

№ держреєстрації: 0116U002726

Міністерство освіти і науки України  
Таврійський державний агротехнологічний університет  
72310, Запорізька обл., м. Мелітополь, пр. Б.Хмельницького, 18  
Тел. (0619)42-06-94

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

директор НДІ МЗПУ

д.т.н. \_\_\_\_\_ В.Т. Надикто

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 р.

**ЗВІТ**

**ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ**

(проміжний січень 2018 – грудень 2018)

Програма 5: «Ресурсоенергозберігаючі режими передачі і перетворення енергії в агропромисловому комплексі»

Підпрограма 5.1: «Ресурсоенергозберігаючі експлуатаційні режими роботи силового електрообладнання, енергозберігаючі біотехнічні системи»

Завідувач відділу: \_\_\_\_\_ д.т.н. В.Т. Діордієв

Завідувач лабораторії: \_\_\_\_\_ к.т.н. С.О. Квітка

2018

Результати роботи розглянуто НТР

Протокол № \_\_\_\_ від « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 р.

**СПИСОК АВТОРІВ**

К.т.н., доцент	Розділ 5.1.1
Квітка С.О.	Етап 5.1.1.3
К.т.н., доцент	Розділ 5.1.1
Вовк О.Ю.	Етап 5.1.1.3
К.т.н., доцент	Розділ 5.1.1
Курашкін С.Ф.	Етап 5.1.1.3
Асистент	Розділ 5.1.1
Стребков О.А.	Етап 5.1.1.3
Магістр	Розділ 5.1.1
Квітка О.С.	Етап 5.1.1.3
К.т.н., доцент	Розділ 5.1.2
Нестерчук Д.М.	Етап 5.1.2.3
К.т.н., доцент	Розділ 5.1.2
Попова І.О.	Етап 5.1.2.3
Ст. викладач	Розділ 5.1.3
Ковальов О.В.	Етап 5.1.3.3
К.т.н., доцент	Розділ 5.1.4
Постнікова М.В.	Етап 5.1.4.3
К.т.н., доцент	Розділ 5.1.5
Попрядухін В.С.	Етап 5.1.5.3
Асистент	Розділ 5.1.5
Речина О.М.	Етап 5.1.5.3

## ЗМІСТ

РОЗДІЛ 5.1.1 Розробка ресурсозберігаючих пристроїв контролю і захисту силового електрообладнання.

Етап 5.1.1.3 Розробка пристрою діагностування додаткового теплового зношення ізоляції асинхронних електродвигунів. 4

РОЗДІЛ 5.1.2 Розробка та удосконалення системи прогнозування, моніторингу та захисту силового електрообладнання.

Етап 5.1.2.3 Розробка алгоритму функціонування системи прогнозування, моніторингу та захисту трифазних асинхронних електродвигунів. 15

РОЗДІЛ 5.1.3 Розробка та удосконалення енергозберігаючої електромеханічної системи обробітку ґрунту.

Етап 5.1.3.3 Обґрунтування енергозберігаючих режимів роботи електромеханічної системи обробки ґрунту. 30

РОЗДІЛ 5.1.4 Розробка та обґрунтування енергозберігаючих режимів роботи обладнання на підприємствах зберігання та обробки зернових культур.

Етап 5.1.4.3 Виробничі дослідження по використанню енергозберігаючих режимів роботи електромеханічних систем елеваторів. 46

РОЗДІЛ 5.1.5 Розробка енергозберігаючих біотехнічних систем у рослинництві та тваринництві.

Етап 5.1.5.3 Обґрунтування немедикаментозного методу лікування ендометриту тварин за допомогою інформаційного ЕМП НВЧ діапазону. 65

## **РОЗДІЛ 5.1.1**

### **РОЗРОБКА РЕСУРСОЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ПРИСТРОЇВ КОНТРОЛЮ І ЗАХИСТУ СИЛОВОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ**

**Етап 5.1.1.3** Розробка пристрою діагностування додаткового теплового зношення ізоляції асинхронних електродвигунів.

#### **ВИКОНАВЦІ**

к.т.н., доцент

к.т.н., доцент

к.т.н., доцент

асистент

магістр

Квітка Сергій Олексійович

Вовк Олександр Юрійович

Курашкін Сергій Федорович

Стребков Олександр Андрійович

Квітка Олександр Сергійович

## РЕФЕРАТ

Звіт з НДР 5.1.1.3: 11 с., 0 табл., 2 рисунків, 10 посилань.

АСИНХРОННИЙ ЕЛЕКТРОДВИГУН, ІЗОЛЯЦІЯ ОБМОТКИ, ЗНИЖЕННЯ НАПРУГИ, НАНТАЖЕННЯ, ТЕМПЕРАТУРА ОБМОТКИ, ШВИДКІСТЬ ВИТРАТИ РЕСУРСУ.

Об'єкт дослідження: процеси додаткового теплового зношення ізоляції асинхронних електродвигунів при пуску.

Предмет дослідження: закономірності часу пуску асинхронного електродвигуна у функції показників експлуатаційних впливів та закономірності додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна у функції імпульсу квадрату пускового струму.

Мета роботи: підвищення експлуатаційної надійності асинхронних електродвигунів потокової технологічної лінії.

Методи досліджень: аналітичний та комп'ютерного моделювання процесу теплового зношення ізоляції асинхронних електродвигунів потокової технологічної лінії в Microsoft Excel.

В результаті проведених досліджень: отримано взаємозв'язок між часом пуску асинхронного електродвигуна і показниками експлуатаційних впливів; взаємозв'язок між додатковим тепловим зношенням ізоляції асинхронного електродвигуна та імпульсом квадрату пускового струму; запропоновано структурну схему пристрою діагностування додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором в післяпусковий період, використання якого дозволить суттєво зменшити додаткове теплове зношення ізоляції при аварійному пуску.

**ЗМІСТ**

ВСТУП .....	7
1 ПРОГРАМА ДОСЛІДЖЕНЬ .....	7
2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ .....	8
3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ .....	8
ВИСНОВКИ .....	12
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	13

## ВСТУП

В Україні існує народногосподарська проблема ресурсозбереження приводних електродвигунів у фермерських господарствах. Суть проблеми полягає в тому, що при електропостачанні фермерських виробничих приміщень часто спостерігається знижена напруга на електричних вводах в будівлі. Значне зниження напруги при пусках асинхронних електродвигунів може привести до зтяжних або нездійснених пусків, тобто до нераціонального використання ресурсу електродвигунів.

Причини існування проблеми: виробничі навантаження фермерських господарств не були враховані при проектуванні електричних мереж в сільській місцевості, так як фермерський рух з'явився значно пізніше часу, коли виконувалась електрифікація територій. Це привело до того, що часто побутові і виробничі навантаження підключені до однієї мережі.

Внаслідок вищезазначеного асинхронні електродвигуни приводу робочих машин піддаються негативним експлуатаційним впливам, в результаті чого вони перегріваються або взагалі не можуть запуститись в умовах зниженої напруги і виходять з ладу.

Значне зниження напруги при пуску асинхронних електродвигунів приводу робочих машин може привести до зтяжних або нездійснених пусків. Тому дослідження електромеханічних та теплових процесів при пуску приводних асинхронних електродвигунів при зниженій напрузі та розробка способу діагностування таких процесів представляє як теоретичний, так і практичний інтерес.

## 1 ПРОГРАМА ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Проаналізувати вплив параметрів системи «електродвигун – робоча машина» на електромеханічні і теплові перехідні процеси при пуску двигуна в умовах зниженої напруги.

1.2 Розробити пристрій діагностування додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором в післяпусковий період.

## 2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

Теплові процеси, які протікають в асинхронних електродвигунах потокової технологічної лінії під дією зниженої напруги живлення, було досліджено за допомогою двохелементної еквівалентної теплової схеми, у тілах якої виділяються постійні та змінні втрати потужності, із застосуванням диференціального вирахування і чисельного аналізу.

Електромеханічні процеси, які протікають в асинхронних електродвигунах потокової технологічної лінії під дією зниженої напруги живлення, було досліджено за допомогою ланізованої механічної характеристики електродвигуна та механічної характеристики робочої машини аналітичним методом.

## 3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Дослідження електромеханічних перехідних процесів при пуску приводних асинхронних електродвигунів було проведено для робочих машин з механічними характеристиками наступних категорій:

- незалежними від швидкості ( $x=0$ );
- лінійно-зростаючими ( $x=1$ );
- нелінійно-зростаючими ( $x=2$ ).

При цьому механічна характеристика асинхронного електродвигуна була лінеаризована на трьох основних ділянках: від нуля до мінімальної швидкості, від мінімальної швидкості до критичної і від критичної до номінальної. Крім того, було враховано як зміну моменту, який розвиває електродвигун при зниженні рівня напруги, так і залежність відповідного значення



кутової швидкості електродвигуна у функції кратності прикладеної напруги і коефіцієнту завантаження електродвигуна.

В результаті проведеного моделювання були отримано вирази для розрахунку часу розгону системи «електродвигун – робоча машина» на кожній з трьох ділянок розгону, які дозволили оцінити електромеханічний перехідний процес при пуску останнього з позиції ресурсозбереження.

Дослідження кількісної залежності часу розгону електродвигуна на кожній ділянці у функції параметра системи  $J/M_n$ , кратності прикладеної напруги  $k_U$  та коефіцієнту завантаження робочої машини  $k_z$  показало, що час пуску електродвигуна суттєво зростає при зменшенні прикладеної напруги. Крім того, встановлено, що на перевищення температури електродвигуна при пуску суттєво впливають як кратність прикладеної напруги, так і коефіцієнт завантаження при пуску. При цьому перевищення температури обмотки в кінці пуску перевищує номінальне значення, тобто спостерігається підвищена витрата ресурсу ізоляційної конструкції електродвигуна.

Дослідження процесу теплового зношення ізоляції при пуску показало, що тепловий перехідний процес в данному випадку є адіабатичним. Основне теплове зношення ізоляції припадає на післяпусковий період. Крім того, в післяпусковий період спостерігається додаткове теплове зношення ізоляції. Воно в значній мірі, залежить як від відношення моменту інерції системи «електродвигун – робоча машина» до номінального моменту електродвигуна, так й від кратності прикладеної напруги та коефіцієнту завантаження електродвигуна. Тому в якості критерію оцінювання витрати ресурсу ізоляції електродвигуна в післяпусковий період запропоновано додаткове теплове зношення ізоляції.

Отримано залежність додаткового теплового зношення ізоляції від імпульсу квадрату сили електричного струму електродвигуна, яка дозволяє кількісно обирати уставку імпульсу квадрату пускового струму пропонованого пристрою, який буде полегшувати пусковий режим електродвигуна (рис.1).

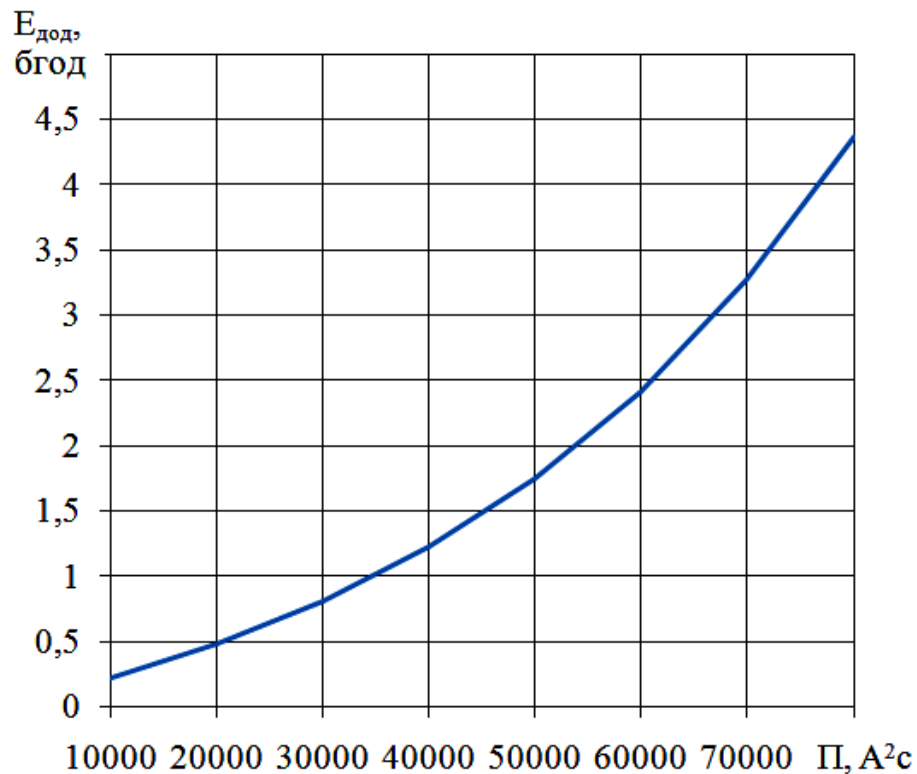


Рисунок 1 – Залежність додаткового теплового зношення ізоляції у функції імпульсу квадрату пускового струму електродвигуна

Встановлено, що допустиме значення імпульсу квадрату пускового струму прямо пропорційне перевищенню температури однієї фази обмотки статора електродвигуна, тобто:  $\tau_{\text{доп}} = f(\Pi_{\text{доп}})$ .

В результаті проведених досліджень запропоновано структурну схему пристрою діагностування додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором в післяпусковий період (рис.2). У пристрої контроль імпульсу квадрату пускового струму здійснюється за допомогою вимірювання перевищення температури обмотки над температурою навколишнього середовища.

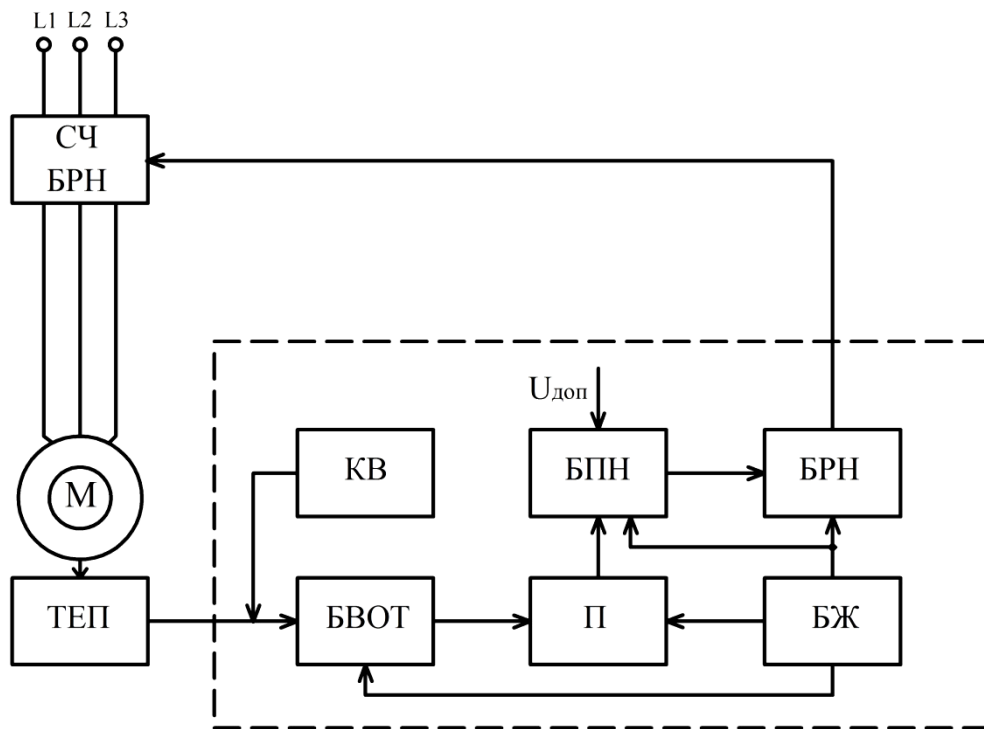


Рисунок 2 – Структурна схема пристрою діагностування додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором в післяпусковий період

Пристрій складається з:

- термоелектричного перетворювача температури (термопари) (ТЕП);
- блоку вимірювання та обробки температури (БВОТ);
- компенсаційного вузла (КВ);
- підсилювача (П);
- блоку порівняння напруги (БПН);
- блоку регулювання напруги (БРН), до складу якого входить силова частина (СЧ БРН).

Запропонований пристрій працює наступним чином. Термоелектричним перетворювачем вимірюється перевищення температури обмоток статора трифазного асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором. За допомогою компенсаційного вузла здійснюється автоматичне введення

поправки до результатів вимірювання термоЕРС термопари при зміні температури її чутливого елемента з урахуванням температури вільних кінців термоперетворювача. Електричний сигнал від термопари після підсилення надходить до блоку порівняння напруги для порівняння виміряного значення напруги із заданим значенням допустимого рівня напруги. При відхиленні виміряних значень напруги від допустимих значень спрацьовує блок регулювання напруги, який формує електричний сигнал на силову частину блоку БРН, яка й забезпечує полегшення умов пуску електродвигуна.

Таким чином, запропонований пристрій дозволяє полегшити умови запуску електродвигуна при зниженні напруги живлення.

## ВИСНОВКИ

1. Отримані закономірності часу пуску асинхронного електродвигуна приводу робочих машин з незалежною від швидкості, лінійно зростаючою та нелінійно зростаючою механічними характеристиками у функції запропонованого параметру системи «асинхронний електродвигун – робоча машина» – відношення моменту інерції системи до номінального моменту асинхронного електродвигуна, які враховують значення кратності прикладеної напруги та коефіцієнту завантаження робочої машини і дозволяють оцінити пусковий режим з позиції ресурсозбереження.

2. Тепловий перехідний процес при пуску є адіабатичним, а основне теплове зношення ізоляції припадає на післяпусковий період. Кількісна його оцінка показала, що при зменшенні напруги на 10 % додаткове теплове зношення ізоляції зростає на 25 %, а при зниженні напруги на 20 %, теплове зношення збільшується в три рази.

3. В якості діагностичного параметру режиму роботи електродвигуна в післяпусковий період запропоновано прийняти імпульс квадрату пускового струму, що суттєво зменшує трудомісткість розрахунків і полегшує створення діагностичних пристроїв.

4. Отримана залежність додаткового теплового зношення ізоляції від імпульсу квадрату сили електричного струму електродвигуна дозволяє кіль-

кісно обирати уставку імпульсу квадрату пускового струму запропонованого пристрою, який буде полегшувати пусковий режим електродвигуна. Запропоновано структурну схему пристрою діагностування додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором в післяпусковий період, використання якого дозволить суттєво зменшити додаткове теплове зношення ізоляції при аварійному пуску.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Овчаров, В. В. Эксплуатационные режимы работы и непрерывная диагностика электрических машин в сельскохозяйственном производстве [Текст] / В. В. Овчаров. – Киев: УСХА, 1990. – 168 с.
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](https://doi.org/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](https://doi.org/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, № 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, № 2. – P. 93–99.
6. Alssa, K. Vector Control Using Series Iron Loss Model of Induction Motors and Power Loss Minimization [Text] / K. Alssa, K. D. Eddine // World Academy of Science, Engineering and Technology. – 2009. – Vol. 52. – P. 142–148.
7. Kosmodamianskii, A. S. Induction motor drives with minimal power

losses [Text] / A. S. Kosmodamianskii, V. I. Vorob'ev, A. A. Pugachev // [Russian Electrical Engineering](#). – 2012. – Vol. 83, № 12. – P. 667–671. doi:[10.3103/s1068371212120073](#)

8. Вовк, О. Ю. Вплив зниження напруги живлячої мережі на теплове зношення ізоляції асинхронного електродвигуна [Текст] / О. Ю. Вовк, С. О. Квітка, О. С. Квітка // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2014. – Вип. 153. – С. 79–81.

9. Стребков, О. А. Дослідження електромеханічних і теплових перехідних процесів при пуску асинхронних електродвигунів [Текст] / О. А. Стребков // Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2015. – № 6/6 (26). – С. 18–25. doi:[10.15587/2312-8372.2015.54643](#)

10. Квітка, С. О. Непрямий спосіб вимірювання імпульсу квадрату пускового струму напруги [Текст] / С. О. Квітка, О. Ю. Вовк, О. А. Стребков // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2016. – Вип. 175. – С. 91–93.

## **РОЗДІЛ 5.1.2**

### **РОЗРОБКА ТА УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ПРОГНОЗУВАННЯ, МОНІТОРИНГУ ТА ЗАХИСТУ СИЛОВОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ**

**Етап 5.1.2.3** Розробка алгоритму функціонування системи прогнозування, моніторингу та захисту трифазних асинхронних електродвигунів

#### **ВИКОНАВЦІ**

к.т.н., доцент

к.т.н., доцент

Нестерчук Діна Миколаївна,

Попова Ірина Олексіївна

## РЕФЕРАТ

Звіт по НДР 5.1.2.3, 4 табл., 3 рисунка, 5 посилань.

СИСТЕМА, ПРОГНОЗУВАННЯ, МОНІТОРИНГ, ЗАХИСТ, ТРИФАЗНИЙ АСИНХРОННИЙ ЕЛЕКТРОДВИГУН, АЛГОРИТМ, ФУНКЦІОНУВАННЯ.

Об'єкт дослідження: процес функціонування системи прогнозування, моніторингу та захисту асинхронного електродвигуна (АД) з короткозамкненим ротором.

Мета роботи: розробка алгоритмів функціонування системи прогнозування, моніторингу та захисту АД з короткозамкненим ротором для використання в мікропроцесорних пристроях та захисту АД.

Методи досліджень:

- метод системного підходу;
- аналітичний метод дослідження;
- методи ідентифікації параметрів АД за вимірювальними сигналами.

В результаті проведених досліджень:

- розроблений алгоритм функціонування системи на базі контролю температури ізоляції обмотки АД;
- розроблений алгоритм функціонування системи на базі контролю струму статора з використанням переваантажувальної характеристики АД.



## ЗМІСТ

ВСТУП .....	18
1 ПРОГРАМА ДОСЛІДЖЕНЬ .....	19
2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ .....	19
3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ	
3.1 Розробка та опис алгоритму функціонування системи прогнозування, моніторингу та захисту АД на базі контролю температури ізоляції обмотки АД .....	20
3.2 Розробка та опис алгоритму функціонування системи прогнозування, моніторингу та захисту АД на базі контролю струму статора з використанням перевантажувальної характеристики АД .....	22
ВИСНОВКИ .....	28
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	29

## ВСТУП

Сучасні стандарти більшості країн світу та України висувають все жорсткіші вимоги до безпечної експлуатації АД. Очевидно, що надійного й ефективного захисту від аварійних режимів роботи дозволяє значно скоротити кількість і частоту аварійних ситуацій і продовжити термін служби АД, зменшити витрати електроенергії й експлуатаційні витрати. Обов'язковою умовою при експлуатації АД є робота при номінальних або каталожних параметрах, що вказуються в паспорті АД. Однак необхідно зазначити, що реальні умови роботи низьковольтних АД з короткозамкненим ротором є умови, які далекі від необхідних. До чинників, що спотворюють номінальні експлуатаційні режими роботи АД, належать: спотворення напруги живлення, яке виникає наявністю несиметричного навантаження; несправності системи охолодження електричної машини; порушення правил технічної експлуатації – часті технологічні перевантаження, незадовільні умови навколишнього середовища, а саме, підвищена вологість, агресивне середовище, перепади температури [1, 2].

Аномальні режими роботи АД призводять до росту температури їх обмоток та, як наслідок, до скороченого строку служби. Залежно від теплового стану АД і навколишнього середовища ступінь їх впливу може бути різною: якщо різниця температур електродвигуна і навколишнього середовища невелика, а енергія, що виділяється, значна, то її основна частина поглинається обмоткою, сталлю статора і ротора, корпусом та іншими його частинами. Відбувається інтенсивне зростання температури ізоляції. По мірі нагрівання все більше проявляється вплив тепловіддачі. Процес встановлюється після досягнення рівноваги між виділеним теплом, що віддається в навколишнє середовище. Ріст температури ізоляції обмоток є причиною старіння ізоляції обмоток статора та сприяє появі таких відмов, як міжфазні короткі замикання та виткові замикання [1...4].

Підвищення струму понад допустиме значення не відразу призводить до аварійного стану. Потрібен деякий час, перш ніж статор і ротор нагріються до граничної температури, тому то немає необхідності в тому, щоб захист реагував на кожне перевищення струму. Він повинен відключати машину тільки в тих випадках, коли виникає небезпека швидкого зносу ізоляції. З точки зору нагріву ізоляції велике значення мають величина і тривалість протікання струмів, що перевищують номінальне значення. Ці параметри залежать, насамперед, від характеру технологічного процесу [2, 3].

Зазначені обставини зумовлюють необхідність підвищення вимог щодо експлуатації АД, з урахуванням їх реальних індивідуальних характеристик і параметрів, які можуть змінитися в процесі роботи або під час ремонту, впровадження нових підходів до принципів побудови пристроїв моніторингу та захисту АД, а також удосконалення існуючих та розробка нових алгоритмів для системи діагностування та захисту АД.

## **1 ПРОГРАМА ДОСЛІДЖЕНЬ**

1.1 Розробка та опис алгоритму функціонування системи прогнозування, моніторингу та захисту АД на базі контролю температури ізоляції обмотки АД;

1.2 Розробка та опис алгоритму функціонування системи прогнозування, моніторингу та захисту АД на базі контролю струму статора з використанням перевантажувальної характеристики АД.

## **2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ**

Для виконання програми досліджень застосовані методи наукового дослідження: метод системного підходу; аналітичний метод дослідження; метод ідентифікації параметрів об'єкту за вимірювальними сигналами.

## **3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

За результатами досліджень було встановлено, що алгоритм функціонування системи прогнозування, моніторингу та захисту АД – це послідов-

ність кроків, які дозволяють отримувати масиву даних усталених та перехідних процесів при використанні вимірювальних перетворювачів системи, до яких належать перетворювачі фазних струмів, перетворювачі температури ізоляції обмоток АД та температури навколишнього середовища.

### **3.1 Розробка та опис алгоритму функціонування системи прогнозування, моніторингу та захисту АД на базі контролю температури ізоляції обмотки АД.**

На рисунку 3 наведений алгоритм функціонування системи прогнозування, моніторингу та захисту АД на базі контролю температури ізоляції обмотки АД, який складається з 14 етапів, а саме:

- етап 1 – початок алгоритмізації функціонування системи на базі контролю температури обмотки;
- етап 2 – ввід масиву даних, що характеризують паспортні та конструктивні параметри АД: споживана номінальна активна потужність,  $P_{2n}$ ,  $kVt$ ; номінальний коефіцієнт корисної дії,  $\eta_H$ ;  $m_1$  та  $m_2$  – відповідно маса обмотки та маса сталі,  $kg$ ;  $c_1$  та  $c_2$  – відповідно питома теплоємність міді та сталі,  $Dж/кг\cdot^{\circ}C$ ;  $\tau_1$  та  $\tau_2$  – відповідно номінальне перевищення температури міді та сталі,  $^{\circ}C$ ;
- етап 3 – ввід даних вимірювання температури обмотки первинними вимірювальними перетворювачами температури обмотки ППТ температури обмотки;
- етап 4 – аналітичне визначення величини номінальних втрат,  $\Delta P_H$ ,  $kVt$ ;
- етап 5 – аналітичне визначення величини постійної часу нагрівання,  $T$ ,  $s$ ;
- етап 6 – аналітичне визначення перевищення температури обмотки,  $\tau_i$ ,  $s$ , згідно рівняння нагріву обмотки;
- етап 7 – аналітичне визначення величини фактичної температури обмотки АД,  $\Theta_i$ ,  $^{\circ}C$ , з урахуванням температури навколишнього середовища,  $\vartheta_{сер}$ ;
- етап 8 – порівняння величини фактичної температури обмотки,  $\Theta_i$ ,  $^{\circ}C$ , з номінальною фактичною температурою обмотки,  $\Theta_H$ ,  $^{\circ}C$ , з урахуванням класу ізоляції АД;
- етап 9 – аналітичне визначення зміни фактичної температури обмотки,  $\Delta \Theta_H$ ,  $^{\circ}C$ ;
- етап 10 – формування в мікропроцесорі системи електричного сигналу на спрацювання блоку захисту АД;
- етап 11 – порівняння величини перевищення температури обмотки,  $\tau_i$ ,  $s$ , з  $(1,1 \dots 1,2) \cdot \tau_H$  з урахуванням класу ізоляції АД;
- етап 12 – аналітичне визначення зміни перевищення температури обмотки  $\Delta \tau_i$ ,  $^{\circ}C$ ;
- етап 13 – формування в мікропроцесорі системи сигналізаційного сигналу щодо перегрівання обмотки АД;
- етап 14 – кінець алгоритмізації функціонування системи.

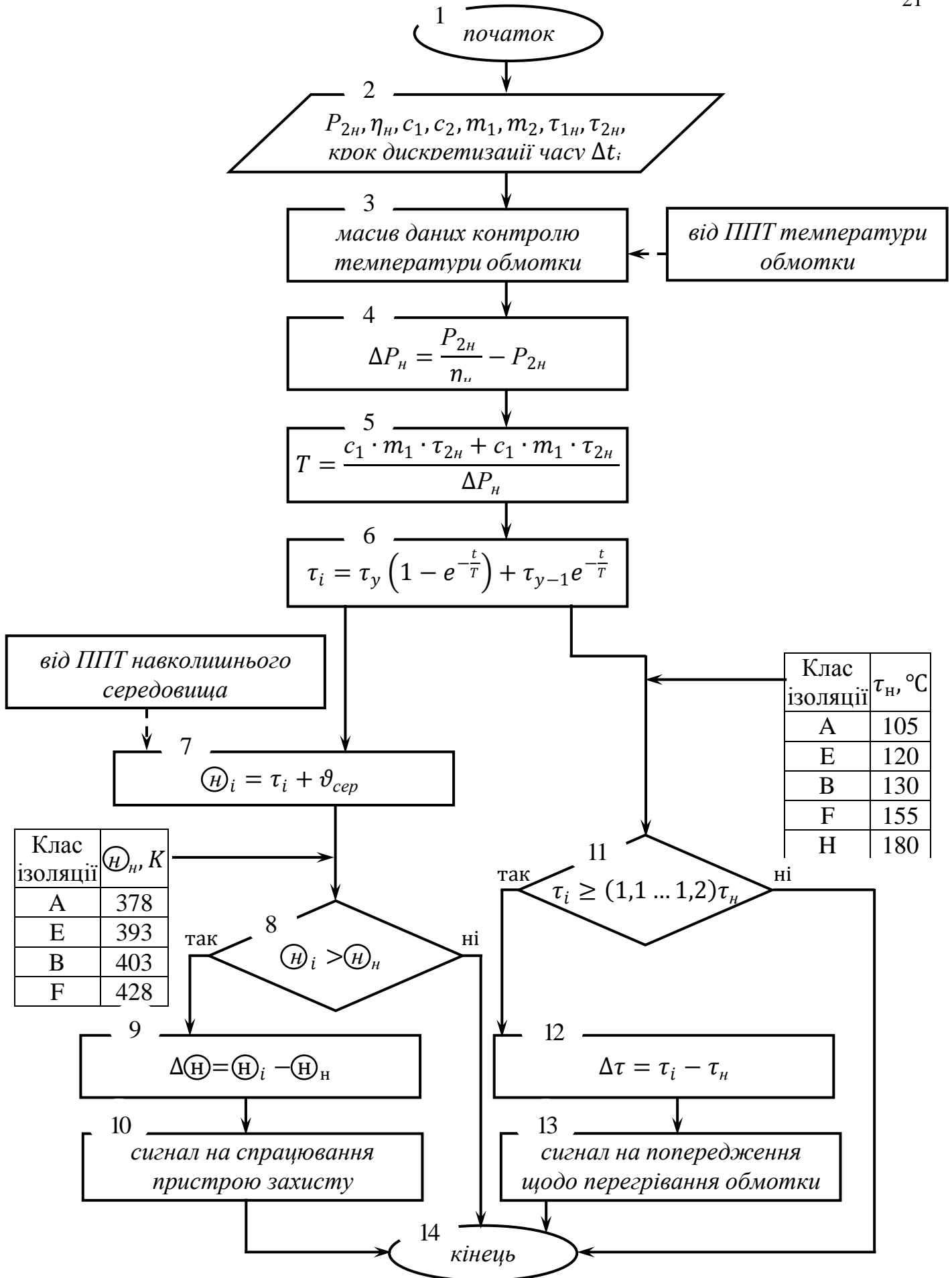


Рисунок 3 – Алгоритм функціонування на базі контролю температури

Висновок: для більш повного використання перевантажувальної здатності АД температура обмотки може бути дещо більшою, ніж  $(1,1 \dots 1,2) \cdot \tau_H$ , так як електродвигун в процесі експлуатації працює з навантаженнями, меншими номінального, а ізоляція знаходиться у сприятливих умовах, внаслідок чого короточасні перевантаження не можуть негативно позначитися на терміні служби ізоляції. При появі струму перевантаження АД може бути відімкнений не миттєво, а після закінчення певного часу роботи, коли температура стане дорівнювати граничній допустимій для відповідного класу ізоляції. Розробка алгоритму функціонування системи заснована на моделюванні процесів нагрівання та охолодження АД, що передбачає вплив багатьох експлуатаційних чинників. Тому то доцільно використовувати тепловий захист спільно з системою контролю струму статора з використанням перевантажувальної характеристики АД.

### **3.2 Розробка та опис алгоритму функціонування системи прогнозування, моніторингу та захисту АД на базі контролю струму статора з використанням перевантажувальної характеристики АД.**

На рисунку 4 наведений алгоритм функціонування системи прогнозування, моніторингу та захисту АД [5] на базі контролю струму статора з використанням перевантажувальної характеристики АД, який складається з 19 етапів, а саме:

- етап 1 – початок алгоритмізації функціонування системи на базі контролю струму статора;
- етап 2 – ввід масиву даних, що характеризують паспортні та конструктивні параметри АД: споживана номінальна активна потужність,  $P_{2H}$ ,  $kW$ ; номінальний коефіцієнт корисної дії,  $\eta_H$ ; номінальний коефіцієнт потужності,  $\cos \varphi_H$ ;  $m_1$  та  $m_2$  – відповідно маса обмотки та маса сталі,  $kg$ ;  $c_1$  та  $c_2$  – відповідно питома теплоємність міді та сталі,  $J/kg \cdot ^\circ C$ ;  $\tau_1$  та  $\tau_2$  – відповідно номінальне перевищення температури міді та сталі,  $^\circ C$ ;  $I_{н\text{дв}}$  – номінальний струм;  $\gamma$  – коефіцієнт, що враховує втрати активної потужності в обмотці ротора;  $r_{1H}$  – активний опір однієї фази статора,  $\Omega$ ;
- етап 3 – аналітичне визначення величини середньоквадратичного значення сии струму за даними вимірювань фазних струмів первинними вимірювальними перетворювачами ПВП фази А...ПВП фази С;

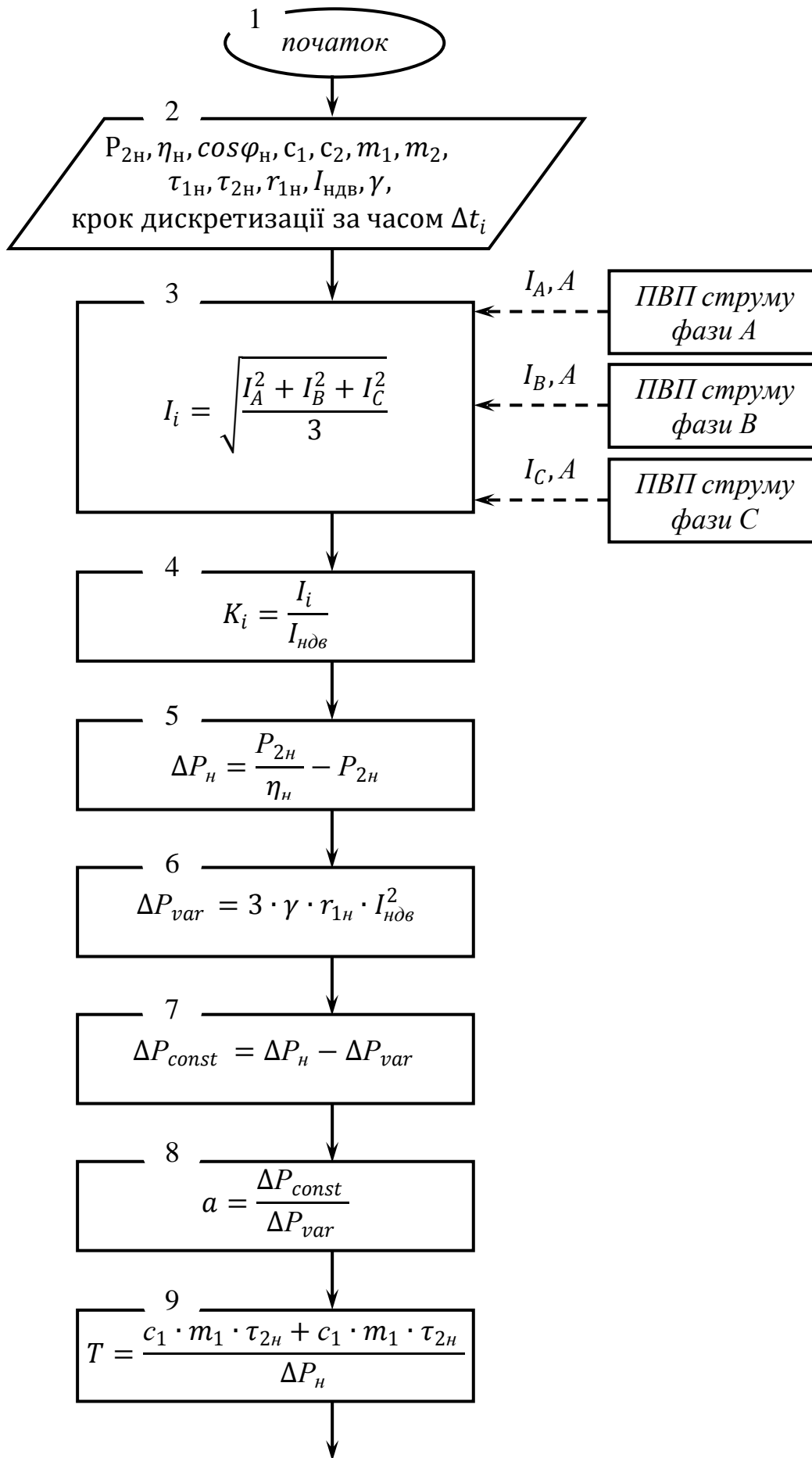
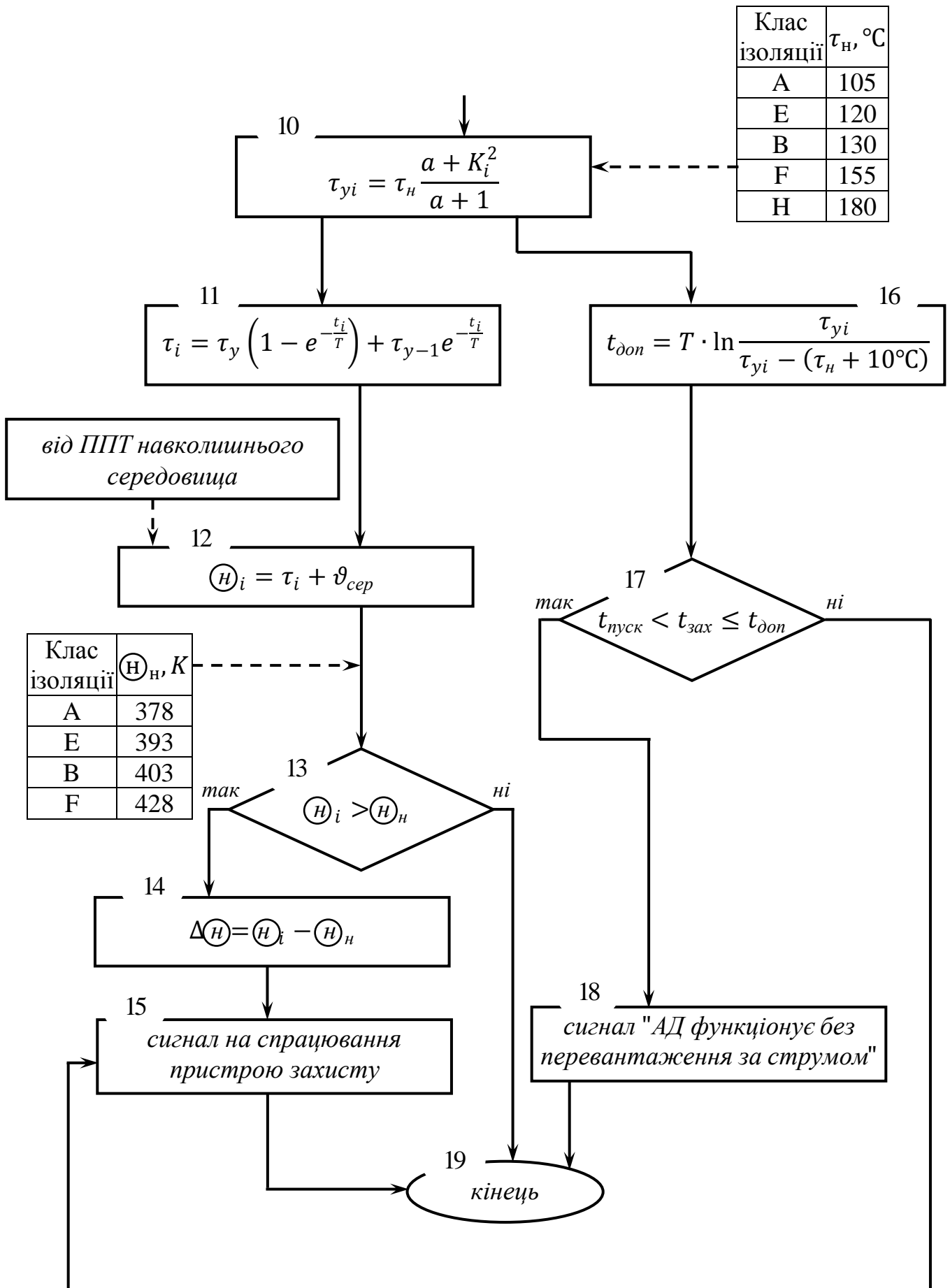


Рисунок 4 – Алгоритм функціонування на базі контролю струму статора з використанням перевантажувальної характеристики АД



Продовження рисунку 4



- етап 4 – аналітичне визначення величини кратності струму по відношення до номінального струму,  $K_i$ ;
- етап 5 – аналітичне визначення величини номінальних втрат,  $\Delta P_H, \text{кВт}$ ;
- етап 6 – аналітичне визначення величини змінних втрат,  $\Delta P_{var}, \text{кВт}$ ;
- етап 7 – аналітичне визначення величини постійних втрат,  $\Delta P_{const}, \text{кВт}$ ;
- етап 8 – аналітичне визначення величини коефіцієнту втрат,  $a$
- етап 9 - аналітичне визначення величини постійної часу нагрівання,  $T, \text{с}$ ;
- етап 10 – аналітичне визначення усталеного перевищення температури обмотки,  $\tau_{yi}, \text{с}$ , з урахуванням класу ізоляції АД;
- етап 11 - аналітичне визначення перевищення температури обмотки,  $\tau_i, \text{с}$ , згідно рівняння нагріву обмотки;
- етап 12 – аналітичне визначення величини фактичної температури обмотки АД,  $\Theta_i, ^\circ\text{C}$ , з урахуванням температури навколишнього середовища,  $\vartheta_{сер}$ ;
- етап 13 – порівняння величини фактичної температури обмотки,  $\Theta_i, ^\circ\text{C}$ , з номінальною фактичною температурою обмотки,  $\Theta_H, ^\circ\text{C}$ , з урахуванням класу ізоляції АД;
- етап 14 – аналітичне визначення зміни фактичної температури обмотки,  $\Delta \Theta_H, ^\circ\text{C}$ ;
- етап 15 – формування в мікропроцесорі системи електричного сигналу на спрацювання блоку захисту АД;
- етап 16 – аналітичне визначення величини допустимого часу роботи АД з перевантаження,  $t_{дон}, \text{с}$ ;
- етап 17 – порівняння часу спрацювання захисту з часом для здійснення пуску та з допустимим часом роботи АД з перевантаження;
- етап 18 - формування в мікропроцесорі системи сигналізаційного сигналу «АД функціонує без перевантаження за струмом»;
- етап 19 – кінець алгоритмізації функціонування системи.

Здійснений розрахунок перевантажувальних характеристик  $K_i = f(t_{дон})$  для асинхронних електродвигунів АИР100L4У3 та АИР63В4У3 з метою практичної реалізації розробленого алгоритму на базі контролю струму статора. Вихідні дані для розрахунків наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Вихідні дані для розрахунків

Найменування даних	Величина	
	АИР100Л4У3	АИР63В4У3
Тип електродвигуна	АИР100Л4У3	АИР63В4У3
Номінальна потужність, $P_H$ , кВт	4,0	0,37
Номінальний струм, $I_H$ , А	8,5	1,18
Номінальний коефіцієнт корисної дії, $\eta_H$	85,0	68
Номінальний коефіцієнт потужності, $\cos \varphi_H$	0,84	0,70
Клас ізоляції	В	В
Маса міді, $m_1$ , кг	3,39	0,61
Маса сталі $m_2$ , кг	25,61	4,99
Номінальне перевищення температури обмотки, $\tau_{IH}$ , °С	90	90
Опір обмотки при температурі 20 °С, $r_{20}$ , Ом	1,27	21,5

Результати розрахунків величин згідно етапів алгоритму для побудови переважувальної характеристики наведені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Результати розрахунків

Показник згідно етапів алгоритму	Тип електродвигуна	
	АИР100Л4У3	АИР63В4У3
$\Delta P_H$ , Вт	705,9	174,12
$\Delta P_{const}$ , Вт	320,9	42,64
$\Delta P_{var}$ , Вт	402,9	131,48
Коефіцієнт втрат, $a$	0,75	0,32
Постійна часу нагрівання, $T$ , с	1272,6	995,34

В таблиці 3 наведені результати розрахунків величин для побудови переважувальної характеристики електродвигунів.

Таблиця 3 – Результати розрахунків

$k$	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
Асинхронний електродвигун АИР100Л4У3							
$\tau_{уст}$ , °С	90	100,8	112,6	125,5	139,3	154,2	170,2
$t_{дон}$ , с	$\infty$	5122,76	2690,04	1979,14	1578,41	1307,35	1109,07
Асинхронний електродвигун АИР63В4У3							
$\tau_{уст}$ , °С	90	104,27	119,9	136,89	155,24	174,95	196,02
$t_{дон}$ , с	$\infty$	2970,69	1738,77	1278,51	1010,61	830,54	700,02

На рисунку 5 наведені перевантажувальні характеристики для асинхронних електродвигунів АИР100Л4У3 та АИР63В4У3.

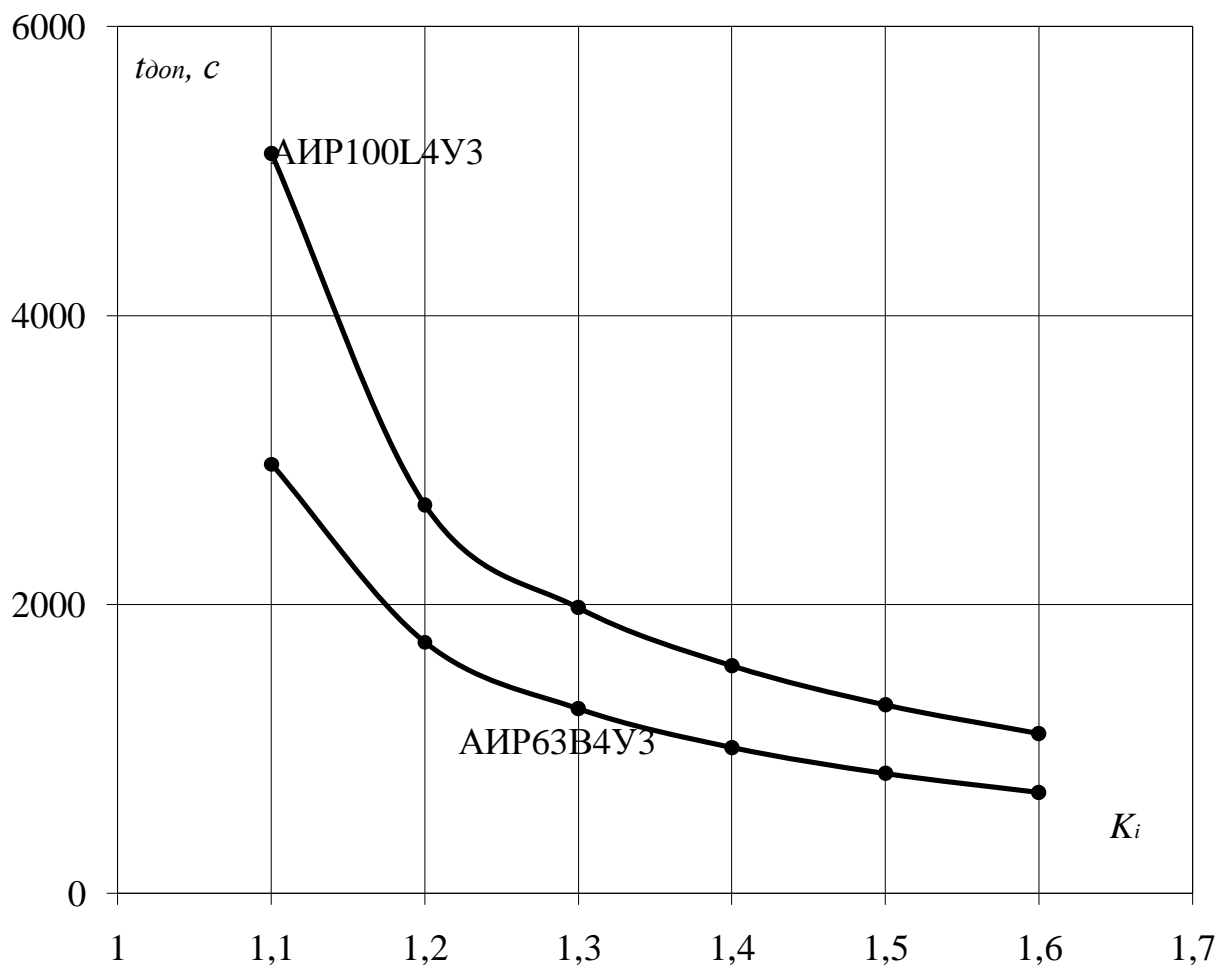


Рисунок 5 – Перевантажувальні характеристики АД

Отримані графічні залежності допустимого часу роботи електродвигуна з перевантаженням  $t_{don}$  від кратності струму описуються математичними рівняннями.

В таблиці 4 наведені чисельні значення коефіцієнтів математичних рівнянь, які описують перевантажувальні характеристики електродвигунів.

Визначення коефіцієнтів математичних рівнянь, які описують перевантажувальні характеристики електродвигунів, дозволяє в чисельному вигляді обґрунтовувати значення уставок спрацювання технічного пристрою моніторингу та захисту роботи асинхронних електродвигунів.

Таблиця 4 – Чисельні значення коефіцієнтів математичних рівнянь,

Тип електродвигуна	Коефіцієнти в математичних рівняннях $t_{don} = aK_i^2 - bK_i + c$		
	$a$	$b$	$c$
АИР100L4УЗ	23098	69399	53217
АИР63В4УЗ	11830	36041	28171

Висновок: При захисті АД за допомогою контролю струму статора, за часо-струмову характеристику захисту приймається перевантажувальна характеристика певного АД. Струмовий захист встановлюється у кожній фазі, а також необхідно враховувати початковий режим, при якому працював електродвигун до виникнення аварійного режиму.

## ВИСНОВКИ

1. Розроблений алгоритм функціонування системи на базі контролю температури ізоляції обмотки АД дозволив описати послідовність процесу вимірювання температури при використанні вимірювальних перетворювачів системи, процесу обробки результатів вимірювань та процесу розрахунку величин, що характеризують закономірності теплового старіння ізоляції від дії температури навколишнього середовища.

2. Розроблений алгоритм функціонування системи на базі контролю струму статора з використанням перевантажувальної характеристики АД дозволив описати взаємопов'язану послідовність процесу вимірювання фазних струмів АД при використанні відповідних вимірювальних перетворювачів системи, процесу обробки результатів вимірювань та процесу розрахунку величин, що характеризують закономірності теплового старіння ізоляції від дії експлуатаційних чинників з урахуванням температури навколишнього середовища. Практична значущість проведених досліджень – це обґрунтування методології часо-струмового захисту АД та можливість визначення кількісних значень уставок спрацювання технічного пристрою моніторингу та захисту електродвигунів.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гольдберг О.Д. Надежность электрических машин: учебник для студ. высш. учеб. Заведений / О.Д. Гольдберг, С.П. Хелемская; под ред. О.Д. Гольдберга. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 288 с.
2. Кузнецов Н.Л. Надежность электрических машин / Н.Л. Кузнецов – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 432 с.
3. Закладний О.О. Захист як одне із завдань системи моніторингу енергетичного стану асинхронного електроприводу / О.О. Закладний // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Осроградського. – 2010. - № 4/2010 (63), частина 2. - С. 135 - 138.
4. Овчаров В.В. Эксплуатационные режимы работы и непрерывная диагностика электрических машин в сельскохозяйственном производстве. / В.В.Овчаров. – К.: Изд – во УСХА, 1990. – 168 с.
5. Нестерчук Д.М. Алгоритмізація для функціонування системи діагностування та захисту низьковольтних асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором / Д.М. Нестерчук, А.О. Рижков // Праці ТДАТУ. – Випуск 15, том 2. - Мелітополь: ТДАТУ, 2015. – С.274 – 280.

### **РОЗДІЛ 5.1.3**

## **РОЗРОБКА ТА УДОСКОНАЛЕННЯ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧОЇ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ**

**Етап 5.1.3.3** Обґрунтування енергозберігаючих режимів роботи електромеханічної системи обробки ґрунту

### **ВИКОНАВЕЦЬ**

Старший викладач

Ковальов Олександр Вікторович

## РЕФЕРАТ

Звіт по НДР 5.1.3.3: 16 с., 1 табл., 2 рисунки, 8 посилань.

ДВИГУН ПОСТІЙНОГО СТРУМУ, КОЛЕКТОР, ПОТЕНЦІЙНО-КОМУТАЦІЙНІ УМОВИ, РЕАКТИВНА ЕЛЕКТРОРУШІЙНА СИЛА, МАГНІТНИЙ ПОТІК

Об'єкт дослідження: електромеханічна система обробки ґрунту.

Мета роботи: Зменшення витрат електроенергії на обробіток ґрунту на 8-10%.

Методи досліджень:

- аналітичний метод дослідження;

В результаті проведених досліджень:

- визначені гранично допустимі значення основних показників з урахуванням рекомендацій технічної літератури, що забезпечують нормальні потенційно-комутаційні умови при роботі найбільш розповсюджених тягових електродвигунів постійного струму при широкому діапазоні регулювання кутової швидкості в приводі електромеханічної системи обробки ґрунту.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	33
1 ПРОГРАМА ДОСЛІДЖЕНЬ .....	33
2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ .....	34
3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ	
3.1 Аналіз з кількісною оцінкою найбільш напружених по потенційно-комутаційним умовам режимів роботи тягового ДПС в приводі електромеханічної системи обробки ґрунту .....	34
.....	
ВИСНОВКИ .....	43
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	44



## ВСТУП

Перспективними для роботи в спорудах захищеного ґрунту є електромеханічні системи обробки ґрунту, як екологічно чисті агрегати. Як показали проведені в Україні випробування макетних зразків з ТЕД, виконаних на шасі агрегатів з ДВЗ, їм властиві такі переваги, як легкість керування, економічність і надійність в роботі, можливість автоматизації технологічних процесів в теплицях, парниках, на присадибних і дачних ділянках.

Тягові електродвигуни постійного струму (ДПС) в наш час знайшли широке застосування в приводі електромобілів, мотоблоків та інших електрифікованих транспортних засобах. Визначається це рядом їх переваг і насамперед високою перевантажувальною здатністю, легкістю керування та економічністю в роботі. Однак наявність в двигуні постійного струму щіточно-контактного вузла і колектора знижує надійність їх роботи та обумовлює підвищення експлуатаційних витрат, що складають за рік 20...30 % вартості двигуна. З цих причин для тягових двигунів постійного струму з широким діапазоном регулювання швидкості проблемою є необхідність забезпечення безіскрової комутації та запобігання кругового вогню на колекторі в реальних умовах експлуатації двигуна. Тому розглядання найбільш напружених режимів роботи тягових двигунів постійного струму по потенційно-комутаційним умовам, на нашу думку, є актуальною та практично корисною задачею.

## 1 ПРОГРАМА ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Проведення аналізу з кількісною оцінкою найбільш напружених по потенційно-комутаційним умовам режимів роботи тягового ДПС в приводі електромеханічної системи обробки ґрунту

## 2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Для виконання програми досліджень застосовано метод аналітичного дослідження.

## 3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 3.1 Аналіз з кількісною оцінкою найбільш напружених по потенційно-комутаційним умовам режимів роботи тягового ДПС в приводі електромеханічної системи обробки ґрунту

Тягові електродвигуни постійного струму (ДПС) в наш час знайшли широке застосування в приводі електромобілів, мотоблоків та інших електрифікованих транспортних засобах. Визначається це рядом їх переваг і насамперед високою перевантажувальною здатністю, легкістю керування та економічністю в роботі. Однак наявність в двигуні постійного струму щіточно-контактного вузла і колектора знижує надійність їх роботи та обумовлює підвищення експлуатаційних витрат, що складають за рік 20...30 % вартості двигуна. З цих причин для тягових ДПС з широким діапазоном регулювання швидкості проблемою є необхідність забезпечення безіскрової комутації та запобігання кругового вогню на колекторі в реальних умовах експлуатації двигуна.

Питанням теорії та практики комутації електричних машин постійного струму присвячено велику кількість книг та багаточисельні публікації в періодичних виданнях [1,2]. Проблемі комутації багато уваги приділяється на стадії проектування та виготовлення електричних машин постійного струму, в тому числі і тягових ДПС [3,4]. В спеціальній літературі, присвяченій електричним машинам в тяговому електроприводі мобільних транспортних засобів, приділяється мало уваги [6,7].

Таким чином, проблема комутації тягових ДПС фундаментально вирішується лише на стадії проектування та виготовлення машин. Але питання забезпечення нормальних потенційно-комутуючих умов на колекторі ДПС в регульованому електроприводі в найбільш напружених режимах умови, наприклад, при максимальній швидкості  $\omega_{\max}$ , не знайшли відображення в технічній літературі за останній час.

Потенційно-комутаційні умови на колекторі тягового ДПС можуть бути визначені наступними показниками:

1) Середнім значенням напруги між суміжними колекторними пластинами,  $U_{\text{ср}}$ ;

2) Коефіцієнтом викривлення магнітного поля в зазорі під дією поперечної реакції якоря  $k_f = B_{\delta\max}/B_{\delta0}$ , де  $B_{\delta\max}$  та  $B_{\delta0}$  – значення магнітної індукції в зазорі в режимі навантаження та на холостому ході;

3) Середнім значенням реактивної ЕРС в комутуємих секціях обмотки якоря,  $e_{\text{р.ср}}$ .

Найбільш напруженими за потенційно-комутаційними умовами є режим роботи ДПС з реалізацією номінальної потужності при пуску та максимальній швидкості  $\omega_{\max}$ , коли реактивна ЕРС і максимальна напруга між колекторними пластинами досягають своїх найбільших значень  $e_{\text{р.макс}}$  та  $U_{\text{к.макс}}$ . Розглянемо це питання більш детально на прикладі ДПС в приводі електромеханічної системи обробки ґрунту. Механічна характеристика тягового ДПС послідовного збудження  $M=f(\omega)$ , що наведена на рис. 6, є законом регулювання тягового двигуна електромеханічної системи обробки ґрунту.

Обґрунтування характеристики  $M(\omega)$  та питання керування тяговим ДПС послідовного збудження наведено в [8]. Пусковому режиму на характеристиці  $M(\omega)$  відповідає ділянка АВ і режиму максимальної кутової швидкості  $\omega_{\max}$  – ділянка DE. Координати цих точок:  $M_{\max}$  та  $\omega_{\min}$ ;  $M_{\min}$  та  $\omega_{\max}$  однозначно визначають коефіцієнт зміни швидкості ( $k_V$ ) та кратність максимального та пускового моментів ( $k_M$ ). При цьому

$$k_V = \frac{\omega_{\max}}{\omega_H} = \frac{v_{a.\max}}{v_{a.\text{НОМ}}} = \frac{n_{\max}}{n_{\text{НОМ}}}; \quad k_M = \frac{M_{\max}}{M_{\text{НОМ}}} \quad (1)$$

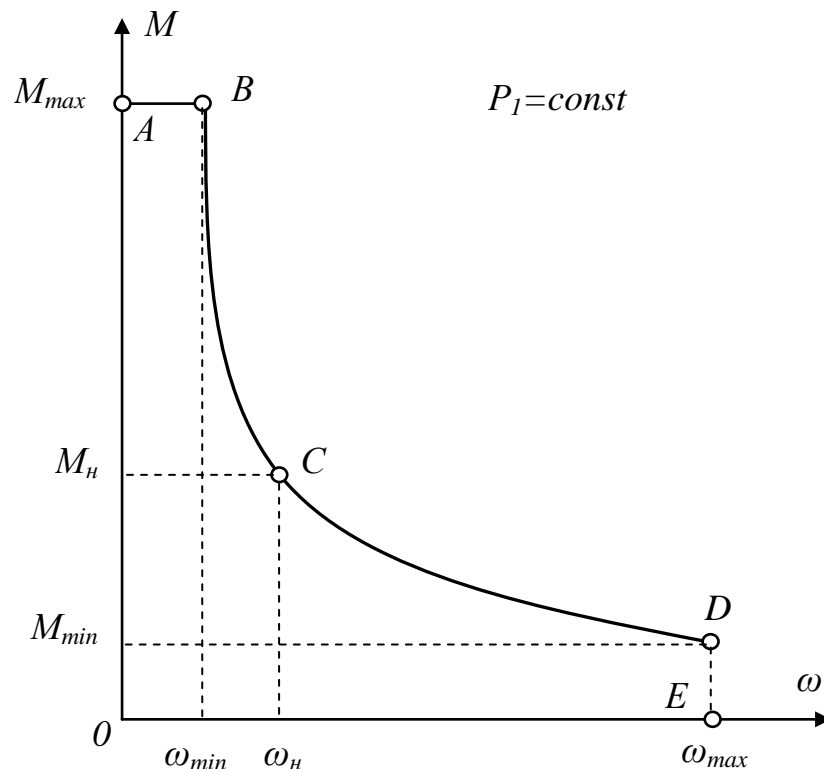


Рисунок 6 – Механічна характеристика тягового електродвигуна постійного струму з регулятором

Коефіцієнти  $k_V$  та  $k_M$  є найбільш важливими показниками регулювальних властивостей ДПС. При цьому слід відмітити, що кратності частоти обертання  $k_n$  та моменту  $k_M$  завдаються в каталогах ДПС.

Пусковий режим ДПС послідовного збудження забезпечується зниженням живлячої напруги  $U_* = U/U_{\text{НОМ}}$  з метою зниження пускового струму  $I_{\text{П}*} = I_{\text{П}}/I_{\text{НОМ}} \geq 2-3$ . Одночасно відбувається форсування магнітного потоку, оскільки в цих двигунах струм збудження  $I_{\text{зб}}$  дорівнює струму якоря  $I_a$ , тобто  $I_{\text{зб}} = I_a = I_{\text{П}}$ , і магнітний потік  $\Phi_{\text{макс}*} = \Phi/\Phi_{\text{НОМ}} > 1$ . Максимальне значення потоку обмежено ступенем насичення магнітного ланцюга двигуна, який визначається коефіцієнтом насичення  $k_{\mu} = \Phi_{\text{макс}}/\Phi_{\text{НОМ}} = 1,2 \dots 1,4$  [4]. Режим максимальної швидкості  $\omega_{\max}$  може бути забезпечений послабленням магнітного потоку  $\Phi_* < 1$  при незмінності живлячої напруги  $U_* = 1$ . Ступень послаблення потоку може бути врахована коефіцієнтом послаблення

магнітного поля  $\beta_{п.п.} = I_{зб}/I_a < 1$  та забезпечена шляхом шунтування послідовної обмотки збудження деяким регульованим опором  $R_{ш.с.}$ . В загальному випадку співвідношення між потоком  $\Phi_*$  та напругою  $U_*$  при керуванні ДПС визначаються допустимою кратністю максимальної швидкості  $\omega_{max.*}$  ( $k_v$ ) та пускового моменту  $M_{п*}$  ( $k_M$ ), що забезпечує нормальні потенційно-комутаційні умови на колекторі при роботі двигуна.

Потенційні умови на колекторі визначаються середнім значенням напруги між суміжними колекторними пластинами  $U_{к.ср.}$  та коефіцієнтом викривлення поля реакцією якоря  $k_f$ . Небезпека виникнення кругового вогню на колекторі визначається максимальною напругою між колекторними пластинами  $U_{к.мах}$ . Згідно з [3], маємо

$$U_{к.мах} = 2B_{\delta max} \cdot I_a \cdot V_a \cdot W_c (p/a); \quad (2)$$

або

$$U_{к.мах} = k_f \cdot U_{к.ср.} / \alpha, \quad (3)$$

де  $B_{\delta max}$  – максимальна індукція в зазорі;

$I_a$  – довжина провідника обмотки якоря в магнітному полі;

$V_a$  – швидкість точки, що лежить на поверхні якоря;

$W_c$  – число витків в секції;

$P$  – число пар полюсів;

$a$  – число паралельних гілок обмотки якоря;

$\alpha$  – коефіцієнт полюсного перекриття.

При цьому

$$U_{к.ср.} = 2p \cdot U / K; \quad (4)$$

$$k_f = \frac{B_{\delta max}}{B_{\delta 0}}, \quad (5)$$

де  $U$  – напруга, що підведена до обмотки якоря;

$K$  – число колекторних пластин;

$B_{\delta 0}$  – магнітна індукція в зазорі на холостому ході.

Для машини з рівномірним зазором без компенсаційної обмотки

$$k_f = 1 + 0,5b_{\Pi} \cdot \frac{A}{F_{\Gamma.\Pi.}} = 1 + \frac{1}{k_c}, \quad (6)$$

де  $A$  – лінійне навантаження;

$F_{\Gamma.\Pi.}$  – магніторушійна сила головного полюса;

$b_{\Pi}$  – довжина полюсної дуги;

$k_c$  – коефіцієнт стійкості магнітного поля, що дорівнює

$$k_c = \frac{F_{\Gamma.\Pi.}}{0,5b_{\Pi} \cdot A} = \frac{F_{\Gamma.\Pi.}}{F_{p.a.}}. \quad (7)$$

Згідно з (3) та (6) для запобігання кругового вогню в машині без компенсаційної обмотки необхідно, щоб в номінальному режимі коефіцієнт  $k_c$  був достатнім по величині. Так як МРС головного полюса  $F_{\Gamma.\Pi.}$  пропорційна струму збудження  $I_{зб.}$ , а МРС реакції якоря  $F_{p.a.}$  – струму якоря  $I_a$ , то можна записати:

$$k_c = C_1 \cdot \frac{I_{зб.}}{I_a}. \quad (8)$$

При відсутності насичення магнітної системи, при одному і тому ж струмі якоря

$$\frac{n_{\max}}{n_{\text{ном.}}} = \frac{\Phi_{\text{ном.}}}{\Phi_{\min}} = \frac{I_{зб.\text{ном.}}}{I_{зб.\min}} = k_U, \quad (9)$$

звідки 
$$I_{зб.\min} = \frac{I_{зб.\text{ном.}}}{k_U}, \quad (10)$$

і, отже, 
$$k_{c.\min} = \frac{k_{c.\text{ном.}}}{k_U}. \quad (11)$$

Якщо в номінальному режимі магнітна система насичена, то

$$k_{c.\min} = \frac{k_{c.\text{ном.}}}{R_{\mu} \cdot k_U}. \quad (12)$$

Отже, при переході від номінального режиму, до режиму максимальної швидкості, значення  $U_{k.max}$  збільшується, що може викликати виникнення кругового вогню.

При відомих параметрах ДПС та  $U_{k.max}$ , можна визначити максимальний коефіцієнт викривлення поля

$$k_f = \frac{U_{k.max}}{U_{k.сер}} \cdot \alpha, \quad (13)$$

а потім і мінімальний коефіцієнт стійкості по (6)

$$k_{c.min} = \frac{1}{k_f - 1}. \quad (14)$$

Слід відмітити, що наявність компенсаційної обмотки в ДПС знімає обмеження по потенційним умовам. Таким чином, обмеження по потенційним умовам або максимальній напрузі між суміжними колекторними пластинами зводиться до зберігання мінімально допустимого коефіцієнту стійкості

$$k_{cmin} = \frac{F_{зб.}}{F_{р.а.}} = \frac{I_{зб.} \cdot W_{зб.}}{0,5b_{п.} \cdot A}; \quad (15)$$

$$k_{cmin} = C(I_{зб.}/I_a) = const. \quad (16)$$

В ДПС послідовного збудження таке обмеження буде виконане автоматично, якщо зафіксувати максимально допустиму ступень послаблення струму збудження  $\beta_{п.п.} = 0,4$ , тобто використати мінімальний опір, що шунтує обмотку збудження, при якому

$$\beta_{п.п.min} = I_{зб.}/I_a = 0,4. \quad (17)$$

На основі розрахункових та дослідних даних, [3-6] обмеження по потенційним умовам на колекторі найбільш частіше використаних тягових ДПС, визначаються наступними показниками:

$U_{к.доп.} \leq 25 \dots 28$  В для ДПС великої потужності;

$U_{к.доп.} \leq 30 \dots 35$  В для ДПС середньої потужності;

$U_{к.доп.} \leq 40 \dots 45$  В для ДПС малої потужності;

$\beta_{п.п.} \geq 0,4$ ;  $k_{п.доп.} \leq n_{max}/n_{ном.}$  – задається в каталогах ДПС.

Обмеження по комутації визначаються електромагнітними причинами іскріння щіток, що пов'язано з реактивною ЕРС в комутуючих секціях обмотки якоря. Середні значення реактивної ЕРС згідно з [3] можна визначити

$$e_{р.сер.} = 2A \cdot I_a \cdot V_a \cdot W_c \cdot \Lambda_{п}, \quad (18)$$

де  $\Lambda_{п}$  – приведена питома магнітна провідність пазового розсіювання, рівняння для розрахункового визначення якого наведено в керівництвах по проектуванню електричних машин. В наближених розрахунках можливо прийняти  $\Lambda_{п} = (5 \dots 8) \cdot 10^{-6}$  Гн/м для машин малої та середньої потужності, та  $\Lambda_{п} = (3,5 \dots 5,0) \cdot 10^{-6}$  Гн/м для машин великої потужності.

Питома потужність електричних розрядів під щіткою, що характеризує ступень іскріння щіток на колекторі згідно [5], дорівнює

$$P_{пит.} = E_{р.сер.} \frac{F_{г.п.}}{I_{щ.}} \cdot \Delta^2 = K_{щ.} \cdot \Delta^2, \quad (19)$$

де  $I_{щ.}$  – довжина щітки;

$\Delta$  – комутаційне порушення;

$K_{щ.}$  – коефіцієнт обмеження інтенсивності іскріння щіток.

При цьому

$$K_{щ.} = I_{р.сер.} \frac{F_{г.п.}}{I_{щ.}} = 2A \cdot V_a \cdot W_c \cdot \Lambda_{п} \cdot \frac{F_{г.п.}}{I_{щ.}}; \quad (20)$$

$$\Delta = 1 - \frac{e_{к.сер.}}{e_{р.сер.}}, \quad (21)$$

де  $e_{к.сер.}$  – середні значення комутуючої ЕРС, що наводиться в секціях обмотки якоря магнітним полем добавочних полюсів.

Слід нагадати, що умовою безіскрової комутації машин постійного струму, є



$$e_{p.сер.} + e_{к.сер.} = 0. \quad (22)$$

Зв'язок між питомою потужністю ( $P_{пит.}$ ) та інтенсивністю іскріння в балах згідно ГОСТ наведено в таблиці 5.

Таблиця 5 - Питома потужність ( $P_{пит.}$ ) та інтенсивність іскріння під щітками

Ступень іскріння	1	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{2}$	2	3
$P_{пит.}, \text{Вт/см}$	0...0,25	0,25...1,0	1,0...2,0	2,0...5,0	>5,0

Можна зробити висновок, що небезпечного іскріння під щітками не виникає, якщо  $P_{пит.} \leq 1 \text{ Вт/см}$ .

Для ДПС з широким регулюванням швидкості, оцінка якості комутації (в відсотках) при високій частоті обертання проводиться по величині тривалості комутаційного порушення за рівнянням

$$\Delta_{max} = \frac{1}{\sqrt{K_{щ.}}} \left( 1 + \frac{e_{p.сер.}}{e_{p.сер.} - 2\Delta U} \right). \quad (23)$$

Значення  $\Delta_{max}$  для надійної роботи машин по комутаційній умові не повинно бути менше 10%.

Реактивна ЕРС  $e_{p.сер.}$  збільшується прямо пропорційно швидкості  $V_a$ , тому зі збільшенням швидкості, зменшується значення виразу в дужках в формулі (23), найбільше значення якого дорівнює 2, а також збільшується коефіцієнт  $K_{щ.}$ . Все це приводить до зменшення допустимого значення  $\Delta_{max}$  та збільшення вірогідності іскріння щіток. Позначивши в (23) вираз в дужках, як

$$2v = \left( 1 + \frac{e_{p.сер.}}{e_{p.сер.} - 2\Delta U} \right), \quad (24)$$

отримаємо  $\Delta_{max}$  в відсотках:

$$\Delta_{max} = \frac{2v}{\sqrt{K_{щ.}}}. \quad (25)$$

Завдаючи в режимі максимальної швидкості  $\Delta_{\max} = 10\%$ , по (25) можна визначити максимальне значення коефіцієнта  $K_{\text{щ}}$ .

$$K_{\text{щ}} \leq (20\nu)^2. \quad (26)$$

Залежність  $\nu = f(e_p)$  наведено на рис. 7, з якої слідує, що при великих значеннях реактивної ЕРС  $e_p = 5 \dots 8$  В та максимальній швидкості  $\omega_{\max}$  ( $V_a$ ), величина  $\nu = 1,5 \dots 1,25$ . Тобто значення коефіцієнта  $K_{\text{щ}}$  дорівнює:

$$K_{\text{щ},\nu} \leq 400(1,5 \dots 1,25)^2 = 600 \dots 900 \quad (27)$$

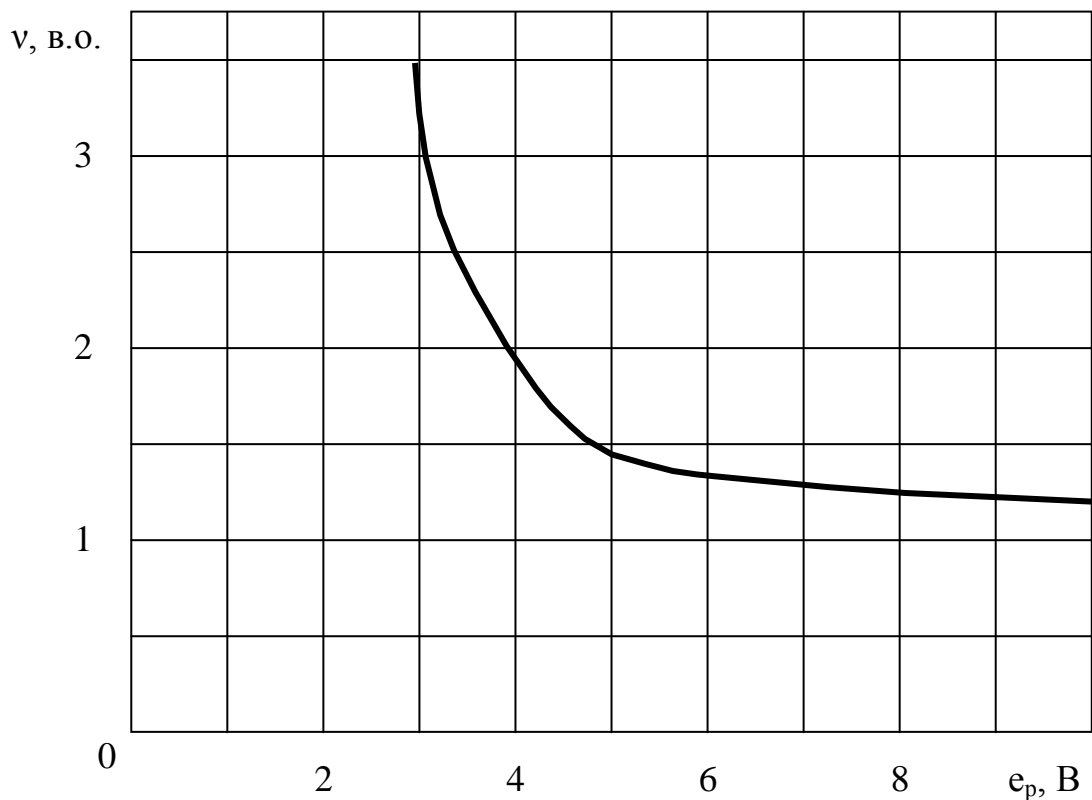


Рисунок 7 – Залежність  $\nu = f(e_p)$

В номінальному режимі роботи, який приймається за розрахунковий, значення коефіцієнта  $K_{\text{щ}}$  дорівнює:

$$K_{\text{щ,ном}} = \frac{K_{\text{щ},\nu}}{K_v} = \frac{600 \dots 900}{K_v}. \quad (28)$$

Практично це відповідає зменшенню значення реактивної ЕРС  $e_{p.cер.}$ .  
Так як коефіцієнт  $K_{щ.}$  пропорційний струму та швидкості якоря,

$$K_{щ.} = C_1 \cdot I_a^2 \cdot V_a = C_2 \cdot I_a^2 \cdot n. \quad (29)$$

то можна отримати граничне значення струму якоря в залежності від частоти обертання

$$I_{a.max} \sqrt{\frac{K_{щ.}}{C_2 \cdot n}}. \quad (30)$$

Таким чином, обмеження по комутації визначаються наступними гранично допустимими показниками  $\epsilon$ :

$$\begin{aligned} e_{p.cер.} &\leq 7,5 \dots 8,5 \text{ В}; & P_{пит.} &\leq 1 \text{ Вт/см}; & K_{щ.} &= 600 \dots 900; \\ V_{a.доп.} &\leq 65 \dots 70 \text{ м/с}; & V_{к.доп.} &\leq 50 \dots 55 \text{ м/с}; & & \\ K_{п} &\leq n_{max} / n_{ном} - \text{з каталожних даних.} \end{aligned} \quad (31)$$

## ВИСНОВКИ

Оцінка основних показників, що визначають потенційно-комутаційні умови (ПКУ) на колекторі тягових ДПС електромеханічної системи обробки ґрунту проводилася на основі характерних режимів роботи двигуна по механічній характеристиці  $M=f(\omega)$ , яка є законом регулювання тягового електродвигуна. В результаті були визначені наступні гранично допустимі значення основних показників з урахуванням рекомендацій технічної літератури, що забезпечують нормальні ПКУ при роботі найбільш розповсюджених тягових електродвигунів постійного струму при широкому діапазоні регулювання кутової швидкості.

1. Потенційні обмеження.

- Напруга між суміжними колекторними пластинами:

$U_{к.доп.} \leq 25 \dots 28$  В для ДПС великої потужності;

$U_{к.доп.} \leq 30 \dots 35$  В для ДПС середньої потужності;

$U_{к.доп.} \leq 40 \dots 45$  В для ДПС малої потужності.

- Кратність частоти обертання:  $K_{п.доп.} \leq n_{max} / n_{ном}$ , що задається в каталогах електрообладнання;

- коефіцієнт послаблення магнітного поля:  $\beta_{п.п.} \geq 0,4$ .

2. Обмеження по комутації.

- Середнє значення реактивної ЕРС:  $e_{р.сер} \leq 7,5 \dots 8,5$  В;

- Величина питомої потужності електричних розрядів:  $P_{пит.} \leq 1$  Вт/см,  
(див. табл. 1);

- Коефіцієнт інтенсивності іскріння щіток:  $K_{щ.} = 600 \dots 900$ ;

- Кратність частоти обертання:  $K_{п} \leq n_{max} / n_{ном}$ , що завдається в каталогах електрообладнання;

- Значення лінійних швидкостей на поверхні якоря ( $V_{а.доп.}$ ) та колектора ( $V_{к.доп.}$ ):  $V_{а.доп.} \leq 65 \dots 70$  м/с;  $V_{к.доп.} \leq 50 \dots 55$  м/с.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Вегнер О.Г. Теория и практика коммутации машин постоянного тока/ О.Г. Вегнер. – М.: Энергия, 1971. – 272 с.
2. Курбасов А.С. Повышение работоспособности тяговых электродвигателей/ А.С. Курбасов. – М.: Транспорт, 1977. – 223 с.
3. Проектирование тяговых электрических машин/ Под. ред. М.Д. Находкина. – М.: Транспорт, 1976. – 624 с.
4. И.П. Копылов. Проектирование электрических машин/ Под редакцией И.П. Копылова. – М.: Энергия, 1980. – 496 с.
5. Хвостов В.С. Электрические машины: машины постоянного тока/ В.С. Хвостов. – М.: Высш. шк. 1988. – 336 с.
6. А.П. Пролыгин. Электрические машины в тяговом автономном электроприводе/ Под ред. А.П. Пролыгина. – М.: Энергия, 1979. – 240 с.

7. И.С. Ефремов. Электрические трансмиссии пневмоколесных транспортных средств/ И.С. Ефремов, А.П. Пролыгин, Ю.М. Андреев, А.Б. Миндлин. – М.: Энергия, 1976. – 256 с.

8. Ковальов О.В. Тягові характеристики та параметри керування мотоблоку з електроприводом постійного струму/ О.В. Ковальов, Г.Н. Назар'ян. – Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. Випуск 73 «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – Том 1. – Харків: ХНТУСГ, 2008. – 162 с.

## **РОЗДІЛ 5.1.4**

### **РОЗРОБКА ТА ОБГРУНТУВАННЯ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ ОБЛАДНАННЯ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ЗБЕРІГАННЯ ТА ОБРОБКИ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР**

**Етап 5.1.4.3** Виробничі дослідження по використанню енергозберігаючих режимів роботи електромеханічних систем елеваторів

#### **ВИКОНАВЕЦЬ**

к.т.н., доцент

Постнікова Марина Вікторівна

## РЕФЕРАТ

Звіт про НДР 5.1.4.3: 19 с., 3 табл., 5 рисунків, 7 посилань.

МАТЕМАТИКО-СТАТИСТИЧНИЙ МЕТОД, МАТЕМАТИЧНА СТАТИСТИКА, НОРМУВАННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ, ПИТОМІ ВИТРАТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ, РАЦІОНАЛЬНЕ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ, ТЕОРІЯ ІМОВІРНОСТІ, ЕКОНОМІЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ.

Об'єкт дослідження – потокові лінії елеваторів.

Мета роботи – зменшення витрат електроенергії на обробку зерна на елеваторах на 8-10 %.

Методи досліджень – математико-статистичний метод, який побудований на основі вивчення результатів спостереження по експериментальним та звітно-статистичним даним, які одержані на протязі ряду років, та обробленими методами теорії імовірності і математичної статистики.

В результаті проведених досліджень:

- для розрахунку прийнята питома технологічна витрата електроенергії у кВт·год./т, що представляє собою витрати електроенергії на виконання очищення та зберігання 1 т зерна за одну годину. Цей показник варто вважати найбільш об'єктивним критерієм економічної роботи потокової лінії обробки зерна;

- представлено теоретичні узагальнення про вплив основних технологічних факторів на енергетичний показник з розкриттям механізму цього впливу в процесах очищення та зберігання зернових культур;

- досліджено індивідуальні технологічні характеристики транспортуючих та зерноочисних машин елеваторів;

- досліджено вплив висоти норій елеваторів на енергоємність транспортування.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	49
1 ПРОГРАМА ДОСЛІДЖЕНЬ .....	50
2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ .....	50
3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ	
3.1 Характеристика об'єктів дослідження .....	50
3.2 Методика проведення експериментальних досліджень .....	51
3.3 Дослідження впливу висоти норій елеваторів на енергоємність транспортування .....	54
ВИСНОВКИ .....	59
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	60
ДОДАТОК .....	61



## ВСТУП

Технологічний процес очищення зерна на потокових лініях елеваторів містить у собі ряд технологічних операцій, що виконуються в певній послідовності. При цьому технологічний процес очищення зерна на потокових лініях елеваторів являє собою об'єкт, що характеризується наявністю певної кількості змінних параметрів стану. На підставі значень даного набору змінних параметрів стану можна ідентифікувати стан потокової лінії, що необхідно при визначенні і реалізації енергозберігаючих режимів її роботи. Однак, внаслідок зміни деяких з факторів, що описують стан системи, даного набору може бути недостатньо. З іншого боку, збільшення кількості контрольованих параметрів хоч і приводить до підвищення точності роботи, однак значно ускладнює систему керування.

Завданням експериментальних досліджень є перевірка справедливості теоретичних досліджень і положень, конкретизація математичного опису взаємозв'язку питомих витрат електроенергії приводного електросилового устаткування потокових ліній елеваторів з параметрами стану потокової лінії, визначення найбільш інформативних з них, значення яких є достатніми для реалізації енергозберігаючих принципів керування потоковими лініями елеваторів.

Для рішення даних завдань була складена програма експериментальних досліджень, що містила в собі наступні етапи дослідження впливу:

1 вихідних фізико-механічних, технологічних і енергетичних факторів на питому витрату електроенергії потокових ліній;

2 режимів роботи потокових ліній на питому витрату електроенергії.

Метою описаних вище досліджень було:

1 Визначення кількісного значення питомої витрати електроенергії потокових ліній на очищення та транспортування зерна.

2 Встановлення залежностей між питомою витратою електроенергії процесу очищення та транспортування зерна, продуктивністю і режимами роботи машин потокових ліній.

3 Порівняльний аналіз теоретичних і експериментальних даних.

При постановці дослідів використовувалися статистичні методи обробки результатів досліджень. Дані, отримані при проведенні досліджень, дозволяють технічну реалізацію енергозбереження при процесах очищення та транспортування зерна на потокових лініях.

## **1 ПРОГРАМА ДОСЛІДЖЕНЬ**

- 1.1 Характеристика об'єктів дослідження.
- 1.2 Методика проведення експериментальних досліджень.
- 1.3 Дослідження впливу висоти норій елеваторів на енергоємність транспортування.

## **2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ**

Для досягнення поставленої цілі в процесі експериментального дослідження використовується наступний метод:

- математико-статистичний метод, який побудований на основі вивчення результатів спостереження по експериментальним та звітно-статистичним даним, які одержані на протязі ряду років, та обробленими методами теорії імовірності і математичної статистики.

## **3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

### **3.1 Характеристика об'єктів дослідження**

Технологічний процес очищення зерна на потокових лініях елеваторів може бути представлений наступним набором основних технологічних операцій: завантаження потокової лінії, очищення зерна на потоковій лінії, транспортування. При цьому важливим у плані реалізації енергозберігаючих режимів роботи при очищенні зерна є всі операції, що визначило проведення експериментальних досліджень.

Експериментальні дослідження були проведені на елеваторі. Для проведення експериментальних досліджень, були обрані елеватори, виробничий напрямок яких відповідає основному напрямку зони, з найбільш високим рівнем організації сільськогосподарського виробництва, його характеристики і

технічної експлуатації електроустаткування, а також надійним і безперебійним електропостачанням.

Експериментальні дослідження проводилися в напружений період роботи елеваторів у червні-липні-серпні місяці протягом 2017-2018 років у різних виробничих умовах при існуючому завантаженні машин і тривалості їхньої роботи.

### **3.2 Методика проведення експериментальних досліджень**

Для дослідження питомої витрати електроенергії при очищенні зерна у виробничих умовах був розроблений переносний стенд (рисунок 8), у який входив ящик обліку з лічильниками активної і реактивної енергії, а також вимірювальний переносний комплект К-505 (клас точності 0,2) (табл. 6). Такий стенд при експериментальних дослідженнях не порушував виробничого технологічного процесу елеваторів і забезпечував дотримання правил техніки безпеки.

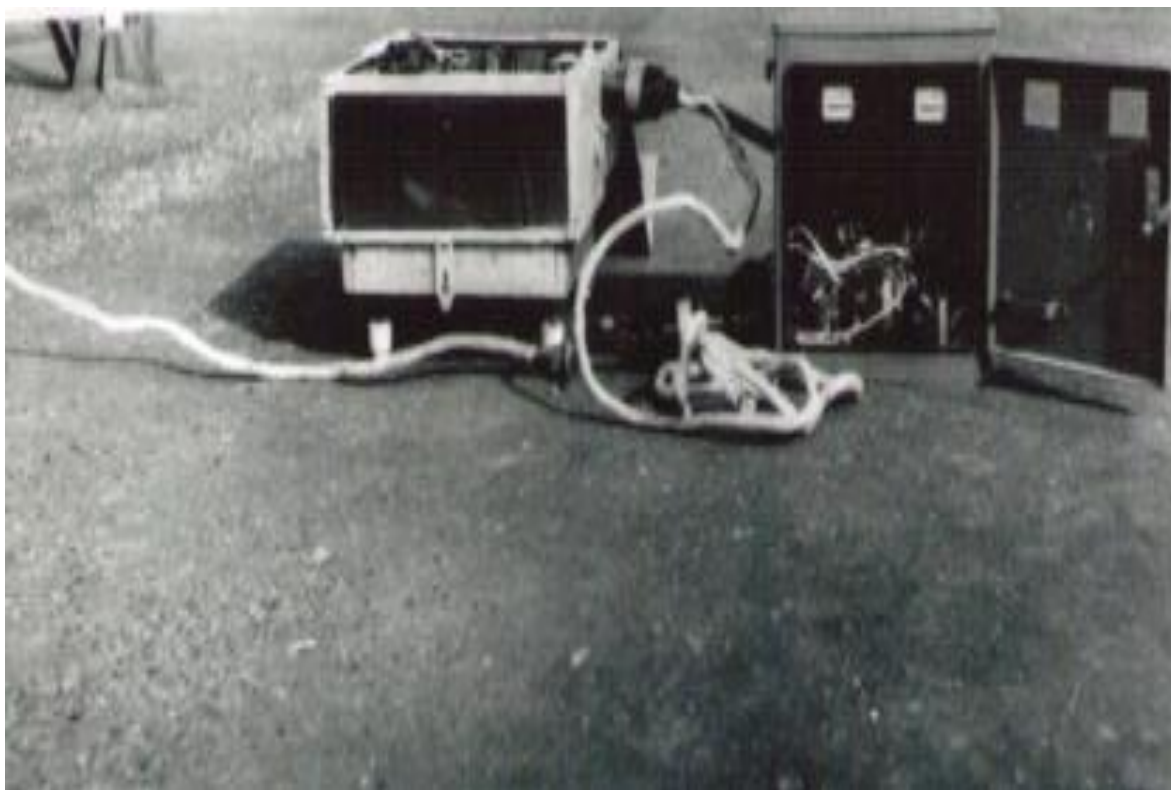


Рисунок 8 – Загальний вигляд вимірювального стенда

В комплект стенда входив автоматичний вимикач для аварійного відключення потокової лінії елеватора.

Таблиця 6 – Список приборів для вимірювання

Найменування приладів	Тип	Клас точності	Межа вимірювання
Амперметр змінного струму	Комплект К-505	0,5	2,5 – 5 А
Вольтметр змінного струму	Комплект К-505	0,5	75 – 600 В
Ватметр змінного струму	Комплект К-505	0,5	2,5 – 5 А 75 – 600 В
Трансформатор струму	И54	0,2	0,5 – 50 А
Трансформатор струму	УТТ-5М	0,2	15-600 А
Лічильник трифазний активний	СА4У	2,0	5 А, 380 В
Лічильник трифазний реактивний	СР4У	2,0	5 А, 380 В

Питомі витрати електроенергії визначалися при зміні головних факторів, які визначали величину витрат для всіх машин і механізмів. Для цього знімали енергетичні характеристики  $P = f(Q)$  та  $W = f(Q)$  і ставили задачу знайти оптимальні в енергетичному відношенні режими роботи обладнання [2, 3] (рисунки 9-12).

На основі індивідуальних енергетичних характеристик машин і механізмів, застосовуючи метод синтезу, можна побудувати сумарні енергетичні характеристики для окремих операцій, поточкових ліній при певних технологічних параметрах і зернових культурах [3].

За допомогою методів математичної статистики і теорії імовірності можна вирішити задачу про ступінь впливу окремих факторів на питомі витрати електроенергії, визначити форму і тісноту зв'язку, вивести вихідні рівняння для розрахунку питомих витрат електроенергії при будь-яких виробничих умовах [6, 7].

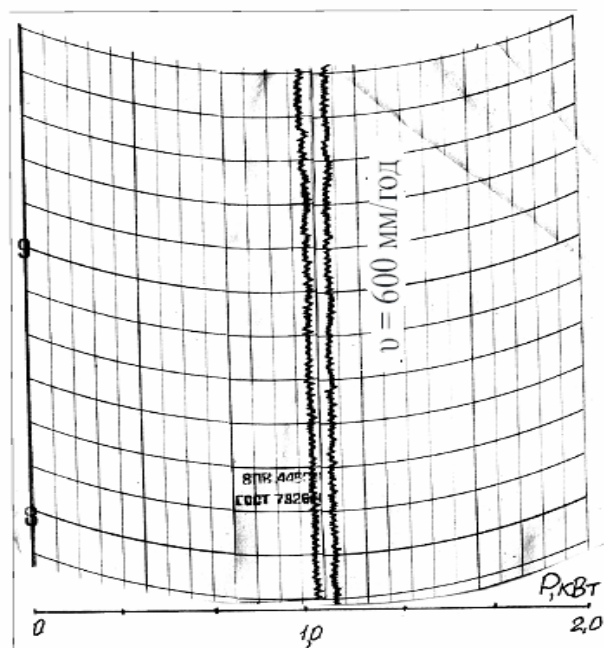


Рисунок 9 – Навантажувальна діаграма зерноочисної машини ЗАВ-10.30000

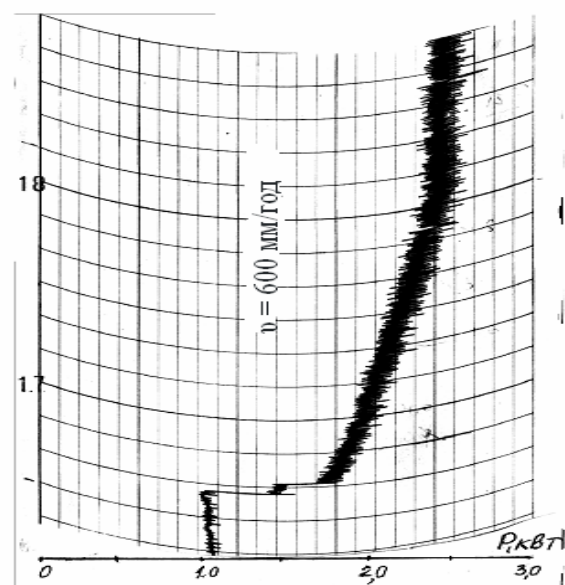


Рисунок 10 – Навантажувальна діаграма для трієра ЗАВ-10.90000

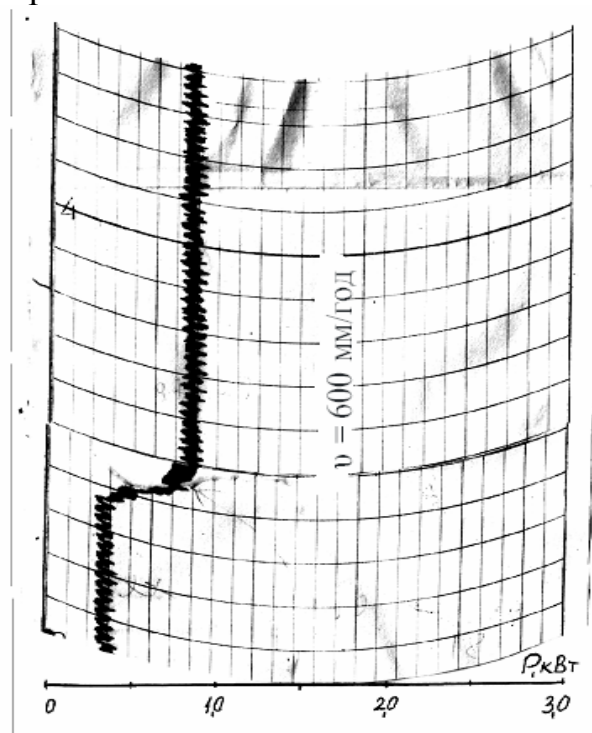


Рисунок 11 – Навантажувальна діаграма для норії НЗ-20

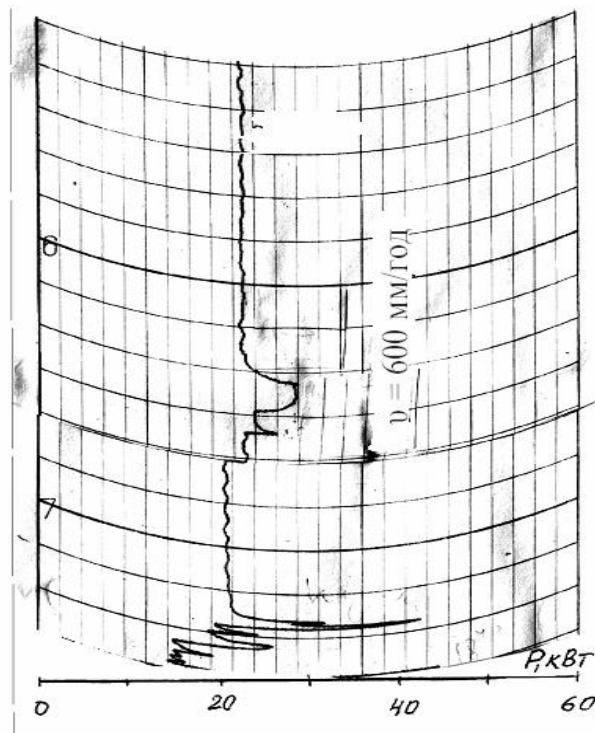


Рисунок 12 – Навантажувальна діаграма потокової лінії

Практика експериментальних досліджень і статистичних спостережень показує, що через вплив випадкових побічних факторів одному і тому технологічному параметру можуть відповідати різні питомі витрати електроенергії.

Питомі витрати електроенергії на елеваторах залежать від ряду основних і другорядних випадкових факторів, які мають імовірний характер, тобто питомі витрати електроенергії можна вважати випадковою змінною величиною, так як вони залежать не тільки від багатьох основних, але і від деяких побічних імовірно-випадкових факторів [2, 3].

Правильно оцінити вплив випадковостей можна, використовуючи теорію імовірності і математичну статистику. На їх основі запропоновані прийоми обробки і аналізу матеріалів, які відносяться до масових явищ і відображають ступінь впливу випадкових факторів [6, 7].

### **3.3 Дослідження впливу висоти норій елеваторів на енергоємність транспортування**

Висота підйомних пристроїв є важливим фактором, який впливає на питомі витрати електроенергії [4, 5].

Висоту всіх підйомно-транспортних механізмів можна розбити на п'ять розрядів: 10-15, 16-20, 21-25, 26-35, 36-45 м і на розряди продуктивності норій: 10-20, 21-30, 31-40 і 41-50 т/год. Таким чином, можна вивчити вплив висоти норій на питомі витрати електроенергії при різній продуктивності транспортних пристроїв. Експериментальні дані приведені в додатку 1.

При дослідженні впливу висоти на питомі витрати електроенергії необхідно переконатися, що воно не випадкове. Для цього необхідно провести дисперсійний аналіз [6, 7].

Загальна дисперсія на основі закону дисперсій складається з двох дисперсій

$$\sigma^2 = \sigma_B^2 + \sigma_C^2,$$

де  $\sigma_B^2$  – дисперсія, яка обумовлена висотою (міжгрупова дисперсія);

$\sigma_C^2$  – дисперсія, яка обумовлена випадковими факторами (залишкова дисперсія).

Для обчислення загальної дисперсії визначаємо величину

$$\sum (y - \bar{y})^2 = \sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n},$$

де  $y$  – питомі витрати електроенергії (додаток 1);

$\bar{y}$  – середнє значення питомих витрат;

$\sum y^2$  – сума квадратів всіх значень питомих витрат електроенергії;

$n$  – число значень.

На основі даних додатка 1 розрахована величина  $\sum y^2$ , яка дорівнює 2,51. Для визначення інших величин складена допоміжна таблиця 7.

Таблиця 7 – Розрахункові дані ( $Q_{\text{норії}} = 10 - 20$  т/год.)

Розряди висоти підйому, м	Сумарні питомі витрати по розрядам висоти $\sum y$ , кВт·год./т	Число значень по розрядам висоти, $n_i$	Середні питомі витрати по розрядам висоти, $y_{i \text{ ср}}$	$y_{i \text{ ср}} - \bar{y}$	$(y_{i \text{ ср}} - \bar{y})^2$	$(y_{i \text{ ср}} - \bar{y})^2 \cdot n_i$
10-15	1,3025	10	0,1302	-0,0819	0,006707	0,06707
16-20	1,5390	10	0,1539	-0,0459	0,003387	0,03387
21-25	1,1655	7	0,1662	-0,0459	0,002107	0,01475
26-35	2,0000	8	0,2500	0,0379	0,001436	0,01149
36-45	3,3255	9	0,3700	0,1579	0,024932	0,00439
$\Sigma$	9,3325	44			0,038569	0,35157

$$\bar{y} = \frac{\sum y}{n} = \frac{9,3325}{44} = 0,2121.$$

За даними таблиці 2 знаходимо:

– загальна середня величина  $\bar{y} = 0,2121$  ;

– загальна варіація

$$\sum (y - \bar{y})^2 = \sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n} = 2,51 - \frac{9,3325^2}{44} = 0,531 ;$$

– міжгрупова варіація

$$\sum (y_{i \text{ ср}} - \bar{y})^2 \cdot n_i = 0,352 ;$$

– остаточна варіація

$$0,531 - 0,352 = 0,179 ;$$

– число ступенів свободи:

– для загальної варіації

$$N_1 = 44 - 1 = 43 ;$$

– для міжгрупової варіації (по розрядам висоти)

$$N_2 = 5 - 1 = 4 ;$$

– для залишкової варіації (випадкові відхилення)

$$N_3 = 43 - 4 = 39 .$$

Міжгрупова дисперсія

$$\sigma_B^2 = \frac{0,352}{4} = 0,0880 .$$

Залишкова дисперсія, яка характеризує випадкові коливання

$$\sigma_C^2 = \frac{0,179}{39} = 0,00458 .$$

Відношення

$$F = \frac{\sigma_B^2}{\sigma_C^2} = \frac{0,0880}{0,00458} = 19,2 .$$

За таблицями Фішера при рівні значущості 0,001 і ступенях свободи  $N_2 = 4$  і  $N_3 = 39$ ,  $F_0 = 5,73$ . Отже,  $F_0 = 5,73 < F = 19,2$ .

Отже, імовірність того, що вплив висоти підйому транспортних пристроїв на питомі витрати електроенергії є випадковою, дорівнює всього лише 0,001 при  $F_0 = 5,73$ , а при  $F = 19,2$  вона близька до нуля.



Користуючись методом кореляції, можна установити зв'язок між питомими витратами енергії і висотою норій. Для цього складемо допоміжну таблицю 3. В ній через величину  $x$  позначена висота норій, через  $y$  – усереднене значення питомих витрат електроенергії на всіх норіях з даною висотою,  $a$ ,  $b$  – коефіцієнти, які отримані з нормальних рівнянь;  $r_{xy}$  – коефіцієнт кореляції. Для зручності обчислення значення величини  $y$  помножені на 1000.

Аналізуючи значення коефіцієнтів  $b$  для кожного інтервалу продуктивності, можна виявити наступну закономірність: якщо середину кожного інтервалу продуктивності помножити на відповідний йому коефіцієнт  $b$ , то ці добутки збільшуються від інтервалу до інтервалу на одну і ту ж величину. Дійсно, для першого інтервалу маємо  $8 \cdot 15 = 120$ ; для другого  $6,4 \cdot 25 = 160$ ; для третього  $5,7 \cdot 35 = 200$ ; для четвертого  $5,2 \cdot 45 = 234$ .

Таблиця 8 – Розрахункові дані

$x$	$y$	$x^2$	$xy$	$y^2$	$a$	$b$	$r_{xy}$
Продуктивність 10-20 т/год.							
15	130	225	1950	16900			
20	154	400	3080	23716			
25	166	625	4150	27556			
35	250	1225	8750	62500			
45	370	2025	16650	136900			
$\sum$ 140	1070	4500	34580	267572	-10	8	0,97
Продуктивність 21-30 т/год.							
15	121	225	1815	14600			
20	114	400	2280	13000			
25	148	625	3700	21900			
30	209	900	6270	43700			
45	295	2025	13275	87000			
$\sum$ 135	887	4175	27340	180200	4	6,4	0,96

$x$	$y$	$x^2$	$xy$	$y^2$	$a$	$b$	$r_{xy}$
Продуктивність 31-40 т/год.							
15	102	225	1530	10400			
20	86	400	1720	7400			
25	135	625	3375	18200			
35	181	1225	6335	32800			
45	262	2025	11790	68600			
$\sum$ 140	766	4500	24750	137400	-6	5,7	0,97
Продуктивність 41-50 т/год.							
15	87	225	1305	7570			
20	81	400	1620	6500			
25	156	625	3900	24340			
45	235	2025	10575	55200			
$\sum$ 105	559	3275	17400	93670	3	5,2	0,94

Таким чином, збільшення продуктивності  $Q$  на 10 т/год. збільшує добуток  $b \cdot Q$  на 40. Це дозволяє записати відношення

$$b \cdot Q = 60 + 4 \cdot Q ,$$

де  $Q$  – продуктивність, т/год.

Звідси

$$b = \frac{60}{Q} + 4 .$$

Зневажаючи значеннями коефіцієнтів  $a$ , отримуємо приблизне рівняння питомих витрат електроенергії

$$W = b \cdot x + a \approx bx = \left( \frac{0,06}{Q} + 0,004 \right) \cdot x , \quad (1)$$

де  $x$  – висота, м.

При обліку значення коефіцієнта  $a$  його середнє значення буде

$$\bar{a} = \frac{-10 + 4 - 6 + 3}{4 \cdot 1000} = -0,0022 .$$

Тоді рівняння питомих витрат електроенергії в залежності від висоти норії і її продуктивності може бути виражено в наступному вигляді

$$W = \left( \frac{0,06}{Q} + 0,004 \right) \cdot x - 0,0022 . \quad (2)$$

За формулою

$$P = [(0,06 + 0,004 \cdot Q) \cdot x - 0,0022 \cdot Q] \cdot \eta_{дв} \quad (3)$$

може бути розрахована потужність електродвигуна (кВт) в залежності від висоти, продуктивності норії і коефіцієнта корисної дії двигуна.

## ВИСНОВКИ

1. Дослідження в технологічних процесах очищення та зберігання зернових культур енергетичного фактора та параметрів, які його визначають, представляє проблему, яка має важливе народногосподарське значення. Відомо, що 1 одиниця зекономленої електроенергії може зекономити не менш 5 одиниць первинних енергоресурсів.

2. Встановлено, що витрати електричної енергії в технологічних процесах очищення і зберігання зерна на одиницю продукції в 2-3 рази перевищують аналогічні витрати в розвинених країнах.

3. Для розрахунку енергоємності процесу очищення зерна запропонована питома технологічна витрата електроенергії у кВт·год./т, що представляє собою витрати електроенергії на виконання очищення 1 т зерна за одну годину. Цей показник варто вважати найбільш об'єктивним критерієм економічної роботи потокової лінії обробки та зберігання зерна.

4. Експериментальними дослідженнями встановлено, що розбіжність між теоретичними і експериментальними даними не перевищує 10 % при

сильному кореляційному зв'язку ( $r = 0,9 - 0,98$ ) режимів роботи силового електрообладнання та фізико-механічних властивостей зерна з питомими витратами електричної енергії.

5. В результаті проведення експериментальних досліджень отримані залежності у вигляді рівнянь регресії питомих витрат енергії у функції продуктивності потокових ліній, вологості зерна та його засміченості, які дозволяють оптимізувати режим обробки зерна.

### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1 Головка С.Г. Краткий анализ зарубежного законодательства по контролю энергопотребления / С.Г. Головка // Энергосбережение. – 2001. - №9-10. – С. 14-16.

2 Постнікова М.В. Енергозберігаючі режими роботи електромеханічних систем обробки зерна на зернопунктах : автореф. дис... канд. техн. наук / М.В. Постнікова. – Мелітополь, 2011. – 22 с.

3 Карпова А.П. Исследование влияния технических и технологических факторов на электропотребление при подработке зерна на юге УССР : автореф. дис... канд. техн. наук / А.П. Карпова. – К., 1981. – 21 с.

4 Кожуховский И.Е. Механизация очистки и сушки зерна / И.Е. Кожуховский, Г.Т. Павловский. – М.: Колос, 1968. – 439 с.

5 Машины для послеуборочной поточной обработки семян. Теория и расчёт машин, технология и автоматизация процессов / Под ред. З.Л. Тица. – М.: Машиностроение, 1967. – 448 с.

6 Смирнов Н.В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технологических приложений / Н.В. Смирнов, И.В. Дунин-Барковский. – М. : Наука, 1965. – 511 с.

7 Митропольский А.К. Техника статистических вычислений / А.К. Митропольский. – М. : Физматиздат, 1961. – 479 с.

## Електроенергетичні показники норій при підйомі зерна на різну висоту

Висота підйому, м		Продуктивність норій, т/год.														
		10-20			21-30			31-40			41-50					
		х. х., кВт	навантаження, кВт	питома витрата, кВт·год./т	х. х., кВт	навантаження, кВт	питома витрата, кВт·год./т	х. х., кВт	навантаження, кВт	питома витрата, кВт·год./т	х. х., кВт	навантаження, кВт	питома витрата, кВт·год./т	х. х., кВт	навантаження, кВт	питома витрата, кВт·год./т
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13				
	-	-	-	1,34	3,25	0,1580	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,94	2,42	0,1660	1,50	3,50	0,1206	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,64	2,05	0,1365	1,50	3,25	0,1310	2,00	6,28	0,1570	1,70	2,87	0,0638				
	1,10	2,30	0,1860	-	-	-	-	-	-	1,10	4,50	0,0970				
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,32	4,08	0,0826				
	-	-	-0,0850	1,10	3,10	0,1290	-	-	-	1,70	2,70	0,0670				
	0,66	1,20	-	2,00	4,45	0,1650	1,95	3,60	0,1030	1,95	3,75	0,0920				
	-	-	0,0740	1,95	3,00	0,1520	-	-	-	0,60	4,20	0,0950				
	0,66	1,38	0,1465	1,34	3,66	0,1540	-	-	-	1,95	4,50	0,0950				
	0,90	1,65	0,1415	0,72	2,40	0,0790	-	-	-	1,95	4,80	0,0970				

## Продовження додатку 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
10-15	0,90	2,25	0,1415	0,66	1,44	0,0630	-	-	-	-	-	-
	1,02	1,56	0,1390	0,66	1,68	0,0610	0,66	2,16	0,0560	-	-	-
	1,02	1,62	0,1030	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1,32	2,20	0,1250	-	-	-	1,32	3,72	0,0913	1,32	3,95	0,0860
	-	-	-	-	-	-	0,96	3,09	0,0910	0,96	3,50	0,0830
	-	3,25	0,2390	2,10	3,80	0,1310	0,96	3,00	0,0920	2,10	4,60	0,1020
16-20	-	3,25	0,2570	2,40	4,10	0,1440	0,96	2,90	0,0925	2,40	4,85	0,1180
	1,20	1,38	0,1180	1,40	2,50	0,1390	1,40	2,90	0,1011	1,40	3,70	0,0828
	0,96	2,58	0,1930	0,96	2,70	0,1030	1,04	2,50	0,0720	1,40	4,00	0,0820
	1,04	1,50	0,1120	1,04	2,28	0,0870	1,04	2,34	0,0750	1,04	3,00	0,0710
	1,04	1,58	0,1230	1,20	1,95	0,0810	1,04	2,40	0,0730	1,20	3,00	0,0650
	1,20	1,95	0,1080	1,20	2,25	0,1040	1,20	2,40	0,0690	1,20	2,55	0,0590
	1,04	1,80	0,1090	1,04	2,40	0,1010	0,72	3,30	0,1030	1,04	3,40	0,0690
	0,72	1,80	0,1410	0,72	3,12	0,1350	0,72	3,60	0,0950	0,96	3,80	0,0775
	0,72	2,28	0,1390	0,72	3,00	0,1180	1,20	1,68	0,0506	1,04	3,20	0,0600

## Продовження додатку 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	1,38	2,48	0,1420	1,38	3,00	0,1380	1,38	4,05	0,1010	1,38	4,65	0,0970
	1,50	3,17	0,1780	1,50	2,90	0,1060	1,50	3,30	0,0917	-	-	-
	1,50	3,15	0,1810	1,50	2,80	0,1100	-	-	-	-	-	-
21-25	1,50	3,00	0,1875	1,50	4,20	0,1515	1,50	4,35	0,1325	-	-	-
	1,50	2,55	0,2180	1,50	3,90	0,1715	1,56	-	-	-	-	-
	1,50	2,20	0,1300	1,56	3,90	0,1723	-	-	-	-	-	-
	1,50	2,40	0,1290	1,35	5,00	0,1870	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	2,10	4,50	0,2150	2,10	7,26	0,1880	2,10	8,45	0,1790
26-30	2,25	3,00	0,3230	1,90	5,37	0,2180	-	-	-	1,90	10,10	0,1930
	2,25	4,50	0,2500	1,90	9,90	0,2080	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	2,25	5,25	0,2260	2,25	6,00	0,1630	2,25	7,20	0,1550
31-35	1,50	4,80	0,3310	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1,50	4,40	0,3520	-	-	-	-	-	-	-	-	-

## Продовження додатку 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
31-35	2,10	3,60	0,2120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2,10	3,00	0,2300	-	-	-	1,50	7,20	0,2060	-	-	-
	2,10	2,70	0,2500	1,50	5,30	0,2270	1,50	6,98	0,2100	1,50	7,50	0,1590
	2,10	3,00	0,2490	2,10	4,08	0,1580	2,10	4,20	0,1280	2,10	4,32	0,0960
	-	-	-	3,40	7,40	0,3567	1,75	9,70	0,2567	3,40	11,00	0,2605
36-45	2,60	5,80	0,3850	2,90	7,10	0,3710	3,70	8,60	0,3160	2,90	10,30	0,2415
	2,60	4,45	0,3345	2,50	8,80	0,3440	2,30	6,50	0,1950	2,90	7,40	0,1600
	2,90	4,80	0,3380	2,30	4,80	0,2400	2,50	9,10	0,2280	2,50	9,10	0,1926
	2,50	3,73	0,3730	3,70	8,60	0,3160	-	-	-	-	-	-
	2,50	6,70	0,3560	3,60	6,93	0,3050	2,50	10,90	0,3290	3,60	12,30	0,2830
	2,40	3,30	0,4650	-	-	-	3,60	8,93	0,2880	3,70	12,63	0,2810
	2,40	4,20	0,3620	2,40	5,70	0,2610	2,40	8,00	0,2560	2,40	11,50	0,2500
	2,70	5,22	0,3670	2,70	7,10	0,2890	-	-	-	2,70	11,05	0,2690
	2,40	5,80	0,3450	2,30	4,30	0,2220	2,40	9,00	0,2290	2,30	7,20	0,1660



## **РОЗДІЛ 5.1.5**

### **РОЗРОБКА ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ БІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ В ТВАРИННИЦТВІ**

**Етап 5.1.5.3** Обґрунтування немедикаментозного методу лікування ендометриту тварин за допомогою інформаційного ЕМП НВЧ діапазону

#### **ВИКОНАВЦІ**

к.т.н., доцент  
асистент

Попрядухін Вадим Сергійович  
Речина Ольга Миколаївна

## РЕФЕРАТ

Звіт про НДР 5.1.5.3: 13 с., 3 рисунки, 14 посилань.

### РЕПРОДУКТИВНА СИСТЕМА, ЕЛЕКТРОМАГНІТНЕ ПОЛЕ, ІНФОРМАЦІЙНО - ХВИЛЬОВЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ.

Об'єкт дослідження – процес лікування патології яєчників великої рогатої худоби інформаційним електромагнітним випромінюванням короткохвильового діапазону.

Мета роботи – створення електронної системи та інформаційного електромагнітного методу для внутрішньоутробного лікування хвороб і розладів функції яєчників маточного поголів'я великої рогатої худоби.

Методи досліджень – теоретичні методи аналізу і синтезу, математичне моделювання.

В результаті проведених досліджень визначенні біотропні параметри ЕМП (частота, щільність потоку потужності, експозиція), що забезпечать пригнічення патогенних коків в яєчниках тварин і прискорену регенерацію пошкоджених тканин.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	68
1 ПРОГРАМА ДОСЛІДЖЕНЬ .....	68
2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ .....	68
3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ	
3.1 Аналіз взаємодії електромагнітного випромінювання з яєчниками корів .....	69
3.2 Визначення біотропних параметрів інформаційного електромагнітного випромінювання для лікування хвороб яєчників корів .....	74
ВИСНОВКИ .....	75
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	76

## ВСТУП

Кризовий стан в тваринництві України характеризується спадом виробництва молока і м'яса, що частково спричинено зниженням репродуктивної здатності маткового поголів'я корів внаслідок післяпологових хвороб, серед яких основне місце займає патологія гонад (яєчників).

Аналіз статистичних даних [8, 13, 14] показує, що за останній час яловість корів знаходиться в межах 17-30%, а в окремих господарствах відсоток безплідних тварин сягає 40% від числа маточного поголів'я. Сьогодні збитки на утримання однієї корови з порушеною відтворювальною функцією складають близько 100 грн на добу.

Захворювання корів на гінекологічні хвороби спричиняє зниження заплідненості корів на 17...40%, збільшення часу від отелення до наступного запліднення на 40...60 днів, зменшення виживання приплоду і молочної продуктивності на 12...18%.

## 1 ПРОГРАМА ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Аналіз взаємодії електромагнітного випромінювання з яєчниками корів.

1.2 Визначення біотропних параметрів інформаційного електромагнітного випромінювання для лікування хвороб яєчників корів.

## 2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Для досягнення поставленої мети в процесі теоретичного дослідження застосовуються методи математичного моделювання.

### 3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1 Аналіз взаємодії електромагнітного випромінювання з яєчниками корів

При аналізі впливу електромагнітного випромінювання на яєчники корови приймаємо наступні припущення [1, 2]:

- під терміном «електромагнітне випромінювання» розуміємо лінійно поляризовану монохроматичну електромагнітну хвилю, що поширюється в черевній порожнині тварини;
- моделлю яєчників корови є сфероїд обертання (рисунок 1), заповнений ізотропним середовищем з діелектричною проникністю  $\varepsilon\varepsilon_0$  і магнітною проникністю  $\mu_0$  ( $\varepsilon_0$  і  $\mu_0$  - діелектрична і магнітна проникності вакууму);
- частотна і просторова дисперсії діелектричної проникності яєчників корови не враховуються.

Для математичного описання електродинамічної моделі яєчників корови введемо декартову  $x, y, z$  та циліндричну  $r, \varphi, z$  системи координат з вісями  $z$ , що співпадають з віссю симетрії сфероїда на рисунку 13. Гранична поверхня сфероїда утворюється обертанням навколо вісі  $z$  лінії, що описується рівнянням:

$$r = h(z) = \frac{2R}{h} \sqrt{z(h-z)}, \quad (1)$$

де  $h$  – максимальна висота яєчника;

$2R$  – максимальний діаметр кола, що лежить в площині  $z = h/2$ .

Лінійно поляризовану монохроматичну електромагнітну хвилю, що поширюється в напрямку, який не збігається з жодною з вісей декартової системи координат можна представити у вигляді [2]:

$$\vec{E}^{\text{пад}} = E_0 (\cos\alpha_1 \vec{e}_x + \cos\beta_1 \vec{e}_y + \cos\delta_1 \vec{e}_z) e^{ik(x\cos\gamma_1 + y\cos\gamma_2 + z\cos\gamma_3) - i\omega t}, \quad (2)$$

$$\vec{H}^{\text{пад}} = \frac{E_0}{W} (\cos \alpha_2 \vec{e}_x + \cos \beta_2 \vec{e}_y + \cos \delta_2 \vec{e}_z) e^{ik(x \cos \gamma_1 + y \cos \gamma_2 + z \cos \gamma_3) - i\omega t}.$$

де  $\alpha_1, \beta_1, \delta_1$  – кути напрямку орієнтування вектора  $\vec{E}^{\text{пад}}$ ;

$\alpha_2, \beta_2, \delta_2$  – кути напрямку орієнтування вектора  $\vec{H}^{\text{пад}}$ ;

$\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$  – кути орієнтації напрямку розповсюдження хвилі (рисунок 14);

$W = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_1 \varepsilon_0}}$  – опір середовища розповсюдженню хвилі;

$\varepsilon_1 \varepsilon_0$  – діелектрична проникність середовища;

$k = \omega \sqrt{\varepsilon_1 \varepsilon_0 \mu_0}$  – хвильове число;

$\omega$  – колова частота хвилі;

$E_0$  – амплітуда хвилі.

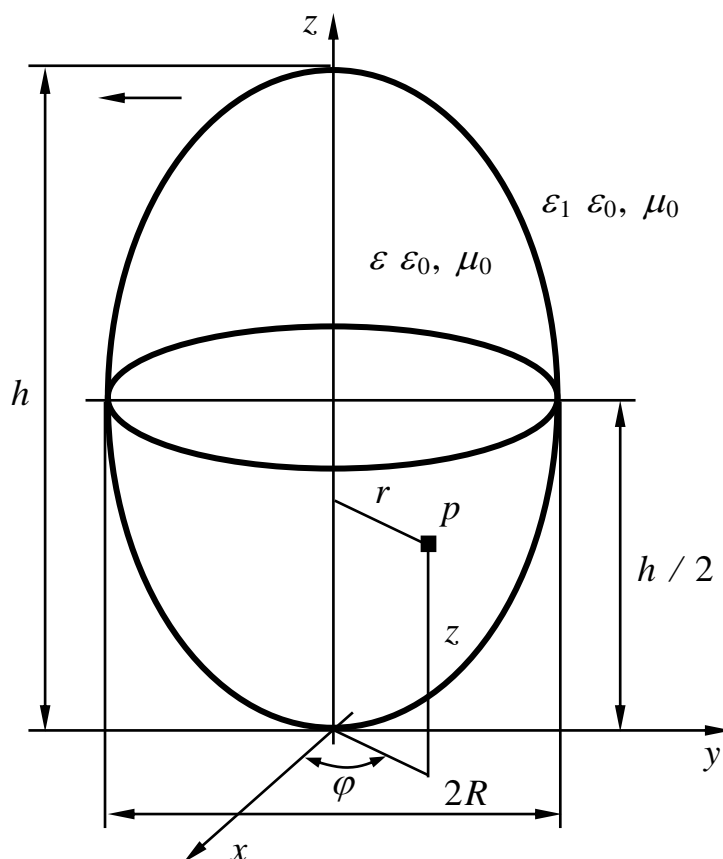


Рисунок 13 – Електродинамічна модель яєчників корови

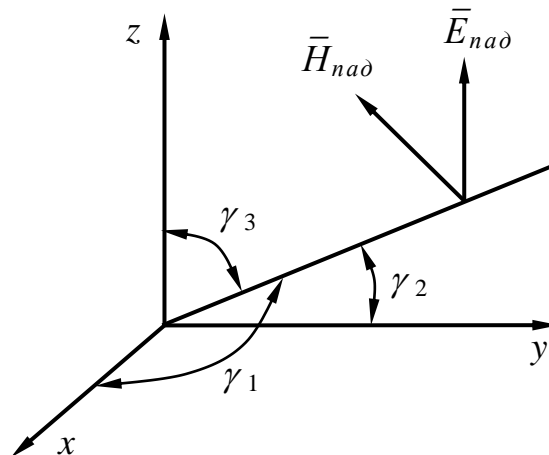


Рисунок 14 – Кути орієнтування напрямку розповсюдження збуджуючої хвилі

В результаті дифракції хвилі (1) на яєчнику корови виникає вторинне електромагнітне поле (поле дифракції) з векторами напруженості електричного і магнітного поля  $\vec{E}_{\pm}, \vec{H}_{\pm}$  (знак «+» відповідає полю всередині яєчника, а знак «-» – полю ззовні яєчника). Це поле має задовольняти однорідній системі рівнянь Максвелла.

$$\text{rot}\vec{E}_{\pm} = i\omega\mu_0\vec{H}_{\pm}, \quad \text{rot}\vec{H}_{\pm} = -i\omega\varepsilon_1\varepsilon_0\vec{E}_{\pm}, \quad (3)$$

$$\text{rot}\vec{H}_{\pm} = -i\omega\varepsilon\varepsilon_0\vec{E}_{\pm}, \quad \text{div}\vec{E}_{\pm} = 0, \quad \text{div}\vec{H}_{\pm} = 0. \quad (4)$$

Крім рівнянь (3), (4) поле дифракції має задовольняти граничним умовам на поверхні яєчників, а ззовні – умові випромінювання [2,10].

Граничні умови на поверхні яєчників складаються з неперервності тангенціальних компонент поля до цієї поверхні:

$$\vec{E}_{-\tau} + \vec{E}_{\tau}^{\text{пад}} = \vec{E}_{+\tau}, \quad (5)$$

$$\vec{H}_{-\tau} + \vec{H}_{\tau}^{\text{пад}} = \vec{H}_{+\tau}. \quad (6)$$

Вимога, аби поле  $\vec{H}_{-}, \vec{E}_{-}$  задовольняло умові випромінювання складається у виконанні наступних співвідношень [2,12]:

$$\lim_{\bar{r} \rightarrow \infty} \bar{r} \left( \frac{\partial \vec{E}_-}{\partial \bar{r}} - ik \vec{E}_- \right) = 0, \quad (7)$$

$$\lim_{\bar{r} \rightarrow \infty} \bar{r} \left( \frac{\partial \vec{H}_-}{\partial \bar{r}} - ik \vec{H}_- \right) = 0, \quad (8)$$

де  $\bar{r} = (x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}$ .

У відповідності із загальними теоремами електродинаміки [2] задача (1...8) має лише один розв'язок. Побудова цього розв'язку в загальному випадку можлива лише за допомогою числових методів і комп'ютера. Проте, при певних припущеннях можливо отримати залежність напруженості електричного поля у функції діелектричної проникності і частоти збуджуючої хвилі.

Припустимо  $Q$  позначає область простору, яку займають яєчники. Рівняння (3), (4) представимо в наступному вигляді:

$$\text{rot} \vec{H} = -\frac{ik}{W} \vec{E} + \vec{j}, \quad (9)$$

$$\text{rot} \vec{E} = ikW \vec{H}. \quad (10)$$

Введено позначення  $k = \omega \sqrt{\varepsilon_1 \varepsilon_0 \mu_0}$ ,  $W = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_1 \varepsilon_0}}$ :

$$\vec{E} = \begin{cases} \vec{E}_+ + \vec{E}^{\text{пад}}, & p \in Q \\ \vec{E}_- + \vec{E}^{\text{пад}}, & p \notin Q \end{cases}, \quad \vec{H} = \begin{cases} \vec{H}_+ + \vec{H}^{\text{пад}}, & p \in Q \\ \vec{H}_- + \vec{H}^{\text{пад}}, & p \notin Q \end{cases}, \quad (11)$$

$$\vec{j} = \begin{cases} \frac{ik}{W} (\varepsilon - \varepsilon_0) \vec{E}_+, & p \in Q \\ 0, & p \notin Q \end{cases}. \quad (12)$$



Рівняння (9), (10) можна розглядати як неоднорідні рівняння Максвелла в однорідному середовищі з діелектричною проникністю  $\varepsilon\varepsilon_0$  і магнітною проникністю  $\mu_0$ , а векторну функцію  $\vec{j}$  вважати щільністю струму заданою в області  $Q$ .

Припустимо, що величина  $\vec{j}$  відома. Тоді рішення рівнянь (9), (10), можна уявити за допомогою векторної потенційної функції  $\vec{F}$  за відомими формулами:

$$\vec{F}(p) = \int_Q \vec{j}(q) G(|p-q|) dv_q, \quad (13)$$

$$\vec{E} = \frac{W}{ik} \text{grad div } \vec{F} - ikW\vec{F}, \quad (14)$$

$$\vec{H} = \text{rot } \vec{F}. \quad (15)$$

Функція  $G(|p-q|)$  є функцією Гріна тривимірного скалярного рівняння Гельмгольца, де  $|p-q|$  – відстань між точками  $p$  та  $q$ . З урахуванням (11), після ряду перетворень було отримано інтегро-диференціальне рівняння:

$$\begin{aligned} \vec{E}_+(p) = & k^2 \left(1 - \frac{\varepsilon}{\varepsilon_1}\right) \int_Q \vec{E}_+(q) G(|p-q|) dv_q + \\ & + \left(1 - \frac{\varepsilon}{\varepsilon_1}\right) \text{grad div} \int_Q \vec{E}_+(q) G(|p-q|) dv_q + \vec{E}^{\text{пад}}. \end{aligned} \quad (16)$$

Вираз (16) є інтегро-диференціальним рівнянням щодо напруженості електричного поля всередині яєчників (область  $p \in Q$ ). Коли точка  $p \in Q$ , то при відомому полі  $\vec{E}_+$  вираз (16) дозволяє розрахувати електричне поле поза яєчників. Побудова рішення цього рівняння є складною обчислювальною проблемою. У зв'язку з цим за допомогою інтегро-диференціальних формул теорії векторних полів рівняння (16) було перетворено до простішого вигляду:

$$\begin{aligned} \vec{E}_+(p) = & k^2 \left(1 - \frac{\varepsilon}{\varepsilon_1}\right) \int_Q \vec{E}_+(q) G(|p-q|) dv_q - \\ & - \left(1 - \frac{\varepsilon}{\varepsilon_1}\right) \int_{\partial Q} (\vec{E}_+(q), \vec{n}) \operatorname{grad}_q G(|p-q|) ds_q + \vec{E}^{\text{пад}} \end{aligned} \quad (17)$$

Вираз (17) є знайденим рівнянням для ЕМП всередині яєчника. На основі рівняння (17) були отримані формули для розрахунку середнього значення електричного поля всередині яєчників.

$$U_{\text{сеп}} = \frac{E_{\text{зсеп}}}{E_0} \cong \frac{9\pi kR}{16} \left[ 1 - (kR)^2 \left(1 - \frac{\varepsilon}{\varepsilon_1}\right) \frac{9ih^4}{16R^4} D_1 \right], \quad (18)$$

$$\text{де } D_1 = 0,5 \int_0^\infty \frac{J_1\left(\frac{x}{2}\right) J_2\left(\frac{x}{2}\right)}{x^3} (1-x^2) dx - \frac{4i}{\pi} \int_0^\infty \frac{J_2\left(\frac{x}{2}\right) \sin \frac{x}{2}}{x^3} \left( \cos^2 \frac{x}{2} - x^2 \sin^2 \frac{x}{2} \right) dx$$

### 3.2. Визначення біотропних параметрів інформаційного електромагнітного випромінювання для лікування хвороб яєчників корів

З формули (18) випливає, що найбільш перспективним для ефективною взаємодії ЕМВ з яєчниками корови є діапазон частот, де  $kR \sim 10$ ,  $kh \sim 10$ . З огляду на середньостатистичні геометричні розміри яєчників цей діапазон можна визначити як  $61 \text{ ГГц} \leq f \leq 151 \text{ ГГц}$ . На рисунку 3 представлені результати розрахунків залежності середнього поля від частоти збуджуючої хвилі.

Геометричні параметри яєчника були наступні:  $2R = 20 \text{ мм}$ ,  $h = 40 \text{ мм}$ . Відносна діелектрична проникність середовища, що заповнює яєчник  $\varepsilon = 8,5$ , втрати в середовищі характеризувалися  $\operatorname{tg} \delta = 0,5$ . Розрахунки проводилися в діапазоні частот  $61 \dots 91 \text{ ГГц}$ . Як видно з рисунка 15, частотна залежність середнього поля має резонансну поведінку. Максимальне значення середнього поля досягається на частоті  $f = 72,2 \text{ ГГц}$ . Це значення частоти

збуджуючої електромагнітної хвилі є оптимальним для ефективної взаємодії ЕМВ з яєчниками корови. Отриманий результат пояснює вибір цієї частоти в якості одного з біотропних параметрів. З цих міркувань всі подальші розрахунки проводилися саме для цієї частоти. Для розрахунку величини потужності ЕМВ и часу опромінення яєчників корів, для пригнічення патогенних мікроорганізмів в ній, була використана модель руйнування мембран мікроорганізмів (коків) під дією наведення критичного потенціалу.

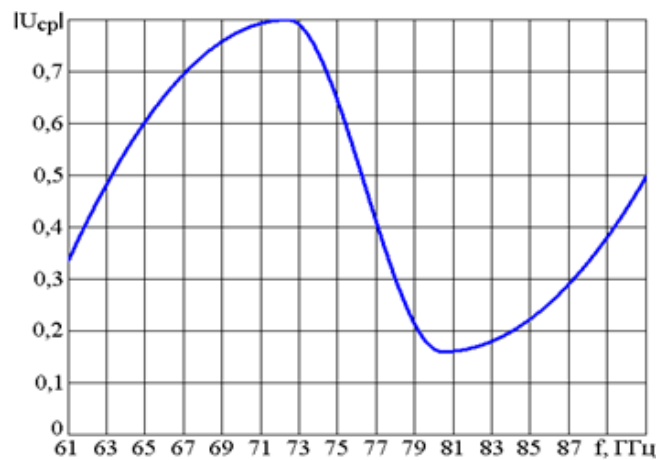


Рисунок 15 – Залежність від частоти середнього значення електричного поля нормованого на амплітуду збуджуючої хвилі

При проведенні чисельних розрахунків враховувалося, що наведений потенціал дорівнює 110...115 мВ. В результаті розрахунків було встановлено, що експозиція становить  $t = 70$  с, а напруженість  $E = 44,88$  В/м.

Для отриманої напруженості щільність потоку потужності склала  $0,4$  мВт/см<sup>2</sup>, а потужність джерела ЕМВ для внутрішньоутробного опромінення поверхні яєчників корів площею  $25$  см<sup>2</sup> буде дорівнювати  $10...15$  мВт.

## ВИСНОВКИ

Проведено теоретичний аналіз з виявлення біотропних параметрів інформаційного ЕМП КВЧ діапазону довжин хвиль для лікування хвороби яєчників маточного поголів'я ВРХ, теоретично визначено розподіл ЕМП при різних частотах і експозиціях випромінювання, різної щільності потоку потужності.

Встановлено, що найбільш перспективним для ефективної взаємодії ЕМВ з яєчниками корови є діапазон частот  $61 \text{ ГГц} \leq f \leq 151 \text{ ГГц}$ .

Для руйнування мембрани патогених кокків в яєчниках корів необхідний потенціал на мембрані не менше 110 мВ, наведений зовнішнім джерелом електромагнітного випромінювання КВЧ діапазона потужністю 20 мВт.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. 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.
2. Бинги В. Н. Магнитология: эксперименты и модели / В. Н. Бинги. – М.: «МИЛТА», 2002. – 592 с.
3. Попрядухин В.С. Использование электромагнитного излучения в лечении гинекологических болезней животных / В.С. Попрядухин // Энергетика та комп'ютерно-інтегровані технології в АПК. – 2015. – № 2(5). – С.49 – 52.
4. Попрядухин В.С. Определение оптимальных параметров электромагнитного излучения для угнетения патогенных микроорганизмов, вызывающих воспаления яичников КРС / В. С. Попрядухин // Вісник ХНУТСГ імені Петра Василенка. Технічні науки.

- Випуск 176 «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – 2016. – С.91-93.
5. Попрядухин В. С. Анализ распределения электрического поля в больных яичниках коров / В. С. Попрядухин // Scince Rise. – 2017. – № ½ (30). – С. 26 – 31.
  6. Диагностика, лечение и профилактика патологии яичников и яйцеводов у коров: учебно-методическое пособие / [Р. Г. Кузьмич, Л. Н. Рубанец, А. А. Гарбузов и др.; Витебская государственная академия ветеринарной медицины]. – Витебск: ВГАВМ, 2010. – 60 с.
  7. Анатомія свійських тварин / С. К. Рудик, Ю. О. Павловський, Б. В. Криштофорова [та ін.]. – Київ : Аграрна освіта, 2001. – 576 с.
  8. Полянцев Н. И. Воспроизводство в промышленном животноводстве / Н. И. Полянцев. – М.: Росагропромиздат, 1990. – 240 с.
  9. Dulores P. Incrase incidense of retained placenta associated with heat stress in dairi caustheriogenology / P.Duiores, D. Williams. – 1980. – V. V. – №2. – P. 115 – 121.
  - 10.Lomba F. Aspects du syndrome part dans cinq drandes exploitations baines. Freguence ct reperceesions / F.Lomba// Ann. MedVeter. – 1980. – V.24. – №18. – P. 577 – 584.
  - 11.Батраков А. Я. Ветеринарное обслуживание промышленного скотоводства / А. Я. Батраков. – М.: Агропроиздат, 1987. – 195 с.
  - 12.Konermann H. Die Weichen truhauf erneutes Tragenwerdenstellen / H. Konermann // Landwirtschaft. Wochen. – Blatt. – 1979. –№139(48) – P. 24 – 26.
  - 13.Гончаров В. П. Акушерство, гинекология и биотехника размножения животных / В. П. Гончаров, Д. А. Черепяхин. – М.: Колос, 2004. – 328 с.
  14. Медведев Г. Ф. Послеродовые изменения в половых органах коров / Г. Ф. Медведев // Ветеринария. – 1981. – №1. – С. 58 – 61.