CABLE PRODUCTS AND TRANSFORMER CONSTRUCTION

V. Bezotosnij, V. Kozlov, O. Nabokova

Summary

The questions of automation of nondestructive express control of insulation thickness and defects in electrically conductive veins and tires of the cable industry and transformer construction are considered. The relations for calculating the rational magnetization frequency of pass-through sensors are obtained.



УДК 631.371

АНАЛІЗ МЕТОДІВ СИНТЕЗУ ЧАСТОТ ДЛЯ МОЖЛИВОГО ЗАСТОСУВАННЯ В ДИСТАНЦІЙНІЙ РЕФЛЕКТОМЕТРІЇ

Борохов І.В., к.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел.: (06192)42-11-74

Анотація – проведено порівняльний аналіз методів синтезу частот для створення збуджувача рефлектометра дистанційного вимірювання діелектричних параметрів біологічних об'єктів. Наведено можливі схеми реалізації методів і їх порівняння.

Ключові слова: синтез частот, дистанційна рефлектометрія, збуджувач рефлектометра.

Постановка проблеми. При прагненні поліпшити показники з тих чи інших експлуатаційно-технічних характеристик системи синтезу частот (ССЧ), як правило, виникають протиріччя. Так, наприклад, щоб зменшити час установаження частоти вихідних коливачів, може виявитися необхідним примиритися з деяким підвищенням рівня побічних спектральних складових, а розширення діапазону, що перекривається, може змусити збільшити крок сітки частот і т. п. Пошуки рішень, що дозволяють отримати високі показники тому чи іншому комплексу основних експлуатаційно-технічних характеристик, вимагають створення численних типів ССЧ.

Аналіз останніх досліджень. В даний час існують безліч схем синтезу частот, які знаходять широке застосування для вимірювання електрофізичних параметрів речовин і матеріалів, але вони не можуть бути використані для дистанційного вимірювання діелектричних параметрів біологічних об'єктів через відсутність високої стабільності вихідного сигналу і малої широкополосності [1, 2].

Формулювання цілей статті. Обґрунтування вибору методу синтезу частот для подальшого створення збудника рефлектометричної системи для дистанційного вимірювання діелектричних параметрів біологічних об'єктів.

Основна частина. На основі аналізу різних способів синтезу частот була складена табл. 1. Синтез методом гармонік може бути виконаний з використанням пасивного або активного фільтра, що дозволяє отримати високі добротності. За рахунок цього забезпечується низь-



кий рівень фазових шумів у вихідному каскаді. Але при цьому частота вихідного сигналу відхиляється далеко від відповідної частоти [3, 4].

У приладах з прямим методом синтезу частот (рис. 1) використовується стабільний генератор з кількома каскадами гармонійних множувачів і змішувачів, що забезпечує широкий вибір частот на виході. При множенні та діленні f_0 отримують ряд сигналів частот $f_0 n_1$ і f_0 / n_2 , де n_1 і n_2 будь-які цілі числа. Послідовне застосування цих операцій дозволяє отримати сигнали з частотами $f_0 n_1 / n_2$. За допомогою змішувача утворюються сигнали комбінаційних частот. Великого поширення набули декадні синтезатори, в яких сітка частот визначається співвідношенням

$$f_{\text{вих}} = f_0 [M + 10^m (n_1 + 0,1n_2 + 0,01n_3 + 0,001n_4 + \dots)], \quad (1)$$

де n_1, n_2, n_3, \dots - цілі числа натурального ряду від 0 до 9;

M і m - фіксовані величини, які визначають діапазон частот синтезатору.

Таблиця 1 – Переваги методів синтезу [1, 3, 4, 6].

Методи синтезу	Характеристики						
	Діапазон частот	Крок сітки частот	Стабільність частоти	Швидкість дії	Спектральна чистота	Споживана потужність	Габаритно-масові характеристики
Синтез гармонік	см, мм				+		
Прямий	см	+		+			
Непрямий	см, мм		+		+	+	+

При малих кроках (наприклад, 0,01 Гц) вже не має значення, що $f_{\text{вих}}$ змінюється дискретно, а не плавно. Частотна декада перетворює одну з опорних частот f_i в кілька частот в межах одного десяткового розряду. Число цих частот визначається конкретним видом співвідношення (2)

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2)$$

При прямому синтезі кожна декада є генератором гармонік f_i , які виділяються за допомогою смугових фільтрів. Декади вміщують у собі зазвичай один або два змішувача в поєднанні з роздільником частоти в 10 разів і включаються послідовно або паралельно. Верхня межа частоти в таких синтезаторах досягає сотень мегагерц (500 МГц) [3].

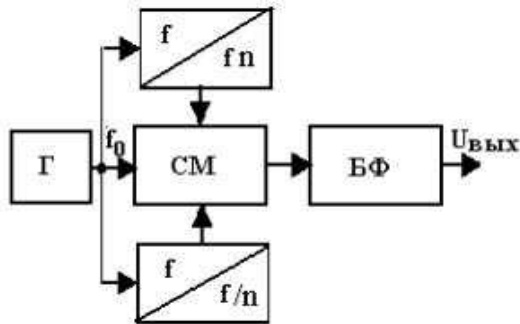


Рис. 1. Можлива схема прямого методу синтезу

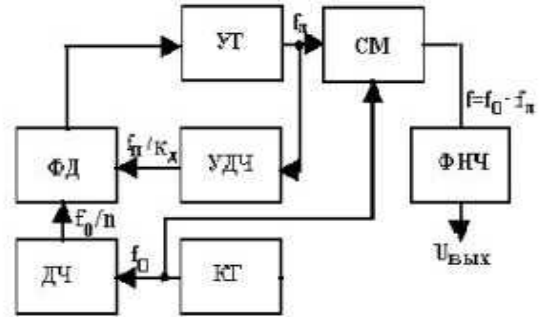


Рис. 2. Можлива схема непрямого синтезу частот

При непрямому синтезі частот кожна декада має кільце фазової автопідстройки частоти (ФАПЧ) і може виконуватися як з множенням, так і з розподілом частоти. На рис. 2 показана одна з можливих схем непрямого синтезу частот. Напряга частотою f_n/K_d (K_d - коефіцієнт ділення УДЧ) з виходу керованого генератора (УГ) через керований дільник частоти (УДЧ) надходить на один вхід фазового детектора (ФД), на другий вхід якого з кварцевого генератора (КГ) через дільник частоти (ДЧ) надходять опорні коливання з частотою f_0/n (n - коефіцієнт розподілу ДЧ). В результаті порівняння фаз двох коливань на виході ФД формується напруга, яка, змінює вихідну частоту УГ і пропорційно інтегралу від різниці частот f_n/K_d і f_0/n .

Вихідні коливання УГ і КГ змішуються в змішувачі (СМ), на виході якого буде сигнал з частотою $f=f_0-f_n$. ФНЧ призначений для пригнічення вищих гармонік різницевої частоти. Змінюючи коефіцієнт ділення УДЧ, можна перебудовувати частоту вихідних сигналів в широких межах. При відповідному виборі значення f_0 (для деяких схем f_0 в межах 1-10 МГц) можна за допомогою одного синтезатора перекрити діапазони інфранизьких, низьких і високих частот [3, 5].

Слід зазначити, що метод непрямого синтезу ефективний і в СВЧ діапазоні, але при цьому схеми фазового автопідстроювання значно ускладнюються і передбачають послідовне перетворення частот НВЧ генератора. Похибка установки частоти в таких синтезаторах може бути $(10^{-5}-10^{-3})\%$. Недоліком є відносно високий рівень нелінійних викривлень (0,2 - 0,5)%.

Висновок. На основі аналізу різних способів синтезу частот можна зробити висновок про те, що для забезпечення необхідних для дистанційної рефлектометрії біооб'єктів характеристик, можна використовувати тільки синтезатори частоти, які засновані на непрямому методі.

Список використаних джерел.

1. Завьялов А.С. Измерение параметров материалов на СВЧ / А.С. Завьялов. – Томск.: Издательство Томского университета, 1985.–215 с.



2. Щеголева Т.Ю. Исследование диэлектрических характеристик биообъектов / Т.Ю. Щеголева. – К.: Наукова думка, 2006. – 285с.

3. Зарецкий М.М. Синтезаторы частоты с кольцом фазовой автоподстройки / М.М. Зарецкий, М.Е. Мовшович. – Л.: «Энергия», 1974. – 256 с.

4. Губернаторов О.И. Цифровые синтезаторы частот радиотехнических систем. / О.И. Губернаторов, Ю.Н. Соколов. – Л.: «Энергия», 1973. – 176с.

5. Белов С. И. Расширение диапазонов субмиллиметрового синтезатора частот до 820 ГГц. / С. И. Белов, Л. И.Герштейн, А. С. Масловский // Тезисы 3-го Всесоюзного симпозиума по ММ и СВ волнам. – Горький. – 1980. – С. 191 – 192.

6. Андриянов А.В. Радиоимпульсный рефлектометр наносекундного диапазона / Андриянов А.В., Булатов Е.И., Введенский Ю.В. // Приборы и техника эксперимента. – 1977. – № 2. – С. 141 – 154.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ СИНТЕЗА ЧАСТОТ ДЛЯ ВОЗМОЖНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИСТАНЦИОННОЙ РЕФЛЕКТОМЕТРИИ

Борохов И. В.

Аннотация – проведен сравнительный анализ методов синтеза частот для создания возбудителя рефлектометра дистанционного измерения диэлектрических параметров биологических объектов. Приведены возможные схемы реализации методов и проведено их сравнение.

ANALYSIS OF THE METHODS OF FREQUENCY SYNTHESIS FOR POSSIBLE USE OF REMOTE REFLECTOMETRY

I. Borochov

Summary

A comparative analysis of methods for synthesis of frequencies to create a exciter remote measurement of dielectric parameters of biological objects. The possible implementation schemes and methods of comparison.



УДК 621.313.333.004.58

ЕКСПЛУАТАЦІЙНИЙ КОНТРОЛЬ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ ОСЕРДЯ ТА МЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ

**Вовк О.Ю., к.т.н.,
Квітка С.О., к.т.н.,
Квітка О.С.**

*Таврійський державний агротехнологічний університет
Філія м. Миколаєва Центрального округу ПАТ «Миколаївобленерго»
Тел. (0619) 42-32-63*

Анотація – Робота присвячена обґрунтуванню способу проведення дослідження холостого ходу асинхронного електродвигуна в експлуатації та методиці опрацювання отриманих у ньому результатів з метою визначення функціонального стану осердя та механічної системи асинхронних електродвигунів при періодичному контролі.

Ключові слова: асинхронний електродвигун, експлуатаційний контроль, функціональний стан, дослід холостого ходу, втрати потужності, осердя, механічна система.

Постановка проблеми. Сучасний електропривод, що реалізує процеси електромеханічного перетворення енергії, в основному базується на використанні у якості приводних пристроїв асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором і є конструктивно не складним [1]. При експлуатації вказаних електродвигунів виникають відхилення його параметрів від номінальних значень, які викликані технологічними похибками виготовлення електродвигунів, неправильними режимами експлуатації або роботи, зношенням під час експлуатації [2]. Тому експлуатація даного класу двигунів в даний час пов'язана з багатьма проблемами. Одна з яких – це їх невисока експлуатаційна надійність внаслідок щорічного виходу з ладу та ремонту близько 30 % зазначених електродвигунів, час напрацювання на відмову становить 0,5 ... 1,5 роки [3].

У процесі експлуатації асинхронних електродвигунів, встановлених у господарствах агропромислового комплексу, відмови відбуваються головним чином за такими причинами: ушкодження обмотки статора (приблизно 80 % відмов); ушкодження підшипників (приблизно 15 % відмов); ушкодження інших елементів (приблизно 5 %) [4].



У той же час асинхронні електродвигуни з короткозамкненим ротором, що відмовили внаслідок ушкоджень обмотки статора, мають ослаблення перетину стрижнів обмотки ротора (близько 27 %); повітряний зазор, що перевищує своє номінальне значення (близько 68 % двигунів); зношені підшипники (близько 69 % двигунів) і т.д. [5, 6]. На підставі цих даних можна зробити висновок, що ушкодження обмотки статора спричиняють не тільки несправності в самій обмотці, але й несправності в інших елементах конструкції електродвигуна, а саме – у механічній системі та осерді.

Аналіз останніх досліджень. Існуючі методи послідовного тестового функціонального аналізу засновано на послідовному визначенні показників роботоздатності основних вузлів асинхронного електродвигуна (обмоток статора і ротора, магнітопроводу і підшипників). По відхиленню поточних значень обраних показників від припустимих значень визначають несправний вузол електродвигуна. Найчастіше контроль починають з обмотки статора, як вузла двигуна, що найбільш пошкоджується, і закінчують магнітопроводом. Тому перед тим, як визначити несправність у осерді електродвигуна, необхідно виконати значну кількість операцій щодо контролю інших вузлів асинхронного електродвигуна, а це призводить до нераціонального використання обладнання і часу, який відведено для діагностування електродвигуна. Крім цього, для діагностування можуть застосовуватись різноманітні методи вібродіагностики або спектрального аналізу, головним недоліком яких є вартість їхньої технічної реалізації [7, 8].

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Згідно [9] більшість несправностей окремих вузлів електродвигуна супроводжуються підвищенням виділенням тепла в несправному вузлі в порівнянні з номінальним станом: виткові або міжфазні замикання в обмотці статора призводять до збільшення її нагрівання; руйнування міжлистової ізоляції осердя статора призводить до його підвищеного нагрівання; обрив стрижня обмотки ротора призводить до зростання її нагрівання; руйнування сепаратора, кульок або роликів у підшипниках кочення призводить до збільшення сили тертя й, як наслідок, до зростання нагрівання підшипників і т.д. Таким чином, погіршення функціонального стану осердя та механічної системи асинхронного електродвигуна проявляється у вигляді збільшення втрат активної потужності відповідно у магнітопроводі та у механічній системі.

Для контролю зазначених втрат потужності пропонується застосовувати дослід холостого ходу. Але проведення вказаного дослідження в експлуатаційних умовах занадто складне через те, що потребує наявності регулятора напруги. Тому в роботі поставлене завдання обґрунтувати спосіб проведення дослідження холостого ходу в експлуатаційних

умовах та параметри періодичного контролю функціонального стану осердя та механічної системи асинхронного електродвигуна.

Основна частина. Розглянемо спосіб проведення досліду холостого ходу, у якому в якості регулятора напруги використовується асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором, що має регульоване навантаження на валу (наприклад, електродвигун приводу відцентрового вентилятора).

Проаналізуємо електричне коло, що складається з двох послідовно з'єднаних електродвигунів, один з яких працює без навантаження, а інший – з регульованим навантаженням на валу. Розглянемо одну фазу кола, замінивши фази електродвигунів Г-подібними схемами заміщення (рис.1).

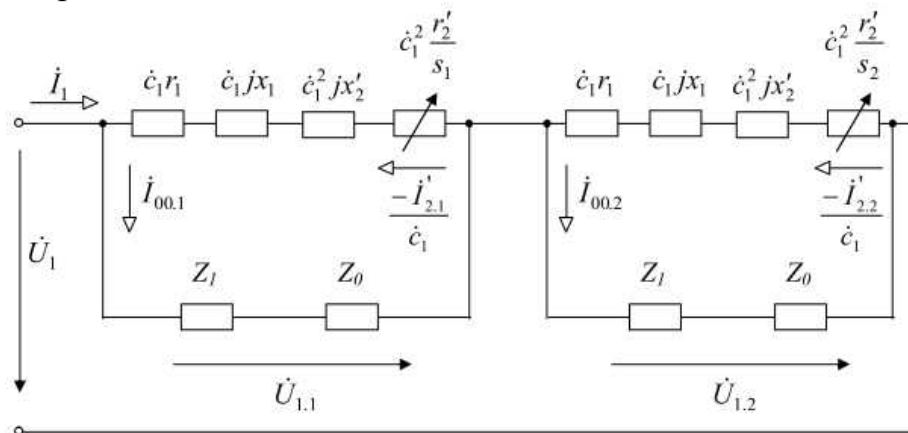


Рис. 1. Г-подібна схема заміщення однієї фази кола, що складається з двох послідовно з'єднаних асинхронних електродвигунів

Прийmemo наступні припущення: електродвигуни однакові, параметри схеми заміщення постійні. В якості регулятора напруги застосовано перший електродвигун (індекс «1»), а другий електродвигун (індекс «2») – такий, що діагностується.

Напруга на затискачах кола (рис.1) дорівнює

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_{1.1} + \dot{U}_{1.2} = \dot{I}_1 Z_{1.1} + \dot{I}_1 Z_{1.2}, \quad (1)$$

де \dot{U}_1 – напруга на затискачах кола, В;

$\dot{U}_{1.1}$ – напруга на затискачах електродвигуна, що застосовано у якості регулятора напруги, В;

$\dot{U}_{1.2}$ – напруга на затискачах електродвигуна, що діагностується, В;

\dot{I}_1 – сила струму в колі, А;

$Z_{1.1}$ – повний опір електродвигуна, що застосовано у якості регулятора напруги, Ом;



$Z_{1,2}$ – повний опір електродвигуна, що діагностується, Ом.

Сила струму в колі дорівнює

$$I_1 = \frac{\dot{U}_1}{Z_{1,1} + Z_{1,2}}. \quad (2)$$

Напруга на затискачах асинхронного електродвигуна, що діагностується, дорівнює

$$\dot{U}_{1,2} = I_1 \cdot Z_{1,2} = \frac{\dot{U}_1 \cdot Z_{1,2}}{Z_{1,1} + Z_{1,2}} = \frac{\dot{U}_1}{\frac{Z_{1,1}}{Z_{1,2}} + 1}. \quad (3)$$

Повні опори асинхронних електродвигунів дорівнюють:

$$Z_{1,1} = \frac{\left(\dot{c}_1 r_1 + \dot{c}_1 j x_1 + \dot{c}_1^2 j x_2 + \dot{c}_1^2 r_2' \frac{1}{s_1} \right) \cdot (Z_1 + Z_0)}{\dot{c}_1 r_1 + \dot{c}_1 j x_1 + \dot{c}_1^2 j x_2 + \dot{c}_1^2 r_2' \frac{1}{s_1} + Z_1 + Z_0}; \quad (4)$$

$$Z_{1,2} = \frac{\left(\dot{c}_1 r_1 + \dot{c}_1 j x_1 + \dot{c}_1^2 j x_2 + \dot{c}_1^2 r_2' \frac{1}{s_2} \right) \cdot (Z_1 + Z_0)}{\dot{c}_1 r_1 + \dot{c}_1 j x_1 + \dot{c}_1^2 j x_2 + \dot{c}_1^2 r_2' \frac{1}{s_2} + Z_1 + Z_0}. \quad (5)$$

Уведемо наступні позначення:

$$Z'' = \dot{c}_1 r_1 + \dot{c}_1 j x_1 + \dot{c}_1^2 j x_2; \quad (6)$$

$$Z'_0 = Z_1 + Z_0. \quad (7)$$

В підсумку отримаємо:

$$Z_{1,1} = \frac{\left(Z'' + \dot{c}_1^2 r_2' \frac{1}{s_1} \right) \cdot Z'_0}{Z'' + \dot{c}_1^2 r_2' \frac{1}{s_1} + Z'_0}; \quad (8)$$



$$Z_{1.2} = \frac{\left(Z''_{II} + \dot{c}_1^2 r'_2 \frac{1}{s_2} \right) \cdot Z'_0}{Z''_{II} + \dot{c}_1^2 r'_2 \frac{1}{s_2} + Z'_0}. \quad (9)$$

Ковзання s_2 другого електродвигуна, який постійно працює на холостому ході, при зміні напруги практично не змінюється. Тому повний опір схеми заміщення фази другого електродвигуна можна вважати за будь-якої напруги величиною постійною, тобто

$$Z_{1.2} = \frac{\left(Z''_{II} + \dot{c}_1^2 r'_2 \frac{1}{s_2} \right) \cdot Z'_0}{Z''_{II} + \dot{c}_1^2 r'_2 \frac{1}{s_2} + Z'_0} = const. \quad (10)$$

Тоді сила струму в колі буде визначатись параметрами схеми заміщення і ковзанням s_1 першого електродвигуна, яке буде залежати від навантаження на його валу

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_1}{\frac{\left(Z''_{II} + \dot{c}_1^2 r'_2 \frac{1}{s_1} \right) \cdot Z'_0}{Z''_{II} + \dot{c}_1^2 r'_2 \frac{1}{s_1} + Z'_0} + Z_{1.2}}. \quad (11)$$

Перетворимо (11) до вигляду

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_1}{\frac{(s_1 Z''_{II} + \dot{c}_1^2 r'_2) \cdot Z'_0}{s_1 Z''_{II} + \dot{c}_1^2 r'_2 + s_1 Z'_0} + Z_{1.2}}. \quad (12)$$

Аналіз рівняння (12) показує, що перша складова знаменника дробу, яка являє собою комплекс повного опору схеми заміщення фази першого електродвигуна, тобто

$$Z_{1.1} = \frac{Z'_0 \cdot (s_1 Z''_{II} + \dot{c}_1^2 r'_2)}{s_1 \cdot (Z''_{II} + Z'_0) + \dot{c}_1^2 r'_2}, \quad (13)$$

залежить від ковзання s_1 . При збільшенні ковзання комплекс повного опору зменшується, тому що знаменник у (13) при зростанні s_1 збільшується більше, ніж чисельник. Тому струм \dot{I}_1 зростає і збільшується напруга $\dot{U}_{1.2}$.



Таким чином, регулюючи ковзання s_1 першого асинхронного електродвигуна, можна змінювати напругу на затискачах другого електродвигуна, який працює на холостому ході, тобто проводити дослід холостого ходу цього двигуна.

Визначимо можливий діапазон регулювання напруги у досліді холостого ходу на затискачах електродвигуна, що діагностується. Для цього дослідимо рівняння (3). Перепишемо його у наступному виді

$$\dot{U}_{1.2} = \frac{\dot{U}_1}{1 + m \cdot e^{j\psi}}, \quad (14)$$

де m – відношення модулів комплексів повних опорів $Z_{1.1}$ і $Z_{1.2}$;

ψ – різниця між кутами зсуву фаз електродвигунів.

Для приблизної оцінки діапазону регулювання напруги приймемо, що $\psi = 0$. Якщо електродвигуни мають однакову потужність, то при зміні s_1 значення $m \leq 1$. Тоді отримуємо наступний діапазон регулювання напруги на затискачах асинхронного електродвигуна, що діагностується

$$0,5 \cdot \dot{U}_1 \leq \dot{U}_{1.2} < \dot{U}_1. \quad (15)$$

Значення напруги U_1 приймається рівним номінальному значенню. У випадку, якщо потужність електродвигуна, що діагностується, менша за потужність електродвигуна – регулятора напруги, то діапазон регулювання напруги буде звужений.

За результатами досліді холостого ходу при номінальній напрузі необхідно визначити втрати в магнітопроводі ($\Delta P_{мг.н}$) і механічні втрати ($\Delta P_{мх.н}$). Сума цих втрат дорівнює різниці між потужністю, споживаною електродвигуном у досліді холостого ходу, і втратами активної потужності у обмотці статора у цьому досліді.

Уведемо позначення

$$\Delta P_{const} = \Delta P_{мг} + \Delta P_{мх}. \quad (16)$$

Розглянемо залежність $\Delta P_{const} = f(U_1^2)$. Вона являє собою пряму лінію [6], яка розташована на площині у правій верхній чверті прямокутної системи координат (рис.2). У цій системі координат по вісі абсцис відкладають U_1^2 , а по вісі ординат – ΔP_{const} .

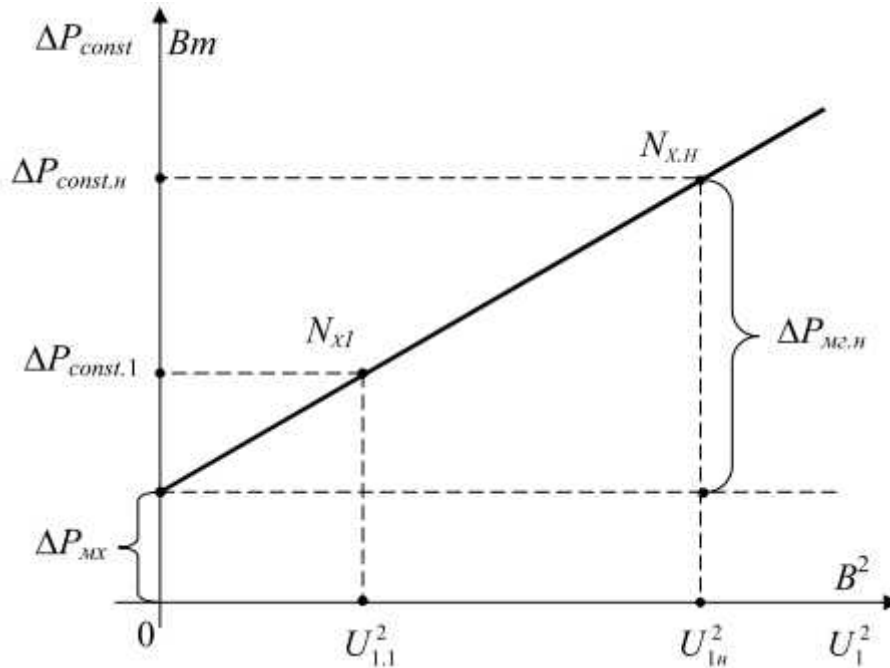


Рис. 2. Загальний вигляд залежності $\Delta P_{const} = f(U_1^2)$ для асинхронного електродвигуна

За результатами дослідження холостого ходу маємо координати точки $N_{x,H}$ ($U_{1H}^2; \Delta P_{const,H}$), які визначені при номінальній напрузі U_{1H} , і координати точки N_x ($U_{1,1}^2; \Delta P_{const,1}$), які визначені при зниженій напрузі $U_{1,1}$. Через ці точки проходить пряма $\Delta P_{const} = f(U_1^2)$, яка описується наступним рівнянням

$$\frac{U_1^2 - U_{1,1}^2}{U_{1H}^2 - U_{1,1}^2} = \frac{\Delta P_{const} - \Delta P_{const,1}}{\Delta P_{const,H} - \Delta P_{const,1}}, \quad (17)$$

де U_1^2 – поточне значення квадрата напруги на затискачах електродвигуна, B^2 ;
 ΔP_{const} – поточне значення суми страт в магнітопроводі та механічних втрат в електродвигуні, Bm .

Перетворимо (17) до вигляду

$$(\Delta P_{const,H} - \Delta P_{const,1}) \cdot U_1^2 + (U_{1,1}^2 - U_{1H}^2) \cdot \Delta P_{const} + U_{1H}^2 \cdot \Delta P_{const,1} - U_{1,1}^2 \cdot \Delta P_{const,H} = 0. \quad (18)$$

Для визначення $\Delta P_{mx,H}$ необхідно знайти координати точки перетину прямої (18) з віссю ординат, тобто з прямою, яка задана рівнянням $U_1^2 = 0$. Ця точка буде мати абсцису $U_1^2 = 0$, а ординату



$\Delta P_{const} = \Delta P_{mx.n}$. Тоді механічні втрати в електродвигуні будуть дорівнювати

$$\Delta P_{mx.n} = \frac{U_{1n}^2 \cdot \Delta P_{const.1} - U_{1.1}^2 \cdot \Delta P_{const.n}}{U_{1n}^2 - U_{1.1}^2}. \quad (19)$$

У свою чергу, втрати в магнітопроводі при номінальній напрузі будуть дорівнювати

$$\Delta P_{mg.n} = \Delta P_{const.n} - \Delta P_{mx.n}. \quad (20)$$

Для визначення функціонального стану магнітопроводу дослід холостого ходу необхідно проводити протягом експлуатації за одних і тих же умов запропонованим способом та порівнювати між собою втрати в магнітопроводі, значення яких отримано при базовому діагностуванні на початку експлуатації, з поточним значенням. У випадку їх збільшення магнітопровід буде мати неномінальний функціональний стан (тобто у ньому з'явилися певні несправності, які встановлюються при детальному діагностуванні). Аналогічним чином необхідно поступати і для визначення функціонального стану механічної частини.

Висновок. Таким чином, запропонований спосіб проведення дослідів холостого ходу за допомогою електродвигуна з регульованим навантаженням на валу та методика опрацювання отриманих у ньому результатів дозволяють здійснювати експлуатаційний контроль функціонального стану осердя і механічної системи асинхронного електродвигуна.

Список використаних джерел.

1. Кузнецов В.В. О моделях функционирования асинхронного двигателя в условиях некачественной электроэнергии / В.В. Кузнецов, А.В. Николенко // Восточноевропейский журнал передовых технологий – 2015. – №1/8(73). – С.37–42.
2. Сафин Н.Р. Диагностика неисправностей асинхронных двигателей на основе спектрального анализа токов статора / Н.Р. Сафин, В.А. Прахт, В.А. Дмитриевский, А.А. Дмитриевский, В.М. Казакбаев // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2014. – № 3(57). С.34–39.
3. Закладной А.Н. Методы оценки срока службы асинхронных электродвигателей / А.Н. Закладной, О.А. Закладной // Энергетика та електрифікація. – 2004. – № 4. – С.63–67.
4. Зюзев А.М. Учет колебаний температуры обмотки статора асинхронного двигателя при проверке по нагреванию в повторно-кратковременном режиме / А.М. Зюзев, В.П. Метельков //



Известия Томского политехнического университета. – 2015. – Т.326, № 4. – С.146–153.

5. *Русан В.И.* Диагностика электрооборудования / *В.И. Русан.* – Минск: БГАТУ, 2010. – 220 с.

6. *Таран В.П.* Диагностирование электрооборудования / *В.П. Таран.* – К.: Техніка, 1983. – 200с.

7. *Сидельников Л.Г.* Обзор методов контроля технического состояния асинхронных двигателей в процессе эксплуатации / *Л.Г. Сидельников, Д.О. Афанасьев* // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2013. – № 7. – С.127–137.

8. *Вахромеев О.С.* Современные методы диагностики электро-механических систем / *О.С. Вахромеев, Р.Т. Каримов, А.И. Надеев* // Вестник АГТУ. – 2006. – № 2(31). – С.51–55.

9. *Гемке Р.Г.* Неисправности электрических машин / Под ред. *Р.Б. Уманцева / Р.Г. Гемке.* – Л.: Энергоатомиздат, 1989. – 336с.

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ СЕРДЕЧНИКА И МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Вовк А.Ю., Квитка С.А., Квитка А.С.

Аннотация – работа посвящена обоснованию способа проведения исследования холостого хода асинхронного двигателя во время эксплуатации и методики обработки полученных результатов с целью определения функционального состояния сердечника и механической системы асинхронных электродвигателей при периодическом контроле.

OPERATIONAL CONTROL FUNCTIONAL STATUS AND MECHANICAL SYSTEMS CORE ASYNCHRONOUS MOTORS

O. Vovk, S. Kvitka, O. Kvitka

Summary

The activity is dedicated to substantiation method of experiment induction motor idling operation and methods of processing it received the results to determine the functional state of the core and the mechanical system of induction motors with periodic controls



УДК 631.436

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗНОСА ПРЕЦИЗИОННЫХ ПАР ТНВД ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СРЕДСТВА МТА

Вороновский И.Б., к.т.н.

Таврический государственный агротехнологический университет

Тел/факс: 8(0619)42-23-41, 063-206-02-62

Аннотация – в статье рассматривается процесс износа прецизионных пар ТНВД, его влияние на надежность топливной системы дизельного двигателя и эксплуатационные показатели машинно-тракторного агрегата (МТА) в зависимости от загрязненности дизельного топлива.

Ключевые слова: дизельное топливо, надежность, износ, топливная система, эксплуатационные показатели МТА.

Постановка проблемы. Надежную работу дизеля во многом определяет работоспособность его топливной аппаратуры, которая находится в прямой зависимости от состояния (изношенности) прецизионных деталей, основными из которых являются плунжерные пары топливного насоса. Существующие топливные фильтры автотракторных дизелей при их эксплуатации в запыленных условиях сельскохозяйственного производства пропускают в зазор прецизионных сопряжений абразивные частицы размером до 10 мкм. Наибольшее снижение ресурса абразивный износ вызывает в топливных насосах распределительного типа серии НД, вследствие большей цикличности работы плунжерной пары. Поэтому вопрос о снижении абразивного износа в насосах распределительного типа имеет большое значение.

Анализ последних исследований. Ведущим видом изнашивания прецизионных деталей топливоподающей аппаратуры является абразивный, который, в свою очередь, можно разделить на износ абразивными частицами, размер которых в каждый момент наработки меньше радиального зазора прецизионной пары, и износ, в результате защемления абразивных частиц, размер которых несколько больше радиального зазора прецизионной пары [1, 2, 3].

Существующие работы Д.Ф. Гуревича, В.В. Антипова, М.М. Хрущева, М. Бабичева, посвященные теории износа плунжерных пар, далеко не полно раскрывают большое многообразие сложных и скоротечных процессов, которые происходят при износе деталей плунжерных пар. При этом принимаются различные условности, далекие



от действительных условий работы плунжерной пары. Так, например, в работах Д.Ф. Гуревича принимается, что причиной основного износа являются абразивные частицы, величина которых меньше зазора между сопряженными деталями. Но реальная картина местных износов поверхностей плунжерных пар значительно отличается от результатов расчетов износа по данной теории.

Формулировка целей статьи (постановка задания). Целью статьи является теоретическое исследование процесса износа плунжерной пары топливного насоса, его влияние на надежность топливной системы дизельного двигателя и эксплуатационные характеристики работы МТА в зависимости от загрязненности дизельного топлива механическими примесями и водой.

Основные материалы исследования (основная часть). Процесс эксплуатации сельскохозяйственной техники происходит в сложных условиях. В зависимости от условий эксплуатации МТА концентрация пыли в воздухе колеблется в широких пределах и в некоторых районах юга Украины достигает 5 г/м^3 . Это отрицательно влияет на работоспособность систем двигателя, в том числе на работоспособность топливной аппаратуры. При работе МТА при запыленности воздуха $1,1 \dots 2,5 \text{ г/м}^3$ содержание загрязняющих примесей в топливе к моменту его выработки в 2-3 раза больше, чем при заправке.

Установлено, что загрязнению топлива способствует и то, что во время работы МТА в объеме бака создается разрежение и туда подсасывается пыль. То есть, в топливных баках имеет место "большое дыхание" при расходе топлива во время работы дизеля и "малое дыхание" при температурных расширениях топлива. Вместе с тем, топливные фильтры тракторных дизелей не обеспечивают достаточной степени очистки топлива от механических примесей, которые затем проникают к прецизионным деталям топливной аппаратуры [4, 5].

В.В. Антипов [1] предложил объемный износ деталей плунжерных пар представить суммой

$$G = G_1 + G_2 + G_3, \quad (1)$$

где G - суммарный износ плунжера, мм^3 ;

G_1 - износ за счет действия абразивных частиц с размерами, несколько меньшими величины зазора, мм^3 ;

G_2 - износ за счет действия абразивных частиц, размер которых превышает зазор плунжерной пары, мм^3 ;

G_3 - износ за счет действия гидроабразивного потока, мм^3 .

Величина износа G_1 при этом находится по теории предложенной Д.Ф. Гуревичем [2], а величины G_2 и G_3 на основании данных экспериментальных исследований необходимо принимать



$$G_2 = (0,2...0,85) \cdot G_1, G_3 = 0,05 \cdot (G_1 + G_2). \quad (2)$$

Очевидно, что такое решение задачи довольно условно и не может полно оценить физический процесс изнашивания плунжерной пары частицами, размер которых больше зазора пары, т.е. износ G_2 .

В результате своих исследований В.В. Антипов [1] предложил величину износа G_2 вызываемого абразивными частицами, размер которых больше величины зазора плунжерной пары считать приблизительно равной:

$$G_2 = (0,2...0,35) \cdot G_1, \text{ при зазоре плунжерной пары } 0,6 \text{ мкм} \leq l \leq 2 \text{ мкм};$$

$$G_2 = (0,4 \dots 0,87) \cdot G_1, \text{ при зазоре плунжерной пары } 2 \text{ мкм} \leq l \leq 6 \text{ мкм},$$

где G_1 - износ, вызываемый абразивными частицами, размер которых в каждый период наработки меньше зазора плунжерной пары.

Такое определение величины износа абразивными частицами, размер которых больше зазора плунжерной пары нами считается весьма условным, в силу следующих причин:

- не учитываются параметры факторов вызывающих износ;
- не учитываются параметры плунжерной пары и свойства ее материала;
- зависимость G_2 от G_1 можно считать прямо пропорциональной только в малом диапазоне изменения величины зазора плунжерной пары l , а также зернистости абразива $d_{аб}$;
- значение коэффициента пропорциональности находится в широком пределе, от 0,2 до 0,87 и может быть определено только для каких-то строго определенных параметров абразива и плунжерной пары путем трудоемких износных испытаний с последующей обработкой результатов;
- также ошибочный расчет G_1 ведет к ошибке в расчете G_2 .

Для определения величины износа G_2 воспользуемся работами [1, 5, 6, 7], в которых предлагается расчет износа частицами абразива, размер которых больше зазора плунжерной пары определять при заземлении их в изменяющемся зазоре пары при так называемом «дыхании» втулки, т.е. при изменении зазора в плунжерной паре вследствие упругих деформаций втулки под действием давления в надплунжерной полости.

Методика этих расчетов, несмотря на некоторые условности, имеет четкий физический смысл и при расчете износа учитывает основные параметры, как абразивного материала, так и плунжерной пары.

Нами предложено в данную методику расчета величины износа абразивом, размер частиц которого в каждый период износа больше величины зазора плунжерной пары внести существенное дополнение,

а именно, рассчитывать защемление абразивных частиц не только в результате временного увеличения зазора втулки вследствие ее деформаций (рис. 1, а), но и принимать во внимание защемление абразивных частиц в зазоре в зоне впускного окна (рис. 1, б).

Анализ круглограмм [1, 6, 7] поверхностей изношенных прецизионных деталей показал, что износ имеет локальный характер, основные зоны износа расположены в районе впускных окон, причем впадины у плунжера имеют увеличивающуюся глубину по направлению к верхней торцовой поверхности (с неизношенной поверхностью образуют угол $\gamma_{пл}$ на рис. 1, б), а соответствующие впадины у гильзы в этом направлении имеют уменьшающуюся глубину (с неизношенной поверхностью образуют угол $\gamma_{вт}$ на рис. 1, б). Величина износа у отсечного окна в несколько раз меньше, но характер изменения величины зазора аналогичен, впадины плунжера у отсечного окна имеют увеличивающуюся глубину по направлению к отсечной кромке, а соответствующие впадины у дозатора, в этом направлении имеют уменьшающуюся глубину.

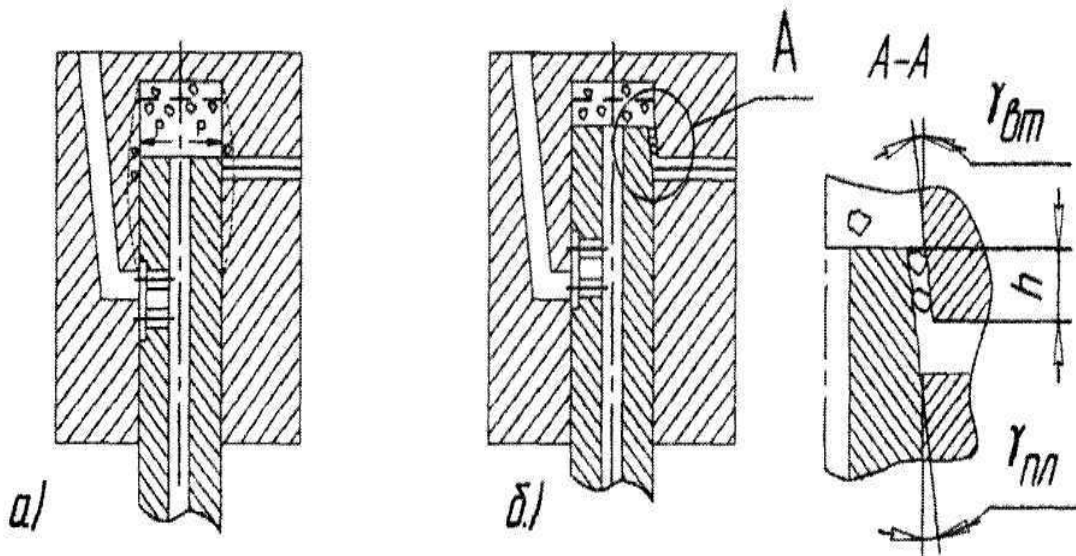


Рис. 1. Схемы защемления в зазорах плунжерной пары абразивных частиц, размер которых в период наработки больше зазора пары

О неравномерности износа по осевому направлению плунжера и втулки свидетельствуют полученные результаты измерения гидроплотности плунжерных пар серии НД при осевом перемещении плунжера относительно втулки.

Такая закономерность износа объясняется прямо пропорциональной зависимостью величины износа G_I от величины утечек $Q_{ум}$, которая, в свою очередь, обратно пропорциональна длине уплотняющей поверхности L . Таким образом, при нагнетательном ходе плунжера длина уплотняющей поверхности L в районе впускных окон увеличивается, это ведет к уменьшению объема утечек во впускные окна $Q_{ум}$



в результате чего износ G_1 плунжерной пары абразивными частицами, размер которых меньше зазора плунжерной пары уменьшается (рис 1, б).

В районе отсечных окон, наоборот, при нагнетательном ходе плунжера длина уплотняющей поверхности уменьшается, это ведет к увеличению объема утечек и, как следствие, увеличению износа.

Такой характер износа приводит к тому, что по мере нагнетания топлива плунжером в районе впускного окна происходит уменьшение зазора, у отсечного окна наоборот, происходит увеличение зазора от минимальной до максимальной величины к моменту отсечки подачи. Эти изменения зазоров в зависимости от перемещения плунжера описываются уравнениями:

$$I_{en} = I_{en.max} - h \cdot \sin \gamma_{en} \quad (3)$$

$$I_{omc} = I_{omc.max} + h \cdot \sin \gamma_{omc} \quad (4)$$

где I_{en} , I_{omc} - зазоры соответственно в зонах впускного и отсечного окон, мкм;

γ_{en} , γ_{omc} - углы наклона изношенных поверхностей к неизношенным в тех же зонах;

$I_{en.max}$ - максимальное значение зазора в зоне впускного окна, мкм

$I_{omc.min}$ - минимальное значение зазора в зоне отсечного окна, мкм;

h - величина перемещения плунжера от геометрического начала подачи.

В виду незначительной величины углов γ_{en} , γ_{omc} длину уплотняющей поверхности L (рис. 1) можно приравнять к величине перемещения плунжера h .

Из формул (3) и (4) следует, что после перекрытия впускных окон гильзы верхним торцом плунжера при его нагнетательном ходе в зоне впускных окон происходит уменьшение зазора, ведущее к защемлению абразивных частиц, попавших в уменьшающийся зазор вместе с топливом утечек. В районе отсечных окон вследствие увеличения зазора, защемление абразивных частиц не происходит, износ вызывают только частицы, проходящие с потоком утечки, т.е. частицы, размер которых меньше зазора пары в этом месте.

В отличие от втулок плунжерных пар насосов рядного типа (где по данным исследований увеличение зазора достигает 3 мкм), деформации втулок плунжерных пар насосов распределительного типа вследствие большей толщины их стенок значительно меньше и не превышает 1 мкм [7].



Объем одной абразивной частицы, участвующей в износе при защемлении, а также их количество в 1 м³ находятся с той лишь разницей, что теперь в износе при защемлении участвуют абразивные частицы другой размерной группы абразива, средний диаметр которых принимаем большим на 20% зазора в плунжерной паре.

Зная средний размер абразивных частиц, определяется глубина внедрения частицы, соответствующая моменту ее дробления

$$h_{др} = (\sigma_{пр.кв} \cdot R_{абр.ср}) / 2HRC \quad (5)$$

где $\sigma_{пр.кв}$ - предел прочности кварцевого абразива, критическое напряжение при котором абразивная частица разрушается $\sigma_{пр.кв} = 206$ МПа [1];

$R_{абр.ср}$ - средняя величина радиуса абразивных частиц, мкм, участвующих в износе, $R_{абр.ср} = (1,2 \cdot l) / 2$, где l - зазор плунжерной пары, мкм;

HRC - твердость металла, для стали ШХ-15 $HRC = 60...62$.

Общий объем металла $V_{деф}$, подвергающийся пластическому и упругому деформированию, рассчитаем из геометрии усеченного конуса, образуемого в результате трения [6, 7]:

$$V_{деф} = 1/3 \cdot F_{деф} \cdot L_{тр} \quad (6)$$

где $F_{деф}$ - площадь основания усеченного конуса, соответствующего моменту дробления частицы, мкм²;

$L_{тр}$ - путь трения абразивной частицы до начала ее дробления, мкм.

Площадь основания усеченного конуса F находится по формуле (рис. 2)

$$F_{деф} = d_{абр} / 8 \cdot (\pi \cdot \beta_{др} - \sin \beta_{др}) \quad (7)$$

где $d_{абр}$ – диаметр абразивной частицы, мкм;

$\beta_{др}$ - угол сегмента сферы внедрения абразива, соответствующий моменту дробления, определяется по формуле:

$$\beta_{др} = 2 \cdot a \cdot \cos \cdot (R_{аб} - h_{др}) / R_{аб} \quad (8)$$

где $R_{аб}$ – радиус абразивной частицы, мкм;

a – длина хорды, определяемая глубиной внедрения и радиусом абразивной частицы (рис. 2), мкм.

$h_{др}$ – глубина внедрения, соответствующая моменту дробления, мкм.

Путь трения $L_{тр}$ абразивной частицы до момента ее разрушения, с учетом того, что разрушение происходит при внедрении частицы на глубину $h_{оп}$ как в тело плунжера, так и втулки, определяется по следующей формуле

$$L_{тр} = h_{оп} / \sin \gamma \quad (9)$$

где γ – средний угол наклона изношенных поверхностей к неизношенным, на рис. 1 $\gamma = (\gamma_{вт} + \gamma_{пл})/2$.

Для новой плунжерной пары угол $\gamma = 0$. В процессе работы в результате износа G_1 угол наклона изношенных поверхностей увеличивается пропорционально увеличению среднего зазора

$$\sin \gamma = (l - l_0) / L_{max} \quad (10)$$

где l , l_0 – текущий и начальный зазор пары на данном участке, мкм;

L_{max} – максимальная длина участка износа G_1 . Так как данный вид износа пропорционален разнице давлений, определяющих утечки, то длина участка износа G_1 равна величине активного хода плунжера $h_{пл.а}$.

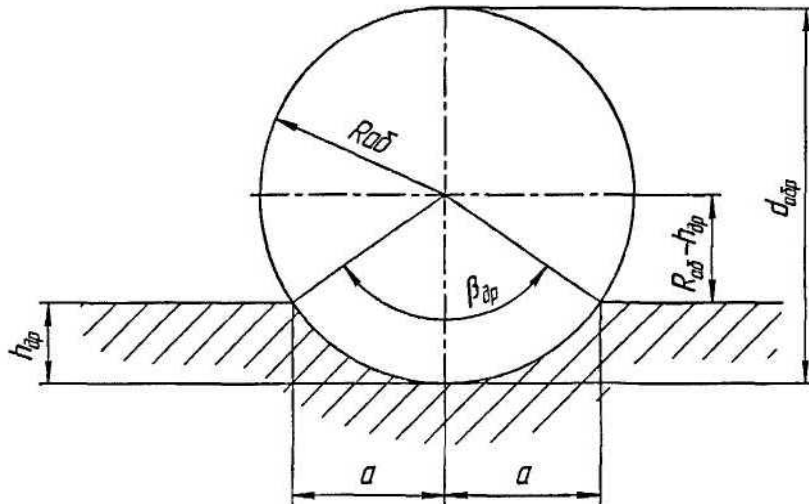


Рис. 2. Схема внедрения абразивной частицы в поверхность плунжера (втулки) при заземлении в зазоре

Из-за незначительности износа за счет упругой деформации объём металла, подвергающийся упругой деформации, необходимо исключить из расчета. Тогда объём металла, подвергающегося вызывающей износ пластической деформации, будет равен

$$V_{пл} = V_{деф} * V_{упр} \quad (11)$$

Площадь сечения $F_{упр}$, соответствующую переходу от упругой деформации к пластической, определяется аналогично расчету $F_{деф}$, с



помощью формул (7) и (8), допуская, что переход происходит при внедрении частицы $h_{ynp} = 0,001 \cdot R_{абр}$. Тогда, V_{ynp} определяется аналогично определению $V_{деф}$ по формуле (5) подстановкой вместо значения $F_{деф}$ значение F_{ynp} .

В случае идентичности по свойствам поверхностей втулки и плунжера абразивная частица внедряется в обеих поверхностях на величину $h_{др}$ (рис 2) и износ при дроблении абразивной частицы равняется внедренному объёму, определяемому из геометрии шарового сегмента по следующему выражению

$$V_{др} = 1/6 \cdot \pi \cdot h_{др} \cdot (3 \cdot (2 \cdot a)^2 + h_{др}^2) \quad (12)$$

где $V_{др}$ – внедренный объем при дроблении, мкм³;

a – длина хорды, определяемая глубиной внедрения и радиусом абразивной частицы (рис. 2), мкм.

Определив по формуле (11) объём металла $V_{пл}$, подвергающегося только пластической деформации, и по формуле (12) объём металла $V_{др}$, удаляемого с поверхности при дроблении, определяется износ плунжерной пары G_2 за один час работы по формуле

$$G_2 = (V_{др} + V_{пл}/N_p) \cdot n_{абр} \cdot N \quad (13)$$

где $n_{абр}$ – количество абразивных частиц, попавших в зазор, шт;

N – количество подач топлива плунжером за один час работы насоса

$$N = 60 \text{ мин} \cdot 1100 \text{ мин}^{-1} \cdot 6 = 3,96 \cdot 10^5$$

N_p – число циклов, приводящих к разрушению материала при пластических деформациях [6, 7]

$$N_p = t \cdot \varepsilon_0 \quad (14)$$

где t – коэффициент усталости при пластических деформациях;

ε_0 – относительное удлинение материала при разрыве.

Для стали ШХ-15 по данным [10] $\varepsilon_0 = 21 \%$, $t = 1,3$. Тогда $N_p = 52$.

Количество абразивных частиц попавших в зазор, определяется из выражения

$$n_{абр} = K_a \cdot V_z \quad (15)$$

где K_a – концентрация частиц данной размерной группы в 1 м³ топлива, шт/м³;

V_z – объём зазора между втулкой и плунжером, соответствующий участку износа, т.е. углу дуги $a_{вп}$, на которой расположены впускные окна, определяется по формуле:



$$V_3 = a_{вп}/2 * (R_{вт}^2 - R_{пл}^2) * L_{пл} \quad (16)$$

где $R_{вт}$ и $R_{пл}$ – радиусы втулки и плунжера с учетом величины износа,

$L_{пл}$ – длина уплотняющей поверхности, мм.

Таким образом, расчет величины износа в районе впускных отверстий определяется суммой износа G_1 под действием абразивных частиц, величина которых меньше зазора плунжерной пары и износа G_2 абразивными частицами, защемляемыми в зазоре.

Очевидно, что одним из путей повышения надежности работы МТА, а вследствие и коэффициента его готовности, как комплексного показателя, может быть увеличение срока службы фильтров и повышение ресурса прецизионных пар ТНВД, за счет обеспечения требуемой чистоты топлива, используя фильтры-водоотделители дизельного топлива при заправке его в баки мобильной сельскохозяйственной техники и в системе питания дизеля [7, 8].

Выводы. Таким образом, используя полученные зависимости можно достоверно оценить степень влияния загрязнённости дизельного топлива на надёжность топливной системы дизельного двигателя. Основной зоной износа плунжерных пар насосов, определяющей их надежность, ресурс и работоспособность - является износ гильзы и плунжера в зоне наполнительных отверстий. Применение фильтра-водоотделителя при заправке топлива и в системе питания двигателя МТА позволяет увеличить ресурс работы фильтров тонкой и грубой очистки практически в два раза, а ресурс работы ТНВД в 2,5 раза. При этом коэффициент готовности топливной системы двигателя МТА повышается с 0,79 до 0,85, что составляет 7,6 %.

Список использованных источников.

1. *Антипов В.В.* Износ прецизионных деталей и нарушение характеристики топливной аппаратуры дизелей / *В.В. Антипов.* -2-е изд. –М.: Машиностроение, 1992. – Т.1. – 816 с.
2. *Гуревич Д.Ф.* Основы теории износа плунжерных пар / *Д.Ф. Гуревич* // Автомобильная промышленность.-1968. –№ 2. – С. 20-24.
3. *Григорьев М.А.* Обеспечение надежности двигателей /*М.А. Григорьев, В.А. Донецкий.* –М.: Стандарты, 1978. - 324 с.
4. *Григорьев М.А.* Очистка масла и топлива в автотракторных двигателях /*М.А. Григорьев.* –М.: Машиностроение, 1970. - 270 с.
5. Надежность топливной аппаратуры тракторных и комбайновых дизелей / *Р.М. Баширов и др.*–М: Машиностроение, 1978. - 184 с.
6. Файнлейб Б.Н. Топливная аппаратура автотракторных дизелей/ *Б.Н. Файнлейб:* справочник. –Л.:Машиностроение, 1990. - 352 с.



7. Деклараційний патент України. Фільтр-водовіддільник /В.М. Кюрчев., І.Б. Вороновський .-№ 66522. Опубл. 17.05.04., Бюл. № 5.

8. Деклараційний патент України. Фільтр-водовіддільник / І.Б. Вороновський, Б.І. Вороновський.- № 5544. Опубл. 15.03.05 р. Бюл № 3

МОДЕЛЮВАННЯ ЗНОСУ ПРЕЦИЗІЙНИХ ПАР ПНВТ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ЗАСОБУ МТА

Вороновський І.Б.

Анотація - у статті розглядається процес зносу прецизійних пар ПНВТ, його вплив на надійність паливної системи дизельного двигуна та експлуатаційні показники машинно-тракторного агрегату в залежності від забрудненості дизельного палива.

MODELING OF WEAR OF PRECISION PARTS OF IN HIT PUMP OF ENERGETIC MEANS MTU

I. Voronovsky

Summary

The article considers the wear process of high-precision injection pump pairs, its effect on the reliability of the diesel engine fuel system and the operating parameters of the machine-tractor unit (MTU), depending on the contamination of diesel fuel.



УДК 631.363

ОБЩЕСИСТЕМНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ АГРАРНЫХ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Диордиев А.А., аспирант*,
Диордиев В.Т., д.т.н.

Таврический государственный агротехнологический университет
Тел.: 0619425797

Аннотация - в статье выполнен анализ общесистемной эффективности функционирования аграрных электротехнологических комплексов. Выделены основные составляющие, влияющие на указанный показатель, выполнена их формализация, которая легла в основу методики расчета.

Ключевые слова: электротехнологический комплекс, эффективность работы, возобновляемые энергоресурсы, динамическое функционирование, системные характеристики, показатель полноты использования материально-технических ресурсов.

Постановка проблемы. Аграрный сектор обеспечивает продовольственную безопасность и продовольственную независимость Украины, формирует основную часть валового внутреннего продукта и преимущественную долю потребительского фонда населения. Однако высокая энергоемкость производства и затраты труда, устаревшие технологии и машинный парк не позволяют обеспечить конкурентоспособность продукции отечественного производителя. Поэтому одним из путей, который позволяет решить поставленные задачи, является инновационное укрепление материально-технической базы, внедрение экологически безопасных, ресурсо- и энергосберегающих технологий. Следовательно, при разработке новых комплексов, необходимо применять общесистемные методики оценки их эффективности, которые учитывали бы возможность использования возобновляемых энергоресурсов (ВЭР), а также отходов смежных производств.

Анализ результатов последних достижений. Вопросы оценки технической и экономической эффективности функционирования аграрных электротехнологических комплексов рассматривались многими авторами [1-3]. Однако многим из них присуща некоторая односторонность выбора методик, большинство из которых являются уни-

* Научный руководитель – Назаренко И.П., д.т.н., профессор
Диордиев А.А., Диордиев В.Т.



версальными и применяемыми для различной природы процессов, не учитывающих особенности каждого из них.

Цель статьи. Путем анализа технико-технологических составляющих работы аграрных электротехнологических комплексов, с применением общесистемных методик, определить наиболее весомые и возможные, с точки зрения практического внедрения, пути повышения эффективности их функционирования.

Основная часть. Аграрные электротехнологические комплексы, как системотехнические объекты, обладают рядом процессуальных системных характеристик.

1) Энерготехнологическая общесистемная эффективность таких комплексов в значительной степени зависит от эффективности динамического функционирования. Такая схема структуры функционирования (рис.1) с теоретической точки зрения значительно упрощает применение различных математических средств.

2) Важнейшей характеристикой динамики функционирования системы является ПИР (показатель полноты использования материально-технических ресурсов) [1, 2]. Такой показатель может быть определен на основе процессов кругооборота веществ, участвующих в технологическом процессе и процессах его обеспечивающих (рис. 2) и представлен в виде математической зависимости следующего вида

$$\psi = \frac{\sum_1^n \tau_i m_i}{\left(\sum_1^n \tau_i m_i + \tau_i^* m_i' \right)} = \frac{\sum_1^n \eta_i Q_i}{\sum_1^n Q_i}, \quad (1)$$

где Q_i, η_i - соответственно количество затрачиваемой энергии и коэффициент ее использования в i -той фазе процесса;

τ_i^*, τ_i - расчетная и фактическая продолжительность i -той фазы процесса.

Указанный коэффициент с учетом использования ВЭР и отходов в соответствии с [1] может быть представлен в форме соотношения

$$\Psi = \frac{\frac{T(M - \Delta M - 0,5G\xi_m)\bar{\eta}}{T^*}}{\frac{T(M - \Delta M - 0,5G\xi_m)}{T^*} + 0,5[M' - G(1 - \xi_m)]}, \quad (2)$$

где $G = \sum_i g_i$ - общий объем использования ВЭР и отходов;

$M' = \sum_i \Delta \bar{m}_i$ - доля ВЭР и бросовых материалов за цикл технологического процесса;

$0 \leq \xi_m \leq 1$ - доля использования ВЭР и бросовых материалов в исходном состоянии m_i ;

T^* и T – расчетное и фактическое время работы системы;

r_i - среднее (по фазам) значение коэффициента использования энергии.

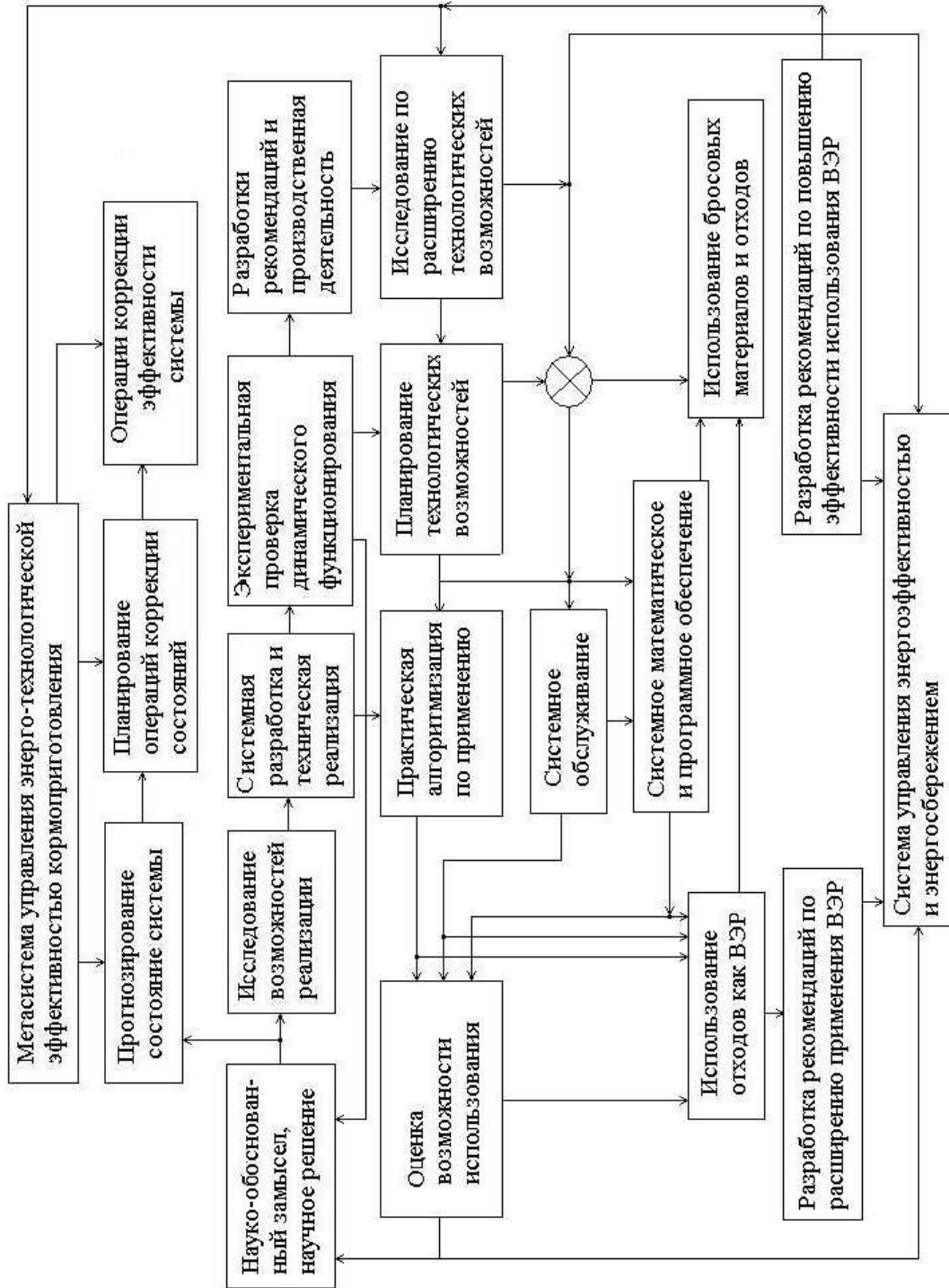
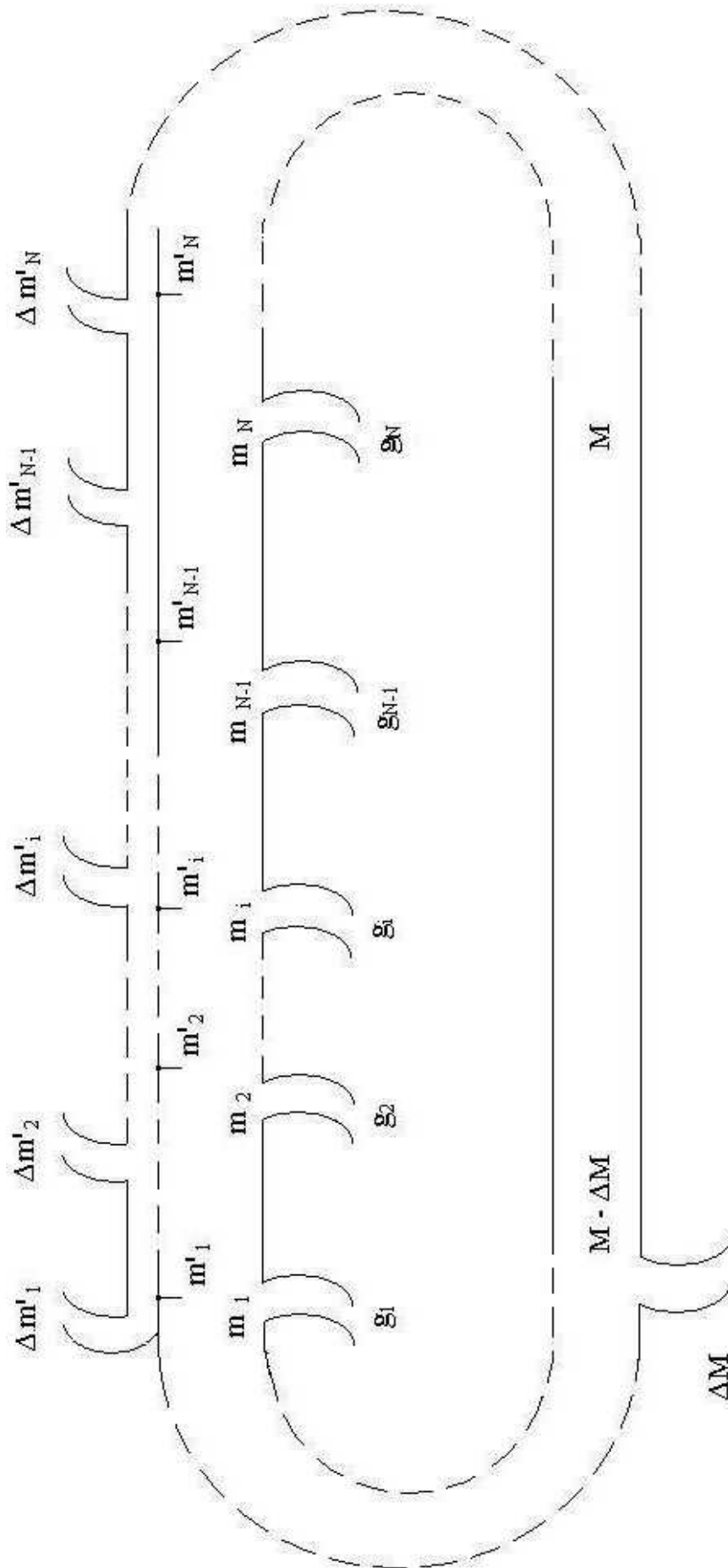


Рис. 1. Общесистемная технологическая и энергоэкономическая эффективность АЭК.



m_i, m'_i - количество материала i – ой фазы процесса из исходного объема и вновь наступившего; g_i - неиспользованные ресурсы в i – ой фазе процесса; $\Delta m'_i$ – количество вещества, поступающего в i – ой фазе процесса; ΔM – бросовые и невозвратные потери материальных и энергоресурсов.



3) Основная особенность этапа коррекции параметров СТК состоит в том, что при модернизации и улучшении параметров системы доля использования ВЭР и бросовых материалов должна возрастать быстрее, чем при замене старой системы на новую, а время между этими циклами сокращается, тогда в этом случае величина Ψ_M будет определяться по выражению

$$\Psi_M = \frac{\sum_{j=0}^k \left[(M - \Delta M)_j \sum_{s=j}^k T_s - 0,5G_j \xi_{mj} T_j \right]}{\sum_{j=0}^k \left\{ [(M - \Delta M)_j \sum T_s - 0,5G_j \xi_j T_j] + 0,5[T_j^* M'_j - G_j T_j (1 - \xi m_j)] \right\}} = \frac{\sum_{j=0}^k \eta_j Q_j}{\sum_{j=0}^k Q_j}, \quad (3)$$

где все обозначения соответствуют обозначениям в (2), при этом T_j^x и T_j - соответственно расчетные и фактические временные промежутки работы системы до j+1-го цикла ее модернизации; $Q_i = \sum_i Q_{ij}$.

4) Целесообразность проведения таких работ с точки зрения улучшения использования материальных и энергоресурсов определяется по неравенству

$$\Psi_M(k+1) - \Psi_M(k) \geq \delta_\Psi, \quad (4)$$

где $\Psi_M(k)$ и $\Psi_M(k+1)$ - соответственно ПИР при k-ой и (k+1)-й коррекции параметров;

δ_Ψ - регламентированное значение приращения (дифференциации) ПИР, определяемые нормативными документами по энергосбережению [3].

Процессы такого класса представляют собой относительно сложную многомерную систему с множеством возмущающих воздействий как со стороны технологического и электросилового оборудования, вследствие флуктуации питающего напряжения, износа рабочих органов измельчающих механизмов и пр., так и со стороны потоков исходных компонентов и готовой продукции,

Выводы

1. На основе формализации компонентов, влияющих на эффективность функционирования аграрных электротехнических комплексов, составлена методика определения ее количественной оценки.

2. Особенностью возможности применения данной методики является то, что при модернизации и улучшении параметров системы доля использования ВЭР и бросовых материалов должна возрастать быстрее, чем при замене старой системы на новую.



Список использованных источников

1. Андроник М.П. Техничко-экономические аспекты автоматизации / М.П. Андроник, В.П. Юрченко, А.В. Просянык // Хранение и переработка зерна. – 2003. - №2. – С. 51-52.
2. Аракелов В.Е. Методические вопросы экономии энергоресурсов / В.Е. Аракелов, А.И. Кремер. - М.: Энергоатомиздат, 1990.-192 с.
3. Арбузов С.П. Автоматизированная система моделирования и оптимизации технологических процессов / С.П. Арбузов // Сб. науч. тр. / Воронеж. гос. технол. акад. – Воронеж, 2000. - Вып.10. - С. 18-21.

ЗАГАЛЬНОСИСТЕМНА ЕФЕКТИВНІСТЬ АГРАРНИХ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

Діордієв В.Т., Діордієв А.А.

Анотація - в статті виконаний аналіз загальносистемної ефективності функціонування аграрних електротехнологічних комплексів. Виділені основні складові, що впливають на зазначений показник, виконана їх формалізація, яка лягла в основу методики розрахунку.

SYSTEMS AND EFFICIENCY OF AGRICULTURAL ELECTRICAL ENGINEERING COMPLEXES

V. Diordiev, A. Diordiev

Summary

The article analyzes the system-wide efficiency of the functioning of agricultural electrotechnological complexes. The basic components influencing the indicated indicator are singled out, their formalization is carried out, which formed the basis of the calculation technique.



УДК 620.9

КОГЕНЕРАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИКОРИСТАННЯ ВДЕ В АПК**Жарков А.В., аспірант***,**Жарков В.Я., к.т.н.******Таврійський державний агротехнологічний університет**** Сумський національний аграрний університет*

Тел.: 0974927512

Анотація – в Україні не приділяється належної уваги малопотужним технічним засобам перетворення відновлюваної енергетики в електроенергію і теплоту, хоча потенційних власників малопотужних ВДЕ досить багато. Нами розроблено і запатентовано декілька когенераційних установок перетворення енергії вітру в теплоту на базі індукційного перетворювача та генератора на неодимових магнітах, а також когенераційних сонячних енергоустановок, які можуть комбіновано перетворювати відновлювану енергію в електроенергію і теплоту.

Ключові слова: відновлювана енергетика, когенерація, вітропарк, домогосподарство, електрогенератор, сонячна установка.

Постановка проблеми. Політика енергоефективності має охоплювати усі галузі економіки та сектор домогосподарств при пріоритетності реалізації заходів, які забезпечують максимізацію ВВП при мінімізації енергетичних витрат. Окрім розвитку комерційної відновлюваної енергетики (ВЕ), в Україні є необхідність розвивати некомерційну, в першу чергу, «сільську», «фермерську», «для двору». Самостійні невеликі системи служать децентралізації енергопостачання, дозволяють диверсифікувати джерела енергії і можуть зробити більш енергонезалежною Україну, і фермерів зокрема.

Аналіз останніх досліджень. Паризька кліматична угода, яка набула чинності 4.11.2015 р. взамін Кіотського протоколу, має стримати глобальне потепління на планеті. Згідно з договором, уряди всіх країн, які ратифікували її, і Україна зокрема, тепер зобов'язані стримувати зростання середньої температури на рівні не більше 2°C. Отже без ВЕ нам не обійтися. В Україні належної уваги малопотужним технічним засобам перетворення ВЕ в електроенергію і теплоту не приділяється, хоча потенційних власників малої ВЕ досить багато.

Таблиця 1 – Встановлена потужність та обсяг виробленої електроенергії об'єктами ВДЕ України у 2010-2014 роках [1]



Напрямок відновлюваної енергетики	Встановлена потужність, МВт					Виробництво електроенергії, млн. кВт·год.				
	2010	2011	2012	2013	2014	2010	2011	2012	2013	2014
Вітроенергетика	76,6	146,4	193,8	334,1	513,9	49,2	89	257,5	636,5	1171,5
Сонячна енергетика	2,5	188,2	371,6	748,4	818,9	0,5	30,1	333,6	562,8	485,2
Мала гідроенергетика	62,5	70,8	73,5	75,3	80,3	192,5	203,4	171,9	286	250,7
Біомаса	4,2	4,2	6,2	17,2	35,2	0,002	9,6	17,7	32,4	60,9
Біогаз	-	-	-	6,5	13,9	-	-	-	5	39,3
Всього	145,8	409,6	645,1	1181,5	1462,2	242,2	332,1	780,7	1522,7	2007,6

Формулювання цілей статті. Міжнародна науково-практична конференція «Відновлювана енергетика та енергоефективність у ХХІ ст.» (Київ, вересень 2016 р.), ухвалила «науково-дослідним організаціям, учбовим закладам, які займаються питаннями енергозабезпечення і енергозбереження, рекомендувати продовжити, розширити та поглибити дослідження за напрямком: розробка когенераційних технологій виробництва теплової і електричної енергії на базі використання ВДЕ для домогосподарств». На це й спрямована представлена наукова робота. Цьому сприяють і ЗУ «Про когенерацію» та «Про альтернативні джерела енергії», із змінами 2016, №1.

Основна частина. На опалення і гаряче водопостачання у світі витрачається близько третини палива. Разом з тим, 40% енергії селянинові потрібні у вигляді низькопотенційної теплоти (НПТ). Витрачати високоякісну електричну енергію на отримання НПТ протирічить здоровому глузду. НПТ необхідно отримувати від ВДЕ - за рахунок енергії Сонця, вітру, біомаси тощо.

З початку ХХІ ст. в ТДАТУ ведуться наукові роботи щодо перетворення енергії вітру в інші корисні форми, зокрема запропоновано індукційний спосіб перетворення енергії вітру в теплоту, розроблено і запатентовано більше 10 варіантів індукційних пристроїв перетворення енергії вітру в теплоту (ІПЕВТ), різних за конструкцією, призначенням і ефективністю.

Принцип роботи ІПЕВТ заснований на збудженні вихрових струмів в сталевих магнітопроводах (МП). Магнітна індукція збільшується



ся, коли зубець рухомого МП розташовується над зубцем нерухомого, і буде зменшуватися, коли зубець рухомого МП буде розташований над пазом нерухомого МП. Величина магнітної індукції залежить від зазору і зменшується із збільшенням зсуву від V_{\max} до V_{\min} . Таким чином, при обертанні рухомого МП, жорстко зв'язаного з валом ВД, що обертається за рахунок енергії вітру, індукція в зазорі пульсує, не змінюючи знаку від $V_{\delta_{\max}}$ до $V_{\delta_{\min}}$. Її можна представити у вигляді двох складових: змінної з амплітудою $V_{\delta} = 0,5 (V_{\delta_{\max}} - V_{\delta_{\min}})$ і постійної, рівної $V_{\delta} = 0,5 (V_{\delta_{\max}} + V_{\delta_{\min}})$. Змінна складова магнітного поля індуктує в МП ЕРС і вихрові струми частотою $f = Zn$, де Z і n – відповідно, кількість зубців і частота обертання рухомого МП.

Вихрові струми за законом Джоуля-Ленца нагрівають МП, а ті нагріватимуть теплоакумулюючу рідину в резервуарі, яка може використовуватися для обігріву споруд, парників та теплиць. Постійна складова магнітного потоку ніяких струмів не індуктує, тому ця частина магнітного потоку не приймає участі в перетворенні вітрової енергії в теплову. Чим більша швидкість вітру і швидкість обертання вала ВД, тим більшою буде величина і частота індуктованих вихрових струмів, що нагрівають МП, тим більше теплоти виділятиметься в них, а останні нагріватимуть теплоакумулюючу рідину в резервуарі.

Нижче наведена методика розрахунку параметрів ШЕВТ [1].

1) Вибір габаритних розмірів ШЕВТ: товщини МП h_m , зовнішніх діаметрів D_3 і зазору δ між ними проводиться на основі теплотехнічних розрахунків, з урахуванням необхідної потужності ШЕВТ і допустимої температури нагріву МП.

2) Вибір параметрів зубців. Оптимальна кількість зубців індуктора визначається за виразом $Z = (0,022 \dots 0,034) D_3 / \delta$. Відношення ширини паза b_n до кроку зубців t_z звичайно вибирають в межах $b_n / t_z = 0,65 \dots 0,55$. А, знаючи крок зубців t_z , знаходять ширину паза $b_n = (0,65 \dots 0,55) t_z$. Для дискових МП з радіальними зубцями в прилеглих торцях крок зубців в градусах визначається за виразом $t_z^\circ = 360^\circ / Z$. Тоді ширина паза b_n в градусах буде $b_n^\circ = (0,65 \dots 0,55) t_z^\circ$, а ширина зубця $b_z = t_z - (0,65 \dots 0,55) t_z$. Глибину паза рекомендується брати із співвідношення. $h_n = (30 \dots 40) \delta$.

3) Визначення оптимальних розмірів обмотки збудження. Економічно оптимальним співвідношенням між лінійними розмірами “міді” і “сталі” є $(0,37 \dots 0,4)$ [1]. Тоді оптимальна ширина кільцевої канавки для обмотки збудження $b_k = (0,37 \dots 0,4) l_z$, де l_z - довжина радіального зубця. Оптимальна глибина кільцевої канавки в МП $a = (0,37 \dots 0,4) h_m$; для того, щоб магнітна індукція в зовнішніх і внутрішніх зубцях індуктора була однаковою, кільцева канавка повинна ділити зубці за площею навпіл $S_1 = S_2 = S_z / 2$.

Фізичне моделювання на макеті ПЕВТ дозволило знайти залежність магнітного потоку Φ від величини зазору δ і переміщення зубців якоря відносно зубців індуктора. Досліджені зміни магнітного потоку Φ і магнітної індукції B в зубцях при різних параметрах магнітної системи. Дослідження проводилися для зубцевих зон, які мали співвідношення в межах: $\delta_0 = \delta/\tau = 0,04 \dots 0,3$; $b_{z0} = b_z/\tau = 0,5 \dots 1$; $h_{z0} = h_z/\tau = 0,3 \dots 1,5$.

Для фізичного моделювання використаний електромагнітний макет магнітної системи і з'ємні пакети зубцевих зон з різною конфігурацією зубців, набраних із електротехнічної сталі. Потік у визначеній області створювався двома котушками при проходженні по них струму. Оптимальна відносна ширина зубця знаходиться в досить вузьких межах: $b_z = (0,65 \dots 0,8)\tau$. Індукція в повітряному зазорі на ділянці зубцевого ділення 2τ визначалася балістичним методом. Результати заміру залежності повного магнітного потоку Φ зубцевого ділення в зазорі δ від переміщення зубців якоря відносно зубців індуктора при різних значеннях величини зазору подані на рис. 1.

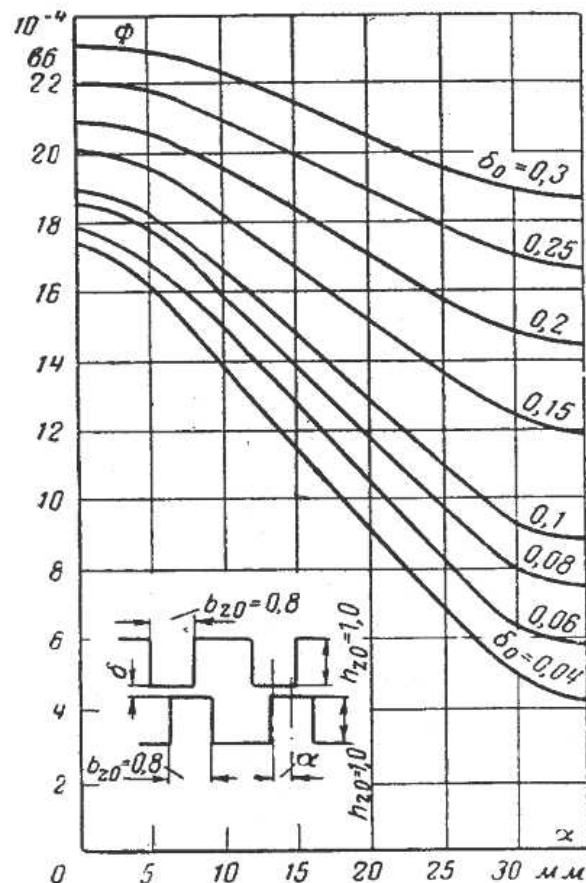


Рис. 1. Зміна магнітного потоку Φ в зазорі δ при переміщенні зубців якоря відносно зубців індуктора

Математична обробка. Пронумеруємо залежності для різних величин зазорів δ_0 на рис. 2 від $r=1$ до $r=8$. Розглянемо одну із залежностей з індексом r . Нехай кількість дослідів для неї становило n_r+1 . Припишемо кожному із цих дослідів індекс від 0 до n_r таким чином,

щоб кожному значенню переміщення x_{rk} ($k=0,1,2,\dots n_r$) відповідав магнітний потік $f(x_{rk})$. Побудуємо поліном Лагранжа на $n_r + 1$ вузлових точках x_{rk} и $f(x_{rk})$.

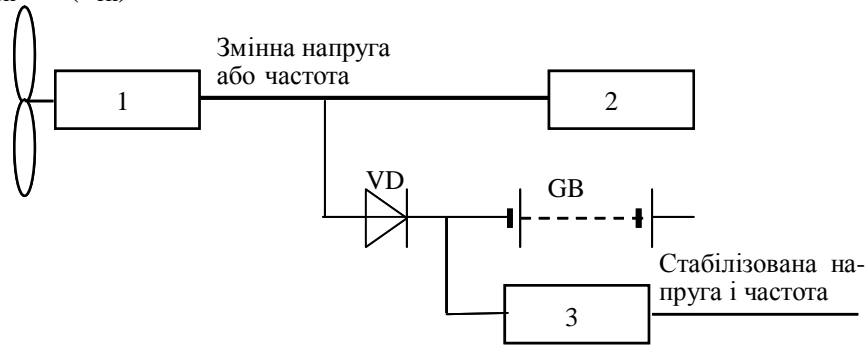


Рис. 2. Схема узгодження присадибної ВЕУ зі споживачами: 1 - вітроелектрогенератор, 2 – електронагрівачі, 3 – інвертор, VD – випрямляч, GB – акумуляторна батарея

Для виконання розрахунків складена програма на мові C⁺⁺ [1]. Код програми містить:

- 1) вихідний масив даних за результатом експериментів, тобто координати всіх вузлових точок x_{rk} і $f(x_{rk})$, $r=1, 2,\dots,8$, x_{rk} ($k=0,1,2,\dots n_r$);
- 2) функцію для розрахунку магнітного потоку за формулою (1);
- 3) процедуру для виводу інформації в вигляді таблиці;
- 4) процедуру для виводу інформації в вигляді графіка.

Тестування програми проводилося на прикладі побудови полінома Лагранжа для функції $y=\sin(x)$. Тестові іспити показали, що при інтерполюванні функції поліномом (1) забезпечує точність до 6-го знака. В табл. 2 наведені результати розрахунків залежностей магнітного потоку для зазору $\delta_0=0,25$. Із табл. видно, що розрахункові значення магнітного потоку $U_{i(\text{розн.})}$ у вузлових точках $x_i=0, 15,0, 20,0$ і $30,0$ співпадають з експериментальними даними $U_{i(\text{експ.})}$, тому розроблений алгоритм може бути використаний при аналізі конструкції магнітної системи ІПЕВТ для вітрового теплогенератора.

Таблиця 2 - Залежність величини магнітного потоку від переміщення зубців якоря для зазору $\delta_0=0,25$.

x_i , мм	0	5,2	7,8	15,0	20,0	25,4	30,0
$U_{i(\text{експ.})}$	22,0000			20,0000	19,0000		17,0000
$U_{i(\text{розн.})}$	22,0000	21,5603	21,2233	20,0000	19,0000	17,8913	17,0000

Отримані результати будуть використані при побудові імітаційної моделі МП та обґрунтуванні їхньої конструкції.

Аналіз розробок показав, що більш перспективним є виготовлення ІПЕВТ у вигляді двох нерухомих МП з зубчастою будовою прилеглих поверхонь і ротора у вигляді сталюого диска, покритого матері-



алом з підвищеною електропровідністю, що обертається між ними від вала вітродвигуна [2].

На базі ШПЕВТ розроблено присадибний когенераційний вітропарк (патент України №95186, і заявка № u201612945 від 19.12.2016) для комбінованої генерації електричної і теплової енергії.

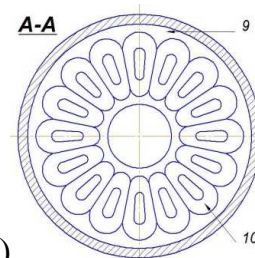
Ефективність роботи вітроенергоустановки (ВЕУ) суттєво залежить від правильності вибору системи керування генератором. При мінімальному керуванні генератором напруга на його виході (і частота, в разі генератора змінного струму) буде нестабільною. Електроенергію з такими параметрами можна безпосередньо застосовувати в нагрівачах. В багатьох випадках такі ВЕУ задовольняють споживачів [3]. Відносно малі потреби в електроенергії зі стабільними параметрами (наприклад 220 В/50 Гц) можна в такому випадку задовольняти спеціальними перетворювачами від акумуляторних батарей (рис.2).

Для живлення обмоток збудження декількох ШПЕВТ запатентованого нами когенераційного вітропарку [4] передбачений, підключений через випрямляч, розроблений нами автономний вітроелектрогенератор з аксіальним магнітним полем на неодимових магнітах (патенти України №104467, №116122, заявка № u201611807 від 22.11.2016).

Запатентований нами вітроелектрогенератор з дводисковим ротором і постійними магнітами збудження (рис. 3) складається з циліндричного корпусу 1, закритого підшипниковими щитами 2,3, вала 4, дводискового ротора 5,6 з неодимовими магнітами 7,8, бакелітового статорного диска 9 з якірними котушками 10 [5].

При появі вітру вал 4, з'єднаний з вихідним валом вітродвигуна (не показаного), установлений в підшипникових щитах 2,3 циліндричного корпусу 1, обертається разом з багатополюсним дводисковим ротором 5,6. Обертове магнітне поле неодимових магнітів 7,8, закріплених на сталевих дисках 5,6, по черзі пересікають якірні котушки 10, установлені на бакелітовому статорному диску 9, нерухомо закріпленому в циліндричному корпусі 1, генеруючи в них ЕРС. Згідно-послідовне з'єднання якірних котушок 10 забезпечує збільшення ЕРС в обмотках, частотою $f=Pn/60$, що залежить від кількості пар полюсів P і частоти обертання ротора n [5]. Запатентований нами малопотужний вітроелектрогенератор з дводисковим ротором спрощеної конструкції відрізняється тим, що один з роторних дисків виконаний у вигляді сталевих пластини [6].

а)



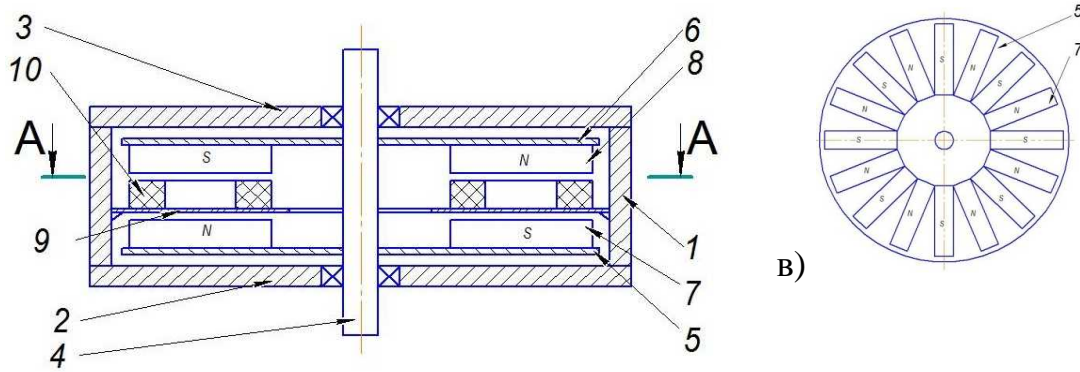


Рис. 3. Малопотужний вітроелектрогенератор з дводисковим ротором на постійних магнітах з аксіальним магнітним потоком: а) по-вздовжній розріз; б) статорний диск з якірними котушками; в) диск ротора з неодимовими магнітами [5]

Для підвищення ефективності використання енергії вітру нами запропонована комбінована вітротеплонасосна технологія, розроблена і запатентована присадибна вітротеплонасосна установка (Пат. №107616 [7]), та компресійний тепловий насос для охолодження напоїв (Пат. №108003).

З 12 січня 2016 року в Україні введено «зелений» тариф на електроенергію вироблену приватними домогосподарствами з ВДЕ потужністю до 30 кВт. Для приватних побутових СЕС, введених в дію в 2016 р. і експлуатованих домогосподарствами, він виріс до 4 грн. 81,7 коп. (без ПДВ). Для розширення впровадження СЕС потрібно підвищення ККД ФЕП і зниження їх собівартості. Збільшити загальний ККД фотомодулів (ФМ) можна за рахунок їх охолодження і додаткового отримання теплової енергії (Патенти України №№ 97080, 97782, 106635), що вельми актуально для селянських господарств. Нами також розроблено і запатентовано кілька принципових схем присадибних когенераційних СЕС: з охолодженням водою (Пат. №103043), з термосифоном (Пат. №107991), чи з тепловою трубою (Пат. №107333). Сонячний ФМ циліндричної форми має дві скляні колби з боросилікатного скла. Колба меншого діаметра розташована в прозорій колбі більшого діаметра, і з'єднані між собою подібно посудині Дьюара з вакуумною порожниною між ними [8]. Внутрішня трубка покрита фотоелектричним перетворювачем, і містить термосифон чи теплову трубку, або наповнена водою. Крім того, СЕС містить акумулятор, контролер, інвертор. ФМ об'єднані в батарею зі спільним охолоджувальним колектором, з'єднані паралельно, і приєднані через контролер до акумулятора, або через інвертор - до споживачів змінного струму.

Висновок. Когенераційні технології збільшують ефективність роботи технічних засобів перетворення ВДЕ в селянських домогоспо-



дарствах. Розробки впроваджені в навчальному процесі ТДАТУ і частково в приватному домогосподарстві (Патенти № 95186, №104467, №107616), нагороджені Золотими медалями на Міжнародному конкурсі винахідників (2013, 2015 рр.) в IX і XI Міжнародному Салоні винаходів і нових технологій "Новий час", м. Севастополь, і дипломами за зайняті призові місця на Всеукраїнському конкурсі наукових робіт студентів (2016, 2017).

Список використаних джерел

1. Удосконалення технологій та засобів перетворення відновлюваних і нетрадиційних джерел енергії для сільськогосподарського виробництва: Звіт про НДР (кінцевий) / ТДАТУ; кер. *В.Я. Жарков*; виконавці: *Галько С.В., Діордієв В.Т., Жарков А.В.* [та ін.]-Мелітополь, 2016.- 160 с.- №ДР 0111U002543.

2. *Жарков В.Я.* Аналіз динамічних навантажень індукційних вітротеплових установок/ *В.Я. Жарков, А.В. Жарков* // Вісник ХНТУСГ.- Вип. 37 "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України".-т.2. –Харків: ХНТУСГ.–2005.-С.79-83.

3. *Jon Twidell and Tony Weir.* Renewable Energy Resources.- London and New York: Taylor & Francis, 2006.- 601 p.

4. Пат. UA по заявці № u201612945. МПК А01G9/14 (2006.01), А01G9/24 (2006.01), С22С14/00, С22С19/03 (2006.01). Когенераційний вітропарк з автономним джерелом збудження індукційних перетворювачів/ *А.В. Жарков, Б.С. Новах, Ю.В. Шалигіна* [та ін.]- Заявл. 19.12.2016.

5. Пат. UA по заявці № u201611807. МПК H02K21/26, F03D7/06, F03D1/06. Малопотужний вітроелектрогенератор з дводисковим ротором на постійних магнітах// *А.В.Жарков, В.С. Ломиш, Б.С. Новах, В.Т. Діордієв, В.Ю.Лучанінов.*- Заявл. 22.11.2016.

6. Пат. 116122 UA. МПК (2016.01) F03D7/06 (2016.01), F03D1/06 (2006.01), H02K21/00. Малопотужний вітроелектрогенератор зі здвоєним дводисковим ротором спрощеної конструкції/ *А.В. Жарков, В.Я. Жарков, Б.С. Новах* [та ін.]- u201611504.-Заявл 14.11.2016.- Опубл. 11.05.2017, Бюл. №9.

7. Пат. UA 107616. МПК (2016.01) F03D1/00, F24J3/00, F25B29/00. Присадибна вітротеплонасосна установка/ *А.В. Жарков.* - u201600650.- Заявл. 27.01.2016; Опубл. 10.06.2016, Бюл. №11.

8. Пат. 103043 UA, МПК (2015.01) H01L31/00, H02J7/35. Присадибна сонячна електростанція з фотоелектричними модулями циліндричної форми / *В.Я. Жарков, А.В.Жарков, И.А. Орловський, О.В.* [та ін.]. -Заявл. 07.07.2015; Опубл. 25.11.2015.- Бюл. №22.

9. Пат. 107991 UA. МПК (2016.01) H01L31/00, H01J7/00, F24J2/00. Автономна когенераційна енергоустановка з гібридними фотоелектричними модулями циліндричної форми/ *В.Я.Жарков, А.В.*



Жарков, І.А. Орловський.- u201600201.- Заявл.12.02.2016; Опубл. 24.06.2016, Бюл. № 12.

10. Пат. 107333 UA. МПК (2016.01) F24J3/06 (2006.01), H01L31/00, B60L8/00. Автономна сонячна когенераційна енергоустановка для рухомого об'єкта/ *А.В. Жарков.*- u201600203.- Заявл. 11.01.2016; опубл. 25.05.2016, Бюл. № 10.

КОГЕНЕРАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВИЭ В АПК

Жарков А.В., Жарков В.Я.

Аннотация - в Украине не уделяется должного внимания маломощным техническим средствам преобразования возобновляемой энергетики в электроэнергию и теплоту, хотя потенциальных владельцев маломощных ВИЭ достаточно много. Нами разработано и запатентовано несколько когенерационных установок преобразования энергии ветра в теплоту на базе индукционного преобразователя и генератора на неодимовых магнитах, а также когенерационных солнечных энергоустановок, которые могут комбинированно превращать возобновляемую энергию в электроэнергию и теплоту.

COGENERATION TECHNOLOGIES USES OF RENEWABLE ENERGY IN AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

A. Zharkov, Zharkov V.

Summary

In Ukraine neglected thin technical means converting renewable energy into electricity and heat, while low-RES potential owners a lot. We have developed and patented a number of cogeneration plants convert wind energy into heat at the induction generator and transducer NdFeB magnets and solar cogeneration power plants that are combined to convert renewable energy into electricity and heat.



УДК 621.316.11

СИНТЕЗ СТРУКТУРИ МЕРЕЖ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВ АПК, ЩО МІСТЯТЬ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ

Заболотний А.П., к.т.н.

Запорізький національний технічний університет

Тел. 061 7698280

Анотація - запропоновано застосувати метод еквіпотенціальних поверхонь для побудови оптимальної, з точки зору втрат електричної енергії, структури систем електропостачання, що містять вітроенергетичні установки.

Ключові слова: вітроенергетичні установки, структура систем електропостачання, метод еквіпотенціальних поверхонь, втрати електричної енергії.

В даний час спостерігається постійне зростання частки «малої» генерації в енергобалансі підприємств АПК. Це пов'язано з широким впровадженням відновлюваних джерел електроенергії, і зокрема, вітроенергетичних установок (ВЕУ).

На сьогоднішній день малі (потужністю до 20 кВт) ВЕУ в основному використовуються як автономні та резервні системи енергозабезпечення. Однак, останнім часом, все більш широко стали вводитися в експлуатацію об'єкти з комплексним використанням декількох малих вітроелектростанцій, які виробляють уже промислові обсяги електроенергії як для власних цілей з можливістю мережевого підключення, так і для продажу електроенергії в мережу або іншим споживачам.

За даними дослідження, проведеного Українською вітроенергетичною асоціацією (УВЕА) тільки за перші 10 років незалежності України в країні встановлено близько 1170 вітроагрегатів потужністю кожен до 10 кВт. У 2010 році сумарна встановлена потужність склала вже 600 кВт. При чому, вітрогенератори малої потужності українського виробництва склали в одиницях 39% і за потужністю 49% частки українського ринку, а імпортовані 57% і 51% відповідно, що характеризує прагнення українського ринку споживачів до вітрогенераторів вітчизняного виробництва, при чому, більшість з яких підключається до електричних мереж [1].



На жаль, на сьогоднішній день збільшення частки ВЕУ в загальному обсязі генерованої електроенергії створює ряд загальносистемних технічних проблем [2]:

- ускладнення диспетчерського управління електроенергетичною системою;
- ускладнення системи релейного захисту та автоматики, а також протиаварійного управління;
- кожна ВЕУ має свої динамічні характеристики і можливості управління, що призводить до необхідності вирішення проблем електромагнітної сумісності;
- збільшення струмів короткого замикання, що призводить до заміни комутаційних апаратів, зміни налаштувань захистів та ін.;

Але основна проблема неузгодженого приєднання розрізаних ВЕУ до мережі - це складність управління і прогнозування режимів роботи енергосистеми, пов'язані з виникненням перетоків потужності по мережі.

Тенденції зростання тарифів на електричну енергію обумовлюють значне збільшення складової вартості втрат електроенергії в мережах при її передачі і розподілі. Особливої актуальності це набуває в мережах електропостачання підприємств АПК, що обумовлено їх протяжністю, розгалуженістю та використанням низьких класів напруги.

Зменшення складової вартості втрат електроенергії можливе лише шляхом оптимізації структури під час реконструкції існуючих мереж електропостачання.

Ключовим завданням при формуванні оптимальної структури мережі електропостачання є задача визначення кількості джерел живлення і розподіл за ними приймачів електроенергії, а також обладнання проміжних вузлів навантаження (рівнів розподільчої мережі) з урахуванням розрізаних ВЕУ.

Основні підходи при вирішенні завдань побудови оптимальної структури мережі електропостачання базуються на використанні оціночних та оптимізаційних моделей [3]. Перші служать для визначення техніко-економічних показників для заданого проектувальником варіанту мережі. Другі - для визначення оптимального варіанту конфігурації мережі в межах прийнятих проектувальником припущень відповідно до прийнятого критерію оптимальності. При цьому в оптимізаційних моделях необхідно враховувати дискретність деяких величин (перетин проводів та кабелів, потужність і кількість трансформаторів, кількість приєднань до РП і т.д.).

Аналіз існуючих підходів до формування структури систем електропостачання показав, що існує метод, здатний вирішувати вище перераховані завдання одночасного - це метод еквіпотенціальних поверхонь [4].



Суть методу еквіпотенціальних контурів полягає в проведенні аналогії між навантаженням приймачів (P_i), розташованих в точках $(x_i; y_i)$, і потенціалами деяких джерел енергії, розташованих в тих же точках. Потенціали цих джерел дорівнюють навантаженням приймачів. При віддаленні від точки розташування приймача потенціал від джерела, розташованого в тій самій точці, зменшуватиметься і в деяких віддалених точках потенціал буде близький до нуля. Сукупність усіх потенціалів джерел енергії утворює потенційну поверхню, яку можна описати потенційною функцією

$$P(x, y) = \sum_{i=1}^n P_i \cdot e^{-1 \cdot \alpha_{\Delta P_i} [(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2]}, \quad (1)$$

де $\alpha_{\Delta P_i}$ – коефіцієнт, який враховує втрати потужності від джерела живлення до приймача

$$\alpha_{\Delta P_i} = \frac{P_i^2 \cdot \rho}{U^2 \cdot F(P_i)}, \quad (2)$$

де ρ – питомий опір матеріалу провідника;

$F(P_i)$ - переріз провідника визначається як функція від переданої потужності;

U_i - напруга;

P_i - потужність приймача.

Використання запропонованого коефіцієнта $\alpha_{\Delta P_i}$ (вираз (2)) дає можливість відразу оцінити ступінь майбутніх втрат в провідниковому матеріалі при визначенні центру електричних навантажень.

Функція (1) є основою для "потенційного" критерію відбору, за яким на потенційній поверхні, яку утворює функція, визначається точка максимуму потенціалу. Ця точка надалі виступає в ролі центру електричних навантажень. Приймачі, які будуть отримувати живлення від цього центру електричних навантажень за "потенційним" критерієм визначаються як приймачі, які брали участь у формуванні максимуму функції (1). Ці приймачі зараховуються до "потенційної" групи.

Аналогічну поверхню можна побудувати і для ВЕУ, де P_i приймає значення, яке дорівнює величині енергії, що генерується таким джерелом енергії, але зі знаком мінус.

Накладення цих двох поверхонь призводить до зміни координат максимуму, тим самим уточнюються координати установки джерела живлення.

«Потенційна група» є закінченим структурним елементом майбутньої розподільчої мережі, але той факт, що при формуванні "потенційної" групи були враховані лише розташування приймачів відносно один одного і очікувані втрати електричної енергії в розподільчій



мережі, не дає можливості запровадити "потенційну" групу в майбутню розподільну мережу, так як крім врахованих факторів ще необхідно провести узгодження майбутньої "потенційної" групи з можливим конструктивним виконанням вузла навантаження.

Для вирішення цього завдання використовується "технічний" критерій. "Технічний" критерій відбору виконує функцію узгодження приймачів "потенційної" групи з можливим конструктивним виконанням її джерела живлення. Критерій діє на основі принципу надлишковості "потенційної" групи по відношенню до граничних умов "технічного" критерію. На основі взаємодії "потенційного" і "технічного" критеріїв відбору складається алгоритм методу.

Принцип роботи алгоритму базується на утворенні зворотних зв'язків, які охоплюють обидва критерії і створюють умови для становлення алгоритму як самоорганізуючої моделі синтеза структури мережі.

Розглядаючи критерії відбору як граничні умови функціонування моделі, запропонований підхід дає можливість закладення в них дискретності конструктивних умов виконання структури мережі, яка містить ВЕУ, і чим повніше перенесені ці умови в критерії відбору, тим більше можливостей побудувати оптимальну структуру такої мережі [5].

Таким чином, синтез структури системи електропостачання, що містить ВЕУ, можна представити у вигляді наступного алгоритму.

На першому етапі будується потенційна поверхня для електроприймачів в режимі споживання.

На другому етапі будується поверхня для режиму, в яких ВЕУ виробляють електроенергію в мережу.

Потім проводиться накладення цих поверхонь і на сумарній поверхні виділяється максимум функції, в координатах якого і буде розташоване джерело живлення.

Важливим моментом у визначенні цих координат є облік зон заборони прокладки ліній і установки джерел живлення. Для цього можливо використовувати методи розпізнавання образів, відповідно до яких передбачено розбиття простору об'єкта, на області, які не перетинаються, кожна з яких відповідає відображенню одного і того ж класу, до якого допустимо елементарний математичний опис [6].

В результаті відбору електроприймачів за вищевказаними критеріями формується група електроприймачів першого джерела живлення, що виключається з подальшого розгляду при формуванні структури мережі.

Після цього, знову будуються дві (якщо залишилися ВЕУ), або одна (якщо всі ВЕУ приєднані до джерел живлення) потенційні пове-

рхні і здійснюється формування групи електроприймачів другого джерела живлення.

У результаті циклічної дії (до тих пір, поки всі електроприймачі не отримають своє джерело живлення) формується радіальна структура системи електропостачання, після чого здійснюється перевірка можливості організації проміжних джерел живлення.

На останньому етапі проводиться оцінка можливості (за критеріями мінімуму капітальних витрат і втрат електроенергії) заміни окремих ділянок радіальної мережі на магістральні ділянки. Таким чином, метод порівняльної оцінки передбачає аналіз локального ділянки структури мережі з визначенням ряду технічно доцільних варіантів її виконання та подальше порівняння цих варіантів між собою.

Блок схема алгоритму синтезу структури мереж електропостачання, що містять ВЕУ, подано на рисунку 1.

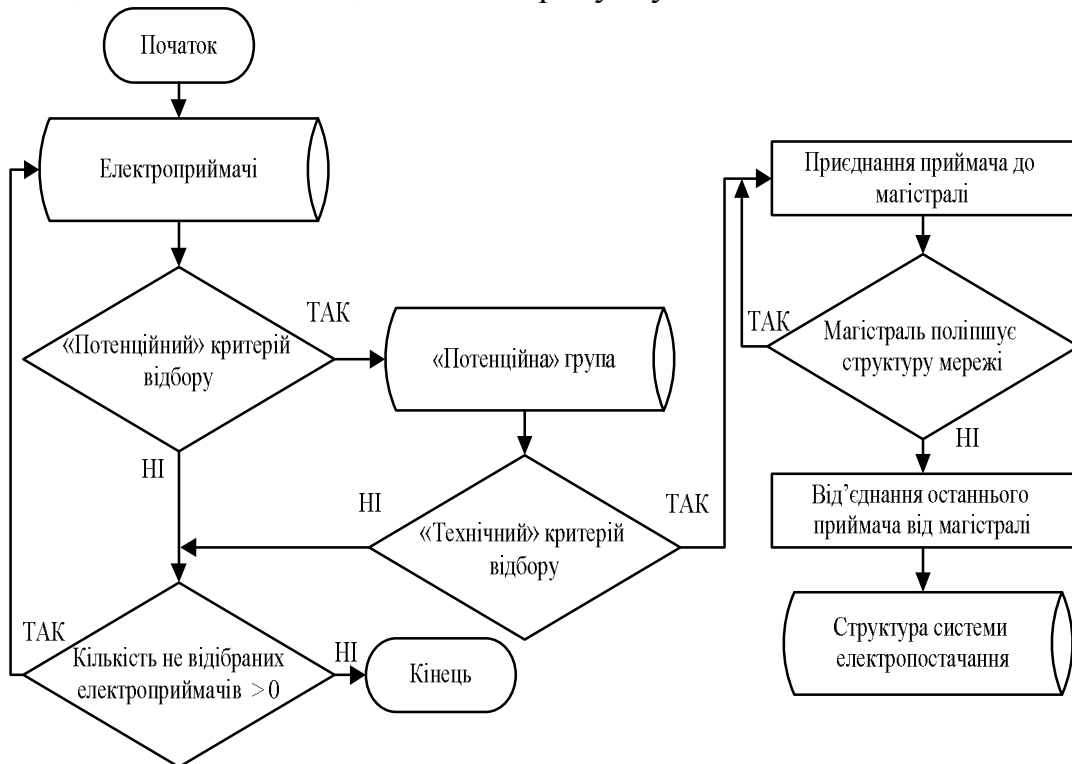


Рис. 1. Блок схема алгоритму синтезу структури мереж електропостачання що містять ВЕУ.

Запропонований алгоритм був реалізований програмно за допомогою мови програмування Python і пакета математичного обчислення SciPy.

Використання даного алгоритму дозволяє побудувати інженерні методики для попереднього розрахунку структури розподільних мереж, що містять ВЕУ, оцінити потенціал вже існуючих мереж, проводити оцінку ефективності їх роботи при реконфігурації, а також провести оцінку капіталовкладень при реконструкції частини мережі [7].



Висновки. На основі спільного використання оціночних та оптимізаційних моделей запропонований метод дає можливість побудувати оптимальну структуру мережі електропостачання підприємств АПК, що містить ВЕУ, за замкнутою схемою, що дозволить суттєво зменшити експлуатаційні витрати необхідні для підтримки потрібного рівня надійності мережі і підвищити пропускну здатність існуючих мереж без додаткових витрат на підвищення перерізу проводів та кабелів.

Список використаних джерел

1. Звіт Української вітроенергетичної асоціації «Вітроенергетика 2010». – с.19.
2. *Воропай Н.И.* Распределенная генерация в электроэнергетических системах / *Н.И. Воропай* // Малая энергетика: труды Международной научно-практической конференции. – 2005. – с. 13-21.
3. Электротехнический справочник. Общие вопросы. Электротехнические материалы/ [*В. Г. Герасимова, Грудинского П.Г., Жукова Л.А. и др.*] ; под ред. *В. Г. Герасимова.* — [9-е изд.] — стер. в 3-х томах. — М: Энергия, 2003.. — 520 с.
4. *Заболотный А.П.* Формирование структуры распределительной сети методом потенциальных контуров и возможности его усовершенствования / *А.П. Заболотный, Д.В. Федоша, Н.Л. Криворученко, О.О. Яценко* //Електротехніка та електроенергетика. – 2008. - № 2. – С. 71 - 74.
5. *Заболотный А.П.* Построение оптимальной структуры сетей электроснабжения предприятий АПК / *А.П. Заболотный, Д.В. Федоша, В.С. Мамбаева* // Сборник научных трудов международной научно-практической конференции «Проблемы энергообеспечения предприятий АПК и сельских территорий». - Санкт Петербург: СПбГАУ, 2008. – С. 42 – 46.
6. *Качан Ю.Г.* О возможности распознавания топологии оптимальной системы электроснабжения / *Ю.Г. Качан, В.В. Дьяченко* // Гірничя електромеханіка та автоматика – 2007. - № 78. – С.3-5.
7. *Заболотний А.П.* Оптимізація структури мереж електропостачання підприємств АПК / *А.П.Заболотний, О.І. Байша, В.С. Мамбаєва, Д.В. Федоша* // Матеріали міжнародної науково – технічної конференції «Проблеми енергозбереження в агропромисловій та природоохоронній сферах». – Київ: НУБІП, - 2010. – С. 43-50.



**СИНТЕЗ СТРУКТУРЫ СЕТЕЙ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ
ПРЕДПРИЯТИЙ АПК, СОДЕРЖАЩИХ
ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ**

Заболотный А.П.

Аннотация. Предложено применить метод эквипотенциальных поверхностей для построения оптимальной, с точки зрения потерь электрической энергии, структуры систем электроснабжения, содержащих ветроэнергетические установки.

**SYNTHESIS OF AGRICULTURE
CONSUMERS POWER SUPPLY NETWORK STRUCTURE,
CONTAINING WIND POWER SET**

A. Zabolotniy

Summary

There is suggested to apply equipotential surfaces method to the energy losses optimal structure designing of power supply system, containing wind power set.



УДК 621.313.333.004.58

ДОСЛІДЖЕННЯ ВТРАТ АКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В АСИНХРОННОМУ ЕЛЕКТРОДВИГУНІ

Квітка С.О.^{*}, к.т.н.,

Вовк О.Ю.^{*}, к.т.н.

Квітка О.С.^{**}

^{*}Таврійський державний агротехнологічний університет

^{**}Філія м. Миколаєва Центрального округу ПАТ «Миколаївобленерго»

Тел.: 0619-42-31-59

Анотація – представлені результати дослідження втрат активної потужності у вузлах і активних елементах асинхронного електродвигуна при зміні струму в обмотці статора та відхиленні напруги на затискачах електродвигуна при визначенні його теплового стану.

Ключові слова: асинхронний електродвигун, елементи конструкції, втрати активної потужності, тепловий стан електродвигуна.

Постановка проблеми. Перетворення енергії в асинхронному електродвигуні (АД) супроводжується незворотними втратами, що проявляються у вигляді теплоти, виділення якої відбувається в елементах конструкції. Джерелами теплоти в асинхронному електродвигуні, головним чином, є активні частини (обмотки, осердя) і підшипники. Тому, дослідження і визначення втрат активної потужності у вузлах та активних елементах асинхронного електродвигуна є важливим при визначенні його теплового стану.

Аналіз останніх досліджень. Під час дослідження теплових процесів асинхронних електродвигунів у багатьох роботах [1, 3, 4] велика увага приділяється визначенню втрат активної потужності і їх розподілу в окремих вузлах і активних елементах електродвигуна. Однак, вони не в повній мірі дозволяють враховувати вплив зміни струму в обмотці статора та відхилення напруги на затискачах електродвигуна при визначенні теплових втрат.

Формулювання цілей статті. Завданням є дослідження втрат активної потужності у вузлах і активних елементах асинхронного електродвигуна при зміні струму в обмотці статора та відхиленні напруги на затискачах при визначенні теплового стану АД.



Основні матеріали дослідження (основна частина). Точність теплового стану асинхронного електродвигуна в результаті теплового розрахунку багато в чому залежить від точності обліку всіх гріючих втрат. Велике значення має розподіл теплових втрат в окремих вузлах і активних елементах електродвигуна. Втрати в обмотці статора ΔP_{12} розподілені між тілами 1 (ΔP_1) і 2 (ΔP_2) [2] пропорційно довжині лобової (l_l) і пазової (l_n) частин обмотки статора відповідно. Потужність ΔP_3 представляє собою суму основних втрат в сталі ΔP_C і половини додаткових втрат $\Delta P_{ДОБ}$; потужність ΔP_5 – суму електричних втрат в обмотці ротора $\Delta P_{ЕЛ.2}$ і половини додаткових втрат $\Delta P_{ДОБ}$. Потужність ΔP_4 представляє собою частину механічних втрат $\Delta P_{МЕХ}$, витрачених на внутрішню вентиляцію; потужність ΔP_6 – частину механічних втрат $\Delta P_{МЕХ}$, витрачених на тертя в підшипниках. Передбачається, що інша частина механічних втрат витрачається в зовнішньому вентиляторі і не бере участі в підвищенні температури внутрішніх частин двигуна [1].

Втрати активної потужності в асинхронному електродвигуні знайдемо виходячи з Γ - подібної схеми заміщення.

Електричні втрати в лобовій і пазовій частинах обмотки [1]:

$$\Delta P_1 = \Delta P_{12} \cdot \frac{l_l}{l_l + l_n}; \quad (1)$$

$$\Delta P_2 = \Delta P_{12} - \Delta P_1, \quad (2)$$

де $\Delta P_{12} = \Delta P_{ЕЛ.1}$ - електричні втрати в обмотці статора, Вт;

l_l - довжина лобової частини обмотки, м;

l_n - довжина пазової частини обмотки, м.

$$\Delta P_{ЕЛ.1} = 3 \cdot r_{1\theta} \cdot I_1^2, \quad (3)$$

де r_1 - активний опір фази обмотки статора при температурі θ , Ом;

I_1 - діюче значення сили струму в обмотці статора, А.

Втрати в осерді статора [1]

$$\Delta P_3 = \Delta P_C + 0,5\Delta P_{ДОБ}, \quad (4)$$

де ΔP_C - втрати в сталі осердя статора, Вт;

$\Delta P_{ДОБ}$ - додаткові втрати активної потужності, Вт.

Додаткові втрати активної потужності в асинхронному електродвигуні [1]

$$\Delta P_{ДОБ} = 0,005P_{1Н}, \quad (5)$$

де $P_{1Н}$ - номінальна споживана потужність, Вт.



Втрати в роторі [1]

$$\Delta P_5 = \Delta P_{\text{ЕЛ.2}} + 0,5\Delta P_{\text{ДОБ}}, \quad (6)$$

де $\Delta P_{\text{ЕЛ.2}}$ - втрати активної потужності в обмотці ротора, Ом.

$$\Delta P_{\text{ЕЛ.2}} = 3 \cdot r_{2\theta}'' \cdot (I_2'')^2, \quad (7)$$

де $r_{2\theta}''$ - приведений активний опір фази обмотки ротора при температурі θ , Ом;

I_2'' - приведений струм електродвигуна, А.

Запишемо вираз комплексу діючого значення сили струму в обмотці статора на робочій ділянці механічної характеристики електродвигуна виходячи з Γ - подібної схеми заміщення [4]:

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_{00} + (-\dot{I}_2''), \quad (8)$$

$$\dot{I}_{00} = \frac{\dot{U}_1}{r_{1\theta} + j(x_1 + x_\mu)}, \quad (9)$$

$$-\dot{I}_2'' = \frac{\dot{U}_1}{\left(r_{1\theta}' + \frac{r_{2\theta}''}{s}\right) + j(x_1' + x_2'')}. \quad (10)$$

Поза робочою ділянкою механічної характеристики електродвигуна при дії надструму ($k > 3$) приймемо припущення, що приведений струм дорівнює струму статора [4]

$$I_2'' = I_1. \quad (11)$$

Таким чином, сила струму в обмотці статора залежить від конструктивних параметрів електродвигуна ($r_{1\theta}$, x_1 , $r_{1\theta}'$, x_1' , x_μ , $r_{2\theta}''$, x_2''), прикладеної напруги (U_1) і ковзання (s).

Внутрішні вентиляційні втрати і втрати на тертя в підшипниках [1]

$$\Delta P_4 = \Delta P_6 = \Delta P_{\text{МЕХ}}/4, \quad (12)$$

де $\Delta P_{\text{МЕХ}}$ - механічні втрати активної потужності в електродвигуні, Ом.

$$\Delta P_{\text{МЕХ}} = K_T \cdot \left(\frac{n_1}{10}\right)^2 \cdot D_a^4, \quad (13)$$

де K_T - коефіцієнт тертя; $K_T = 1$ для двигунів при $2p = 2$ і $K_T = 1,3(1 - D_a)$ при $2p \geq 4$ [4];

D_a - зовнішній діаметр осердя статора, м.



Сумарні втрати активної потужності в асинхронному електродвигуні

$$\sum \Delta P = \Delta P_{ЕЛ.1} + \Delta P_{ЕЛ.2} + \Delta P_C + \Delta P_{ДОБ} + \Delta P_{МЕХ}. \quad (14)$$

Тоді сумарні втрати активної потужності в елементах електродвигуна згідно еквівалентної теплової схеми (наведена в [2])

$$\sum_{i=1}^6 \Delta P_i = \sum \Delta P - 0,5 \Delta P_{МЕХ}. \quad (15)$$

Для проведення досліджень був вибраний асинхронний електродвигун 4АМ112М4У3 із ступенем захисту ІР44.

Результати розрахунків втрат активної потужності в асинхронному електродвигуні в номінальному режимі: $\Delta P_{ЕЛ.1} = 468$ Вт; $\Delta P_{ЕЛ.2} = 266$ Вт; $\Delta P_C = 135,5$ Вт; $\Delta P_{ДОБ} = 32$ Вт; $\Delta P_{МЕХ} = 31,5$ Вт.

Результати розрахунків потужності джерел теплоти згідно еквівалентної теплової схеми [2]:

- електричні втрати в лобовій і пазовій частинах обмотки
 $\Delta P_1 = 263,5$ Вт; $\Delta P_2 = 204,5$ Вт;
- втрати в осерді статора $\Delta P_3 = 151,5$ Вт;
- втрати в роторі $\Delta P_5 = 281,7$ Вт;
- внутрішні вентиляційні втрати і втрати на тертя в підшипниках
 $\Delta P_4 = \Delta P_6 = 7,9$ Вт;
- сумарні втрати активної потужності в електродвигуні
 $\sum \Delta P_H = 933$ Вт;
- сумарні втрати активної потужності в елементах електродвигуна згідно еквівалентної теплової схеми $\sum \Delta P_i = 917$ Вт.

Значення активних опорів в схемі заміщення наводяться при розрахунковій температурі нагріву обмотки θ_P , значення якої для класу нагрівостійкості ізоляції «В» приймається 75 °С і класу «F» – 115 °С. Активні опори r_θ при температурі, яка відрізняється від розрахункової, визначаємо за формулою

$$r_\theta = r \left(\frac{\frac{1}{\alpha} + \theta}{\frac{1}{\alpha} + \theta_P} \right), \quad (16)$$

де r - активний опір при розрахунковій температурі, Ом;

θ_P - розрахункова температура, °С;

α - температурний коефіцієнт опору матеріалу.



Практичний інтерес представляють залежності втрат активної потужності у функції кратності сили струму і відхиленні напруги на затискачах асинхронного електродвигуна.

Втрати в сталі осердя статора

$$\Delta P_C = \Delta P_{C.H} \cdot \left(\frac{U_1}{U_{1H}} \right)^2, \quad (17)$$

де $\Delta P_{C.H}$ - втрати активної потужності в сталі осердя статора при номінальній напрузі, Вт.

Коефіцієнт, який враховує відхилення напруги живлячої мережі

$$k_U = \frac{U_1}{U_{1H}}, \quad (18)$$

де U_1 - діюче значення напруги на затискачах асинхронного електродвигуна, В;

U_{1H} - діюче значення номінальної напруги на затискачах асинхронного електродвигуна, В.

Номінальні втрати активної потужності в сталі осердя статора

$$\Delta P_{C.H} = \sum \Delta P_H - \Delta P_{EЛ.1H} - \Delta P_{EЛ.2H} - \Delta P_{MEХ.H} - \Delta P_{ДОБ.H},$$

(19)

де $\sum \Delta P_H$ - сумарні втрати активної потужності в асинхронному електродвигуні у номінальному режимі, Вт;

$\Delta P_{EЛ.1H}$ - втрати активної потужності в обмотці статора у номінальному режимі, Вт;

$\Delta P_{EЛ.2H}$ - втрати активної потужності в обмотці ротора у номінальному режимі, Вт;

$\Delta P_{MEХ.H}$ - механічні втрати активної потужності в електродвигуні у номінальному режимі, Вт;

$\Delta P_{ДОБ.H}$ - додаткові втрати активної потужності в електродвигуні у номінальному режимі, Вт.

Сумарні втрати активної потужності в асинхронному електродвигуні у номінальному режимі [4]

$$\sum \Delta P_H = P_H \frac{1 - \eta_H}{\eta_H}, \quad (20)$$

де P_H - номінальна активна потужність електродвигуна, Вт;

η_H - номінальний коефіцієнт корисної дії електродвигуна.

Відповідно до [4] величина механічних втрат пропорційна квадрату швидкості обертання ротора. Тому можна записати



$$\Delta P_{MEH} = \Delta P_{MEH.H} \left(\frac{1-s}{1-s_H} \right)^2, \quad (21)$$

Додаткові втрати, відповідно до [4], дорівнюють

$$\Delta P_{ДОБ} = \Delta P_{ДОБ.H} \left(\frac{I_1}{I_{1H}} \right)^2. \quad (22)$$

Кратність сили струму в обмотці статора

$$k_i = \frac{I_1}{I_{1H}}, \quad (23)$$

де I_1 - діюче значення сили струму в обмотці статора, А;

I_{1H} - номінальне діюче значення сили струму в обмотці статора, А.

Запишемо вираз квадрата кратності струму асинхронного електродвигуна, використовуючи його Г- подібну схему заміщення при номінальній напрузі [3]

$$k_i^2 = \frac{(r'_{1\theta} + r''_{2\theta}/s_H)^2 + (x'_1 + x''_2)^2}{(r'_{1\theta} + r''_{2\theta}/s)^2 + (x'_1 + x''_2)^2}, \quad (24)$$

де s_H - номінальне ковзання електродвигуна;

s - поточне ковзання електродвигуна.

Вирішимо рівняння (24) відносно величини ковзання s при відомій прикладеній напрузі U_1 , силі струму I_1 , ковзанні s_H , параметрах схеми заміщення електродвигуна $r_{1\theta}$, x_1 , $r''_{1\theta}$, x'_1 , $r''_{2\theta}$, x''_2 і отримаємо

$$s = \frac{r''_{2\theta}}{-r'_{1\theta} + \sqrt{-(x'_1 + x''_2)^2 + \frac{1}{k_i^2} \left((r'_{1\theta} + r''_{2\theta}/s_H)^2 + (x'_1 + x''_2)^2 \right)}}. \quad (25)$$

На підставі отриманого значення ковзання s визначаємо механічні втрати ΔP_{MEH} в асинхронному електродвигуні, діюче значення приведеної сили струму ротора I''_2 і втрати активної потужності у вузлах електродвигуна.

Графічні залежності втрат активної потужності у вузлах і активних елементах АД при зміні струму в обмотці статора та відхиленні напруги на затискачах наведені на рис. 1 - рис. 3.

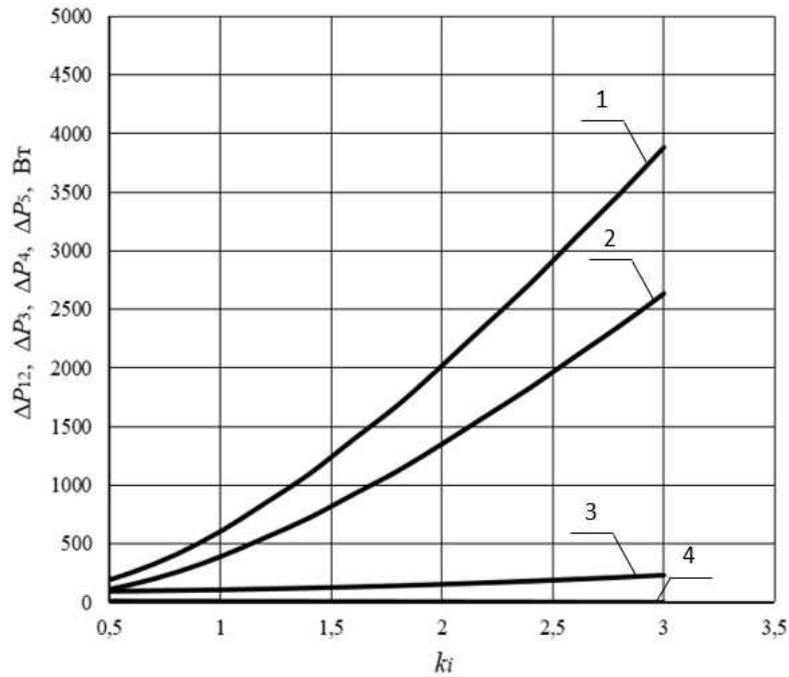


Рис. 1. Залежності втрат активної потужності в обмотці статора (1), роторі (2), осерді статора (3) і внутрішньому повітрі (4) електродвигуна 4AM112M4У3 у функції кратності сили струму при $k_U = 0,8$ і розрахунковій температурі 75°C

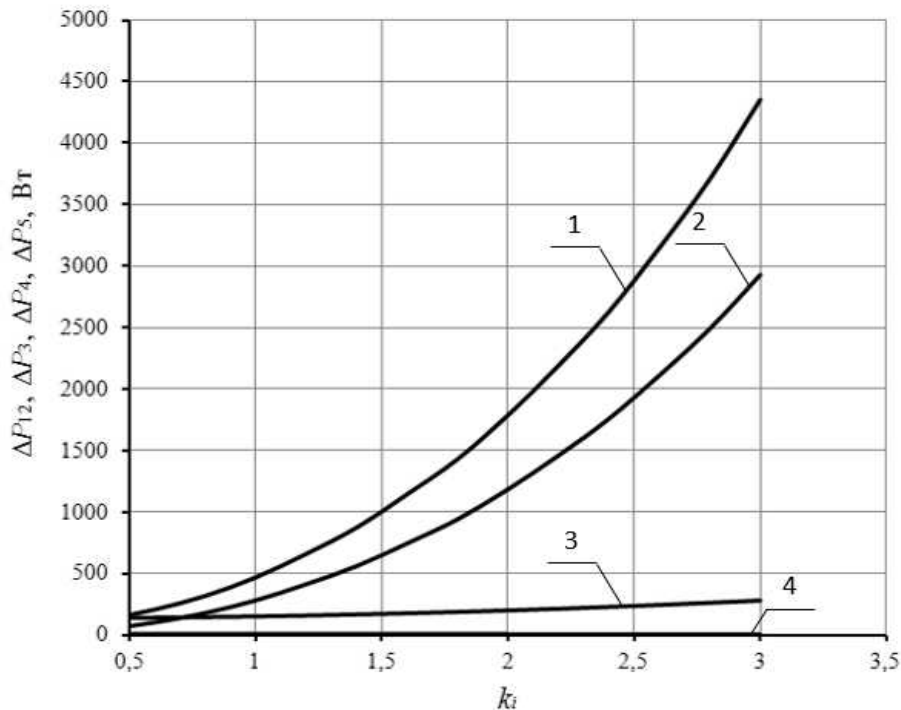


Рис. 2. Залежності втрат активної потужності в обмотці статора (1), роторі (2), осерді статора (3) і внутрішньому повітрі (4) електродвигуна 4AM112M4У3 у функції кратності сили струму при $k_U = 1,0$ і розрахунковій температурі 75°C

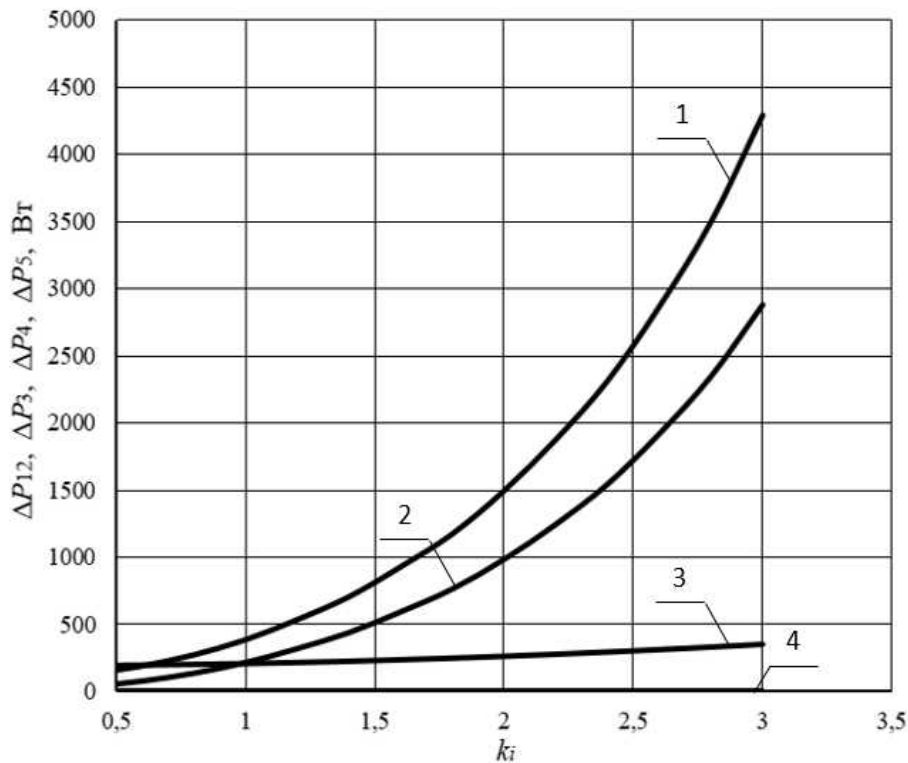


Рис. 3. Залежності втрат активної потужності в обмотці статора (1), роторі (2), осерді статора (3) і внутрішньому повітрі (4) електродвигуна 4AM112M4У3 у функції кратності сили струму при $k_U = 1,2$ і розрахунковій температурі $75\text{ }^\circ\text{C}$

Висновок. На підставі проведених досліджень можна зробити наступний висновок: втрати активної потужності при збільшенні величини кратності сили струму суттєво зростають в обмотці статора та роторі електродвигуна, не суттєво зростають в осерді статора, і практично не змінюються на внутрішню вентиляцію. При відхиленні напруги на затискачах асинхронного електродвигуна змінювання втрат активної потужності відбувається більш суттєво при зменшенні напруги по відношенню до номінальної, ніж при її збільшенні.

Список використаних джерел.

1. Сипайлов Г.А. Тепловые, гидравлические и аэродинамические расчеты в электрических машинах : учеб. для вузов / Г.А. Сипайлов, Д.И. Санников, В.А. Жадан. – М. : Высш. шк., 1989. – 239 с.
2. Квітка С.О. Математична модель теплового стану асинхронного електродвигуна у нестационарних режимах / С.О. Квітка, О.Ю. Вовк, О.С. Квітка // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. – Вип. 175. – Харків : ХНТУСГ, 2016. – С. 140-142.
3. Вовк О.Ю. Вплив відхилення напруги живлячої мережі на втрати активної потужності в асинхронному електродвигуні / О.Ю. Вовк, С.О. Квітка, О.С. Квітка // Вісник Харківського національного технічного



університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. – Вип. 164. – Харків : ХНТУСГ, 2015. – С. 121-123.

4. Конструкция и расчет трехфазных асинхронных электродвигателей : учеб. пособие к курсовому и дипломному проектированию / В.А. Потапкин, Р.В. Ротыч, Г.А. Назикян, В.И. Рожков ; Юж.– Рос. гос. техн. ун-т. – Новочеркасск : ЮРГТУ(НПИ), 2009. – 171с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕРЬ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В АСИНХРОННОМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕ

Квитка С.А., Вовк А.Ю., Квитка А.С.

Аннотация – представлены результаты исследования потерь активной мощности в узлах и активных элементах асинхронного электродвигателя при изменении тока в обмотке статора и отклонении напряжения на зажимах электродвигателя при определении его теплового состояния.

RESEARCH OF LOSSES OF THE ACTIVE POWER IN THE ASYNCHRONOUS ELECTROMOTOR

S. Kvitka, O. Vovk, A. Kvitka

Summary

Results of a research of losses of the active power in nodes and the active elements of the asynchronous electromotor in case of change of current in a winding of the stator and a voltage deviation on electromotor jumpers in case of determination of its thermal status are provided.



УДК 621.3.01:519.876.5

СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ВЫБОРА СИЛОВЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Корнус Т.М., инженер,
Логвин К.А.,
Добров Б.С.,
Закуцкая В.О.

Запорожский национальный технический университет

Тел: 068 452 32 29

Аннотация - Разработана структура системы автоматизированного выбора силовых полупроводниковых приборов (СПП) для преобразовательных устройств широкого назначения по карте режимов СПП с учетом определяющих технико-экономических показателей. Формализованы алгоритмы выбора СПП и проверки их работоспособности при заданных режимах технологических перегрузок и аварийных режимах. Апробирован разработанный на основе данных алгоритмов пакет программ на языке C++

Ключевые слова: СПП, алгоритм, блок-схема, преобразователь, перегрузка, авария

Постановка проблемы. Правильное и рациональное применение силовых полупроводниковых приборов (СПП) в мощных преобразовательных установках является важнейшим вопросом проектирования, определяющим технико-экономические показатели преобразователя, поскольку типонаминал СПП определяет выбор способов и аппаратуру защиты от сверхтоков и перенапряжений, распределения токов и напряжений при групповом соединении устройств, а также тип, конструкцию и параметры системы охлаждения, причем СПП является дорогостоящим и, одновременно, наиболее уязвимым элементом преобразователя с точки зрения устойчивости прибора к сверхтокам и сверхнапряжениям.

Анализ последних исследований. В настоящее время существует целый ряд методик расчета выбора и проверки работоспособности СПП для силовых блоков преобразовательных установок, разработанных в различных научных проектно-исследовательских организациях, ориентированных на преобразовательные устройства конкретного функционального назначения, причем во главу угла ставились



лишь технические параметры устройства, без учета его экономических показателей. В данной разработке за основу принята универсальная методология, где исходными данными для расчета является карта режима работы СПП в конкретной проектируемой установке с учетом определяющего технико-экономического показателя [1]. Весь процесс выбора и проверки типоминимала СПП требует больших затрат времени при высокой квалификации инженера-разработчика

Постановка задания. Целью данной работы является построение концепции системы автоматизированного выбора СПП и формализованных алгоритмов для компьютерных расчетов по выбору и проверке работоспособности выбранного прибора.

Основная часть. Процесс расчета выбора СПП носит итерационный и рекурсивный характер, поэтому в решении задачи существует несколько точек проверки правильности заданных предпосылок для расчёта и полученных решений и, если условия контроля правильности не выполняется, возможно возвращение на один или несколько этапов назад, вплоть до начала расчета и изменения исходных данных. Для автоматизации расчета требуется разработать формализованную логику расчета и его математическую модель в интерактивном режиме.

Методы «ручного счета» трудоемкие и длительные, поэтому приходится прибегать к целому ряду предположений и упрощений, без которых «ручной» расчет может быть вообще невозможен. Это сокращает объем вычислений, но, с другой стороны, значительно усложняет структуру алгоритма расчета. Формализуя задачу выбора СПП для компьютерного расчета, целесообразно упростить алгоритм не прибегая к предположениям и упрощениям, принятым в методике «ручного счета». Такой подход одновременно позволяет увеличить и точность расчёта.

Структурная схема комплекса программ автоматизированного выбора СПП приведена на рис.1.

Расчёт состоит из четырех частей:

- 1 – предварительный выбор СПП;
- 2 - проверка СПП по рабочему току (неизменяющемуся и изменяющемуся);
- 3 - расчет аварийных токов;
- 4 - проверка СПП по аварийному току.

В структуру комплекса также входит база данных классификационных параметров и характеристик СПП, заданными координатами их узлов интерполяции. Для получения в процессе расчёта координат нужной точки характеристики используется математический аппарат сплайновой интерполяции.

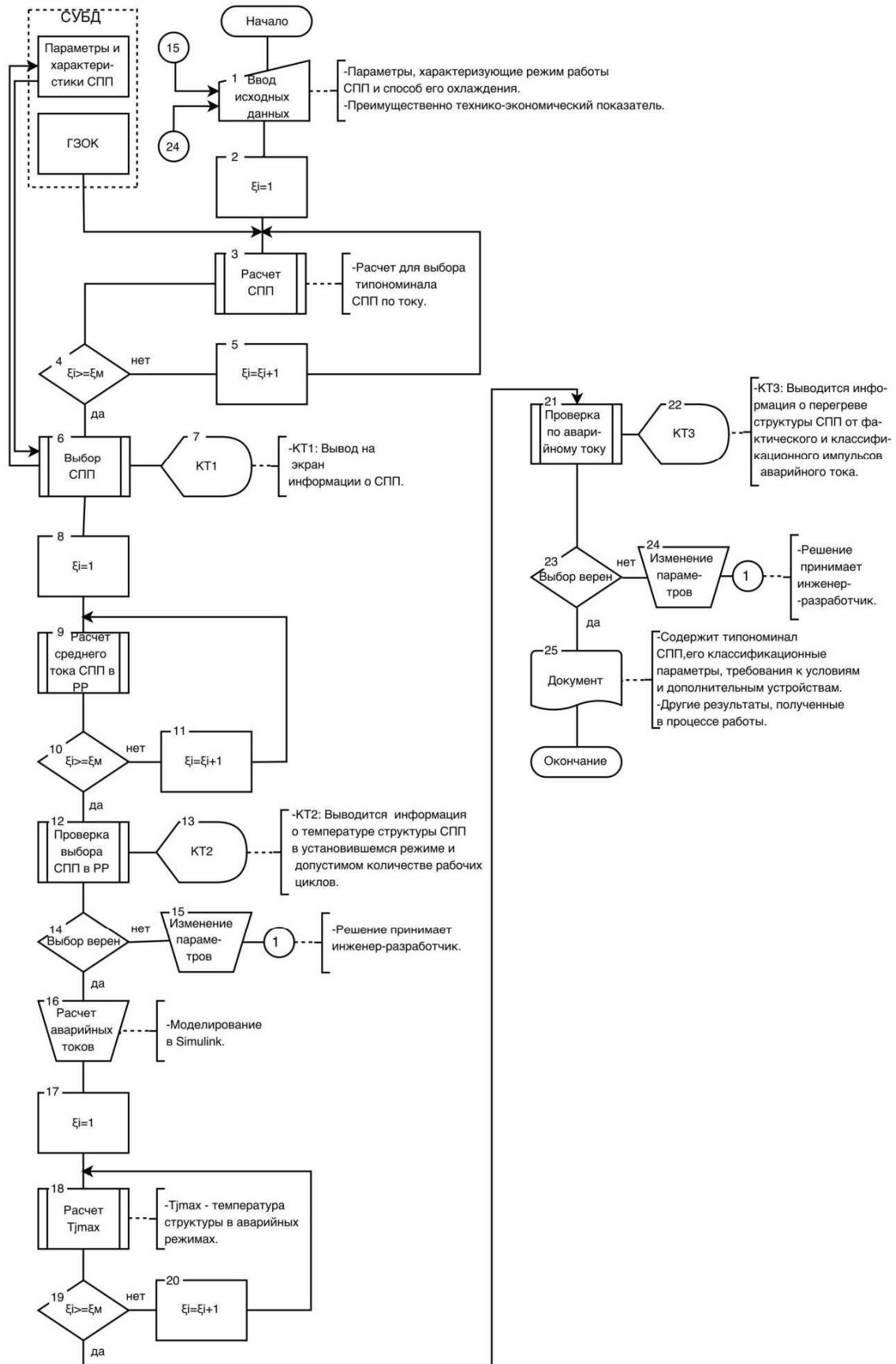


Рис. 1. Блок-схема алгоритма расчета выбора и проверки СПП



Выбор типа СПП и условий его охлаждения проводят по расчетному среднему току I_{AV} , соответствующему фактическому току СПП, приведенному к классификационным условиям. Классификационными условиями, приведёнными в информационных материалах, являются: однополупериодная синусоидальная форма тока, угол проводимости $\beta=\pi$, частота импульсов $f=50\text{Гц}$, температура охлаждающей среды $T_{cf}=40^\circ\text{C}$, определенный тип охладителя и скорость охлаждающей среды. Приведение к классификационным условиям является выполнением расчетов в соответствии с математической моделью, позволяющей определить такой ток I_{AV} , при котором среднее превышение температуры структуры СПП ΔT_j будет таким же, как и для – классификационного значения тока $I_{T(AV)}$.

Расчет проводится для всех заданных режимов работы ζ_M преобразователя с неизменным и изменяющимся рабочим током. При правильном выборе СПП по току должно выполняться условие

$$I_{AVmax} \approx I_{T(AV)},$$

где I_{AVmax} - расчетный средний ток I_{AV} для наиболее тяжелого по току режиму работы СПП.

Выбор СПП по максимальному повторяющемуся и неповторяющемуся обратному напряжению U_{RRM} и U_{RSM} проводится исходя из компромисса между запасом СПП по фактическому значению неповторяющегося U_{SM} и повторяющегося напряжения U_{RM} и массогабаритными показателями устройств ограничения напряжения.

Выбранный СПП и его система охлаждения должны быть проверены по температуре нагрева перехода T_j рабочим током и допустимой температурой циклирования $T_{jц}$.

Тип СПП и условия его охлаждения выбраны правильно по току рабочего режима, если выполняются следующие условия:

$$T_j \leq \psi_T \cdot T_{jmax}, \quad (1)$$

$$\sum_{x=1}^{\varepsilon} \frac{N_{цx}}{N_{цxmax}} \leq \Psi_N, \quad (2)$$

где T_{jmax} – максимальная допустимая температура перехода в рабочем режиме;

$N_{цx}$, $N_{цxmax}$ – требуемое и максимально допустимое число температурных циклов работы СПП соответственно в χ -м циклическом режиме при температуре $\Delta T_{j\chi}$ (χ изменяется от 1 до ε , где ε - общее число отличных друг от друга по



температуре циклических режимов работы СПП за срок службы);

ψ_T, ψ_N – коэффициенты запаса.

Температура структуры СПП в рабочем режиме определяется следующим образом:

$$T_j = T_{cf} + \Delta T_j, \text{ или} \quad (3)$$

$$T_j = T_{cf} + \Delta T_j + \frac{\Delta T_{ji} - \Delta T_{jki}}{2}, \quad (4)$$

где T_{cf} – максимальная температура охлаждающей среды,

ΔT_j – максимальная температура перегрева перехода в рабочем режиме (средняя), т.е. без учета колебаний температуры, связанных с импульсным характером тока через СПП,

$\Delta T_{ji}, \Delta T_{jkl}$ – температура нагрева СПП единичным импульсом тока, имеющем место в конце расчетного интервала τ_p и единичным импульсом классификационного тока при заданной температуре корпуса СПП соответственно.

Если условия (1) и (2) выполняются, но правые и левые части значительно отличаются, то надо либо уменьшить скорость охлаждающей среды, либо выбрать другой охладитель и повторить расчет. Если неравенства (1) и (2) не выполняются, то необходимо либо увеличить интенсивность охлаждения, либо выбрать СПП с большим допустимым током, либо увеличивают число параллельных СПП в плече преобразователя. Расчет выбора и проверки СПП повторяется с новыми исходными данными.

Выбор СПП по рабочему току не дает окончательного ответа о правильности выбора СПП, поэтому следующим этапом должна быть проверка прибора по аварийному току.

Аварийные токи преобразователя можно рассчитать с помощью универсальных либо специализированных программ анализа электромагнитных процессов в преобразовательных устройствах. В данной работе использовался пакет программ MATLAB-SIMULINK.

Кривые аварийного тока аппроксимируются ступенчатой кривой, для которой рассчитывается максимальная температура перегрева структуры СПП ΔT_{js1} на интервале протекания фактического аварийного тока и, если в момент, когда к СПП вслед за импульсом аварийного тока прикладывается обратное напряжение, рассчитывается еще и ΔT_{js2} (температура перегрева структуры СПП в момент приложения обратного напряжения), используя функции переходного теп-



лового сопротивления $Z_{(th)tja}$ и $Z_{(th)tjc}$, заданные их узлами интерполяции. По такому же алгоритму рассчитывается максимальная температура перегрева структуры СПП T_{jsmax1} и T_{jsmax2} для классификационного импульса аварийного тока. Для сохранения работоспособности СПП необходимо выполнение условий:

$$\Delta T_{js1} \leq \psi_T \cdot \Delta T_{jsmax1}, \quad (5)$$

$$\Delta T_{js2} \leq \psi_T \cdot \Delta T_{jsmax2}, \quad (6)$$

где ψ_T – коэффициент запаса по температуре.

Протекание через СПП аварийного тока со значением, равным или близким к максимально допустимому, возможно лишь ограниченное число раз за срок службы, поскольку при каждом протекании аварийного тока имеет место определенная деградация его полупроводниковой структуры. Поэтому недопустим режим, когда рабочий ток может достигать значений, равных или близких предельно допустимому току СПП в аварийном режиме.

Алгоритмы выбора и проверки работоспособности СПП реализованы и апробированы с помощью программного комплекса MATLAB – SIMULINK. В качестве примера проведен расчет тиристорного блока для реверсивного комплектного электропривода постоянного тока КТЭ 2500А/660А. Выбранный тиристор Т173-2000А проверен в режимах номинального тока и 4-х режимах технологических циклических перегрузок, оговоренных техническим заданием, и в наиболее тяжелых аварийных режимах (внутреннее к.з., внешнее к.з., срыв инвертирования, прорыв по уравнительному току). Время расчета, без учета этапа моделирования аварийных процессов во внешнем пакете MATLAB – SIMULINK и, принимая во внимание время анализа инженером-разработчиком предварительных результатов расчета в контрольных точках, примерно на 2-3 порядка меньше «ручного» счета.

В дальнейшем планируется перевод программного комплекса на язык программирования C++ с созданием интерфейса и системой управления автоматической базой данных СПП, и дальнейшая его апробация и верификация.

Выводы. Предложенная концепция построения системы автоматизированного выбора СПП для силовых блоков преобразователей позволяет значительно снизить трудоемкость и сроки проектирования. Формализованы алгоритмы выбора и проверки СПП в режимах технологических перегрузок и в аномальных режимах работы преобразовательных устройств широкого назначения.

**Список использованных источников.**

1 *М.И. Абрамович*. Диоды и тиристоры в преобразовательных установках [Текст] / *М.И. Абрамович, В.М. Бабайлов, В.Е. Либер и др.* – М. : Энергоатомиздат, 1992. – 432 с.

**СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИБОРУ СИЛОВИХ
НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ПРИЛАДІВ
ДЛЯ ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНИХ УСТАНОВОК**

Корнус Т.М., Логвін К. А., Добров Б. С., Закуцька В. О.

Анотація. Розроблено структуру системи автоматизованого вибору силових напівпровідникових приладів (СНП) для перетворювальних пристроїв широкого призначення по карті режимів СНП з урахуванням визначальних техніко-економічних показників. Формалізовані алгоритми вибору СНП та перевірки їх працездатності при заданих технологічних режимах перевантажень та аварійних режимах. Апробований розроблений на основі даних алгоритмів пакет програм на мові C++

**COMPUTER-AIDED SELECTION OF POWER
SEMICONDUCTOR DEVICES FOR CONVERTING UNITS**

Kornus, T., Logwin K., Dobrov B., Zakutsky V.

Summary

The computer-aided structure for choice of power semiconductor devices (PSD) for converting units of wide range of purposes in view the map of regimes of PSD taking into account the determining technical and economic indices is developed. Algorithms for selecting PSD and checking their operability for the given modes of technological overloads and emergency modes are formalized. The software package on the basis of developed algorithms in the C++ language has been tested



УДК 631.3:62-833.6:621.31:681.5:656

КЛАСИФІКАЦІЯ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНИХ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ ПО ТЯГОВИМ КАТЕГОРІЯМ

Кулагін Д.О., к.т.н.,

Яценко Д.В.,

Яценко О.В.

Запорізький національний технічний університет

Тел.: 099-760-36-91

Анотація - на основі існуючої тягової класифікації тракторів запропонована класифікація дизель-генераторних електромеханічних систем за потужністю для більшості транспортних машин та рухомого складу залізниць. Виконана декомпозиція послідовної структури дизель-генераторної електромеханічної системи транспортного засобу та узагальнена основна структур елементів декомпонованої системи.

Ключові слова: тягові категорії, декомпозиція електроприводу, електротехнічний комплекс, тяговий привод, автономна система, дизель-генераторна система.

Постановка проблеми. На сьогодні фактично відсутня система класифікації дизель-генераторних електромеханічних систем за потужністю, яка є потрібною для дослідження показників роботи машин за статичними характеристиками, для переважної більшості транспортних машин та рухомого складу залізниць, то виникає питання необхідності її створення. За основу прийнято тягову класифікацію, яка використовується в тракторній галузі.

Аналіз основних досліджень. Відповідно до колишніх ГОСТ 27021-86 чи СТ СЭВ 628-85 типорозмірний ряд сільськогосподарських тракторів включав 10 тягових класів. У міжнародній практиці у відповідності до стандартів ISO 730/1 і 730/3-82 використовується класифікація тракторів за максимальною тяговою потужністю $N_{кр.мах}$, отриманою при випробуванні енергетичного засобу на гладкій горизонтальній і сухій бетонованій поверхні, або поверхні, покритій скошеною/нескошеною травою [1, 2]. Трактори при цьому поділяються на чотири категорії, кожна з яких відповідним чином співвідноситься з класифікацією енергетичних засобів згідно з міжнародним стандартом ГОСТ 27021-86 (СТ СЭВ 628-85, див. таблицю 1) [1, 2].



Практика показує, що класифікація згідно з ГОСТ 27021-86 (СТ СЭВ 628-85) дає більш точну уяву про експлуатаційні властивості трактора [1, 2]. Це дозволяє правильно підібрати комплекс сільськогосподарських машин і знарядь. Для узагальнення та класифікації заходів підвищення енергетичного потенціалу для елементів декомпозованої структури така класифікація дизель-генераторних транспортних засобів є занадто детальною, оскільки в більшості з даних класів підходи будуть однаковими. Детальна класифікація є корисною для правильного підбору комплексу сільськогосподарських машин і знарядь та проведення відповідних проектних та тягових розрахунків, визначення відповідної експлуатаційної ваги трактора, номінального тягового зусилля та допуску на його коливання, норми буксування енергетичного засобу при визначенні його номінального тягового зусилля.

Формулювання цілей статті. Створення класифікації дизель-генераторних електромеханічних систем за потужністю.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

1. Аналіз досвіду класифікації на основі нормативних документів.
2. Виконання декомпозиції типової послідовної структури дизель-генераторної електромеханічної системи транспортного засобу.

Основні матеріали дослідження. Типорозмірний ряд сільськогосподарських тракторів (табл. 1) представляє собою зростаючу послідовність безрозмірних чисел (0,2...8), кожне із яких виражає значення номінального тягового зусилля трактора ($P_{крн}$) в тонах [1].

Таблиця 1 - Співвідношення між тяговими класами і категоріями тракторів [1,2]

№ пп	Тяговий клас	Номінальне тягове зусилля ($P_{крн}$, кН)	Базова модель		Категорія потужності і тягова потужність ($N_{кр.макс}$, ISO 730кВт/30/3-82)
			марка	Потужність двигуна (N_e , кВт)	
ГОСТ 27021-86 (СТ СЭВ 628-85)					
1	0,2	від 0,8 до 5,4			I-25
2	0,6	від 5,4 до 8,1	T-25	18,4	
3	0,9	від 8,1 до 12,6	T-40	36,8	II-30....70
4	1,4	від 12,6 до 18	MTЗ-80	55,3	
5	2	від 18 до 27	T-70С	51,5	
6	3	від 27 до 36	T-150К	121,5	III-70....135
7	4	від 36 до 45	T-4	80,9	
8	5	від 45 до 54	K-700	161,8	IV-135....300
9	6	від 54 до 72	T-130	116,2	
10	8	від 72 до 108	K-710	220,5	



Для аналізу та узагальнення засобів підвищення енергетичного потенціалу за статичними характеристиками, виконаємо класифікацію дизель-генераторних електромеханічних систем в залежності від потужності яку показано в таблиці 2.

Таблиця 2 - Класифікація дизель-генераторних електромеханічних систем по тяговим категоріям

Категорія потужності	Тягова потужність, кВт	Частина споживання загальної потужності на забезпечення власних потреб	Види дизель-генераторних транспортних засобів, що належать до даної категорії потужності
I	до 70	4-30% (живлення в основному від допоміжних генераторів)	<ul style="list-style-type: none">- міні-трактори;- навантажувачі;- легкі самохідні шасі;- трактори до класу 2;- легка будівельна техніка;- легка дорожня техніка;- допоміжні машини та самохідні установки залізниць.
II	70-300	6-25% (живлення від допоміжних генераторів або шини постійного струму)	<ul style="list-style-type: none">- трактори класів 3 - 8;- будівельна та дорожня техніка;- рейкові автобуси;- допоміжні машини та самохідні установки залізниць;- автотрисси;- будівельна та дорожня техніка;- допоміжні кар'єрні транспортні засоби;- локомотиви;- міський транспорт.
III	більше 300	8-20% (живлення в основному від шини постійного струму)	<ul style="list-style-type: none">- трактори класів більше 8;- комбайни;- локомотиви;- важка будівельна та дорожня техніка;- кар'єрні самоскиди;- приміський рухомий склад;- маневровий рухомий склад.

Прийнята структура електромеханічної системи та наведена класифікація за тяговими категоріями є типовою як для систем змінного струму, так і для систем постійного струму.

Декомпозиція типової послідовної структури дизель-генераторної електромеханічної системи транспортного засобу (рис. 1).

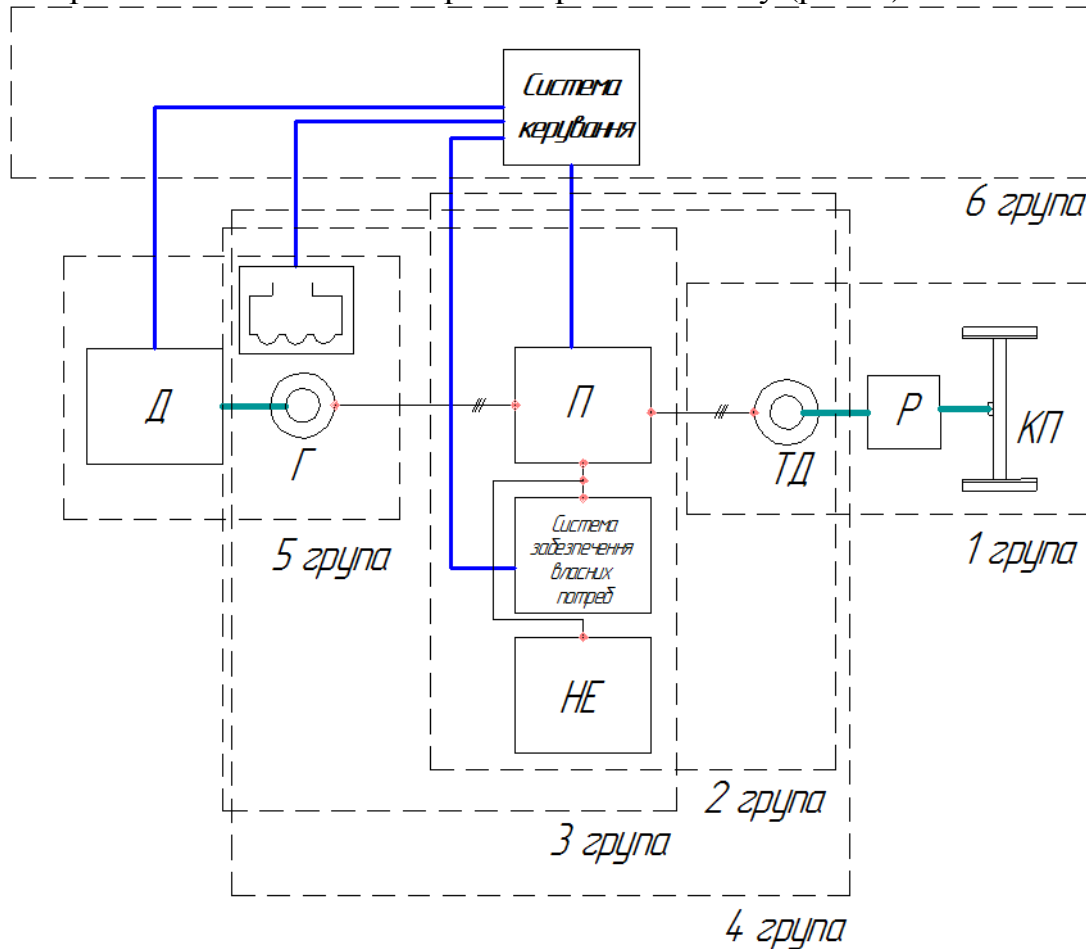


Рис. 1. Структурна схема дизель-генераторної електромеханічної системи транспортного засобу [3]: Д – дизель, Г – генератор, НЕ – накопичувальний елемент, П – перетворювач, ТД – тяговий двигун, Р – редуктор, КП – колісна пара.

Максимальний ефект підвищення енергетичного потенціалу можливо досягти, розглядаючи групи підсистем вказаної електромеханічної системи транспортного засобу, в яких відбувається перетворення одних видів енергії в інші та відповідні регулювання фізичних характеристик цих видів енергії. Для цього виконаємо декомпозицію структурної схеми електромеханічної системи (рис. 1), на відповідні групи:

- 1 група: тяговий двигун – редуктор – колісна пара;
- 2 група: перетворювач – тяговий двигун;
- 3 група: генератор – перетворювач;
- 4 група: генератор – перетворювач – тяговий двигун;
- 5 група: дизель – генератор;



б група: загальна система керування всіма ланками та системою в цілому.

Виконаємо узагальнення основних структур елементів декомпонованої системи відповідно до запропонованої класифікації, взаємозв'язок між якими дозволяє максимально використати синергетичні властивості електромеханічної системи. Варіанти структур групи «тяговий двигун-редуктор» наведено в таблиці 3.

Таблиця 3 - Варіанти структур групи «тяговий двигун-редуктор»

Структура елементів групи	Категорія потужності		
	I	II	III
Редуктор зі змінною кількістю ступенів – Тяговий двигун			
Безредукторна система (мотор-колесо)			
Тяговий двигун спеціальної конструкції – Редуктор			

Варіанти структур групи «перетворювач - тяговий двигун» (табл. 4), варіанти структур групи «генератор - перетворювач» (табл.5) наведено у табличній формі.

Таблиця 4 - Варіанти структур групи «перетворювач - тяговий двигун»

Структура елементів групи	Категорія потужності		
	I	II	III
Перетворювач частоти – Тяговий двигун спеціальної конструкції			
Багаторівневий перетворювач частоти – Тяговий двигун змінного струму			
4q-перетворювач – Тяговий двигун			
Використання накопичувача енергії			

Таблиця 5 - Варіанти структур групи «генератор-перетворювач»

Структура елементів групи	Категорія потужності		
	I	II	III
Генератор – Перетворювач – Загальна шина постійного струму			
Генератор – Безпосередній перетворювач частоти			
Генератор – Накопичувальна система – Перетворювач			



Варіанти структур групи «генератор - перетворювач - тяговий двигун» наведено в таблиці 6. Варіанти структур групи «дизель-генератор» наведено в таблиці 7.

Таблиця 6 - Варіанти структур групи «генератор - перетворювач - тяговий двигун»

Структура елементів групи	Категорія потужності		
	I	II	III
Система Генератор – Тяговий двигун (без тягового перетворювача з живленням власних потреб від допоміжного генератора)			
Генератор – Перетворювач – Загальна шина постійного струму			
Генератор – Перетворювач – Загальна шина постійного струму з накопичувальною системою			

Таблиця 7 - Варіанти структур групи «дизель - генератор»

Структура елементів групи	Категорія потужності		
	I	II	III
Дизель – Швидкохідний синхронний генератор			
Дизель – Генератор з суміщеними обмотками			
Дизель з наддувом або форсуванням – Генератор			
Дизель-компресор – Генератор з можливістю роботи в режимі двигуна			

Висновок

Проведено дослідження зі створення класифікації дизель-генераторних електромеханічних систем за потужністю.

Приведена класифікація структур показує єдність між підходами щодо дизель-генераторних електромеханічних систем змінного та постійного струмів, що дозволяє уніфікувати запропоновані заходи та розповсюджувати їх на більш широкий клас транспортних засобів. Проте, з огляду на сучасний розвиток елементної бази, перспективність побудови в майбутньому більшої частини електромеханічних систем на основі змінного струму, даний напрямок є більш перспективним.

Список використаних джерел.

1. Булгаков В. М. Обґрунтування типу сільськогосподарських тракторів в Україні / В. М. Булгаков, А. С. Заришняк, В. М. Кюрчев, В. Т. Надикто // Вісник аграрної науки. – 2010. – №: 11. – С. 5-8.



2. *Надикто В. Т.* Енергонасиченість тракторів та шляхи її реалізації / *В. Т. Надикто* // Техніка і технології АПК. – 2011. – № 9. – С. 8-11.

3. *Кулагін Д. О.* Проектування систем керування тяговими електродередачами моторвагонних поїздів: монографія / *Д. О. Кулагін*. – Бердянськ: ФОП Ткачук О. В., 2014. – 154 с.

КЛАССИФИКАЦИЯ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПО ТЯГОВЫМ КАТЕГОРИЯМ

Кулагин Д.А., Яценко Д.В., Яценко А.В.

Аннотация - на основе существующей тяговой классификации тракторов предложена классификация дизель-генераторных электромеханических систем по мощности для большинства транспортных машин и подвижного состава железных дорог. Также выполнены декомпозиция последовательной структуры дизель-генераторной электромеханической системы транспортного средства и обобщение основных структур элементов декомпозирована системы.

CLASSIFICATION OF DIESEL-GENERATOR ELECTROMECHANICAL SYSTEMS BY TRACTION CATEGORIES

Kulagin D., Yatsenko D., Yatsenko O.

Summary

On the basis of the existing traction classification of tractors, the classification of diesel-generator electromechanical systems by power for the majority of transport vehicles and rolling stock of railways is proposed. Decomposition of the serial structure of the diesel-generator electromechanical system of the vehicle and generalization of the basic structures of the elements of the decomposed system are also performed.



УДК 621.314

СПОСОБИ ОЦІНКИ ВТРАТ НА ВИХРОВІ СТРУМИ У ЕЛЕМЕНТАХ КОНСТРУКЦІЇ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Кулагін Д.О., к.т.н.,

Волков М.А.

Запорізький національний технічний університет

Тел.: 0939833777

Анотація - розглянуто практичні прийоми розрахунку втрат на вихрові струми у елементах конструкції трансформаторів. Проаналізовано особливості застосування програмного комплексу FEMM для розрахунку втрат на вихрові струми у феромагнітних тілах.

Ключові слова: трансформатор, втрати на вихрові струми, чисельні методи, FEMM

Постановка проблеми.

У феромагнітних тілах під дією змінного у часі магнітного поля наводяться вихрові струми, які ще називаються струмами Фуко. Вихрові струми, у свою чергу, призводять до втрат енергії. Ці втрати залежать від інтенсивності поля розсіювання, від розташування, форми та розмірів феромагнітних деталей та нестабільних магнітних властивостей сучасних конструкційних сталей. Втрати від вихрових струмів не тільки знижують коефіцієнт корисної дії трансформаторів, але й створюють небезпеку нагрівання окремих конструкційних частин до неприпустимих температур. Тому проблема визначення цих втрат має велике значення при створенні енергоефективного та надійного електротехнічного обладнання [1].

Аналіз останніх досліджень.

Вітчизняними науковцями у минулому столітті була проведена велика робота на тлі розрахунку втрат в елементах конструкції трансформаторів аналітичними методами [2, 3] та за допомогою фізичного моделювання [4]. Створення фізичних моделей є справою затратною у грошовому сенсі, а аналітичні методи, зазвичай, мають вузькі межі застосування, тому в наш час все більше уваги отримують чисельні методи розрахунку. У статтях [5, 6] проводиться ретельний аналіз розрахунку втрат у елементах конструкції трансформатора: аналітичних, аналітико-емпіричних та комбінованих з чисельними методами. Але більшість авторів розглядають розрахунок втрат з позиції оптимізації



[7,8], зосереджуючи увагу не на самих розрахунках, а на тому, як з їх допомогою можна зменшити втрати. Варто зазначити, що у сучасній науковій літературі у якості інструментів для розрахунку електромагнітного поля та втрат на вихрові струми використовуються програмні комплекси такі як Ansys Maxwell та Infolytica Magnet, вартість яких простягається далеко за межі купівельної спроможності українських інженерів та науковців. Увага концентрується на розрахунках електромагнітного поля у тривимірній постановці та супутній їй теорії, уникаючи двовимірної постановки та аспектів її практичного застосування.

Формулювання цілей статті.

Основною метою статті є аналіз способів оцінки втрат на вихрові струми у елементах конструкції трансформаторів за допомогою сучасних методів та загальнодоступних програмних комплексів.

Це вимагає постановки таких основних завдань як:

- вибір методів розрахунку електромагнітного поля;
- розробка практичних прийомів розрахунку втрат від вихрових струмів у конструкційних елементах трансформаторів;
- пошук та аналіз математичних та фізичних моделей для перевірки точності методів розрахунку втрат;
- розробка методів корегування отриманих результатів для наближення моделі до реального об'єкту.

Основні матеріали дослідження.

Основою для визначення втрат в елементах конструкції є розрахунок електромагнітного поля, яке у машинах та пристроях змінного струму можна вважати квазістаціонарним. Найбільш популярні та надійні методи розрахунку електромагнітних полів належать до польових, які, у свою чергу, підрозділяються на чисельні методи (метод скінченних елементів та метод кінцевих різниць) та інтегральні методи (метод граничних елементів та метод еквівалентних магнітних сіток) [9].

Як було зазначено вище, вхідними даними для розрахунку втрат від струмів Фуко у елементах конструкції силових трансформаторів є результати розрахунку електромагнітного поля. Електромагнітне поле може бути розраховане за допомогою аналітичних та чисельних методів, змодельоване на електропровідному папері, або за допомогою масштабних фізичних моделей [4]. Звісно, для простих випадків аналітичні методи дозволяють досягти необхідної точності, але для комплексних конструкцій аналітичні викладки приймають складний вигляд, також зростає і кількість припущень. На відміну від аналітичних, чисельні методи не мають цих обмежень Вони дозволяють провести розрахунки електромагнітного поля практично для будь-якого випадку, для джерел та конструкцій будь-якої конфігурації. До того ж зараз

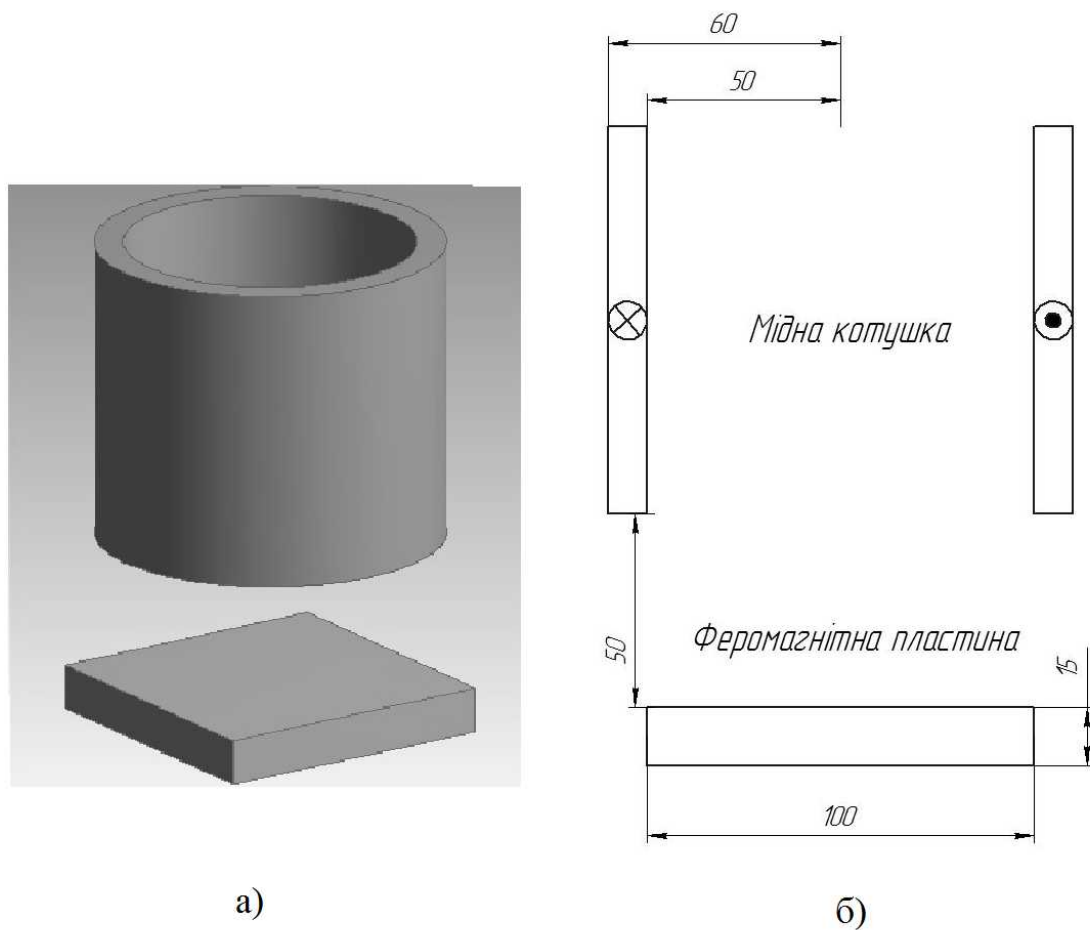


існує велика кількість програм з чисельного аналізу електромагнітного поля, таких як Magnet Infolytica, Ansys, FEMM, MaxFEMM та інші. Вище зазначене робить чисельний аналіз електромагнітного поля прикладним для інженерів-проектувальників інженерного обладнання.

Трансформатори є комплексними пристроями, які складаються з великої кількості конструкційних деталей, таких як бак, ярмові балки, пресувальні кільця, пресувальні пластини та ін. Чисельне моделювання трансформаторів вимагає досить великих затрат часу, більша частина якого витрачається на створення чисельної моделі. Тому валідацію методик розрахунку вихрових струмів у елементах конструкції трансформаторів варто проводити на моделях окремих вузлів (наприклад модель сильнострумового вводу трансформатору), або значно спрощених моделях, які у широкому сенсі відтворюють фізику зазначеного явища та можуть бути з легкістю та без зайвих грошових затрат відтворені у якості фізичної моделі. У якості прикладу таких моделей можна навести сімейство фізичних моделей «Team problem 21» [10]. Сімейство цих моделей постійно поповнюється. На даний час моделі «Team problem 21» дозволяють проводити дослідження втрат у конструкційних елементах різноманітної конфігурації виготовлених з магнітних та немагнітних сталей, визначення ефекту від впровадження електромагнітних екранів.

У якості інструменту аналізу у даній статті використовується програма для розрахунку двовірних електромагнітних полів «FEMM» [11]. Вибір пояснюється безкоштовністю, гнучкістю та точністю розрахунків електромагнітного поля цим програмним комплексом, що буде доведено наступними розрахунками. Варто зазначити, що для широкого спектру інженерних проблем двовірний розрахунок електромагнітного поля є найкращим вибором, який дає задовільну точність та оптимізаційний потенціал.

Через те, що більшість моделей сімейства «Team Problem 21» потребують розрахунку електромагнітного поля у тривимірній постановці, прийоми та методики розрахунку втрат було вирішено відпрацювати на спрощеній моделі [12]. Модель складається з мідної котушки, з провідністю $\sigma_m=50$ МСм/м та відносною магнітною проникністю $\mu_p=1$ та феромагнітної пластини з відносною магнітною проникністю яка дорівнює $\mu_p=200$, та питомою провідністю $\sigma_p=6.66$ МСм/м. Тривимірна та аналогічна їй планарна модель з нанесеними у мм розмірами зображені на рис. 1.



а)

б)

а) 3D репрезентація моделі

б) планарна модель з нанесеними розмірами

Рис. 1. Спрощена модель для відпрацювання методик розрахунку втрат на вихрові струми у елементах конструкції

У даному випадку котушка приймається одновитковою і живиться змінним струмом частотою 50 Гц та діючим значенням в $I=10000\text{A}$.

Практичні прийоми розрахунку втрат на вихрові струми у елементах конструкції:

Для розрахунку втрат в елементах конструкції трансформаторів існує велика кількість аналітичних та емпіричних формулювань, які не є універсальними, так як мають певні умови, які окреслюють межі їх застосування [9].

Розрахунок втрат, викликаних струмами Фуко у елементах конструкції виготовлених з феромагнітної сталі, слід виконувати дотримуючись таких принципів:

- основна частина втрат на вихрові струми у масивних феромагнітних тілах виділяється у тонкому поверхневому шарі. Це треба враховувати під час побудови моделі при електромагнітних розрахунках;
- розрахунок електромагнітного поля у феромагнітних тілах є затратним за часом, тому там, де це можливо, повинні застосовуватися

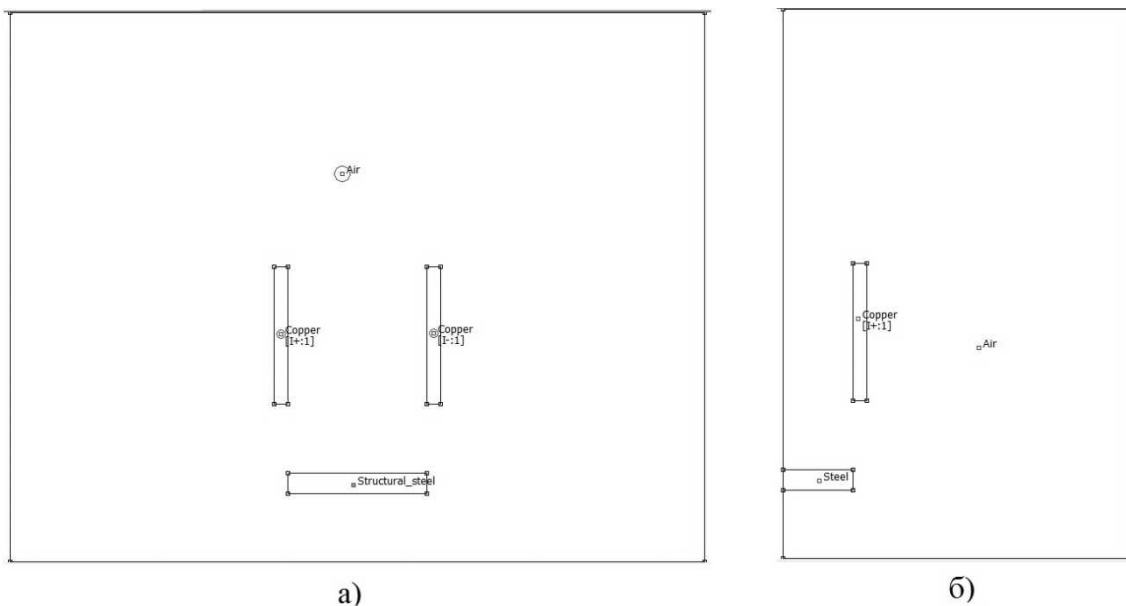
умови симетрії (тобто моделювання половини, чверті або навіть восьмої частини реального об'єкту);

- геометрія реальних об'єктів обов'язково повинна спрощуватися (позбавлення від невеликих отворів та нерівностей), тому що це не сильно впливає на загальний рівень втрат, але вносить похибку у розрахунки та збільшує їх час.

- процес розрахунку втрат повинен бути ітераційним, при цьому втрати повинні уточнюватися відповідно до зміни температури.

Особливості розрахунку втрат на вихрові струми у феромагнітних тілах із застосуванням програми FEMM.

Окрім вищезазначених принципів не слід забувати про особливості використовуваних методів та програмного забезпечення. Так як у даній статті для аналізу електромагнітного поля використовується FEMM, який передбачає двомірну постановку проблеми, є дуже важливим правильно конвертувати модель з 3D у 2D. Для ілюстрації цієї проблеми розглянемо два варіанти: модель симетрична навколо вісі Z (axisymmetric) та плоска (planar). Геометрія моделей разом з оточуючим їх повітрям зображена на рис. 2.



а) плоска постановка; б) постановка симетрична навколо вісі Z
Рис. 2. Геометрія досліджуваної моделі у плоскій та симетричній навколо вісі постановках

Вже з першого погляду зрозуміло, що симетрична навколо вісі Z модель є більш економічною у плані розрахунку часу та кількості кінцевих елементів. Програма FEMM має потужну математичну базу та широкий функціонал. Окрім розрахунку основних параметрів електромагнітного поля, FEMM має вбудований калькулятор, який дозволяє розрахувати велику кількість величин, у тому числі й втрати на

вихрові струми. Тому для розрахунку втрат, за допомогою калькулятора проінтегруємо втрати за площею їх виділення.

Після проведення розрахунків виявилось, що постановка симетрична навколо вісі Z більш точно відбиває фізику реального об'єкту (рис. 3). Втрати у ній виявилися рівними 102,5 Вт проти реальних 131,9 Вт.

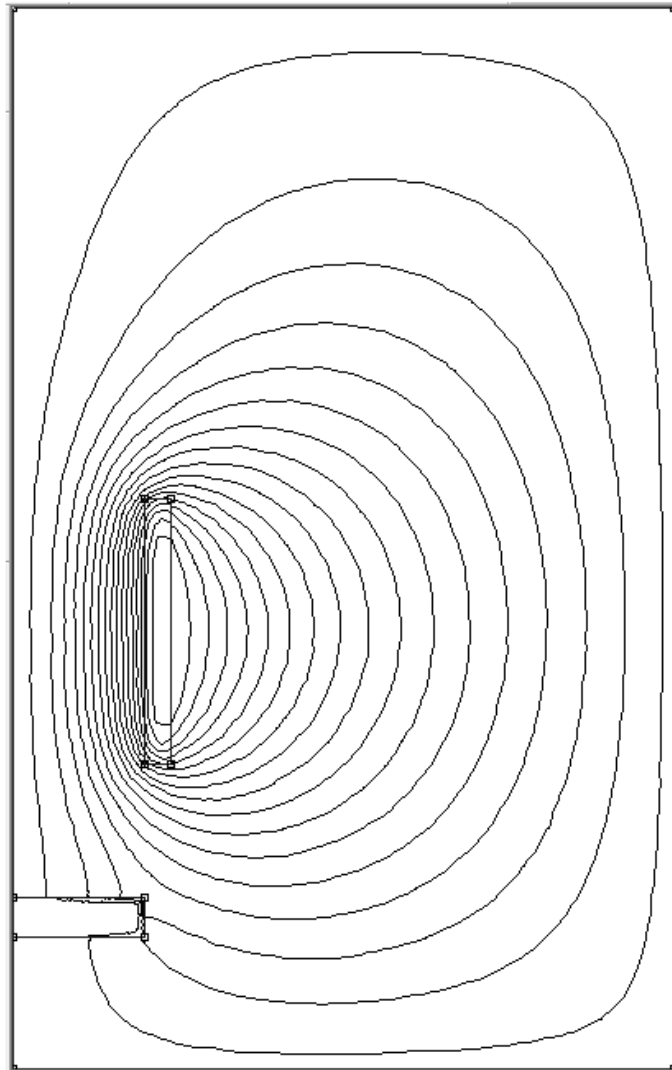


Рис. 3. Картина розподілу силових ліній індукції магнітного поля у симетричній навколо вісі Z постановці

Втрати ж у плоскій постановці (рис.4) (при глибині моделі у 100 мм) склали 272,3 Вт, що більш ніж у 2 рази вище за реальне значення.

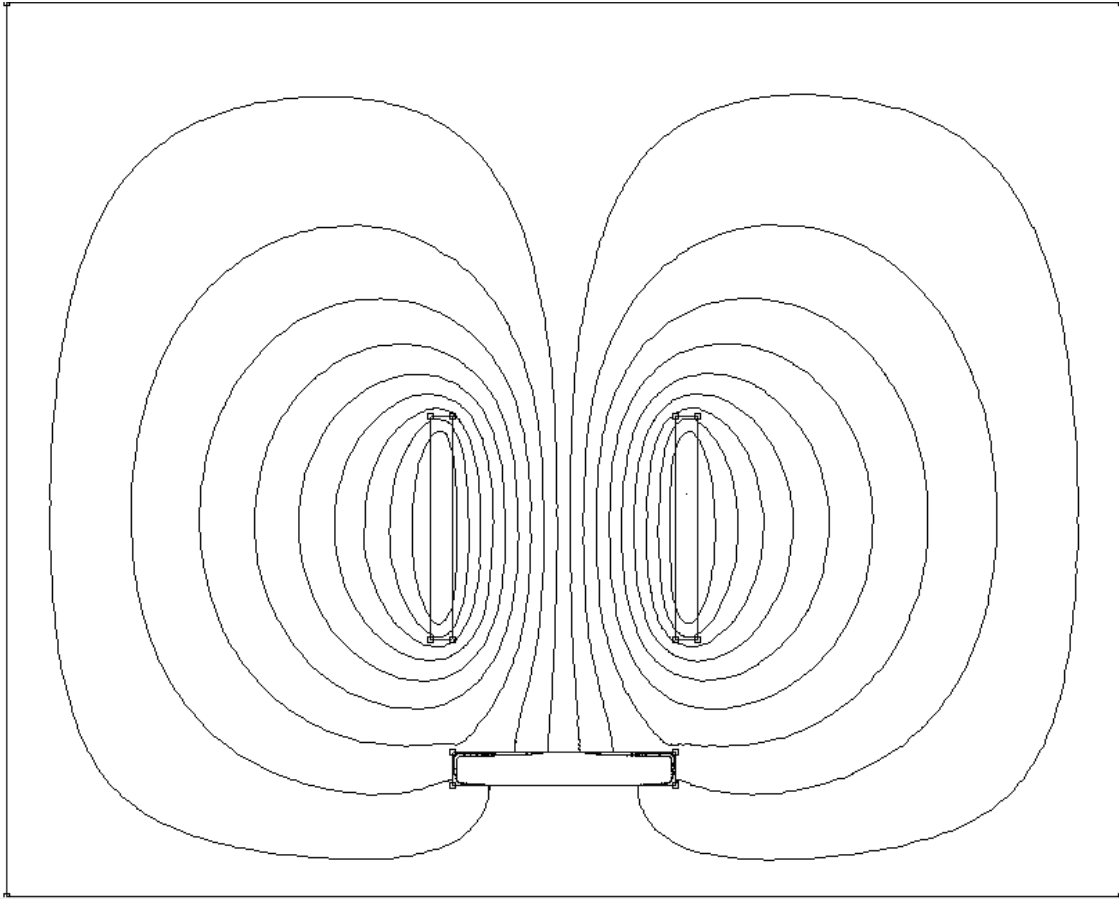


Рис. 4. Картина розподілу силових ліній індукції магнітного поля плоскій постановці

Повернемося до постановки симетричної навколо вісі Z. Взагалі-то ця постановка не зовсім вірно відбиває реальний об'єкт. Феромагнітна пластина 100x100x15 мм у даному випадку представлена у вигляді циліндру з діаметром 100 мм та висотою 15 мм, тому введемо коефіцієнт корекції втрат через геометричну відмінність від реального об'єкту

$$K = \frac{V_n}{V_u}, \quad (1)$$

де V_n - об'єм прямокутної пластини $V_n = 150000 \text{ мм}^3$;

V_u - об'єм «циліндричної» пластини $V_u = 117809 \text{ мм}^3$.

$$K = \frac{150000}{117809} = 1,273.$$



Звідки зкорегована потужність втрат від вихрових струмів у феромагнітній пластині

$$P_{\circ} = P_{\text{розн.}} \cdot K, \quad (2)$$

де $P_{\text{розн.}}$ - втрати розраховані за допомогою вбудованого калькулятора програми FEMM.

$$P_{\circ} = 102,5 \cdot 1,273 = 130,48 \text{ Вт.}$$

Отримане значення втрат відрізняється від відомих даних лише 1%. Це свідчить про доцільність зроблених припущень і можливість застосування програми FEMM для валідації розроблених методик розрахунку, та для розрахунків втрат від вихрових струмів у таких елементах конструкції трансформатора як :

- бокові стінки бака;
- кришка бака;
- дно бака ;
- кожухи введів низької напруги;

З рис. (3-4) видно, що силові лінії індукції магнітного поля замикаються через поверхневі шари феромагнітної пластини, що узгоджується з попередніми твердженнями. Для правильного розрахунку втрат від вихрових струмів у такому випадку можна обрати два шляхи:

- зменшити розмір кінцевих елементів у феромагнітному тілі;
- розбити феромагнітне тіло на шари (товщина перших 2-3 шарів потрібна дорівнювати глибині проникнення електромагнітної хвилі);

Але краще поєднати ці два методи. Спочатку феромагнітне тіло розбивається на шари. А потім кожному шару присвоюється свій розмір скінченних елементів. Найменші елементи у поверхні феромагнетика, і чим далі від поверхні – тим більше повинен бути розмір елемента. Даний підхід дозволяє одночасно мінімізувати кількість скінченних елементів, що зменшує час розрахунку, та підвищити точність розрахунку (через урахування поверхневого ефекту).

Розраховані таким чином значення втрат повинні ітеграційно уточнюватися відповідно до температури на даному кроці розрахунку. Це викликано тим, що провідність металів змінюються разом зі зміною температури.

Висновок. У статті розглянуто практичні прийоми розрахунку втрат на вихрові струми у феромагнітних тілах та елементах конструкції трансформаторів за допомогою програмного комплексу FEMM. Показані сфери використання тих чи інших методів та особливості ро-



зрахунків у двовимірній постановці. Наведена чисельна модель може бути використана для валідації методик розрахунку додаткових втрат у силових трансформаторах. Матеріали викладені у статті можуть бути корисними інженерам-проектувальникам електротехнічного обладнання.

Список використаних джерел :

1. *Olivares-Galvan J. C.* Reduction of stray losses in flange-bolt regions of large power transformer tanks / *J. C. Olivares-Galvan, S. Magdaleno-Adame, R. Escarela-Perez, R. Ocon-Valdez et.al.* // *IEEE transactions on industrial electronics.* – 2014. – vol. 61. – pp. 4455-4463.

2. *Березовский А. А.* Расчёт добавочных потерь в баке трансформаторов / *А. А. Березовский, А. Н. Кравченко, Л. П. Нижник* // *Электричество.* – 1966. – №9. – С. 2-7.

3. *Морозов Д. Н.* Расчёт местных нагревов стержня трансформатора от добавочных потерь / *Д. Н. Морозов* // *Электричество.* – 1968. – №3. – С. 32-37.

4. *Кравченко А. Н.* Исследование общих потерь в баке силовых трансформаторов на физических моделях / *А. Н. Кравченко, Г. И. Калайда, В. В. Зиновкин* // *Проблемы технической электродинамики.* – 1971. – выпуск 51. – С. 29-34.

5. *Иванков В. Ф.* Электротепловые расчётные модели элементов конструкции трансформаторного оборудования / *В. Ф. Иванков, А. В. Басова, Н. В. Шульга* // *Электротехніка та електроенергетика.* – 2014. – №2. – С. 41-53.

6. *Basova A. V.* Losses, heating in tank covers of transformers / *A. V. Basova, V. F. Ivankov, I. V. Khimjuk* // *Технічна електродинаміка.* – 2013. – № 4. – С. 74-80.

7. *V Dave K.* Use of FEM for reduction of transformer stray loss / *K. V Dave, S. M. Kanani* // *International journal of science, engineering and technology research.* – 2016. – volume 5. – issue 2, – pp. 2278-7798.

8. *Valkovic Z.* Stray losses in transformer clamping plate / *Z. Valkovic, Z. Stih* // *XVII International conference on electrical machines : September 2006 : proceedings.* – At Chania, Greece. – 2006.

9. *Кулагін Д. О.* Сучасні методи розрахунку та визначення втрат потужності в елементах конструкції трансформаторів / *Д. О. Кулагін, М. А. Волков* // *Енергетичний менеджмент : стан та перспективи розвитку – PEMS'16 : міжнар. науково-техн. та навчально-метод. конф., 30 червня – 01 липня 2016 р. – К., 2016 – С.41–42.*

10. *Cheng Z.* Team problem 21 Family (v.2009) / *Z. Cheng, N Takahashi, B. Forghani* // *17th Conference on the Computation of Electromagnetic Fields 2009 : 22-26 November 2009: proceedings.* – Florianopolis, Brazil. – 2009.

11. FEMM software : <http://www.femm.info/wiki/Download>.



12. *Granganu-Cretu B.* Challenges of magnetic quasi-stationary field computations in industrial power devices/ *B. Granganu-Cretu, J. Smajic, H. Nordborg* // International symposium on numerical field calculation in electrical engineering : Proceedings of 12th international symposium., 2006., Graz, Austria, 2006 – pp. 313-317.

СПОСОБЫ ОЦЕНКИ ПОТЕРЬ НА ВИХРЕВЫЕ ТОКИ В ЭЛЕМЕНТАХ КОНСТРУКЦИИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Кулагин Д. А., Волков М. А.

Аннотация - рассмотрены практические приёмы расчёта потерь на вихревые токи в элементах конструкции трансформаторов. Проанализированы особенности применения программного комплекса FEMM для расчёта потерь на вихревые токи в ферромагнитных телах.

METHODS OF EDDY CURRENT LOSSES ESTIMATION IN CONSTRUCTIONAL PARTS OF POWER TRANSFORMERS

D. Kulagin, M. Volkov

Summary

The article provides practical methods of eddy current losses calculation in transformer constructional parts. Features of FEMM software package use for eddy current losses calculation in ferromagnetic bodies were analysed.



УДК 621.313.333.2

ПАРАМЕТРИ ДІАГНОСТУВАННЯ ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В АСИНХРОННОМУ ЕЛЕКТРОДВИГУНІ

Курашкін С.Ф., к.т.н.,

Попова І.О., к.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Телефон: (0619) 42-32-63

Анотація – проведено дослідження перетворення електричної енергії в асинхронному електродвигуні за параметрами діагностування, у якості яких прийняті коефіцієнти втрат електричної енергії та витрати ресурсу ізоляції.

Ключові слова: ресурс роботи електродвигуна, швидкість теплового зносу ізоляції, коефіцієнт втрат електричної енергії, коефіцієнт витрати ресурсу ізоляції.

Постановка проблеми. Надійність асинхронних електродвигунів під час їх експлуатації залишається невисокою, тому система їх діагностування та захисту від роботи в аварійних режимах потребує вдосконалення.

Аналіз останніх досліджень. Існуючі методи дослідження режимів роботи електродвигунів в якості критерію оцінки режимів роботи використовують силу електричного струму, але не враховується такий об'єктивний показник, як витрата ресурсу ізоляції обмоток електродвигуна.

Формулювання цілей статті. Потребує дослідження залежності витрати ресурсу ізоляції асинхронного електродвигуна, а також втрати електричної енергії в функції кратності сили електричного струму.

Основна частина. Ресурс роботи електродвигуна до першого капітального ремонту прийнято вважати базовим ресурсом – швидкість його витрати пов'язана, перш за все, з поточним режимом його роботи та розраховується за виразом [1]

$$\varepsilon = \varepsilon_n e^{B \left(\frac{1}{\theta_n} - \frac{1}{\theta_y} \right)}, \quad (1)$$

де ε – швидкість теплового зносу ізоляції, бгод/год;

ε_n – номінальна швидкість теплового зносу ізоляції, бгод/год;

θ_n – абсолютна номінальна температура ізоляції даного класу, К;



θ_y – абсолютна усталена температура ізоляції, К;

B – показник, що характеризує ізоляцію даного класу, К.

Усталене перевищення температури ізоляції електродвигуна та абсолютна усталена температура ізоляції залежать від кратності сили електричного струму, що споживається електродвигуном [1]:

$$\tau_y = \tau_n \frac{a+k^2}{a+1}, \quad (2)$$

$$\theta_y = \tau_y + \vartheta_{cp} + 273, \quad (3)$$

де τ_n – номінальне перевищення температури ізоляції даного класу, °С;

a – коефіцієнт втрат;

k – кратність сили електричного струму;

ϑ_{cp} – температура навколишнього середовища, °С.

Оскільки номінальні втрати розподіляються на втрати в сталі ΔP_{cn} і міді ΔP_{mn}

$$\Delta P_n = \Delta P_{cn} + \Delta P_{mn}, \quad (4)$$

їх відношення визначає коефіцієнт втрат a

$$a = \frac{\Delta P_{cn}}{\Delta P_{mn}}. \quad (5)$$

Фактичні втрати активної потужності являють собою суму втрат ΔP_{cn} і ΔP_{mn} , які пропорційні квадрату кратності сили електричного струму, що споживається електродвигуном

$$\Delta P = \Delta P_{cn} + k^2 \Delta P_{mn}. \quad (6)$$

Для аналізу і оцінки впливу режиму роботи асинхронного електродвигуна на швидкість витрати базового ресурсу ізоляції були введені коефіцієнти втрат електричної енергії k_n і витрати ресурсу ізоляції k_p :

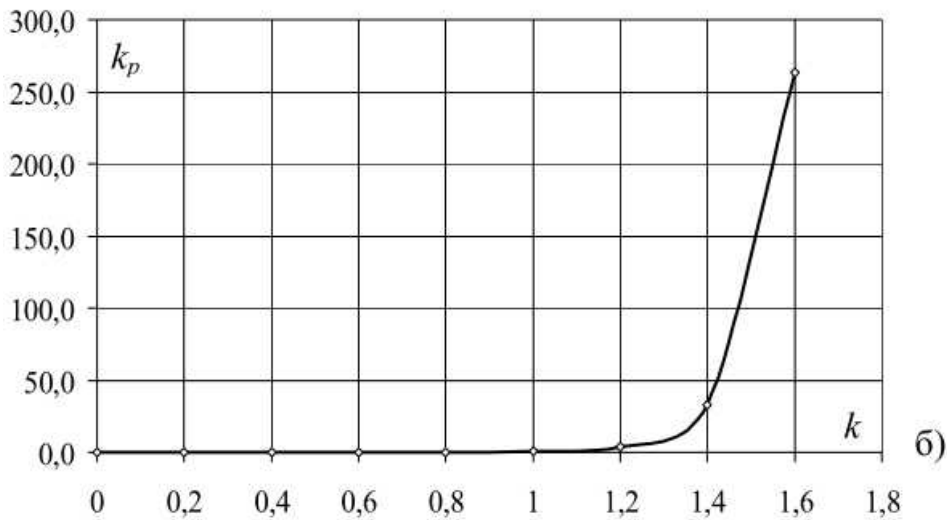
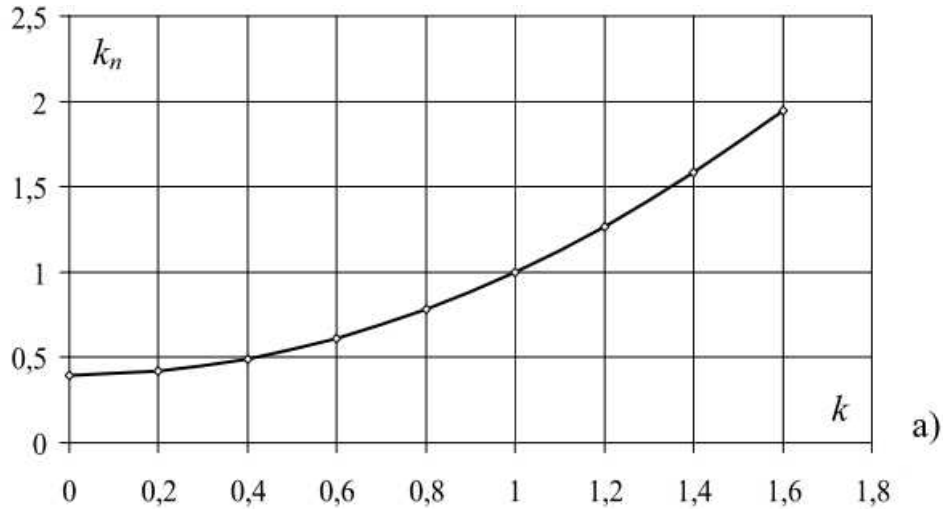
$$k_n = \frac{\Delta P_{cn} + k^2 \Delta P_{mn}}{\Delta P_{cn} + \Delta P_{mn}}, \quad (7)$$

$$k_p = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_n}, \quad (8)$$

Дослідимо витрати ресурсу ізоляції асинхронного електродвигуна АИР180М4У3 вальцювальної машини ВС-5 в функції навантаження, прийнявши температуру навколишнього середовища $\vartheta_{cp} = 20$ °С.

Вихідні дані електродвигуна, що досліджується: $\theta_n = 428$ К; $B = 12700$ К; $\tau_n = 115$ °С; $\vartheta_{cp,n} = 20$ °С; $\Delta P_{cn} = 1024$ Вт; $\Delta P_{mn} = 1585$ Вт; $a = 0,65$.

Результати розрахунків представлені у вигляді залежностей коефіцієнтів k_n і k_p в функції кратності струму навантаження електродвигуна (рис. 1).



Умовою відсутності анормального режиму роботи асинхронного електродвигуна з точки зору перетворення електричної енергії є

$$k_{\gamma} \leq 1 \text{ и } k_{\delta} \leq 1. \quad (9)$$

Аналіз показує, що коефіцієнти втрат k_n і витрати ресурсу ізоляції k_p можуть бути застосовані у якості параметрів діагностування процесу перетворення електроенергії в асинхронному електродвигуні. За цим принципом можлива побудова системи функціонального діагностування електродвигунів.

Оскільки асинхронний електродвигун можна представити гетерогенним тілом, тепловий процес якого описується інтегральною експонентою [2], рівняння нагріву електродвигуна має вигляд

$$\tau = \tau_y \left(1 - e^{-\frac{t}{T_e}} \right) + \tau_{noc} e^{-\frac{t}{T_e}}, \quad (10)$$

де T_e – еквівалентна стала часу нагріву, с;



$\tau_{\text{поч}}$ – початкове перевищення температури обмотки статора, °С.

Висновок. Застосування коефіцієнтів втрат k_n і витрати ресурсу ізоляції k_p у якості параметрів діагностування може бути використане в засобах функціонального діагностування для визначення аномального режиму роботи під час перетворення електричної енергії в асинхронному електродвигуні.

Список використаних джерел.

1. *Овчаров В.В.* Эксплуатационные режимы работы и непрерывная диагностика электрических машин в сельскохозяйственном производстве / В.В. Овчаров. – К.: УСХА, 1990. – 168 с.

2. *Курашкин С.Ф.* Диагностирование эксплуатационного режима погружного электродвигателя / С.Ф. Курашкин, Р.В. Телюта // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. Общегосударственный научно-производственный и информационный журнал. 2010. – № 8 (78). – С. 60-65.

**ПАРАМЕТРЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В АСИНХРОННОМ
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕ**

Курашкин С.Ф., Попова И.А.

Аннотация – проведено исследование преобразования электрической энергии в асинхронном электродвигателе. В качестве параметров диагностирования приняты коэффициенты потерь электрической энергии и расхода ресурса изоляции.

**DIAGNOSTIC PARAMETERS OF ELECTRIC ENERGY
TRANSFORMATION IN ASYNCHRONOUS ELECTRIC MOTOR**

S. Kurashkin, I. Popova

Summary

The work is devoted to research of electric energy transformation in an asynchronous electric motor. There were proposed to use coefficients of electric energy loss and resource of isolation consumption as diagnostic parameters of rated operating mode.



УДК 621.311

НЕЧЕТКІ АДАПТИВНІ ПІД-РЕГУЛЯТОРИ ТА МЕТОДИКА ЇХ НАЛАШТУВАННЯ

Лобода О.І., к.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел.: +38(0619) 425-797

Анотація - запропоновано методику налаштування адаптивного ПІД – регулятора з використанням елементної бази нечіткої логіки з подальшою симуляцією в програмі Matlab, що надає можливість скоротити час його налаштування і розширити потенціальні можливості адаптивного регулятора в процесі керування технологічним процесом.

Ключові слова: адаптивний, база правил, об'єкт керування, перехідна характеристика, ПІД-регулятор, симуляція.

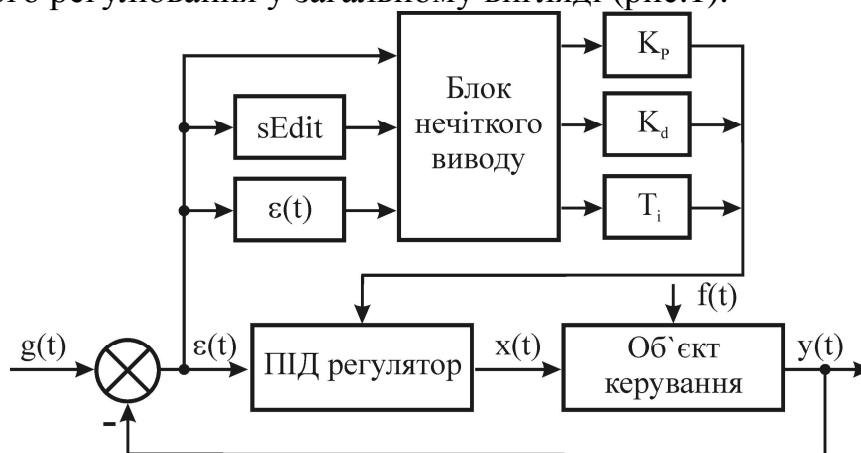
Постановка проблеми. При керуванні складними об'єктами, що функціонують в умовах не стаціонарних процесів, широке застосування знайшли адаптивні регулятори, які дозволяють розраховувати коефіцієнти налаштування і реалізувати складні закони регулювання. Адаптивні контролери зарубіжних і вітчизняних виробників: Кобра, МІКСТ, Реміконт, Протар, Овен, Сіменс, Мікрол та інші, як правило, реалізують метод Зіглера-Ніколса [1]. Слід зазначити, що даний метод засновано на виводі діючої системи з П – регулятором на межу стійкості і розрахунку за критичними періодами коливань і коефіцієнту передачі регулятора оптимальних параметрів налаштування ПІД регулятора з використанням для цього простих емпіричних формул. Але за умовами експлуатації, ряд технологічних процесів не допускають автоколивального режиму. Таким чином, задача знаходження оптимального методу адаптації залишається відкритою.

Аналіз останніх досліджень. Останнім часом широку популярність знаходять нечіткі моделі й алгоритми керування [2,3,5]. Відомо, що нечітке керування засновано на використанні не стільки аналітичних або теоретичних моделей, скільки на практичному застосуванні знань кваліфікованих фахівців, представлених у формі лінгвістичних баз правил. Нечітке керування ефективно у випадках недетермінованості параметрів об'єктів, коли існує певний досвід експертів з керування та налаштування автоматизованої системи регулювання. Теорія нечіткої логіки дає змогу використовувати знання наладчиків з метою

поліпшення процесів керування і надання допомоги (супервизорний режим автоматичної системи керування) налаштування типових регуляторів. Виходячи з вище сказаного, є актуальним завдання зі створення методу адаптації ПІД-регулятора, що реалізує досвід наладчиків.

Формулювання цілей статті. Розробка нечіткої бази правил для визначення оптимальних параметрів ПІД-регулятора, при його адаптації до об'єкту керування, та симуляція цих установок в матричній лабораторії Matlab.

Основна частина. Вирішення поставленої задачі поділяється на ряд стадій. Спочатку визначимо структуру адаптивної системи автоматичного регулювання у загальному вигляді (рис.1).



$\varepsilon(t)$ – помилка; $g(t)$ – завдання; $y(t)$ – вихідне значення; $f(t)$ – обурення; K_p , T_i , K_d – налаштування ПІД-регулятора.

Рис. 1. Структура адаптивного нечіткого керування

В подальшому в програмі Matlab (FLT) створимо блок нечіткого виводу або адаптер (рис.2).

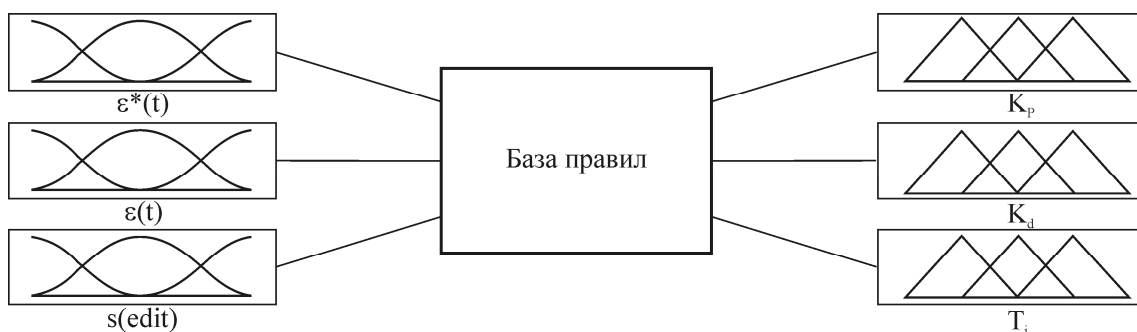


Рис. 2. Графічний інтерфейс редактора FIS

На третьому етапі проводиться фазифікація вхідних та вихідних лінгвістичних змінних. Фазифікація вхідних значень (помилки регулювання ($\varepsilon(t)$), її інтеграла і похідної) проводиться відповідно до рекомендацій [4].



Функцію приналежності Z – вигляду, що представляє термін "негативна помилка "neg" можна представити у вигляді: $f_z(x, -0.6, -0.1) = [1, x < -0.6; -0.1 - x / 0.5; 0, -0.1 < x]$.

Функції приналежності лінгвістичних змінних "Ti" і "Kd" також відображаються Z і S – образними графічними видами програми. Слід зазначити, що Ti лежить в межах [0-5], а Kd = [0-15].

Виходячи з рекомендацій зі спеціалізованої літератури [5], а також досвіду експертів-наладчиків систем автоматизації, пропонуються наступні правила: "ЯКЩО помилка негативна" І "інтеграл помилки не великий" І "похідна помилки негативна" ТО "Кр великий", "Ti великий", "Kd великий" та інше.

Побудова правил нечіткої логіки дозволило провести комп'ютерне тестування нечіткої моделі адаптивного регулятора (рис. 4). У першому експерименті використовувалась автоматична система регулювання з ПІ-регулятором, функціонуючому по каналу завдання $g(t) = 1$, при впливі на об'єкт каналу збурення при цьому

$$W_{3B}(s) = \frac{2,5}{5s^2 + 3s + 1};$$
$$W_f(s) = \frac{0,5}{5s + 1}$$

Налаштування регулятора проводилось методом Зіглера-Ніколса. Значення параметрів дорівнюють $K_p=1,25$; $T_i=0,2$; $K_d=10,5$, а перехідний процес задовольняє основним показникам якості. У зв'язку з невизначеністю умов експлуатації об'єкта, і якщо провести зміну значень ключових параметрів:

$$W_{3B}(s) = \frac{2,5}{15s^2 + 1,5s + 1};$$
$$W_f(s) = \frac{4,0}{17s + 1}.$$

При відомих параметрах регулятора перехідний процес з новими значеннями передатних функцій має перерегулювання $\sigma = 75\%$, що неприпустимо (рис. 3).

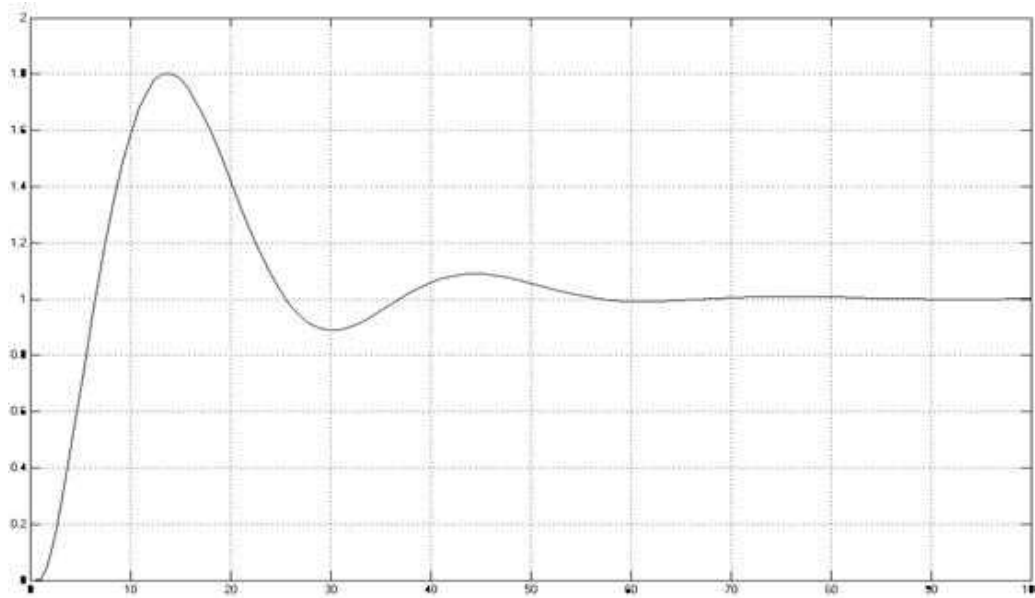


Рис. 3. Перехідний процес за каналом завдання

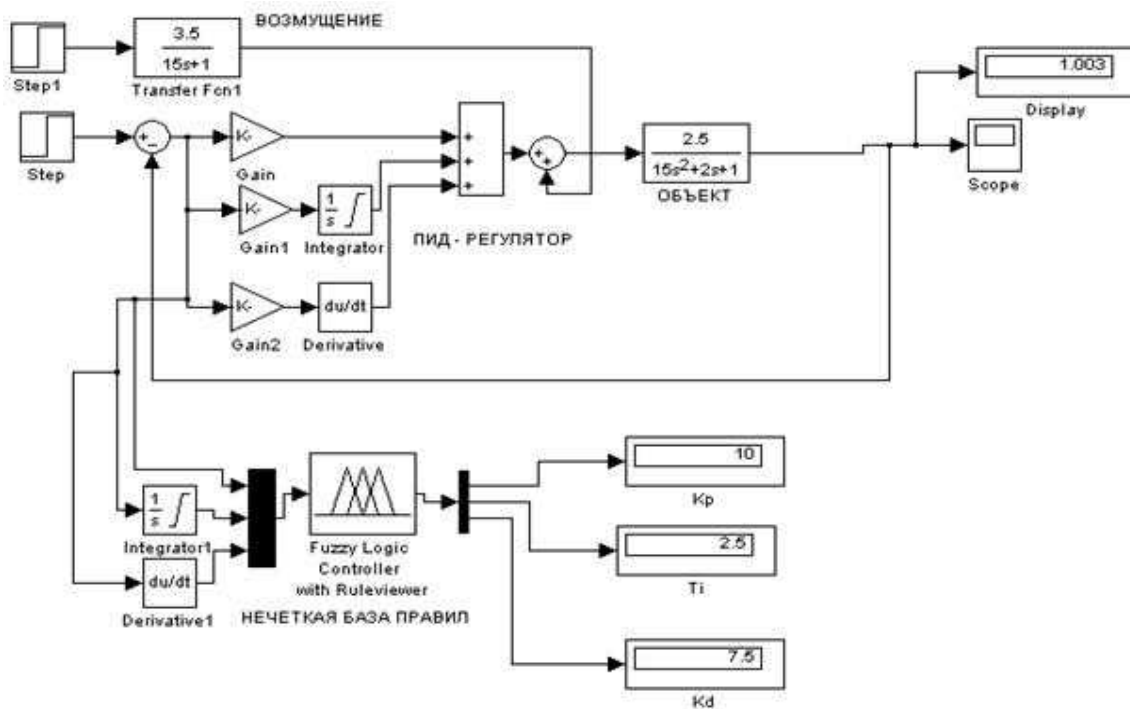


Рис. 4. Експериментальна схема, виконана в програмі Matlab(Simulink)

Таким чином, необхідна тимчасова зупинка складного технологічного процесу і переналаштування значень параметрів ПД-регулятора.

Зробимо перевірку нечіткого адаптера при відомих умовах (рис. 4). Нечітка система дозволила отримати значення коефіцієнтів: $K_p=10$; $T_i=2,7$; $K_d=7,2$, а перехідний процес регулювання при даних параметрах ПД-регулятора показаний на рис.5.

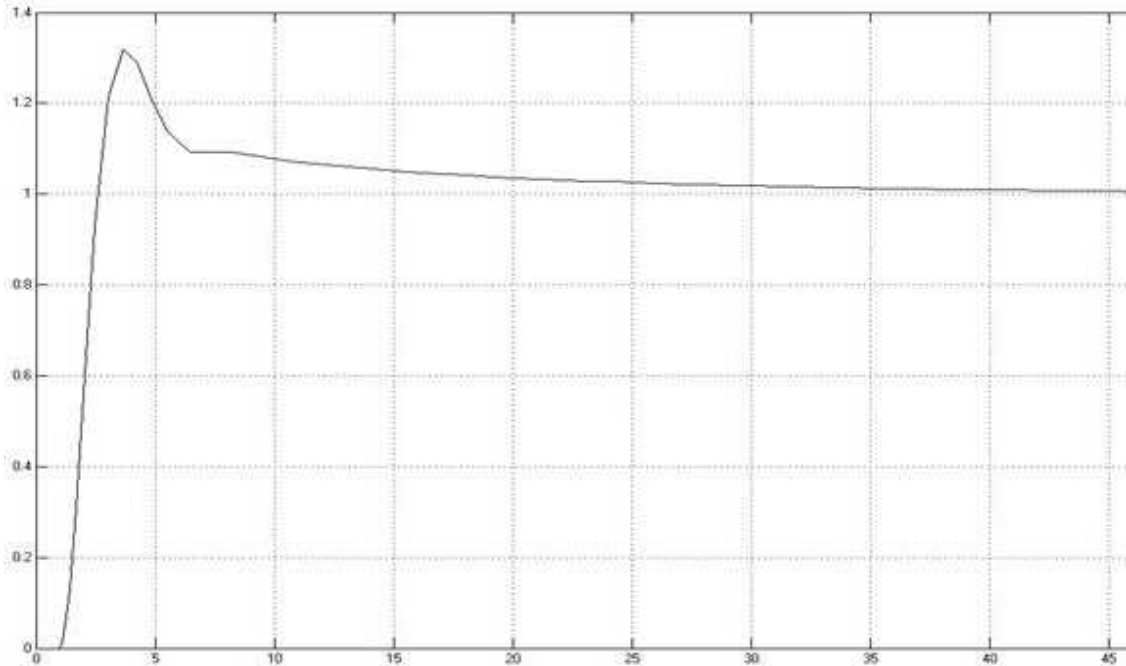


Рис. 5. Перехідний процес, отриманий при адаптивних налаштуваннях

Як видно з рис. 5, перерегулювання σ не більше 30%, що допустимо, а час регулювання $T_p = 25$ секунд.

Висновки.

Використання лінгвістичних баз правил для нечітких адаптивних ПД-регуляторів дозволить ефективно керувати складними технологічними процесами без їх зупинень, а подальше введення нейрокомп'ютера може привести до розумної адаптації по визначенню оптимальних налаштувань без коригування бази правил.

Список використаних джерел.

1. Антонов В. Н. Адаптивное управление в технических системах: Учебное пособие / В. Н. Антонов, В. А. Терехов, И. Ю. Тюкин. – СПб.: Издательство С. – Петербургского университета, 2001. 244 с.
2. Специальные разделы теории управления. Оптимальное управление динамическими системами: учеб. пособие / Ю.Ю. Громов, Н.А. Земской, А.В. Лагутин, О.Г. Иванова, В.М. Тютюнник. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2007. – 108 с.
3. Зайцев Г. Ф. Теория автоматического управления и регулирования / Г. Ф. Зайцев. – 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Выцашк. Головное изд-во, 1989. – 431 с.
4. Иващенко Н. Н. Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем. Учебник для вузов. / Н. Н. Иващенко - М.: Машиностроение, 1978. - 736 с.
5. Калитин Б. С. Качественная теория устойчивости движения динамических систем / Б.С. Калитин. - Мн.: БГУ, 2002. - 198 с.



6. Дьяконов В.П. Simulink 5/6/7: Самоучитель. / В.П. Дьяконов. - ДМК - Пресс, 2008. - 784 с.
7. Кочегурова Е.А. Особенности системы Matlab для решения задач вычислительной математики / Е.А. Кочегурова. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 110 с.

НЕЧЕТКИЕ АДАПТИВНЫЕ ПИД-РЕГУЛЯТОРЫ И МЕТОДИКА ИХ НАСТРОЙКИ

Лобода А. И.

Аннотация – предложена методика настройки адаптивного ПИД – регулятора с использованием элементной базы нечеткой логики с последующей симуляцией в программе MatLab, что дает возможность сократить время его настройки и расширить потенциальные возможности адаптивного регулятора в процессе управления технологическим процессом.

FUZZY ADAPTIVE PID CONTROLLERS AND THE METHOD OF THEIR SETTINGS

Loboda A.

Summary

The proposed method of adaptive tuning of PID controller using fuzzy logic of the circuitry with subsequent simulation in MatLab program that provides the opportunity to reduce the time settings and expand the potential of adaptive control in process control the technological process.



УДК 681.513.6

РОЗПОДІЛ ЕМП ПОБЛИЗУ ГАЗОВОГО РОЗРЯДУ ІНДУКОВАНОГО КРАПЛЕЮ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА

Лобода О.І., к.т.н.,

Залеський А.В., інженер

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел.: +38(0619) 425-797

Анотація - запропонована фізико-математична модель електромагнітного поля поблизу газорозрядного свічення рідиннофазних об'єктів на базі уявлень фізики фрактальних кластерів, яка дає уявлення про поведінку детермінованих складових часових рядів параметрів ГРВ зображень рідиннофазних об'єктів.

Ключові слова: висока напруга, газорозрядне свічення, газовий розряд, електромагнітне поле, кластер, трансформаторне масло.

Постановка проблеми. З метою пояснення видів трендів часових рядів параметрів ГРВ зображень, необхідне створення математичної моделі процесів ГРВ досліджуваного об'єкта.

Аналіз останніх досліджень. З результатів експериментів останніх досліджень можемо встановити, що відповідні тренди параметрів ГРВ зображень мають три види: монотонно зростаючі, монотонно спадні та квазістаціонарні.

Відомо, що всі розглянуті характеристики газорозрядного свічення та їх параметри ГРВ зображень, а також їх динаміка, залежать від ЕМП поблизу газового розряду, індукованого об'єктом у зовнішньому ЕМП високої напруги [1, 2].

Газовий розряд, індукований оптоелектронною емісією рідини в ЕМП, має випадково детерміновану розгалужену структуру.

Формулювання цілей статті. Розробити фізико-математичну модель електромагнітного поля поблизу газорозрядного свічення рідиннофазних об'єктів на базі уявлень фізики фрактальних кластерів. Отримати модель, що дасть уявлення про поведінку детермінованих складових часових рядів параметрів ГРВ зображень рідиннофазних об'єктів, і що дозволять описувати одержувані дані за допомогою нових параметрів, відповідних до подання різних видів досліджуваних



систем, з урахуванням використаних в основі процесу фрактальних властивостей.

Основна частина. При розгляді розподілу ЕМП поблизу газового розряду індукованого краплею трансформаторного масла, застосуємо формалізм фізики фрактальних кластерів до газового розряду. В рамках даного формалізму газовий розряд має вигляд фрактального кластера — системи частинок, що володіють фрактальними властивостями [3...5]. Фрактальна властивість кластера полягає в тому, що даний об'єкт має властивість самоподібності. Вона формулюється наступним чином: якщо поблизу радіуса зайнятого кластером, виділити площу відносно невеликого обсягу, то до неї потраплять ділянки кластера, що будуть подібними у фізичному розумінні цього слова.

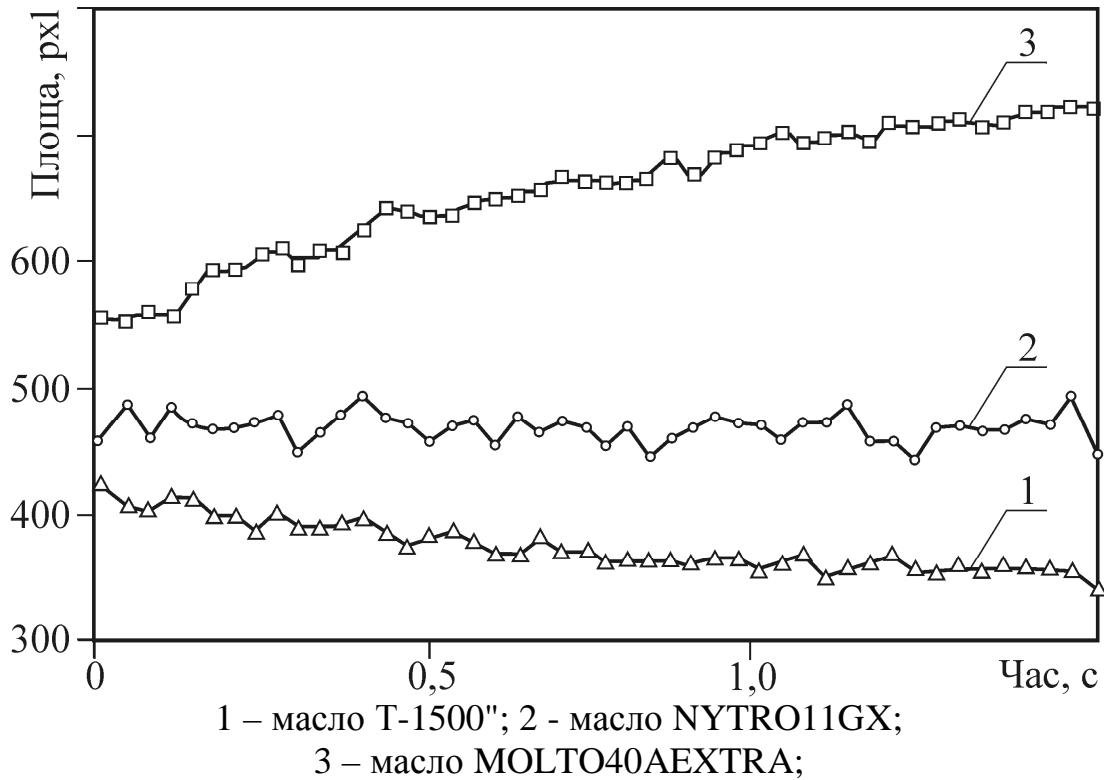


Рис. 1. Основні види трендів часових рядів параметрів ГРВ рідиннофазних об'єктів на прикладі натуральних масел

Концентрація частинок n у фрактальному кластері оцінюється співвідношенням

$$n \Rightarrow z^{d\beta - p}, \tag{1}$$

де z — характерний розмір кластера,

$d\beta$ — фрактальна розмірність кластера і

p — розмірність простору, в якому знаходиться кластер.



Нехай газовий розряд, індукований краплею рідини в ЕМП високої напруженості, має вигляд фрактального кластера. Електромагнітне поле поблизу кластера з внутрішніми координатами z визначається як

$$E = E_0 \exp[iq(x-z) - i\omega t] \quad (2)$$

де E_0 - амплітуда електромагнітної хвилі,
 q і ω - її хвильове число і частота відповідно,
 x — координата простору,
 z - координата кластера,
 t — час.

Такий кластер буде здійснювати дифузію під впливом зовнішнього ЕМП. Тоді, з урахуванням нелінійного знесення маємо

$$d_t W = D d_l W + d_z [a(z)w], \quad (3)$$

де $W(z,t)$ - ймовірність того, що кластер знаходиться в точці z в момент часу t ,
 D - коефіцієнт дифузії кластера і
 $a(z)$ — функція знесення.

Функція знесення $a(z)$ визначається зовнішнім впливом і має сенс переміщення кластера за одиницю часу, тобто розмірність порядку z/t [6].

Співвідношення для переміщення кластера за одиницю часу знаходимо у рівняннях, що описують процеси кінетики іонізації об'єкта. Рівняння кінетики іонізації визначається наступним чином [7]

$$\partial_t n_e = D' \Delta n_e + v_i n_e - v_a n_e, \quad (4)$$

де n_e – концентрація і число іонів у газі,
 D - коефіцієнт дифузії іонів,
 v_i -частота іонізації, яка визначається зовнішнім полем $E_{\text{зовн}}$;
 v_a -частота прилипання.

Член рівняння (4), відповідний до зовнішнього поля має вигляд

$$\partial_t n_e|_{\text{зовн}} = v_i n_e. \quad (5)$$

Підставимо формулу (1) для концентрації частинок n у фрактальному кластері до виразу (5). Тоді отримаємо наступний вигляд формули для переміщення кластера за одиницю часу



$$\left. \frac{dz}{dt} \right|_{\text{внеш}} = \frac{1}{d_f - p} v_i z.$$

Таким чином, відповідно до даних вище визначень, отримаємо вираз для функції знесення $a(z)$

$$a(z) = \frac{1}{d_f - p} v_i z.$$

Усереднене по положенню випромінюючого кластера ЕМП дорівнює:

$$E = E_0 f(t) \exp(iqx - iwt) \quad (8)$$

де

$$f(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \exp(-iqz) W(z, t) dz, \quad (9)$$

і умова нормування ймовірностей і граничні умови мають вигляд

$$\int_{-\infty}^{\infty} W(z, t) dz = 1, \quad f(0) = 1, \quad (10)$$

$$\lim_{t \rightarrow \pm\infty} W(z, t) \rightarrow 0. \quad (11)$$

Проведемо диференціювання виразу (9) за часом. Тоді з урахуванням (10) і (11) маємо

$$\begin{aligned} d_t f &= \int_{-\infty}^{\infty} \exp(-iqz) d_t W(z, t) dz = \\ &= -Dq^2 f + iq \int_{-\infty}^{\infty} \exp(-iqz) a(z) W(z, t) dz \end{aligned} \quad (12)$$

Підставимо вираз (7) у вираз (12). Тоді останнє можна привести до виду

$$d_t f = -Dq^2 f + \frac{v_i}{p - d_f} f, \quad (13)$$

Звідки для функції f отримуємо

$$f = \exp\left(-Dq^2 t + \frac{v_i}{p - d_f} t\right). \quad (14)$$



Електромагнітне поле випромінюючого кластера (8), таким чином, прийме вигляд

$$E(x,t) = E_0 \exp(iqx - i\omega t - Dq^2 t + \frac{v_i}{p - d_f} t). \quad (15)$$

Введемо позначення $v_d = Dq^2$, що характеризує частоту дифузійних втрат [1].

Співвідношення (15) можна переписати в наступному вигляді

$$E(x,t) = E_0 \exp \left[iqx - i\omega t + \left(\frac{v_i}{p - d_f} - v_d \right) t \right]. \quad (16)$$

Таким чином, показано, що ЕМП випромінюючого кластера є функцією від частот іонізації і дифузійних втрат, а також фрактальної розмірності кластера.

З виразу (16) випливає, що при $v_i > (p - d_f)v_d$ тренди тимчасових рядів будуть зростаючими, при $v_i < (p - d_f)v_d$ тренди будуть зменшувальними, а в разі $v_i \approx (p - d_f)v_d$ тренди будуть мати періодичний, квазістаційний вигляд.

Як випливає з (16), зміна фрактальної розмірності газорозрядного свічення може змінити напрям тренда.

Вираз (16) для ЕМП поблизу краплі рідини показало високу достовірність при аналізі експериментальних даних у вигляді часових рядів параметрів ГРВ зображень з урахуванням відомих фізичних характеристик досліджуваних рідин.

Запропонована математична модель показала високу кореляцію з експериментальними даними. Покажемо це на прикладі описаних вище експериментальних даних по дослідженню трансформаторних масел різних марок (рис.1). Трансформаторне масло Т-1500 має більше значення частоти дифузійних втрат (за рахунок сильного випаровування визначається великим вмістом домішок), по відношенню до частоти іонізації при експериментальному значенні зовнішнього ЕМП, (крива 2) і має монотонно регресивний вигляд, на яку наводить математична модель; в той же час, для зарубіжного трансформаторного масла NYTRO 11GX частота іонізації перевищує значення частоти дифузійних втрат і частоти прилипання, що проявляється у вигляді монотонно зростаючої кривої 1, та перебуває в повній відповідності з запропонованою моделлю.

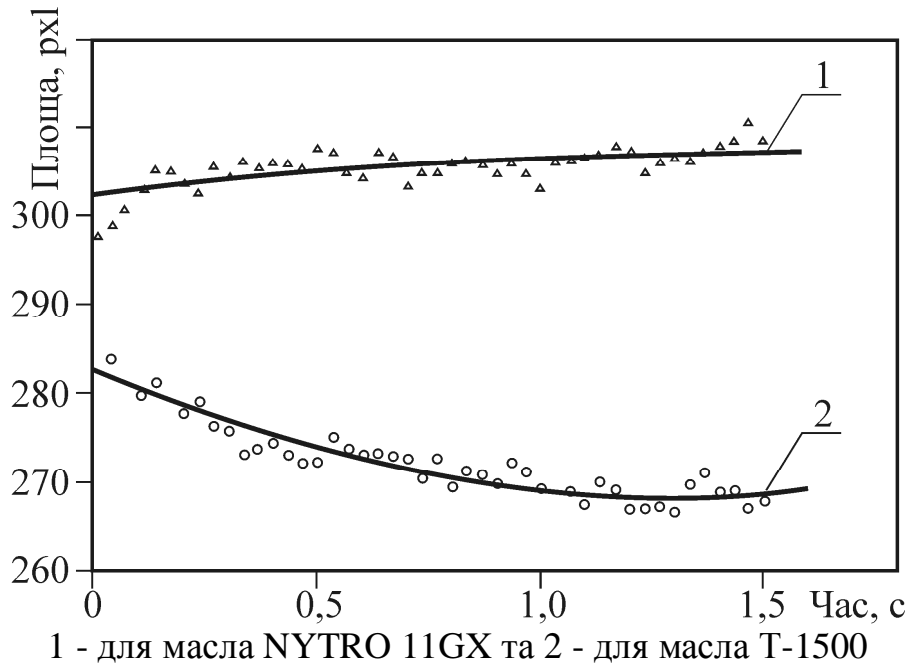


Рис. 2 - Експериментальні та відповідні аналітичні криві

Висновки

Розроблена фізико-математична модель електромагнітного поля поблизу газорозрядного свічення рідиннофазних об'єктів на базі уявлень фізики фрактальних кластерів. Отримана модель дає уявлення про поведінку детермінованих складових часових рядів параметрів ГРВ зображень рідиннофазних об'єктів і дозволяє описувати одержувані дані з допомогою нових параметрів, відповідних до подання різних видів досліджуваних систем, з урахуванням фрактальних властивостей, що лежать в основі процесу. Розвинена математична модель дозволяє інтерпретувати поведінку трендів параметрів ГРВ зображень трансформаторних масел з допомогою фізичних характеристик досліджуваних систем.

Список використаних джерел.

1. *Коротков К.Г.* Основы ГРВ биоэлектрографии. / *К.Г. Коротков* – Санкт-Петербург, Изд-во СПбГИТМО, 2001, 360с.
2. *Коротков К.Г.* Эффект Кирлиан – прошлое и современность / *К. Г. Коротков, М.А. Шустов*–Санкт-Петербург-Томск.: 2017. – 144 с.
3. *Смирнов Б. М.* Физика фрактальных кластеров / *Б.М. Смирнов* - М.: Наука, 1991, 135 с.
4. *Лахно В. Д.* Кластеры в физике, химии, биологии / *В.Д. Лахно.* - Москва-Ижевск.: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2001, - 256 с.
5. *Пайтген Х. О.* Красота фракталов. Образы комплексных динамических систем / *Х.О. Пайтген, П.Х. Рихтер.* – Москва.: Мир. 1993 - 176 с.



6. Гардинер К.В. Стохастические методы в естественных науках / К.В. Гардинер. -М.: Мир,1986. 527 с.

7. Райзер Ю. П. Основы современной физики газоразрядных процессов / Ю.П. Райзер. - М.,Наука,1980 – 416 с.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭМП ВБЛИЗИ ГАЗОВОГО РАЗРЯДА ИНДУКТИРОВАННОГО КАПЛЕЙ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА

Лобода А. И., Залеский А.В.

Аннотация – предложена физико - математическая модель электромагнитного поля вблизи газоразрядного свечения жидкофазных объектов на базе представлений физики фрактальных кластеров, которая дает представление о поведении детерминированных составляющих временных рядов параметров ГРВ изображений жидкофазных объектов.

DISTRIBUTION OF EMF IN CLOSE PROXIMITY TO THE GAS DISCHARGE INDUCIROWANNOJ A DROP OF TRANSFORMER OIL

Loboda A., Zalesky A.

Summary

The proposed physical - mathematical model of the electromagnetic field near a discharge luminescence of liquid-phase objects based on representations of the physics of fractal clusters, which gives an idea about the behavior of the deterministic components of the time series parameters of GDV images of liquid objects.



УДК 681.5.08

ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ ВИТРАТОМІР-ЛІЧИЛЬНИК ДЛЯ СИСТЕМИ ОБЛІКУ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ

Нестерчук Д.М., к.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел.: (+380619)42-32-63

Анотація – робота присвячена удосконаленню конструкції електромагнітного витратоміра-лічильника для системи обліку теплової енергії. Автором статті запропоновано ввести в структуру електромагнітного витратоміра-лічильника мікропроцесорний вторинний блок реєстрації витрати теплоносія, датчик температури та датчик тиску, а також додати нові функціональні взаємозв'язки між блоками пристрою, що дозволить розширити функціональні можливості відомих приладів обліку теплової енергії та створити новий електромагнітний витратомір-лічильник для системи обліку теплової енергії.

Ключові слова: витратомір-лічильник, облік, тепла енергія, витрата, температура, тиск.

Постановка проблеми. Ситуація в Україні і світі щодо стану забезпечення паливно-енергетичними ресурсами потребує державного контролю за їх використанням в усіх сферах господарства. Щорічно на житлові, комунальні та побутові потреби населення в Україні витрачається п'ята частина паливних ресурсів та електроенергії і третина теплової енергії, які використовуються в економіці. Політика енергозбереження країни передбачає комплексне впровадження енергозберігаючих заходів, зокрема, оснащення всіх енергоспоживачів пристроями вимірювання, обліку та регулювання, а також впровадження оплати вартості енергоносіїв, яка відповідає реальним витратам. Така стратегія суттєво вплине на скорочення споживання палива, енергії та інших ресурсів в економіці та невиробничій сфері [1].

Основним пріоритетом є впровадження енергозбереження у всіх галузях господарства через створення автоматизованих систем обліку енергоресурсів на основі сучасних систем збору інформації від первинних перетворювачів обліку, її зберігання та ефективного використання при здійсненні розрахунків за використаний енергоресурс.

Тому то впровадження енергозберігаючих технологій в умовах прогресуючого дефіциту енергоресурсів формує вимоги до систем об-



ліку теплової енергії – точність, надійність, оперативність роботи та рівень автоматизації [2]. Все це й визначає актуальність удосконалення систем обліку та контролю за витратами енергоресурсів.

Аналіз останніх досліджень. Аналіз публікацій з питань витратометрії [1...3] дозволив зробити висновок, що засоби, що реалізують електромагнітний метод вимірювання витрат, є найбільш ефективними засобами вимірювання гідродинамічних параметрів рухомих середовищ. Електромагнітні витратоміри мають низку переваг, а саме, покази витратоміра не залежать від в'язкості і густини рідини, а також покази не залежать від наявності непровідних твердих та газоподібних включень, лінійність шкали пристрою, практична безінерційність та відсутність втрат тиску.

Електромагнітні витратоміри за [3,4] складаються з трьох основних блоків: блок первинного перетворення, блок вимірювання та блок реєстрації та індикації. Принцип дії зазначених витратомірів заснований на взаємодії рідини, що рухається, з магнітним полем. За законом електромагнітної індукції в рідині, що перетинає магнітне поле, виникає електрорушійна сила, яка пропорційна швидкості руху рідини та її витраті. Потік рідини протікає по ізолюваному трубопроводу, в стінках якої перпендикулярно напрямку магнітного поля та потоку рідини, витрата якої вимірюється, встановлені два діаметрально розташовані електроди, з яких знімається величина електрорушійної сили [3].

Сучасний розвиток цифрової мікросхемотехніки дозволяє вдосконалити та впровадити електромагнітний витратомір-лічильник в комплекті з мікропроцесорним вторинним блоком реєстрації витрати теплоносія, його температури та тиску для системи обліку теплової енергії. Це дозволить підвищити експлуатаційну надійність приладів обліку теплової енергії та забезпечити надання достовірних даних щодо технологічних параметрів в системах обліку теплової енергії.

Формування цілей статті (постановка завдання). В роботі поставлена задача по удосконаленню конструкції електромагнітного витратоміра-лічильника в комплекті з мікропроцесорним вторинним блоком реєстрації витрати теплоносія, його температури та тиску для системи обліку теплової енергії.

Основні матеріали дослідження (основна частина). У зв'язку з актуальністю проблеми ефективного використання теплової енергії необхідно акцентувати увагу на удосконаленні електромагнітного витратоміра-лічильника. Вимірювальна інформація, яка надається витратоміром-лічильником в процесі роботи, є основою для фінансових розрахунків між постачальниками та споживачами теплової енергії. Облік теплової енергії є можливим при раціональному виборі обладнання та приладів, які забезпечують процес обліку.

Витрата теплоносія є найбільш значущим параметром при обліку теплової енергії [1,2], тому облік енергії здійснюється шляхом вимірювання параметрів теплоносія: температури, тиску та обчислення на основі вимірювань кількості теплової енергії.

Аналіз літературних джерел [2...4] показав, що прилад обліку містить первинні вимірювальні перетворювачі та обчислювач, який здатен розраховувати кількість теплової енергії в залежності від вхідної вимірювальної інформації щодо параметрів теплоносія, яка надається первинними перетворювачами в вигляді електричних величин.

На рисунку 1 наведена структурна схема електромагнітного витратоміра-лічильника для системи обліку теплової енергії.

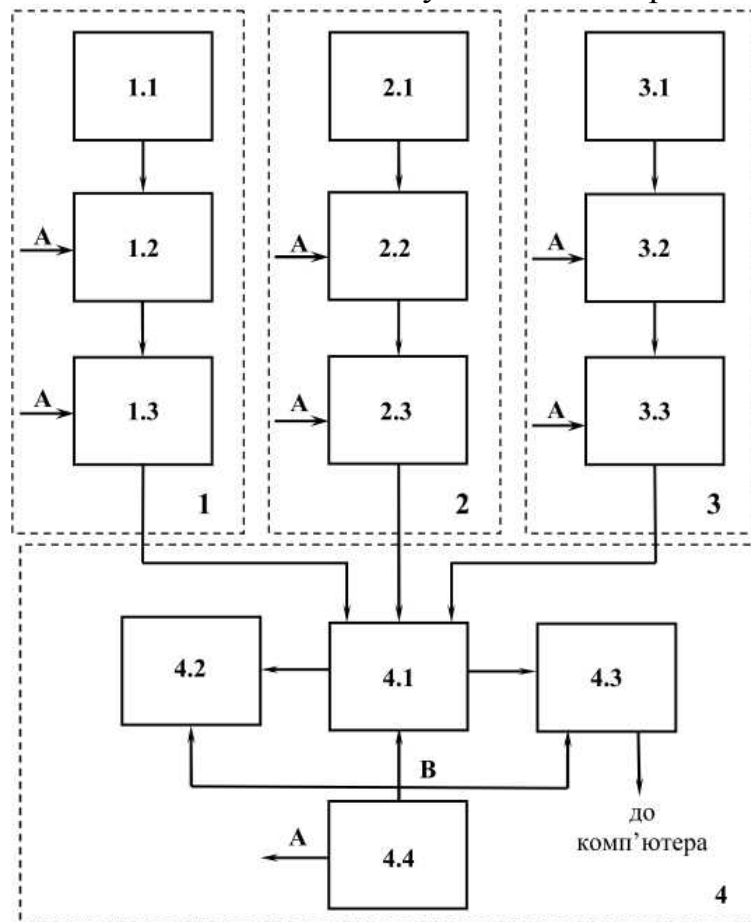


Рис. 1. Структурна схема електромагнітного витратоміра-лічильника для системи обліку теплової енергії

Електромагнітний витратомір-лічильник містить датчик витрати теплоносія 1, датчик температури теплоносія 2, датчик тиску теплоносія 3, мікропроцесорний вторинний блок обліку теплоносія 4.

Датчик витрати теплоносія 1 містить електромагнітний первинний вимірювальний перетворювач витрати 1.1, перетворювач «струм – частота» 1.2, блок гальванічної розв'язки 1.3 [5].



Датчик температури теплоносія 2 містить первинний вимірювальний перетворювач температури 2.1, блок вторинного перетворення 2.2 та блок гальванічної розв'язки 2.3.

Датчик тиску теплоносія 3 містить первинний вимірювальний перетворювач тиску 3.1, блок вторинного перетворення 3.2 та блок гальванічної розв'язки 3.3.

Мікропроцесорний вторинний блок реєстрації витрати теплоносія 4 містить мікроконтролер 4.1, блок цифрової індикації 4.2, блок обміну даних з комп'ютером 4.3 та блок живлення 4.4.

Застосування в електромагнітному витратомірі-лічильнику датчику температури рідини дозволяє здійснювати контроль температури рідини, витрата якої вимірюється, при цьому застосування в датчику температури блоку гальванічної розв'язки дозволяє здійснювати електричну передачу електричного вимірювального сигналу від перетворювача температури до мікроконтролера без електричного контакту між ними.

Застосування в електромагнітному витратомірі-лічильнику датчику тиску рідини дозволяє здійснювати контроль тиску рідини, витрата якої вимірюється, при цьому застосування в датчику тиску блоку гальванічної розв'язки дозволяє здійснювати електричну передачу електричного вимірювального сигналу від перетворювача тиску до мікроконтролера без електричного контакту між ними.

Електромагнітний витратомір-лічильник для системи обліку теплової енергії працює таким чином.

Основою принципу дії електромагнітного первинного вимірювального перетворювача витрати теплоносія є взаємодія рідини, що рухається, з магнітним полем за законом електромагнітної індукції. Потік теплоносія, витрата якого вимірюється, протікає вздовж ізольованої труби, в стінках якої встановлені перпендикулярно два діаметральні електроди, з яких знімається величина електрорушійної сили.

Електричний сигнал з електромагнітного первинного вимірювального перетворювача витрати 1.1 датчика витрати теплоносія 1 надходить до перетворювача «струм – частота» 1.2 для формування основного інформативного електричного сигналу – постійного струму величиною 0...5 mV для функціонування мікропроцесорного вторинного блоку реєстрації витрати теплоносія 4. Перетворювач «струм – частота» 1.2 датчика витрати рідини 1 здійснює лінійне перетворення електричного сигналу постійного струму в імпульсний сигнал відповідної частоти [5]. Застосування в датчику витрати теплоносія 1 блоку гальванічної розв'язки 1.3 дозволяє здійснювати електричну передачу електричного вимірювального сигналу від датчика витрати теплоносія 1 до мікроконтролера 4.1 мікропроцесорного вторинного блоку реєстрації витрати теплоносія 4 без електричного контакту між ними.



Контроль температури теплоносія, витрата якого вимірюється, в електромагнітному пристрої вимірювання витрати теплоносія здійснюється датчиком температури теплоносія 2, первинним вимірювальним перетворювачем температури якого є платиновий терморезистор, вхід якого зв'язаний з вимірюваною рідиною, вихід з блоком вторинного перетворення 2.2, який виконує вимірювання величини активного опору терморезистора та перетворення його інформативний електричний сигнал для функціонування мікропроцесорного вторинного блоку реєстрації витрати 4. Застосування в датчику температури теплоносія 2 блоку гальванічної розв'язки 2.3 дозволяє здійснювати електричну передачу електричного вимірювального сигналу від датчика температури 2 до мікроконтролера 4.1 мікропроцесорного вторинного блоку реєстрації витрати 4 без електричного контакту між ними.

Контроль тиску теплоносія, витрата якого вимірюється, в електромагнітному пристрої вимірювання витрати рідини здійснюється датчиком тиску теплоносія 3, вхід якого зв'язаний з вимірюваною рідиною, а уніфікований струмовий вихід якого - з блоком вторинного перетворення 3.2, який формує інформативний електричний сигнал для функціонування мікропроцесорного вторинного блоку реєстрації витрати 4. Застосування в датчику тиску теплоносія 3 блоку гальванічної розв'язки 3.3 дозволяє здійснювати електричну передачу електричного вимірювального сигналу від датчика тиску теплоносія 3 до мікроконтролера 4.1 мікропроцесорного вторинного блоку реєстрації витрати 4 без електричного контакту між ними.

Мікропроцесорний вторинний блок реєстрації витрати теплоносія 4 на базі мікроконтролера 4.1 призначений для обробки сигналів з датчика витрат, з датчика температури та з датчика тиску, їх перетворення в цифрову форму, індикація, зберігання та передача через блок спряження на комп'ютер.

Мікроконтролер 4.1 вимірює частоту імпульсів, що надходять з перетворювача «струм – частота» 1.2 датчика витрати теплоносія 1, яка пропорційна миттєвій витраті вимірюваного теплоносія, здійснює інтегрування сигналу за часом з метою отримання сумарної об'ємної витрати теплоносія та формує сигнал, який надходить до блоку цифрової індикації 4.2. та до блоку спряження з комп'ютером 4.3, а також мікроконтролер 4.1 перетворює сигнали від датчика температури 2 та від датчика тиску 3 в цифрові значення, архівує їх, реєструє час роботи електромагнітного пристрою вимірювання витрати рідини та передає вимірювальну інформацію на блок цифрової індикації 4.2 та блок спряження з комп'ютером 4.3.

Блок спряження з комп'ютером 4.3 мікропроцесорного вторинного блоку реєстрації витрати 4 реалізує можливість передачі даних



щодо витрати теплоносія, його температури та тиску за проколом RS232 до комп'ютера або на друкувальний пристрій.

Блок живлення 4.4 мікропроцесорного вторинного блоку реєстрації витрати 4 має вихід А від першої вторинної обмотки трансформатора напруги, який надає напругу живлення на блоки 1.2 та 1.3 датчика витрати теплоносія 1, на блоки 2.2 та 2.3 датчика температури 2 та на блоки 3.2 та 3.3 датчика тиску 3, вихід В від другої вторинної обмотки трансформатора напруги, який надає напругу живлення на блоки 4.1, 4.2 та 4.3 мікропроцесорного вторинного блоку реєстрації витрати 4 [5].

На рисунку 2 наведена схема електрична принципова перетворювача «струм – частота» 1.2 та блоку гальванічної розв'язки 1.3 датчика витрати теплоносія 1 [5]. Вхідний струм з електромагнітного первинного вимірювального перетворювача витрати 1.1 датчика витрати теплоносія 1 знаходить на інтегральний перетворювач DD1, який перетворює падіння напруги на резисторі R2 в частоту. Гальванічна розв'язка реалізована на оптичній передачі імпульсного сигналу за допомогою оптопар U1. Вихідний імпульсний сигнал з виходу інвертора DD2 блоку 1.3 надходить до мікроконтролера 4.1 (мікросхема DD4) мікропроцесорного вторинного блоку реєстрації витрати теплоносія 4. Мікроконтролер визначає час між передніми фронтами двох послідовних імпульсів, за цим часом визначається частота імпульсів, яка й пропорційна миттєвій витраті рідини.

На рисунку 3 наведена схема електрична принципова датчика температури теплоносія 2, який реалізований на мікросхемі DA1, резисторі R13, мікросхемі DA2, резисторах R14, R15, конденсаторі C4. Сигнал з терморезистора R_t перетворюється в напругу в мікросхемі DA1, а в мікросхемі DA2 - в частоту мерехтіння світло діода оптопар U2, транзистор якої та транзистор VT2 відкриваються, сигнал надходить до мікроконтролера 4.1 (мікросхема DD3) мікропроцесорного вторинного блоку реєстрації витрати теплоносія 4. Застосування оптопар U2 дозволило реалізовувати оптичну передачу імпульсного сигналу.

На рисунку 4 наведена електрична принципова схема датчика тиску теплоносія 3, який реалізований на мікросхемі DA3, резисторі R18, мікросхемі DA4, резисторах R19, R20, конденсаторі C5.

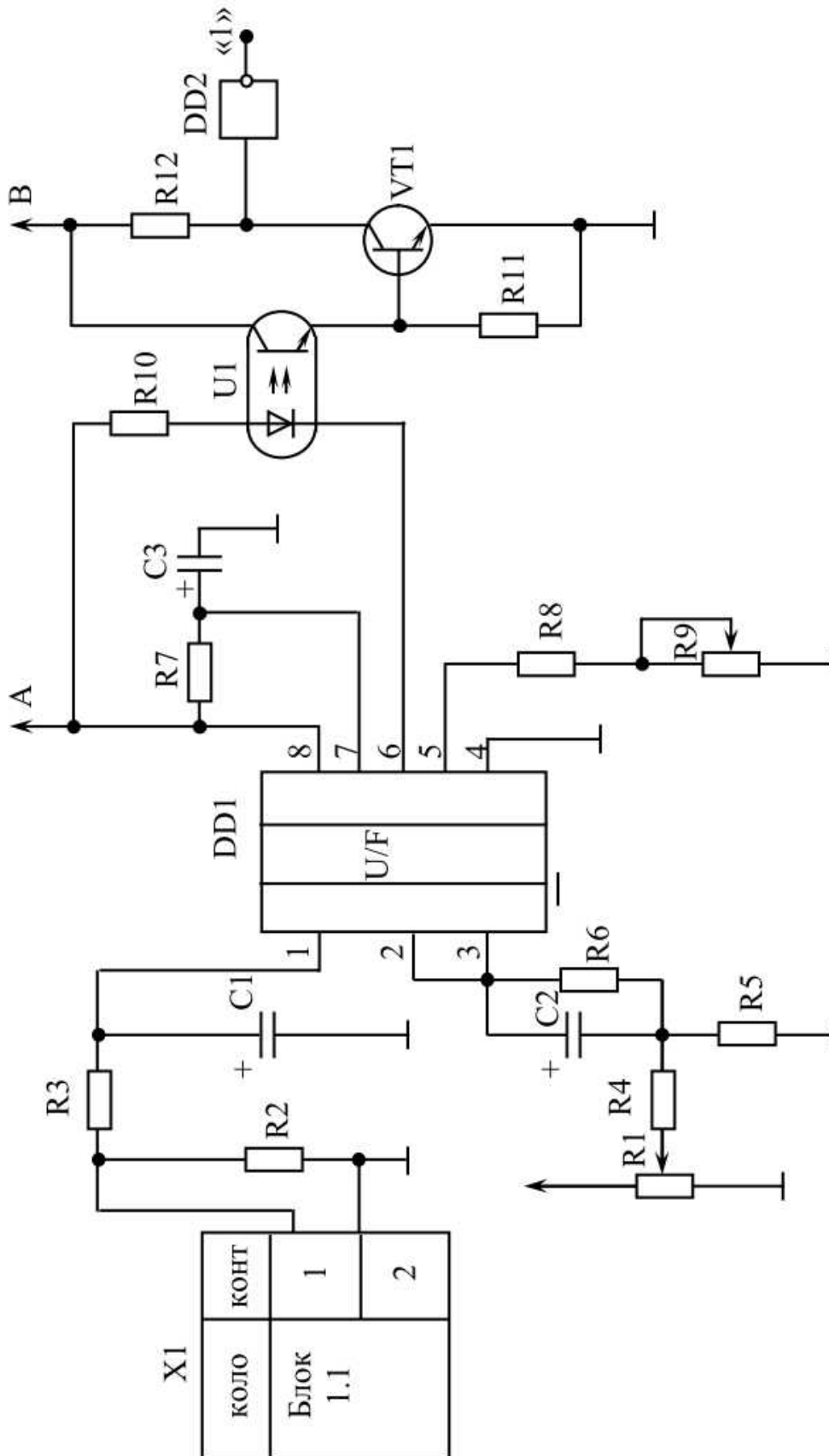


Рис. 2. Схема електрична принципова перетворювача «струм – частота» 1.2 та блоку гальванічної розв'язки 1.3 датчика витрати теплоносія 1 електромагнітного витратоміра-лічильника

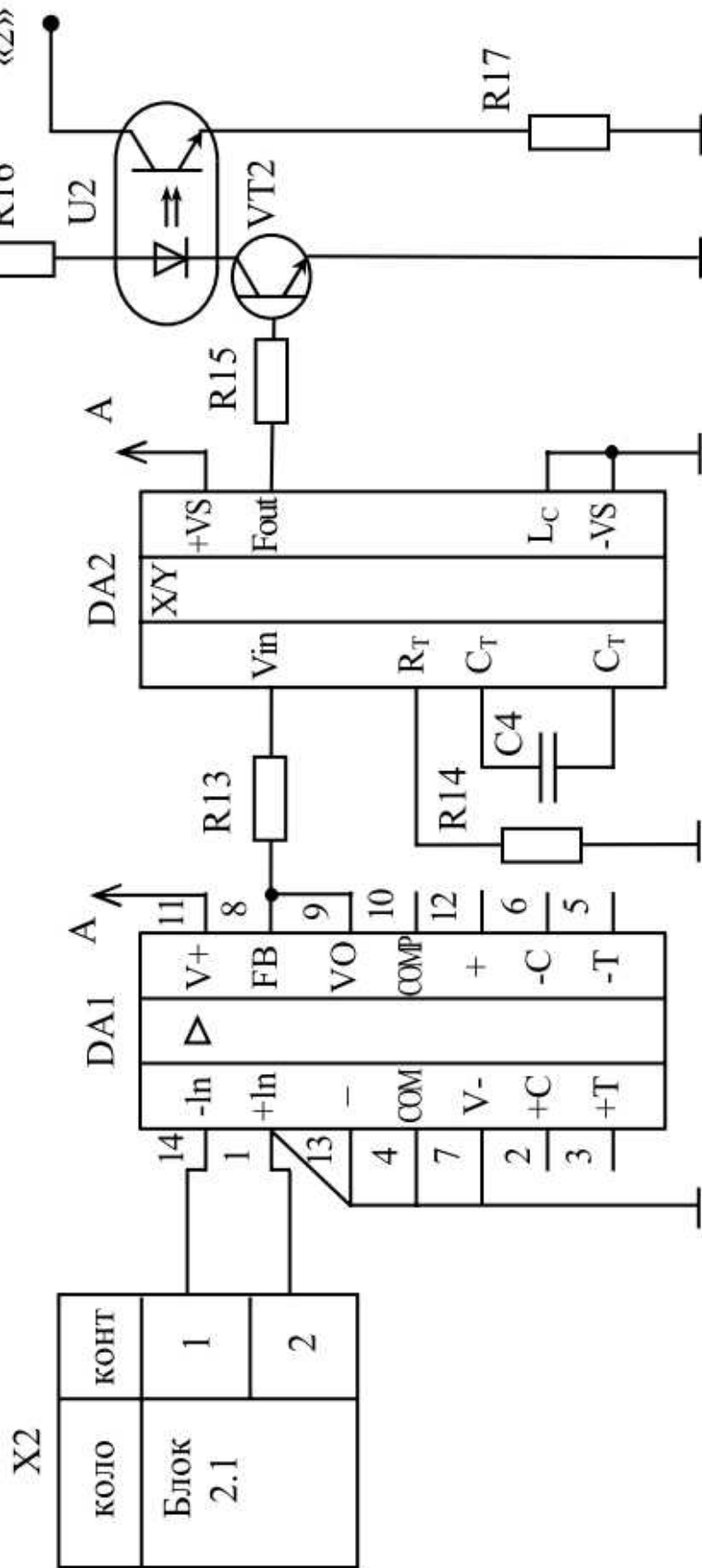


Рис. 3. Схема електрична принципова датчика температури теплоносія 2 електромагнітного витратоміра-лічильника

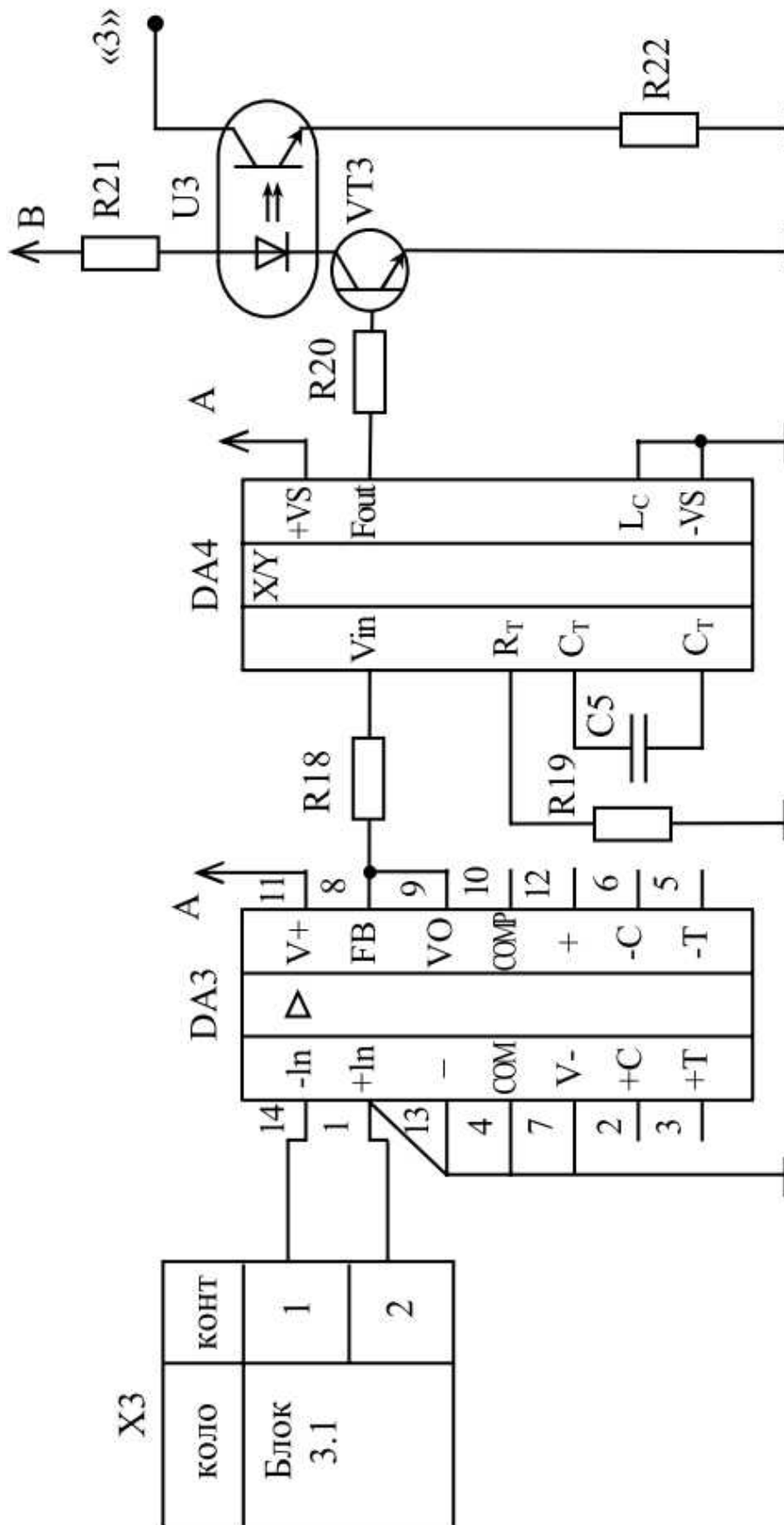


Рис. 4. Схема електрична принципова датчика тиску теплоносія з електромагнітного витрагоміра-лічильника

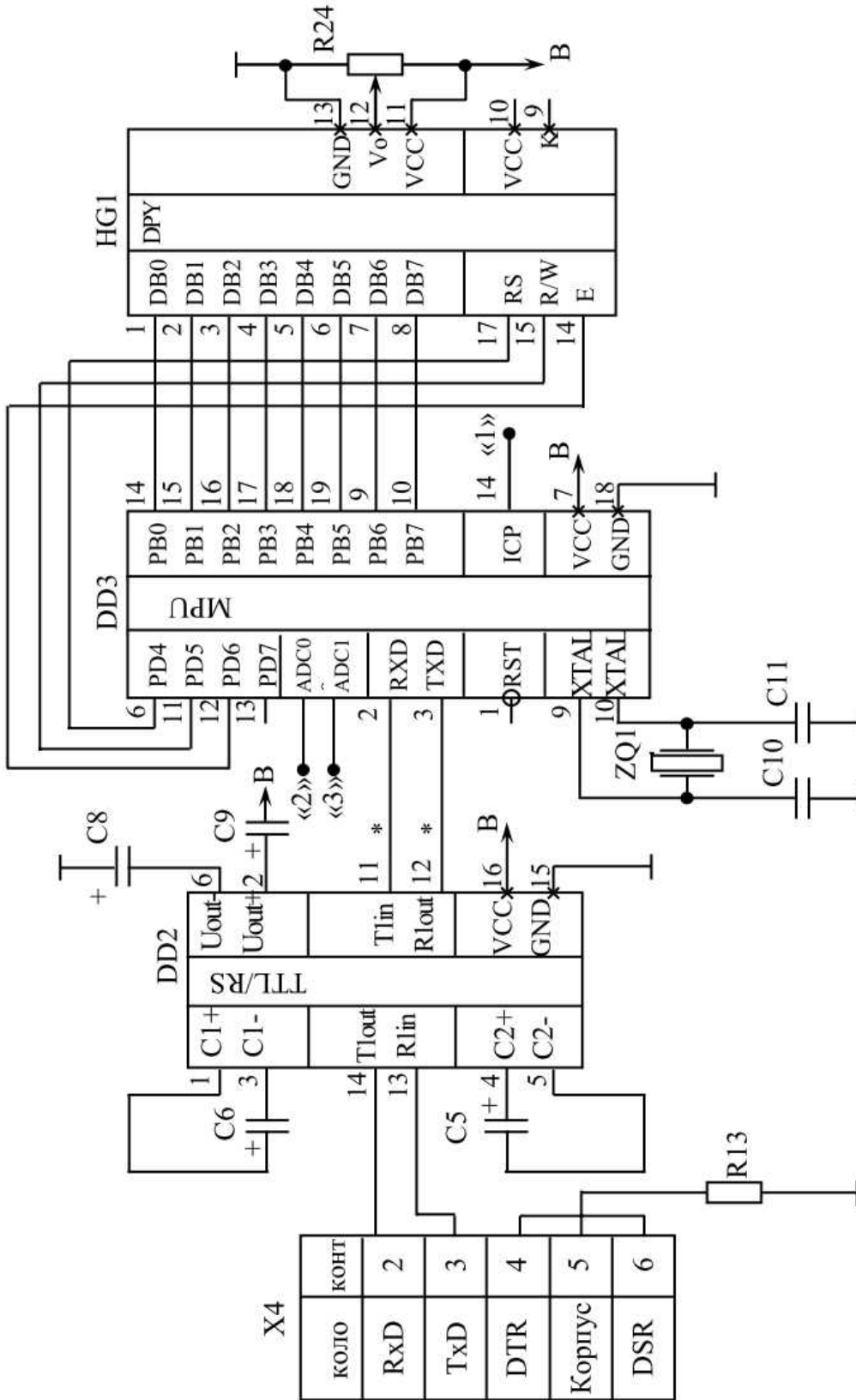


Рис. 5. Схема електрична принципова мікропроцесорного вторинного блоку реєстрації витрати електромагнітного вимірювача лічильника



Мікроконтролер чисельно інтегрує миттєву витрату теплоносія за часом та здійснює зберігання вимірних значень витрати, температури та тиску теплоносія у постійній пам'яті мікроконтролера, що постійно перезаписується. На елементах С10, С11 та ZQ1 реалізована схема тактового генератора мікроконтролера.

Особливістю мікропроцесорного вторинного блоку реєстрації витрати електромагнітного витратоміра-лічильника є можливість зв'язку з персональним комп'ютером за протоколом RS232. Від мікроконтролера (мікросхема DD3, виходи 2 та 3) через перетворювач рівня сигналу (мікросхема DD2) інформаційний сигнал подається до стандартного роз'єму COM – порт Х4.

Блок цифрової індикації 4.2 реалізований на рідкокристалічному алфавітно-цифровому індикаторі HG1, який надає вимірювану інформацію у вигляді 16 символів в двох строках. Для передачі даних від мікроконтролера DD3 до індикатора HG1 блока цифрової індикації призначена 8-бітна шина даних. Резистор R24 використовується для регулювання інтенсивності підсвічування індикатора.

Конструктивна особливість блоку живлення та схема електрична принципова наведена в [5].

Аналіз результатів показників надійності електромагнітного витратоміра-лічильника встановив, що інтенсивність відмов дорівнює $0,000092$ $1/год$, час роботи до відмови складає 10403 години, а ймовірність безвідмовної роботи – 0,982 [6].

Висновки.

Запропонований електромагнітний витратомір-лічильник для системи обліку теплової енергії дозволить суттєво підвищити експлуатаційну надійність витратомірів-лічильників та точність обліку тепла в системах комерційного обліку.

Список використаних джерел.

1. *Сморозин С.Н.* Системы и узлы учета расхода энергоресурсов: учебное пособие / *С.Н. Смородин, В.Н. Белоусов, В.Ю. Лакомкин* // СПб.: СПбГТУРП, 2014. – 20 с.

2. Практичний посібник з енергозбереження для об'єктів промисловості, будівництва та житлово-комунального господарства України. — Луганськ, вид-во «Місячне сяйво», 2010. — 696 с.

3. *Кремлевский П.П.* Расходомеры и счетчики количества веществ: справочник. Кн. 1/ под общ. ред. *Е.А. Шорникова*. – СПб.: Политехника, 2002. – 409 с.

4. Пат.2489684 Российская Федерация, МПК G01F1/58. Электромагнитный расходомер / *Недзевецкий В.К., Rogozin В.Б.*; заявитель и патентообладатель ЗАО «УКХ «Теплоком». - №2011153401/28; заявл. 26.11.2011; опубл. 10.08.2013, Бюл. №22.



5. *Нестерчук Д.М.* Розробка мікропроцесорного вторинного блоку реєстрації для електромагнітного пристрою вимірювання витрати рідини / *Д.М.Нестерчук, А.О.Рижков* // Праці ТДАТУ. – Випуск 8, том 10. – Мелітополь: ТДАТУ, 2008. - С.48 – 55.

6. *Острейковский В.А.* Теория надежности: учеб. для вузов / *В.А.Острейковский*. – М.: Высшая школа, 2003. – 463 с.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ РАСХОДОМЕР-СЧЕТЧИК ДЛЯ СИСТЕМЫ УЧЕТА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

Нестерчук Д.Н.

Аннотация - работа посвящена усовершенствованию конструкции электромагнитного расходомера-счетчика для системы учета тепловой энергии. Автором статьи предложено ввести в структуру электромагнитного расходомера-счетчика микропроцессорный вторичный блок регистрации расхода теплоносителя, датчик температуры и датчик давления, а также добавить новые функциональные взаимосвязи между блоками устройства, что позволит расширить функциональные возможности известных приборов учета тепловой энергии и создать новый электромагнитный расходомер-счетчик для системы учета тепловой энергии.

ELECTROMAGNETIC FLOWMETER-COUNTER FOR THE HEAT METERING SYSTEM

D. Nesterchuk

Summary

The work is devoted to design improvement of electromagnetic flowmeter-counter for heat energy accounting system. There were added a microprocessor secondary block for recording the coolant flow, temperature and pressure sensors to electromagnetic flowmeter-counter structure introduced early. It was added new functional relations between device units made it possible to expand the functionality known heat metering devices and create a new electromagnetic flow meter-counter for the thermal energy accounting system as well.



УДК 621.31

АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ ДІАГНОСТИКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТА МОНІТОРИНГУ РЕЖИМІВ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

Пазій В.Г.,

Мірошник О.О., д.т.н.

*Харківський національний технічний університет сільського
господарства ім. П. Василенка*

Тел.: 057-712-34-32

Анотація - виконаний аналіз методів і засобів діагностики технічного стану, аналіз надійності елементів та аналіз параметрів розподільних електричних мереж.

Ключові слова: діагностика, технічний стан, надійність, розподільні електричні мережі.

Постановка проблеми. Проблема ефективного та надійного функціонування електрообладнання систем електропостачання, зокрема обладнання розподільних електричних мереж, залежить від якості його виготовлення, умов експлуатації, організації системи діагностування чи моніторингу режимів роботи та технічного стану, організації експлуатації. Для електрообладнання, особливо з вичерпаним ресурсом, досить важливою є оцінка його технічного стану. Точна оцінка технічного стану дає змогу спрогнозувати термін наступного ремонту обладнання, підвищити надійність роботи обладнання, знизити збиток від простою обладнання внаслідок аварій, знизити витрати на ремонт та відновлення працездатності, знизити витрати на обслуговування та експлуатацію обладнання.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. На сьогоднішній день аварійність в розподільних електричних мережах найбільше залежить від природних стихійних явищ і складних погодних умов на території проходження повітряних ліній. З урахуванням усіх причин умовний споживач в Україні в середньому протягом року не отримує послуг з електропостачання 1279 хвилин (21,3 год.), в той же час за кордоном цей показник за 2009 рік склав 84,3 хв. [1].

Однак проблема забезпечення надійності з позицій оптимальної організації та ефективного функціонування системи діагностики технічного стану елементів розподільних електричних мереж та моніто-



рингу режимів роботи повітряних ліній електропередачі напругою 6-10 кВ відображена в [1,2] недостатньо повно.

Перспективним напрямком на сьогоднішній день стає обладнання повітряних ліній електропередачі напругою 6-10 кВ системами мережної автоматики та пунктами автоматичного секціонування та резервування. Дослідженням в цьому напрямку присвячені роботи вчених ІЕД НАН України та НУБіП [2, 3, 4, 5]. Розв'язання цієї проблеми має здійснюватись у двох напрямках. Перший напрямок полягає у визначенні характеристик керуючих дій системи діагностування технічного стану електрообладнання, які за умов мінімальних витрат забезпечать підтримку заданого рівня технічного стану електрообладнання розподільних електричних мереж протягом встановленого терміну [6]. Перевага такої системи діагностики полягає в тому, що вона дозволяє розрахувати момент часу, коли очікується відмова елемента системи електропостачання, в результаті чого вдається запобігти розвитку аварії шляхом проведення різних профілактично-ремонтних заходів. Другий напрямок передбачає створення системи моніторингу режимів роботи розподільних електричних мереж, яка оперативно відслідковує зміну значень параметрів елементів мереж, що характеризують граничні значення нормальних режимів роботи, дозволяє черговому електротехнічному персоналу в режимі реального часу аналізувати її стан, інформує черговий персонал про аварії в електричних мережі з уточненням ділянки лінії, на якій сталося аварійне пошкодження [7]. Отримана від системи моніторингу режимів роботи розподільних електричних мереж інформація надає можливість швидкого виявлення пошкодженого елемента для виконання ремонтних робіт з метою відновлення нормального режиму роботи електричних мереж у разі виникнення аварії.

На відміну від більшості існуючих методів та моделей діагностики електрообладнання запропонована система, яка виконує постійний моніторинг режимів розподільних електричних мереж шляхом установки в характерних точках мережі комплектів діагностичного обладнання. Таким чином, по-перше, в базі даних системи діагностики накопичується інформація щодо параметрів режимів, на основі якої можна будувати модель зміни технічного стану електрообладнання, а по-друге, така діагностична система дає миттєву інформацію диспетчерському персоналу щодо аварійних режимів в розподільних електричних мережах.

Швидкий розвиток інформаційних технологій останніми роками дозволив розробити цілий ряд інформаційних систем, методів та засобів діагностики електрообладнання. Спостереження за реальними змінами технічного стану електрообладнання в процесі експлуатації та моніторинг режимів його роботи дозволить:



- впроваджувати систему ремонту електрообладнання за технічним станом;
- здійснювати комплекс робіт з відновлення справного стану або працездатності електрообладнання, періодичність, обсяг, час проведення яких визначається технічним станом обладнання за результатами контролю та діагностики.

Оскільки при розгляді питання щодо глибини діагностування необхідно враховувати механічні, електричні, теплові та інші фактори, принципово важливо визначити, які параметри слід контролювати та які фактори враховувати під час оцінки технічного стану електрообладнання.

На сьогодні вважається, що впровадження системи організації експлуатації електрообладнання за технічним станом, що ґрунтується на широкому використанні даних діагностики, доцільне для експлуатації складного і найвідповідальнішого електрообладнання. Оскільки профілактичний ремонт такого обладнання вимагає значних витрат, а аварійний ремонт супроводжується суттєвими збитками. Але швидкий розвиток інформаційних технологій об'єктивно супроводжується їх широким впровадженням в усі галузі і сфери техніки та економіки. Тому наразі піднімається питання шляхів розвитку системи діагностування розподільних електричних мереж.

Мета статті. Провести аналіз методів і засобів діагностики технічного стану розподільних електричних мереж, виконати аналіз надійності елементів та аналіз параметрів розподільних електричних мереж.

Основний матеріал. Для оцінки стану надійності електрообладнання розподільних електричних мереж розроблено велику кількість інформаційних систем та методів контролю технічного стану і діагностування електрообладнання [6, 8, 9]. Їх широке застосування створює умови для реалізації нової системи ремонту електрообладнання за технічним станом. Основним принципом такої системи є метод організації ремонту електрообладнання, що ґрунтується на індивідуальних спостереженнях за реальними змінами його технічного стану в процесі експлуатації. Для організації такого спостереження створюється система діагностики, витрати на впровадження та експлуатацію якої мають бути меншими, ніж збитки від аварій та виходу з ладу електрообладнання. Тоді система технічного обслуговування і ремонту електрообладнання, яка підсилена ефективною системою діагностики, забезпечить задане управління експлуатацією електрообладнання на основі контролю його технічного стану. Ремонт за технічним станом – це комплекс робіт по встановленню справності або працездатності електрообладнання, періодичність, обсяг і час проведення яких визначається технічним станом обладнання за результатами контролю та



діагностики, що проводилися з періодичністю та обсягом встановленими технічною документацією на електрообладнання.

Технічна діагностика являє собою процес визначення технічного стану системи, що досліджується, з певною точністю з метою отримання інформації щодо її технічного стану з визначенням місця чи елемента, в якому сталася відмова з подальшим уточненням виду і причини відмови.

Найчастіше для аналізу систем в технічній діагностиці використовують заміну дійсної системи її математичною моделлю, яка враховує усі важливі особливості конкретних систем та способів пошуків в них несправних елементів, які стали причиною відмови. Використання в технічній діагностиці функціональних моделей, які подають об'єкт діагностики у вигляді сукупності певної кількості зв'язаних елементів, дозволяє однозначно визначити перевірки, що виконують з метою пошуку всіх несправних функціональних елементів.

Діагностування електрообладнання може здійснюватись шляхом оперативної діагностики, коли діагностування виконується на діючому обладнанні з використанням, як правило, методів функціональної діагностики або шляхом ремонтної діагностики, коли проводиться діагностування на зупиненому обладнанні в процесі його ревізій та ремонтів.

Наприклад, для задач розрахунку виробітку ресурсу чи прогнозування змін економічності електрообладнання в процесі експлуатації діагностика може здійснюватись за даними оперативного контролю, але відкладеним в часі, тобто в режимі off-line.

При діагностуванні визначають види технічного обслуговування та ремонту, що здійснюється для запобігання відмов і відновлення рівня його працездатності. Для кількісної оцінки технічного стану електрообладнання використовують основні показники: напрацювання, допустимі відхилення параметрів стану (температури, опору, струму тощо), залишковий ресурс.

Внаслідок значної кількості різнохарактерних фізико-хімічних процесів, що протікають в електрообладнанні, загальна оцінка його технічного стану надзвичайно проблематична через необхідність порівняння показників різної фізичної природи і через відсутність в даний час між ними кореляційних залежностей. Тому зручно користуватись узагальненою, інтегральною оцінкою технічного стану, в якості якої доцільно прийняти значення спрацьованого ресурсу, що визначений за результатами контролю параметрів електрообладнання в перехідних і стаціонарних режимах роботи.

Розглянемо сучасний стан експлуатаційної надійності електротехнічного обладнання розподільних електричних мереж: трансформаторів, вимикачів, повітряних ліній електропередач, електричних апа-



ратів, кабелів, електрообладнання власних потреб, контактних з'єднань, вимірювальних трансформаторів струму та напруги.

Важливим фактором, що визначає, яким елементам розподільних електричних мереж необхідно приділяти більше уваги при організації обстежень і контролі технічного стану, є статистика відмов. Проведений за даними [10] аналіз вимикань ліній електропередачі в електричних мережах АК «Харківобленерго» показав, що питома річна кількість вимикань на 100 км повітряних ліній напругою 6-10 кВ складала від 3,55 до 17,2. В той же період ці ж значення для ліній напругою 35 кВ знаходились в межах 3,02-7,79, а для ліній 110-150 кВ – 4,08-7,45. При цьому слід зазначити, що загальна довжина повітряних ліній 6-10 кВ в Україні досягла майже 400 тис. км, а повітряних ліній 35 кВ - перевищує 70 тис. км.

Основними причинами відмов є:

- зношення обладнання, яке відпрацювало більше 25 років;
- несвоєчасне виконання профілактичних заходів;
- порушення електричної міцності ізоляції;
- грозові та комутаційні перенапруги;
- механічні руйнування і втома матеріалів;
- електрохімічні та корозійні пошкодження;
- електродугові та термічні пошкодження;
- слабкий розвиток діагностики обладнання;
- незадовільна організація експлуатації і обслуговування.

Тривалість пошуку пошкоджень в розподільних електричних мережах, а, значить, експлуатаційні витрати електропостачальної організації та збитки від недовідпуску електроенергії споживачам значною мірою визначаються довжиною та розгалуженістю повітряних ліній, якістю під'їзних шляхів. Впровадження засобів автоматичної фіксації аварійних режимів та інформування диспетчера про аварію в режимі реального часу створює принципово нові умови організації робіт з відновлення електропостачання споживачів, приєднаних до аварійно вимкненої лінії. Для прийняття рішень щодо оптимальної кількості та місць установки елементів системи моніторингу режимів електричних мереж необхідно дослідити структуру та параметри розподільних повітряних ліній і проводити аналіз можливих варіантів рішень на створених статистичних моделях розподільних електричних мереж.

Грунтовне дослідження схем і параметрів повітряних ліній та статистична обробка результатів, здійснені в [3], дозволили сформулювати основні умовні моделі схем, кілька з яких наведено на рис. 1. Хоча наведені схеми не відображають усього розмаїття схемних рішень розподільних електричних мереж напругою 6 – 10 кВ, а дають лише загальне уявлення щодо структурної побудови ліній.

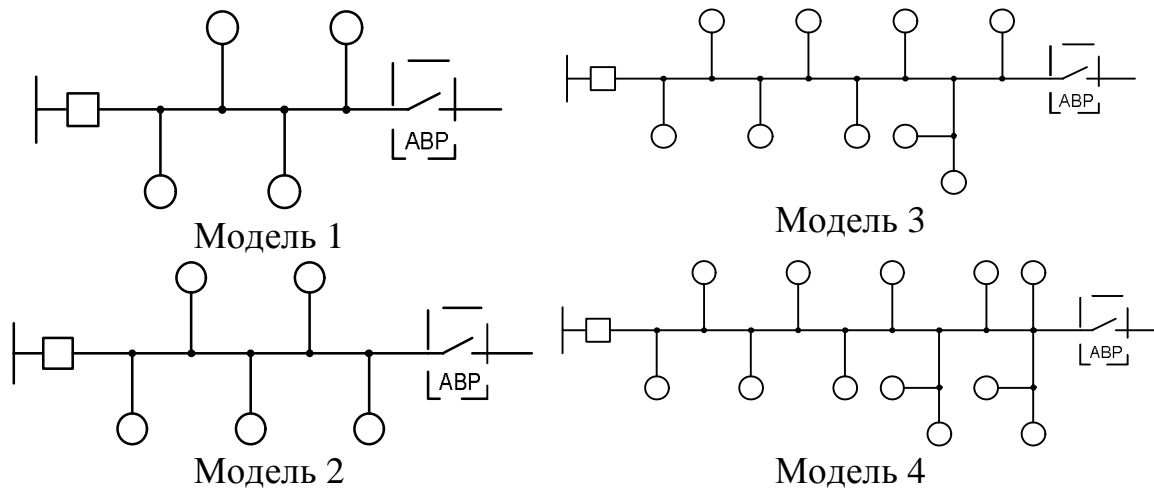


Рис. 1. Основні моделі схем повітряних ліній

Оскільки внаслідок великої кількості варіантів існуючих структурних схем повітряних ліній та значень їх параметрів неможливо створити одну універсальну модель розподільної повітряної лінії, для розробки моделі вибору оптимальної стратегії пошуку пошкоджень, оптимальної кількості та місць установки в лінії пунктів автоматичного вводу резерву, пунктів автоматичного секціонування чи засобів системи моніторингу режимів доцільно отримати, в першу чергу, статистичну інформацію щодо розподілу таких параметрів, як:

- довжини ліній;
- кількості секціонувальних пунктів на базі роз'єднувачів на одну лінію;
- кількості ТП в одній лінії.

З цією метою було проаналізовано дані щодо електрообладнання Харківських розподільних електричних мереж АК «Харківобленерго», загальна площа обслуговування яких становить 33583,8 км², кількість умовних одиниць – 78170, кількість ПЛ-10 кВ 1115, а їхня загальна довжина – 13562,2 км; кількість ТП становить 8449 штук; кількість лінійних роз'єднувачів – 12826.

Статистичний аналіз даних щодо обладнання по ХРЕМ станом на 01.01.2014 р. дозволив отримати показники, наведені в табл. 1.

Аналіз проводився за трьома регіонами Харківської області – Харківським, Куп'янським та Лозівським, а також загалом по розподільних мережах АК «Харківобленерго». Математичне сподівання довжини розподільних ліній відповідно для мереж 10 і 6 кВ становить близько 13 та 10 км.

Середня кількість секціонувальних пунктів на базі роз'єднувачів, що припадає на одну розподільну ПЛ 6-10 кВ по ХРЕМ, складає приблизно 3-4 пункти.



Таблиця 1 – Характеристика розподільних ПЛ ХРЕМ за довжиною

Довжина ПЛ, L, км	Регіон						Всього по ХРЕМ	
	Харківський		Куп'янський		Лозівський		ПЛ-10	ПЛ-6
	ПЛ-10	ПЛ-6	ПЛ-10	ПЛ-6	ПЛ-10	ПЛ-6		
до 15	269	56	267	56	223	14	759	126
15 - 30	110	12	104	8	96	3	310	23
30 - 50	21	0	8	0	17	1	46	1
Всього	400	68	379	64	336	18	1115	150

Порівняно нерівномірний розподіл кількості ТП 6-10/0,4 кВ на одну розподільну ПЛ по регіонах можна пояснити динамікою розвитку як електроспоживання, так і самих мереж.

Висновки.

1. Аналіз надійності елементів розподільних електричних мереж підтверджує, що найслабшою ланкою залишаються розподільні ПЛ 6 - 10 кВ, оскільки надійність усіх інших компонентів системи на порядок вища. Питома частота стійких відмов для ПЛ 10 кВ складає близько $0,25 \text{ (рік}\cdot\text{км)}^{-1}$, в той час як для трансформаторів 35/10 кВ і 110/10 кВ - $0,03 \text{ (рік}\cdot\text{км)}^{-1}$, для КРУН 10 кВ - $0,05 \text{ (рік}\cdot\text{км)}^{-1}$, для КТП 10/0,4 кВ - $0,07 \text{ (рік}\cdot\text{км)}^{-1}$.

2. Аналіз вимикань в електричних мережах АК «Харківобленерго» показав, що основною причиною недовідпуску електроенергії є аварійні вимикання повітряних ліній напругою 6-10 кВ. За останні роки питома річна кількість вимикань на 100 км повітряних ліній напругою 6-10 кВ складає від 3,55 до 17,2, ці ж значення для ліній напругою 35 кВ знаходиться в межах 3,02-7,79, а для ліній 110-150 кВ – 4,08-7,45. Середня розрахункова річна кількість раптових вимикань споживачів через відмови ПЛ 10 кВ складає 63,25%, в той же час через відмови ЛЕП 35(110) кВ - лише 3,54%, через відмови ПЛ 0,38 кВ - 12,64%.

3. На основі аналізу публікацій можна зробити висновок, що основною причиною аварійних вимикань ПЛ 6-10 кВ залишаються пошкодження проводів, які складають понад чверть від загальної кількості відмов.

4. Аналіз параметрів розподільних електричних мереж АК «Харківобленерго» дав статистичні оцінки:

- математичне сподівання довжини розподільних ПЛ 10 кВ – 13,12 км, а ПЛ 6 кВ - 10,29 км;

- середня кількість секціонувальних пунктів на базі роз'єднувачів, що припадає на одну розподільну ПЛ 6 кВ складає 3 пункти, а для ПЛ 10 кВ 4 пункти;



- середня відстань між пунктами секціонування в ПЛ-10 (6 кВ) - 3,53 км;

- математичне сподівання кількості ТП в одній розподільній ПЛ 10 кВ – 9,2, а в ПЛ 6 кВ – 8,3.

5. Організація діагностики та контролю технічного стану електрообладнання дозволить удосконалити систему експлуатації електрообладнання та підвищити надійність електропостачання споживачів.

6. Існуючі методи діагностики технічного стану елементів розподільних електричних мереж дозволяють фіксувати контрольовані параметри, але не надають оперативної інформації щодо місця пошкодження в електричних мережі, тому доцільним є розробка системи, яка дозволила б контролювати параметри мережі та передавати інформацію на диспетчерський пункт.

Список використаних джерел

1. Губень Д. И. Об аварийности в 2010 году и показатели надежности в электрических сетях 6-150 кВ энергоснабжающих компаний, которые входят в состав НАК «ЭКУ» / Д. И. Губень // Электрические сети и системы. – 2011. - №2. - С. 32- 34.

2. Гай А. В. Математическая модель размещения коммутационных аппаратов в условиях рыночных отношений между энергоснабжающей компанией и потребителем / А. В. Гай, В.В. Козырский, Б. В. Кузьменко. - Электрифікація та автоматизація сільського господарства. - 2005, № 3. - С. 40 - 52.

3. Гай А. В. Оптимизация количества и мест установки секционирующих устройств в распределительных сетях сельских регионов: Дис. кандидата техн. наук: 05.09.03 / Гай Александр Валентинович. - К, 2008. - 165 с.

4. Кириленко О. В. Визначення місць пошкоджень на лініях електропередачі з використанням штучних нейронних мереж / О. В. Кириленко, І. В. Білюк // Наукові праці ДонНТУ : Електротехніка і енергетика. – 2008. – Вип. 8 (140). – С. 8 – 12.

5. Козырский В. В. Особенности размещения вакуумных реклоузеров РВА/TEL в распределительных сетях / В. В. Козырский, А. В. Гай, В. А. Костюк, П. В. Петров // Электрические сети и системы. – 2012. - № 3. – С. 112 – 118.

6. Григорьев А. В. Необходимость сохранения эффективной системы диагностического и ремонтного обслуживания энергетического оборудования / А. В. Григорьев // Энергетик. - 2007. - № 1. - С. 2 - 4.

7. СОУ-Н МПЕ 40.4.20.576:2005. Методические указания по учету и анализу в энергосистемах технического состояния распределительных сетей напряжением 0,38-20 кВ с воздушными линиями электропередачи / А. А. Потребич, В. П. Клочко, Г. Н. Катренко. – К.: ОЭП ГРИФРЭ, 2005. – 92 с.



8. Гуревич В. И. Автоматическое повторное включение силовых электронных установок / В. И. Гуревич, В. И. Жила, Н. Л. Лисиченко, А. В. Мирошник, П. И. Савченко // Вісник ХДТУСГ: Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. – 2006. - Вип. 43. – С. 83 - 89.

9. Мірошник О. В. Діагностування пошкоджень у розподільних повітряних лініях з роз'єднувачами РЛК-10 / О. В. Мірошник, В. О. Коробка // Вісник ХНТУСГ: Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. – 2013. – Вип. 142. – С. 15 – 17.

10. Ганус А. И. Динамика изменения параметра потока отказов линий электропередачи разных номинальных напряжений / А. И. Ганус, К. А. Старков // Электрические сети и системы. – 2010. – № 2. – С. 80-86.

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И МОНИТОРИНГА РЕЖИМОВ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Пазий В.Г., Мирошник О.О.

Аннотация – анализ проблем диагностики технического состояния и мониторинга режимов распределительных электрических сетей. Выполнен анализ методов и средств диагностики технического состояния, анализ надежности элементов и анализ параметров распределительных электрических сетей.

ANALYSIS OF PROBLEMS OF DIAGNOSIS AND MONITORING OF TECHNICAL MODES ELECTRICAL DISTRIBUTION NETWORK

V. Pazyi, O. Miroshnyk

Summary

Analysis of diagnosing problems and monitoring the technical condition of power distribution networks modes. The analysis of methods and means of diagnosing the technical condition of the analysis of reliability of elements and analysis of power distribution networks settings.



УДК 621.316.929

ОБГРУНТУВАННЯ ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКИ РЕЖИМУ РОБОТИ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА ПРИ ОБ'ЄДНАННІ НЕЙТРАЛЕЙ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ І ОБМОТКИ СТАТОРА

Попова І. О., к.т.н.,

Курашкін С.Ф., к.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел.: (0619) 42-32-63

Анотація – у роботі досліджена величина напруги зміщення нейтралі та потенціалу на корпусі двигуна при об'єднанні нейтралей джерела живлення і обмотки статора асинхронного двигуна, а також обґрунтована електробезпечність режиму роботи аварійних двигунів технологічних ліній, які працюють у неповнофазному режимі, на час завершення технологічного процесу.

Ключові слова: тепловий знос ізоляції, симетричні складові прямої, зворотної і нульової послідовностей, опір, струм, напруга, коефіцієнт завантаження.

Постановка проблеми. До специфічних умов експлуатації асинхронних двигунів в АПК варто віднести низьку якість електроенергії. Виникнення несиметрії фазних напруг і обрив фазного проводу є однією з основних причин виходу їх з ладу [1].

Переважає більшість випадків виходу з ладу асинхронних двигунів відбувається через ушкодження обмотки статора. Частка всіх ушкоджень асинхронних двигунів з таких причин, як обрив фази і перевантаження, складає 70...80%, а найпоширеніша з них – є обрив фази (40...50%) [1]. Причиною аварійності є значне збільшення швидкості теплового зносу ізоляції, що, в свою чергу, обумовлено збільшенням фазних струмів і «перекосом» фазних напруг живлення через виникнення напруги зміщення нейтралі.

Несиметрія напруг мережі живлення проявляється в різкому погіршенні техніко-економічних характеристик електродвигунів, зниженні експлуатаційної надійності і скороченні терміна їх служби.

Для підвищення експлуатаційної надійності асинхронних двигунів поточкових ліній, що працюють у сільськогосподарському виробництві, доцільно поряд із використанням комбінованих пристроїв для захисту групи двигунів, передбачати заходи щодо полегшення режи-



мів роботи асинхронних двигунів при обриві фазного проводу на час завершення технологічного процесу [1].

Аналіз останніх досліджень. Існуючі методи дослідження режимів роботи асинхронних двигунів часто не враховують залежності їх від несиметрії напруги, завантаження робочих машин та особливості їх механічних характеристик. У якості критеріїв оцінки режимів роботи асинхронних двигунів враховуються, як правило, сила струму та температура обмотки і не враховується такий об'єктивний показник, як швидкість витрати ресурсу ізоляції обмоток двигунів. Одним із засобів полегшення режиму роботи асинхронного двигуна при обриві одного з фазних проводів є з'єднання нейтралей джерела живлення й обмотки статора двигуна.

При дослідженні несиметричних режимів роботи асинхронних двигунів встановлено, що сила фазних струмів під час обриву фазного або лінійного проводу і з'єднанні нейтралей джерела живлення і обмотки статора двигуна, при коефіцієнтах завантаження робочих машин $k_3 = 0,4-0,6$, зменшується в порівнянні зі струмами при аналогічному режимі роботи двигуна з ізольованою нейтраллю на 12-18%. Відповідно зменшується і швидкість теплового зносу ізоляції обмотки статора на 40-60%. Тому режим роботи асинхронного двигуна при обриві фази статора і з'єднанні нейтралей джерела живлення і обмотки статора асинхронного двигуна є більш сприятливим для досліджуваного двигуна з точки зору витрати ресурсу ізоляції.

З погляду електробезпеки під час обриву одного з фазних проводів при об'єднанні нульових точок джерела живлення й обмотки статора двигуна в електричному колі виникає напруга зміщення нейтралі, а на корпусі двигуна можливо поява електричного потенціалу.

Формулювання цілей статті. З точки зору електробезпечності необхідно дослідити електричний потенціал, що виникає на корпусі двигуна поточної лінії внаслідок появи напруги зміщення нейтралі під час обриву одного з фазних або лінійних проводів мережі живлення при об'єднанні нейтралей обмоток статора і джерела живлення.

Основна частина. В роботі наведені результати дослідження напруги зміщення нейтралі асинхронного електродвигуна 4A112M4У3 потужністю 5,5 кВт технологічної лінії змішування кормів СКО-Ф-3 у випадку обриву одного з фазних проводів при об'єднанні нейтралей джерела живлення і обмотки статора асинхронного двигуна М1 (рис.1).

Вихідні дані для розрахунку: $P_n = 5,5$ кВт; $\cos\varphi_n = 0,85$; $\eta_n = 0,855$; $r_1' = 1,036$ Ом; $r_2'' = 0,786$ Ом; $x_1' = 1,496$ Ом; $x_1'' = 2,49$ Ом; $x_\mu = 53,072$ Ом; $x_1 = 1,457$ Ом; $I_n = 11,467$ А. Прийняті наступні припущення:

- коефіцієнт завантаження робочої машини $k_3 = 1$;

- коефіцієнт, що характеризує механічну характеристику робочої машини $x = 1$;
- під час обриву фази живлення ковзання двигуна $s = 1$.

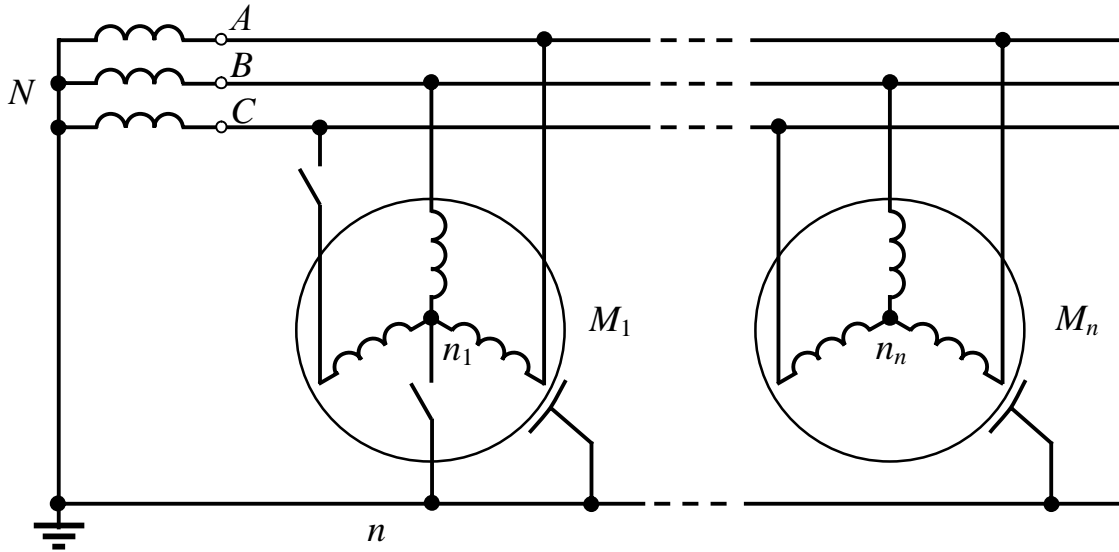


Рис. 1. Принципова схема підключення асинхронного двигуна M_1 при обриві однієї з обмоток статора і об'єднанні нейтралей джерела живлення і асинхронного двигуна

Користуючись параметрами Γ -подібної схеми заміщення асинхронного двигуна, у [2] були розраховані комплекси повних опорів прямої $Z_1 = 17,725$ Ом і зворотної $Z_2 = 4,85$ Ом послідовностей. Комплекс повного опору нульової послідовності двигуна визначено таким рівнянням

$$Z_0 = r_1' + k(jx_1' + jx_2''), \quad (1)$$

де k – коефіцієнт, що враховує взаємний індуктивний зв'язок обмоток статора;

r_1', jx_1', jx_2'' – параметри Γ -подібної схеми заміщення.

Ковзання в цьому режимі роботи

$$s = \frac{0,625s_K}{\left[\frac{m_K}{1,6 \left(m_0 + (k_3 - m_0) \left(\frac{1-s}{1-s_H} \right)^x \right)} + \sqrt{\left(\frac{m_K}{1,6 \left(m_0 + (k_3 - m_0) \left(\frac{1-s}{1-s_H} \right)^x \right)} \right)^2 - 1} \right]}, \quad (2)$$

$$\text{де } m_0 = \frac{M_0}{M_H}; \quad m_K = \frac{M_K}{M_H}; \quad k_3 = \frac{M_c}{M_{c,H}};$$

M_0 – момент опору тертя частин робочої машини, Н·м;

$M_{c,H}$ – номінальний момент опору робочої машини, Н·м;

M_c – момент опору робочої машини для ковзання s , Н·м;



- s_n – номінальне ковзання;
 k_3 – коефіцієнт завантаження;
 x – коефіцієнт, що характеризує механічну характеристику робочої машини.

Згідно розрахунку комплекс повного опору нульової послідовності дорівнює $Z_0 = 7,207 \text{ Ом}$.

Для досліджуваного режиму одночасно з появою симетричних складових струмів прямої і зворотної послідовностей з'являється й складова струму нульової послідовності, що викликає пульсацію магнітного поля електродвигуна. Згідно до методики [1] визначені комплекси струмів:

- прямої послідовності $\dot{I}_1 = 11,8e^{j37^\circ} = 8,96 - j6,69 \text{ А}$;
- зворотної послідовності $\dot{I}_2 = 11,8e^{j37^\circ} = 8,96 - j6,69 \text{ А}$;
- нульової послідовності $\dot{I}_0 = 4,6e^{j137^\circ} = -3,32 + j3,19 \text{ А}$.

Оскільки струм нульового проводу згідно властивостей симетричних складових струмів дорівнює

$$\dot{I}_N = 3\dot{I}_0, \quad (3)$$

то сила струму в нульовому проводі $I_N = 13,73 \text{ А}$.

Для розрахунку напруги зміщення нейтралі і електричного потенціалу на корпусі двигуна прийнято, що нульовий провід марки А16 з параметрами $r_0 = 1,98 \text{ Ом/км}$, $x_0 = 0,46 \text{ Ом/км}$, $z_0 = 2,033 \text{ Ом/км}$, має довжину 0,2 км. За таких умов повний опір нульового проводу дорівнює $Z_N = 0,4066 \text{ Ом}$.

Напруга зміщення нейтралі

$$U_N = I_N Z_N. \quad (4)$$

Розрахункове значення напруги зміщення нейтралі і електричного потенціалу на корпусі асинхронного електродвигуна в разі обриву фазного провідника за умови об'єднання нейтралей джерела живлення і обмотки статора двигуна дорівнює $U_N = 5,49 \text{ В}$ – це значення значно менше припустимої напруги торкання 36 В при аварійному режимі виробничих електроустановок напругою до 1 кВ з глухо-заземленою нейтраллю при тривалості більше однієї секунди [3].

Висновок. При обриві фазного проводу асинхронного двигуна або лінійного проводу електричної мережі електроприводів робочих машин потокової лінії на час, необхідний для завершення технологічного процесу і полегшення режиму роботи двигуна, зменшення витрати ресурсу ізоляції і підвищення його технічних показників, можливо об'єднання нейтралей джерела живлення і обмоток статора асинхронного двигуна, з'єднаного зіркою, без втрати електробезпеки обслуговуючого персоналу.

*Список використаних джерел*

1. *Попова І.О.* Аналіз режиму роботи асинхронного двигуна при глибокій несиметрії напруг мережі і з'єднанні нульових точок джерела живлення і обмотки статора / *І.О. Попова* // Праці ТДАТА. – Вип.24. – Мелітополь, 2004. – С.138 – 143.

2. *Попова І.О.* Визначення параметрів асинхронного електродвигуна при несиметрії напруги / *І.О. Попова* // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Вип. 6. – Мелітополь, 2002. – С.90 – 94.

3. ДСТУ 45014-2001. Електробезпека та гранично допустимі значення напруг торкання і струмів.

ОБОСНОВАНИЕ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ РЕЖИМА РАБОТЫ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ ОБЪЕДИНЕНИИ НЕЙТРАЛЕЙ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ И ОБМОТКИ СТАТОРА

Попова І. О., Курашкин С.Ф.

Аннотація – в роботі досліджена величина напруги смещення нейтралі і потенціала на корпусі двигателя при об'єднанні нейтралей джерела живлення і обмотки статора асинхронного двигателя, а також обоснована електробезпека режиму роботи аварійних двигателів поточної лінії, працюючих в неповнофазному режимі, на час завершення технологічного процесу.

THE ELECTRIC SAFETY EXPLANATION OF ASYNCHRONOUS MOTOR OPERATION UNDER POWER SOURCE AND STATOR NEUTRAL POINTS COUPLING

I. Popova, S. Kurashkin

Summary

The work is devoted to research a neutral bias voltage and potential on the motor's body under power source and stator neutral points coupling. It was explained an electric safety of asynchronous motor operation during finishing a technological process of production line while phase break.



УДК 621.374

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-ВОЛНОВЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ В ВЕТЕРИНАРИИ И МЕДИЦИНЕ В ЛЕЧЕБНЫХ ЦЕЛЯХ

Попрядухин В.С., к.т.н.

Таврический государственный агротехнологический университет

Тел. (0619) 42-31-59

Аннотация – информационные электромагнитные излучения КВЧ диапазона находят всё большее применение в ветеринарии и медицине, что подтверждает их высокую терапевтическую эффективность, отсутствие осложнений и побочных отрицательных эффектов. Применение ЭМИ информационного характера для лечения животных связано с тем, что ЭМП обладают рядом положительных особенностей: энергосбережение; экологическая чистота; экономичность; технологическая и аппаратурная простота; без медикаментозный метод лечения.

Ключевые слова: информационное электромагнитное излучение, электромагнитное поле (ЭМП), биотропные параметры.

Постановка проблемы. В современных условиях для лечения различных болезней используются антибиотики, гормоны и другие химические препараты. Тем не менее, терапевтическая эффективность остаётся низкой, кроме того, антибиотики и другие медикаменты, попадая в организм человека через молоко и мясо животных, угнетают иммунитет, поражают печень и другие органы, что приводит к различным заболеваниям. Поэтому немедикаментозное лечение является актуальным направлением.

Анализ последних исследований. Анализ исследований по воздействию информационных ЭМП на биологические объекты, проводимых: в Московском центре информационной медицины под руководством Бессонова А. Е. в ИРЭ РАН под руководством Н. Д. Девяткова; в ТулГУ под руководством Нефедва Е. Н.. В Харьковском НТУСХ под руководством А. Черенкова, Н. Лисиченко, Ю. Мегеля, Н. Косулиной, в Новосибирском институте под руководством Казначеева А. П., показывают, что наибольший терапевтический эффект в ветеринарии и медицине следует ожидать от информационных электромагнитных излучений миллиметрового диапазона.



Формулирование целей статьи. Провести анализ по применению информационных ЭМП в медицине и ветеринарии.

Основные материалы исследования. Подтверждена положительная роль облучения волнами миллиметрового диапазона при лечении злокачественных опухолей, регенерации мягких и костных тканей. В работах было отмечено, что ЭМИ способствует быстрому заживлению ран без применения антибиотиков и других препаратов.

Кроме того, антибиотики и другие медикаменты, попадая в организм человека через молоко и мясо животных, угнетают иммунитет, поражают печень и другие органы, что приводит к различным заболеваниям. Поэтому немедикаментозное лечение является актуальной задачей.

Живые организмы являются динамическими системами, с большим числом параметров внутренних процессов. В живых организмах содержатся многочисленные управляющие, регулирующие, страхующие системы, удерживающие параметры в строго определённых пределах. Поэтому функционирование указанных систем по поддержанию жизнедеятельности живого организма связано с основной структурно-функциональной единицей живого организма – клеткой. Все значимые для биообъекта изменения начинаются и заканчиваются на клеточном уровне, клетка является универсальным комплексом, начальным и конечным этапом реализации всех биологических процессов. Источником и приемником информационных электромагнитных полей является живая клетка, которая является «крупномасштабной» элементной базой для сложнейшего устройства для обработки сверхбольших массивов информации.

С этих позиций, основными причинами патологий животных и людей являются необычные для нормальной жизнедеятельности не ферментативные реакции, протекающие в мембранах: в большинстве случаев это цепные реакции окисления фосфолипидов клеток с участием свободных радикалов, которые, в свою очередь, ведут к повреждению структурных элементов клеток и нарушению функции регулирования. Клетка начинает работать в нештатном режиме. В этих случаях даже малая внешняя сила электромагнитной природы может существенно влиять на важнейшие параметры клетки.

Действие КВЧ-излучения на биологические мембраны во многом обусловлено особенностями структурной организации и функционирования мембран, представляющих собой высокоупорядоченные надмолекулярные ансамбли с ярко выраженными векторными свойствами.

По современной теории трансмембранного транспорта, именно электрическое поле внутри мембраны создает потоки необходимых веществ из наружной среды внутрь клетки и из клетки в наружную



среду через специальные гидрофильные каналы, вероятнее всего, липопротеиновой природы. Скорость проникновения ионов через мембрану определяется такими свойствами, как толщина, значение диэлектрической проницаемости, наличие фиксированных электромагнитных зарядов на мембране, размеры и число пор в мембране, наличие фиксированных зарядов в порах и некоторыми другими

Основная часть поглощаемой в мембране избыточной КВЧ - энергии сразу же рассеивается в среду, повышая общую температуру объекта. При этом весьма вероятно, что действие КВЧ - энергии влечет за собой перераспределение электрических сил, участвующих в стабилизации мембраны. В результате меняется степень связывания ионов в мембране (в том числе в ионных каналах), а также возникают локальные изменения физико-химических свойств поверхности мембран (микровязкость, рН, поверхностное натяжение, эффективный заряд).

При воздействии электромагнитного излучения на патологические процессы в живых организмах происходит уничтожение патогенных микроорганизмов (стафилококков), понижение рецепторной чувствительности, уменьшение длительности фазы воспаления и интерстициального отёка, повышение скорости кровотока, улучшение микроциркуляции крови и лимфы, увеличение поглощения тканями кислорода, активация регенеративных процессов, ускорение и коррекция гормональных и ферментативных систем, что приводит к выздоровлению организма. Анализ взаимодействия информационного ЭМП на клеточном уровне показывает, что электромагнитное информационное излучение следует воспринимать как тончайший инструмент почти безграничного влияния на биологические процессы в живом организме. Однако, желаемые изменения свойств биологических объектов могут быть получены только при оптимальном сочетании биотропных параметров воздействующего ЭМП (частота, плотность потока мощности, экспозиция, модуляция, поляризация).

Данные многочисленных исследований позволили предположить, что выбором биотропных параметров ЭМИ, можно добиться благоприятного влияния на ход лечения при многих болезнях, с которыми данный вид организмов может бороться. Доказано, что сигналы, подобные ЭМП, вырабатываются и используются в определенных целях самим организмом, а внешнее облучение лишь имитирует их. Проникая в организм, эти излучения на определенных (резонансных) частотах трансформируются в информационные сигналы, осуществляющие управление и регулирование восстановительными процессами или приспособительными процессами в нем.

Проведенный анализ позволяет сделать вывод о том, что методы электромагнитной терапии представляют значительный интерес для



ветеринарной и медицинской практики. Широкое применение фармакологических препаратов, содержащих антибиотики, гормоны и другие химические средства, приводят зачастую к негативным явлениям, накоплению их в организме, снижению качества продуктов животноводства, что может вызывать болезни людей.

При этом следует отметить, что эффективное лечение заболеваний животных можно ожидать от действия информационных ЭМП с оптимальными биотропными параметрами. Однако определение оптимальных параметров ЭМП для лечения животных, требует разработки моделей, учитывающих параметры воздействующего ЭМП и параметры биообъектов.

Вывод.

Проведенный анализ позволяет сделать вывод о том, что методы электромагнитной терапии представляют значительный интерес для медицины и ветеринарии. Широкое применение фармакологических препаратов, содержащих антибиотики, гормоны и другие химические средства, приводят зачастую к негативным явлениям, накоплению их в организме, снижению качества продуктов животноводства, что может вызывать болезни людей.

Список использованной литературы.

1. Багманов М. А. Диагностика, лечение и профилактика заболеваний животных / М. А. Багманов. – Ульяновск: УСХИ, 1999. 25 с.
2. Зверев Г. В. Гинекологические болезни коров / Г. В. Зверев. – Киев: Урожай, 1976. – 150 с.
3. Кошовий В. П. Акушерсько-гінекологічна патологія у корів В. П. Кошовий. – Харків: Золоті сторінки, 2004. – 156 с.
4. Ветеринарне акушерство, гінекологія та біотехнологія відтворення тварин з основами андрології: підручник / за ред. В. А. Яблонського, С. П. Хомина. – Вінниця: Нова книга, 2006 – 592 с.
5. Черенков А. Д. Влияние низкоэнергетических МП на клетки тканей вымени коров больных маститом / А. Д. Черенков, Л. Ф. Кучин. – Вісник ХДТУСГ. – 2001. – Вип. 6. – С. 32 – 33.



ЗАСТОСУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ХВИЛЬОВИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ В ВЕТЕРИНАРІЇ ТА МЕДИЦИНІ В ЛІКУВАЛЬНИХ ЦІЛЯХ

Попрядухін В.С.

Анотація - вплив інформаційних електромагнітних випромінювань на живі організми займає важливе місце серед проблем, що досліджуються в біофізиці медицини і ветеринарії. Застосування інформаційних ЕМВ КВЧ-діапазону дає можливість лікування багатьох захворювань безмедикаментозним методом.

USE OF INFORMATION AND WAVE RADIATIONS IN VETERINARY SCIENCE AND MEDICINE IN THE MEDICAL PURPOSES

V. Popryaduhin

Summary

Effect of Information elektromahnitnyh radiation on living organisms occupies an important place among the problems studied in biophysics and medicine veterinaries. The use of EMR EHF range of information enables the treatment of many diseases of non-medicamentous method.



УДК 621.311

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МОНІТОРИНГ ЗЕРНООЧИСНО-СУШИЛЬНИХ ПУНКТІВ

Постнікова М.В., к.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел. (0619) 42-31-59

Анотація – розглянуті питання основних функцій енергетичного моніторингу зерноочисно-сушильних пунктів.

Ключові слова: енергозбереження, раціональне використання електроенергії, електропривод, економія електроенергії.

Постановка проблеми. Як правило, програми раціонального споживання електроенергії передбачають швидке отримання економічної вигоди. В багатьох випадках одне лише свідоме відношення до використання електроенергії може дати економію в декілька відсотків. А якщо, до такого свідомого підходу додати ще і більш продумане керування технологічним процесом, наприклад, оптимальний режим роботи всієї потокової лінії, то економія електроенергії досягне в середньому 8-10 %.

Проведення енергетичного моніторингу дозволить здійснювати спостереження за режимом електроспоживання на зернопунктах, реєструвати основні показники, виявити вплив зовнішніх та внутрішніх факторів на ефективність електроспоживання, що сприятиме раціональному використанню енергоресурсів на зернопунктах та підвищенню її рівня енергоефективності.

Аналіз останніх досліджень. Моніторинг – система заходів спостереження та контролювання, яка проводиться для оцінювання стану об'єкту дослідження [1]. Моніторингом в системі хлібоприймальних підприємств займалися вчені: В.І. Калінцев, М.М. Преображенський, Д.Г. Сегеда, П.П. Ястребов [2]. А в сільському господарстві – для агрегатів, які випускає «Вороніжсільмаш»: В.В. Громак, Н.А. Устименко, А.А. Гончаров, Г.І. Коршунова, І.В. Киселиця, О.П. Карпова [3], М.В. Постнікова [4]. Моніторинг на зернопунктах є основою для розробки та реалізації методів керування та планування режиму роботи для забезпечення ефективного електроспоживання та раціонального використання енергоресурсів.

Формулювання цілей статті. Для забезпечення реалізації основних функцій енергетичного моніторингу зернопунктів виявити основ-



ні показники енергетичної ефективності, що мають вплив на електроспоживання.

Основні матеріали дослідження. Забезпечити ефективне електроспоживання та раціональне використання енергетичних ресурсів на зернопунктах можна лише за умови комплексного підходу до задач енергозбереження, підвищення рівня енергоефективності зернопунктів, керування режимом електроспоживання. Це потребує обстеження та збір вихідних даних про зернопункти, їх режими електроспоживання, виявлення джерел нераціональних витрат, а також факторів, які забезпечать необхідні значення параметрів режиму роботи технологічного обладнання при мінімальних витратах електроенергії.

Забезпечити ці завдання можливо лише за умови всебічного енергетичного моніторингу зернопунктів, ефективності організації його режиму роботи, енерговикористання, а також виконання запланованих енергозберігаючих заходів, дотримання встановлених значень енергетичних показників.

Для забезпечення реалізації основних функцій енергетичного моніторингу необхідні показники енергетичної ефективності, що мають вплив на електроспоживання. Встановлено, що найбільш інформативним показником для визначення енергозберігаючих режимів роботи є питомі витрати електроенергії на процес обробки зерна, як в окремих потокових лініях, так і в цілому по зерноочисним агрегатам [1].

Питомі витрати електроенергії є складною функцією багатьох змінних факторів на зернопунктах. Ці фактори можливо урахувати в нормах електроспоживання, які повинні бути технічно обґрунтовані і визначатися з використанням методів нормування [1].

Норматив витрат енергії – номінальне значення витрат енергії на величину технологічно зв'язаного з ним параметра виробництва при заданих умовах протікання технологічного процесу [1].

Норматив відображає деяке середнє значення витрат енергоресурсів для багатьох однотипових об'єктів, які одержані на основі проектних даних. При розробці нормативів використовується розрахунково-аналітичний метод. Тому норми – це розрахункові величини [1].

Норма витрат електроенергії, $W_{\text{пит}}$, кВт·год./т, може бути визначена по продуктивності Q , т/год., потокової лінії:

– для ЗАВ-20 [3]

$$\text{ячмінь} \quad W_{\text{питяч}} = \frac{15,6}{Q} + 0,658 ; \quad (1)$$

$$\text{пшениця} \quad W_{\text{питпш}} = \frac{16,6}{Q} + 0,456 ; \quad (2)$$



– для ЗАР-5 [3]

$$\text{ячмінь} \quad W_{\text{питяч}} = \frac{19,7}{Q} + 0,598 ; \quad (3)$$

$$\text{пшениця} \quad W_{\text{питпш}} = \frac{22,3}{Q} + 0,268 ; \quad (4)$$

$$\text{рис} \quad W_{\text{питрис}} = \frac{10,3}{Q} + 1,68 ; \quad (5)$$

– для ЗАВ-40 для пшениці [5]

одна лінія з трієром

$$W_{\text{пит}} = \frac{11,809}{Q} + 0,636 ; \quad (6)$$

одна лінія без трієра

$$W_{\text{пит}} = \frac{10,649}{Q} + 0,106 ; \quad (7)$$

дві лінії з трієрами

$$W_{\text{пит}} = \frac{27,447}{Q} + 0,429 ; \quad (8)$$

дві лінії без трієрів

$$W_{\text{пит}} = \frac{22,211}{Q} + 0,414 . \quad (9)$$

Були розроблені науково-обґрунтовані норми витрати електроенергії при обробці зерна пшениці на потокових лініях зернопунктів [5]. Норми призначені для планово-економічних відділів обласних управлінь сільського господарства для планування і контролю витрати електроенергії на технологічні процеси очищення зерна на потокових лініях зернопунктів півдня України (таблиця 1).

Комплексна система організації роботи по економії електроенергії складається з чотирьох основних етапів роботи, які пов'язані між собою (Рис. 1).

Перший етап – встановлення прогресивних норм витрати електроенергії. При цьому повинні бути встановлені норми витрати електроенергії для всього зерноочисного агрегату в цілому.



Другий етап – організація обліку і контролю за дотриманням норм. На цьому етапі роботи здійснюється оперативний контроль за витратами електроенергії на зернопунктах.

Таблиця 1 – Науково-обґрунтовані норми витрати електроенергії при дороблюванні зерна на потокових лініях зернопунктів

Тип	Технологічні схеми	Продуктивність, т/год.	Рекомендовані норми, кВт·год./т
ЗАВ-20	Зерноочисний агрегат	20	0,673
	1 Одна лінія з трієром	7,5	2,475
	2 Одна лінія без трієра	10	1,726
	3 Дві лінії з трієрами	15	1,562
	4 Дві лінії без трієрів	20	1,069
ЗАВ-40	Зерноочисний агрегат	40	0,978
	1 Одна лінія з трієром	15	1,347
	2 Одна лінія без трієра	20	0,902
	3 Дві лінії з трієрами	30	1,342
	4 Дві лінії без трієрів	40	0,901
ЗАР-5	Зерноочисний агрегат	20	0,713
	1 Первинна - вторинна - трієр	20	1,432
	2 Первинна – вторинна (без БТ)	20	1,183
	3 Первинна – вторинна (без СВУ)	20	0,913
	4 Первинна очистка	20	0,658
ЗАВ-25	Зерноочисний агрегат	20	0,69
	1 Робота агрегату з трієрами	20	1,513
	2 Робота з трієрами з бункерів тимчасового зберігання зерна	20	0,981
	3 Робота агрегату на продовольчому режимі	20	1,55
	4 Робота агрегату на продовольчому режимі з бункерів тимчасового зберігання зерна	20	0,777
	5 Завантаження бункерів тимчасового зберігання	50	0,498
	6 Розвантаження бункерів тимчасового зберігання	50	0,313
	7 Налагоджувальний режим роботи	20	0,264

Третій етап – складання енергобалансів та їх аналіз по агрегату, а потім по зернопункту в цілому. На цьому етапі роботи аналізуються витрати електроенергії за статтями витрат і втрат.

Четвертий етап – розробка заходів щодо економії електроенергії. На цьому етапі роботи намічаються конкретні заходи по зниженню витрат енергії. Вказуються терміни реалізації та ефективність.

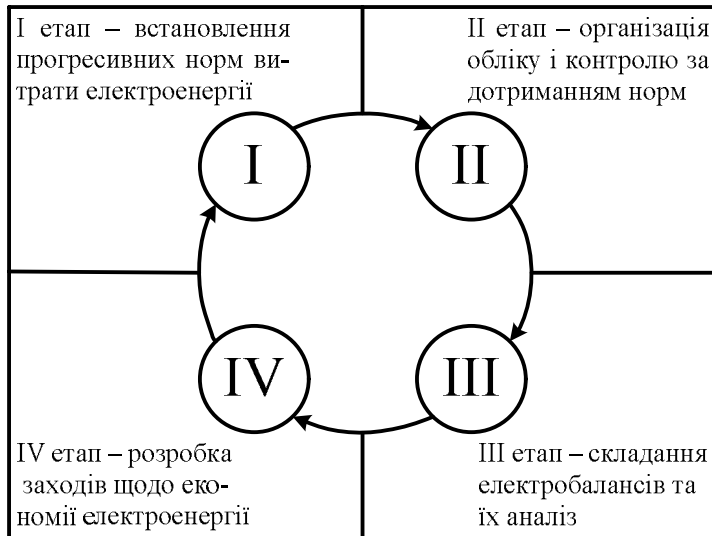


Рис. 1. Комплексна організація роботи щодо економії електроенергії на зернопунктах

Контроль за фактичними витратами електроенергії на зернопунктах повинен проводитися тільки за приборами обліку (електролічильникам). Хоч самі по собі лічильники не економлять енергію, їх установка забезпечує зворотний зв'язок, необхідний для визначення результатів здійснення програми економії енергії. Економія обумовлена поя-

вою можливості обліку використання енергії і перевірки ефективності заходів.

Переваги системи комплексної організації роботи щодо економії електроенергії полягають в тому, що ця система:

- зобов'язує кожний зернопункт систематично, безперервно і в плановому порядку вести роботу по підвищенню ефективності енерговикористання;
- зобов'язує вести систематичний контроль за зміною кожної статті витрат енергії;
- зобов'язує до безперервного вишукування нових шляхів і резервів в області економії енергії;
- забезпечує закріплення досягнутих успіхів в роботі по економії енергії і швидку реалізацію всіх резервів;
- сприяє планомірній роботі по реконструкції та модернізації технологічного обладнання не тільки під кутом зору економії енергії, але і підвищенню продуктивності праці і обладнання, тобто, сприяє переходу до вищої форми організації з економії електроенергії.

Висновок. Встановлено, що найбільш інформативним показником для визначення енергозберігаючих режимів роботи є питомі витрати електроенергії на процес обробки зерна, як в окремих потокових лініях, так і в цілому по зерноочисним агрегатам ЗАВ-20, ЗАВ-40, ЗАР-5, ЗАВ-25, які для різного набору машин змінюються в межах 0,658...2,475 кВт·год./т.

Список використаних джерел.

1. Методика энергетического мониторинга сельскохозяйственных объектов, выявление резервов и потенциала экономии топливно-энер-



гетических ресурсов (ТЭР). – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2001. – 100 с.

2. *Ястребов П.П.* Исследование и нормирование электроэнергии в процессах переработки и хранения хлебных культур / *П.П. Ястребов.* – М. : Колос, 1973. – 331 с.

3. *Карпова А.П.* Исследование влияния технических и технологических факторов на электропотребление при подработке зерна на юге СССР: автореф. дис... канд. техн. наук / *А.П. Карпова.* – К., 1981. – 21 с.

4. *Постнікова М.В.* Енергозберігаючі режими роботи електромеханічних систем обробки зерна на зернопунктах: автореф. дис... канд. техн. наук / *М.В. Постнікова.* – Мелітополь, 2011. – 22 с.

5. *Постнікова М.В.* Розробка науково-обґрунтованих норм енергоємності при обробці зерна на зернопунктах / *М.В. Постнікова* // Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика: Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. Тематичний збірник наукових праць. – Харків, 2008. – №30. – С. 511-512.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНО-СУШИЛЬНЫХ ПУНКТОВ

Постникова М.В.

Аннотация – рассмотрены вопросы основных функций энергетического мониторинга зерноочистительно-сушильных пунктов.

ENERGY MONITORING OF GRAIN CLEANING AND DRYING ITEMS

M. Postnikova

Summary

The basic functions of the energy monitoring of grain cleaning and drying items was concerned.



УДК 631.2::51.7+628.9.069

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ЕНЕРГООЩАДНОЇ САУ ОПРОМІНЕННЯМ РОСЛИН

Сабо А.Г., к.т.н.,

Речина О.М., інженер

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел.: (068) 31-41-617

Анотація - представлені результати моделювання роботи САУ опроміненням рослин в теплицях у інтерактивному графічному середовищі Simulink

Ключові слова: енергозбереження, опромінення рослин, моделювання.

Постановка проблеми. Протягом останніх десятиріч овочівництво захищеного ґрунту стало важливою ланкою агропромислового комплексу. В даний час це одна з найбільш індустріальних і ресурсомістких галузей рослинництва. Сьогодні в Україні спостерігається динаміка підвищення вартості електроенергії: з 2015 року вартість 1 кВт електроенергії для виробників зросла у 2,5 рази. В собівартості продукції захищеного ґрунту приблизно 50% складають енерговитрати, з них 10% - це витрати електроенергії, з яких понад 40% витрачається на додаткове опромінення рослин. І це значна цифра, з огляду на той факт, що площа теплиць в Україні складає 2,9 тис. га, аби провадити пошук способів скорочення цих витрат.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Територія України згідно класифікації по Ващенко за надходженням природної фотосинтезної радіації (ФАР), що потрапляє до теплиці в осінньо-зимовий період, знаходиться у IV-VI світловій зоні. В найбільш критичні місяці за приходом радіації розрахункові суми ФАР можуть складати до 10 моль/м² при рекомендованих агротехнологічних нормах для овочевих культур 12-25 моль/м². У [3] запропоновано вести опромінення рослин на основі максимального використання природної радіації. Надійна робота подібної САУ потребує адекватного прогнозу її надходження.

Аналітичне дослідження методів прогнозування інсоляції показало обмежений характер можливості їх застосування або через високі вартість і складність обладнання, або через недостатню точність даних. Тому запропоноване прогнозування надходження природної фотосинтезної радіації вести за розрахунковим коефіцієнтом, що визна-



часться відношенням виміряного значення суми ФАР на даній місцевості до розрахованого за моделлю «безхмарного неба» за певний проміжок часу

$$k_i = \frac{F_{\Sigma e}^{i-1}(t_i - t_{i-1})}{F_{\Sigma p}^{i-1}(t_i - t_{i-1})}. \quad (1)$$

Перевагою методу є легкість та низька вартість реалізації в умовах тепличних господарств.

Загалом, для забезпечення системою управління опроміненням надходження добової суми ФАР до рослин необхідно враховувати агротехнологічну норму ФАР та фотоперіодизм вирощуваної культури, надходження природної фотосинтезної радіації та її ослаблення покриттям теплиці. Тоді, у будь-який момент часу прогноз можливості надходження агротехнологічної норми добової суми фотосинтезної радіації до рослин, а відтак і прийняття рішення щодо необхідності включення штучних джерел світла, визначається

$$F_{\Sigma} = F_{\Sigma d}^i(t_i - t_c) + k_o k_i F_{\Sigma p}^{n-i}(t_3 - t_i) + F_{\Sigma o}(t - t_H), \quad (2)$$

де $F_{\Sigma d}^i(t_i - t_c)$ – дійсне накопичене від початку світлової фази фотоперіоду значення ФАР від природних та штучних джерел світла, моль/м²;

$F_{\Sigma p}^{n-i}(t_3 - t_i)$ – прогнозоване надходження природної ФАР згідно моделі «безхмарного неба», моль/м²;

k_o – коефіцієнт ослаблення природної ФАР покриттям теплиці;

$F_{\Sigma o}(t - t_H)$ – доза ФАР, що надійде від опромінювачів від сутінок до завершення світлової фази фотоперіоду, моль/м².

Інтервали часу, через які має відбуватися корегування графіку надходження агротехнологічної норми добової суми фотосинтезної радіації до рослин визначається необхідною точністю регулювання, типом джерела світла та ступенем стійкості надходження сонячної енергії.

Концептуально роботу системи опромінення описано у [2], блок-схему алгоритму функціонування у [3].

Мета статті. Розробка моделі САУ опроміненням рослин в теплиці за умови максимального використання природної фотосинтезної



радіації у графічному середовищі імітаційного моделювання Simulink програмної оболонки Matlab та аналіз результатів моделювання.

Основні матеріали досліджень. Працездатність розробленої схеми управління досліджували за допомогою імітаційного моделювання з використанням пакету Simulink інтерактивного середовища розробки алгоритмів Matlab.

Ефективність роботи САУ, заснованої на прогнозуванні надходження природної фотосинтезної радіації, визначали порівняно із системою додаткового опромінення рослин, що працює за традиційним алгоритмом, який передбачає включення опромінювачів в разі зниження інсоляції нижче порогового рівня.

Для обох концепцій керування опромінювачами було промодельовано надходження сонячної радіації у теплицю, динаміку руху хмар, можливість випадіння опадів. Також враховано необхідність затримки включення ламп високого тиску після попереднього виключення.

З метою наближення результатів моделювання до реальних умов роботи САУ проведено розрахунок параметрів настройки блоків Simulink за наступними вихідними даними: географічні координати розташування теплиці – 46°50' північної широти, 35°22' східної довготи, покриття – сотовий полікарбонат, джерело світла – ДнаТ-600, встановлена потужність опромінювачів 120Вт/м² та 250Вт/м², вирощувана культура – огірок. Для моделювання обрано зимовий день 03.02.2017р. з опосередкованим за місяць сумарним значенням надходження ФАР - 2,08кВт/м².

Агротехнологічні вимоги до вирощування культури огірка прийняті згідно з [4]: добова сума ФАР – 16 моль/м², інтенсивність опромінення – не нижче 200 мкмоль/м²с, світлова фаза фотоперіоду – 12 годин, час повної темряви – 6 годин.

Розрахунок параметрів настройки блоків імітації надходження природної ФАР проводили згідно методики викладеної у [5]: час сходу Сонця – 08:02 год., час заходу Сонця - 17:45 год., кут схилення Сонця – 16°30', висота Сонця - 26°39', зеніт - 63°21', атмосферна маса – 1,82, надходження прямої радіації – 0,846 кВт/м²хв., загальної – 0,930 кВт/м²хв., щільність фотосинтетично активного потоку фотонів у полудень -1925,1 мкмоль/м²с.

Коефіцієнт пропускання ФАР сотовим полікарбонатом прийнято 0,6, щільність фотосинтетично активного потоку фотонів на 1Вт встановленої потужності ламп ДнаТ-600 - 2,3 мкмоль/м²с, коефіцієнт ослаблення ФАР внаслідок хмарності розраховано як відношення опосередкованого за місяць сумарного значення надходження ФАР за добу до розрахованого згідно моделі «безхмарного неба» (5,8 кВт/м²) і



прийнятий 0,36. Поріг вмикання опромінювачів САУ заснованої на традиційному алгоритмі - 400 мкмоль/м²с.

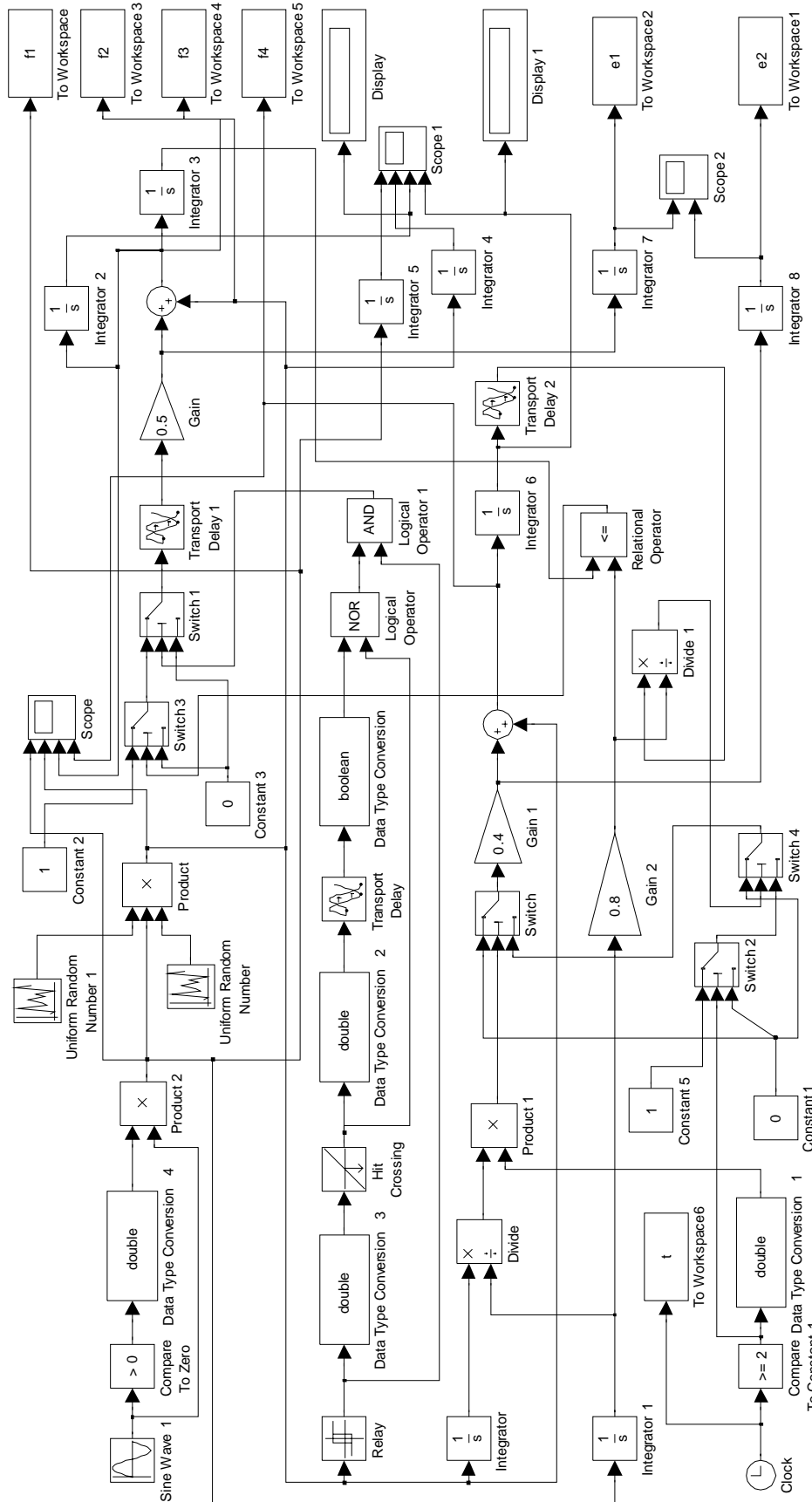


Рис. 1. Схема моделі надходження сонячної радіації до теплиці у Simulink

Схема моделі у Simulink наведена на рисунку 1, результати моделювання на рисунках 2-4.

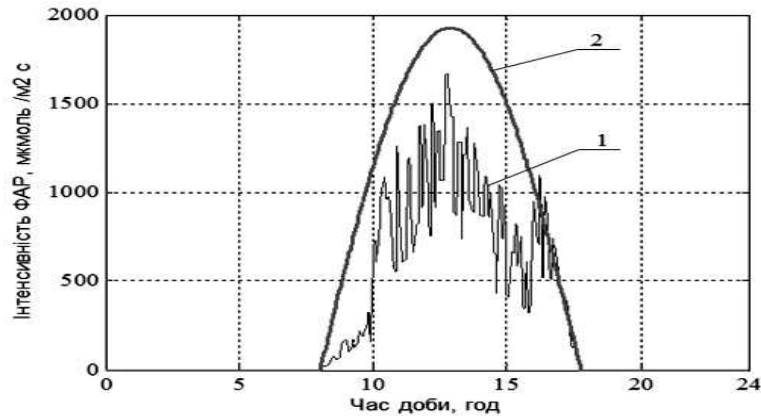
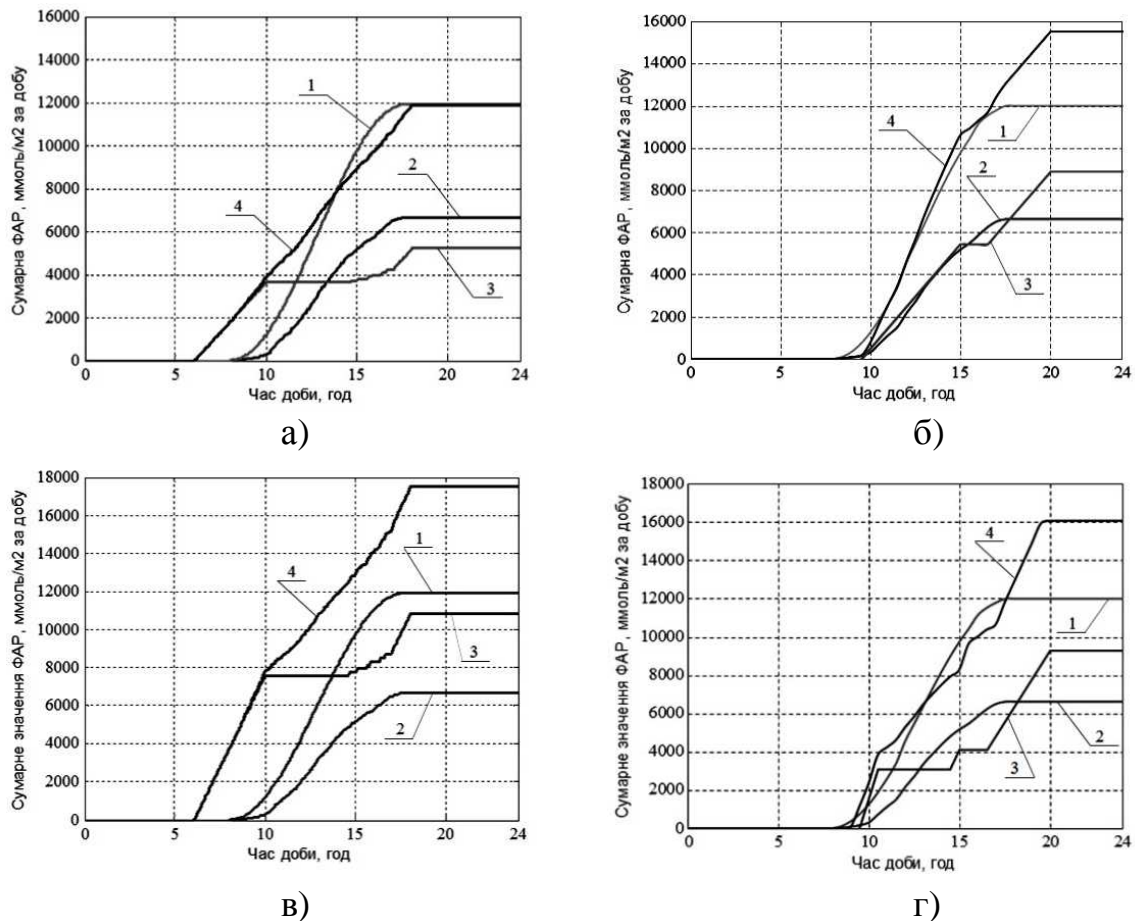


Рис. 2. Зміна інтенсивності надходження природної фотосинтезної радіації з урахуванням динаміки руху хмар (1) та згідно моделі «безхмарного неба» (2)



1 - природна згідно моделі «безхмарного неба», 2 – природна з урахуванням динаміки руху хмар, 3- від опромінювачів, 4 – загальна

Рис. 3. Накопичення ДС ФАР при роботі традиційної САУ (а, в) при встановленій потужності опромінювачів 120 Вт/м^2 та 250 Вт/м^2 відповідно та згідно запропонованого алгоритму (б), г) відповідно)

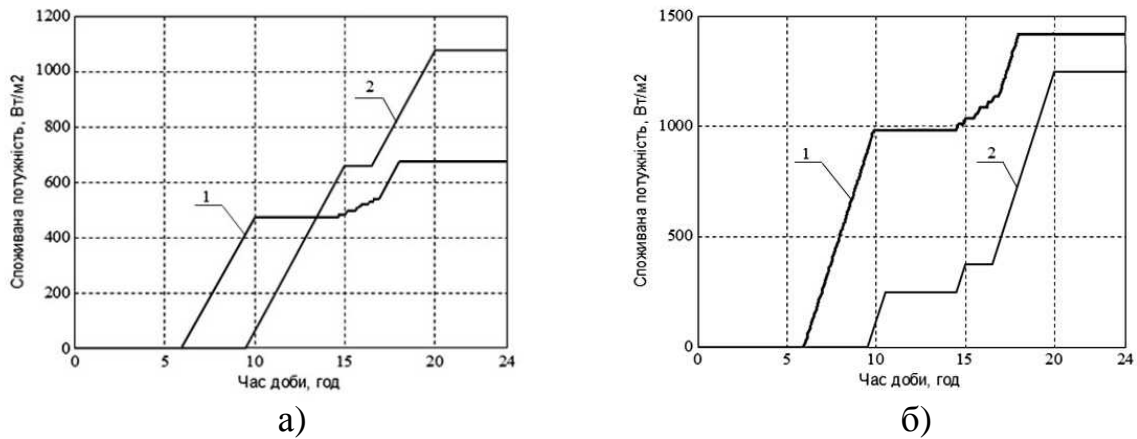


Рис. 4. Зміна енергоспоживання протягом доби при встановленій потужності опромінювачів 120 Вт/м² (а) та 250 Вт/м² (б) традиційної САУ та згідно запропонованої концепції (крива 1 та 2 відповідно)

Результати моделювання представлені в таблиці 1. Алгоритм роботи традиційної САУ позначено 1, запропонованої концепції – 2.

Таблиця 1 – Результати моделювання

Алгоритм роботи САУ опромінення	1	2	(2-1)/1, %
Встановлена потужність опромінювачів 120 Вт/м ²			
Накопичена добова сума ФАР, моль/ м ²	12	15,8	+31
Відхилення ДС ФАР від агротехнологічної норми 16 моль/ м ² , %	25	1,2	-
Число включень опромінювачів, раз	7	2	-71
Час роботи опромінювачів, годин	5,7	9	+11
Споживана потужність, кВт/ м ²	0,68	1,08	+58
Встановлена потужність опромінювачів 240 Вт/м ²			
Накопичена добова сума ФАР, моль/ м ²	17,6	16	-9
Відхилення ДС ФАР від агротехнологічної норми 16 моль/ м ² , %	10	0	-
Число включень опромінювачів, раз	7	3	-57
Час роботи опромінювачів, годин	5,7	5	-12
Споживана потужність, кВт/ м ²	1,42	1,25	-12

Висновки. Значною перевагою розробленої концепції керування та алгоритму управління опромінювачами в порівнянні із роботою



традиційної релейної схеми є забезпечення точного надходження агротехнологічної норми фотосинтезної радіації до рослин. Система виявилася ефективною, оскільки з огляду економії електроенергії при завищеному значенні встановленої потужності опромінювачів та меншому числу включень ламп, забезпечується підвищення ресурсу роботи обладнання.

Список використаних джерел

1. *Brian R. Hunt. Matlab R2007 с нуля.* / Перевод с английского. - М.: Лучшие книги, 2008. - 352 с.

2. *Сабо А.Г.* Підвищення ефективності енергоспоживання в спорудах захищеного ґрунту шляхом максимізації використання природної фотосинтетично активної радіації / *А.Г. Сабо, О.М. Речина* / Праці Таврійського державного агротехнологічного університету вип.8.-т.5.-Мелітополь: ТДАТУ, 2008. - С 63-69.

3. *Сабо А.Г.* Алгоритм функціонування енергоощадної системи управління опроміненням рослин в спорудах захищеного ґрунту / *А.Г. Сабо, О.М. Речина, О.П. Цвілій* / Праці ДонНТУ вип.10.-т.2.-ДонНТУ, 2009. - С 25-28.

4. *Белогубова Е.Н.* Современное овощеводство закрытого и открытого грунта: Учеб. пособие для агр. учеб. заведений I-IV уровня аккредитации по спец. 1310 «Агрономия» / *Е.Н.Белогубова* и др.-К.:ОАО «Изд-во « Киев. правда», 2006.- 528 с.

5. *Хромов С.П.* Метеорология и климатология: учебник.- 7-е изд./ *С.П. Хромов, М.А. Петросянуц.*-М.: Из-во Моск. ун-та: Наука, 2006. - 582 с.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ САУ ОБЛУЧЕНИЕМ РАСТЕНИЙ

Сабо А.Г., Речина О.Н.

Аннотация - приведена модель и результаты моделирования работы САУ облучением растений с использованием программы **Simulink**.

MODELING OF SOLAR RADIATION ARRIVAL PROCESS IN THE GREENHOUSE FOR THE PLANT ILLUMINATION MANAGEMENT USING SIMULINK

A. Sabo, O. Rechyna

Summary

The solar radiation arrival model in a greenhouse using Simulink is presented



УДК 664.8.047

ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИЙ МЕТОД ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ПРОЦЕСУ СУШКИ ФРУКТІВ

Савойський О.Ю. *, аспірант,

Яковлєв В.Ф., к.т.н.

Сумський національний аграрний університет

Тел.: +380997625039

Анотація - досліджено вплив електричного струму промислової частоти на швидкість процесу сушіння яблук, експериментально встановлена залежність якісних показників продукту від параметрів процесу сушки та на основі отриманих результатів проаналізовано можливість використання комбінованого методу сушіння, що включає підігрів сировини прямим електричним нагрівом в процесі інфрачервоної конвективної сушки, для інтенсифікації процесу зневоднення зразка.

Ключові слова: комбінована сушка, електроконтактний нагрів, напруга, провідність, енергозатрати.

Постановка проблеми. Овочі і фрукти є незамінним джерелом найважливіших біологічно активних речовин — вітамінів, вуглеводів і мінералів, необхідних для нормальної життєдіяльності людини. Одним з основних способів переробки продуктів є сушка, яка відноситься до енергоємних процесів. Аналіз показує, що існуючі методи сушки досить дорого коштують, енергоємні і іноді малоефективні [1]. Вирішення ж проблеми інтенсифікації процесу сушіння і водночас зниження витрат енергоносіїв вимагає розробки і впровадження нових високоефективних методів обробки, установок і технологій з оптимальним технічним рішенням. Тому наукові дослідження, які направлені для вирішення даної проблеми є актуальними.

Аналіз останніх досліджень. На даний час розроблено ряд електрофізичних методів інтенсифікації процесу сушки, в тому числі - обробка інфрачервоним випромінюванням, обробка в електростатичному полі, високочастотна і надвисокочастотна, акустична обробка та ін. Також відомі методи електроконтактного нагріву плодоовочевої сировини струмом підвищеної частоти 5-25 кГц [2, 3]. Однак, цим методам характерні значні енергозатрати, крім цього, збільшення частоти струму може призвести до виникнення нерівномірних полів темпера-

* Науковий керівник - Яковлєв В.Ф., к.т.н., професор

© Савойський О.Ю., Яковлєв В.Ф.

тур в продукті, що нагрівається та ін. В результаті аналізу наведених в джерелах інформації результатів досліджень можна зробити висновок, що більшість з них пов'язані з особливостями конкретного виду та сорту фруктів, що не дозволяє уніфікувати підхід до питань розробки вказаних методів зневоднення та технічних систем на їх основі. Викладене вище дозволяє сформулювати основні задачі та принципи розробки нових методів сушіння та можливість їх комбінації для зменшення енергозатрат в процесі обробки сировини.

Формулювання цілей статті. Досліджено вплив обробки досліджуваного зразка перед сушінням електричним струмом промислової частоти на інтенсифікацію процесу зневоднення з метою зменшення витрат енергоресурсів. Експериментально встановлено залежність якісних показників зразків продукту від параметрів процесу сушки.

Основні матеріали дослідження. Збуджуючий вплив електричного струму на живі тканини відомий в біології давно [4, 5, 6]. Спосіб обробки плодів і ягід, що підлягають сушінню, прямим електроконтактним нагрівом полягає в тому, що через плоди або нарізані шматочки пропускається змінний електричний струм різної величини напруги та частоти.

Нами проведені експериментальні дослідження кінетики сушки яблук, нарізаних кільцями товщиною 5 мм. Дослідження електроконтактного нагріву яблук струмами промислової частоти проводились перед початком сушки на лабораторній установці, структурна схема якої наведена на рисунку 1.

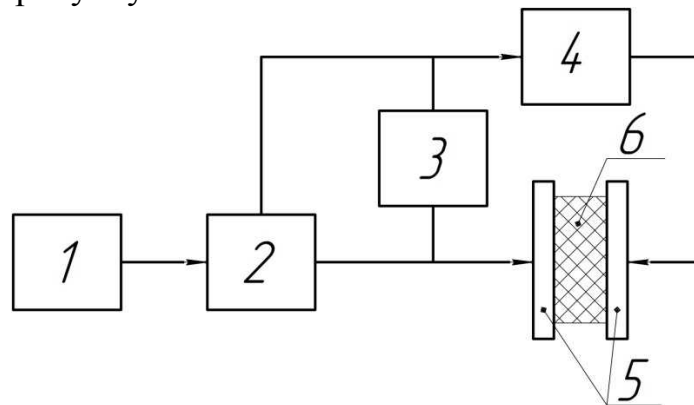


Рис. 1. Структурна схема лабораторної установки для дослідження електроконтактного нагріву яблук

Представлена схема складається з джерела струму 1, двох електродів 5 між якими поміщався шар продукту 6. Також в електричне коло були включені лабораторний автотрансформатор 2, вольтметр 3 та амперметр 4. В процесі експерименту відстань між електродами та товщина шару продукту були постійні, змінювалась тільки напруга.



Для кожного режиму визначалась маса зразків та величина сили струму, що проходив через шар яблука, розташований між пластинами.

Шар зразка, розташований між двома металевими пластинами, являє собою відрізок провідника. Струм, проходячи через цей шар, що має електричний опір, викликає його нагрів.

Згідно з законом Джоуля – Ленца, кількість теплової енергії, що виділяється в шарі при проходженні через нього електричного струму, дорівнює

$$Q = I^2 \cdot R \cdot \tau, \quad (1)$$

де Q - кількість виділеної теплової енергії в шарі, Дж;

I – сила струму, А;

R – опір шару яблука, Ом;

τ - час проходження електричного струму, с.

Застосувавши закон Ома, отримаємо

$$Q = \frac{U^2}{R} \cdot \tau = \frac{U^2 S}{\rho_{\text{пл}} l} \cdot \tau, \quad (2)$$

де U - значення прикладеної напруги, В;

$S = \frac{\pi d^2}{4}$ – площа перерізу шару яблука, м²;

$\rho_{\text{пл}}$ – питомий опір шару яблука, Ом·м;

l - відстань між електродами, м.

Аналізуючи рівняння (2) можна зробити висновок, що на характер підігріву шару яблука струмом промислової частоти істотний вплив чинить підведена напруга. Це в значній мірі залежить і від розміру шару сировини, що знаходиться між металевими пластинами (електродами).

Досліджена динаміка зміни провідності зразка в залежності від часу сушки (рис. 2) показала, що під дією електричного струму підвищується проникність клітин яблука, що приводить до збільшення соковіддачі. При цьому відмічається зниження електричного опору рослинної сировини.

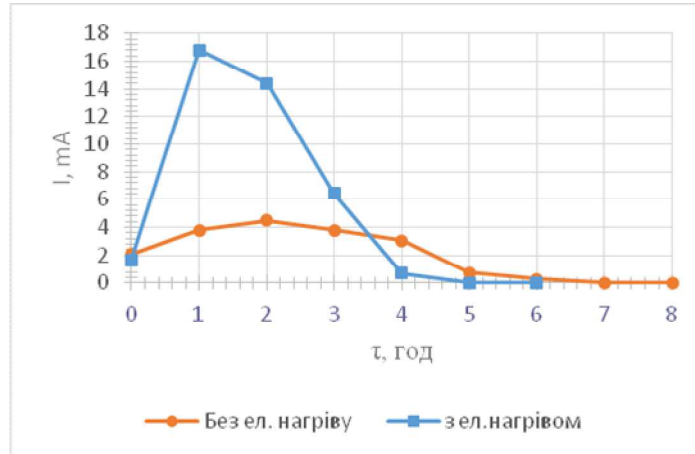


Рис. 2. Динаміка зміни провідності яблука в залежності від часу сушки

На основі отриманої залежності, можна зробити висновок, що підігрів сировини електроконтактним методом найбільш доцільно проводити в першій період сушки, так як при цьому проходить швидка зупинка всіх процесів життєдіяльності клітин, що забезпечує збереження корисних речовин і прискорення процесу видалення вільної вологи із матеріалу. При цьому забезпечується енергоекономічність процесу за рахунок високої провідності зразків.

Досліджена динаміка зміни маси зразків яблук на протязі сушки (рис. 3) показала, що обробка шару яблук електричним струмом промислової частоти на початку сушки прискорює процес його зневоднення.

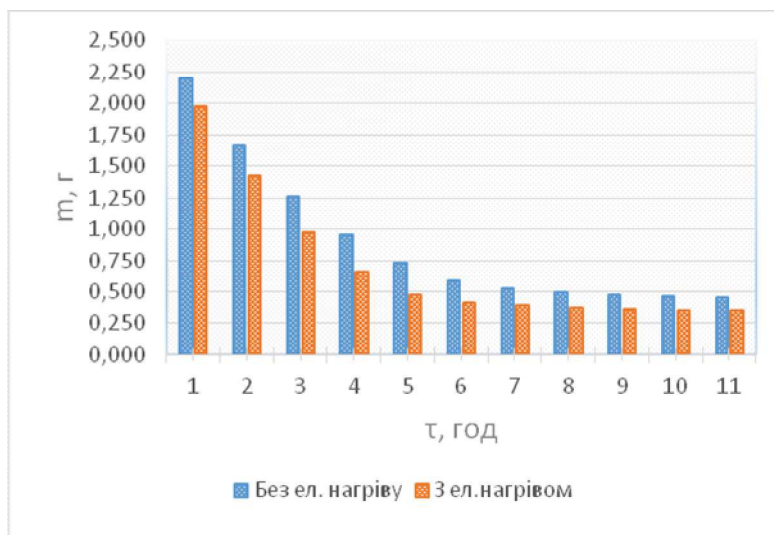


Рис. 3. Динаміка втрати маси зразків яблука на протязі сушки

Механізм впливу електричного струму на структуру зразків яблук зв'язаний з переміщенням іонів всередині клітини, при чому їх вільному переносу перешкоджають напівпроникні оболонки клітин. В результаті цього у напівпроникних мембранах має місце зміна концен-

нтрації іонів, що і є причиною електричного збудження, яке супроводжується підвищенням їх проникності, що полегшує дифузію їх складового в навколишнє середовище. За рахунок даного явища тривалість процесу зневоднення зразків яблук значно зменшується.

З підвищенням напруги має місце інтенсивний підігрів матеріалу. Температура його швидко збільшується, досягаючи температури кипіння води. При цьому волога не встигає повністю виходити у вигляді пари і кипить всередині матеріалу. Це приводить до руйнування кліткової структури яблук. При цьому вони темніють (рис. 4).



Рис. 4. Результати сушки: а) без електроконтактного нагріву; б) з електроконтактним нагрівом

Висновок. Результати досліджень свідчать про те, що для інтенсифікації сушки яблук доцільно перед початком процесу проводити підвищення їх температури шляхом прямого електроконтактного нагріву. Це дозволить зменшити час сушки та знизити питомі енергозатрати на одиницю готової продукції.

Список використаних джерел

1. *Савойський О. Ю.* Аналіз методів сушки плодоовочевої сировини та їх класифікація / *О. Ю. Савойський.* // Вісник Харківського національного технічного університету імені Петра Василенка. – 2016. – №175. – С. 85–88.
2. *Рогов И. А.* Электрофизические методы обработки пищевых продуктов / *И. А. Рогов.* – Москва: Агропромиздат, 1988. – 272 с.
3. *Способ сушки и обеззараживания фруктов и ягод:* пат. 2194228 Российская Федерация: F26B3/347, A23B7/02 / *И.М. Чекрыгина, В.Г Букреев, А.Д. Еремин;* заявитель и патентообладатель «Таганрогский научно-исследовательский институт связи». - № 2000123044/13 ; заявл. 04.09.2000 ; опубл. 10.12.2002.



4. *Попов А. М.* Исследование технологических процессов для концентрации и стерилизации соков методом прямого нагрева / *А. М. Попов, Н. В. Тихонов, И. Н. Тихонова.* // Техника и технология пищевых производств. – 2013. – №1. – С. 81–87.

5. *Попова Н. А.* Электроплазмолиз винограда с применением биполярных импульсов / *Н. А. Попова, А. Я. Папченко, М. К. Болога.* // Электронная обработка материалов. – 2014. – №50. – С. 83–91.

6. *Ботошан Н. И.* Интенсификация теплообмена в биологической среде электроплазмолизом / *Н. И. Ботошан, М. К. Болога, С. Е. Берзой.* // Электронная обработка материалов. – 2005. – №1. – С. 68–75.

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЙ МЕТОД ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА СУШКИ ФРУКТОВ

Савойский А.Ю., Яковлев В.Ф.

Аннотация - исследовано влияние электрического тока промышленной частоты на скорость процесса сушки яблок, экспериментально установлена зависимость качественных показателей продукта от параметров процесса сушки и на основе полученных результатов проанализирована возможность использования комбинированного метода сушки, включающий нагрев сырья прямым электрическим нагревом в процессе инфракрасной конвективной сушки, для интенсификации процесса обезвоживания образца.

ELECTROPHYSICAL METHOD OF INTENSIFICATION OF THE DRYING PROCESS OF FRUITS

A. Savoiskyi, V. Yakovlev

Summary

The influence of electric current of industrial frequency on the speed of the process of drying apples, it is experimentally found dependence of the qualitative indicators of the product from the drying process parameters and on the basis of the results analyzed the possibility of using the combined method of drying, comprising heating raw materials direct electric heating during infrared-convective drying, to intensify the process of dehydration of the sample.



УДК 681.518.3:621.438.081

РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ МОНІТОРИНГУ СИГНАЛІВ ОСНОВНИХ ПРОЦЕСІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ ГАЗОТУРБІННОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Смоляров Г.А., к.е.н.,

Толбатов А.В., к.т.н.

Сумський національний аграрний університет

Телефон: 0955001918, 0507103757.

Анотація - функціонування газотурбінних електростанцій потребує оптимального управління технологічним процесом і режимами роботи, що можливо на основі сучасних підходів з застосуванням інформаційних технологій. Дослідження дозволили уточнити основні параметри функціонування системи управління та принципи вибору інформаційної технології моніторингу сигналів основних процесів та запропонувати комплекс моделей інформаційних сигналів.

Ключові слова: газотурбінна електростанція, управління, моніторинг, інформаційна технологія.

Постановка проблеми. Утворення на сільських територіях сучасних великих тваринницьких ферм та птахофабрик приводить до накопичення біомаси, яку раціонально використовувати для синтезу біогазу. Цей ресурс дає можливість впровадження автономних газотурбінних електростанцій (ГТЕ), ефективність функціонування яких залежить від вирішення багатьох проблем, однією з яких є задача оптимального управління технологічним процесом і режимами роботи, що є складним завданням, рішення якого можливо тільки на основі сучасних підходів з застосуванням інформаційних технологій.

Аналіз останніх досліджень. Практика показує, що в більшості випадків реалізація інформаційних технологій носить стихійний характер, автоматизуються випадковим чином лише деякі процеси функціонування ГТЕ. Проте надзвичайно важливо мати стратегію їх реалізації, що автоматизувати і якими засобами. Неоптимальний вибір алгоритму управління ГТЕ може принести значні збитки та ускладнити процес впровадження або ж заставити переорієнтовувати, а в гіршому випадку, переробляти всю існуючу систему управління ГТЕ [1 – 10].

Як показали дослідження впровадження систем управління на основі сучасних інформаційних технологій дозволить підвищити ефе-



ктивність функціонування газотурбінної електростанції (ГТЕ) за рахунок оптимальної автоматизації процесів управління.

Мета статті. В процесі експлуатації ГТЕ виникає необхідність використання електростанції в новому режимі – автономної роботи. Таким чином, виникає практична необхідність наряду з функціонування ГТЕ в традиційному режимі максимальної потужності вироблення електроенергії, забезпечити вироблення електроенергії в автономному режимі. З цією метою проведені дослідження можливості застосування новітніх інформаційних технологій в управлінні ГТЕ

Основні матеріали дослідження. В основі системи автоматичного управління ГТЕ покладені інформаційні сигнали (ІС), які відповідають вимірюванням, контролю і діагностики параметрів та характеристик роботи підсистем електростанції. Ці ІС та результати обробки, протоколи випробувань зберігаються в пам'яті, складають інформаційне забезпечення (ІЗ) і разом з технічними та програмними засобами забезпечують беззупинний режим функціонування системи автоматичного управління. Дана система на основі програмного забезпечення реалізує інформаційну технологію процесу управління ГТЕ. Отже, для підвищення ефективності функціонування ГТЕ необхідно впровадження сучасної підсистеми моніторингу на базі інформаційних технологій, що можливе на основі формалізації процесів вимірювання, контролю і діагностики параметрів та характеристик роботи підсистем електростанції на основі математичного моделювання з застосуванням детермінованих і випадкових функцій, як одновимірних, так і багатовимірних.

Для забезпечення ефективної роботи ГТЕ в процесі експлуатації її система управління повинна контролювати наступні параметри функціонування:

- сигналів основних процесів функціонування ГТЕ;
- потужності процесу вироблення електроенергії;
- напруги процесу вироблення електроенергії;
- вібраційного сигналу «газова турбіна-електрогенератор»;
- перешкод інформаційних сигналів основних процесів функціонування ГТЕ;

На основі результатів проведених досліджень при обґрунтуванні вибору інформаційної технології моніторингу сигналів основних процесів функціонування ГТЕ [10] запропоновані наступні принципи:

1. Принцип узгодженості забезпечує реалізацію таким чином, що часткове знання роботи окремих складових інформаційної технології дає уяву про системність дій в цілому.

2. Принцип відповідності і ортогональності, тобто в інформаційну технологію включені лише ті завдання і функції, які відповідають суттєвим вимогам та є незалежними.



3. Принцип економічності і повноти означає, що в інформаційній технології не має дублювання функцій, а введені функції, з врахуванням технологічних і економічних обмежень, максимально повно відповідають потребам впровадження ІТ-технологій в промислове виробництво.

4. Принцип відкритості вимагає відповідність стандартам (в тому числі: міжнародним, державним, промисловим та фактично діючим), сумісність з іншими системами, універсальність (можливість з мінімальними витратами перенести технологію на нову технічну платформу) та масштабованість.

При цьому вся множина ІС поділена на два класи. До першого класу відносяться сигнали, які забезпечують виконання задач: обробки технологічної інформації; оперативного представлення інформації; формування бази даних вимірюваних значень і стану технологічних параметрів виконавчих механізмів, архіву; передачі інформації на центральний диспетчерський пункт електричних мереж. До другого класу відносяться сигнали, які забезпечують виконання задач: оперативного контролю і керування основними і допоміжними системами; автоматичного регулювання основних технологічних параметрів ГТЕ; автоматичного пуску установки по сигналах оператора; аварійної зупинки установки як по сигналам захисту, так і по команді оператора; автоматичної підтримки заданих режимів роботи генератора.

Сучасні інформаційні технології базуються на використанні двох основних складових:

- нових сучасних апаратних рішень та їх технічної реалізації;
- нових моделей та методів інформаційного забезпечення.

Застосування будь-якої з таких складових, як правило, не дає необхідного підвищення ефективності функціонування ГТЕ. Тому у більшості випадків тільки спільне використання одночасно двох складових дає необхідний ефект.

У даній роботі досліджується апаратний комплекс – газотурбінна електростанція вироблення електроенергії. В процесі експлуатації ГТЕ виникла необхідність використання електростанції в новому режимі – автономної роботи. Таким чином виникла практична необхідність впровадити ряд інформаційних технологій для забезпечення вироблення електроенергії в автономному режимі.

Зупинимось більш детально на обґрунтуванні моделей інформаційних сигналів функціонування ГТЕ у вказаних двох режимах:

- а) в системі електромережі;
- б) автономного енергозабезпечення.

В якості основних моделей для інформаційних сигналів процесу потужності вироблення електроенергії та вібраційного сигналу «газо-



ва турбіна-електрогенератор», а також завод в електронних системах передачі, вимірювань та обробки інформаційних сигналів запропоновано використовувати модель лінійного випадкового процесу виду і вказані всі переваги такого використання

$$\xi(\omega, t) = \int_0^{\infty} \varphi(\tau, t) \eta'(\omega, \tau) d\tau, \quad (1)$$

де $\varphi(\tau, t)$ – імпульсна перехідна функція лінійного формуючого фільтра;
 $\eta'(\omega, \tau)$ – відповідний випадковий процес білого шуму.

При розв'язку широкого кола практичних задач клас лінійних випадкових процесів включає різні комбінації з не випадковими функціями [4 – 6]. Така комбінація буде використана при обґрунтуванні математичних моделей процесу потужності вироблення електроенергії конкретної ГТЕ в указаних режимах.

Режим А. При роботі досліджуваної ГТЕ в системі електромереж на основі результатів робіт [1 – 3] будемо використовувати в класі лінійних випадкових процесів періодичний з періодом $T_0=24$ години процес виду

$$\zeta(\omega, t) = c(t) + \xi(\omega, t), \omega \in \Omega, t \in T, \quad (2)$$

де $c(t)$ - періодична з періодом $T_0=24$ години детермінована функція;

$\xi(\omega, t)$ - стаціонарний лінійний випадковий процес, для якого має місце виконання статистичної гіпотези ергодичності відносно математичного сподівання.

При обґрунтуванні моделі (2) були використані результати попередньої статистичної обробки даних вимірювань добових реалізацій потужності вироблення електроенергії.

Режим Б. При роботі досліджуваної ГТЕ в автономному режимі модель потужності вироблення електроенергії описується у вигляді

$$v(\omega, t) = \zeta(\omega, t) \cdot z(\omega_1, t), \omega = (\omega, \omega_1), t \in T, \quad (3)$$

де $\zeta(\omega, t)$ - випадковий процес виду (2) – періодичний з періодом $T_0=24$ години лінійний випадковий процес;

$z(\omega_1, t)$ - випадковий процес управління потужністю вироблення електроенергії.

Випадковий процес $z(\omega_1, t)$ має загальний вид, конкретизація якого в кожному випадку є специфічною і визначається характером



об'єкту споживання електроенергії. До загальних властивостей процесу $z(\omega_1, t)$ належать наступні:

- процес $z(\omega_1, t)$ є нормованим, тобто його область значень $z(\omega_1, t) \in (0, 1)$;
- в моделі (3) процес $z(\omega_1, t)$ є безрозмірним.

В якості прикладу процесу $z(\omega_1, t)$ можна використати результати роботи [3], в якій вирішується завдання математичного моделювання на основі статистичних методів обробки даних вимірювань в задачах моніторингу електронавантаження електроспоживача.

Для обґрунтування моделі напруги процесу вироблення електроенергії наведемо математичну модель напруги виробленої ГТЕ електроенергії на основі аналізу результатів праць [7 – 9] у вигляді виразу

$$U(\omega, t) = \{(A_0 + \xi_1(\omega))\cos[2\pi(f_0 + \xi_2(\omega)t + \xi_3(\omega))]\}, \omega \in \Omega, t \in T, \quad (4)$$

де відповідні випадкові величини характеризують випадковий характер зміни: $\xi_1(\omega)$ - амплітуди, $\xi_2(\omega)$ - частоти, $\xi_3(\omega)$ - початкової фази.

На основі використання моделі (4) характеристики якості виробленої електроенергії визначаються методами статистичної обробки даних вимірювань.

Для обґрунтування моделі **вібраційного сигналу «газова турбіна-електрогенератор»** опишемо такий інформаційний сигнал стаціонарним лінійним випадковим процесом виду

$$\xi(\omega, t) = \int_0^{\infty} \varphi(t - \tau)\eta'(\omega, \tau)d\tau, \quad (5)$$

Моделі перешкод інформаційних сигналів основних процесів функціонування ГТЕ також описуються стаціонарними лінійними випадковими процесами виду (5) для кожного конкретного виду перешкод обґрунтування виду ядра $\varphi(t)$ - як імпульсної перехідної функції формуючого лінійного з постійними в часі параметрами фільтру, а також характеристики породжуючого стаціонарного білого шуму $\eta'(\omega, t)$.

Висновки

Проведені дослідження, показали, що формалізація процесів вимірювання, контролю і діагностики параметрів та характеристик роботи підсистем ГТЕ на основі математичного моделювання дозволяє вдосконалити управління ГТЕ.

Наведені математичні моделі підтверджують можливість управління функціонуванням ГТЕ, а реалізація запропонованих моделей створить певну послідовність дій, при виконанні якої отримаємо необхідну інформацію щодо моніторингу сигналів основних процесів



роботи ГТЕ, що підвищить ефективність її експлуатації.

Список використаних джерел

1. *Толбатов А. В.* Інформаційний моніторинг газотурбінних електростанцій / *А. В. Толбатов* // IX Міжнародна науково-технічна конференція “АВІА-2009”. – К. : НАУ, 2009. – С. 3.70–3.72.
2. *Толбатов А. В.* Аналіз перетворень електронних сигналів у лінійних і нелінійних трактах інформаційного моніторингу функціонування газотурбінної електростанції / *А. В. Толбатов* // X Міжнародна науково-технічна конференція “АВІА-2011”. – К. : НАУ, 2011. – С. 3.52–3.55.
3. *Толбатов А. В.* Моніторинг інформаційних процесів як складова частина функціонування газотурбінної електростанції / *А. В. Толбатов* // Комп’ютерний моніторинг та інформаційні технології : матеріали V науково-технічної конференції. – Донецьк : ДонНТУ, 2009. – С. 374–376.
4. *Толбатов А. В.* Аналіз графіків енергонавантажень електростанцій за даними спостережень / *А. В. Толбатов* // Тези науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів фізико-технічного факультету. – Суми : СумДУ, 2005. – С. 69–71.
5. *Толбатов А. В.* Система управління газотурбінної електростанцією на базі обладнання GE Fanuc / *А. В. Толбатов* // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – Хмельницький, 2008. – № 1. – С. 72–75.
6. *Толбатов А. В.* Методологія створення бази знань життєвого циклу автономних енергогенеруючих установок / *А. В. Толбатов, В. А. Толбатов* // Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки. – 2008. – № 1. – С. 140–146.
7. *Марченко Н. Б.* Статистичний аналіз процесу вироблення електроенергії автономними газотурбінними електростанціями / *Н. Б. Марченко, А. В. Толбатов, Т. Л. Щербак* // Моделювання та інформаційні технології : зб. наук. праць / ПІМЕ НАН України. – К. : ПІМЕ НАН України, 2012. – Вип. 64. – С. 14–21.
8. *Толбатов А. В.* Стохастична ритмічна модель навантаження енергогенеруючих установок / *А. В. Толбатов, В. Д. Черв’яков, Т. Л. Щербак* // Вісник національного технічного університету “ХПІ”. Тематичний випуск “Нові рішення в сучасних технологіях”. – Харків : НТУ “ХПІ”, 2005. – № 57. – С. 104–112.
9. *Толбатов А. В.* Методологія створення автоматизованих систем керування / *А. В. Толбатов, В. Д. Черв’яков, Т. Л. Щербак* // Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки. – 2005. – № 9 (81). – С. 124–130.
10. *Черв’яков В. Д.* Елементи інформаційної технології обробки даних при функціонуванні газотурбінної електростанції /



В. Д. Черв'яков, В. А. Толбатов, А. В. Толбатов // Контроль і управління в складних системах (КУСС–2012) : тези доповідей XI Міжнародної конференції (Вінниця, 9–11 жовтня 2012 року). – Вінниця : ВНТУ, 2012. – С. 109–110.

**РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ
МОНИТОРИНГА СИГНАЛОВ ОСНОВНЫХ
ПРОЦЕССОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
ГАЗОТУРБИННОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ**

Смоляров Г.А., Толбатов А.В.

Аннотация - функционирование газотурбинных электростанций требует оптимального управления технологическим процессом и режимами работы, что возможно на основе современных подходов с применением информационных технологий. Исследования позволили уточнить основные параметры функционирования системы управления и принципы выбора информационной технологии мониторинга сигналов основных процессов, разработать комплекс моделей информационных сигналов.

**INFORMATION TECHNOLOGY DEVELOPMENT
MONITORING SIGNALS BASIC PROCESSES
OPERATION POWER GAS TURBINE**

G. Smolyarov, A. Tolbatov

Summary

Functioning gas turbine power requires optimum process control and operating modes that perhaps based on modern approaches to using information technology. Studies have clarified the basic parameters of the system management and information technology choice principles monitor signals of the basic processes and the complex of models of information signals.



УДК 621.313.333.2

ДОСЛІДЖЕННЯ ВТРАТ АКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В АСИНХРОННОМУ ЕЛЕКТРОДВИГУНІ У ФУНКЦІЇ ЖИВЛЯЧОЇ НАПРУГИ

Стребков О.А., інженер

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел.: (0619)42-32-63

Анотація – проведені дослідження втрат активної потужності в електродвигуні у функції коефіцієнта завантаження та рівня живлячої напруги.

Ключові слова: активна потужність, втрати потужності, живляча напруга, коефіцієнт втрат.

Постановка проблеми. Робочі машини фермерських господарств у більшості випадків обладнані застарілими приводними електродвигунами та пускозахисної апаратурою, а питанню модернізації обладнання майже не приділяється уваги, через його високу вартість.

Внаслідок цього, через відсутність засобів регулювання режимів роботи електродвигунів при змінному завантаженні робочих машин спостерігається нераціональне споживання електричної енергії.

Тому необхідні науково-технічні рішення в сфері енергозбереження і тому дослідження втрат електричної енергії в електродвигунах є актуальними.

Аналіз останніх досліджень. Аналіз робіт в цьому напрямку показує, що це питання частково вирішено, наприклад, для електродвигуна, працюючого з перевантаженням, взявши за основу показники номінального режиму його роботи [1].

Проведено дослідження енергозбереження в асинхронних електродвигунах з позиції конструктивного виконання активних частин останнього [2], методів оптимізації втрат електричної енергії в асинхронному електродвигуні [3, 4], запропоновано новий метод мінімізації втрат в асинхронному електродвигуні [5].

Однак залишаються недослідженими до кінця експлуатаційні режими електродвигуна при відхиленнях від номінального режиму роботи: підвищення напруги, зниження напруги, змінне завантаження на його валу.

Формулювання цілей статті. Тому метою статті є аналітичне дослідження електромеханічних та теплових процесів при змінному



навантаженні асинхронних електродвигунів, та при різному рівні живлячої напруги.

Основна частина. Представимо Г-подібну схему заміщення асинхронного електродвигуна (рис. 1):

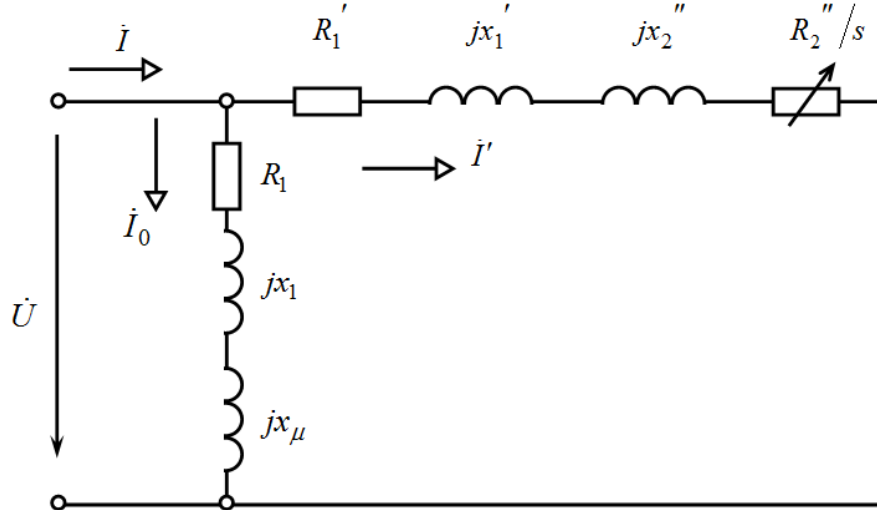


Рис. 1. Г-подібна схема заміщення асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором

Активна потужність, яку споживає асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором, перетворюється в механічну $P_{\text{мх}}$, яка складається з механічної потужності P_2 , яка передається через вал робочій машині, втрат активної потужності в механічній системі електродвигуна на тертя $\Delta P_{\text{тр}}$, та втрат активної потужності, які умовно відносяться до механічної і враховують додаткові втрати в електродвигуні $\Delta P_{\text{дод}}$, тобто

$$P_{\text{мх}} = P_2 + \Delta P_{\text{тр}} + \Delta P_{\text{дод}}. \quad (1)$$

Механічна потужність $P_{\text{мх}}$ може бути визначена таким чином

$$P_{\text{мх}} = 3R_2'' \frac{1-s}{s} I'^2, \quad (2)$$

де R_2'' – приведений активний опір фази ротора, Ом;

I' – діюче значення сили електричного струму в колі схеми заміщення однієї фази електродвигуна, А;

s – відносне ковзання обертового магнітного поля електродвигуна.

Механічна потужність P_2 , яка передається робочій машині, залежить від моменту опору робочої машини M_c та кутової швидкості обертання її валу ω , тобто



$$P_2 = M_c \cdot \omega. \quad (3)$$

Додаткові втрати активної потужності в електродвигуні через достатню складність їх розрахунку, згідно стандарту приймаються рівними 0,5% від активної потужності P_1 , що споживається електродвигуном і можуть бути знайдені наступним чином

$$\Delta P_{\text{доо}} = 0,005P_1. \quad (4)$$

Втрати механічної потужності на тертя $\Delta P_{\text{тр}}$, залежать від моменту тертя механічної системи електродвигуна $M_{\text{тр}}$ та кутової швидкості обертання його валу ω , тобто

$$\Delta P_{\text{мп}} = M_{\text{мп}} \cdot \omega, \quad (5)$$

або з іншого боку

$$\Delta P_{\text{мп}} = P_{\text{мх}} - P_2 - \Delta P_{\text{доо}}. \quad (6)$$

Інші сумарні втрати активної потужності P_{Σ} можуть бути визначені, використовуючи схему заміщення асинхронного електродвигуна

$$P_{\Sigma} = 3(R'_1 + R''_2)I'^2 + 3R_1I_0^2, \quad (7)$$

де R'_1, R''_2, R_1 – параметри схеми заміщення одної фази асинхронного електродвигуна, Ом;

I', I_0 – діючі значення сил електричних струмів контурів схеми заміщення одної фази електродвигуна, А.

Перевіримо справедливність викладеного вище на прикладі асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором типорозміру 4A100S2Y3 з наступними каталожними даними: $P_{2n} = 4\text{кВт}$; $\eta_n = 0,865$; $\cos \varphi_n = 0,89$; $R'_1 = 1,509\text{Ом}$; $x'_1 = 1,537\text{Ом}$; $R''_2 = 1,006\text{Ом}$; $x''_2 = 2,767\text{Ом}$; $R_1 = 1,485\text{Ом}$; $x_1 = 1,513\text{Ом}$; $x_{\mu} = 95\text{Ом}$; $U_n = 220\text{В}$; $s_n = 0,033$; $s_k = 0,28$; $s_m = 0,8$; $\mu_n = 2,0$; $\mu_k = 2,5$; $\mu_m = 1,6$.

Аналіз проведемо для номінального режиму.

Визначаємо механічну потужність електродвигуна в номінальному режимі $P_{\text{мхн}}$ таким чином



$$P_{\text{мхн}} = 3R_2'' \frac{1-s_n}{s_n} I_n'^2, \quad (8)$$

де s_n – номінальне ковзання магнітного поля електродвигуна відносно його ротора;

I_n' – номінальна сила електричного струму в контурі схеми заміщення асинхронного електродвигуна, А.

Останню знаходимо, користуючись схемою заміщення асинхронного електродвигуна

$$I_n' = \frac{U_n}{\sqrt{(R_1' + R_2''/s_n)^2 + (x_1' + x_2'')^2}}, \quad (9)$$

де U_n – номінальна фазна напруга електродвигуна, В.

Підставивши в (8) та (9) значення параметрів та фізичних величин, знаходимо

$$P_{\text{мхн}} = 4107 \text{ Вт}.$$

Знаходимо сумарні втрати активної потужності в механічній системі електродвигуна $\Delta P_{\text{тр.н}}$ та додаткові $\Delta P_{\text{дод.н}}$ в номінальному режимі

$$\Delta P_{\text{тр.н}} + \Delta P_{\text{дод.н}} = P_{\text{мхн}} - P_{2\text{н}}. \quad (10)$$

де $P_{2\text{н}}$ – номінальна активна потужність, яка передається робочій машині з валу електродвигуна, Вт.

Підставивши значення потужностей, отримаємо

$$\Delta P_{\text{тр.н}} + \Delta P_{\text{дод.н}} = 4107 - 4000 = 107 \text{ Вт}.$$

Знаходимо інші сумарні втрати активної потужності

$$P_{\Sigma_n} = 3(R_1' + R_2'') I_n'^2 + 3R_1 I_0^2, \quad (11)$$

де

$$I_0 = \frac{U_n}{\sqrt{R_1^2 + (x_1' + x_\mu)'^2}}. \quad (12)$$

Підставивши значення параметрів і фізичних величин в (11) та (12), отримаємо

$$P_{\Sigma_n} = 3(1,529 + 1,006) 6,815^2 + 3 \cdot 1,485 \cdot 2,28^2 = 350 + 23 = 373 \text{ Вт}.$$



Загальні сумарні втрати активної потужності в асинхронному електродвигуні при номінальному режимі роботи

$$\Delta P'_n = P_{\Sigma n} + P_{тр.н} + P_{доод.н}. \quad (12)$$

Підставивши значення потужностей, отримаємо

$$\Delta P'_n = 373 + 107 = 480 \text{ Вт.}$$

Визначимо ці втрати за каталожними даними

$$\Delta P_n = \frac{P_{2н}}{\eta_n} - P_{2н}. \quad (13)$$

Підставивши значення потужності та к.к.д., отримаємо

$$\Delta P_n = \frac{4000}{0,865} - 4000 = 624 \text{ Вт.}$$

Як видно з розрахунків, використовуючи каталожні дані, отримаємо втрати активної потужності, значення яких перевищує отримані втрати розрахунковим шляхом. Це пов'язано з тим, що Г-подібна схема заміщення не враховує втрати в магнітопроводі. Тому знаходимо втрати на гістерезис та вихрові струми, як різницю значень втрат активної потужності, отриманої за каталожними даними, та розрахованих за параметрами схеми заміщення

$$\Delta P_{м.н} = \Delta P_n - \Delta P'_n = 624 - 480 = 144 \text{ Вт.} \quad (14)$$

На підставі викладеного вище, приймаємо наступну методику аналітичного дослідження коефіцієнта втрат активної потужності в асинхронному електродвигуні, під яким будемо розуміти відношення втрат активної потужності до активної потужності на його валу у функції коефіцієнта завантаження робочої машини, тобто $k_n = f(k_3)$ з урахуванням рівня живлячої напруги.

1) Задаємось значенням коефіцієнта завантаження робочої машини та рівня живлячої напруги;

2) Визначаємо ковзання асинхронного електродвигуна при заданих значеннях k_3 та k_n з урахуванням типу робочої машини. Для робочої машини з незалежною від швидкості механічною характеристикою ($x = 0$) ця залежність буде наступною



$$s = \frac{k_3}{k_U^2} \cdot s_H \quad (15)$$

Для робочої машини з лінійно-зростаючою механічною характеристикою ($x = 1$) ця залежність буде наступною

$$s = \frac{m_0 + \frac{1-m_0}{1-s_H}}{\frac{k_U^2}{k_3 \cdot s_H} + \frac{1-m_0}{1-s_H}} \quad (16)$$

Для робочої машини з нелінійно-зростаючою (параболічною) механічною характеристикою ($x = 2$) ця залежність буде наступною

$$s = \frac{-K_2 \pm \sqrt{K_2^2 - 4 \cdot K_1 \cdot K_3}}{2 \cdot K_1} \quad (17)$$

де $K_1 = k_3 \cdot s_H \cdot (1 - m_0)$;

$K_2 = -2 \cdot K_1 - k_U^2 \cdot (1 - s_H)^2$;

$K_3 = k_3 \cdot s_H \cdot (1 - m_0 + m_0 (1 - s_H)^2)$.

Для робочої машини з нелінійно-спадаючою (гіперболічною) механічною характеристикою ($x = -1$) ця залежність буде наступною

$$s = \frac{\frac{k_U^2}{s_H} + m_0 - \sqrt{\left(\frac{k_U^2}{s_H} + m_0\right)^2 - 4 \frac{k_U^2}{s_H} (m_0 + (k_3 - m_0)(1 - s_H))}}{2 \cdot \frac{k_U^2}{s_H}} \quad (18)$$

3) Визначаємо силу електричного струму в контурі схеми заміщення асинхронного електродвигуна

$$I' = \frac{\kappa_u U_H}{\sqrt{(R_1' + R_2''/s)^2 + (x_1' + x_2'')^2}}, \quad (19)$$

4) Визначаємо механічну потужність електродвигуна

$$P_{mx} = 3R_2'' \frac{1-s}{s} I'^2, \quad (20)$$

5) Визначаємо додаткові втрати активної потужності в електродвигуні



$$\Delta P_{\text{доо}} = \frac{I'}{I'_n} \Delta P_{\text{доо.н}}, \quad (21)$$

де

$$\Delta P_{\text{доо.н}} = 0,005 \frac{P_{2н}}{\eta_n}. \quad (22)$$

6) Визначаємо втрати активної потужності в механічній системі електродвигуна

$$\Delta P_{\text{тр}} = \Delta P_{\text{тр.н}} \left(\frac{1-s}{1-s_n} \right)^2, \quad (23)$$

де

$$\Delta P_{\text{тр.н}} = P_{\text{мх.н}} - P_{2н} - \Delta P_{\text{доо.н}}. \quad (24)$$

7) Визначаємо інші сумарні втрати активної потужності P_{Σ} , використовуючи схему заміщення асинхронного електродвигуна

$$P_{\Sigma н} = 3(R'_1 + R''_2) I'^2 + 3R_1 I_0^2, \quad (25)$$

де

$$I_0 = \frac{\kappa_u U_n}{\sqrt{R_1^2 + (x'_1 + x_\mu)^2}}. \quad (26)$$

8) Визначаємо втрати активної потужності в електродвигуні без урахування втрат в магнітопроводі

$$\Delta P' = \Delta P_{\Sigma н} + \Delta P_{\text{тр}} + \Delta P_{\text{доо}}. \quad (27)$$

9) Визначаємо втрати активної потужності в магнітопроводі

$$\Delta P_m = \kappa_u^2 \Delta P_{\text{м.н}}. \quad (28)$$

10) Визначаємо загальні втрати активної потужності в електродвигуні

$$\Delta P = \Delta P' + \Delta P_m. \quad (29)$$

11) Визначаємо механічну потужність, яка передається на вал робочій машині

$$P_2 = P_{мх} - \Delta P_{тр} - \Delta P_{дод}. \quad (30)$$

12) Визначаємо коефіцієнт втрат активної потужності

$$\kappa_n = \frac{\Delta P}{P_2}. \quad (31)$$

За методикою, викладеною вище, проведемо кількісний аналіз коефіцієнта втрат активної потужності в асинхронному електродвигуні у функції коефіцієнта завантаження робочої машини, з урахуванням рівня живлячої напруги.

Кількісний аналіз проведемо на прикладі електродвигуна типу-розміру 4А100S2У3.

Приймаємо значення коефіцієнта прикладеної напруги κ_u в межах від 1,1 до 0,8; значення коефіцієнта завантаження κ_z від 0 до 1,2. Розраховуємо коефіцієнт втрат активної потужності електродвигуна, працюючого з різними типами робочих машин. Результати представляємо графічно (рис. 2 – 5).

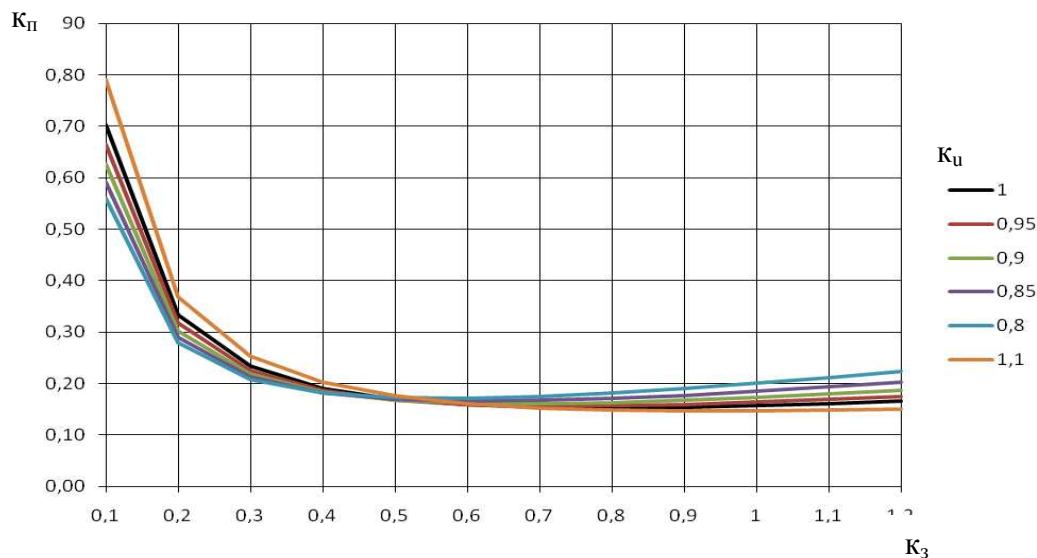


Рис. 2. Залежності коефіцієнта втрат електродвигуна від його завантаження, працюючого в парі з робочою машиною з незалежною від швидкості механічною характеристикою ($x=0$)

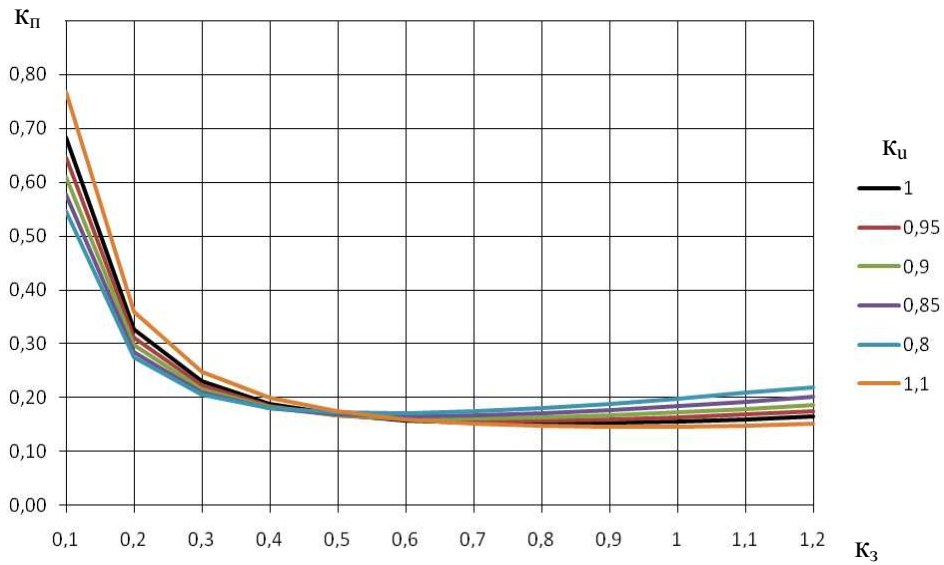


Рис. 3. Залежності коефіцієнта втрат електродвигуна від його завантаження, працюючого в парі з робочою машиною з лінійно-зростаючою механічною характеристикою ($x=1$)

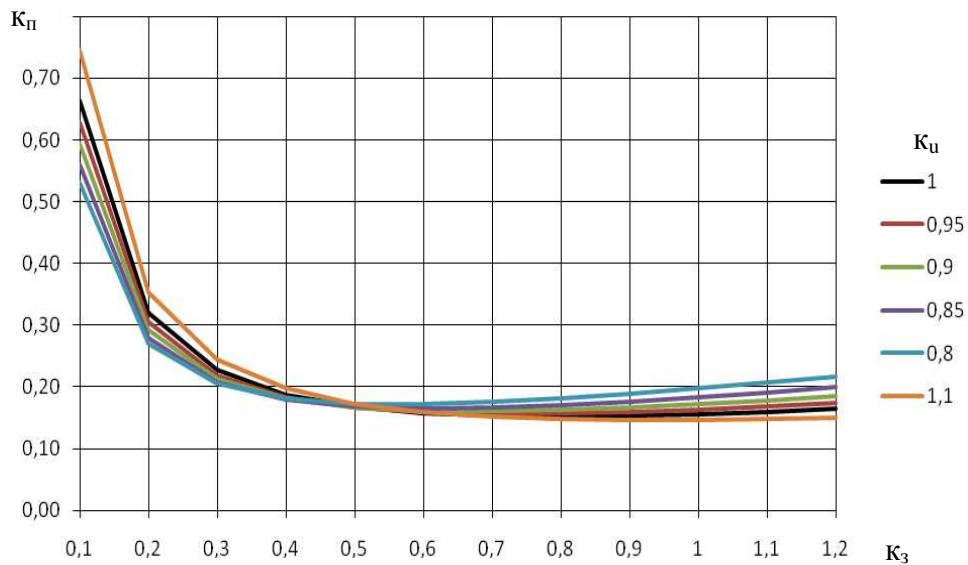


Рис. 4. Залежності коефіцієнта втрат електродвигуна від його завантаження, працюючого в парі з робочою машиною з нелінійно-зростаючою механічною характеристикою ($x=2$)

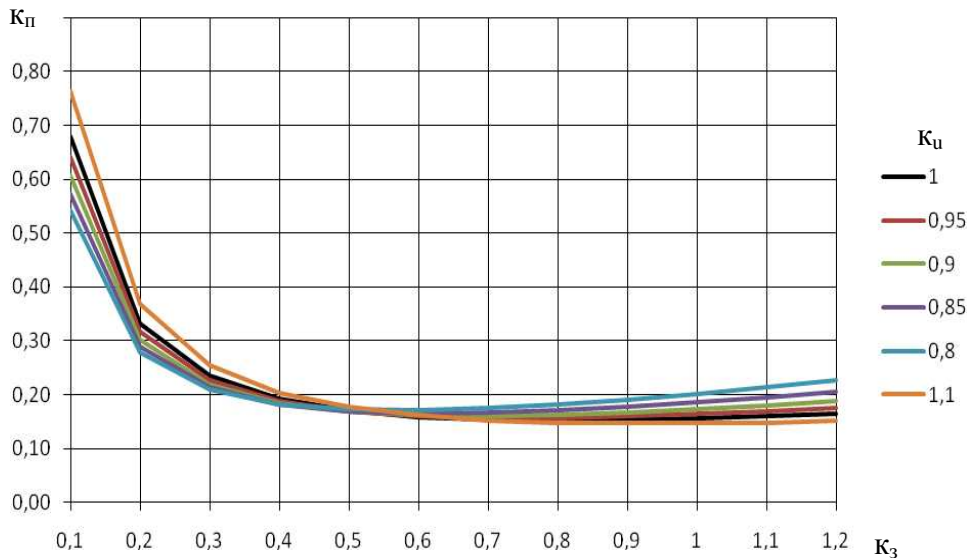


Рис. 5. Залежності коефіцієнта втрат електродвигуна від його завантаження, працюючого в парі з робочою машиною з нелінійно-спадаючою механічною характеристикою ($x=-1$)

Аналіз залежностей коефіцієнта втрат активної потужності електродвигуна типорозміру 4A100S2Y3 в залежності від його завантаження показав, що незалежно від типу робочої машини при зниженні напруги на затискачах електродвигуна відбувається зменшення коефіцієнта втрат активної потужності в ньому в діапазоні завантаження до 50%. При завантаженні електродвигуна на 50-70% коефіцієнт втрат є мінімальним при значенні напруги близькому до номінальної, а в діапазоні від 70% і вище коефіцієнт втрат буде зменшуватись при збільшенні напруги живлення.

Висновки.

1. Розроблена методика аналітичного дослідження втрат активної потужності в асинхронному електродвигуні з короткозамкненим ротором у функції коефіцієнта його завантаження та рівня живлячої напруги.

2. Аналіз отриманої залежності коефіцієнта втрат активної потужності показує, що вона носить нелінійний екстремальний характер і її використання дозволяє забезпечити енергозберігаючий експлуатаційний режим роботи асинхронного електродвигуна шляхом визначення оптимального рівня живлячої напруги при змінному завантаженні останнього.

Список використаних джерел

1. Овчаров С. В. Исследование потерь активной энергии в асинхронном электродвигателе в эксплуатационных условиях /



С. В. Овчаров, А. А. Стребков. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – Т. 2, N 8(74). - С. 22-28.

2. *Sun, D. S. Research on Voltage-Chopping and Energy-Saving Controlling Technology for Three-Phase AC Asynchronous Motor [Text] / D. S. Sun // Advanced Materials Research. – 2012. – Vol. 433-440. – P. 1033–1037. doi: 10.4028/www.scientific.net/amr.433-440.1033*

3. *Hung, N. T. Optimization of Electric Energy in Three-Phase Induction Motor by Balancing of Torque and Flux Dependent Losses [Text] / N. T. Hung, N. C. Thien, T. P. Nguyen, V. S. Le, D. A. Tuan. – Lecture Notes in Electrical Engineering, 2014. – P. 497–507. doi: 10.1007/978-3-642-41968-3_50*

4. *Grouni, S. Novel Loss Optimization in Induction Machines with Optimum Rotor Flux Control [Text] / S. Grouni, R. Ibtouen, M. Kidouche, O. Touhami // International Journal of Systems Control. – 2010. – Vol. 1, Issue 4. – P. 163–169.*

5. *Dhaoui, M. A New Method for Losses Minimization in IFOC Induction Motor Drives [Text] / M. Dhaoui, L. Sbita // International Journal of Systems Control. – 2010. – Vol. 1, Issue 2. – P. 93–99.*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕРЬ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В АСИНХРОННОМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕ В ФУНКЦИИ ПИТАЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ

Стребков А.А.

Аннотация – проведены исследования потерь активной мощности в электродвигателе в функции коэффициента загрузки и уровня питающего напряжения.

A STUDY OF ACTIVE POWER LOSSES IN THE ASYNCHRONOUS MOTOR IN FUNCTION OF THE SUPPLY VOLTAGE

O. Strebkov

Summary

Active power losses in the motor as a function of the load factor and the level of the supply voltage is investigated.



УДК 631.3

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ОХОЛОДЖУВАЧА МОЛОКА ДЛЯ МАЛИХ ФЕРМ

Стручаєв М.І., к.т.н.

Постол Ю.О., к.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел.: (0619) 42-25-85

Анотація - в роботі розглянуто алгоритм розрахунку охолоджувача молока для малих ферм з метою підвищення його енергоефективності. Запропоновано схему охолоджувача молока малої потужності на базі вітчизняних холодильних агрегатів.

Ключові слова - охолоджувач молока, кількість теплоти, масова витрата молока, об'єм камери охолодження.

Постановка проблеми. В зв'язку з реформуванням сільського господарства України, зокрема зміни форм власності, поряд з великими з'явилося багато малих фермерських господарств, для яких не підходить техніка великої продуктивності. Тому у комплексі машин для зберігання і переробки молока в фермерських господарствах є потреба в охолоджувачах невеликої продуктивності.

Аналіз останніх досліджень. Практика показує, що зростання чисельності поголів'я тварин в фермерських господарствах більше 10 голів корів потребує розробки ефективної системи доїння та кондиціонування молока [1]. В той же час, промисловість випускає тільки великі установки для охолодження молока (понад 3000 л/год). Поточні охолоджувачі молока, які з'явилися в останній час [2] мають меншу продуктивність (750 л/год), але теж перевищують потреби малих господарств. Охолоджувачі малої продуктивності фірм "Tetra Pak" та "Alfa Laval" [3] мають велику вартість.

Формулювання цілей статті. Завданням даної статті є розробка алгоритму розрахунку охолоджувача молока малої потужності для фермерського господарства з метою підвищення його енергоефективності на базі вітчизняних побутових холодильних агрегатів.

Основна частина. Охолоджувач молока встановлюється після пастеризатора, температура на виході з якого +72°C. Тому доцільно частину теплоти використовувати для підігріву молока, яке надходить на пастеризацію в рекуперативному підігрівнику. На виході з рекупе-

ратора температура пастеризованого молока буде $+36...+40^{\circ}\text{C}$. Після рекуператора молоко охолоджується проточною водою до температури $18...20^{\circ}\text{C}$, що дозволяє зменшити потужність, яка витрачається на охолодження в охолоджувачі молока, тобто на привод компресора холодильного агрегату в $4...10$ разів. В охолоджувачі молока молоко охолоджується з 20°C до $+4^{\circ}\text{C}$ і йде в роздрібну торгівлю. Схема установки надана на рис. 1.

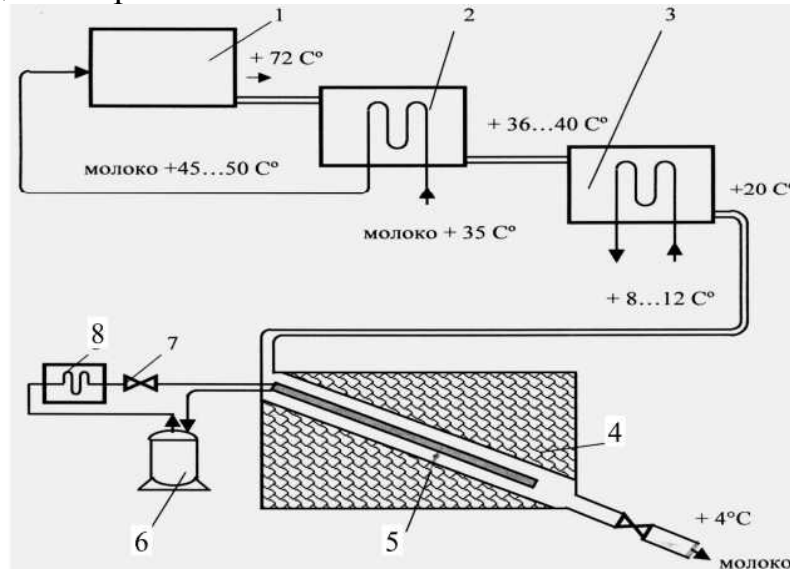


Рис. 1. Схема охолоджувача молока для фермерського господарства: 1–пастеризатор; 2–рекуперативний теплообмінник молоко-молоко; 3–проточний охолоджувач молоко-вода; 4–теплоізоляція охолоджувача; 5–щільовий охолоджувач – випарник холодильного агрегату; 6–компресор; 7–терморегулюючий вентиль; 8–конденсатор

Початкова температура молока, що надходить в охолоджувач (випарник холодильної машини) $+20^{\circ}\text{C}$.

Кількість теплоти Q_M , що відбирається від молока в охолоджувачі, дорівнює [1]

$$Q_M = M_M \cdot C_M \cdot (T_{пм} - T_{км}), \quad (1)$$

де M_M – масова витрата молока, кг/с;

C_M – питома теплоємність молока, $C_M = 3,8...3,87 \frac{\text{кДж}}{\text{кгК}}$;

$T_{пм}$ – початкова температура молока, $^{\circ}\text{C}$;

$T_{км}$ – кінцева температура молока, $^{\circ}\text{C}$.

Масову витрату молока M_M знайдемо розв'язавши рівняння теплового балансу

$$Q_{x.a.} = Q_{x.m.} + Q_{навк.ср} + Q_{охл}, \quad (2)$$

де $Q_{x.a.}$ – холодопродуктивність холодильного агрегату.



Надходження теплоти через теплоізоляцію з навколишнього середовища визначається за залежністю

$$Q_{\text{навк.ср.}} = \sum k \cdot F (t_n - t_{\theta}). \quad (3)$$

де $Q_{\text{навк.ср.}}$ - надходження теплоти через теплоізоляцію з навколишнього середовища, Вт;

$\sum k$ - розрахунковий коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²·К);

F - сумарна поверхня охолоджувача, м²;

t_n - розрахункова температура навколишнього середовища, °С;

t_{θ} - розрахункова температура в середині охолоджувача, °С.

Розрахункова температура повітря для даної місцевості визначається за залежністю

$$t_n = 0,4t_{\text{см}} + 0,6t_{\text{max}}, \quad (4)$$

де $t_{\text{см}}$ - середньомісячна добова температура самого теплого місяця, °С;

t_{max} - максимальна температура самого теплого місяця, °С.

Розрахункова температура в середині охолоджувача Δt_{θ} , визначається, як середньо-логіфімічна (рис. 2)

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{\Delta t_{\theta} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln \frac{\Delta t_{\theta}}{\Delta t_{\text{м}}}}, \quad (5)$$

де Δt_{θ} - більша різниця температур, °С;

$\Delta t_{\text{м}}$ - менша різниця температур, °С.

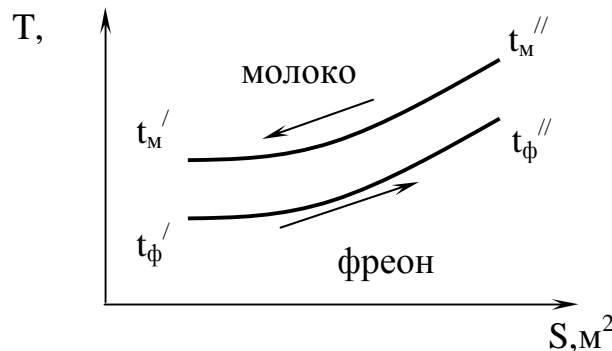


Рис. 2. Графіки зміни температур молока і фреона в охолоджувачі.

Коефіцієнт теплопередачі визначається за залежністю

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_m} + \frac{\sigma}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_n}}, \quad (6)$$

де α_m - коефіцієнт тепловіддачі з боку молока, Вт/(м²·К);



σ – товщина теплоізоляції, м;

λ – коефіцієнт теплопровідності ізоляції, Вт/(м·К);

$\alpha_{\text{п}}$ – коефіцієнт тепловіддачі з боку повітря, Вт/(м²·К).

Кількість теплоти на охолодження алюмінієвого випарника і двох пластин з нержавіючої сталі, враховується тільки при виході агрегату на режим [2]

$$Q_{ox} = M_{ал} \cdot c_{ал} \cdot (t_n - t_k) + 2M_{нс} \cdot c_{нс} (t_n - t_k) = (t_n - t_k)(M_{ал} \cdot C_{ал} + 2M_{нс} \cdot C_{нс}), \quad (7)$$

де $M_{ал}$ і $M_{нс}$ – маса алюмінію і сталі, кг;

$c_{ал}$ і $c_{нс}$ – теплоємність алюмінію і сталі, кДж/(кг·К);

t_n і t_k – початкова і кінцева температура, °С.

Потужність холодильного агрегату холодильника витрачається на охолодження молока і втрати в навколишнє середовище

$$Q_{x.a.} = Q_m + Q_{навк.ср}. \quad (8)$$

Масову витрату молока знайдемо з рівняння 8, враховуючи що

$$Q_m = M_m \cdot C_m \cdot (t_n - t_k) \quad (9)$$

Тоді,

$$M_m = \frac{Q_{xa} - Q_{навк.ср}}{C_m(t_n - t_k)}, \quad (10)$$

Об'єм камери охолодження визначається за залежністю

$$V = L \cdot h \cdot \delta - (L \cdot h \cdot \delta)_{випарника}, \quad (11)$$

де L – довжина камери охолодження, м;

h – висота камери охолодження, м;

δ – товщина камери, м.

Швидкість руху молока в трубах може бути знайдена за залежністю

$$G = \omega \cdot V, \quad (12)$$

де G – об'ємна витрата, м³/с;

ω – площа перетину труби, м²;

V – швидкість руху молока в трубах, м/с.

Тоді,

$$V = \frac{G}{\omega} = \frac{4G}{\pi d^2}, \quad (13)$$

де d – діаметр труб, м.



Висновки. Холодильні агрегати вітчизняних холодильників при деякій переробці можна використовувати як охолоджувачі молока.

Пропоновану методику розрахунку можна використовувати для підбору холодильного агрегату охолоджувача молока для фермерського господарства з метою підвищення його енергоефективності.

Список використаних джерел

1. *Іваненко В.Ф.* Системи технології у тваринництві / *В.Ф. Іваненко* . – К.: КНЕУ, 1999. – 186с.

2. *Улитенко А.И., Пушкин В.А.* Проточный охладитель производительностью 750 л/ч парного молока / *А. И. Улитенко, В. А. Пушкин* // Молочная промышленность №10, 2002г., с.46.

3. *Галкин В.И.* Теплообменные установки для молочной отрасли / *В.И. Галкин* // Молочная промышленность №7, 2002г., с.42...43.

4. *Ковальов Ю.В.* Молочне устаткування тваринницьких ферм і комплексів / *Ю.В. Ковальов*. – М.: Россельхозиздат, 1987. – 367с.

5. *Краснокутский Ю.В.* Механізація первинної обробки молока / *Ю.В. Краснокутский*. – М.: Агропромиздат, 1988. – 335с.

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ОХЛАДИТЕЛЯ МОЛОКА ДЛЯ МАЛЫХ ФЕРМ

Стручаев Н.И, Постол Ю.А.

Аннотация - в работе рассмотрен алгоритм расчета охладителя молока для малых ферм с целью повышения его энергоэффективности. Предложена схема охладителя молока малой мощности на базе отечественных холодильных агрегатов.

INCREASE ENERGY EFFICIENCY OF MILK COOLER FOR SMALL FARM

N. Struchaev, J. Postol

Summary

In activity the algorithm of increase energy efficiency milk cooler design for small farm with application of Ukrainian small refrigerators.



УДК 631.53.027.34

ЕЛЕКТРОГЕНЕРАТОР ДЛЯ НИЗЬКООБЕРТОВОЇ ВІТРОУСТАНОВКИ

Тимошенко Г.А., інженер,

Рясна О.В., інженер,

Стриж В.О., інженер,

Приходько М.С., інженер

Сумський національний аграрний університет

Тел.: 099 702 777 2

Анотація - в лабораторних умовах кафедри на підставі проведення експериментальних даних і новітніх досліджень науки був виготовлений генератор для тихохідних вітроустановок. В результаті теоретичного аналізу обґрунтовано можливість застосування вітросилової установки при достатньо низьких обертах вітроколеса, де вимоги до електрогенератора будуть значно нижчі, ніж в звичайних електричних генераторах.

Ключові слова: номінальна трифазна напруга, номінальний струм, частота струму, вітросилова установка, асинхронний електродвигун.

Постановка проблеми. Для вироблення електроенергії вітроустановкою потрібно мати або низько обертовий генератор або мультиплікатор з великим передаточним числом. Враховуючи те, що вітрові потоки дуже нерівномірні генератор виробляє електроенергію нерівномірно за частотою і величиною напруги [1].

Основними вимогами, які стоять перед генераторами вітроустановок є:

- підтримувати постійну за величиною напругу в мережі за змінних швидкісних навантажувальних режимів роботи генератора;
- надійно працювати в широкому діапазоні частоти обертання вала вітроустановки;
- здатність витримувати перевантаження;
- мінімальна маса і вартість за достатньо тривалого терміну експлуатації.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Вітросилові агрегати комплектуються з індукторними генераторними установками. При цьому вони бувають: з рухомою і нерухомою обмоткою збудження, та відповідно з контактними щітками і кільцями, і безконтактні; трифазні



і однофазні; зі з'єднанням фазових обмоток статора за схемою «зірка» або «трикутник».

Генератори постійного струму застосовують нині досить рідко, особливо в вітроустановках середньої і великої потужності.

Формування цілей статті (постановка завдання). Трифазна напруга в генераторі з рухомою обмоткою збудження індукується у фазових обмотках статора при перетинанні їх змінним магнітним полем, що створюється електромагнітом ротора.

Статор складається з пластин електротехнічної сталі і в його пари вкладають котушки фазових обмоток, які розподіляються на трифазні і з'єднуються між собою за схемою «зірка». У трифазних генераторів число пазів статора обов'язково повинно бути числом, яке ділиться на «3».

Ротором є вал, на який напресовані два магнітопроводи з дзюбоподібними наконечниками та втулкою з обмоткою збудження, що утворюють багатополісний магніт. Число полюсів магніту ротора повинно бути в три рази менше, ніж пазів статора.

Обмотка збудження ротора підключена до незалежного джерела струму і намагнічує його. При цьому сусідні полюсні наконечники ротора намагнічуються різнойменними полюсами. Під час обертання ротора мимо кожного виступу статора по чергово проходить північний і південний полюси електромагніта. Нерухомі фазові обмотки перетинаються змінним магнітним потоком як за величиною, так і за напрямом, і у витках обмоток індукується змінна електрорушійна сила [2,3].

При мінімальних обертах вітроколеса для самозбудження генератора він збуджується від незалежного (стороннього) джерела струму. Тоді його напруга дорівнює ЕРС зовнішнього джерела збудження і становить

$$U = E = C_e \cdot \omega \cdot \Phi, \quad (1)$$

де C_e - сталий коефіцієнт для даного типу генератора;

ω - кутова швидкість обертання ротора;

Φ - магнітний потік збудження.

Зі збільшенням електронавантаження напруга генератора зменшується на величину спаду напруги в статорі

$$U = E - IR_{cm} = C_e \cdot \omega \cdot \Phi - IR_{cm} \quad (2)$$

Оскільки в процесі роботи генератора оберти ротора залежать від частоти обертання вітроколеса, підтримувати постійну напругу генератора на різних режимах його роботи можна, змінюючи магнітний потік в обмотці збудження (Φ) включенням у мережу живлення на короткий проміжок часу додаткових резисторів, а також збільшуючи частоту обертання чи зменшуючи навантаження.

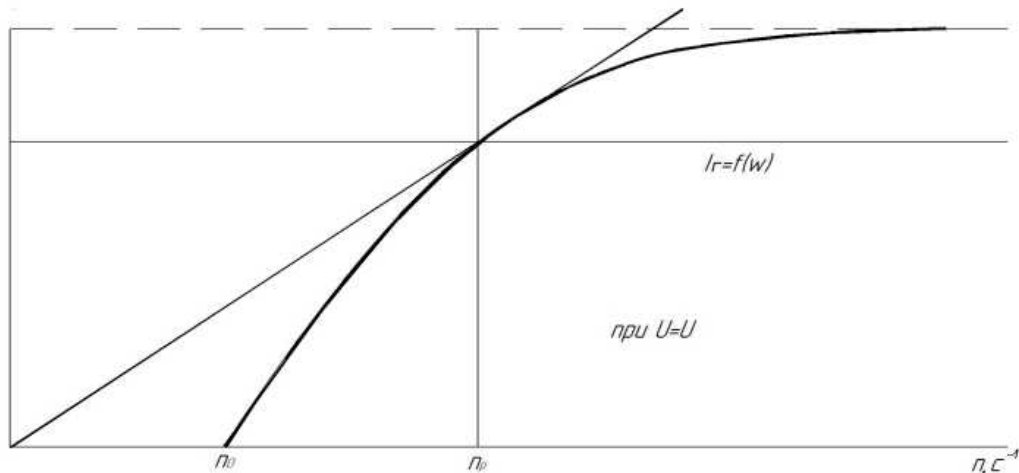


Рис. 1. Швидкісна характеристика генератора змінного струму

На рис. 1 наведено графік, що характеризує залежність величини струму від частоти обертання ротора генератора $I_r = f(\omega)$ за сталої напруги. Зі швидкісної характеристики, зображеної на графіку видно, що за початкової частоти обертання n_0 генератор починає виробляти номінальну напругу без навантаження ($I_r = 0$) при живленні обмотки збудження від зовнішнього джерела.

За такою швидкісною характеристикою визначають технічні дані конкретного генератора:

- початкова частота обертання на холостому ході, яка повинна відповідати заданій напрузі без навантаження, n_0 ;
- максимальна сила струму самообмеження $I_r \cdot \text{макс}$;
- номінальна потужність генератора ($P_r = I_r \cdot \text{макс} \cdot U_H$);
- частота обертання ротора $n_{p.n.}$ і струм $I_{p.n.}$ (у контрольному режимі).

З вище наведеної теорії видно, що для тихохідних вітроустановок такі генератори можна прилаштувати, але з великим передаточним числом мультиплікатора, а значить зменшувати ККД самої вітроустановки.

Основні матеріали дослідження (основна частина). Поставлена задача досягається виготовленням дослідного екземпляра електрогенератора для вітросилової установки. Як відомо, вітросилова установка працює при достатньо низьких обертах вітроколеса, а значить, і вимоги до електрогенератора повинні бути особливі.

Як правило, вітроустановка працює при дуже низьких обертах вітроколеса (до 100 об/хв.).

Для самозбудження генератора, який встановлений на тракторах і автомобілях, потрібно щонайменше 1500 об/хв. Значить, щоб елект-



рогенератор працював на вітроустановку, потрібно встановити мультиплікатор з передаточним числом щонайменше 1/20, а це додаткові енергозатрати і, звичайно, фінансові. Потрібно йти іншим шляхом. збільшувати число пар полюсів статора електрогенератора [4,5].

Статор складається з пластин електротехнічної сталі і в його пази вкладені 54 фазові обмотки, які розподілені на три фази і з'єднані між собою за схемою «зірка». На кожну фазу припадає: $N=54_{\text{пази}}/3_{\text{фази}}=18_{\text{катушок}}$. Статорна обмотка розрахована на фазну напругу в 220 В, а значить пропорційно зменшується струм на виході.

Практика і досліди показали, що на одну фазу потрібно вкласти 18 катушок загальною кількістю 1440 витків, а значить кожна катушка буде мати

$$W = \frac{W_{\text{фази}}}{n_{\text{к1}}}, \quad (3)$$

де W - кількість витків у катушці;
 $W_{\text{фази}}$ - загальна кількість витків фазної обмотки;
 $n_{\text{к1}}$ - кількість катушок у фазній обмотці.

$$W = \frac{1440 \text{ вит.}}{18_{\text{катушок}}} = 80 \text{ вит./катушці} \quad (4)$$

Статорні електротехнічні пластини (пакет) взяті із статора асинхронного електродвигуна серії 4А, висота пакета 40 мм.

Маючи 9 пар полюсів (18 катушок в одній фазній обмотці) знаходимо оберти генератора при умові, що він буде працювати з частотою струму в 50 Гц за формулою

$$n = \frac{60 \cdot F}{P}, \quad (5)$$

де F - частота струму (50 Гц);
 P - число пар полюсів статора.

$$n = \frac{60 \cdot 50}{9} = 333,3 \text{ об/хв.} \quad (6)$$

Це означає, що ротор електрогенератора при $333,3 \text{ об/хв.}$ виробляє напругу з частотою 50 Гц. Якщо вітроколесо працює стабільно при 60 об/хв., то за допомогою шківно-пасової передачі легко досягти цих обертів на генераторі.

Маючи розміри пакета активної сталі статора з зовнішнім діаметром $D_c = 290 \text{ мм}$, внутрішнім діаметром $d_c = 207 \text{ мм}$, довжиною пакета



сталі $l = 40\text{мм}$ розраховуємо зовнішній діаметр ротора за формулою

$$D_p = d_c - 2\delta, \quad (7)$$

де δ - повітряний проміжок між залізним простором 0,35...0,45 мм.

$$D_p = 207 - (2 \cdot 0,4) = 206,2\text{мм} \quad (8)$$

Досліди і розрахунки показують, що котушка ротора повинна мати приблизно 1200 витків проводу ПЕВ-2, діаметр якого 0,8 мм.

Щоб знайти площу вікна потрібно знайти площу, яку займає котушка (її поперечний переріз) за формулою

$$S_{\text{кот.}} = W_{\text{кот.}} \cdot K_{\text{зап.}} \cdot d_{\text{пр.}}, \quad (9)$$

де $W_{\text{кот.}}$ - число витків в котушці збудження (з ізоляцією);

$K_{\text{зап.}}$ - коефіцієнт заповнення котушки;

$d_{\text{пр.}}$ - діаметр проводу в котушці збудження.

$$S_{\text{кот.}} = 1200\text{вит} \cdot 0,65\text{вит} \cdot 0,86\text{мм} = 670,8\text{мм}^2 \quad (10)$$

Якщо ширина каркаса котушки збудження дорівнює 25 мм, то його висота буде

$$h_{\text{кар.}} = \frac{670,8\text{мм}^2}{25} = 26,8\text{мм} \quad (11)$$

На рис. 2 приведена принципова електрична схема генератора. Однонапівперіодний блок вмикається паралельно трифазній обмотці генератора і навантаження. В точку С через щітки і кільця включається котушка збудження. За рахунок залишкового магнетизму генератор легко збуджується.

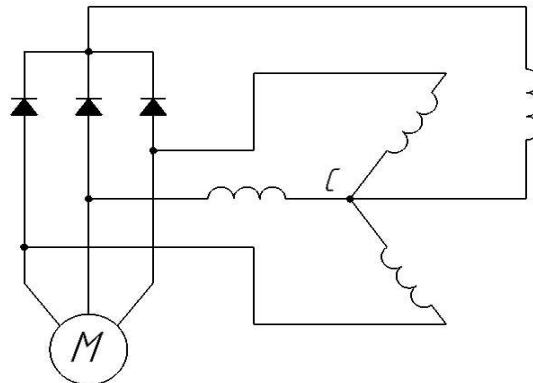


Рис. 2. Принципова електрична схема генератора

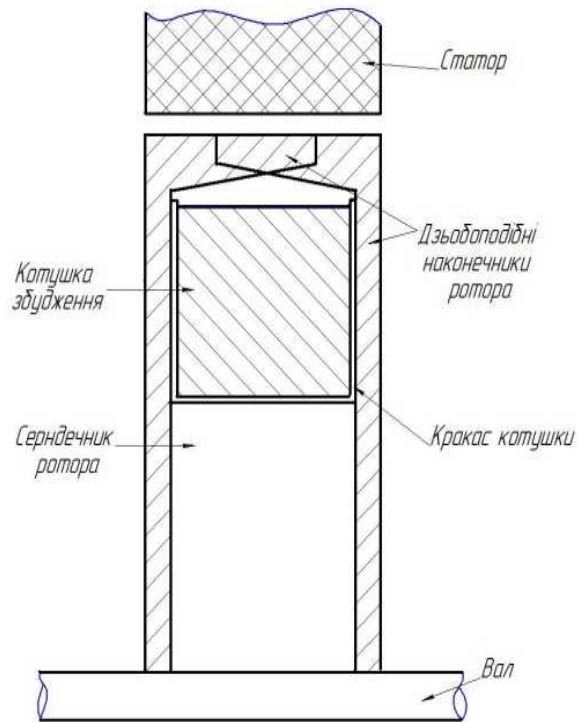


Рис. 3. Магнітний ланцюг генератора для вітросилової установки з дзъобоподібними наконечниками

Висновок. В результаті розрахунків і лабораторних досліджень був випробуваний тихохідний генератор, який добре зарекомендував себе в роботі з вітросиловою установкою з такими показниками:

Номінальна трифазна напруга – «У» - 220 В.

Номінальний струм – 6,4 А.

Частота струму при 333,3 об/хв - 50 Гц.

Зовнішній діаметр статора – 290 мм.

Внутрішній діаметр статора – 207 мм.

Зовнішній діаметр ротора – 206,2 мм.

Внутрішній діаметр розточки ротора – 190 мм.

Висота пакета сталі статора – 40 мм.

Діаметр сердечника ротора – 110 мм.

Список використаних джерел

1. Чижков Ю.П. Электрооборудование автомобилей для ВУЗов / Ю.П. Чижков, С.В. Акимов . – Изд. «За рулем», М. 1999 – 305 с.
2. В.А. Балагуров «Проектирование автомобильных генераторов переменного тока с клювообразными полюсами / В.А. Балагуров. - М.: 1980 г. С. 112-200
3. Дружков А.А. Расчет автотракторных генераторов. Методические указания / А.А. Дружков, Г.И. Цопов, Р.А. Гайнуллин. – Сам. ГТУ – С. 2004. С. 9 – 42.



4. Копылова И.П. Проектирование электрических машин / И.П. Копылова. – Изд.: Энергия М. 1980 – 340 с.
5. Бойко М.Ф. Трактори та автомобілі. Частина 2 Електрообладнання / М.Ф. Бойко. – Київ: «Вища школа», 2001 – 280 с.

ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОР ДЛЯ НИЗКООБОРОТНОЙ ВЕТРОУСТАНОВКИ

Тимошенко Г.А., Рясная О.В., Стриж В.А., Приходько М.С.

Аннотация – в лабораторных условиях кафедры на основании проведения экспериментальных данных и новейших исследований науки был изготовленный генератор для тихоходных ветроустановок. В результате теоретического анализа обоснована возможность применения ветросиловой установки при достаточно низких оборотах ветроколеса, где требования к электрогенератору будут значительно ниже, чем в обычных электрических генераторах.

GENERATOR FOR LOW SPEED WIND INSTALLATION

Tymoshenko GA, Ryasna OV, Swift VA, Prikhodko MS

Summary

In the laboratory of the Department on the basis of the experimental data and the latest research science has been manufactured alternator for low-speed wind turbines. As a result of theoretical analysis substantiated the possibility of installation at a sufficiently low speed of the propeller, where the requirements for the generator are much lower than in conventional electrical generators.



УДК 628.511.633.85

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ЕЛЕКТРОЗЕРНОВОЇ МАШИНИ БАРАБАННОГО ТИПУ

Чебанов А.Б., к.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Анотація – робота присвячена питанню розділення зернової суміші за її фізико-механічними і електричними властивостями. Наведено методику розрахунку конструктивних і електричних параметрів електрозернової машини барабанного типу.

Ключові слова: зернова культура, електросепарація, барабанна машина, напруженість поля, критерій розділення, міжелектродна відстань.

Постановка проблеми. Підвищення врожайності та зниження витрат в процесі виробництва зернових культур певною мірою залежить від якості посівного матеріалу, а відповідно, і від способу його очищення та сортування. Одним з ефективних способів розділення зернових сумішей є електросепарація [1]. Електросепаратори мають певні переваги серед інших типів розділювачів. До них належать: високий ККД, достатня чіткість розділення, простота будови, дуже малі витрати електроенергії. Одним з таких типів електросепараторів є барабанний [2], в якому зернова суміш, що поступила на поверхню обертаючого заземленого електроду-барабана отримує заряд від коронуєчого електроду до барабану і під дією сил поля, сил взаємодії зарядженої частинки з плоскістю барабана, відцентрових сил та сил тяжіння відбувається розділення суміші. Але враховуючи те, що суміш різних культур має різні фізико-механічні і електричні властивості, застосувати конкретний тип такого сепаратора неможливо. Також, важливим параметром в роботі сепаратора є його продуктивність, яка в залежності від виду та кількості зернового матеріалу в господарстві потребує конструктивної зміни в сепараторі. Таким чином, наведення методики розрахунку електрозернової машини барабанного типу, яка б враховувала всі змінні фактори, є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень. Всі методи розділення матеріалів засновані на тому, що частинки суміші розрізняються за фізико-механічними і електричними властивостями. Використання цих відмінностей і робить можливим розділення.

При механічних способах розділення використовуються відмін-



ності у розмірах, щільності, стану поверхні частинок, тощо [3]. Розділення зернової суміші за електричними властивостями частинок (електропровідність, діелектрична проникність, поляризуємість, здатність приймати та віддавати заряд) засновано на властивостях частинок зернової суміші проводити електричний струм і утримувати поверхневий електричний заряд. Чим гірше частинка проводить електричний струм, тим довше вона утримує електричний заряд. Для розділення використовують статичне електричне поле і поле коронного розряду. Насіння очищають на електросепараторах камерного, барабанного або решітного типів [4]. На відміну від сепараторів камерного і решітного типів барабанний сепаратор є більш складною конструкцією. Але серед електросепараторів він набув велике розповсюдження при розділенні зернових сумішей в зв'язку з високою якістю розділення [5].

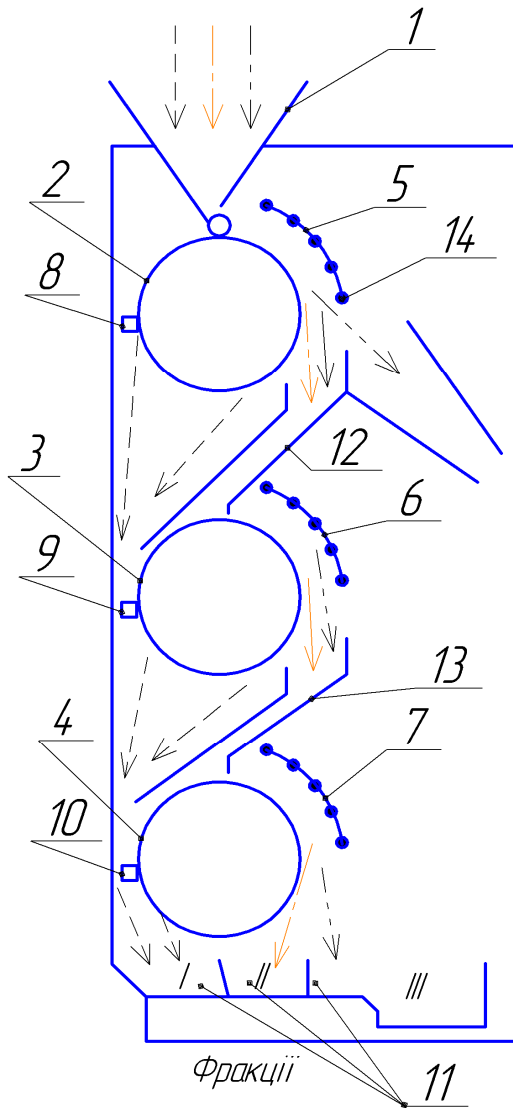
Формування цілей статті (постановка завдання). Завданням (ціллю) статті є висвітлення методики розрахунку конструктивних і електричних параметрів електросепаратора барабанного типу.

Основна частина. Робота електросепаратора барабанного типу залежить від ряду факторів, які впливають на розділення суміші: напруженості поля, швидкості обертання осаджувального електроду, питомого навантаження на осаджувальний електрод. Напруженість поля регулюють зміненням напруги, що підводять за допомогою автотрансформатора високовольтного випрямного пристрою або зміненням міжелектродної відстані.

Питоме навантаження на осаджувальний електрод регулюється зміненням величини щілини завантажувального бункеру або зміненням швидкості обертання осаджувального електроду.

Робота машини повинна проходити при максимально можливій нарузі, що визначається з умов пробою міжелектродної відстані. При відхиленні основного потоку від вертикалі в сторону барабана швидкість барабана необхідно збільшувати, при відхиленні в сторону корони – зменшувати.

Технологічну схему електросепаратора машини барабанного типу представлено на рисунку 1. Геометричні розміри системи «провідциліндр» представлено на рисунку 2. Зернова маса із завантажувального бункеру 1 поступає на осаджувальний електрод-барабан 2, де розділюється на три потоки. Найбільш велике насіння раніше інших відривається від обертаючого електроду і створює правий потік. Основна маса насіння, частково відчищена від домішок, в тому числі, від бур'янів, складає середній потік. Домішки, бур'яни, щупле і дрібне насіння основної культури створюють лівий потік. Правий і лівий потоки по своїм лоткам зразу виводяться з машини, полегшуючи роботу наступних технологічних секцій.



- 1 – завантажувальний бункер;
2,3,4 – осаджувальний електрод-барабан;
5,6,7 – коронуючий електрод;
8,9,10 – скребок;
11 – вивантажувальна секція;
12,13 – проміжний бункер;
14 – коронуючий провід;
----- - 1-а фракція;
----- - 2-а фракція;
- · - · - - 3-я фракція.

Рис. 1. Технологічна схема електросепаратора барабанного типу

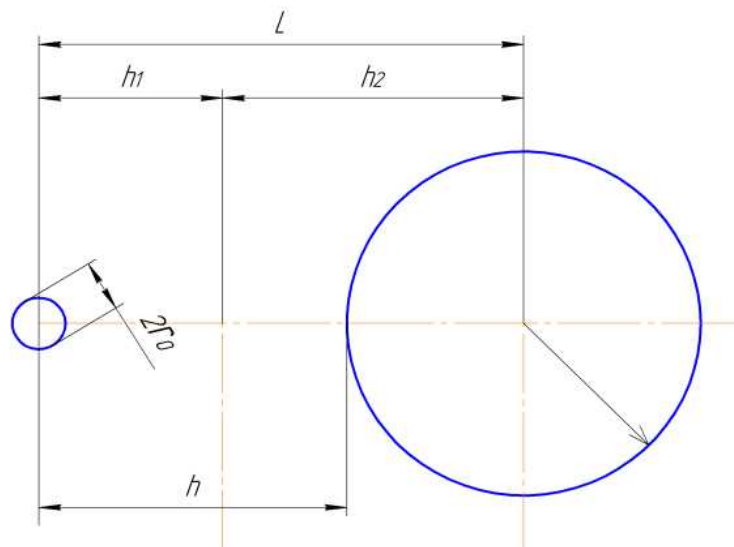


Рис. 2. Геометричні розміри системи «провід-циліндр»

Після першої технологічної секції (ТС) середній потік через проміжний бункер 12 поступає для розділення на другу секцію. Про-



цес розділення в другій ТС аналогічний першій. Проходячи послідовно очищення в двох ТС, залишки середнього потоку через проміжний бункер 13 поступають в третю секцію, де відбувається кінцеве очищення і розділення основної маси насіння на три потоки.

Правий потік всіх технологічних секцій об'єднується в першу фракцію очищеного насіння, середній потік створює другу фракцію. Лівий потік – легкі домішки і основна маса бур'янів всіх технологічних секцій також об'єднуються у третю фракцію і за допомогою транспортера виводяться з машини.

Для розрахунку машини необхідно знати:

1. Призначення машини.
2. Напругу джерела (U_{max} або U) і його схему випрямлення (наприклад, однонапівперіодна або схема множення);
3. Фізико-механічні та електричні властивості компонентів вороху (питома вага, розміри, діелектрична проникність).

Порядок розрахунку машини наступний [6].

Число секцій вибирають в залежності від призначення: три секції при використанні машини для очистки і сортування, дві – якщо машина призначена для передпосівної обробки.

Радіус коронуючого проводу приймають мінімальним з умов механічної стійкості, звичайно $r_0 = 0,1 \dots 0,15$ мм.

Міжелектродну відстань приймають: при сортуванні $h=80$ мм, при очищенні $h=100$ мм.

Зона поля повинна займати чверть окружності (дуга окружності дорівнює 90°).

Число обертів осаджувальних електродів беруть $n=30 \div 60$ хв.

Довжину електродів визначають за формулою

$$l_e = \frac{\Pi}{60\pi L n q_6}, \quad (1)$$

де Π - продуктивність машини в т/год;

L - відстань між коронуючим проводом та циліндром, м;

n - число обертів осаджувальних електродів, об/хв.;

q_6 - коефіцієнт що враховує фізико-механічні властивості компонентів зернової суміші, кг/м^2 [6].

Оптимальна відстань між коронуючими проводами

$$d = h \cdot \tau_{opt}, \quad (2)$$

де h - відстань між барабаном та циліндром, м;

τ_{opt} - безрозмірний параметр



$$\tau_{onm} = 0,4 + 0,12 \frac{R}{h}, \quad (3)$$

де R - радіус барабану, м.

Оптимальна кількість коронуючих провідників визначається за формулою

$$p = \frac{\pi(R+h)}{2d}. \quad (4)$$

Коефіцієнт конфігурації поля визначається за формулою

$$\psi_1 = \frac{h}{R}, \quad (5)$$

Критична напруженість поля корони визначається за формулою

$$E_k = 31 \left(1 + \frac{0,308}{\sqrt{r_0}} \right). \quad (6)$$

Критична напруга корони визначається за формулою

$$U_k = E_k r_0 \left[\frac{\pi h}{d} - \ln \frac{\pi r_0}{d} (2 - \psi_1) \right]. \quad (7)$$

Струм корони при різній напруженості визначається за формулою

$$I = \frac{(2,32 - 0,75\psi_1) \pi^2 k \rho \nu B_{cp}}{9d^2 \left[\frac{\pi h}{d} - \ln \frac{\pi r_0}{d} (2 - \psi_1) \right]}, \quad (8)$$

де ν - функція, що залежить від конфігурації електродів;

B_{cp} - поправочна функція для розрахунку струму корони барабанної машини.

Функція, що залежить від конфігурації електродів визначається за

$$\nu = \frac{2,87 - 0,74 \frac{h}{d}}{\frac{h}{d} - 0,47} \cdot 10^{-2} \quad (9)$$

Корисну потужність на одиницю довжини машини визначають за формулою

$$P_l = UI, \quad (10)$$



Вибір довжини машини визначається продуктивністю

$$l = \frac{P}{P_0}, \quad (11)$$

де P - задана продуктивність, т/год;

P_0 - питома продуктивність, т/год·м.

Корисна потужність машини визначається

$$P_0 = P_l \cdot l. \quad (12)$$

Повну потужність, витрачену на процес сортування або очищення, визначають за формулою

$$P_{\Sigma} = P_0 + P_{xx} + P_{вин}, \quad (13)$$

де P_{xx} - потужність холостого ходу високовольтного трансформатора, Вт;

$P_{вин}$ - втрати потужності у випрямлячі, Вт.

Визначають втрати електроенергії на тону зерна

$$P = \frac{P_{\Sigma}}{P}, \quad (14)$$

Висновки. Наведено методику розрахунку електрзернової машини барабанного типу, яка надає можливість розрахувати конструктивні і електричні параметри установки при застосуванні різних зернових культур і відмінної продуктивності.

Список використаних джерел.

1. Басов А.М. Электротехнология / А.М. Басов, В.Г.Быков, А.В.Лаптев, В.Б.Файн. – М.:Агропромиздат, 1985. – 256 с.
2. Басов А.М. Электрокоронная сепарация зерна // Вестник сельскохозяйственной науки. – 1962. - № 1. – С.62-64
3. Кулагин М.С. Механизация послеуборочной обработки и хранения зерна и семян / М.С. Кулагин, В.М. Соловьев, В.С. Желтов. - М.: Колос, 1979. - 256с.
4. Тарушкин В.И. Новые электросепараторы семян // Механиз. и электриф. сел. х-ва. - 1996. - №4. - С.32-33.
5. Бородин И.Ф. Электричество на очистке и сепарации семян / И.Ф. Бородин В.Н. Шмигель // Сельский механизатор. - 1997. - №10. - С.20-22.



6. Басов А.М. Электрозерноочистительные машины: Теория, конструкции и расчет / А.М. Басов, Ф.Я. Изаков, В.Н. Шмигель и др.- М: Машиностроение, 1966.-203 с.

МЕТОДИКА РАСЧЁТА ЭЛЕКТРОЗЕРНОВОЙ МАШИНЫ БАРАБАННОГО ТИПА

Чебанов А.Б.

Аннотация – работа посвящена вопросу разделения зерновой смеси по её физико-механическим и электрическим свойствам. Представлено методику расчёта конструктивных и электрических параметров электрозерновой машины барабанного типа.

THE METHOD OF CALCULATION OF ELECTRIC GRAIN MACHINE OF DRUM TYPE

A. Chebanov

Summary

The work is devoted to the separation of the grain mixture in its physical, mechanical and electrical properties. Given the method of calculation of design and electrical parameters of the electric grain machine of drum type.



УДК 66.15.23

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОМАСООБМІННИХ ПРОЦЕСІВ

Шандиба О.Б., к.т.н.*,

Артюхова Н.О., к.т.н.*

Думанчук М.Ю., інженер

Річкаль Н.М., інженер

Сумський національний аграрний університет

**Сумський державний університет*

Телефон: +38(095)213-00-19

Анотація – в статті розглядається вплив технологічних факторів тепломасообмінних процесів на інтегральний показник їх енергоефективності. На прикладі сушіння показано оптимальні межі співвідношення витрат теплоносія та зернової сировини.

Ключові слова: тепломасообмінні процеси, енерговитрати, теплоносії, турбулізація, дисперсний матеріал, енергоефективність.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Тепломасообмінні процеси є найбільш розповсюдженими технологічними процедурами при очищенні, мийці, сушінні як поверхонь деталей, так і дисперсних матеріалів в багатьох галузях виробництва та побуті. В той же час, незважаючи на широке розповсюдження, процеси залишаються одними з найменш економічних, з точки зору, споживання енергоресурсів та небезпечними з екологічної точки зору[1,5].

Наприклад, зростання витрат потоку теплоносія з метою інтенсифікації процесу сушіння призводить до більш швидкого зростання енерговитрат, аніж швидкості сушіння, що проявляється у зменшенні питомої вологовіддачі одиничного обсягу теплоносія. Тому при деяких граничних значеннях швидкості теплоносія та ступеню його турбулізації, економічність такого методу інтенсифікації сушіння знижується. Природнім чином виникає потреба в підвищенні енергоефективності тепломасообміну в системі Т:Г по критерію питомих енерговитрат [1-3]. Аналогічна ситуація має місце і у випадку промивання дисперсних матеріалів в системі Т:Ж [4].

Приймаючи до уваги відому аналогію між тепло- та масообмінними процесами, на рис.1 показана теоретична залежність ефективності одноступеневого тепломасообмінного процесу від співвідношення тепломасообмінної та витратної характеристики, отримана для проми-

вання дисперсних матеріалів. В принципі такий же вигляд має і графік ефективності сушіння зернової сировини. Слід зауважити, що максимальний ефект одноступеневого тепломасообмінного процесу може бути досягнутий лише при оптимальному співвідношенні витратної та тепломасообмінної характеристик.

Формулювання цілей статті. Враховуючи диференційовану ефективність тепломасообмінних процесів по критерію енерговитрат для різних аерогідродинамічних режимів взаємодії потоків та конструктивних особливостей обладнання, мета роботи полягає у теоретичному обґрунтуванні вибору оптимального співвідношення витрат оброблюваного дисперсного матеріалу відносно сушильного або іншого поглинаючого агента.

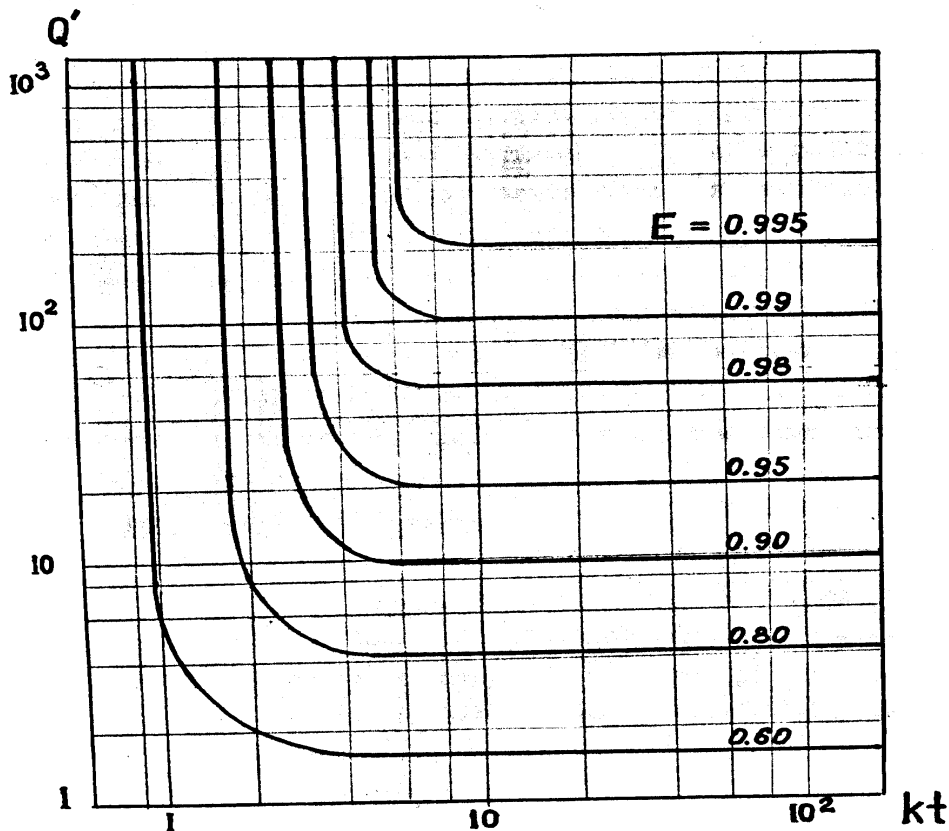


Рис. 1. Ефективність мийки в залежності від витратної Q' та масообмінної kt характеристики, де Q' - відношення витрат чистої води до гідравлічного виносу забруднення kt - добуток об'ємного коефіцієнта масовіддачі на час промивання

Основні матеріали дослідження. Для обґрунтування методики оптимізації будемо виходити з поширених, експериментально підтверджених залежностей між впливаючими технологічними та економічними факторами.

Так, питома вартість процесу сушіння складається з вартості енергоресурсу (сушильного агента) та експлуатаційних витрат, записаних у вигляді двочленної цільової функції [1]

$$F = (aV_c + B) / M, \quad (1)$$

де a – вартість енергоресурсу, грн/м³;
 V_c – витрати сушильного агента, м³/год;
 B – виробнича складова вартості продукту без витрат на сушіння, грн/год;
 M – продуктивність процесу по видаленій волозі, кг/годину.

Зрозуміло, що виробничий діапазон коливань співвідношення витрат сушильного агента до витрат вологого матеріалу V_c/V_m обмежується з одного боку, аеродинамічними умовами існування зваженого шару, а з іншого - швидкістю винесення найменших зернин (пилової фракції) продукту. В цьому ж діапазоні існує застереження, що недостатня кількість теплоносія на межі утворення зваженого шару може не забезпечити необхідну якість сушіння. Оптимізаційна задача, таким чином, полягає у визначенні мінімального співвідношення витрат теплоносія та дисперсного матеріалу в обмеженнях прийнятних техніко-економічних показників сушарки. Значення витрат сушильного агента, яке відповідає граничній швидкості (початок переходу матеріалу в зважений стан), в подальшому стає фактором оцінювання питомих енерговитрат.

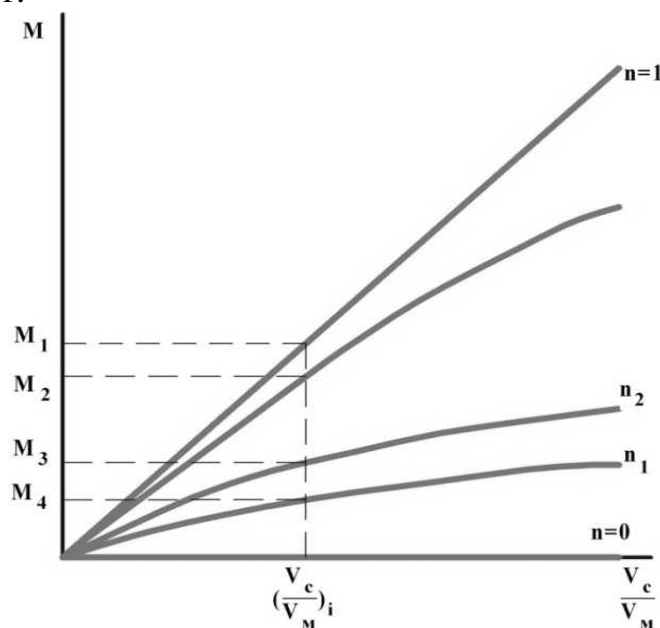


Рис. 2. Вплив співвідношення витрат повітря та дисперсного матеріалу V_c/V_m на кількість видаленої вологи в залежності від емпіричного показника n ($n_2 > n_1$)



Після цього, виходячи з найпростіших ступеневих критеріальних оцінок зв'язку ефективності видалення вологи з витратами теплоносія (рис.2) в зваженому шарі, можна оцінити питомі енерговитрати процесу сушіння.

Співставлення графічних залежностей на рис. 2 показує загальну тенденцію зменшення ефективності використання сушильного агента при збільшенні його відносних витрат. При цьому для кращих конструкцій сушарок властиві більш круті характеристики з більшими показниками $n \rightarrow 1$. Відповідно, використання повітря в неекономічних конструкціях ($n \rightarrow 0$) вкрай неефективне, збільшення його відносних витрат не дає очікуваного приросту кількості видаленої вологи, що графічно характеризується похилими кривими в нижній частині графіку. Слід зауважити, що подібний характер мають і ряд інших експериментальних залежностей, зокрема, гіперболічна чи експоненціальна, адекватність, яких після статистичної обробки, може бути не гірша за ступеневу функцію. Але, на даному етапі, нас цікавить визначення самої можливості загального підходу до оцінювання енергоефективності сушарок по питомим витратам, незважаючи на похибки тієї чи іншої апроксимації.

В найбільш загальних апроксимаціях зростання продуктивності сушіння по видаленій волозі (рис.3), показник ступеню звичайно не перевищує $n \leq 0,5$ для монодисперсних матеріалів з гладкою кулястою поверхнею та $n \leq 0,3$ для полідисперсних шорстких матеріалів з мінімальними обмеженнями внутрішньозернового перенесення вологи. Аналогічна тенденція зниження ефективності використання сушильного агента при збільшенні його витрат спостерігається і при сушінні частинок активним вентиляванням.

Використаємо вказані залежності для аналізу введеної раніше цільової функції (1), враховуючи пропорційність між масою видаленої вологи та відносними витратами енергоносія в ступені n .

$$M \sim V_{суш}^n. \quad (2)$$

Підставляючи залежність продуктивності M з виразу (2) в цільову економічну функцію питомих витрат (1), отримаємо

$$F = \frac{aV_{суш} + B}{V_{суш}^n} = aV_{суш}^{1-n} + BV_{суш}^{-n} \quad (3)$$

Мінімум функції питомих витрат досягається за умови

$$\frac{dF}{dV_{суш}} = 0,$$

або

$$a(1-n)V_{суш}^{-n} - BnV_{суш}^{-(1+n)} = 0.$$

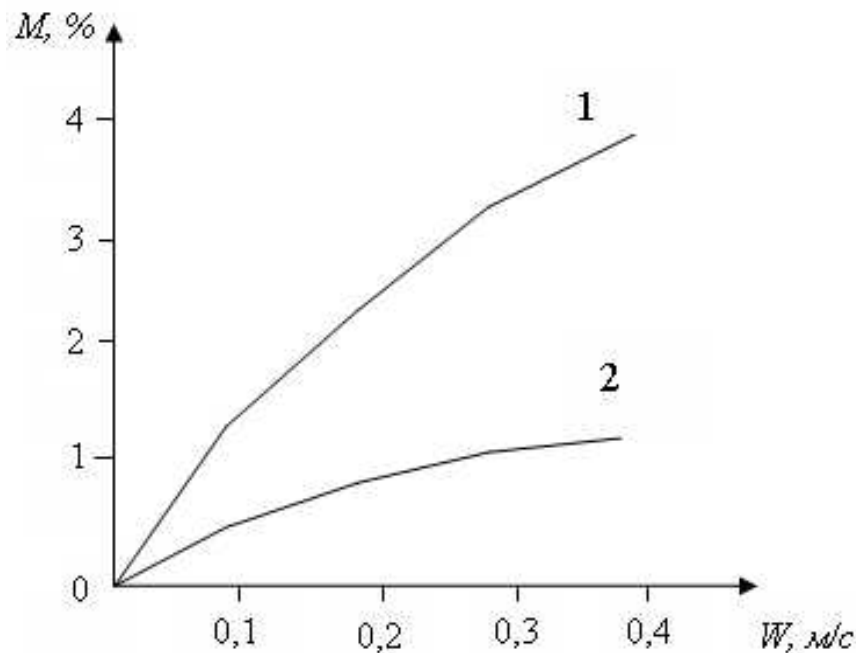


Рис. 3. Зниження відносної кількості вологи, що видаляється теплоносієм (повітрям) в залежності від його швидкості та початкової вологості матеріалу: 1 – 30% , 2 - 65%

Звідки після перетворень отримаємо значення мінімальних витрат теплоносія при фіксованих економічних параметрах a і B

$$V_{суш}^{-n}[a(1-n) - BnV_{суш}^{-1}] = 0,$$

або нехтуючи тривіальним коренем $V_{суш}^{-n} = 0$

$$V_{суш} = \frac{Bn}{a(1-n)}. \quad (4)$$

Реалізація подібної процедури оцінювання енергоефективності сушіння по витратам теплоносія при фіксованих температурних та вологісних характеристиках взаємодіючих фаз може мати практичне застосування. При цьому, наявність різного роду експериментальних технологічних апроксимацій для складових цільової функції дозволить знайти межі економічно обґрунтованого співвідношення витрат теплоносія та дисперсного матеріалу.

Конкретизація вартості енергоресурсу a , виробничої складової B та показника n ступеневої функції для визначеного типу дисперсного матеріалу і сушарки, робить можливим обчислення функції питомих витрат за формулою (3). Наприклад, для вартості енергоресурсу (нагрітого повітря) $a = 1,35$ грн/м³, експлуатаційних витрат $B = 0,8$ грн/год, $n = 0,53$ отримаємо функцію відносних питомих витрат у вигляді (рис.4) з характерним мінімумом, що відповідає найбільш економічній витраті сушильного агента згідно виразу (4).

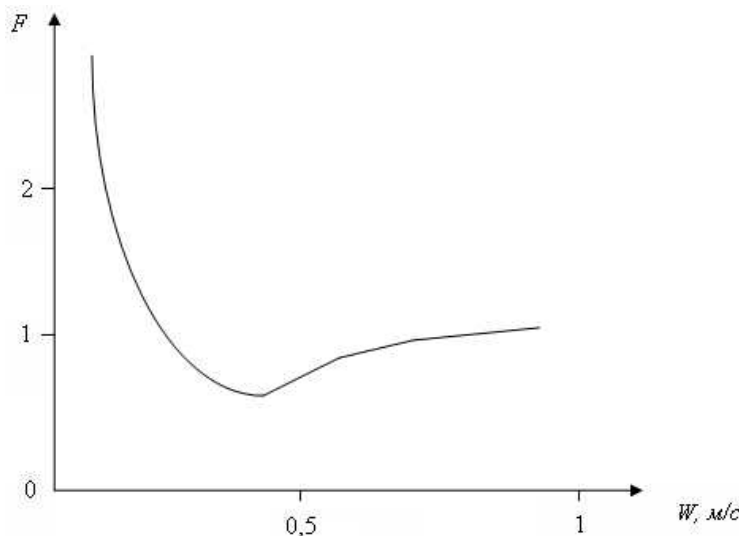


Рис. 4. Характерний вигляд функції питомих витрат

Використовуючи наведені дані розрахунку питомої вартості процесу сушіння поліпропілену в сушарках різних конструкцій, отримано результати, наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика енергоефективності процесу сушіння піску в апаратах різного типу*

Тип сушарки	Параметр n	Питома вартість видалення вологи, грн/кг
Полична сушарка	0,53	51,6
Сушарка зваженого шару	0,49	73,99
Пневмотранспортна сушарка	0,46	97,24
Стрічкова сушарка	0,43	129,93

* початкова вологість - 13% , кінцева - 7%, продуктивність - 1000 кг/год.

Висновок. Представлений в статті підхід до оптимізації технологічних параметрів тепломасообмінних процесів по узагальненим параметрам енергоефективності дозволяє спростити процедуру порівняння та вибору раціонального співвідношення витрат теплоносія та режимів його взаємодії з оброблюваним матеріалом.

Список використаних літературних джерел

1. *Артюхова Н.О.* Оценка энергетической эффективности многоступенчатой конвективной сушки концентратов и минерального сырья / *Н.О.Артюхова, О.Б. Шандиба, А.О.Артюхов* //Науковий Вісник НГУ, № 1(139). - 2014, С. 92-98.

2. *Артюхова Н.О.* Вплив організації руху сушильного агента на якість сушіння матеріалів у гравітаційних поличних апаратах /



Н.О. Артюхова, М.П. Юхименко // Наукові праці ОНАХТ. – Одеса. – 2012. – Випуск 41. – Т.2. – С. 233-237.

3. Станкевич Г.А. Своевременная сушка семян подсолнечника - залог их качества и сохранности / Г.А. Станкевич. - Сайт "Агроогляд: овощи и фрукты" [Электронный ресурс]: - Режим доступа: <http://www.lol.org.ua/>.

4. Shandyba A.B. Rational water consumption under multistage washing / A.B. Shandyba, D.N. Shpetny // Збірник праць XVII Міжнародного симпозиуму «Методи дискретних особливостей в задачах математичної фізики. (МДОЗМФ-2015). Харківський національний університет ім. Н.В. Каразіна, Сумський державний університет. Суми, 8-13 червня 2015 р. – С. 273-277.

5. Курпа М.Я. Оптимізація процесів оброблення і зберігання насіння кукурудзи та методи поліпшення його якостей. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора сільськогосподарських наук за спеціальністю 06.01.14 - насінництво. – Інститут рослинництва ім. В.Я. Юр'єва УААН, Харків, 2007.

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОМАССОБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Шандыба А.Б., Артюхова Н.А., Думанчук М.Ю., Ричкаль Н.Н.

Аннотация – в статье рассматривается влияние технологических факторов теплообменных процессов на интегральный показатель их энергоэффективности. На примере сушки показаны оптимальные границы соотношения затрат теплоносителя и высушиваемого зернового сырья.

ENERGY CONSUMPTION SAVING FOR MASS AND HEAT-TRANSFER PROCESSES

Shandyba A., Artykhova N., Dumanchuk M., Richkal N.

Summary

The article deals with the technological factors influence for the integral index of energy consumption saving. On the example of drying the optimal borders of the dispersion material are investigated.



УДК 631.53.027.34

БЛОК ФІЛЬТРАЦІЇ ЕЛЕКТРОННО-АКУСТИЧНОГО ПРИСТРОЮ ВИЗНАЧЕННЯ ЯКІСНИХ ОЗНАК БІООБ'ЄКТІВ

Яковлєв В.Ф., к.т.н.,

Стриж В.О., інженер,

Борищик Н.М., інженер

Сумський національний аграрний університет

Тел.: +38 (066) 414 75 01

Анотація - виходячи з аналізу проведених досліджень обґрунтовано параметри блоку фільтрування пристрою контролю якісних ознак біооб'єктів фіксованої геометричної форми, отримано теоретичні та експериментальні математичні моделі для резонансних частот, добротності та коефіцієнту передачі по напрузі наведеної схеми блоку фільтрації.

Ключові слова: активний фільтр, зворотній зв'язок, коефіцієнт передачі, дисперсія адекватності, критерій Стьюдента

Постановка проблеми. Важливим питанням під час реалізації сільськогосподарської продукції є забезпечення її якісних товарних показників у період зберігання та реалізації, що можливо при широкому впровадженні сучасних методів і технічних засобів експресного контролю параметрів продукції. До цих ознак відносять ступінь стиглості, наявність та глибина пошкоджень, наявність ураження хворобами, наявність та концентрація хімічних речовин, які не завжди можливо визначити лише за зовнішнім станом оболонки продукту. Найбільших витрат часу, зниження продуктивності викликає аналіз стану продукції в технологічному потоці, що, в свою чергу, призводить до збільшення собівартості продукції. Тому наукові дослідження, що направлені на створення технічних систем експресного неруйнівного контролю якісних ознак вище названих біооб'єктів в технологічному процесі є актуальними [1,4,6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналізуючи наведені в літературних джерелах результати досліджень, можна зробити висновок, що більшість з них хоча і мають глибокі теоретичні проробки, але вони пов'язані з особливостями конкретного пристрою, що не дозволяє уніфікувати підхід до питань проектування названих технічних систем. Наявні в літературних джерелах дослідження математичних моделей зазначених блоків, теоретичних передумов опису процесів

трансформації інформативного сигналу щодо визначення якісних ознак роздрібно, а в деяких випадках протилежні і недостатні для їх узагальнення та практичної реалізації [1,4,6]. Викладене вище дозволяє сформулювати основні задачі та принципи побудови названих блоків технічних засобів неруйнівного експресного контролю.

Мета статті. Обґрунтування параметрів схеми блоку фільтрації, що впливає на його вихідні характеристики, та встановлює відповідні закономірності, що визначають передумови проведення експериментальних досліджень, забезпечують відповідні умови проектування і технічної реалізації даних блоків та пристроїв контролю якісних ознак продуктів в технологічному потоці.

Основні матеріали дослідження. У раніше проведених дослідженнях [1,4,6] були отримані відповідні залежності вихідного сигналу біологічних об'єктів фіксованої геометричної форми різного ступеню стиглості при їх ударному збудженні. Були визначені резонансні частоти та коефіцієнти загасання для досліджуваних об'єктів. Задача полягає у розробці технічного засобу, який може із сукупності інформативних сигналів виділяти, з певною похибкою, необхідну частоту та коефіцієнт загасання для визначеного ступеню зрілості об'єкту. Цю функцію у пристрої контролю якісних ознак біологічних об'єктів виконує блок фільтрації (рис. 1).

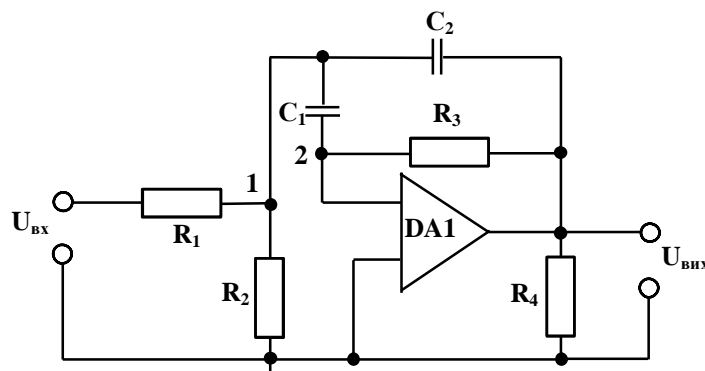


Рис. 1. Схема блоку фільтрації

Схема – активний **RC**-фільтр другого порядку [3,5], який зібрано на мікросхемі К153УД1. Основними характеристиками фільтру є ω_p – резонансна частота; Q – добротність; K_u – коефіцієнт підсилення на резонансній частоті. Вихідні характеристики, пов'язані з елементами схеми R_1 , R_2 , R_3 , C_1 , C_2 . По заданим границям відхилення параметрів елементів R_1 , R_2 , R_3 , C_1 , C_2 визначаються вихідні параметри фільтру ω_p , Q , K_u .

При побудові теоретичної моделі приймалися наступні припущення [2,3]: вхідний опір операційного підсилювача дорівнює нескін-



ченності так, як через ємність C_2 та опір R_2 проходить один і той же струм i_2 ; коефіцієнт підсилення операційного підсилювача (ОП) також дорівнює нескінченності так, як інверсний вхід ОП має нульовий потенціал, тобто $U_2 \approx 0$.

Згідно першого закону Кирхгофа для вузла 1 і якщо відомі напруги $U_{вх}$, $U_{вих}$ та у вузлах 1 і 2 (U_1 , U_2), то згідно закону Ома та з урахуванням прийнятих допущень, отримаємо

$$i_0 = i_1 + i_2 + i_3 = \frac{U_1 - U_{вих}}{Z_1} + \frac{U_1 - U_2}{Z_2} + \frac{U_1}{R_3} = \frac{U_{вих} - U_1}{R_1}, \quad (1)$$

де Z_1 , Z_2 – операторні опори ємностей C_1 , C_2 , тобто

$$Z_1 = \frac{1}{C_1 p}; \quad Z_2 = \frac{1}{C_2 p};$$

Використовуючи вираз (1) та з урахуванням прийнятих допущень і відповідних перетворень, отримаємо передаточну функцію фільтра в операторній формі

$$W(p) = \frac{U_{вих}}{U_{вх}} = \frac{\tau_2' p}{T^2 p^2 + 2\xi T p + 1}, \quad (2)$$

де τ_1 - постійна часу кола $R_1 C_1$, $\tau_1 = R_1 C_1$;

τ_2' - постійна часу диференціального кола з елементів R_1 , R_2 , R_3 ,

$$\tau_2' = \frac{\tau_2}{1 + \frac{R_1}{R_3}}; \quad \tau_2 = R_2 C_2; \quad T^2 = \tau_1 \tau_2'; \quad 2\xi T = \frac{\tau_1 + R_1 C_2}{1 + \frac{R_1}{R_3}}.$$

Із виразу (2) визначається амплітудно-частотна характеристика фільтра (рис. 2)

$$U(\omega) = |W(j\omega)| = \frac{\tau_2' \omega}{\sqrt{[1 - (\omega T)^2]^2 + 4\xi^2 (\omega T)^2}}, \quad (3)$$

Рішення рівняння: $\frac{dU(\omega)}{d\omega} = 0$, дає наступні значення коренів:

$\omega_1 = \omega_2 = -\omega_p; \quad \omega_p = \frac{1}{T}$. Так як на резонансній частоті $T\omega_p = 1$, то коефіцієнт передачі із (3) буде дорівнювати

$$K_u = U(\omega_p) = \frac{\tau_2' \omega_p}{2\xi} \quad (4)$$

Ширина полоси пропускання $\pm \Delta\omega$ визначається з урахуванням умови:

$$U(\omega_1) = U(\omega_2) = 0.7U(\omega_p) = \frac{\tau_2' \omega_p}{2\xi \cdot \sqrt{2}}, \quad (5)$$

або

$$\frac{\tau_2' \omega}{\sqrt{[1 - (\omega T)^2]^2 + 4\xi^2 (\omega T)^2}} = \frac{\tau_2' \omega_p}{2\xi \cdot \sqrt{2}}. \quad (6)$$

Із (6) отримаємо

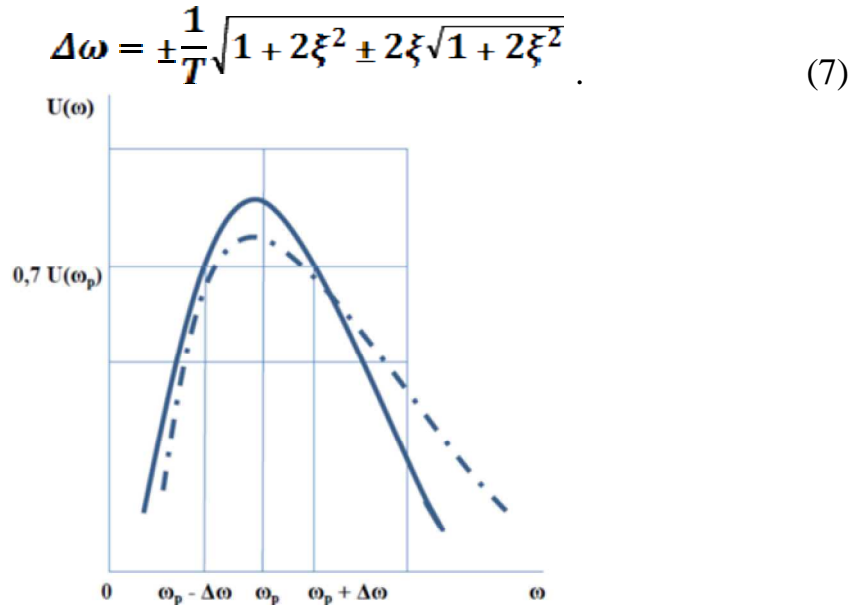


Рис. 2. Амплітудно-частотна характеристика блоку фільтрування:
 ———— - теоретична; - · - - - - експериментальна.

Крім того, на підставі проведення експерименту, було отримано емпіричну модель фільтру, тобто визначені залежності: $\omega_p = F \omega_D(R_1, R_2, R_3, C_1, C_2)$; $Q_p = F \omega_D(R_1, R_2, R_3, C_1, C_2)$; $K_u = F \omega_D(R_1, R_2, R_3, C_1, C_2)$.
 Схема експериментальної установки наведена на рисунку 3.

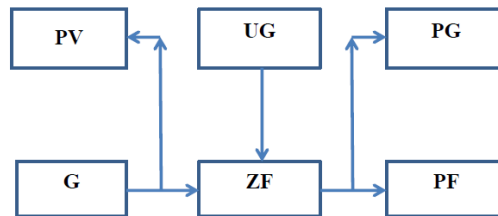


Рис. 3. Схема експериментальної установки для дослідження блоку фільтрування: PV – вольтметр; G – генератор синусоїдальних коливань; UG – джерело живлення; ZF – блок фільтрування; PG – осцилограф; PF – частотомір

В якості вихідних параметрів (відгуків) обрано: ω_p – резонансна частота; Q – добротність; K_u – коефіцієнт підсилення на резонансній частоті. Факторами є елементи схеми фільтру: R_1, R_2, R_3, C_1, C_2 . Умови експерименту згідно [2], тобто інтервали варіювання, основний та граничні рівні наведено у таблиці 1. Кодування факторів x_i проводилося за формулою

$$x_i = \frac{X_i - X_{i0}}{\Delta X} \quad (8)$$

де X_i – і-ий рівень і-ого фактору;

X_{i0} – основний рівень і-ого фактору;

ΔX – інтервал варіювання і-ого фактору



Таблиця 1 – Умови експерименту

Рівень	Фактори			
	$X_1=R_1$ кОм	$X_2=R_2$ кОм	$X_3=R_3$ кОм	$X_4=C_1=C_2=C$ пФ
Основний рівень,	10,0	2,5	400	280
Нижній рівень,	9,5	2,3	380	250
Верхній рівень,	10,5	2,7	420	310
Інтервал варіювання, ΔX	0,5	0,2	20	30
Кодоване позначення фактора, x_i	x_1	x_2	x_3	x_4

Для проведеного повнофакторного експерименту (ПФЕ 2^4) вихідне рівняння регресії має наступний вигляд

$$y = b_0x_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{14}x_1x_4 + b_{23}x_2x_3 + b_{24}x_2x_4 + b_{34}x_3x_4 + b_{123}x_1x_2x_3 + b_{124}x_1x_2x_4 + b_{134}x_1x_3x_4 + b_{234}x_2x_3x_4 + b_{1234}x_1x_2x_3x_4. \quad (9)$$

Матриця плану експерименту середнє значення відгуків наведено у таблиці 2.

Таблиця 2 – Матриця та результати плану ПФЕ 2^4

Номер досліджу	x_1	x_2	x_3	x_4	\bar{f}_p , Гц	\bar{Q}	\bar{K}_u
1	2	3	4	5	6	7	8
1	-	-	-	-	227,1	42,9	23,3
2	+	-	-	-	225,9	42,6	24,3
3	-	+	-	-	227,1	42,9	23,4
4	+	+	-	-	226,4	42,7	23,8
5	-	-	+	-	226,2	42,6	23,9
6	+	-	+	-	225,3	42,5	24,8
7	-	+	+	-	228,0	43,0	22,6
8	+	+	+	-	227,1	42,9	23,2
9	-	-	-	+	222,8	42,0	23,0
10	+	-	-	+	221,9	41,9	22,9
11	-	+	-	+	225,5	42,6	24,7
12	+	+	-	+	224,9	42,4	25,0
13	-	-	+	+	223,3	42,1	23,2
14	+	-	+	+	222,3	41,9	23,1
15	-	+	+	+	226,9	42,8	23,6
16	+	+	+	+	226,0	42,6	24,0
17	0	0	0	0	221,8	41,8	22,8



Розрахунки виконувалися за відомими наступними формулами:

1) середнє значення: , (10)

2) дисперсія:
$$s_u^2 = \frac{1}{(n-1)(\sum_{j=1}^n y_{uj}^2 - ny_u^2)}$$
 (11)

3) однорідність строкових дисперсій (критерій Кохрена):

$$G_p = \frac{s_{u \max}^2}{\sum_{u=1}^N s_u^2}, \quad (12)$$

4) дисперсія відтворюваності:

$$s_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N s_u^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{u=1}^N \frac{N(\sum_{j=1}^n y_{uj}^2 - ny_u^2)}{n}, \quad (13)$$

5) коефіцієнти рівняння регресії:

$$, \quad (14)$$

6) середньо квадратичне відхилення для і-ого коефіцієнту регресії:

$$s_{bi} = \frac{s_y}{\sqrt{nN}}, \quad (15)$$

7) критичне значення b-коефіцієнтів: ,(16)

8) дисперсія адекватності: , (17)

де \bar{y}_u -построкові середні;

y_{ui} - значення відгуку і-ого досліді;

$s_{u \max}^2$ - максимальне значення із построкових дисперсій;

N - кількість дослідів;

n - кількість повторів дослідів;

x_{ui} - значення фактору в і-ому досліді;

s_y - помилка досліді;

s_u^2 - построкова дисперсія і-ого досліді;

$t_{\text{табл}}$ - табличне значення розподілу Стюдента.

Виключивши статистично незначущі коефіцієнти із рівняння регресії (9), отримуємо кінцеві рівняння регресії для резонансної частоти

$$f_p = 3190 - 6,5x_1 - 141,6x_2 - 75,2x_3 - 177,7x_4 +$$



$$+3,8x_2x_3 + 8,3x_2x_4 + 2,9x_3x_4, \quad (18)$$

для добротності

$$Q = 30,2 + 2,95x_2 - 1,58x_3 - 3,95x_4 - 0,89x_1x_2 - \\ -1,44x_2x_4 + 1,24x_3 + 0,64x_1x_2x_4, \quad (19)$$

для коефіцієнта передачі на резонансній частоті

$$K_{11} = 20,0 - 2,75x_1 + 2,54x_2 + 1,02x_3 + \\ + 0,66x_1x_2 + 0,37x_2x_4 + 0,80x_1x_2x_4. \quad (20)$$

Висновок. Проведені теоретичні та експериментальні дослідження свідчать про те, що отримані емпіричні та теоретичні математичні моделі запропонованого фільтру можуть бути використані для кількісної оцінки впливу відхилення параметрів фільтру на його вихідні характеристики та для оптимізації фільтру по любому із вихідних параметрів.

Список використаних джерел

1. *Іноземцев Г.Б.* Застосування акустичних технологій в аграрному виробництві : Навчальний посібник / *Г.Б. Іноземцев, В.Ф. Яковлев, В.В. Козирський.* – К.: ТОВ «Аграр Медіа Груп», 2013 – 171 с.

2. *Технологія наукових досліджень енергетичних систем в аграрному виробництві: Навчальний посібник. / Г.Б. Іноземцев, В.В.Козирський. За редакцією Г.Б. Іноземцева.* – К.: ТОВ «Аграр Медіа Груп», 2011. – 198 с.

3. *Квітка С.О.* Електроніка та мікросхемо техніка: навчальний посібник / *С.О. Квітка, В.Ф. Яковлев, О.В. Нікітіна;* за ред. проф. *В.Ф. Яковлева.* – Суми: «Сумський національний аграрний університет», 2012. – 285 с.

4. *Яковлев В.Ф.* Визначення якості сільськогосподарської продукції методом акустичної емісії / *В.Ф. Яковлев*// Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. Випуск 164 “Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України.- Харків: ХНТУСГ. - 2015.- С.75 - 77.

5. *Аксенов А.И.* Отечественные полупроводниковые приборы / *А.И. Аксенов, А.В. Нефедов* // 5-е изд., доп. и испр. – М.: СОЛОН-Пресс, 2005. – 584 с.

6. *Kontrola jakosci owocow V.F. Jakovlev, A.N. Terechov* (Tavrijskaja Derčavna Agrotehnična Arademija w. Melitopolu (Ukraina). Ekologiczne aspekty, mechaniracjii nawożenia ochrony roślin i uprawy gleby: 111 Miedzynarodowe sympozjum /Instytut Budownictwa Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa Warszawa, 25 wrzesnia 1996 s.231-235.



БЛОК ФИЛЬТРАЦИИ ЭЛЕКТРОННО-АКУСТИЧЕСКОГО ПРИБОРА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАЧЕСТВЕННЫХ ПРИЗНАКОВ БИООБЪЕКТОВ

Яковлев В.Ф., Стриж В.А., Борищик Н.Н.

Аннотация - на основе проведенных исследований обоснованы параметры блока фильтрации устройства контроля качественных признаков биологических объектов фиксированной геометрической формы, получены теоретические и экспериментальные математические модели для резонансных частот, добротности и коэффициента передачи по напряжению приведенной схемы блока

BLOCK OF FILTRATION OF THE ELECTRON ACOUSTIC INSTRUMENT FOR THE DETERMINATION OF QUALITATIVE SIGNS OF BIOLOGICAL PROJECTS

V. Yakovlev, V. Strizh, N. Borishchik

Summary

On the basis of studies substantiated the parameters of the filtration unit of the control device of the qualitative features of biological objects of a fixed geometric shape, the theoretical and experimental mathematical model for the resonant frequencies, a factor and transmission coefficient voltage reduced block diagrams



УДК 631.517

ЕЛЕКТРОМОБІЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ ЗАСІБ ДЛЯ ОБРОБКИ ГРУНТУ ПРИСАДИБНИХ ДІЛЯНОК

Яковлєв В.Ф., к.т.н.,

Приходько М.С., інженер

Сумський національний аграрний університет

Тел.: 0957897166

Анотація - наведено результати теоретичних та експериментальних досліджень по встановленню залежності продуктивності електромобільного технічного засобу від фізико-механічних властивостей ґрунту та параметрів робочого органу, робота якого передбачена в умовах захищеного ґрунту. На підставі проведених експериментів отримано регресійну модель, яка може бути використана для виконання необхідних розрахунків та визначення передумов проведення подальших експериментальних досліджень і технічної реалізації агрегату.

Ключові слова: електромобільний пристрій, електромобіль, регресійний аналіз, трьох факторний експеримент, критерій Кохрена, критерій Фішера.

Постановка проблеми. Поліпшення праці людини шляхом механізації та автоматизації технологічних процесів є одним із важливих питань сьогодення. Обробіток закритого ґрунту та присадибних ділянок є одним з найбільших трудомістких сільськогосподарських процесів, тому що на земельній присадибних ділянці розташована велика кількість дерев, кущів, споруд та різних конструкцій, що унеможливають використання громіздких агрегатів. Окрім спусування землі потрібно вносити добрива, а також якісно обробляти ґрунт для кращого врожаю з меншої площі землі, що є найбільш актуальним в умовах захищеного ґрунту та присадибних ділянках. Використання на сьогоднішній день агрегатів на пальному є достатньо витратними так, як для таких агрегатів потрібні дизельне або бензинове паливо, моторна та трансмісійна олива, яку потрібно міняти через певну кількість мотогодин, значні витрати часу на технічне обслуговування. Крім того, вони є пожежо- та екологічно небезпечні, достатньо металоемні. Для механізації трудомістких процесів у тепличному овочівництві та на земельних присадибних ділянках немаловажне значення має вибір приводного засобу для агрегування мобільних машин і

знарядь, в тому числі і ґрунтообробних. Одним із перспективних напрямів є застосування електроприводу для мобільної ґрунтообробної техніки, що дозволить значно зменшити енерговитрати на виконання технологічних операцій, знизити металоємкість агрегатів, знизити витрати часу на їх обслуговування. Тому наукові дослідження, які направлені на створення технічних засобів, які використовують в якості енергоносія електричну енергію, є актуальними [2,3,4,5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз наведених в джерелах інформації результатів досліджень свідчить проте, що більшість з них хоча і мають глибокі теоретичні проробки, але вони пов'язані з особливостями того чи іншого конкретного агрегату, які не дозволяють узагальнити підхід до питань проектування названих технічних засобів. Налічувані в літературних джерелах свідчення по дослідженню продуктивності технічного засобу від фізико-механічних властивостей ґрунту та параметрів робочого органу, що забезпечує мінімальні енерговитрати при виконанні технологічного процесу роздрібнені, а порою є протилежними і недостатніми для їх узагальнення та практичної реалізації [2,3,4,5]. Викладене вище визначає мету та основні задачі досліджень і дозволяє сформулювати основні принципи побудови названих технічних засобів [1].

Формулювання цілі статті. Робота направлена на встановлення залежності продуктивності електромобільного технічного засобу від фізико-механічних властивостей ґрунту (вологість ґрунту) та параметрів робочого органу (швидкість обертання та кута атаки ріжучого ножа).

Основні матеріали досліджень. Електромоблок (Рис. 1а) складається з рами (1), на якій знаходяться: два двигуни з обох боків агрегату, розподіляючи свою вагу симетрично (2); рукоятка, яка закріплюється в двох місцях гвинтами (3); механізм глибини розпушування ґрунту; блок з магнітним пускачем та тепловим реле (4); дві стійки (5), на яких кріпляться робочі органи (7); редуктор з ланцюговою передачею зусилля(6).

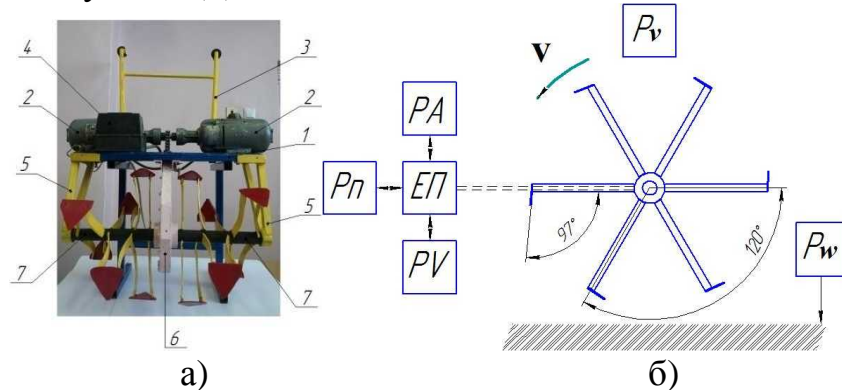


Рис. 1. Електромоблок: а - загальний вид; б - схема експериментальної установки



Двигуни з'єднані між собою конусним валом, у центрі якого знаходиться шестерня з малою кількістю зубців для зменшення передавального числа. Двигуни електромоблоку запускаються за рахунок кнопки керування на ручці агрегату, яка вмикає магнітний пускач, що подає напругу на двигуни. Двигуни з'єднані одним валом і працюють в одному напрямку, за рахунок зміни кута фаз. Робочий орган має вигляд горизонтального вала з закріпленими на ньому робочими елементами. При натисканні на кнопку на ручці керування, подається напруга на котушку магнітного пускача, що в свою чергу замикає силові контакти та подає живлення на двигуни. Двигуни через ланцюгову передачу приводять в рух робочий орган агрегату. На рисунку 1 б наведено схема експериментальної установки.

Продуктивність агрегату Q (вихідний параметр (відгук) залежить від наступних факторів: вологість ґрунту w , кута атаки ріжучого ножа φ , швидкість обертання робочого органу v . Умови експерименту згідно [1], тобто інтервали варіювання, основний та граничні рівні наведено у таблиці 1. Кодування факторів x_i проводилося за формулою

$$x_i = X_{i0} + \Delta X \cdot \frac{X_i - X_{i0}}{X_{i1} - X_{i0}}, \quad (1)$$

де X_i - і-ий рівень і-ого фактору;
 X_{i0} - основний рівень і-ого фактору;
 ΔX - інтервал варіювання і-ого фактору

Таблиця 1 – Умови експерименту

Рівень	Фактори		
	φ	$w, \%$	$v, \text{об/хв}$
Основний рівень	5	45	100
Нижній рівень	3	30	60
Верхній рівень	7	60	140
Інтервал варіювання, ΔX	2	15	40
Кодоване позначення фактора, x_i	x_1	x_2	x_3

Для проведеного повнофакторного експерименту (ПФЕ 2^3) прийняте вихідне рівняння регресії першого порядку має наступний вигляд

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3 + b_{123} x_1 x_2 x_3 \quad (2)$$

де $b_0, b_1, b_2, \dots, b_k$ – коефіцієнти рівняння.

Матриця плану експерименту та середнє значення відгуків наведено у таблиці 2.



Таблиця 2 - Матриця плану для трьох факторів в кодованих змінних

Номер досліджу	Фактори та їх взаємодія								Відгук					
	x_0	x_1	x_2	x_3	x_{12}	x_{13}	x_{23}	x_{123}	y_1	y_2	y_3	\bar{y}	S_i^2	\hat{y}
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	8,0	8,1	8,0	8,03	0,0034	8,21
2	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	8,2	8,5	8,6	8,43	0,0043	8,45
3	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	8,6	8,1	9,0	8,56	0,2	8,49
4	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	9,0	8,7	8,9	8,86	0,023	8,73
5	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	8,7	8,9	8,8	8,8	0,01	8,59
6	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	9,0	8,6	8,8	8,8	0,04	8,83
7	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	8,8	8,4	9,1	8,76	0,123	8,87
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	9,2	8,9	9,0	9,03	0,023	9,11

Розрахунки виконувалися за відомими наступними формулами:

1) середнє значення $\bar{y}_u = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_{uj}$ (3)

2) дисперсія $s_u^2 = \frac{1}{(n-1)(\sum_{j=1}^n y_{uj}^2 - n\bar{y}_u^2)}$ (4)

3) однорідність строкових дисперсій (критерій Кохрена)

$$G_p = \frac{s_u^2 \max}{\sum_{u=1}^N s_u^2} \quad (5)$$

4) дисперсія відтворюваності

$$s_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N s_u^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{u=1}^N \frac{N(\sum_{j=1}^n y_{uj}^2 - n\bar{y}_u^2)}{n} \quad (6)$$

5) коефіцієнти рівняння регресії

$$b_i = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N x_{iu} \bar{y}_u = \frac{1}{\sum_{u=1}^N x_{iu}^2} \sum_{u=1}^N x_{iu} \bar{y}_u \quad (7)$$

6) середньо квадратичне відхилення для і-ого коефіцієнту регресії

$$s_{bi} = \frac{s_y}{\sqrt{nN}} \quad (8)$$

7) критичне значення b-коефіцієнтів

$$b_{кри} = s_{bi} t_{табл} \quad (9)$$



8) дисперсія адекватності

$$s_{ад} = \frac{1}{N-1} n \sum_{u=1}^N (\bar{y}_u - y_u)^2 \quad (10)$$

- де \bar{y}_u - построккові середні;
- значення відгуку і-ого дослід;
 $s_{u\ max}^2$ - максимальне значення із построккових дисперсій;
 N - кількість дослідів;
 n - кількість повторів дослідів;
- значення фактору в і-ому досліді;
 s_y - помилка дослід;
 s_u^2 - построккова дисперсія і-ого дослід;
- табличне значення розподілу Стьюдента;

Виключивши статистично незначущі коефіцієнти із рівняння регресії (2) отримуємо кінцеві рівняння регресії для продуктивності агрегату

$$y = 8,66 + 0,12x_1 + 0,14x_2 + 0,19x_3 \quad (11)$$

Висновки. Проведені теоретичні та експериментальні дослідження свідчать про те, що отримана регресійна модель, яка визначає залежність продуктивності електромобільного технічного засобу від фізико-механічних властивостей ґрунту та параметрів робочого органу, може бути використана для виконання необхідних розрахунків та визначення передумов проведення подальших експериментальних досліджень і технічної реалізації агрегату.

Список використаних джерел

1. *Іноземцев Г. Б.* Технологія наукових досліджень електроенергетичних систем в аграрному виробництві: Навчальний посібник / *Г. Б. Іноземцев, В. В. Козирський* - К.: ТОВ "АГРАР МЕДІА ГРУП", 2011. - 198 с.
2. *Купряшкин В. Ф.* Обоснование факторного пространства исследования активных рабочих органов самоходных почвообрабатывающих фрез (например фрезы ФС-0,85) [Текст] / *В. Ф. Купряшкин* // Повышение эффективности функционирования механических и энергетических систем. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та. 2009. – С. 391 – 394.
3. *Організація виробництва: [навчальний посібник]* / [Г.Є. Мазнев, С.М. Калініченко, І.С. Щербакова, О.В. Грідін]; за ред. Г.Є. Мазнева. – [вид. 2-ге випр. і доп.]. – Харків: Вид-во «Майдан», 2013. – 604 с.



4. Электрокультиватор характеристика та поради щодо вибору [Електронний ресурс]: - Режим доступу: <http://www.xpert.com.ua/electrokultuvator-haracterustuka.html>

5. Делаем сами самодельный электромоблок [Електронний ресурс]: - Режим доступу: <http://pro-motobloki.ru/samodelnyy-motoblok/206-delaem-sami-samodelnyy-elektromotoblok.html>

ЭЛЕКТРОМОБИЛЬНОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ СРЕДСТВО ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ ПРИУСАДЕБНЫХ УЧАСТКОВ

Яковлев В.Ф., Приходько М.С.

Аннотация - приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований по установлению зависимости производительности электромобильного технического средства от физико-механических свойств грунта и параметров рабочего органа, работа которого предусмотрена на приусадебных участках. На основании проведенных экспериментов получена регрессионная модель, которая может быть использована для выполнения необходимых расчетов и определение предпосылок проведения дальнейших экспериментальных исследований и технической реализации агрегата.

ELECTROMOBILE TECHNICAL MEANS FOR TILLAGE FARMLANDS

Yakovlev V., Prikhodko M.

Summary

The results of theoretical and experimental studies to establish the dependence of the performance of electromobile technical means of physical-mechanical properties of soil and parameters of the working body, which is provided on private land. On the basis of the experiments obtained a regression model that can be used to perform the necessary calculation and determination of prerequisites for further experimental research and technical implementation unit.



УДК 631.53.027.34

ПОХИБКИ ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ ВНУТРІШНІХ ПОШКОДЖЕНЬ БІООБ'ЄКТІВ АКУСТИЧНИМ МЕТОДОМ

Яковлєв В.Ф., к.т.н.

Сумський національний аграрний університет

Телефон: 066-145-58-62

Анотація. На підставі проведеного аналізу похибок визначення координат внутрішніх пошкоджень обґрунтовано вплив місця розташування перетворювачів при акустичній локації, запропоновані найбільш прийнятні методи розрахунку похибок, які пов'язані з відмінністю реального об'єкту від прийнятої його моделі при розрахунку координат пошкоджень, що надасть можливість підвищити точність пристроїв експресного неруйнівного контролю якості сільгосппродуктів при проектуванні

Ключові слова: акустичний сигнал, швидкість звуку, кут місця, зондуєчий імпульс, середня квадратична-радіальна похибка, лінія положення.

Постановка проблеми. Як було відмічено раніше, що одним із раціональних методів, які забезпечують експресний неруйнівний контроль наявності внутрішніх пошкоджень біологічних структур фіксованої геометричної форми, є метод акустичного зондування, який засновано на визначенні різниці часу надходження до приймачів відбитого зондуєчого сигналу від налічуваного пошкодження, його глибини залягання, форми та об'єму [1,2,6]. Але такий метод передбачає встановлення обмеженої кількості перетворювачів, які стаціонарно розташовані на досліджуваних біооб'єктах, що призведе до виникнення деяких методичних похибок при визначенні координат пошкоджень.

Тому наукові дослідження, які направлені на визначення методичних похибок при визначенні координат пошкоджень, їх класифікацію та вибір більш раціональних методів вимірювань, що дозволяють значно знизити методичні похибки при проектуванні і надає можливість підвищити точність пристроїв експресного неруйнівного контролю якості сільгосппродуктів, є актуальними [1, 2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У попередніх теоретичних дослідженнях було обґрунтовано та сформульована задача можливості застосування акустичного методу по визначенню координат



нат внутрішніх пошкоджень біологічних структур фіксованої геометричної форми, складена система вихідних рівнянь, наведено рішення цієї задачі при вільному розташуванні обмеженої кількості перетворювачів [3]. Визначення координат пошкоджень за допомогою обмеженої кількості перетворювачів, які стаціонарно розташовані на біологічному об'єкті, є однією із основних переваг методу неруйнівного контролю на основі акустичного зондування. Але при цьому виникають деякі методичні похибки, які впливають на точність вимірювань координат пошкоджень, що пов'язані з відмінністю реального об'єкту від прийнятої його моделі. Зменшення впливу методичних похибок при вимірюваннях є однією із основних завдань при проектуванні технічних засобів контролю якості сільгосппродуктів. Наведені в джерелах інформації, результати досліджень свідчать проте, що більшість з них хоча і мають глибокі теоретичні проробки, але вони пов'язані з особливостями того чи іншого конкретного пристрою, які не дозволяють узагальнити підхід до питань проектування названих технічних систем.

Викладене вище визначає мету та основні задачі досліджень і дозволяє сформулювати основні принципи побудови названих технічних засобів неруйнівного експресного контролю.

Формулювання цілі статті. Проведення аналізу похибок визначення координат внутрішніх пошкоджень та вплив на їх кількісні значення місця розташування перетворювачів при акустичній локації.

Основні матеріали дослідження. Визначення координат пошкоджень за допомогою обмеженого числом перетворювачів, стаціонарно розташованих на біологічних об'єктах фіксованої геометричної форми, є одним з основних переваг методів неруйнівного контролю на основі акустичного зондування. Але, при цьому, можливе виникнення деяких методичних похибок у визначенні координат, які можна розділити на наступні основні групи : пов'язані з непрямим характером визначення координат; пов'язані з особливостями методу акустичного зондування і обробки сигналів; пов'язані з відмінністю реального об'єкту контролю від прийнятої його моделі [3, 4, 5].

Одним з методів визначення місцезнаходження пошкодження є метод гіперболічного перетину або, так званих, ліній положення [3,4]. В даному випадку, для характеристики розташування перетворювачів зручно вибрати координати точки установки основного перетворювача Π_1 , а кожен додатковий i -й перетворювач характеризувати базою (рис. 1)

$$\Gamma_{\Pi} = \frac{c^2 (\tau_i^2 - \tau_j^2)}{2R \cdot \sin \alpha_{\Pi} (\sin \theta_{\Pi} - \cos \theta_{\Pi})}, \quad (1)$$

$$\mathbf{r}_i = (\mathbf{X}_i + \mathbf{Y}_i + \mathbf{Z}_i)^{\frac{1}{2}}, \quad (2)$$

і кутами місця:

$$\Theta_n = \arccot \left[\frac{\tau_1^2 + \tau_j^2 - 2\tau_i^2}{\tau_1^2 - \tau_j^2} \right] \quad (3)$$

$$\alpha_n = \arccot (a \cdot \sin \Theta_n - b \cdot \cos \Theta_n) \quad (4)$$

де $a = c^2 [(\tau_k^2 - \tau_j^2) \cdot \sin \Theta_{ij} \cdot \cos \Theta_{ik} + (\tau_i^2 - \tau_k^2) \cdot \sin \Theta_{ij} \cdot \cos \Theta_{ik} - (\tau_i^2 - \tau_j^2) \cdot \sin \Theta_{ik} \cdot \cos \Theta_{jk}]$ (5)

$$b = c^2 [(\tau_k^2 - \tau_j^2) \cdot \sin \alpha_i \cos \Theta_i - [(\tau_i^2 - \tau_k^2) \cdot \sin \alpha_j \cos \Theta_j - [(\tau_i^2 - \tau_j^2) \cdot \sin \alpha_k \cos \Theta_k]]$$
 (6)

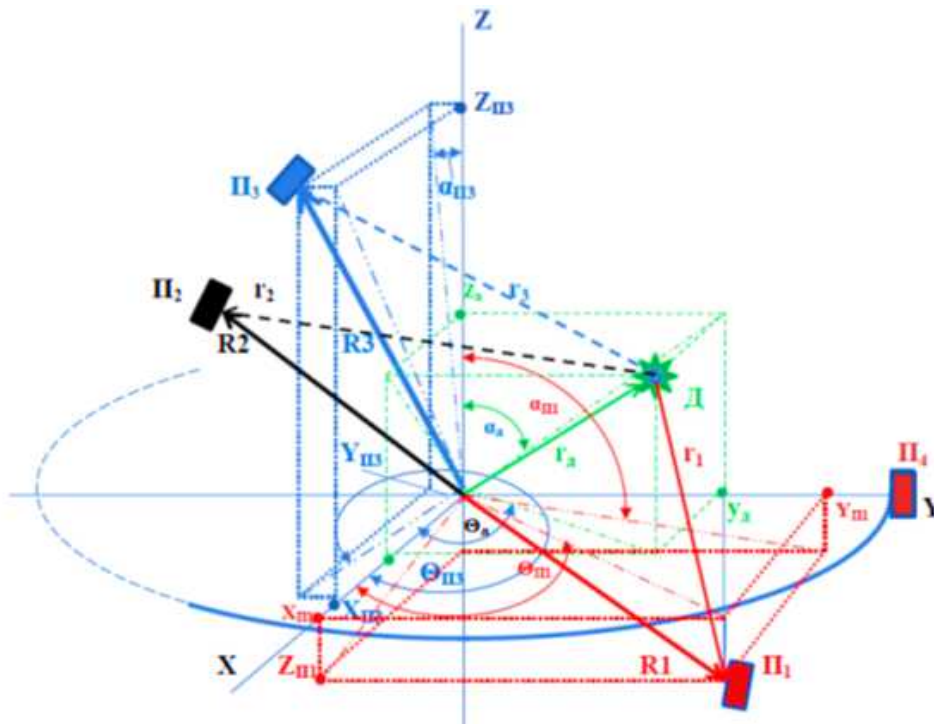


Рис. 1. Розрахункова модель для визначення координат розташування пошкодження методом ліній положення

При цьому, середня квадратична похибка визначення лінії положення

$$Y_{pi} = \frac{Y_{ni}}{g_i}, \quad (7)$$

де Y_{ni} - середня квадратична похибка виміру параметра, який визначає і-ю лінію положення;

g_i - модуль градієнта функції, який характеризує лінію положення.



Середня квадратична радіальна похибка визначення положення об'єкту по двох лініях положення

$$Y_r = \frac{\sqrt{Y_{pi}^2 + Y_{pj}^2}}{\sin \alpha_{ij}}, \quad (8)$$

де α_{ij} - кут перетину ліній положення.

При використанні великої кількості (n) незалежних ліній положення

$$Y_r = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{Y_{pi}^2}{\sin^2 \alpha_{i,i+1}}}, \quad (9)$$

де $\alpha_{i,i+1}$ -кути перетину відповідних ліній положення в точці знаходження об'єкту.

Параметром, що визначає лінію положення, є часова затримка

$$Y_{ni} = Y_{ti} \cdot c, \quad (10)$$

де Y_{ti} - середня квадратична похибка виміру часової затримки;

c - швидкість звуку в матеріалі, м/с

Враховуючи, що функція, яка характеризує лінію положення, має вигляд

$$(r_i - r_n), \quad (11)$$

Модуль градієнту цієї функції

$$g(r_i - r_n) = 2 \sin \frac{\theta_i}{2}, \quad (12)$$

де θ_i - кут, під яким з точки пошкодження видно базу перетворювача (рис. 1). Тоді

$$Y_{pi} = \frac{Y_{ti} \cdot c}{2 \sin \frac{\theta_i}{2}}. \quad (13)$$

При використанні мінімально необхідної кількості перетворювачів і однакових похибках



$$\gamma_{p1} = \gamma_{p2} = \gamma_{p3} = \gamma_{pi}. \quad (14)$$

середня квадратична радіальна похибка буде мати вид

$$\gamma_r = \frac{\sqrt{2}\gamma_p}{\sin\alpha_{ij}}. \quad (15)$$

Для трьох незалежних ліній положення ($i=2, 3, 4$) за вказаних умов

$$\gamma_r = \frac{\sqrt{3}\gamma_p}{\sqrt{\sin^2\alpha_{ij} + \sin^2\alpha_{jk} + \sin^2\alpha_{ik}}}, \quad (16)$$

причому: $\alpha_{ij} + \alpha_{jk} + \alpha_{ik} = 2\pi$

Друга група методичних погрішностей обумовлена особливостями сигналів акустичного зондування, викликаних реальними дефектами, і принципами побудови вимірювальної апаратури.

Висновки. Проведені теоретичні дослідження свідчать про те, що радіальна похибка локації пошкодження буде мінімальною, якщо: взаємне розташування перетворювачів забезпечить максимум площі контакту робочої області перетворювача з контрольованим об'єктом; взаємне розташування перетворювачів знаходитиметься в тій частині об'єкту, де розташовані лінії мінімальної рівної похибки.

Список використаних джерел

1. *Іноземцев Г.Б.* Застосування акустичних технологій в аграрному виробництві : Навчальний посібник / *Г.Б. Іноземцев, В.Ф. Яковлев, В.В. Козирський.* – К.: ТОВ «Аграр Медіа Груп», 2013 – 171 с.

2. *Яковлев В.Ф.* Визначення координат внутрішніх пошкоджень біологічних структур фіксованої геометричної форми акустичним методом/ *В.Ф. Яковлев* / Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. Випуск 175“Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України .- Харків: ХНТУСГ. - 2016.- С 97-99.

3. *Грешников В.А.* Акустическая эмиссия. Применение для испытаний материалов и изделий / *В.А. Грешников, Ю.В. Дробот* – М.: Изд-во стандартов, 1976 – 272с.

4. *Горшков А.Г.* Нестационарная аэрогидроупругость тел сферической формы / *А.Г. Горшков, Д.В. Тарлаковский.* – М.: Наука, 1990–264 с.

5. *Іноземцева Г.Б.* Технологія наукових досліджень енергетичних систем в аграрному виробництві: Навчальний посібник. / *Г.Б. Іно-*



земцев, В.В.Козирський. За редакцією Г.Б. Іноземцева. – К.: ТОВ «Аграр Медія Груп», 2011. – 198 с.

6. Kontrola jakości owoców V.F. Jakovlev, A.N. Terechov (Tawrijskaja Derśavna Agrotechnična Arademija w. Melitopolu (Ukraina). Ekologiczne aspekty, mechanizacji nawożenia ochrony roślin i uprawy gleby: 111 Miedzynarodowe sympozjum /Instytut Budownictwa Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa Warszawa, 25 wrzesnia 1996 s.231-235.

ПОГРЕШНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ВНУТРЕННИХ ПОВРЕЖДЕНИЙ БИООБЪЕКТОВ АКУСТИ- ЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Яковлев В.Ф.

Аннотация – на основе проведенного анализа погрешностей определения координат внутренних повреждений обосновано влияние места расположения преобразователей при акустической локации, предложены наиболее рациональные методы расчета погрешностей, которые связаны с отличием реального объекта от принятой его модели при расчете координат повреждений, что дает возможность повысить точность устройств экспрессного неразрушающего контроля качества сельхозпродуктов при проектировании.

THE ERRORS OF DETERMINATION OF COORDINATES INTERNAL DAMAGE OF BIOLOGICAL OBJECTS BY ACOUSTIC METHOD

Yakovlev V.

Summary

On the basis of the conducted analysis of errors of definition of coordinates of internal damage based on the impact of the location of the acoustic transducers at the locations proposed by the most rational methods of calculation of errors associated with the difference of a real object from that adopted its model in the calculation of the coordinates of the damage that gives you the opportunity to improve the accuracy of the devices for rapid non-destructive quality control of agricultural products in the design.