

№ держреєстрації: 0116U002726

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

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

директор ВДІ МЗТУ

д.т.н.  В.Т. Надикто

« 30 » \_\_\_\_\_ 2020 р.

**ЗВІТ**

**ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ**

(проміжний січень 2020 – грудень 2020)

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:




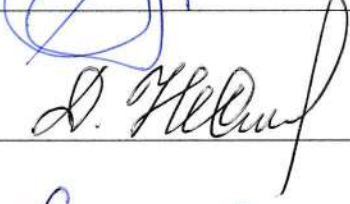


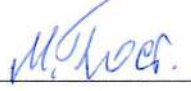

 к.т.н. С.О. Квітка

2020

Результати роботи розглянуто НТР

Протокол № 7 від « 30 » 12 2020 р.

## СПИСОК АВТОРІВ

К.т.н., доцент		Розділ 5.1.1
Квітка С.О.		Етап 5.1.1.5
К.т.н., доцент		Розділ 5.1.1
Вовк О.Ю.		Етап 5.1.1.5
К.т.н., доцент		Розділ 5.1.1
Курашкін С.Ф.		Етап 5.1.1.5
К.т.н., доцент		Розділ 5.1.2
Нестерчук Д.М.		Етап 5.1.2.5
К.т.н., доцент		Розділ 5.1.2
Попова І.О.		Етап 5.1.2.5
Ст. викладач		Розділ 5.1.3
Ковальов О.В.		Етап 5.1.3.5
К.т.н., доцент		Розділ 5.1.4
Постнікова М.В.		Етап 5.1.4.5
К.т.н., доцент		Розділ 5.1.5
Попрядухін В.С.		Етап 5.1.5.5

## **РОЗДІЛ 5.1.1**

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

**Етап 5.1.1.5** Розробка пристрою забезпечення ресурсо-енергозберігаючого експлуатаційного режиму асинхронного електродвигуна.

#### **ВИКОНАВЦІ**

к.т.н., доцент

к.т.н., доцент

к.т.н., доцент

Квітка Сергій Олексійович

Вовк Олександр Юрійович

Курашкін Сергій Федорович

## РЕФЕРАТ

Звіт з НДР 5.1.1.5: 16 с., 0 табл., 5 рисунків, 16 посилань.

АСИНХРОННИЙ ЕЛЕКТРОДВИГУН, ДІАГНОСТУВАННЯ, ЕКСПЛУАТАЦІЙНИЙ РЕЖИМ, СХЕМА ЗАМІЩЕННЯ, ВТРАТИ АКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ, НАПРУГА.

Об'єкт дослідження: процес електромеханічного перетворення енергії в асинхронному електродвигуні за умови мінімальних втрат активної потужності.

Предмет дослідження: взаємозв'язок між втратами активної потужності в обмотці статора асинхронного електродвигуна та напругою живлення залежно від завантаження електродвигуна.

Мета роботи: збереження електроенергії під час роботи трифазних асинхронних електродвигунів приводів робочих машин потокових технологічних ліній.

Методи досліджень: аналітичний та комп'ютерного моделювання процесу втрат активної потужності асинхронного електродвигуна.

В результаті проведених досліджень запропоновано здійснювати управління асинхронним електродвигуном за мінімумом втрат активної потужності за допомогою напруги живлення, яка залежить від його навантаження. Управління здійснюється в функції навантаження електродвигуна, які враховують конструктивні параметри двигуна і вид механічної характеристики робочої машини.

**ЗМІСТ**

ВСТУП .....	7
1 ПРОГРАМА ДОСЛІДЖЕНЬ .....	8
2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ .....	8
3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ .....	8
ВИСНОВКИ .....	17
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	18

## ВСТУП

Електро механічне перетворення енергії в усіх галузях життєдіяльності людини здійснюється за допомогою електроприводу, на частку якого припадає споживання від 50% до 70% виробленої електричної енергії [1-4]. Більшу частину складають електроприводи змінного струму – за різними даними від 68% до 85% (в основному, це асинхронні електроприводи) [5, 6]. Значний час роботи асинхронні електродвигуни функціонують з не максимальним коефіцієнтом корисної дії через не оптимального завантаження. Кількість асинхронних електроприводів з такими електродвигунами коливається від 80% до 90% [9].

Використання механізмів регулювання завантаження асинхронних електродвигунів дозволить економити до 40-50% споживаної ними електроенергії [7, 9], а економія 1 кВт споживаної потужності обходиться в 4-5 разів дешевше вартості 1 кВт потужності енергогенеруючої установки, яка вводиться в експлуатацію [5]. Тому заощадження електроенергії при роботі трифазних асинхронних електродвигунів є актуальною народно-господарською проблемою. На сучасному етапі для вирішення цієї проблеми застосовуються регульовані асинхронні електроприводи, однак системи автоматичного управління електроприводами мають переваги і недоліки, які докладно описані в [10-13]. Основний недолік – всі існуючі алгоритми функціонування і засоби для їх реалізації не враховують вид механічної характеристики робочої машини, що приводиться в дію асинхронним електродвигуном.

Пропонується застосування управління асинхронним електродвигуном приводу робочих машин з урахуванням виду їх механічних характеристик за мінімумом втрат активної потужності в електродвигуні. Управління передбачається виконати за допомогою прикладеної напруги, враховуючи поточне завантаження електродвигуна.

## 1 ПРОГРАМА ДОСЛІДЖЕННЯ

- 1.1 Дослідити залежність втрат активної потужності в трифазному асинхронному електродвигуні від його завантаження і прикладеної напруги живлення з урахуванням Г-подібної схеми заміщення електродвигуна.
- 1.2 Дослідити залежність сумарних втрат потужності трифазного асинхронного електродвигуна від виду механічної характеристики робочої машини:
  - з незалежною від швидкості характеристикою;
  - з лінійно-зростаючою характеристикою;
  - з нелінійно-зростаючою характеристикою;
  - з нелінійно-спадаючою характеристикою.
- 1.3 Розробити структурну електричну схему пристрою забезпечення ресурсо-енергозберігаючого експлуатаційного режиму асинхронного електродвигуна.

## 2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

Електромеханічні процеси, які протікають в трифазному асинхронному електродвигуні було досліджено за допомогою Г-подібної еквівалентної схеми заміщення із застосуванням чисельного аналізу.

Рівняння, за якими здійснюється регулювання напругою живлення асинхронного електродвигуна залежно від виду механічної характеристики робочої машини отримані аналітичним методом за мінімумом втрат активної потужності.

Адекватність аналітичних досліджень перевірена за допомогою експерименту.

## 3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

З метою встановлення залежності між втратами активної потужності в асинхронному електродвигуні, прикладеною напругою і коефіцієнтом завантаження асинхронного електродвигуна з урахуванням виду механічної характеристики робочої машини розглянемо процес електромеханічного перетворення енергії в електродвигуні, використовуючи його Г-подібну схему заміщення (рисунок1) .

На схемі (рис.1) позначено:  $\dot{U}_1$  – комплекс діючого значення прикладеної фазної напруги;  $\dot{i}_1$  – комплекс діючого значення споживаного фазного струму;  $\dot{i}_2''$  – комплекс діючого значення сили струму гілки навантаження;  $\dot{i}_0$  – комплекс діючого значення сили струму гілки намагнічення;  $s$  – ковзання електродвигуна;  $r_1'$ ,  $x_1'$ ,  $r_2''$ ,  $x_2''$ ,  $r_1$ ,  $x_1$ ,  $r_0$ ,  $x_0$  – параметри схеми.

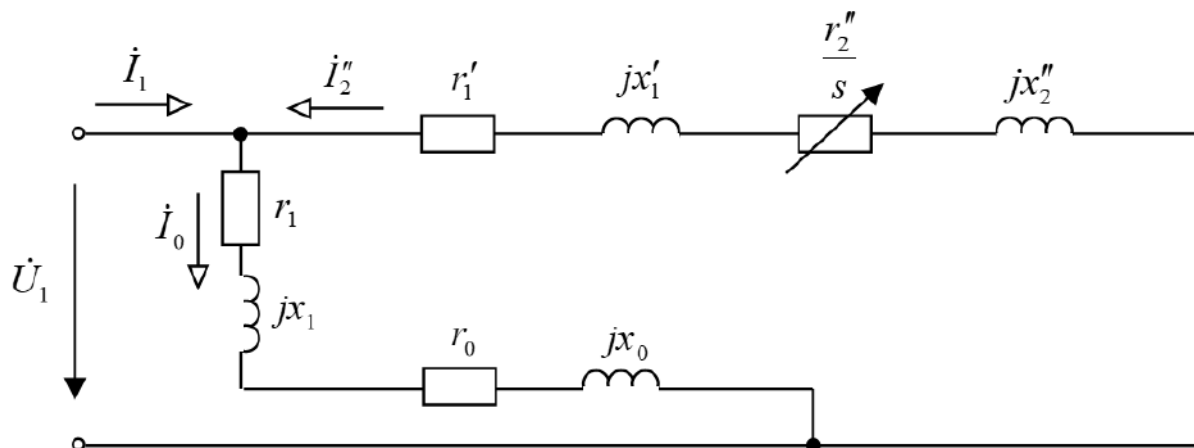


Рисунок 1. Г-подібна схема заміщення однієї фази трифазного асинхронного електродвигуна для комплексів діючих значень

Втрати активної потужності в гілці намагнічення схеми (постійні втрати):

$$\Delta P_{const} = 3 \cdot (r_1 + r_0) \cdot I_0^2 = 3 \cdot \frac{(r_1 + r_0)}{(r_1 + r_0)^2 + (x_1 + x_0)^2} \cdot U_1^2. \quad (1)$$

При номінальній напрузі живлення  $U_{1H}$  вираз (1) буде мати вигляд:

$$\Delta P_{const.H} = 3 \cdot \frac{(r_1 + r_0)}{(r_1 + r_0)^2 + (x_1 + x_0)^2} \cdot U_{1H}^2, \quad (2)$$

Якщо поділити (1) на (2), отримаємо:

$$\Delta P_{const} = \Delta P_{const.H} \cdot \left( \frac{U_1}{U_{1H}} \right)^2 = \Delta P_{const.H} \cdot k_u^2. \quad (3)$$

Втрати активної потужності в гілці навантаження (змінні втрати):



$$\Delta P_{var} = 3 \cdot (r_1' + r_2'') \cdot (I_2'')^2 = 3 \cdot \frac{(r_1' + r_2'')}{\left(r_1' + \frac{r_2''}{s}\right)^2 + (x_1' + x_2'')^2} \cdot U_1^2. \quad (4)$$

При номінальній напрузі живлення і номінальному навантаженні (тобто при номінальному ковзанні  $s_H$ ) вираз (4) матиме вигляд:

$$\Delta P_{var.H} = 3 \cdot \frac{(r_1' + r_2'')}{\left(r_1' + \frac{r_2''}{s_H}\right)^2 + (x_1' + x_2'')^2} \cdot U_{1H}^2. \quad (5)$$

Якщо поділити (4) на (5), отримаємо:

$$\Delta P_{var} = \Delta P_{var.H} \cdot \frac{\left(r_1' + \frac{r_2''}{s_H}\right)^2 + (x_1' + x_2'')^2}{\left(r_1' + \frac{r_2''}{s}\right)^2 + (x_1' + x_2'')^2} \cdot k_u^2. \quad (6)$$

У свою чергу, сумарні втрати активної потужності в асинхронному електродвигуні:

$$\Delta P = \Delta P_{const.H} \cdot k_u^2 + \Delta P_{var.H} \cdot \frac{\left(r_1' + \frac{r_2''}{s_H}\right)^2 + (x_1' + x_2'')^2}{\left(r_1' + \frac{r_2''}{s}\right)^2 + (x_1' + x_2'')^2} \cdot k_u^2. \quad (7)$$

В роботі [15] показано, як залежить ковзання асинхронного електродвигуна від прикладеної напруги, навантаження і виду механічної характеристики робочої машини. Тому для електродвигуна приводу робочої машини з незалежною від швидкості механічною характеристикою вираз (7) набуде вигляду:

$$\Delta P = \Delta P_{const.H} \cdot k_u^2 + \Delta P_{var.H} \cdot \frac{\left( r_1' + \frac{r_2''}{s_H} \right)^2 + (x_1' + x_2'')^2}{\left( r_1' + \frac{r_2'' \cdot k_u^2}{s_H \cdot k_3} \right)^2 + (x_1' + x_2'')^2} \cdot k_u^2. \quad (8)$$

де  $k_u$  – коефіцієнт, що враховує відношення поточної напруги живлення  $U_1$  до її номінального значення  $U_{1H}$  [13];

$k_3$  – коефіцієнт завантаження електродвигуна, рівний відношенню поточного моменту на валу електродвигуна до номінального.

Для електродвигуна приводу робочої машини з лінійно-зростаючою механічною характеристикою вираз (7) набуде вигляду:

$$\Delta P = \Delta P_{const.H} \cdot k_u^2 + \Delta P_{var.H} \cdot \frac{\left( r_1' + \frac{r_2''}{s_H} \right)^2 + (x_1' + x_2'')^2}{\left( r_1' + \frac{r_2'' \cdot \left( \frac{k_u^2}{k_3 \cdot s_H} + \frac{1 - m_0}{1 - s_H} \right)}{m_0 + \frac{1 - m_0}{1 - s_H}} \right)^2 + (x_1' + x_2'')^2} \cdot k_u^2, \quad (9)$$

де  $m_0$  – відносне значення моменту зрушення робочої машини.

Для електродвигуна приводу робочої машини з нелінійно-зростаючою механічною характеристикою вираз (7) набуде вигляду:

$$\Delta P = \Delta P_{const.H} \cdot k_u^2 + \Delta P_{var.H} \times \frac{\left( \left( r_1' + \frac{r_2''}{s_H} \right)^2 + (x_1' + x_2'')^2 \right) \cdot k_u^2}{\left( r_1' + \frac{r_2''}{1 + \frac{(1 - s_H)}{k_3 \cdot 2s_H} \left( k_u^2 - \sqrt{k_u^4 (1 - s_H) + k_l \cdot 4s_H (1 - m_0) (k_u^2 + k_3 \cdot s_H m_0)} \right)} \right)^2 + (x_1' + x_2'')^2} \cdot k_u^2. \quad (10)$$

Для електродвигуна приводу робочої машини з нелінійно-спадаючою механічною характеристикою вираз (7) набуде вигляду:

$$\Delta P = \Delta P_{const.H} \cdot k_u^2 + \Delta P_{var.H} \times \left( \left( r_1' + \frac{r_2''}{s_H} \right)^2 + (x_1' + x_2'')^2 \right) \cdot k_u^2 \times \left( r_1' + \frac{r_2''}{\frac{1}{2} \left( \left( 1 + \frac{k_3}{k_u^2} s_H m_0 \right) - \sqrt{\left( 1 - \frac{k_3}{k_u^2} s_H m_0 \right)^2 - 4 \frac{k_3}{k_u^2} (1 - m_0) (1 - s_H)} \right)} \right)^2 + (x_1' + x_2'')^2 \quad (11)$$

Встановимо залежність  $k_u = f(k_3)$  для асинхронних електродвигунів приводу різних робочих машин, при якій втрати активної потужності будуть мінімальними. Тобто визначимо, використовуючи рівняння (8) – (11), яким повинен бути коефіцієнт  $k_u$  при певному значенні коефіцієнта  $k_3$ , щоб втрати потужності в електродвигуні були мінімальними, якщо електродвигун приводить в рух робочі машини з різними видами механічних характеристик.

При розкритті дужок в (8) – (11) отримуємо рівняння восьмого і вище порядків щодо  $k_u$ . Тому аналітично вивести рівняння для розрахунку  $k_u$  в залежності від  $k_3$  не представляється можливим. Таку залежність можна отримати тільки чисельним методом для конкретного асинхронного електродвигуна, використовуючи програму, яка дозволяє знаходити мінімум функції. Результати розрахунку і апроксимації кривої для асинхронного електродвигуна 4AM90L4 з номінальною потужністю 2,2 кВт в якості приводу робочої машини з незалежною від швидкості механічною характеристикою показані на рисунку 2.

Результатом апроксимації наведеної залежності є рівняння, при якому втрати потужності в зазначеному асинхронному електродвигуні будуть мінімальними:

$$k_u = -0,895 \cdot k_3^2 + 1,784 \cdot k_3 + 0,089 \quad (12)$$

У разі приводу зазначеним електродвигуном робочих машин з іншими видами механічних характеристик залежно  $k_u = f(k_3)$  будуть аналогічні, наведеної на рисунку 2. Рівняння, при якому втрати потужності в цьому асинхронному елект-

родвигуні будуть мінімальними в разі приводу робочої машини з лінійно-зростаючою механічною характеристикою

$$k_u = -0,83 \cdot k_3^2 + 1,709 \cdot k_3 + 0,09. \quad (13)$$

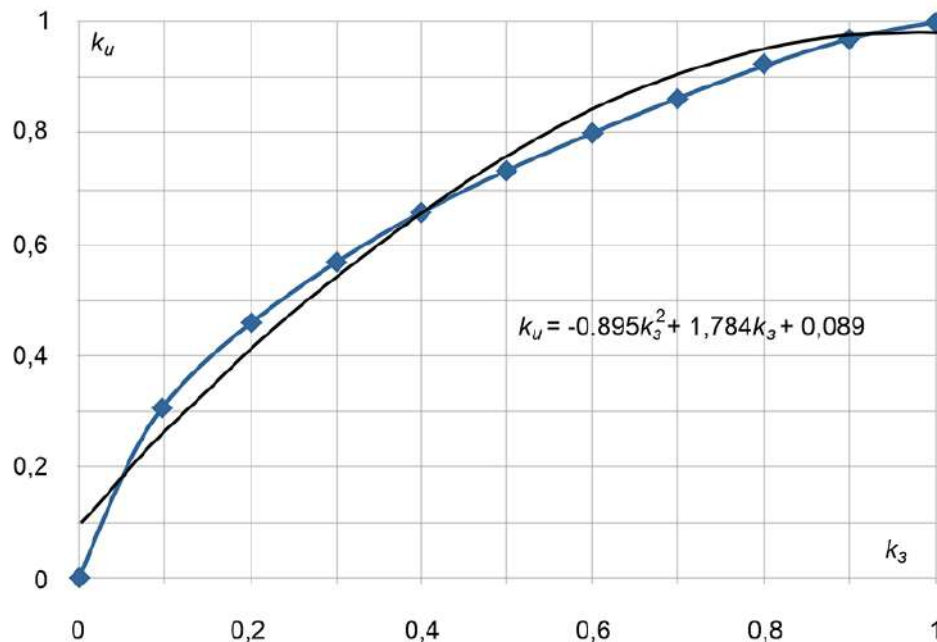


Рисунок 2. Залежність  $k_u = f(k_3)$  для асинхронного двигуна 4AM90L4 в якості приводу робочої машини з незалежною від швидкості механічною характеристикою

У разі приводу робочої машини з нелінійно-зростаючій механічною характеристикою:

$$k_u = -0,872 \cdot k_3^2 + 1,758 \cdot k_3 + 0,09. \quad (14)$$

У разі приводу робочої машини з нелінійно-спадаючої механічною характеристикою:

$$k_u = -0,783 \cdot k_3^2 + 1,653 \cdot k_3 + 0,091. \quad (15)$$

Як видно з отриманих рівнянь (12) – (15) коефіцієнти, які характеризують вид механічної характеристики робочої машини і конструктивні параметри електродвигуна – різні. Отже, управління асинхронним електродвигуном по мінімуму втрат активної потужності за допомогою напруги живлення в залежності від його

навантаження повинне здійснюватися за попередньо отриманими залежностями  $k_u = f(k_3)$ , які враховують конструктивні параметри електродвигуна і вид механічної характеристики робочої машини. Розрахунок здійснюється за допомогою програми, що знаходить мінімум функції, задаючись завантаженням електродвигуна і використовуючи вирази (8) – (11). Після розрахунку отримані залежності апроксимують і отримують рівняння для управління електродвигуном.

Результати розрахунку втрат потужності в електродвигуні 4AM90L4 в разі приводу робочої машини з незалежною від швидкості механічною характеристикою без управління і з керуванням по рівнянню (12) показані на рисунку 3.

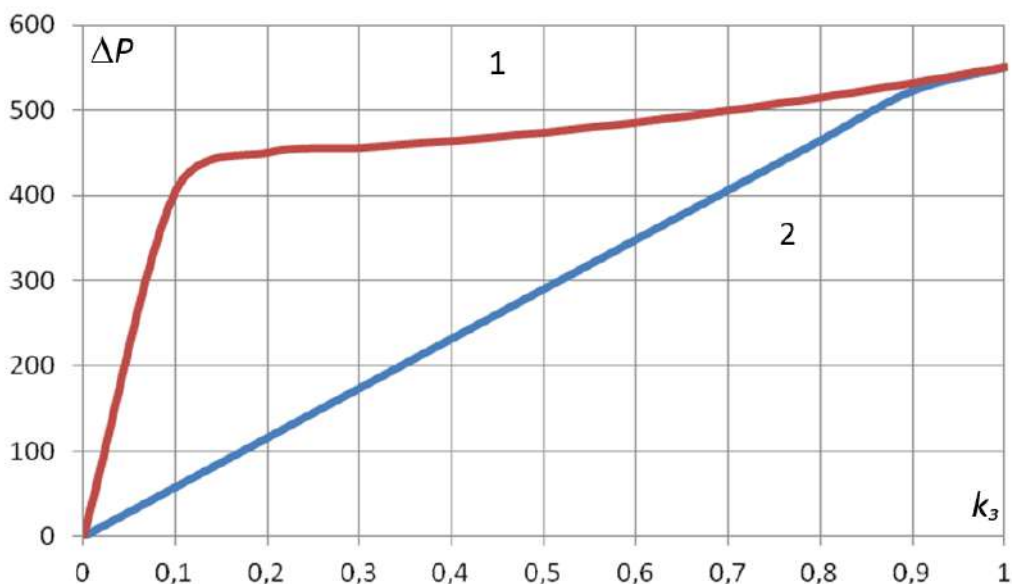


Рисунок 3. Залежність  $\Delta P = f(k_3)$  для асинхронного двигуна 4AM90L4 в якості приводу робочої машини з незалежною від швидкості механічною характеристикою

На рисунку 3 позначено: 1 – залежність  $\Delta P = f(k_3)$  при відсутності управління, 2 – залежність  $\Delta P = f(k_3)$  при управлінні за рівнянням (12).

Як видно з рисунку 3 застосування управління дає значне зниження втрат потужності в асинхронному електродвигуні, особливо при невеликому завантаженні. Наприклад, якщо електродвигун працюватиме з 50% навантаженням протягом року [16], то річна економія електроенергії складе:

$$\Delta W = \Delta P' \cdot t \cdot N, \quad (16)$$

де  $\Delta W$  – економія електроенергії за рік,  $\kappa Bm \cdot год$ ;

$\Delta P'$  – різниця втрат потужності без управління і при управлінні,  $\kappa Bm$ ;

$t$  – час роботи електродвигуна на добу,  $год$ ;

$N$  – кількість робочих днів в році;

$$\Delta W = 0,18325 \cdot 8 \cdot 250 = 366,5 \kappa Bm \cdot ч .$$

У разі приводу зазначеним електродвигуном робочих машин з іншими видами механічних характеристик при відсутності управління і при управлінні за відповідним рівнянням залежності  $\Delta P = f(k_3)$  будуть аналогічні показаним на малюнку 3. Річна економія електроенергії при роботі електродвигуна з 50% навантаженням буде складати:

– в разі приводу робочої машини з лінійно-зростаючою механічною характеристикою:

$$\Delta W = 0,19434 \cdot 8 \cdot 250 = 388,68 \kappa Bm \cdot ч ;$$

– в разі приводу робочої машини з нелінійно-зростаючій механічною характеристикою:

$$\Delta W = 0,18707 \cdot 8 \cdot 250 = 374,14 \kappa Bm \cdot ч ;$$

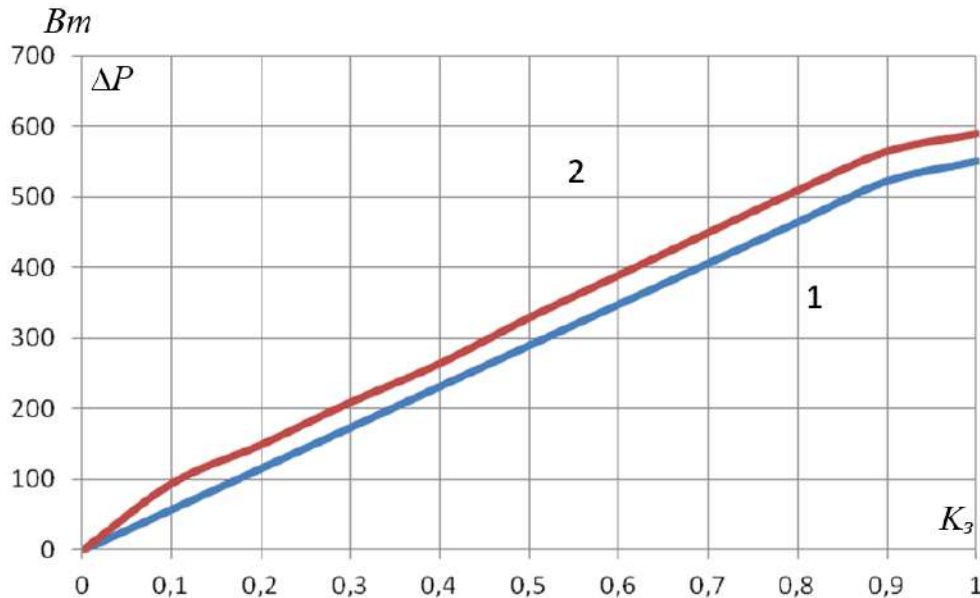
– в разі приводу робочої машини з нелінійно-спадаючої механічною характеристикою:

$$\Delta W = 0,20022 \cdot 8 \cdot 250 = 400,44 \kappa Bm \cdot ч .$$

Отримані рівняння (12) – (15) були перевірені в лабораторних умовах на асинхронному електродвигуні 4AM90L4. Результати експериментальної перевірки для робочої машини з незалежною від швидкості механічною характеристикою (для транспортера) показані на рисунку 4.

На рисунку 4 позначено: 1 – розрахункова залежність  $\Delta P = f(k_3)$ , 2 – експериментальна залежність  $\Delta P = f(k_3)$ . Як видно з отриманих результатів збіжність розрахункових і експериментальних значень знаходиться в допустимих межах, так як середньоквадратичне відхилення не перевищує 10%. Відхилення обумовлено на-

ступним: а) асинхронний електродвигун деякий час перебував в експлуатації, отже, значення його параметрів відрізняються від розрахункових внаслідок незначних експлуатаційних дефектів; б) при отриманні рівняння (12) не було враховано насичення сталі асинхронного електродвигуна і зміна його параметрів внаслідок нагрівання.



**Рис.4.** Залежність  $\Delta P = f(k_z)$  для асинхронного двигуна 4AM90L4 в якості приводу робочої машини із незалежною від швидкості механічною характеристикою (транспортера) при управлінні за рівнянням (12)

Результати експериментальних перевірок для робочих машин з іншими видами механічних характеристик носять характер, аналогічний показаному на рисунку 4. Середньоквадратичне відхилення такі ж, їх причини аналогічні, показаним вище.

Структурна схема пристрою забезпечення ресурсо-енергозберігаючого експлуатаційного режиму асинхронного електродвигуна наведена на рисунку 5. Робота пристрою відбувається наступним чином. Первинний перетворювач струму CS вимірює середнє квадратичне значення діючого струму навантаження електродвигуна  $M$  і перетворює його в пропорційну напругу, яка подається до аналогоцифрового перетворювача ADC блоку контролера CPU. За допомогою USB інтерфейсу блок CPU програмується згідно технічних даних електродвигуна і робочої

машини. Контролер CPU обчислює поточне значення коефіцієнту завантаження  $k_3$  і формує сигнал, що відповідає потрібному значенню коефіцієнта  $k_u$ , який подається до симісторного блоку регулятора напруги VS. Напруга з регулятора подається на затискачі електродвигуна. Таким чином досягається підтримка необхідного значення напруги залежно від завантаження двигуна і типу механічної характеристики робочої машини за умови мінімальних втрат активної потужності.

Поточний стан роботи пристрою контролюється на вбудованому дисплеї LCD.

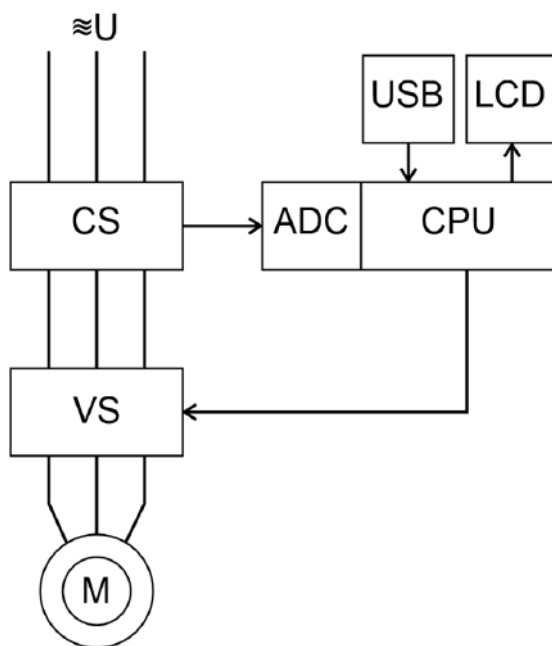


Рисунок 5. Структурна схема пристрою забезпечення ресурсо-енергозберігаючого експлуатаційного режиму асинхронного електродвигуна

## ВИСНОВКИ

В результаті дослідження запропоновано здійснювати управління асинхронним електродвигуном за мінімумом втрат активної потужності за допомогою напруги живлення в залежності від його навантаження. Управління здійснюється за попередньо отриманими рівняннями прикладеної напруги в функції навантаження електродвигуна, які враховують конструктивні параметри двигуна і вид механічної характеристики робочої машини. Розрахунок  $k_u = f(k_3)$  при  $\Delta P \rightarrow \min$



запропоновано здійснювати в програмі, що дозволяє знаходити мінімум функції, задаючись навантаженням електродвигуна і застосовуючи вирази (8) – (11). Після розрахунку отримані залежності апроксимують і отримують рівняння для управління електродвигуном.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Барский В.А. Электропривод как энергосберегающий фактор в промышленности и ЖКХ Украины / В.А. Барский, А.С. Бешта, Н.В. Горбачёв, М.В. Загирняк и др. // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – № 9 (115). – 2013. – С. 2-11.
2. Mirchevski S. Analysis of energy efficiency in electric drives / S. Mirchevski, M. Bartłomiejczyk, Š. Hamacek, H. Hamacková // Result and solutions of young r & s for innovations and progress. – September. – 2013. – pp.5-9.
3. Hussein S. Energy Efficient Control of Three-Phase Induction Motor Drive / S. Hussein // Energy and Power Engineering. – №3. – 2011. – pp. 107-112.
4. Gavrila H. New Trends in Energy Efficient Electrical Machines / H. Gavrila, V. Manescu (Paltanea), G. Paltanea, G. Scutaru, I. Peter // Procedia Engineering. – № 181. – 2017. – pp. 568-574.
5. Mirchevski S. Energy Efficiency in Electric Drives / S. Mirchevski // Electronics. – Vol. 16, №. 1 – june, 2012. – pp. 46-49.
6. Гуляев И.В. Системы векторного управления электроприводом на основе асинхронного вентильного двигателя: монография / И.В. Гуляев, Г.М. Тутаев. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2010. – 200 с.
7. Борисевич А.В. Энергосберегающее векторное управление асинхронными электродвигателями: обзор состояния и новые результаты: монография / А. В. Борисевич. – М.: ИНФРА-М, 2015. – 102 с.
8. U.S. Department of Energy. Energy Efficiency & Renewable Energy. Building Technologies Office. Energy Savings Potential and Opportunities for High-Efficiency Electric Motors in Residential and Commercial Equipment. – December, 2013. – 80 p.

9. Energy Efficiency with Electric Drive Systems / ZVEI - German Electrical and Electronic // Responsible: Gunther Koschnick, Bernhard Sattler. – April, 2015. – 30 p.
10. Kozyaruk A.E. Methods and tools increasing energy efficiency of machines and technologies with asynchronous drives / A.E. Kozyaruk, B.Yu. Vasiliev // Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering, 2015. – vol. 15. – no. 1, pp. 47-53.
11. Ушаков А.С. Исследование современных методов энергосберегающего управления асинхронным электроприводом / А.С. Ушаков, А.Р. Колганов // Вестник Ивановского государственного энергетического университета, 2012. – Вып. 2. С.1-8.
12. Назипова Л.Р. Недостатки применения частотного управления на типовых асинхронных электродвигателях // Наука, образование, общество: материалы VI Международной научно-практической конференции (Чебоксары, 18 июня 2017г.). В 2 т., Т.1. – Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2017. – С. 326-329.
13. Курашкін С.Ф. Дослідження втрат потужності еквівалентної теплової схеми заглибленого електродвигуна / С.Ф. Курашкін, В.В. Овчаров // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь: ТДАТА, 2005. – Вип. 32. – С.50-54.
14. Kohlrusz G. Comparision of scalar and vector control strategies of induction motors / G. Kohlrusz, D. Fodor // Hungarian journal of industrial chemistry vezsprém, 2011. – Vol.39(2). – pp. 265-270.
15. Вовк О.Ю. Вплив відхилення напруги живлячої мережі на втрати потужності в асинхронному електродвигуні / О.Ю.Вовк, С.О.Квітка, О.С.Квітка // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2015. – Вип. 164. – С. 121-123.
16. Kostić M. Analysis of Induction Motor Efficiency Class Change at Partial Load / M. Kostić // Elec. Energ. – vol. 23, no.3. – December 2010. – pp. 333-344.

## **РОЗДІЛ 5.1.2**

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

**Етап 5.1.2.5** Техніко-економічне обґрунтування доцільності впровадження пристрою моніторингу та захисту трифазних асинхронних електродвигунів

#### **ВИКОНАВЦІ**

К.т.н., доцент

Нестерчук Діна Миколаївна

К.т.н., доцент

Попова Ірина Олексіївна

## РЕФЕРАТ

Звіт з НДР 5.1.2.5: 9 с., 1 табл., 0 рисунків, 8 посилань.

АСИНХРОННИЙ ЕЛЕКТРОДВИГУН, ПРИСТРІЙ, МОНІТОРИНГ, ЗАХИСТ, ТРИФАЗНИЙ АСИНХРОННИЙ ЕЛЕКТРОДВИГУН, ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ, ВПРОВАДЖЕННЯ

Об'єкт дослідження: техніко-економічна оцінка ефективності роботи пристрою моніторингу та захисту асинхронного електродвигуна (АД) з короткозамкненим ротором.

Предмет дослідження: взаємозв'язок технічних показників роботи пристрою моніторингу та захисту АД з економічними показниками ефективності його роботи.

Мета роботи: підвищення техніко-економічної ефективності АД при впровадженні пристрою моніторингу та захисту асинхронних електродвигунів.

Методи досліджень: економіко-аналітичний метод.

В результаті проведених досліджень запропонована методика для розрахунку показників, що характеризують ефективність додаткових капітальних вкладень та їх термін окупності.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	23
1 ПРОГРАМА ДОСЛІДЖЕНЬ .....	24
2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ .....	24
3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ .....	25
ВИСНОВКИ .....	28
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	29

## ВСТУП

В ринковій економіці права товаровиробників та споживачів зрівняні, а зв'язок між товаровиробником та споживачем здійснюється через реальні, визначені ринком фінансові та цінові критерії. Технічний рівень продукції контролюється та стадіях життєвого циклу: розробка, виробництво, експлуатація. Показники якості, а саме, експлуатаційні та техніко-економічні, визначаються технічними умовами та контролюються самими виробниками [1].

Згідно класичного підходу до оцінки економічної ефективності будь-якої групи технічних нововведень, основним показником є економічний ефект, що характеризує абсолютну величину перевищення вартісної оцінки очікуваних (фактичних) результатів над сумарними витратами ресурсів за певний розрахунковий період. Залежно від завдань, що підлягають вирішенню, величину економічного ефекту потрібно обчислювати в одній із двох форм – народногосподарській (загальний ефект за умов використання нововведень) і внутрішньогосподарській (ефект, одержуваний окремо розробником, виробником і споживачем технічних новинок або нововведень). Враховуючи, що учасниками впровадження інноваційних технологій у виробництво є не лише саме підприємство, але й інвестори проекту та розробники інноваційного рішення, то на початковій стадії та стадії проектування більшість фахівців пропонують здійснювати такі види економічних розрахунків: оцінку порівняльної ефективності, оцінку комерційної ефективності, а також оцінку бюджетної ефективності. Крім того, економічна ефективність впровадження того чи іншого нововведення може бути оцінена лише шляхом порівняння показників інноваційного та існуючого обладнання [2, 3].

## 1 ПРОГРАМА ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Здійснити економічний аналіз впровадження пристрою моніторингу та захисту АД та розробити методику для розрахунку показників, що характеризують ефективність додаткових капітальних вкладень та їх термін окупності.

1.2 Аналітично розрахувати показники, що характеризують ефективність додаткових капітальних вкладень та їх термін окупності.

## 2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

Мета досліджень – це підвищення експлуатаційної надійності трифазних асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором шляхом розробки та впровадження пристрою моніторингу та захисту електродвигунів. Впровадження пристрою дозволить контролювати параметри, що характеризують технічний стан АД, тому то економічний ефект від впровадження досягається за рахунок скорочення простою технологічного обладнання при повторному запуску технологічної лінії після усунення несправності.

Для досягнення поставленої мети та для виконання програми досліджень розроблена методика досліджень, яка складається з:

- визначення матеріальних витрат при закупівлі нових АД (пристрій не впроваджується);
- визначення матеріальних витрат при закупівлі нових АД (пристрій впроваджується);
- визначення матеріальних витрат при проведенні капітальних ремонтів АД (пристрій не впроваджується);
- визначення матеріальних витрат при проведенні капітальних ремонтів АД (пристрій впроваджується);
- визначення річного економічного ефекту від зниження матеріальних витрат при закупівлі нових АД (пристрій впроваджується);

- визначення річного економічного ефекту від зниження матеріальних витрат при проведенні капітальних ремонтів АД (пристрій впроваджується);
- визначення термінів окупності.

### 3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Вихідні дані для обґрунтування та розрахунку показників економічної ефективності від впровадження пристрою наведені в таблиці 1 [4].

Таблиця 4.7 - Вихідні дані для розрахунку економічних показників

Найменування витрат	серія	$P_H, кВт$	Вартість, грн.
Витрати на придбання нових асинхронних електродвигунів	АИР90L4	2,2	3235
	АИР71В4	0,75	1668
	АИР100L4	4,0	4251
Разом витрати на придбання нових АД, грн..			9154

Вартість пристрою визначалася за ринковими цінами листопада 2020 року з урахуванням витрат на монтажні роботи в розмірі 40 відсотків від загальної вартості пристрою.

Аналіз [5, 6] дозволив зробити висновок, що відсоток виходу АД з ладу без впровадження пристрою моніторингу та захисту електродвигунів складає 20%, а при впровадженні пристрою – 5%.

Визначення матеріальних витрат при закупівлі нових АД (пристрій не впроваджується) здійснюється за аналітичним виразом [7, 8]

$$Z_{\text{нов.АД}} = 0,2 \cdot C_{\text{нов.АД}}, \quad (1)$$

де  $C_{\text{нов.АД}}$  - вартість АД при закупівлі, грн.



Визначення матеріальних витрат при закупівлі нових АД (пристрій впроваджується) здійснюється за аналітичним виразом [7, 8]

$$Z_{2нов.АД} = 0,05 \cdot C_{нов.АД} \quad (2)$$

Визначення річного економічного ефекту від зниження матеріальних витрат при закупівлі нових АД та при впровадженні пристрою здійснюється за аналітичним виразом [7, 8]

$$E_{річний} = Z_{1нов.АД} - Z_{2нов.АД} \quad (3)$$

Термін окупності пристрою при закупівлі нових АД визначається за аналітичним виразом [7, 8]

$$T_{ОК.нов.АД} = \frac{C_{пристрою}}{E_{річний}} \quad (4)$$

де  $C_{пристрою}$  – вартість пристрою моніторингу та захисту АД, грн.;

$$C_{пристрою} = 500 \text{ грн.}$$

В експлуатаційній практиці є доцільним проведення капітального ремонту АД, вартість витрат на проведення капітального ремонту складає 30...40% від вартості нового АД. Тому то визначення матеріальних витрат при проведенні капітальних ремонтів АД (пристрій не впроваджується) здійснюється за аналітичним виразом [8]

$$Z_{1кап.рем.АД} = 0,2 \cdot C_{кап.рем.АД} \quad (5)$$

де  $C_{кап.рем.АД}$  - вартість проведення капітального ремонту АД, грн.

Визначення матеріальних витрат при проведенні капітальних ремонтів АД (пристрій впроваджується) здійснюється за аналітичним виразом [8]

$$Z_{2кап.рем.АД} = 0,05 \cdot C_{кап.рем.АД} \quad (6)$$

Визначення річного економічного ефекту від зниження матеріальних витрат при проведенні капітального ремонту АД та при впровадженні пристрою здійснюється за аналітичним виразом [8]

$$E_{\text{річний}2} = Z_{1\text{кап.рем.АД}} - Z_{2\text{кап.рем.АД}} \cdot \quad (7)$$

Термін окупності пристрою при проведенні капітальних ремонтів АД визначається за аналітичним виразом [8]

$$T_{\text{ОК.кап.рем.АД}} = \frac{C_{\text{пристрою}}}{E_{\text{річний}2}}, \quad (8)$$

За аналітичними виразами (1)...(7) здійснені розрахунки показників техніко-економічної ефективності від впровадження пристрою моніторингу та захисту асинхронного електродвигуна серії АИР100L4.

Результати розрахунків наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати розрахунків показників техніко-економічної ефективності від впровадження пристрою

Найменування показника	Величина
1. Матеріальні витрати при закупівлі нових АД (пристрій не впроваджується), $Z_{1\text{нов.АД}}$ , грн	850,2
2. Матеріальні витрати при закупівлі нових АД (пристрій впроваджується), $Z_{2\text{нов.АД}}$ , грн	212,5
3. Річний економічний ефект від зниження матеріальних витрат при закупівлі нових АД та при впровадженні пристрою, $E_{\text{річний}1}$ , грн.	637,7
4. Термін окупності пристрою при закупівлі нових АД, $T_{\text{ок.нов.АД}}$ , рік	0,8

Продовження таблиці 1

Найменування показника	Величина
5. Матеріальні витрати при проведенні капітальних ремонтів АД (пристрій не впроваджується), $Z_{1\text{кап.рем.АД}}$ , <i>грн</i>	340
6. Матеріальні витрати при проведенні капітальних ремонтів АД (пристрій впроваджується), $Z_{2\text{кап.рем.АД}}$ , <i>грн</i>	85
7. Річний економічний ефект від зниження матеріальних витрат при проведенні капітального ремонту АД, $E_{\text{річний}2}$ , <i>грн.</i>	255
8. Термін окупності пристрою при проведенні капітальних ремонтів АД, $T_{\text{ок.кап.рем.АД}}$ , <i>рік</i>	1,96

## ВИСНОВКИ

Розробка та впровадження системи прогнозування, моніторингу та захисту силового електрообладнання дозволить захищати асинхронних електродвигунів від таких аварійних режимів:

- обриву фази трьох фазної мережі живлення змінного струму;
- тривалих технологічних перевантажень;
- невірних процесів пуску та гальмування;
- заклинювання ротора.

Запропонована методика розрахунку показників ефективності додаткових капітальних вкладень та їх термін окупності.

Впровадження системи прогнозування, моніторингу та захисту силового електрообладнання дозволить підвищити експлуатаційну надійність групи трифазних асинхронних електродвигунів електромеханічної системи «електродвигун - робоча машина».

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Хомів О.В. Особливості проведення науково-економічних досліджень / О.В. Хомів. [Електронний ресурс] Електронний журнал «Ефективна економіка» №5, 2015. <http://www.economy.nauka.com.ua/?op=1&z=4048>.
2. Майорова, Т. В. Інвестиційна діяльність: підручник / Т. В. Майорова. – К.: Центр учбової літератури, 2014. – 472 с.
3. Поліщук Л.К. Аналіз економічної ефективності впровадження нового обладнання на кар'єрах відкритого видобування корисних копалин. / Л.К. Поліщук, О.О. Адлер // Східноєвропейський журнал передових технологій. Технології машинобудування. – Том 5. - №1 (77). – 2015. – С. 5-11.
4. <https://ventilator.ua/category/elektrodvigatel-asinhronnyj-obshepromyshlennyj/>
5. 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.
6. Кузнецов Н.Л. Надежность электрических машин / Н.Л. Кузнецов – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 432 с.
7. Попова И.А. Контроль режимов работы асинхронных двигателей при не симметрии напряжений сети: Дис...канд. техн. наук; 05.09.16 / ТГАТА. – Мелитополь, 2003. – 212 с.
8. Рыжков А.А. Обоснование параметров функционального диагностирования тепловых процессов асинхронных электродвигателей: Дис. канд. техн. наук; 05.09.03 / ТГАТУ. – Мелитополь, 2008. – 193 с.

### **РОЗДІЛ 5.1.3**

#### **РОЗРОБКА ТА УДОСКОНАЛЕННЯ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧОЇ ЕЛЕКТРО- МЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ**

**Етап 5.1.3.5** Розробка дослідного зразку електромеханічної системи обробки ґрунту, її стендові та польові випробування

#### **ВИКОНАВЕЦЬ**

Старший викладач

Ковальов Олександр Вікторович

## РЕФЕРАТ

Звіт по НДР 5.1.3.5: 12 с., 0 табл., 6 рисунків, 4 посилання.

СИЛОВИЙ КАНАЛ, ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНА СИСТЕМА, СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, ТЯГОВИЙ ДВИГУН, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ,

Об'єкт дослідження: процес керування електродвигуном приводу електромеханічної системи обробітку ґрунту.

Предмет дослідження: електромеханічна система обробітку ґрунту на базі ґрунтообробного мотоблока.

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

Методи досліджень:

- метод польових випробувань електромеханічної системи обробітку ґрунту на базі малогабаритного ґрунтообробного мотоблоку.

В результаті проведених досліджень:

- Обґрунтовано структуру енергетичного силового каналу електромеханічної системи обробітку ґрунту, що дозволило отримати алгоритм керування тяговим електродвигуном по максимуму ККД.

- Запропоновано систему керування електродвигуном приводу електромеханічної системи обробітку ґрунту з застосуванням системи імпульсно-фазового керування, яка забезпечує керування електродвигуном при широкому діапазоні регулювання кутової швидкості в приводі електромеханічної системи обробки ґрунту зі зниженням питомої витрати енергії на 8-10%.

- Спроектований дослідний зразок електромеханічної системи обробітку ґрунту на базі малогабаритного мотоблока при проведенні польових випробувань показав стійку роботу при основному виді обробки ґрунту – оранці. При цьому максимальний коефіцієнт завантаження тягового електродвигуна склав 0,92.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	33
1 ПРОГРАМА ДОСЛІДЖЕНЬ .....	34
2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ .....	34
3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ .....	35
3.1. Обґрунтування структури енергетичного силового каналу електромеханічної системи обробітку ґрунту .....	35
3.2 Обґрунтування системи керування електродвигуном приводу електромеханічної системи обробітку ґрунту .....	39
3.3 Конструювання та випробування електромеханічної системи обробітку ґрунту .....	42
ВИСНОВКИ .....	47
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	48

## ВСТУП

За останнє десятиріччя в Україні значно збільшилась кількість фермерських господарств і приватних землекористувачів. При цьому великий розвиток отримало овочівництво захищеного ґрунту. Для підвищення ефективності виробництва овочів в теплицях і парниках широке застосування отримали малогабаритні мобільні агрегати у вигляді мотоблоків з двигунами внутрішнього згорання (ДВЗ) потужністю 1-7 кВт вітчизняного і зарубіжного виробництва. В цілому мотоблоки з ДВЗ характеризуються як ефективні засоби малої механізації трудомістких процесів і особливо основного процесу обробки ґрунту в фермерських господарствах, на присадибних і дачних ділянках. Однак під час роботи мобільних агрегатів з ДВЗ в теплицях і парниках підвищується рівень шуму і загазованість повітря, які негативно впливають не тільки на людей, але і на рослини. Причина цього - продукти неповного згорання рідкого палива, які осідаючи на скляну або плівкову поверхню теплиці зменшують їх світлопроникність, як наслідок, це приводить до зниження росту і розвитку рослин. До недоліків мотоблоків з ДВЗ також відносяться досить високі питомі втрати рідкого палива, що має високу вартість, труднощі при пуску і зупинці агрегату, а також невисока надійність ДВЗ.

Більш перспективними для роботи в спорудах захищеного ґрунту є мобільні агрегати з тяговими електродвигунами, що отримали назву електромеханічних систем обробітку ґрунту, як екологічно чисті агрегати, що не мають зазначених недоліків. Заміна ДВЗ на нерегульований електропривод з асинхронним двигуном не дозволяє забезпечити необхідний діапазон регулювання швидкості руху агрегату, а також високі енергетичні показники роботи мотоблока.

Дослідження таких енергетичних засобів обробітку ґрунту є актуальним на всій території України.



## 1 ПРОГРАМА ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження електроприводу електромеханічної системи обробітку ґрунту проводиться з урахуванням ДСТУ 3886-99 «Енергозбереження. Системи електроприводу. Метод аналізу і вибору», ДСТУ 3827-98 «Обертіві електричні машини. Характеристики машини.», ГОСТ 7217-87 «Машини електричні обертіві. Двигуни асинхронні. Методи випробувань».

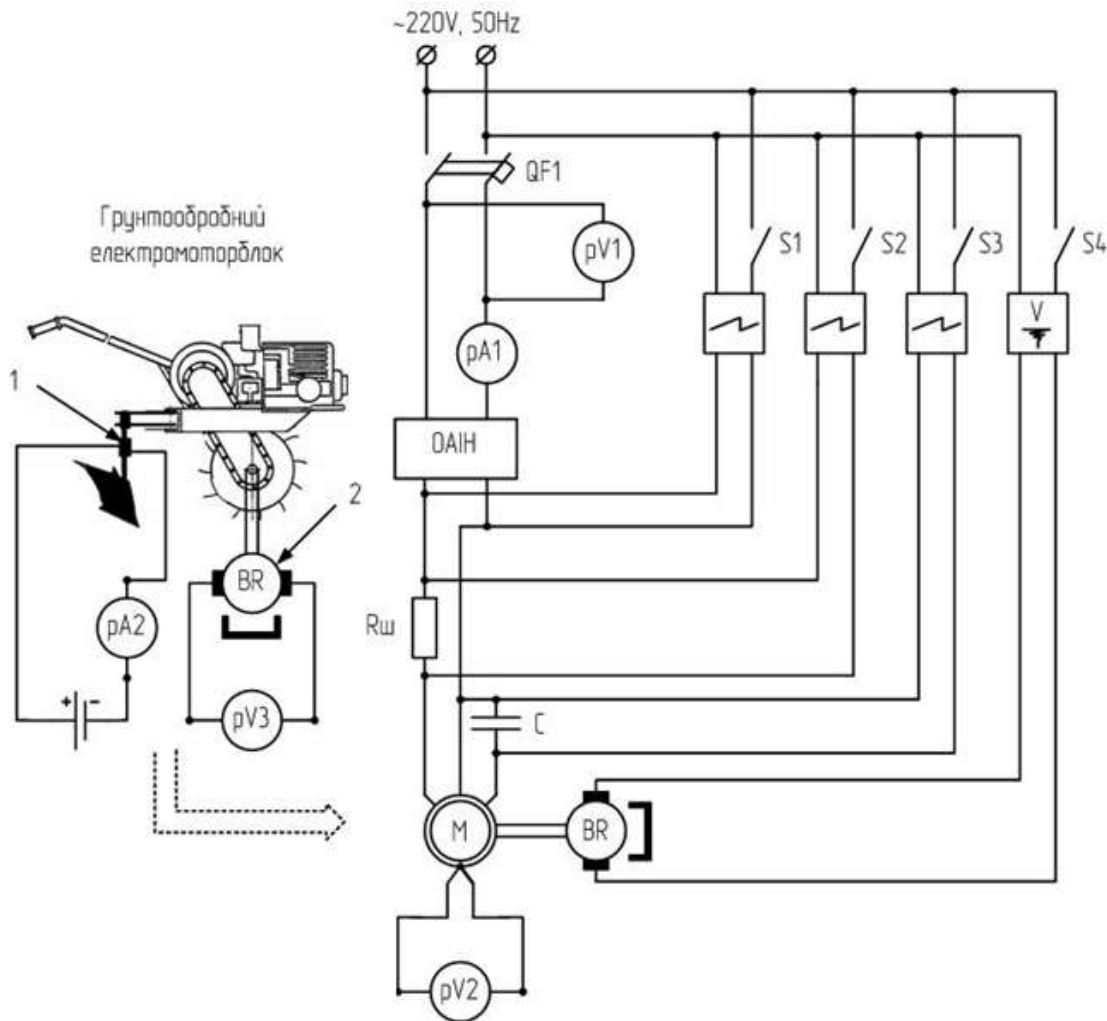
Дослідження існуючих зразків малогабаритної техніки з контролем технологічних параметрів проводиться з урахуванням ГОСТ 20915-75 «Сільськогосподарська техніка. Методи визначення умов досліджень», ГОСТ 24057-88 «Техніка сільськогосподарська. Методи експлуатаційно-технічної оцінки машинних комплексів, спеціалізованих і універсальних машин на етапі випробувань», ГОСТ 28516-90 «Фрези ґрунтооброблюючі. Загальнотехнічні умов».

## 2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Якість обробітку ґрунту при використанні електромеханічної системи обробітку ґрунту залежить від безлічі параметрів. Насамперед від частоти обертання робочих органів, (чи швидкості пересування агрегату), а так само обраних виду і системи обробки ґрунту. Виникає необхідність створення ґрунтообробних машин з оптимізацією енергетичних витрат.

Нерегулюємий електропривод має низькі енергетичні показники і не дозволяє регулювати частоту обертання приводного електродвигуна. Останнє приводить до неякісної обробки ґрунту (недо- чи передрібнювання орного шару) і, як результат, нераціональному використанню електроенергії [1].

Дослідження існуючого зразку електромеханічної системи обробітку ґрунту на базі малогабаритного мотоблоку, виявлення ступеню впливу технологічних параметрів та режимів роботи на енергетичні та економічні показники ефективності проводиться за схемою, яка приведена на рис. 1



1 – тензометричні датчики для контролю тягового зусилля мотоблоку; 2 – датчик прискорення для контролю ковзання ведучих коліс з системою контролю

Рисунок 1 - Схема електрична принципова дослідження електромеханічної системи обробітку ґрунту

### 3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Обґрунтування структури енергетичного силового каналу електромеханічної системи обробітку ґрунту

Електропривод мотоблока являє собою послідовне з'єднання елементів в енергетичній частині, що утворюють силовий канал, а також процеси передачі і перетворення енергії. Структура такого електроприводу наведена на рис. 2, а. В її

складі – силові елементи, які беруть безпосередню участь в процесі перетворення електричної енергії в механічну, і елементи, що перетворюють інформацію, необхідну для управління процесом перетворення енергії. Інформаційна частина представлена без поділу на блоки і в загальному випадку вона може бути пов'язана з усіма силовими елементами.

На рис. 2, б зображено приклад фізичної реалізації послідовного силового каналу електроприводу. Розглянемо «зліва - направо» елементи силового каналу, які беруть участь в перетворенні енергії.

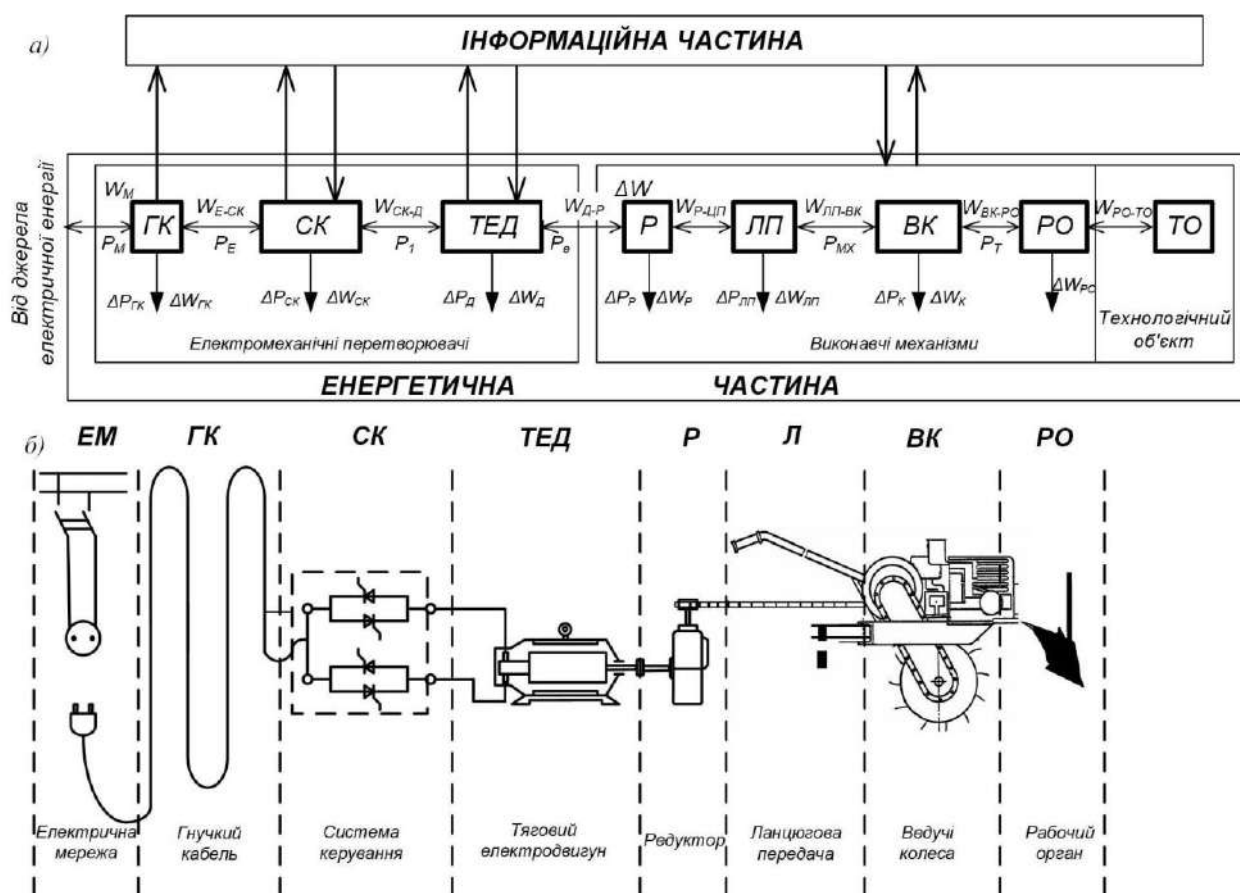


Рисунок 2. Структурна (а) і електромеханічна (б) схеми енергетичного силового каналу електромеханічної системи обробітку ґрунту

Першим показаний елемент силового каналу, який представляє собою гнучкий кабель, за яким здійснюється підведення електроенергії з мережі змінного

струму. Будемо вважати, що з кабелем пов'язані характеристики напруги, що підводиться - частота, величина падіння напруги при зміні споживаного струму і т.і. Якість напруги живлення впливає на режим роботи наступних елементів і, навпаки, характеристики і режими наступних елементів визначають режим і втрати енергії в кабелі  $\Delta W_{ГК}$ . Вентильний перетворювач перетворює електричну енергію змінного струму в електричну енергію постійного струму, необхідну для подальшого електромеханічного перетворювача у вигляді тягового електродвигуна. Крім того, вентильний перетворювач виконує роль пристрою керування рівнів потоків енергії до тягового двигуна. Фізичної реалізацією вентильного перетворювача може бути тиристорний керований випрямляч. В процесі перетворення електричної енергії в ньому виникають втрати енергії  $\Delta W_{ВП}$ .

Тяговий електродвигун перетворюючи електричну енергію в механічну задає з урахуванням параметрів і навантажень механічної частини, характер механічного руху і змінні, що визначають цей рух: електромагнітний момент  $M$  і кутову швидкість  $\omega$  при обертальному русі, силу тяги  $F$  і лінійну швидкість  $V$  при поступальному русі робочого органу (РО). При електромеханічному перетворенні енергії в ДПС виникають втрати енергії  $\Delta W_{Д}$ . Стосовно до мотоблока, змінні, задані ТЕД, перетворюються до вигляду і параметрами, необхідним на робочому органі, наприклад, плузі при оранці ґрунту. Тому в складі силової частини енергетичного каналу передбачаються передавальний механізм, що зв'язує ТЕД з виконавчим механізмом. У розглянутому прикладі в якості передавального механізму використовується редуктор, що знижує швидкість і збільшує момент, отриманий на виході ТЕД до величини, необхідної виконавчому механізму, роль якого виконують колеса мотоблока, що обертаються на осі і переміщаються по ґрунту з необхідною швидкістю  $V$ . При цьому в редукторі, колесах і робочому органі в робочому режимі виникають втрати  $\Delta W_{ПМ}$ ,  $\Delta W_{БК}$  і  $\Delta W_{РО}$  (рис. 2.5, а). Таким чином, процес передачі і перетворення енергії в силовому каналі супроводжується її частковою втратою в кожному з елементів. Всі елементи силового каналу електроприводу

постійного струму здатні накопичувати енергію в тому чи іншому вигляді в залежності від типу елемента. Ця здатність визначається наявністю в силовому каналі індуктивних елементів-накопичувачів електричної енергії і магнітного поля, і ємностей-накопичувачів енергії електричного поля; пружних елементів, що накопичують потенційну механічну енергію; обертових і рухомих лінійних мас, здатних акумулювати кінетичну енергію. Можна не сумніватися, що в силових електроприводах найбільш «ємними» накопичувачами енергії є елементи механічної частини. Тому складаючи баланс потужностей потоків енергії для силового каналу електроприводу мотоблока, обмежимося урахуванням кінетичної енергії рухомих мас, вважаючи, що змін потенційної енергії в системі не відбувається. Тоді в загальному випадку вказаний балансу потужностей в загальному випадку прийме вигляд

$$P_E = \sum_i J_i \omega_i \frac{d\omega_i}{dt} + \sum_j m_j V_j \frac{dV_j}{dt} + \sum_k \Delta P_k + M\omega + FV, \quad (1)$$

де  $P_E$  - потужність потоку електричної енергії, що споживається з мережі;

$$\sum_i J_i \omega_i \frac{d\omega_i}{dt} \text{ і } \sum_j m_j V_j \frac{dV_j}{dt} \quad (2)$$

- потужності пов'язані зі збільшенням або зменшенням мас, що рухаються обертово або лінійно;

$\sum_k \Delta P_k$  - сумарні втрати потужності потоків енергії у всіх елементів силового кола;

$M\omega$ ,  $FV$  - потужності механічної енергії, пов'язані з обертовим або поступальним рухом.

При змінному характері навантаження з часом циклу  $t_u$  значення ККД конкретного режиму роботи визначається у вигляді

$$\eta = \int_0^{t_u} P_{omp.} dt / \left( \int_0^{t_u} P_{omp.} dt + \int_0^{t_u} P_{\Sigma} dt \right). \quad (3)$$

Оскільки потужність втрат містить постійну і змінну складові, перша з яких практично не залежить від навантаження, а друга в загальному випадку пропорційна корисної потужності у ступені  $\kappa > 1$ , тому рівняння (3) можна записати в наступному вигляді

$$\eta = \frac{P_{\text{отр.}}}{P_{\text{отр.}} + (a + b \cdot P_{\text{отр.}}^\kappa)}, \quad (4)$$

де  $a, b$  і  $\kappa$  - коефіцієнти, що визначають конкретний вид залежності потужності втрат від корисної потужності.

Залежність  $\eta(P_{\text{отр.}})$  по (4) має максимум, оскільки при  $P_{\text{отр.}} \rightarrow 0, \eta \rightarrow 0$  і при  $P_{\text{отр.}} \rightarrow \infty, \eta \rightarrow 0$ , тобто залежність  $\eta(P_{\text{отр.}})$  має класичний вигляд графіка ККД. При цьому, як правило, максимальне значення ККД  $\eta_{\text{max}}$  в залежності  $\eta(P_{\text{отр.}})$  відповідає корисному навантаженню  $P_{\text{отр.}} = (0,7 \dots 0,8) P_n$ .

### 3.2 Обґрунтування системи керування електродвигуном приводу електромеханічної системи обробітку ґрунту

Класичною формою тягової характеристики є характеристика з трьома ділянками: жорсткою, м'якою та ділянкою постійної потужності [2]. Характеристика є так званою «тяговою областю», що обмежує можливі режими роботи приводу. Максимальне значення швидкості обмежують вимоги безпеки та технологічності роботи, а також обмеження по зчепленню з ґрунтом [3].

Розглянутому електроприводу властиві часті перевантаження, що спостерігаються в режимах пуску, гальмування та за різкої зміни щільності ґрунту. Необхідність роботи електроприводу як в режимі двигуна, так і в гальмівних режимах, а також різкозмінний характер навантаження обумовлюють значні коливання потужності, що споживається електродвигуном.

Система керування приводним електродвигуном постійного струму з тиристорним перетворювачем представлена на рис. 2.

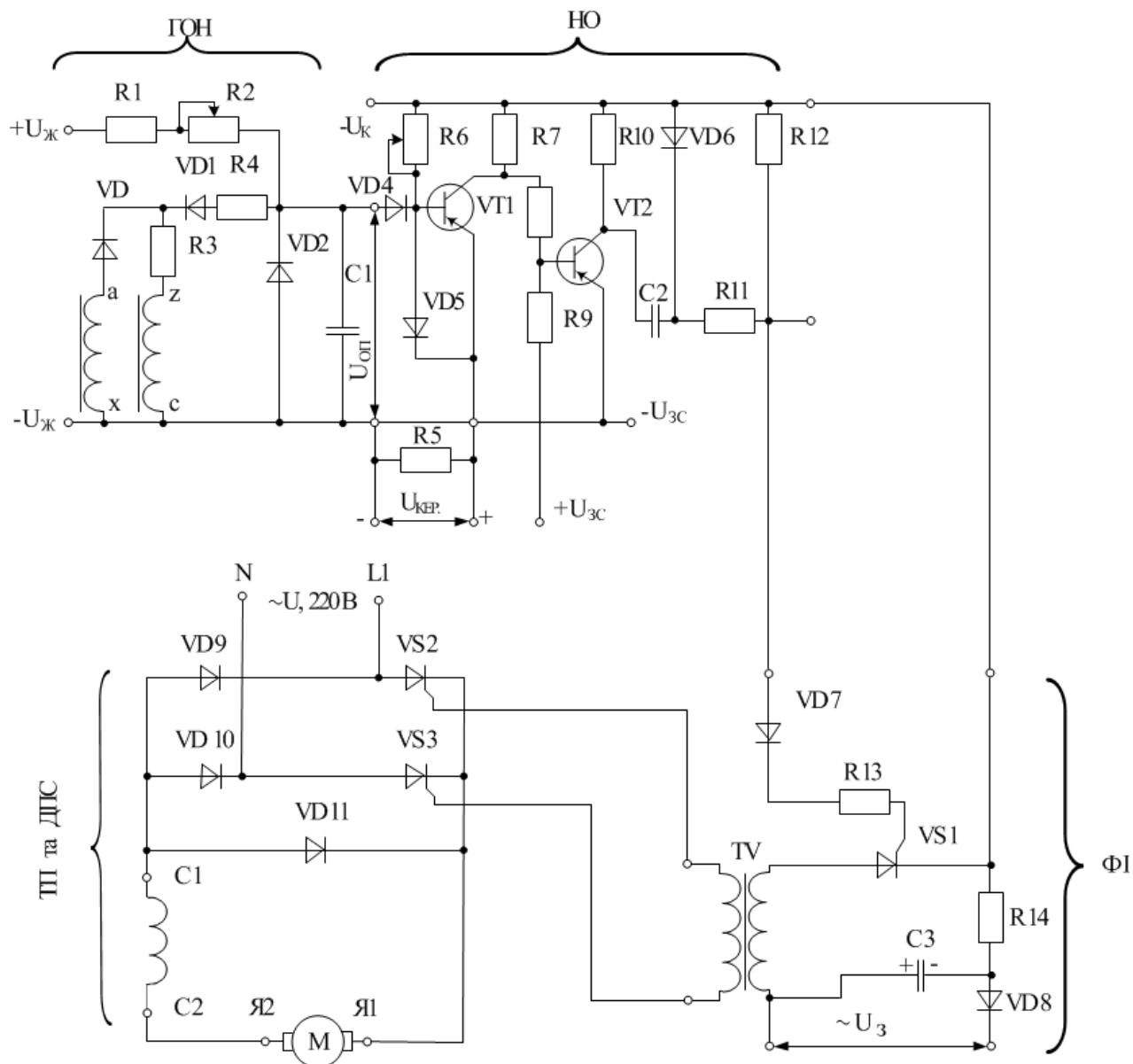


Рисунок 2. Схема керування приводним ДПС мотоблоку з тиристорним перетворювачем

Система працює за принципом вертикального керування з пилкоподібною опорною напругою. В якості генератора опорної напруги (ГОН) використовується генератор з зарядом ємності від джерела постійної напруги  $U_{оп}$  і діодним кому-

тором з розширеним діапазоном. Напряга керування  $U_v$  знімається з виходу емітерного повторювача (ЕП). Опорна напруга  $u_{OP}$  і напруга керування  $U_{KEP}$  подаються на вхід нуля-органу (НО), виконаного на транзисторах  $VT1$  та  $VT2$ . При  $U_{OP} < U_{KEP}$  транзистор  $VT1$  відкритий внаслідок протікання струму через перехід емітер-база по ланцюгу  $+U_K$ , емітер-база,  $R6$ ,  $-U_K$ . При відкритому транзисторі  $VT1$  транзистор  $VT2$  закритий за рахунок зсуву напруги, що подається на базу транзистора  $VT2$  через резистор  $R9$ .

За результатами експериментальних досліджень [4] в режимах 1, 2 і 3 побудовані механічні характеристики електроприводу з фазовим керуванням для двигуна з послідовним збудженням потужністю 1,5 кВт з номінальною напругою мережі живлення 220В і частотою обертання 1000 об. / хв. Механічні характеристики при різних кутах управління для напів- і повністю керованих схем однофазних перетворювачів представлені на рис. 3 і 4.

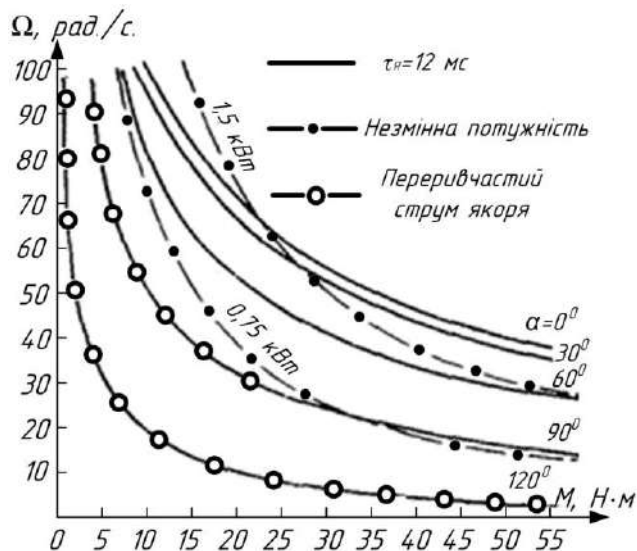


Рисунок 3 – Механічні характеристики двигуна послідовного збудження (1,5 кВт, 220 В, 1000 об / хв.) з однофазним напівкеруваним перетворювачем

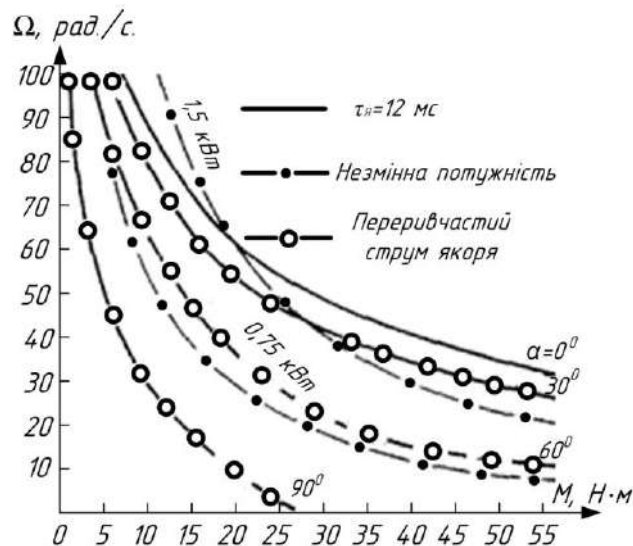


Рисунок 4 – Механічні характеристики двигуна послідовного збудження (1,5 кВт, 220 В, 1000 об / хв.) з однофазним повністю керованим перетворювачем



Згідно рис. 3 і 4 при напівкерованому перетворювачі струм якоря безперервний практично у всій області регулювання, за винятком зони низьких моментів. Введення в якірне коло додаткової індуктивності може повністю виключити режим переривчастих струмів. При повністю керованому перетворювачі зони переривчастих струмів займають великі області регулювання. Механічні характеристики мають форму подібну гіперболічної. Двигун розвиває великий момент при низьких швидкостях і малий - при високих, що є типовим для двигуна послідовного збудження. Однак, як видно з рис. 3 і 4, механічні характеристики не збігаються з гіперболами у всьому діапазоні регулювання швидкості. Для підтримання сталості потужності  $P_1 = const$  з високою точністю необхідно застосовувати спеціальні системи регулювання при використанні однофазних ТП, що дозволяє зробити висновок про наявність істотних переваг електроприводів з двигунами послідовного збудження і напівкерованих перетворювачем.

### 3.3 Конструювання та випробування електромеханічної системи обробітку ґрунту

Електромеханічна система обробітку ґрунту з електроприводом призначений для виконання агротехнічних операцій з обробки ґрунту: оранки, культивації, нарізання борозн, підгортання, боронування та інших технологічних операцій в теплицях, парниках, на особистих присадибних ділянках.

Дослідний зразок електромеханічної системи обробітку ґрунту на базі мотоблока з тяговим електродвигуном був виготовлений в лабораторії кафедри ЕТЕМ ТДАТУ і передбачає централізоване електропостачання від однофазної мережі змінного струму через гнучкий кабель і керований вентиляний перетворювач.

При конструюванні використано наступні принципи:

1. Раціональна конструктивна схема мотоблока визначалася на основі аналізу конструктивних виконань мотоблоків з ДВЗ і мобільних електрифікованих агрегатів в сільському господарстві вітчизняного і зарубіжного виробництва.

2. В якості комплектуючих елементів конструкції мотоблока використовувалось обладнання яке випускається серійно та стандартні вузли і деталі.

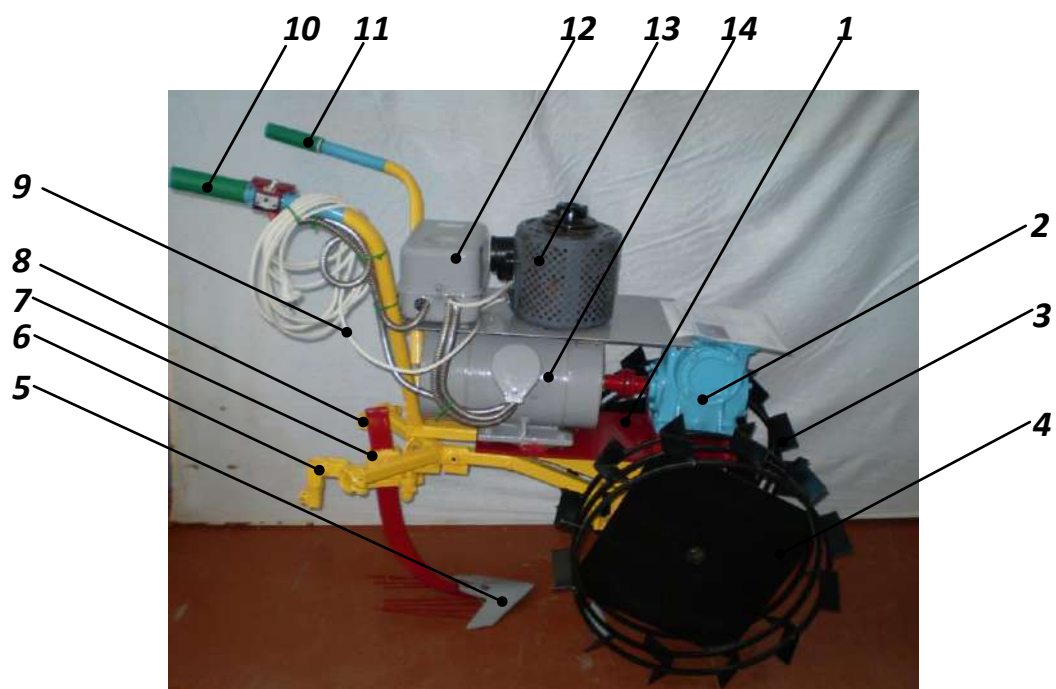
3. Забезпечення мінімальних габаритних розмірів, маси і вартості мотоблока в зборі.

4. Забезпечення можливості агрегування мотоблока з уніфікованим набором робочих органів для обробітку ґрунту і рослин.

5. Забезпечення підвищеної надійності при експлуатації за рахунок вибору елементів конструкції з урахуванням реальних умов навколишнього середовища, а також максимального спрощення і типізації електричних схем, блоків управління і захисту мобільного агрегату.

6. Забезпечення легкості, зручності та безпеки управління оператора при роботі, обслуговуванні та ремонті мотоблока.

Загальний вигляд дослідного зразка мотоблока представлений на рис. 5.



1 - корпус (рама); 2 - редуктор; 3, 4 - ходові колеса; 5 - робочий орган; 6, 7, 8 - обойми для кріплення робочих органів; 9 - гнучкий кабель; 10, 11 - важелі (рукоятки) управління; 12 - електричний блок управління і захисту; 13 - автотрансформатор; 14 - тяговий електродвигун

Рисунок 5. Загальний вигляд дослідного зразка електромеханічної системи обробітку ґрунту

Відзначимо, що автотрансформатор (13) не є постійним елементом управління мотоблоком і призначений для здійснення регулювання швидкості приводного електродвигуна тільки на період стендових випробувань дослідного зразка мотоблока.

#### Технічна характеристика мотоблока

Тяговий електродвигун	Постійного струму послідовного збудження
Потужність, кВт	1,5
Механічна передача	Черв'ячний редуктор і ланцюгова передача
Продуктивність при оранці ґрунту, га/ч.	0,25
Ширина захвату, см.	18...50
Глибина обробки, см.	до 25
Робоча швидкість, км/ч	1,0...7,0
Габаритні розміри, мм:	
довжина	1250
ширина	550
висота	940
Маса, кг	100

На завершальному етапі досліджень проведено польові випробування електромеханічної системи обробітку ґрунту на базі мотоблока.

Польові випробування дослідного зразку мотоблока МБ-КЕП оснащеного тяговим електродвигуном постійного струму послідовного збудження проводилась на контрольних ділянках ФГ «СНІСЕЙ-7» (с. Ботієве Мелітопольського району Запорізької області) при оранці ґрунту. Попередніми культурами були картопля та огірки. Робота проводилась при весняній оранці, рельєф ділянок – рівний, за механічними властивостями ґрунт представляв собою дерновий глинисто-піщаний.

Загальний вигляд дослідного зразку електромотоблока при агрегуванні з плугом П1-20/2 при проведенні польових випробувань представлено на рис. 5.



Рисунок 5. Польові випробування електромеханічної системи обробітку ґрунту

При проведенні польових випробувань контролювалися значення напруги, струму якоря та частоти обертання тягового двигуна, глибини обробки ґрунту, швидкості пересування мотоблоку, та витрати електричної енергії [5] .

Проведення польових випробувань виконувалось на різних швидкостях пересування агрегату та глибинах обробітку ґрунту (заглибленнях плуга). Мінімальна швидкість при оранці регламентувалась керівництвом по експлуатації мотоблока [6] при роботі з плугом П1-20/2, та склала 2 км/год. Максимальне значення швидкості обмежувались виходячи із значення твердості ґрунту та величиною струму якоря.

Струмо-часові характеристики тягового електродвигуна при різних значеннях глибин обробки ґрунту наведені на рис. 6. З характеристик видно, що при глибині обробки 12, 18 і 25 см, середній струм якоря відповідно склав 3, 5,5 і 7,5 А, що свідчить про значення коефіцієнта завантаження тягового двигуна від 0,3 до 0,92.

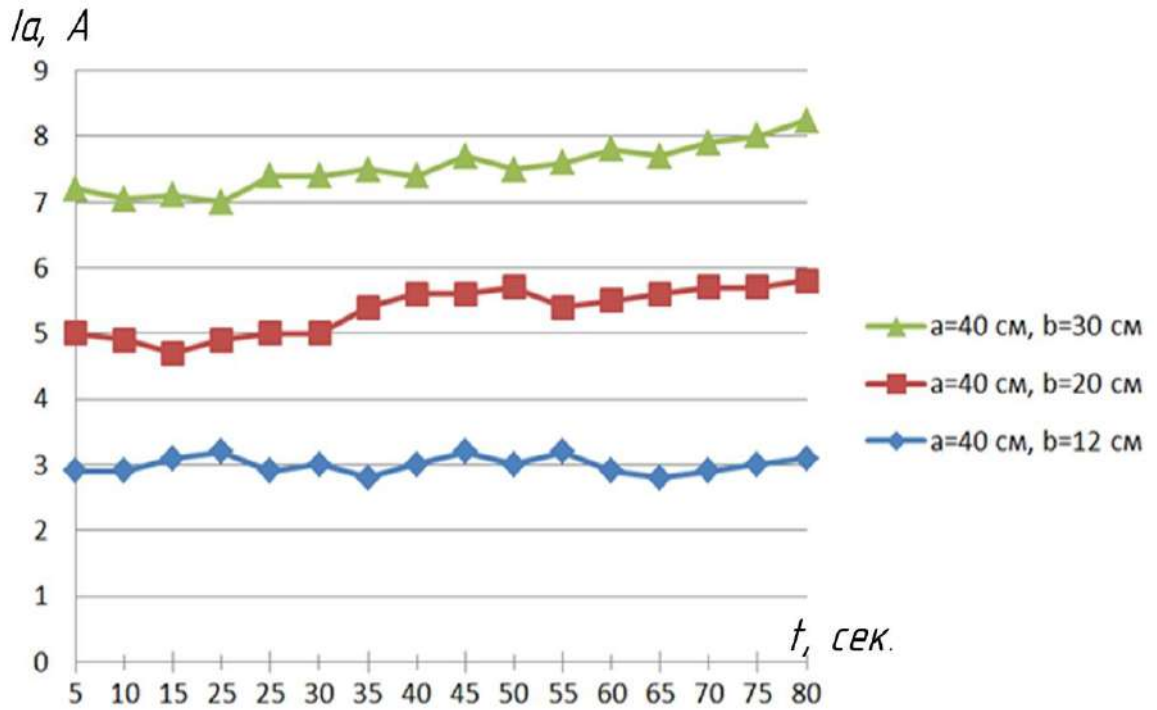


Рисунок 6. Струмо-часова характеристика електродвигуна приводу електромеханічної системи обробітку ґрунту

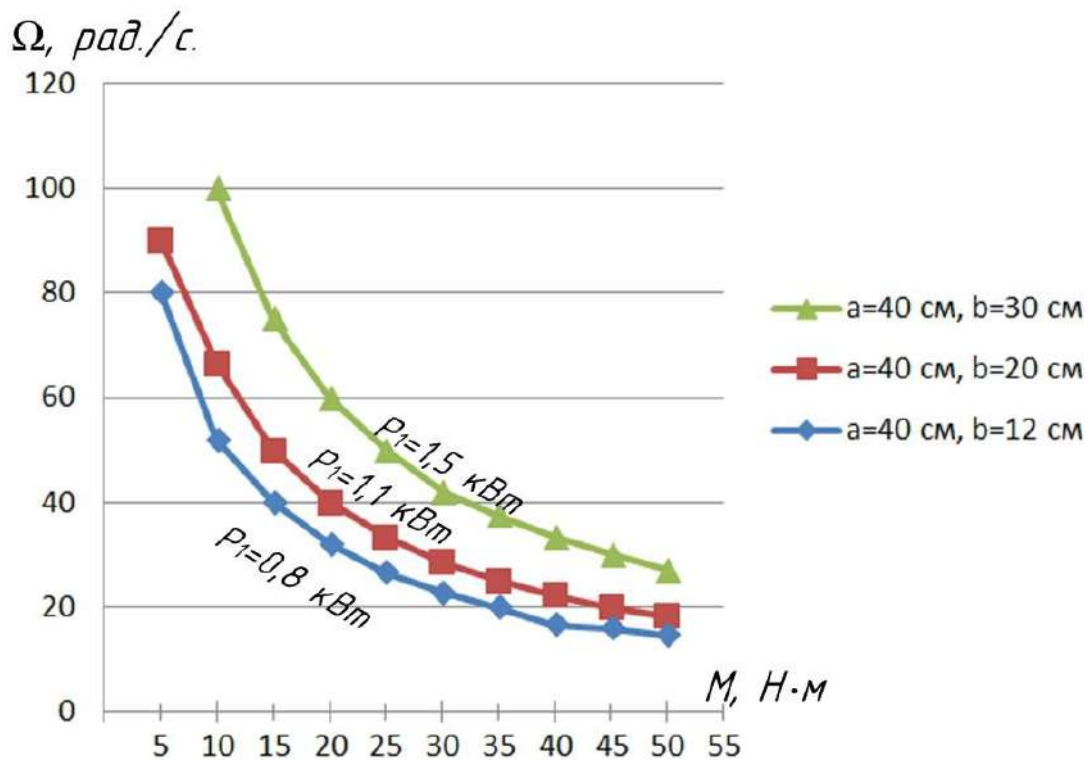


Рисунок 7. Механічні характеристика електродвигуна приводу електромеханічної системи обробітку ґрунту

За результатами досліджень експериментальним шляхом отримані механічні характеристики тягового електродвигуна (рис. 7) при різних значеннях глибин обробки ґрунту. Дослідження показали відповідні значення потужностей двигуна: 0,8, 1,1 та 1,5 кВт. Максимальна швидкість при обробці на глибину 12 см. склала 3,9 км/год, мінімальна - при обробці на глибину 25 см – 2,7 км/год, при виконанні умови  $I_{\text{факт.ДПС}} \leq I_{\text{ном.ДПС}}$ , тобто при роботі двигуна без перевантаження.

## ВИСНОВКИ

1. Обґрунтовано структурну та електромеханічні схеми енергетичного силового каналу електропривода мотоблока. Це дозволило отримати рівняння балансу потужностей та обґрунтувати алгоритм керування електродвигуном приводу електромеханічної системи обробітку ґрунту по максимуму ККД.

2. Обґрунтовано та розроблено схему електричну принципову дослідження малогабаритного ґрунтообробного мотоблоку з тензометричними датчиками контролю тягового зусилля та датчиком прискорення для контролю ковзання. Запропоновано систему керування електродвигуном приводу ґрунтообробного мотоблоку з застосуванням системи імпульсно-фазового керування, яка забезпечує діапазон регулювання кута  $\alpha$  до  $120^\circ$ , асиметрію не більше  $1,5^\circ$ , тривалість імпульсу не менше 450 мкс, амплітуду імпульсів 20 В і більше, а тривалість переднього фронту імпульсу не більше 15 мкс. Коефіцієнт передачі СІФК становить  $9^\circ/\text{В}$ , тобто при зміні напруги керування на 1В кут змінюється на  $9^\circ$ .

3. Спроектований дослідний зразок електромеханічної системи обробітку ґрунту на базі малогабаритного мотоблока при проведенні польових випробувань показав стійку роботу при основному виді обробки ґрунту – оранці. При цьому максимальний коефіцієнт завантаження тягового електродвигуна склав 0,92.

4. Експериментальні дослідження показали відповідні значення потужностей двигуна: 0,8, 1,1 та 1,5 кВт. Максимальна швидкість при обробці на глибину 12 см. склала 3,9 км/год, мінімальна - при обробці на глибину 25 см – 2,7 км/год, при виконанні умови  $I_{\text{факт.ДПС}} \leq I_{\text{ном.ДПС}}$ , тобто при роботі двигуна без перевантаження.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Корчемний М. Енергозбереження в агропромисловому комплексі/ Корчемний Микола, Федорейко Валерій, Щербань Володимир.– Тернопіль: Підручники і посібники, 2001. – 984 с.
2. Ковальов О.В. Тягові характеристики та керування мотоблоком з електроприводом по максимуму ККД / О. В. Ковальов // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ», 2008, №30. – С. 509 – 510.
3. Куценко Ю.М. Розрахунок потужності та вибір тягового двигуна приводу мотоблока / Ю.М. Куценко, Г.Н. Назар'ян, О.В. Ковальов // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь, 2010. – Вип. 10, т. 8 : Моделювання технологічних процесів в АПК : матеріали міжнародної науково-практичної конференції. – С. 228 – 238.
4. Квітка С.О., Обґрунтування системи керування електроприводом ґрунтообробного мотоблоку/ С.О. Квітка, О.В. Ковальов// Вісник Сумського національного аграрного університету. Науковий журнал. Серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів». Випуск 10/1 (29). – Суми: СНАУ, 2016. – С. 183-186.
5. O. Kovalov, I. Nazarenko, S. Kvitka, Y. Postol, O. Koval and S. Kurashkin, "Electric Drive of Small-Sized Soil-Cultivating Motoblock," 2020 IEEE Problems of Automated Electrodrive. Theory and Practice (PAEP), Kremenchuk, Ukraine, 2020, pp. 1-4, doi: 10.1109/PAEP49887.2020.9240884.
6. Мотоблок «Нева» МБ23 МультиАГРО и его модификации. Руководство по эксплуатации 005.70.0100 РЭ1; ЗАО «Красный Октябрь-Нева», Санкт-Петербург. 2018. – 37 с.

## **РОЗДІЛ 5.1.4**

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

**Етап 5.1.4.5** Обґрунтування енергозберігаючих режимів роботи електромеханічних систем елеваторів

#### **ВИКОНАВЕЦЬ**

Канд. техн. наук, доцент

Постнікова Марина Вікторівна



## РЕФЕРАТ

Звіт про НДР 5.1.4.5: 19 с., 2 табл., 1 рисунок, 7 посилань.

**НОРМУВАННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ, ПИТОМІ ВИТРАТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ, РАЦІОНАЛЬНЕ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ.**

Об'єкт дослідження – процеси перетворення електроенергії в електромеханічних системах обробки та зберігання зерна.

Предмет дослідження – фізичні закономірності енергозберігаючих режимів роботи електромеханічних систем зберігання та обробки зернових культур.

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

Методика 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;

– проаналізовано основні принципи математико-статистичного методу нормування;

– проаналізовано вплив конструктивних факторів машин і механізмів на енергоємність операцій елеваторів;

– розроблено рекомендації і пропозиції щодо нормування питомих витрат електроенергії на елеваторах.

**ЗМІСТ**

ВСТУП .....	52
1 ПРОГРАМА ДОСЛІДЖЕНЬ .....	53
2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ .....	53
3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ .....	53
3.1 Енергетичні характеристики машин і механізмів елеваторів .....	53
3.2 Вплив факторів на енергоємність операцій елеваторів .....	54
3.3 Вплив конструктивних факторів машин і механізмів на енергоємність операцій елеваторів .....	55
4 РЕКОМЕНДАЦІЇ І ПРОПОЗИЦІЇ .....	56
4.1 Енергетична класифікація технологічних процесів елеваторів .....	56
4.2 Структура норм питомих витрат електроенергії .....	56
4.3 Характеристика і енергоємність процесів елеваторів .....	57
ВИСНОВКИ .....	61
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	64
ДОДАТКИ .....	65

## ВСТУП

Реалізації програми енергозбереження в сільськогосподарському виробництві приділяється велика увага. Один із шляхів енергозбереження при очищенні зерна на елеваторах – розробка науково-обґрунтованих питомих норм витрати електроенергії, впровадження яких дозволить економити 8-10% електроенергії.

Проблема нормування витрати електроенергії стосовно до елеваторів в теперішній час не отримала належного вирішення і потребує подальшого удосконалення в напрямку розробки науково-обґрунтованих питомих норм витрати електроенергії на основі математичного моделювання предмета дослідження і рішення оптимізаційних задач. Первинною елементарною нормою питомої витрати електроенергії, що може бути технічно обґрунтована шляхом експериментів і розрахунків, є технологічна норма на очищення 1 т зерна в потоковій лінії. При цьому мінімум питомої витрати електроенергії може бути прийнятий за норму тільки, якщо технологічні показники будуть задовольняти стандартним показникам якості зерна. В зв'язку з цим необхідність проведення імовірної оцінки норми питомих витрат електроенергії при очищенні та зберіганні зерна на елеваторах є актуальною проблемою.

В теперішній час споживання електроенергії на елеваторах планується, як правило, по звітним показникам з деякими корективами. Споживання електроенергії, яке заплановано, таким чином не відображає якості використання електроенергії, не враховує стан і режим роботи машин, технічні умови удосконалення технології і процес дороблювання зерна.

Метою держбюджетної НДР є обґрунтування мінімально можливих норм питомих витрат електроенергії на виконання стаціонарних технологічних процесів післязбиральної обробки зерна на елеваторах при дотриманні технологічних вимог.

## 1 ПРОГРАМА ДОСЛІДЖЕНЬ

- 1.1 Аналіз енергетичних характеристик машин і механізмів елеваторів.
- 1.2 Аналіз впливу факторів на енергоємність операцій елеваторів.
- 1.3 Вплив конструктивних факторів машин і механізмів на енергоємність операцій елеваторів.
- 1.4 Розробка рекомендацій і пропозицій.

## 2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Для досягнення поставленої цілі в процесі теоретичного дослідження використовується 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 Енергетичні характеристики машин і механізмів елеваторів

За допомогою методів математичної статистики та теорії імовірності, а саме кореляційного та дисперсійного аналізів, можна вирішити задачу про ступінь впливу окремих факторів на питомі витрати енергії, визначити форму та тісноту зв'язку, вивести вихідні рівняння для розрахунку питомих витрат енергії при будь-яких виробничих умовах.

Для виявлення закономірностей проведені дослідження на типових для елеваторів механізмах і машинах і побудовані енергетичні характеристики потужності та питомих витрат енергії в функції продуктивності  $P = f(Q)$ ,  $W = f(Q)$ .

У всіх дослідженнях енергетичні характеристики механізмів  $W = f(Q)$  мають гіперболічний характер і можуть бути представлені рівнянням

$$W = \frac{b}{Q} + a, \quad (1)$$

де  $W$  – питомі витрати енергії, кВт·год./т;

$Q$  – продуктивність, т/год.;

$a, b$  – параметри рівняння, які визначаються за методом найменших квадратів [5, 6].

Індивідуальні енергетичні характеристики, які побудовані для окремих механізмів, отримані при постійних фізичних факторах (вологість, об'ємна маса, заміченість). Вони дозволяють визначити оптимальний, в енергетичному відношенні, режим роботи.

Гіперболічний характер залежності  $W = f(Q)$  підтверджує, що найвигідніший енергетичний режим буде відповідати найбільшій можливій за технологічними умовами продуктивності механізмів підприємства.

По енергетичним характеристикам окремих машин і механізмів будуються сумарні енергетичні характеристики для будь-якої операції.

По сумарним енергетичним характеристикам будуються узагальнені характеристики для елеваторів.

### **3.2 Вплив факторів на енергоємність операцій елеваторів**

Індивідуальні і сумарні енергетичні характеристики елеваторів дозволяють оцінити енергетичні показники для будь-якої операції на підприємстві.

Однак, ці показники для елеваторів за рядом ознак (технологічна схема, довжина маршруту, характеристики обладнання) можуть відрізнятися від середніх величин, які характеризують енергоємність операцій на будь-яких інших підприємствах. Тому, для установлення залежності  $W = f(Q)$ , яка стосується сукупності елеваторів, доцільно побудувати для різних операцій середні енергетичні характеристики, які називаються узагальненими. Вони можуть бути одержані на основі сумарних енергетичних характеристик для однойменних операцій на різних підприємствах.

Для цього для кожної операції складається кореляційна таблиця, в яку вносяться із сумарних енергетичних характеристик значення питомих витрат енергії на різних елеваторах при різній продуктивності і вологості зерна.

Після математичної обробки кореляційних таблиць, які складені на основі проведених досліджень, були отримані рівняння зв'язку питомих витрат енергії з продуктивністю технологічних операцій з зерном різних культур.

По середнім значенням питомих витрат енергії і розрахунковим формулам для операцій по прийому і транспортуванню пшениці і ячменя з приймальних бункерів в силоси елеватора побудовані експериментальні і теоретичні енергетичні характеристики. Вони узагальнюють роботу всіх механізмів і машин, які виконують дану операцію.

В додатку 1 приведені рівняння зв'язку між питомими витратами електроенергії і продуктивністю для операцій, які виконуються на елеваторах.

Застосування кореляційного аналізу дозволило установити форму зв'язку між продуктивністю операції і питомими витратами електроенергії при одночасній дії різних факторів.

### **3.3 Вплив конструктивних факторів машин і механізмів на енергоємність операцій елеваторів**

При аналізі шляхів зниження енергетичних витрат при обробці зерна був врахований вплив режимних та конструктивних параметрів робочих машин елеваторів. В зв'язку з цим виникла необхідність проведення досліджень по визначенню раціональних режимних та конструктивних параметрів робочих машин і вибору потужності приводних електродвигунів та оптимальних ККД передачі.

Наприклад, для норії рівняння питомих витрат електроенергії в залежності від висоти норії та 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

$$P = (0,06 + 0,004 \cdot Q) \cdot x - 0,0022 \cdot Q \quad (3)$$

може бути розрахована потужність електродвигуна (кВт) в залежності від висоти та продуктивності норії.

## 4 Розробка рекомендацій і пропозицій

### 4.1 Енергетична класифікація технологічних процесів елеваторів

Показники енергоємності процесів елеваторів ще не визначають нормативів витрат електроенергії. Показник енергоємності також не виявляє методів і засобів зниження питомих витрат електроенергії. За його допомогою можна одержати лише інформацію про величину середніх витрат електроенергії на прийняту одиницю з ціллю порівняння його в різних виробничих і технологічних процесах. На основі аналізу такого показника можна розробити енергетичну класифікацію технологічних процесів, яка, окрім теоретичних міркувань, буде представляти практичний інтерес при розробці і оцінці ефективності заходів щодо економії економічних ресурсів елеваторів (рисунок 1).

На елеваторах, які приймають на зберігання зерно, технологічні операції за величиною енергоємності доцільно об'єднати в наступні групи: сушка зерна, очистка зерна, транспортування зерна.

По енергоємності процес сушки зерна займає перше місце і оцінюється для різних культур середніми питомими витратами електроенергії  $W_{сер} = 3,89$  кВт·год/т.

Питомі витрати електроенергії, які характеризують енергоємності зерноочисних операцій, в значному ступені залежать від продуктивності машин. В діапазоні продуктивності 10-60 т/год. Вони в середньому складають для елеваторів  $W_{сер} = 0,772$  кВт·год/т.

Питомі витрати електроенергії, які характеризують транспортні операції, за величиною їх енергоємності, займають останнє місце.

Транспортні операції за енергоємністю слід розділити на три групи: для важкого, легкого зерна та соняшника.

### 4.2 Структура норм питомих витрат електроенергії

На основі аналізу енергетичного балансу на елеваторах пропонується структура норм питомих витрат електроенергії по операціям (таблиця 1).

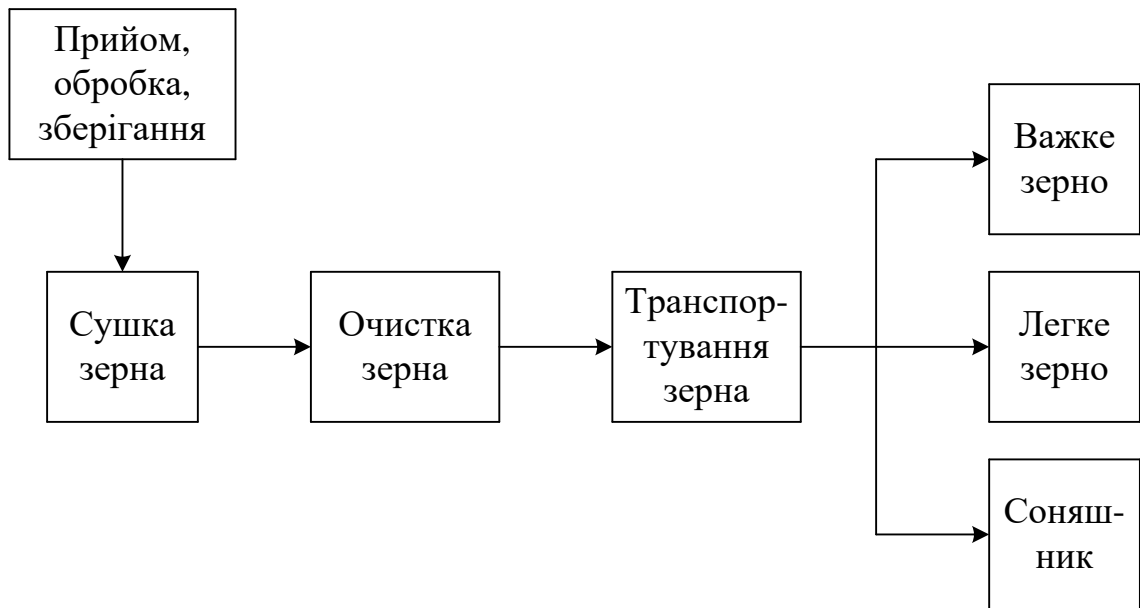


Рисунок 1 – Енергетична класифікація

#### 4.3 Характеристика і енергоємність процесів елеваторів

Виробничий процес на елеваторах складається з операцій, які відрізняються призначенням, характеристикам, об'ємам. За технологічними ознаками всі операції з зерном слід розділити на чотири категорії: транспортування зерна в елеваторах, механізованих баштах, складах і на відкритих площадках, включаючи прийом та видачу зерна; очищення зерна в зерноочисних машинах; сушка зерна в зерносушарках; активне вентилявання зерна.

Перша категорія операцій є найбільш багаточисельною, різноманітною і характеризується, по-перше, призначенням транспортування (прийом зерна; подача на очищення, сушку, зберігання; відпуск зерна), по-друге, транспортуючими машинами і їх технічними параметрами, і по-третє, маршрутом транспортування. Напрямок транспорту (горизонтальне, вертикальне, похиле), його відстань, характеристики транспортуючих механізмів і машин, продуктивність, фізико-механічні властивості зерна визначають енергоємність транспортних операцій. Із-за великого різноманіття транспортних технологічних схем слід чекати різницю в енергоємності окремих операцій.



Таблиця 1 – Структура норм

Види норм	Операції і статті витрат електроенергії	Питомі витрати електроенергії	
Технологічна норма $W_m$	1 Транспортування зерна а) елеватори б) механізовані башти в) немеханізовані склади		
	1.1 Корисні витрати електроенергії	$W_{mp}$	
	1.2 Втрати холостого ходу обладнання при стаціонарному режимі	$\Delta W_{mp\ x}$	
	1.3 Змінні (навантажувальні) втрати	$\Delta W_{mp\ зм}$	
	1.4 Пускові і налагоджувальні втрати	$\Delta W_{mp\ пн}$	
	$W_{m\ mp} = W_{mp} + \Delta W_{mp\ x} + \Delta W_{mp\ зм} + \Delta W_{mp\ пн}$		
	2 Очищення зерна		
	2.1 Корисні витрати електроенергії	$W_o$	
	2.2 Втрати холостого ходу обладнання при стаціонарному режимі	$\Delta W_{o\ x}$	
	2.3 Змінні (навантажувальні) втрати	$\Delta W_{o\ зм}$	
	2.4 Пускові і налагоджувальні втрати	$\Delta W_{o\ пн}$	
	$W_{m\ o} = W_o + \Delta W_{o\ x} + \Delta W_{o\ зм} + \Delta W_{o\ пн}$		

Однак, існує така думка, що можна проводити дослідження, оцінювати енергетичні показники і нормувати витрати електроенергії на тонну вантажообігу незалежно від характеру і специфіки операцій, які проводяться на елеваторі. При цьому вважають достатнім, якщо на основі загального обліку витрат електроенергії і сумарного вантажообігу буде зібраний статистичний матеріал. В цьому випадку шляхом ділення витрат електроенергії на загальний вантажообіг можна дати оцінку енергоємності на елеваторі і отримати укрупнену норму витрат електроенергії.

Невідповідність такої точки зору витікає з наступних міркувань:

1. Експериментальні і виробничі дані показують, що енергоємність різних операцій, які пов'язані з прийомом, очисткою, сушкою, активним вентиляванням і відвантаженням зерна, коливається в широких межах (0,2-7,0 кВт·год/т). Тому витрати електроенергії на елеваторах за деякий час будуть залежати від характеру операцій і від співвідношення вантажообігу по окремим операціям. Останні, як це підтверджується практикою експлуатації, підвергаються частим, а іноді і безперервним змінам. Таким чином, величина питомих витрат, яка отримана шляхом ділення загальних витрат електроенергії за деякий час на загальний вантажообіг без урахування характеру операцій, не буде відображати дійсну величину енергоємності технологічних процесів, а отже, не може бути прийнята за основу при розробці норми.

2. В питомих витратах електроенергії, які одержані шляхом ділення витрат електроенергії за деякий час на загальний вантажообіг, можуть бути приховані неполадки в технологічному процесі, який складається з багатьох операцій за проміжок часу (холості пробіги, недовантаження, змушені зупинки з наступними пусками). Наявність цього не дозволяє дати об'єктивну оцінку енергоємності процесу.

В результаті математичної обробки матеріалів досліджень були одержані рівняння зв'язку між питомими витратами електроенергії і продуктивності для транспортних операцій (додаток 1).

В таблиці 2 приведені оптимально-можливі укрупнені питомі витрати електроенергії по основним групам транспортних операцій для трьох категорій зерна.

Ці питомі витрати можуть служити в якості орієнтовних нормативів, так як відображають оптимально-можливі за технологічними міркуваннями витрати електроенергії на 1 т зерна.

Як видно з даних табл. 2, середні укрупнені питомі витрати електроенергії на транспортні операції складають для: важкого зерна  $W_{сер} = 0,332$  кВт·год/т; легкого зерна  $W_{сер} = 0,493$  кВт·год/т; соняшника  $W_{сер} = 0,745$  кВт·год/т.

Однією з важливих операцій при обробці зерна є його очистка від бур'янистої і зернової домішок в зерноочисних машинах різного типу. Найбільше роз-

повсюдження отримали зерноочисні машини, в яких домішки відділяють на спеціальних ситах і повітряним потоком. В таблиці 3 приведені питомі витрати електроенергії на зерноочисні операції при різній продуктивності машин, різній вологості (10-26 %) і засміченості (до 20 %) зерна. Вказані дані отримані в результаті обробки матеріалів проведених експериментальних досліджень. Коефіцієнт на культуру, вологість, засміченість приведені в додатку 2.

Таблиця 2 – Укрупнені питомі витрати електроенергії при транспортуванні зерна

Операція	Зерно	Питомі витрати електроенергії, кВт·год/т, при вологості зерна, %		
		10-15	15-20	20-25
Транспортування зерна в елеваторах				
Приєм і переміщення	Важке	0,412	0,430	0,472
	Легке	0,581	0,628	0,727
	Соняшник	0,795	0,959	1,251
Вивантаження	Важке	0,392		
	Легке	0,553		
	Соняшник	0,757		
Транспортування зерна в механізованих баштах				
Приєм і переміщення	Важке	0,287	0,304	0,353
	Легке	0,405	0,444	0,544
	Соняшник	0,554	0,678	0,935
Вивантаження	Важке	0,362		
	Легке	0,510		
	Соняшник	0,699		
Транспортування зерна в складах і на відкритих площадках				
Приєм і переміщення	Важке	0,226	0,259	0,324
	Легке	0,319	0,378	0,499
	Соняшник	0,436	0,578	0,859
Вивантаження	Важке	0,229		
	Легке	0,323		
	Соняшник	0,442		

Таблиця 3 – Питомі витрати електроенергії на зерноочисні операції

Коефіцієнт на культуру, вологість, засміченість	Продуктивність машин, т/год.					
	60	50	40	30	20	10
1,0	0,292	0,320	0,360	0,432	0,572	1,00
0,9	0,307	0,339	0,386	0,464	0,615	1,08
0,8	0,327	0,362	0,416	0,504	0,680	1,21
0,7	0,352	0,393	0,453	0,555	0,757	1,37
0,6	0,386	0,433	0,504	0,620	0,910	1,57
0,5	0,433	0,490	0,573	0,717	0,998	1,85
0,4	0,504	0,574	0,680	0,856	1,210	2,27
0,3	0,622	0,715	0,860	1,090	1,560	2,98
$W_{\text{ср}}$	0,403	0,453	0,528	0,663	0,915	1,665

З приведених даних видно, що середня енергоємність зерноочисних операцій може бути оцінена при продуктивності 60-50 т/год. Відповідно в 0,403-0,453 кВт·год/т, при продуктивності 40-30 т/год. в 0,528-0,663 кВт·год/т, при продуктивності 20-10 т/год. в 0,915-1,665 кВт·год/т.

Середній із середніх питомих витрат електроенергії на зерноочисні операції складає

$$W_{\text{ср}} = \frac{\sum W}{n} = \frac{37,026}{48} = 0,772 \text{ кВт} \cdot \text{год/т} . \quad (4)$$

Ця величина може бути мірою енергоємності процесу очищення зерна.

## ВИСНОВКИ

1. Дослідження в технологічних процесах обробки та зберігання зернових культур енергетичного фактору представляє проблему, яка має важливе народно-господарське значення.

2. Питомі витрати електроенергії на елеваторах є показником, який відображає енергоємність кінцевого продукту, технологічного процесу, а також ефективність використання електроенергетичних ресурсів.

3. Питання вивчення, аналізу і нормування питомих витрат електроенергії мають галузевий характер і їх необхідно вирішувати тільки в галузевому аспекті.

4. Питомі витрати електроенергії залежать від ряду основних і другорядних факторів. До числа основних факторів на елеваторах відносять: культуру зерна, його вологість, питомий об'єм і масу, продуктивність машин і механізмів, енергоозброєність, тип обладнання, його технічний стан і ступінь завантаження. Другорядними факторами є: причини сезонного характеру; випадкові коливання якісних і кількісних показників сировини і готової продукції; випадкові відхилення від прийнятої технології; зміна стану обладнання від впливу механічних, хімічних, теплових і електромагнітних факторів; зміна в процесі експлуатації електроенергетичних параметрів.

5. Питомі витрати електроенергії на елеваторах, являючись випадковою величиною, розподіляються за нормальним законом.

6. Питомі витрати електроенергії в кореляційній залежності від продуктивності для транспортних операцій на елеваторах з достатньою точністю апроксимуються гіперболою, а потужність – прямою лінією.

7. При збільшенні вологості зерна питомі витрати електроенергії на транспортні операції підвищуються. Це пояснюється зниженням сипкості, зростанням шпаруватості і зменшенням об'ємної маси зерна, що в кінцевому рахунку приводить до зниження продуктивності.

8. Питомі витрати корисної енергії при транспортуванні різних зернових культур з однаковою вологістю змінюються обернено пропорційно їх об'ємній масі.

9. Залежність корисної споживаної потужності і питомих витрат енергії від продуктивності і довжини горизонтальних транспортних механізмів може бути представлена у вигляді наступних кореляційних рівнянь:

$$P_{\tau} = -0,184 + 0,121 \cdot Q - 0,00894 \cdot l,$$

$$W_{\tau} = -\frac{0,184}{Q} + \frac{0,00894 \cdot l}{Q} + 0,0121,$$

де  $P_{\tau}$  – корисна потужність, кВт;

$Q$  – продуктивність машини, т/год.;

$l$  – довжина транспортера, м;

$W_{\tau}$  – питомі витрати енергії, кВт·год/т.

10. Потужність та питомі витрати енергії на процес підйому, в залежності від висоти норій та їх продуктивності, можуть бути представлені у вигляді наступних кореляційних рівнянь:

$$P = (0,06 + 0,004 \cdot Q) \cdot x - 0,0022 \cdot Q,$$

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

де  $P$  – потужність, кВт;

$W$  – питомі витрати енергії, кВт·год/т;

$Q$  – продуктивність норій, т/год.;

$x$  – висота норій, м.

11. В потокових лініях, укомплектованих з машин з різною номінальною продуктивністю, питомі витрати електроенергії будуть вище, ніж при розділених операціях з накопичувальними проміжними ємностями.

12. Енергетична характеристика процесу очищення зерна може бути представлена у вигляді кореляційної залежності

$$W = \frac{8,48}{Q_{\phi} \cdot K_{\pi}} + 0,15,$$

де  $Q_{\phi}$  – фактична продуктивність зерноочисної машини при очищенні пшениці, т/год.;

$K_{\pi}$  – поправочний коефіцієнт на культуру зерна, вологість та засміченість.

## 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.

## Рівняння зв'язку на хлібоприймальних підприємствах

№ операцій	Найменування операції і номер групи операцій однакових за енергоємністю	Маршрутна технологічна схема	Рівняння зв'язку між питомою витратою електроенергії і продуктивністю	Витрата електроенергії, кВт·год./т		Формула для розрахунку сумарної питомої витрати електроенергії на операцію, кВт·год./т
				на аспірацію	на холості пробіги	
Операції в елеваторах, що виконуються стаціонарним транспортуючим обладнанням						
1	Прийом зерна з автомобільного транспорту в надсепараторні бункера	Автомобіль – приймальний транспортер – норія – надсепараторний бункер	$W = \frac{5,5}{Q} + 0,190$	8,2	1,1	$W = \frac{14,8}{Q} + 0,190$
2	Прийом зерна з автомобільного транспорту в силоси	Автомобіль – приймальний транспортер – норія – надсилосний транспортер – силос	$W = \frac{4,9}{Q} + 0,218$	9,6	2,2	$W = \frac{16,7}{Q} + 0,218$
3	Прийом зерна з залізниці в силоси	Залізничний вагон – транспортер – норія – надсилосний транспортер – силос	$W = \frac{4,9}{Q} + 0,218$	9,0	2,2	$W = \frac{16,1}{Q} + 0,218$
4	Подача зерна із силосів в надсепараторні бункера	Силос – підсилосний транспортер – норія – надсепараторний бункер	$W = \frac{3,3}{Q} + 0,181$	8,2	0,8	$W = \frac{12,3}{Q} + 0,181$
5	Подача зерна із складів в надсепараторні бункера	Склад – нижній транспортер складу – з'єднувальний транспортер – приймальний або підсилосний транспортер – норія – надсепараторний бункер	$W = \frac{5,5}{Q} + 0,247$	9,6	2,0	$W = \frac{17,1}{Q} + 0,247$
6	Подача зерна після очищення в надсушильні бункера	Надсепараторний бункер – норія – надсушильний бункер	$W = \frac{5,7}{Q} + 0,148$	7,0	0,6	$W = \frac{13,3}{Q} + 0,148$
7	Подача зерна після очищення в силоси	Підсепараторний бункер – норія – надсушильний транспортер – силос	$W = \frac{3,3}{Q} + 0,181$	8,4	1,6	$W = \frac{13,3}{Q} + 0,181$



## Продовження додатку 1

№ операції	Найменування операції і номер групи операцій однакових за енергоємністю	Маршрутна технологічна схема	Рівняння зв'язку між питомою витратою електроенергії і продуктивністю	Витрата електроенергії, кВт·год./т		Формула для розрахунку сумарної питомої витрати електроенергії на операцію, кВт·год./т
				на аспірацію	на холості пробіги	
Операції в елеваторах, що виконуються стаціонарним транспортуючим обладнанням						
8	Подача зерна після очищення в склади	Підсепараторний бункер – норія – надсилосний транспортер – верхній транспортер складу – склад	$W = \frac{4,9}{Q} + 0,218$	8,4	2,2	$W = \frac{15,5}{Q} + 0,218$
9	Подача зерна із силосів в надсушильні бункера	Силос – підсилосний транспортер – норія – надсушильний бункер	$W = \frac{3,3}{Q} + 0,181$	8,2	0,8	$W = \frac{12,3}{Q} + 0,181$
10	Подача зерна із складів в надсушильні бункера	Склад – нижній транспортер складу – з'єднувальний транспортер – приймальний або підсилосний транспортер	$W = \frac{5,5}{Q} + 0,247$	8,4	2,0	$W = \frac{15,9}{Q} + 0,247$
11	Подача зерна після сушки в силоси	Підсушильний бункер – норія – надсилосний транспортер – силос	$W = \frac{3,3}{Q} + 0,181$	8,4	1,6	$W = \frac{13,3}{Q} + 0,181$
12	Подача зерна після сушки в склади	Підсушильний бункер – норія – надсилосний транспортер – з'єднувальний транспортер – верхній транспортер складу – склад	$W = \frac{4,9}{Q} + 0,218$	8,4	2,4	$W = \frac{25,7}{Q} + 0,218$
13	Переміщення зерна із силосу в силос для провітрювання	Силос – підсилосний транспортер – норія – надсилосний транспортер – силос	$W = \frac{5,5}{Q} + 0,190$	9,6	2,2	$W = \frac{17,3}{Q} + 0,190$
14	Переміщення зерна із силосу в силос при підготовці партій або інвентаризації	Силос – підсилосний транспортер – норія – надсилосний транспортер – склад	$W = \frac{5,5}{Q} + 0,190$	9,6	2,2	$W = \frac{17,3}{Q} + 0,190$

## Продовження додатку 1

№ операції	Найменування операції і номер групи операцій однакових за енергоємністю	Маршрутна технологічна схема	Рівняння зв'язку між питомою витратою електроенергії і продуктивністю	Витрата електроенергії, кВт·год./т		Формула для розрахунку сумарної питомої витрати електроенергії на операцію, кВт·год./т
				на аспірацію	на холості пробіги	
Операції в елеваторах, що виконуються стаціонарним транспортуючим обладнанням						
15	Відвантаження зерна із силосів на залізницю через відпускні залізничні силоси по відпускним трубам без вагонорозвантажувачів	Силос – підсилосний транспортер – норія – надсилосний транспортер – відпускні залізничні силоси – відпускні труби – залізничний вагон	$W = \frac{4,9}{Q} + 0,218$	9,6	2,2	$W = \frac{16,7}{Q} + 0,218$
16	Відвантаження зерна із силосів на залізницю через відпускні залізничні силоси по відпускним трубам з вагонорозвантажувачами	Силос – підсилосний транспортер – норія – надсилосний транспортер – відпускні труби – вагонорозвантажувачі – залізничний вагон	$W = 0,443 - 0,003Q$	9,6	2,8	$W = \frac{12,4}{Q} + 0,443 - 0,003Q$
17	Відвантаження зерна із силосів на водний транспорт через відпускні бункера, відпускні труби і естакаду відвантаження	Силос – підсилосний транспортер – норія – надсилосний транспортер – відпускний бункер – відпускні труби – відвантажувальна естакада – баржа	$W = 0,443 - 0,003Q$	9,6	2,8	$W = \frac{12,4}{Q} + 0,443 - 0,003Q$
Операції в складах, механізованих баштах, приймально-очищувальний та сушильно-очищувальних баштах, що виконуються стаціонарним транспортуючим обладнанням						
18	Прийом зерна з автомобільного транспорту в склади через башти механізації	Автомобіль – норія – верхній транспортер складу – склад	$W = \frac{5,8}{Q} + 0,09$	6,6	0,8	$W = \frac{13,2}{Q} + 0,09$
19	Прийом зерна з автомобільного транспорту в надсепараторні бункера ПОБ	Автомобіль – приймальний транспортер – норія – надсепараторний бункер	$W = \frac{4,7}{Q} + 0,07$	6,4	0,8	$W = \frac{11,9}{Q} + 0,07$

## Продовження додатку 1

№ операції	Найменування операції і номер групи операцій однакових за енергоємністю	Маршрутна технологічна схема	Рівняння зв'язку між питомою витратою електроенергії і продуктивністю	Витрата електроенергії, кВт·год./т		Формула для розрахунку сумарної питомої витрати електроенергії на операцію, кВт·год./т
				на аспірацію	на холодні пробіги	
Операції в елеваторах, що виконуються стаціонарним транспортуючим обладнанням						
20	Прийом зерна з залізниці в склади через башти механізації	Залізничний вагон – приймальний або залізничний транспорт – норія – з'єднувальний транспортер – верхній транспортер складу – склад	$W = \frac{5,8}{Q} + 0,09$	7,2	1,2	$W = \frac{14,2}{Q} + 0,09$
21	Подача зерна на очищення із складів в ПОБ або СОБ	Склад – нижній транспортер складу – з'єднувальний транспортер – приймальний транспортер – норія – надсепараторний бункер ПОБ	$W = \frac{4,0}{Q} + 0,13$	6,6	1,2	$W = \frac{11,8}{Q} + 0,13$
22	Подача зерна на сушку після очищення в бункер сирого зерна	Підсепараторний бункер СОБ – норія – бункер сирого зерна СОБ	$W = \frac{4,3}{Q} + 0,04$	5,2	0,4	$W = \frac{9,9}{Q} + 0,04$
23	Подача зерна після очистки із ПОБ в склади	Підсепараторний бункер ПОБ – норія – з'єднувальний транспортер – верхній транспортер складу – склад	$W = \frac{4,7}{Q} + 0,07$	6,6	1,0	$W = \frac{12,3}{Q} + 0,07$
24	Подача зерна після сушки із СОБ в склади	Бункер сухого зерна СОБ – норія – з'єднувальний транспортер – верхній транспортер складу – склад	$W = \frac{4,7}{Q} + 0,07$	8,0	1,8	$W = \frac{12,3}{Q} + 0,07$
25	Переміщення зерна із складу в склад для провітрювання через башти механізації	Склад – нижній транспортер складу – з'єднувальний транспортер – приймальний транспортер – норія – з'єднувальний транспортер – верхній транспортер	$W = \frac{5,8}{Q} + 0,09$	8,0	1,8	$W = \frac{15,6}{Q} + 0,09$

## Продовження додатку 1

№ операції	Найменування операції і номер групи операцій однакових за енергоємністю	Маршрутна технологічна схема	Рівняння зв'язку між питомою витратою електроенергії і продуктивністю	Витрата електроенергії, кВт·год./т		Формула для розрахунку сумарної питомої витрати електроенергії на операцію, кВт·год./т
				на аспірацію	на холості пробіги	
Операції в елеваторах, що виконуються стаціонарним транспортуючим обладнанням						
26	Відвантаження зерна із складів на залізницю через башти механізації і відпускні труби	Склад – нижній транспортер складу – з'єднувальний транспортер – норія – ваги – норія – відпускний бункер – відпускні труби – залізничний вагон	$W = \frac{5,8}{Q} + 0,09$	8,4	1,2	$W = \frac{15,4}{Q} + 0,09$
27	Відвантаження зерна із складів на залізницю через башти механізації, відпускні труби і вагонозавантажувачі	Склад – нижній транспортер складу – з'єднувальний транспортер – норія – ваги – норія – відпускний бункер – відпускні труби – вагонозавантажувачі – залізничний вагон	$W = \frac{11,6}{Q} + 0,129$	8,4	1,2	$W = \frac{21,2}{Q} + 0,129$
28	Відвантаження зерна із складів на водний транспорт через башти механізації, відпускні труби і відвантажувальну естакаду	Склад – нижній транспортер складу – з'єднувальний транспортер – норія – ваги – норія – відпускний бункер – відпускні труби – відвантажувальна естакада – баржа	$W = \frac{11,6}{Q} + 0,129$	8,4	1,2	$W = \frac{21,2}{Q} + 0,129$
29	Відвантаження зерна із складів на залізницю через ланцюг транспортуючих машин	Склад – самоподавач – транспортер ЛТ-10 – транспортер ЛТ-10 – залізничний вагон	$W = \frac{3,6}{Q} + 0,124$	-	0,6	$W = \frac{4,2}{Q} + 0,124$
30	Прийом зерна з автомобільного транспорту на відкриті площадки в бурти через ланцюг транспортуючих машин	Автомобіль – механізований бункер – транспортер ЛТ-10 – транспортер ЛТ-10 – бурт	$W = \frac{3,6}{Q} + 0,124$	-	0,6	$W = \frac{4,2}{Q} + 0,124$

## Продовження додатку 1

№ операції	Найменування операції і номер групи операцій однакових за енергоємністю	Маршрутна технологічна схема	Рівняння зв'язку між питомою витратою електроенергії і продуктивністю	Витрата електроенергії, кВт·год./т		Формула для розрахунку сумарної питомої витрати електроенергії на операцію, кВт·год./т
				на аспірацію	на холості пробіги	
Операції в елеваторах, що виконуються стаціонарним транспортуючим обладнанням						
31	Прийом зерна з автомобільного транспорту в склади через ланцюг транспортуючих машин	Автомобіль – механізований бункер – транспортер ЛТ-10 – транспортер ЛТ-10 – склад	$W = \frac{3,6}{Q} + 0,124$	-	0,6	$W = \frac{4,2}{Q} + 0,124$
32	Переміщення зерна з відкритих площадок в склади через ланцюг транспортуючих машин	Відкрита площадка – самоподавач – транспортер ЛТ-10 – транспортер ЛТ-10 – склад	$W = \frac{3,6}{Q} + 0,124$	-	0,6	$W = \frac{4,2}{Q} + 0,124$
33	Переміщення зерна усередині складів для провітрювання або для перекидання зерна від стін складу до люків нижньої галереї	Склад – самоподавач – транспортер ЛТ-10 – склад	$W = \frac{3,6}{Q} + 0,124$	-	0,6	$W = \frac{4,2}{Q} + 0,124$

Додаток 2

Поправочні коефіцієнти (к) для визначення розрахункової продуктивності зерноочисних машин в залежності від вологості і засміченості зерна, що поступає в машину (дані ВНДіЗ)

Культура	При вологості, %																	
	до 15,5				15,5-17,0				17,0-20,0				20,0-22,0				22,0-25,0	
	до 10	15	20	до 10	15	20	до 10	15	20	до 10	15	20	до 10	15	20	до 10	15	20
Пшениця	1,0	0,90	0,80	0,95	0,85	0,76	0,80	0,72	0,64	0,70	0,63	0,56	0,55	0,50	0,44			
Жито	0,9	0,80	0,72	0,85	0,76	0,68	0,72	0,65	0,58	0,63	0,57	0,50	0,50	0,45	0,40			
Ячмінь	0,8	0,72	0,64	0,76	0,68	0,61	0,64	0,58	0,51	0,56	0,56	0,45	0,44	0,40	0,35			
Гречка	0,7	0,63	0,56	0,66	0,59	0,53	0,56	0,50	0,45	0,49	0,44	0,39	0,38	0,34	0,30			
Рис	0,6	0,54	0,48	0,57	0,51	0,46	0,48	0,43	0,38	0,42	0,37	0,35	0,33	0,30	0,26			
Культура	При вологості, %																	
	до 15,0				15,0-17,0				17,0-20,0				20,0-22,0				22,0-25,0	
	до 5	10	15	до 5	10	15	до 5	10	15	до 5	10	15	до 5	10	15	до 5	10	15
Просо	0,7	0,70	0,63	0,66	0,66	0,59	0,56	0,56	0,50	0,49	0,49	0,44	0,38	0,38	0,34			

## Продовження додатку 2

	При вологості, %														
	до 16,0			16,0-18,0			18,0-20,0			20,0-22,0			22,0-25,0		
Культура	і вмістом віддільних домішок (бур'янистих і зернових), %														
	до 3	5	10	до 3	5	10	до 3	5	10	до 3	5	10	до 3	5	10
Кукурудза продовольча	1,00	1,00	1,00	0,90	0,90	0,90	0,80	0,80	0,80	0,70	0,70	0,70	0,55	0,55	0,55
	При вологості, %														
Культура	і вмістом віддільних домішок (бур'янистих і зернових), %														
	до 16,0			16,0-18,0			18,0-20,0			20,0-22,0			22,0-25,0		
Овес	до 5	10	15	до 5	10	15	до 5	10	15	до 5	10	15	до 5	10	15
Горох	0,7	0,70	0,63	0,63	0,63	0,57	0,56	0,56	0,50	0,49	0,49	0,44	0,38	0,38	0,34
	1,0	1,00	0,90	0,90	0,90	0,81	0,80	0,80	0,72	0,70	0,70	0,63	0,55	0,55	0,49
	При вологості, %														
Культура	і вмістом віддільних домішок (бур'янистих і зернових), %														
	до 17,0			17,0-19,0			19,0-21,0			21,0-23,0			23,0-25,0		
Чечевича	до 5	10	15	до 5	10	15	до 5	10	15	до 5	10	15	до 5	10	15
	0,95	0,95	0,85	0,85	0,85	0,76	0,75	0,67	0,65	0,65	0,65	0,58	0,55	0,55	0,49

Продовження додатку 2

		При вологості, %										
Культура	до 14,0	14,0-16,0					16,0-18,0					18,0-2,0
		і вмістом віддільних домішок (бур'янистих і зернових), %										
	до 5	10	15	до 5	10	15	до 5	10	15	до 5	10	15
Соя	1,00	1,00	0,90	1,00	1,00	0,90	0,90	0,90	0,90	0,81	0,80	0,72
		При вологості, %										
Культура	до 13,0	13,0-14,5					14,5-16,0					16,0-18,0
		і вмістом віддільних домішок (бур'янистих і зернових), %										
	до 5	10	15	до 5	10	15	до 5	10	15	до 5	10	15
Соняшник	0,60	0,60	0,54	0,60	0,60	0,54	0,60	0,60	0,60	0,54	0,54	0,49



## **РОЗДІЛ 5.1.5**

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

**Етап 5.1.5.5** Визначення параметрів і діаграми спрямованості конічної антенної системи для внутрішньоутробного лікування запалених яєчників тварин

#### **ВИКОНАВЦІ**

Канд. техн. наук, доцент

Попрядухін Вадим Сергійович

## РЕФЕРАТ

Звіт про НДР 5.1.5.5: 15 с., 2 рисунки, 14 посилань.

ДІАГРАМА СПРЯМОВАНОСТІ, КОНІЧНА АНТЕННА 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	77
1 ПРОГРАМА ДОСЛІДЖЕНЬ	78
2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ	78
3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ	78
3.1 Проведення теоретичних досліджень для визначення параметрів конічної антенної системи для внутрішньоутробного лікування запалених яєчників тварин	78
3.2 Визначення діаграми спрямованості конічної антенної системи для внутрішньоутробного лікування запалених яєчників тварин	82
ВИСНОВКИ	86
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	86

## ВСТУП

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%.

Терапевтична ефективність використання лікувальних засобів для лікування хвороб і розладів функцій гонад корів доволі низька. Крім того не враховуються негативні дії на людину антибіотиків та інших медикаментів, що потрапляють через молоко і м'ясо корів і пригнічують імунітет, вражають печінку та інші органи. Тому немедикоментозне лікування гонад у корів за допомогою інформаційного електромагнітного поля є більш перспективним.

В роботі проведено аналітичне обґрунтування параметрів і діаграми направленості рупорохвильової системи для лікування корів [1]. Прийнята випромінююча система з обтічником, що має пірамідальний рупор, який переходить у прямокутний хвилевід чотирьох міліметрового діапазону.

Визначені параметри головних пелюстків діаграми спрямованості і рівень потужності при частоті на поверхні, прямокутного розкриву, розмірів прямокутного розкриття, розмірів хвилевода, діаметр, товщина і фокусна відстань діелектричної лінзи дозволяють розробити пристрій для опромінення гонад корів [2].

## **1 ПРОГРАМА ДОСЛІДЖЕНЬ**

1.1 Проведення теоретичних досліджень для визначення параметрів конічної антенної системи для внутрішньоутробного лікування запалених яєчників тварин.

1.2 Визначення діаграми спрямованості конічної антенної системи для внутрішньоутробного лікування запалених яєчників тварин

## **2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ**

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

## **3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

**3.1 Проведення теоретичних досліджень для визначення параметрів конічної антенної системи для внутрішньоутробного лікування запалених яєчників тварин**

Для визначення параметрів і отримані діаграми спрямованості (ДС) рупорно-хвильової системи для внутрішньоутробного лікування яєчників маточного поголів'я корів були проведені теоретичні дослідження [3].

Основним елементом конструкції антени є випромінювач, який повинен сформувавши необхідну ДС і забезпечити достатній рівень потужності на поверхні яєчників корів на частоті 73,2 ГГц.

Схема конструкції рупорно-хвильового випромінювача приведена на рисунку 1.

Випромінююча система з обтічником 1 показана на рис. 1. Геометричні розміри даної системи показані в міліметрах. Пірамідальний рупор 2 переходить в прямокутний хвильвід 3 чотирьохміліметрового діапазону. Вся конструкція розташовується в діелектричній трубці 4 з вініпласту. Для центрування в трубці хвиль-

водних елементів використовуються пінопластові вставки 5. Такого типу опромінювачі забезпечують аксіально-симетричну та вузьку ДС.

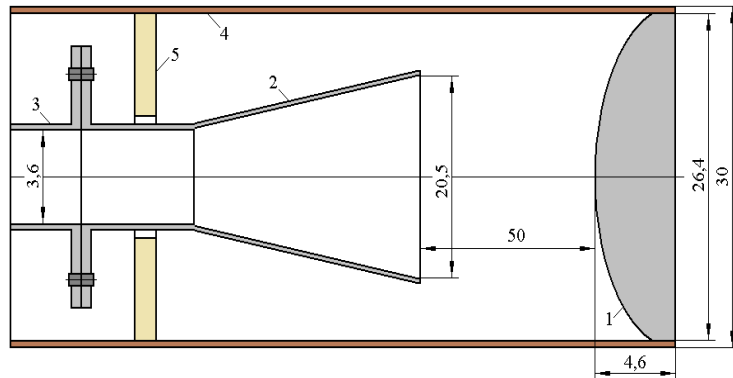


Рис. 1. Схема конструкції випромінюючої лінзи з напівсферичною діелектричною лінзою

При проведенні всіх розрахунків будемо вважати, що в випромінюючому розкриві поширюється тільки одна хвиля (в нашому випадку  $TE_{10}$ ). Результати будуть тим точніше, чим більше розмір розкриву в порівнянні з довжиною хвилі  $\lambda$ .

У декартовій системі координат розподіл електричної компоненти хвилі, що розповсюджується по хвилеводу, має вигляд:

$$\mathbf{E} = \mathbf{e}_x E_x + \mathbf{e}_y E_y + \mathbf{e}_z E_z \quad (1)$$

За аналогією з виразом (1) напишемо електричну компоненту хвилі в сферичній системі координат [4]:

$$\mathbf{E} = \mathbf{e}_r E_r + \mathbf{e}_\varphi E_\varphi + \mathbf{e}_\theta E_\theta \quad (2)$$

Ми розглядаємо прямокутний хвилевод, в якому поширюється хвиля  $TE_{10}$ , що має тільки поперечну складову електричного поля ( $E_x = H_y = E_z = 0$ ). З урахуванням

рівності нулю деяких компонент електричного і магнітного полів хвилі  $TE_{10}$  в хвилеводі можемо записати [5]:

$$\begin{cases} E_x = -E_\varphi \sin \varphi + E_\theta \cos \varphi \cos \theta, \\ E_y = E_\varphi \cos \varphi + E_\theta \sin \varphi \cos \theta, \\ E_z = -E_\theta \sin \theta. \end{cases} \quad (3)$$

Після підстановки значень складових електричного поля з (3) в співвідношення (2) отримаємо:

$$\mathbf{E} = \mathbf{e}_x (E_\theta \cos \varphi \cos \theta - E_\varphi \sin \varphi) + \mathbf{e}_y (E_\varphi \cos \varphi + E_\theta \sin \varphi \cos \theta) - \mathbf{e}_z E_\theta \sin \theta \quad (4)$$

У сферичній системі координат складові електричного поля  $E_\theta$  і  $E_\varphi$  в розкритті прямокутного хвилеводу перерізом  $a \times b$  визначаються виразами:

$$E_\theta = BZ_0 \frac{a^2 b}{\lambda^2} \sin \varphi \left( 1 + \frac{\lambda}{\lambda_g} \cos \theta \right) \frac{\cos \alpha}{\alpha^2 - \frac{\pi^2}{4}} \frac{\sin \beta}{\beta} \quad (5)$$

$$E_\varphi = BZ_0 \frac{a^2 b}{\lambda^2} \cos \varphi \left( \cos \theta + \frac{\lambda}{\lambda_g} \right) \frac{\cos \alpha}{\alpha^2 - \frac{\pi^2}{4}} \frac{\sin \beta}{\beta} \quad (6)$$

де  $B$  – амплітудний коефіцієнт;

$Z_0 = 120\pi$  – хвильовий опір вільного простору;

$\alpha = (\pi a / \lambda) \sin \theta \cos \varphi$ ;

$\beta = (\pi b / \lambda) \sin \theta \sin \varphi$ ;

$\lambda_g = \lambda / \sqrt{1 - (\lambda/2a)^2}$  – хвильова довжина хвилі.

Після підстановки значень  $E_\theta$  і  $E_\varphi$  у вираз (3) були отримані рівняння для складових електричного поля в наступному вигляді:

$$E_x = E_\theta \cos \varphi \cos \theta - E_\varphi \sin \varphi = -F \frac{\lambda}{\lambda_g} \sin \varphi \cos \varphi \sin^2 \theta \quad (7)$$

де

$$F = BZ_0 \frac{a^2 b}{\lambda^2} \frac{\cos \alpha}{\alpha^2 - \frac{\pi^2}{4}} \frac{\sin \beta}{\beta} \quad (8)$$

$$E_y = F \left[ \cos^2 \varphi \left( \cos \theta + \frac{\lambda}{\lambda_g} \right) + \sin^2 \varphi \cos \theta \left( 1 + \frac{\lambda}{\lambda_g} \cos \theta \right) \right], \quad (9)$$

$$E_z = -E_\theta \sin \theta = -F \sin \varphi \sin \theta \left( 1 + \frac{\lambda}{\lambda_g} \cos \theta \right) \quad (10)$$

Після підстановки виразів для складових електричного поля, що визначаються в (7), (8) і (9), в співвідношення (4) отримаємо вираз для електричної компоненти основної хвилі прямокутного хвилеводу [6]:

$$\begin{aligned} \mathbf{E} = & \mathbf{e}_x \left( -F \frac{\lambda}{\lambda_g} \sin \varphi \cos \varphi \sin^2 \theta \right) + \mathbf{e}_y F \left[ \cos^2 \varphi \left( \cos \theta + \frac{\lambda}{\lambda_g} \right) + \right. \\ & \left. + \sin^2 \varphi \cos \theta \left( 1 + \frac{\lambda}{\lambda_g} \cos \theta \right) \right] + \mathbf{e}_z \left[ -F \sin \varphi \cos \theta \left( 1 + \frac{\lambda}{\lambda_g} \cos \theta \right) \right] \end{aligned} \quad (11)$$

В результаті перетворень були отримані вирази для визначення ДС в площинах  $\mathbf{H}$  та  $\mathbf{E}$  основної хвилі  $TE_{01}$  відкритого кінця прямокутного хвилеводу [7]:

$$\mathbf{E}_{x0z} = \mathbf{e}_y BZ_0 \frac{a^2 b}{\lambda^2} \frac{\cos[(\pi a/\lambda) \sin \theta]}{[(\pi a/\lambda) \sin \theta]^2 - (\pi/2)^2} \left( \cos \theta + \frac{\lambda}{\lambda_g} \right) \quad (12)$$



$$\mathbf{E}_{y0z} = \mathbf{e}_y B Z_0 \frac{a^2 b}{\lambda^2} \left( -\frac{4}{\pi^2} \right) \frac{\sin\left(\frac{\pi b}{\lambda} \sin \theta\right)}{\left(\frac{\pi b}{\lambda} \sin \theta\right)} \left[ \cos \theta \left( 1 + \frac{\lambda}{\lambda_g} \cos \theta \right) \right] \quad (13)$$

Результати розрахунку за формулами (12) і (13) показали, що за рівнем -15 дБ ширина головної пелюстки ДС в обох площинах, що розглядаються, складає 24,8 мм для розмірів прямокутного розкриття  $a' \times b' = 20,5 \times 14,31$  мм.

Таким чином, в цьому випадку більше 80% випромінюваної потужності будуть зосереджені в трубі діаметром 30 мм. З урахуванням розмірів прямокутного розкриття та розмірами хвилеводу 3,6x1,8 мм була визначена довжина пірамідального рупора 35 мм. У зв'язку з внутрішньоутробним лікуванням тварин, розкриття діелектричного хвилеводу випромінювача електромагнітної енергії було закрито діелектричною лінзою з параметрами: діаметр 26,4 мм; товщина 4,6 мм; фокусна відстань 50 мм.

### **3.2 Визначення діаграми спрямованості конічної антенної системи для внутрішньоутробного лікування запалених яєчників тварин**

Добре відомо, що в просторі навколо антени існує три зони випромінювання: ближня, проміжна (зона Френеля) і далека (зона Фраунгофера). У ближній зоні середній за період коливань потік потужності дорівнює нулю: половину періоду коливань вектор щільності потоку потужності спрямований від антени, а другу половину періоду - до антени. Цим характеризується реактивне поле. Отже, ближня зона антени є накопичувачем енергії електромагнітного поля і визначається як  $l_{б.з.} \leq (a'/2) \left[ (1/2) + (a'/\lambda)^{1/3} \right]$  [8]. В активному полі середній за період коливань потік потужності відмінний від нуля. Завдяки цьому активне поле переносить потужність від антени в далеку зону. Оскільки в ближній зоні реактивне поле істотно перевершує активну, то цю зону ми розглядати не будемо.

У проміжній зоні активне поле вже перевищує реактивне, а самі розміри цієї зони визначаються як  $(a'/2)\left[(1/2)+(a'/\lambda)^{1/3}\right] < \ell_{n.z.} < (2a'^2/\lambda)$ , або в наших позначеннях  $22,652 \text{ мм} < \ell_{n.z.} < 205 \text{ мм}$  ( $a' = 20,5 \text{ мм}$ ). Тому розглянемо ДН аксіально-симетричного розкриття на відстані  $\ell_{n.z.} = 50 \text{ мм}$ .

Результати розрахунку за формулами показані на рисунку 2. Як ми можемо бачити з представленого малюнка, основний пелюстка ДН в двох взаємно перпендикулярних площинах є аксіально-симетричним [9]. Поряд з цим рівень бічних пелюсток в площині вектора  $E$  основної хвилі прямокутного хвилеводу значно вище, ніж в площині вектора  $H$ ,  $-14,4 \text{ дБ}$  проти  $-23,3 \text{ дБ}$  (за рівнем  $-15 \text{ дБ}$ ). З цього ж рівня  $-15 \text{ дБ}$  ширина головної пелюстки ДН в обох розглянутих площинах складає  $24,8 \text{ мм}$ . Таким чином, в цьому випадку більше  $80\%$  випромінюваної потужності будуть зосереджені в трубі діаметром  $30 \text{ мм}$ .

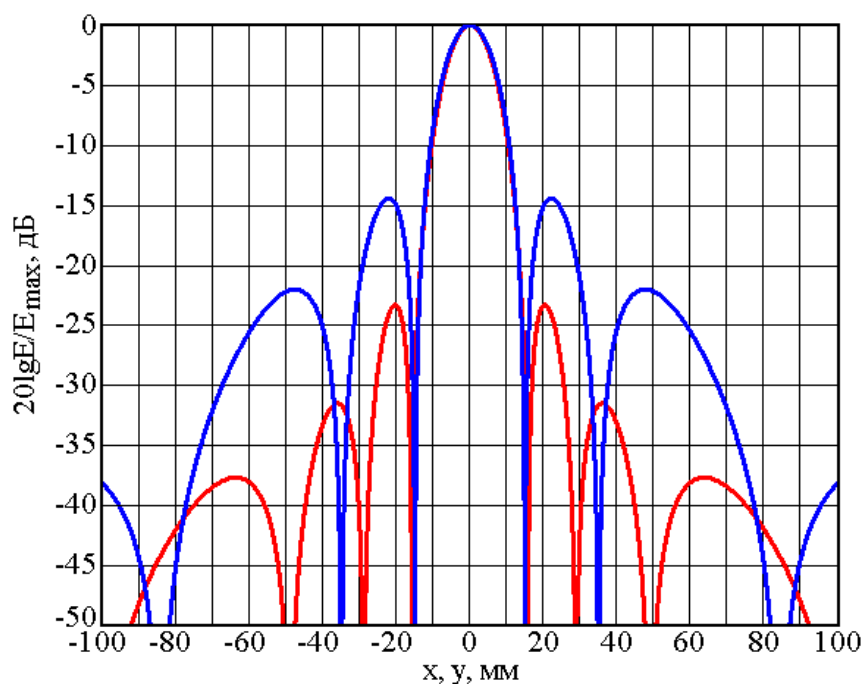


Рис. 2. ДН прямокутного розкриття, побудовані на відстані 50 мм в двох взаємно перпендикулярних площинах векторів  $H$  і  $E$  основній хвилі хвилеводу

Оскільки розміри випромінювача в обох площинах перевищують робочу довжину хвилі в кілька разів, то залишається відкритим питання про довжину пірамідального рупора для забезпечення синфазного розподілу поля в його розкриві [10].

З літературних джерел добре відомо, що максимальна фазова помилка в розкриві  $\psi_{\max}$  визначається геометричними розмірами розкриву рупора. При цьому її допустима величина повинна відповідати таким вимогам [11]:

- в **H**-площині:

$$\psi_{\max} = \frac{\pi a'^2}{4\lambda R_H} \leq \frac{3}{4}\pi \quad (14)$$

- в **E**-площині:

$$\psi_{\max} = \frac{\pi b'^2}{4\lambda R_E} \leq \frac{\pi}{2} \quad (15)$$

де -  $R_H$  відстань від розкриття до точки в волноводі, в якій сходяться ребра рупора в площині вектору **E** основний хвилеводної хвилі;

$R_E$  - відстань від розкриття до точки в волноводі, в якій сходяться ребра рупора в площині вектору **H** хвилі TE<sub>10</sub> в волноводі.

Таким чином, ми маємо два вирази (14) і (15) і два невідомих, з яких отримуємо співвідношення для визначення довжини рупора в площинах **H** і **E**:

$$R_H \geq (a'^2/3\lambda) \quad (16)$$

$$R_E \geq (b'^2/2\lambda) \quad (17)$$

З іншого боку, розміри  $R_H$  и  $R_E$  пов'язані з розмірами прямокутного розкриття  $a' \times b' = 2$

0,5×14,309 мм и с розмірами хвилеводу  $a \times b = 3,6 \times 1,8$  мм співвідношенням [12]:

$$\frac{R_H}{R_E} = \left( \frac{a'}{b'} \right) \frac{(b' - b)}{(a' - a)} \quad (18)$$

Процедура знаходження довжини пірамідального рупора складається в наступному. Спочатку в вираженні (16) змінюємо знак нерівності на рівність і знаходимо  $R_H$ . Після цього з виразу (17) визначаємо  $R_E$ . При цьому необхідно враховувати, що отримане значення  $R_E$  має задовольняти нерівності (17). Після підстановки чисельних значень знайдемо, що для отримання синфазного розподілу поля в розкритті довжина рупорного випромінювача повинна бути дорівнює 35 мм.

Таким чином, в результаті проведених досліджень ми знайшли геометричні розміри випромінювача для опромінення яєчників корів. З огляду на умови, в яких такий випромінювач буде використовуватися (внутрішньоутробний), він повинен бути поміщений в захисний корпус [13].

З іншого боку, сам рупорний випромінювач не може бути виготовлений з нескінченно тонкого металу. Товщина металу повинна бути хоча б 0,5 мм. У цьому випадку внутрішній діаметр трубки, в яку поміщається випромінювач зазначених вище розмірів, складе 26,4 мм.

При цьому на відстані 50 мм від розкриття на краях внутрішнього діаметра трубки амплітуда сигналу складе -18,8 дБ (рис. 2). У площині вектора  $E$  по цьому рівню існують бічні пелюстки ДН. Зовнішній діаметр діелектричної трубки становить 30 мм.

Для проведення ефективного лікування необхідно мати більш вузьку ДН з низьким рівнем бічних пелюсток. Для цих цілей доцільно використовувати діелектричну лінзу [14].

## ВИСНОВКИ

1. Для створення необхідної ДС і ослаблення бічних пелюсток діелектрична лінза виготовляється з второпласта-4 з  $\text{tg}\delta = 3 \cdot 10^{-4}$  і коефіцієнтом заломлення  $n = 1,442$ .

2. Для проведення неодноразових внутрішньоутробних опроміненень репродуктивних органів маточного поголів'я ВРХ випромінююча система повинна вміщатися в обтічник, діелектричний хвилевод з вініпласту з щільністю  $160 \text{ кг/м}^3$ , діелектричною проникністю не більше 1,2 і тангенсом діелектричних втрат  $2 \cdot 10^{-4}$ .

3. Для створення режиму бігучої хвилі в випромінювальній системі при розмірах розкриваючого рупора  $20,5 \times 14,31 \text{ мм}$  і довжиною  $35 \text{ мм}$ , модулі коефіцієнтів відбиття від рупора і горловини рупора повинні бути не більше  $0,1 \text{ мм}$ .

4. В результаті теоретичних і експериментальних досліджень встановлено, що внутрішньоутробне лікування яєчників корів слід проводити в  $\text{мм}$  діапазоні з параметрами: частота  $73,2 \text{ ГГц}$ ; щільність потоку потужності  $0,3 \text{ мВт/см}^2$ ; експозиція  $60 \text{ с}$ .

## 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 больших яичниках коров / В.С. Попрядухин // Science 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.