

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

**ПОГОДЖЕНО**  
Директор ІНІ енергетики,  
автоматики і енергозбереження

проф., д.т.н. \_\_\_\_\_ **КАПЛУН В.В.**  
(підпис)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ**  
Завідувач кафедри  
електротехніки, електромеханіки та  
електротехнологій

доц., к.т.н. \_\_\_\_\_ **ОКУШКО О.В.**  
(підпис)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на тему: **«РОЗРОБЛЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ  
ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ДОЗУВАННЯ КОРМІВ У  
КОРМОЦЕХУ ФЕРМИ ВРХ»**

Спеціальність 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

**Гарант освітньої програми**

\_\_\_\_\_ **К.Т.Н., ДОЦЕНТ**  
(науковий ступінь та вчене звання)

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ **Усенко С.М.**  
(ПІБ)

**Керівник магістерської кваліфікаційної роботи**

\_\_\_\_\_ **К.Т.Н., ДОЦЕНТ**  
(науковий ступінь та вчене звання)

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ **Синявський О.Ю.**  
(ПІБ)

**Виконав**

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ **Домбровський К.С.**  
(ПІБ)

**КИЇВ – 2025**

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
**Завідувач кафедри**  
**електротехніки, електромеханіки та**  
**електротехнологій**

К.Т.Н., доц. \_\_\_\_\_ **Окушко О.В.**  
(підпис)  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**  
**СТУДЕНТУ**

*Домбровському Костянтину Святославовичу*

Спеціальність 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: «Розроблення та дослідження електротехнологічного обладнання для дозування кормів в кормоцеху ферми ВРХ»  
затверджена наказом ректора НУБіП України від 18.11.2024 № 2061”С”

Термін подання завершеної роботи на кафедру 14. 11 . 2025

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи:

«Правила улаштування електроустановок»; «Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів»; «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів»; матеріали практики

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Аналіз обладнання для дозування кормів у кормоцеху ферми ВРХ.
2. Аналіз технологічного та електротехнологічного обладнання кормоцеху ВРХ.
3. Розробка автоматизованого електрообладнання для дозування подрібнених грубих кормів.
4. Енергозбереження в кормоцеху.
5. Охорона праці.
6. Техніко-економічна оцінка інженерних рішень.

Дата видачі завдання 19.11.2024 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_ **Синявський О. Ю.**  
(підпис) (ПІБ)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ **Домбровський К.С.**  
(підпис) (ПІБ)

## РЕФЕРАТ

**Магістерська кваліфікаційна робота:** 69 с., 16 рис., 15 табл., 26 джерел.

**Об'єкт дослідження** – технологічні процеси у кормоцеху ферми ВРХ.

**Мета дослідження** – розробка і обґрунтування параметрів системи електрообладнання для дозування кормів у кормоцеху ферми ВРХ, що забезпечує підвищення ефективності технологічних процесів та зменшення енергоємності продукції.

**Методи дослідження та апаратура:** моделювання, методи математичної статистики тощо; застосування сучасних приладів та методів вимірювання і обробки їх результатів за допомогою ПК, амперметри, вольтметри.

На основі обстеження кормоцеху ферми ВРХ проведений аналіз технологічного та електротехнічного обладнання для приготування кормів, вентиляції та водопостачання кормоцеху, а також освітлення.

Розроблені заходи з енергозбереження в кормоцеху ферми ВРХ. Розглянуті питання безпеки праці та протипожежної безпеки.

Обґрунтована функціональна схема системи автоматизованого електрообладнання для дозування подрібнених грубих кормів у кормоцеху ферми ВРХ, вибране електротехнічне обладнання. Проведені дослідження ультразвукового витратоміра грубих кормів.

**Галузь застосування** – тваринництво.

**Ключові слова:** кормоцех, якість електричної енергії, відхилення напруги, технологічні характеристики робочих машин, ультразвуковий витратомір

## ЗМІСТ

<b>ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ</b>	<b>6</b>
<b>ВСТУП</b>	<b>7</b>
<b>РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ДОЗУВАННЯ КОРМІВ У КОРМОЦЕХУ ФЕРМИ ВРХ</b>	<b>9</b>
1.1. Значення підвищення точності дозування кормів.....	9
1.2. Аналіз обладнання для дозування кормів.....	9
1.3. Характеристика кормоцеху ферми ВРХ.....	14
<b>РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ КОРМОЦЕХУ ФЕРМИ ВРХ</b>	<b>15</b>
2.1 Технологія приготування кормів у кормоцеху ферми ВРХ.....	15
2.2 Технологічного обладнання кормоцеху.....	16
2.3 Вентиляція кормоцеху.....	18
2.4 Водопостачання кормоцеху.....	18
2.6. Освітлення кормоцеху.....	23
2.7. Розрахунок електричних навантажень кормоцеху ВРХ.....	24
<b>РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА ДОЗАТОРА ГРУБИХ КОРМІВ</b>	<b>28</b>
3.1 Значення підвищення точності дозування грубих кормів.....	28
3.2 Технологічне обладнання для дозування грубих кормів.....	29
3.3. Розроблення електропривода дозатора стеблових корчів ДСК-30.....	32
3.4. Вибір апаратів керування та захисту.....	41
3.5. Розроблення системи електрообладнання дозувального пристрою потокової лінії приготування грубих кормів.....	42
3.6. Розроблення регульованого електропривода дозатора грубих кормів.....	45
<b>РОЗДІЛ 4 ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В КОРМОЦЕХУ ФЕРМИ ВРХ</b>	<b>49</b>
<b>РОЗДІЛ 5 ЗАХОДИ З БЕЗПЕКИ ПРАЦІ НА ОБ'ЄКТІ ТА ВИБІР ЗАХИСНИХ ЗАСОБІВ</b>	<b>51</b>

5.1 Аналіз умов праці в кормоцеху і визначення категорій виробництв, приміщень та класів виробничих зон .....	51
5.2 Розрахунок індивідуальних засобів захисту .....	52
5.3 Розрахунок заземлюючого пристрою трансформаторної підстанції .....	54
5.4 Блискавкозахист .....	59
5.5 Пожежна безпека .....	62
<b>РОЗДІЛ 6 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО ДОЗУВАННЯ ГРУБИХ КОРМІВ</b>	<b>63</b>
<b>ВИСНОВКИ</b>	<b>65</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРИ</b>	<b>66</b>

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ**

- $P$  – потужність;  
 $n$  – частота обертання;  
 $\omega$  – кутова швидкість;  
 $\omega_0$  – синхронна кутова швидкість;  
 $M$  – момент;  
 $\mu$  – кратність моменту;  
 $s$  – ковзання двигуна;  
 $K_3$  – коефіцієнт запасу;  
 $\eta_{II}$  – к.к.д. передачі;  
 $J$  – момент інерції;  
 $v_t$  – швидкість нагрівання двигуна;  
 $t$  – час;  
 $T$  – температура;  
 $L_B$  – продуктивність вентилятора;  
 $I$  – сила струму;  
 $U$  – напруга;  
 $W$  – вологість корму;  
 $m$  – маса корму;  
 $S$  – площа приміщення;  
 $E$  – освітленість;  
 $\Phi$  – світловий потік;  
 $S_{розр}$  – максимальне розрахункове навантаження на ділянці лінії;  
 $R$  – активний опір;  
 $x$  – реактивний опір;  
 $\cos\varphi$  – коефіцієнт потужності.

## ВСТУП

Для забезпечення сталого зростання виробництва тваринницької продукції повинно постійно вдосконалювати кормової бази. Важливу роль в цьому належить комбікормової промисловості. Подальше її розвиток неможливий без поліпшення управління процесами, без створення і впровадження автоматизованих систем на сучасній елементній базі.

Це дозволяє одержати високу якість, знизити витрати праці, забезпечити зростання своєї продукції.

Найбільш економічно ефективним є підготовка суміші у спеціальних кормоцехах. Такі кормоцехи можуть краще впоратися з усіма організаційними питаннями, пов'язані з годівлі тварин. Значно збільшена швидкість механізації основних і допоміжних операцій для підготовки та розподілу продуктів харчування, зниження витрат на робочу силу. В даний час вартість робочої сили в кормоцехах для приготування кормових сумішей становить 0,1 ... 0,6 люд.год / т.

Використання кормових сумішей дозволяє істотно розширити використання кормових культур, краще пайки балансу. Мікси все краще і краще їдять тварин. В результаті їх продуктивність збільшується на 7 ... 10%. Витрата корму на одиницю продукції зменшується на 15...20%.

Мета досліджень – розробка і обґрунтування параметрів системи електрообладнання для дозування кормів у кормоцеху ферми ВРХ, що забезпечує підвищення ефективності технологічних процесів та зменшення енергоємності продукції.

Об'єктом досліджень є технологічні процеси у кормоцеху ферми ВРХ.

Предмет досліджень – структура автоматизованого електрообладнання для дозування кормів кормоцеху ферми ВРХ та параметри відповідного електрообладнання.

Теоретична цінність отриманих результатів полягає в обґрунтуванні структури та параметрів системи автоматизованого електрообладнання для дозування подрібнених грубих кормів у кормоцеху ферми ВРХ.

Практична цінність отриманих результатів полягає у розробці системи автоматизованого електрообладнання для дозування кормів у кормоцеху ферми ВРХ

Методи дослідження та апаратура: моделювання, методи математичної статистики тощо; застосування сучасних приладів та методів вимірювання і обробки їх результатів за допомогою ПК .

На захист магістерської кваліфікаційної роботи виносяться:

1. Система технологічного обладнання для дозування кормів кормоцеху ферми ВРХ.
2. Система автоматизованого електрообладнання для дозування кормів кормоцеху ферми ВРХ.
3. Структура та параметри системи автоматизованого електрообладнання для дозування подрібнених грубих кормів.
4. Заходи з охорони праці та енергозбереження в кормоцеху ферми ВРХ.

У магістерській кваліфікаційній роботі проведений аналіз технологічного та електротехнічного обладнання для кормоцеху ферми ВРХ, розглянуті охорони праці та енергозбереження в кормоцеху, обґрунтована структура та параметри системи автоматизованого електрообладнання для дозування грубих кормів, представлені техніко-економічні показники застосування розробленого автоматизованого електрообладнання в кормоцеху ферми ВРХ.

Структура та об'єм роботи: Робота складається зі вступу, шести розділів. Викладена на 69 аркушах друкованого тексту, в тому числі 15 таблиць, 16 рисунків, використано 26 літературних джерел.

## **РОЗДІЛ 1**

### **АНАЛІЗ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ДОЗУВАННЯ КОРМІВ У КОРМОЦЕХУ ФЕРМИ ВРХ**

#### **1.1. Значення підвищення точності дозування кормів**

Стабільний ріст виробництва продукції тваринництва базується на випереджаючих темпах розвитку кормової бази. У кормовиробництві це стосується впровадження сучасних технологій виробництва, заготівлі різних видів якісних кормів, їх зберігання, обробка і приготування повноцінних і повнораціонних або збалансованих кормосумішей з різних компонентів і білково-вітамінних макро- і мікро добавок. При застосуванні промислової інтенсивної технології виробництва продукції скотарства вдосконалюються існуючі системи годування, які направлені на розробку економічно ефективних технологій переробки кормів і приготування кормових сумішей, що відповідає сучасним технологічним вимогам та особливостям фізіології годування тварин, збільшує використання соломи у раціонах і дозволяє довести потенціальні можливості цих факторів до 65 % продуктивності тварин. Добре підготовлені корми сприяють підвищенню продуктивності тварин, поліпшують їх стан і вгодованість, зменшують витрати кормів та покращують якість продукції.

Досвід використання механізованих кормоцехів в господарствах показує, що дозування грубих, соковитих і листостебельних кормів не задовольняє зоотехнічним вимогам, обладнання має велику масу, а процеси неавтоматизовані і призводять до великих витрат і зниження ефективності та якості приготування кормів.

#### **1.2. Аналіз обладнання для дозування кормів**

Підвищення технологічної ефективності відомих дозаторів передбачає розробку нових і удосконалення діючих технологій і дозуючих технічних засобів бункерного типу для приготування вискоефективних кормових сумішей до згодовування.

За узагальненими висновками літературного огляду технічних засобів для дозованої подачі стебельних в'язких матеріалів в технологічних лініях кормоприготування найбільш широко використовуються ланцюгово-планкові бункерні живильники з транспортерними і бітерними дозуючими засобами різного конструктивного виконання. Вони відрізняються між собою робочими органами подаючих конвеєрів, конструкцією транспортерів-відокремлювачів і бітерів, їх кількістю і розташуванням, кутом нахилу транспортерних живильників до горизонту, принципом роботи і прийнятною частиною (рис. 1).

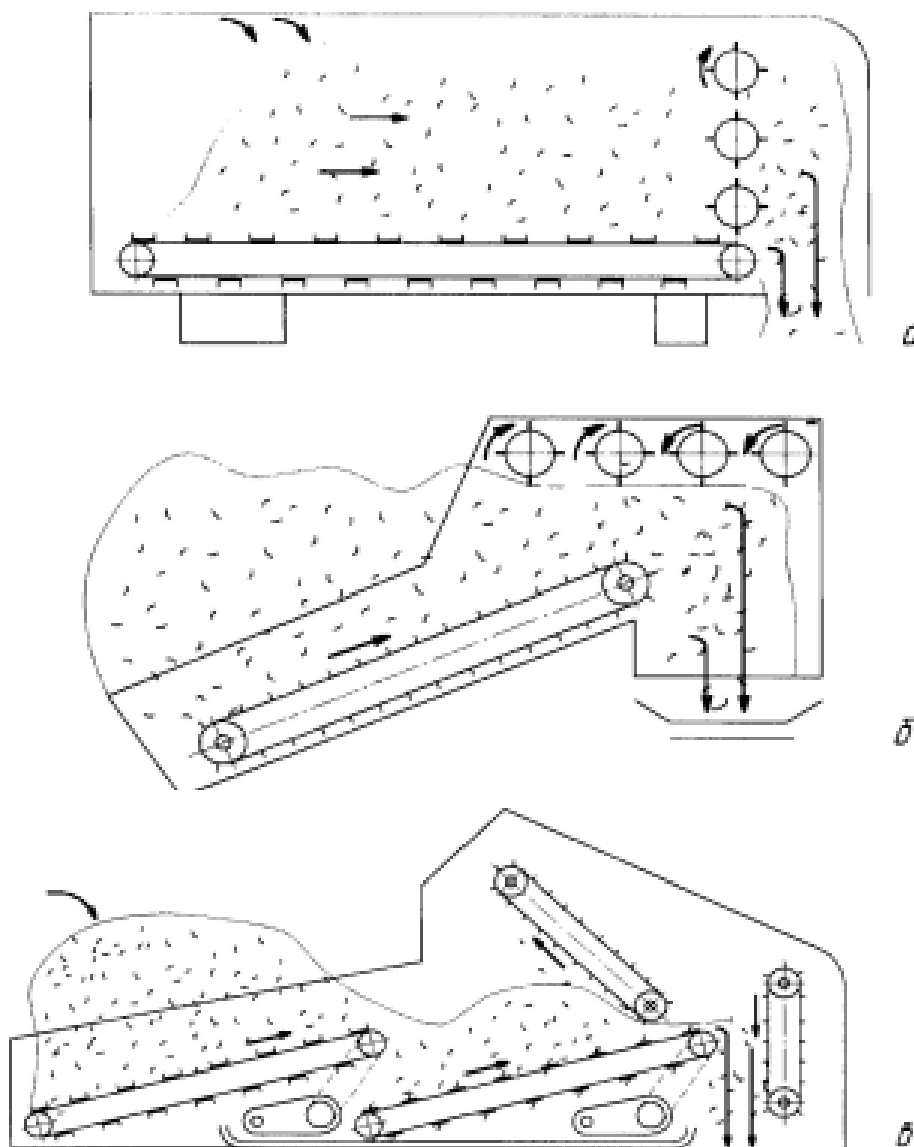
Технологічний процес дозованої подачі кормів відбувається з застосуванням одно- і двоступеневої системи дозування. Аналітичний аналіз робочого процесу бункерних дозаторів з транспортерно-бітерними дозуючовивантажувальними засобами показує, що транспортерно-бітерний дозуючий механізм має серйозні недоліки, які обумовлені пульсуючим рухом транспортера, нерівномірністю щільності моноліту у бункері та негативними діями відцентрових сил і іншими причинами.

Недоліки бітерного механізму можуть бути ліквідовані, якщо обертальний рух пальців в кормовій масі замінити поступальним вертикальним рухом ланцюгового відокремлюючого транспортера, при якому підвищується якість дозування, а небажані сили інерції не будуть впливати негативно і повністю будуть виключені. Для цього запропонована нова функціонально-технологічна схема дозуючовивантажувального відокремлюючого механізму ланцюгово-транспортерного типу на базі бункера-дозатора БДК-Ф-70-20, який обладнали ведучим і веденим валами, круглланковими ланцюгами і гребінками з пальцями, верхнім вирівнюючим бітером, поздовжнім транспортером (перша ступінь дозування) і поперечним транспортером із зчісуючим бітерним дозатором (друга ступінь дозування), (рис. 2).

При русі ланцюгів з гребінками транспортерного кормовідокремлювача кінці пальців переміщуються за складною траєкторією (рис.3). Виготовлений

новий транспортер-дозатор підтвердив його високу технологічну і економічну ефективність.

Проведене обґрунтування режимів роботи і параметрів робочих органів та випробування показали, що транспортерний відокремлювач-дозатор забезпечує кращі результати дозування кормів, які відповідають зоотехнічним вимогам по рівномірності дозування кормів. Нерівномірність одноступеневого дозування корма бітерним дозатором з радіальними пальцями коливається в межах 22-35 %, вертикальним 290 транспортерним дозатором-відокремлювачем – 8-14 %, а двоступеневого дозування корма 4,5-7,5 %.



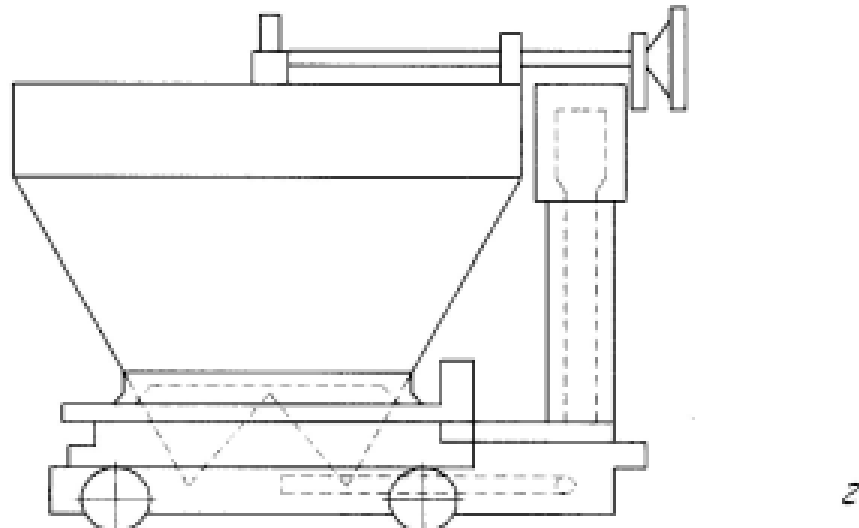


Рис. 1.1. Технологічні схеми дозаторів стебельних подрібнених кормів:

*a, б, в, г, д* – одноступеневі дозатори; *е* – двоступеневі бункерні дозатори,  
*a, б, д, е* – бітерні дозатори; *г* – порційні дозатори; *в* – транспортерні дозатори

Недоліки бітерного механізму можуть бути ліквідовані, якщо обертальний рух пальців в кормовій масі замінити поступальним вертикальним рухом ланцюгового відокремлюючого транспортера, при якому підвищується якість дозування, а небажані сили інерції не будуть впливати негативно і повністю будуть виключені.

Для цього запропонована нова функціонально-технологічна схема дозуючого вивантажувального відокремлюючого механізму ланцюгово-транспортерного типу на базі бункера-дозатора БДК-Ф-70-20, який обладнали ведучим і веденим валами, круглolanковими ланцюгами і гребінками з пальцями, верхнім вирівнюючим бітером, поздовжнім транспортером (перша ступінь дозування) і поперечним транспортером із зчісуючим бітерним дозатором (друга ступінь дозування) (рис. 2).

При русі ланцюгів з гребінками транспортерного кормовідокремлювача кінці пальців переміщуються за складною траєкторією. Виготовлений новий транспортер-дозатор підтвердив його високу технологічну і економічну ефективність.

Проведене обґрунтування режимів роботи і параметрів робочих органів та випробування показали, що транспортерний відокремлювач-дозатор забезпечує кращі результати дозування кормів, які відповідають зоотехнічним вимогам по рівномірності дозування кормів. Нерівномірність одноступеневого дозування корма бітерним дозатором з радіальними пальцями коливається в межах 22-35 %, вертикальним 290 транспортерним дозатором-відокремлювачем – 8-14 %, а двоступеневого дозування корма 4,5-7,5 %.

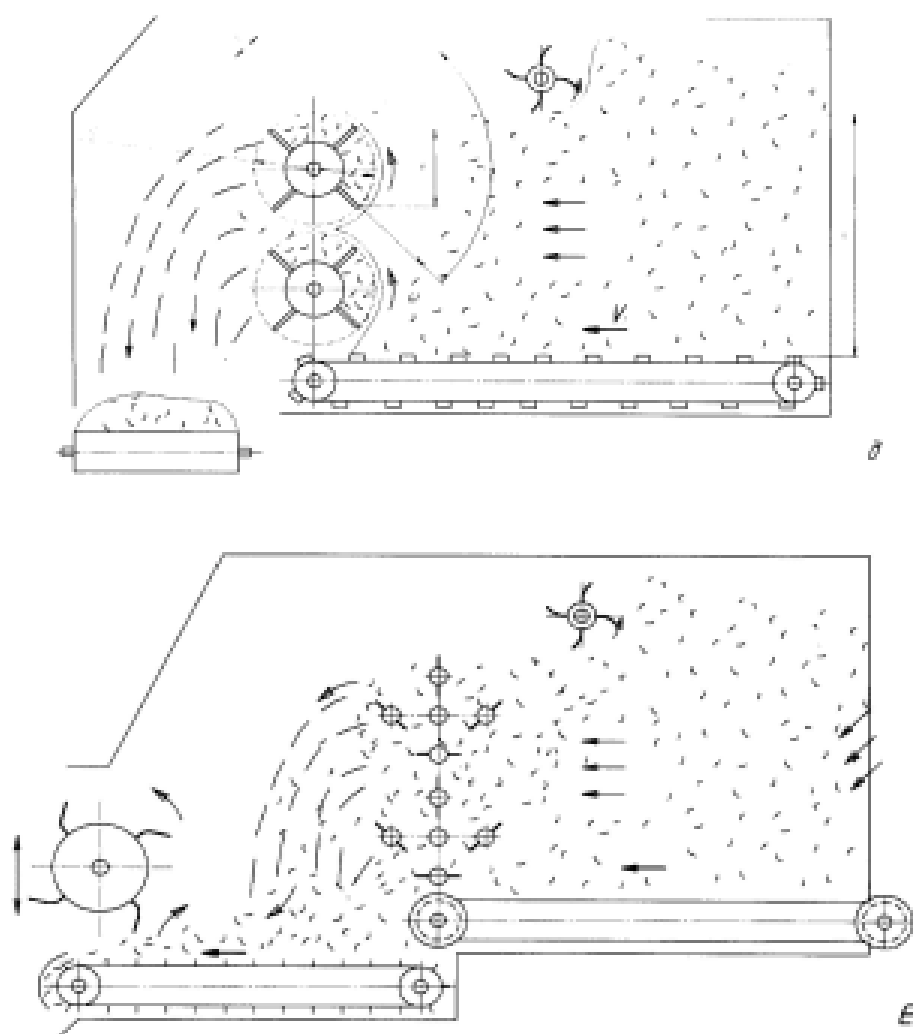


Рис. 1.2. Функціонально-технологічна схема дозуючо-вивантажувального механізму з вертикальним ланцюгово-транспортерним дозатором:

1 – поздовжній транспортер; 2 – бункер-накопичувач; 3 – верхній бітер; 4 – вертикальний відокремлюючий транспортер; 5 – поперечний транспортер з зчісуючим бітерним дозатором

### **1.3. Характеристика кормоцеху ферми ВРХ**

Кормоцех застосовується на молочно-товарних фермах на 400 ... 1200 голів та відгодівельних на 1000 ... 3000 голів молодняку великої рогатої худоби. Добовий об'єм приготованих кормів становить 40...50 т., продуктивність 14... 18 т/год.

Комплект машин та обладнання потокових ліній кормоцеху забезпечує комплексну механізацію та автоматизацію всіх потокових ліній приготування кормосумішей. Керування обладнанням кормоцеху здійснюється оператором з пульта, який розташований в окремому приміщенні, де розміщені силові і освітлювальні щити. Кількість обслуговуючого персоналу - 3 чоловіка. Привод усіх робочих машин здійснюється від електродвигунів. Крім основного приміщення і щитової в кормоцеху є приміщення для відпочинку обслуговуючого персоналу і зберігання інвентарю.

Основною складовою частиною кормоцеху є потокова технологічна лінія. Кількість таких ліній визначається кількістю видів перероблю вальних кормів. Набір машин потокової технологічної лінії для даного поголів'я та зони використання визначає технологічну схему кормоцеху.

## РОЗДІЛ 2

### АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ КОРМОЦЕХУ ФЕРМИ ВРХ

#### 2.1 Технологія приготування кормів у кормоцеху ферми ВРХ

Кормоцех призначений для відгодівельної ферми ВРХ на 800 голів.

Приготування кормових сумішей здійснюється з використанням силосу, соломи, коренебульбоплодів, концентрованих кормів, грубих кормів та меляси.

За добу загалом згодовують таку кількість кормів:

$$Q_0 = nM, \text{ кг}, \quad (2.1)$$

де  $n$  – кількість тварин;

$M$  – добова потреба в кормах на 1 голову, кг.

Звідси:

$$Q_0 = 800 \cdot 62 = 49600 \text{ кг.}$$

Таблиця 2.1

#### Добова потреба в кормах

Назва корму	Добова потреба в кормах	
	на 1 голову, кг	на 800 голів, т
Солома	7	5,6
силос	35	28
коренебульбоплоди	15	12
меляса	2	1,6
концентровані корми	3	2,4
Всього	62	49,6

Технологія приготування кормових сумішей така:

1. Лінія силосу:

Силос проходить очищення, подрібнення, дріжджування, дозування, змішування.

2. Лінія грубих кормів:

Солома проходить очищення, подрібнення, дріжджування, дозування, змішування.

3. Лінія коренебульбоплодів:

Заготовляють у натуральному вигляді. Перед подачею їх у кормосуміш проводять попередню мийку, далі подрібнення, дозування, змішування.

4. Лінія концкормів:

Концентровані корми проходять очищення, подрібнення, дріжджування, дозування, змішування.

5. Лінія меляси:

Розчин меляси з водою подають у готову суміш корму. Дана речовина є поживною і додається до кормів для підвищення якості корму його смакових характеристик;

6. Лінія збору:

Ця лінія є кінцевою і підсумовує роботу кормоцеху. Вона збирає всю частково перероблену суміш на потокових лініях, потім перемішує її з подрібненням. Готова суміш подається на вихід кормоцеху, де вивантажується у транспортні засоби.

## 2.2 Технологічного обладнання кормоцеху

Розрахункова продуктивність кормоцеху – це така кількість кормових сумішей, яка забезпечує добову потребу худоби згідно вибраного раціону.

Розрахунок продуктивності ліній кормоцеху виконують за формулою:

$$W_{\text{сил.}} = \frac{Q}{T \cdot \tau}, \text{ кг/год} \quad (2.2)$$

де: Q – кількість кормів, яка підлягає переробки, кг.

T – час роботи машини, год

$\tau$  – коефіцієнт використання змінного часу.

Для лінії силосу:

$$W_{\text{сил.}} = \frac{28000}{2 \cdot 1} = 14000 \text{ кг/год}$$

Для лінії грубих кормів:

$$W_{\text{гр.}} = \frac{5600}{2 \cdot 1} = 2800 \text{ кг/год}$$

Для лінії концентрованих кормів:

$$W_{\text{конц.}} = \frac{2400}{2 \cdot 1} = 1200 \text{ кг/год}$$

Для лінії коренеплодів:

$$W_{\text{кор.}} = \frac{12000}{2,4 \cdot 1} = 5000 \text{ кг/год}$$

Для лінії меляси:

$$W_{\text{м.}} = \frac{1600}{1 \cdot 1} = 1600 \text{ кг/год}$$

Для лінії змішування:

$$W_{\text{м.}} = \frac{24600}{2 \cdot 1} = 12300 \text{ кг/год}$$

Для приготування грубих кормів вибираємо бункер-дозатор БДК-Ф-70 продуктивністю 20 т/год та дозатор стеблових кормів ДСК-30.

Для приготування концентрованих кормів вибираємо живильник ПК-6 продуктивністю 6 т/год, та дозатор концентрованих кормів ДК-10 продуктивністю 8 т/год.

Для приготування коренеплодів вибираємо дозатор соковитих кормів ДС-15 продуктивністю 7 т/год, транспортер коренеплодів ТК-5 продуктивністю 5 т/год. Для подрібнення коренеплодів вибираємо подрібнювач ИКМ-Ф-10 продуктивністю 10 т/год.

Для приготування розчину меляси вибираємо змішувач меляси С-1,7 продуктивністю 5 т/год.

Для змішування всіх компонентів кормової суміші вибрано змішувач С-30 продуктивністю 25 т/год. В змішувач корми потрапляють по транспортеру ТЛ-65, а суміш відвантажується вивантажувальним транспортером ШБ-30 продуктивністю 30 т/год в кормороздавач КТУ-10, який транспортує суміш і роздає в годівниці тваринам.

### 2.3 Вентиляція кормоцеху

Для підтримання якісного складу повітря у промислових сільськогосподарських приміщеннях необхідна постійна вентиляція для забезпечення нормальних параметрів мікроклімату. Тому доцільно використовувати вентиляційне обладнання.

До параметрів мікроклімату відносять: температура, відносна вологість, газовий склад, механічна і бактеріальна забрудненість повітря, швидкість і напрямки повітряних потоків.

Для вентиляції кормоцехів використовують осьові вентилятори, які, як правило, працюють у тривалому режимі з постійним або слабо змінним навантаженням.

Вибраний вентилятор ВО-06-300-4, який має таку технічну характеристику:

$L_B = 2600 \text{ м}^3/\text{год}$  – номінальна продуктивність вентилятора,

$H = 66 \text{ Па}$  - номінальний тиск (напір),

$\eta$  (ККД) = 68%.

$L_B \geq L_P$ ;  $2600 \text{ м}^3/\text{год} \geq 2385 \text{ м}^3/\text{год}$ . Умова виконується.

Вентилятор приводиться в дію електричним двигуном АИР80А4У2 з технічними даними:

$P_H = 1,1 \text{ кВт}$ ;  $\eta_H = 1395 \text{ об/хв}$ ;  $I_H = 3,1 \text{ А}$ ;  $\eta = 76,5\%$ ;  $\cos\phi = 0,83$

### 2.4 Водопостачання кормоцеху

Для напування тварин залежно від їх виду та віку рекомендується вода, яка має температуру 8-25 °С, без стороннього запаху, смаку та кольору. Забрудненість (вміст органічних або мінеральних речовин) не повинна перевищувати 2 мл/л.

Таблиця 2.2

**Норми витрати води в кормоцеху**

Види витрат	Кількість води, л/кг
Запарювання 1 кг концентрованих кормів	1...1,5
Зволожування 1кг солом'яної різки	1...1,5
Дріжджування 1 кг корму	1,5...2
Мийка 1 кг коренебульбоплодів	0,8...1
Миття машин (на 1 машину за зміну)	40...50
Миття підлоги в кормоцеху (на 1 м <sup>2</sup> )	3...5

Водопостачання кормоцеху здійснюється з артезіанської свердловини.

Застосовується уніфікована стальна водонапірна башта ВБР-25-15. Ємкість бака  $V_{\text{б}} = 25 \text{ м}^3$ , діаметр бака  $D_{\text{б}} = 2,6 \text{ м}$ , висота ствола  $H_{\text{б}} = 15 \text{ м}$ , діаметр ствола  $D_{\text{ст}} = 1020 \text{ мм}$ .

Застосовується заглибний насос ЗЭЦВ6-6,3-85, який має номінальну подачу  $Q_{\text{нас}} = 6,3 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$  і напір  $H_{\text{нас}} = 85 \text{ м}$ .

Електродвигун 7ПЭДВ-2,8-140 потужністю 2,8 кВт, частотою обертання 2850 об/хв і номінальним струмом –  $I_{\text{н}} = 6,9 \text{ А}$ .

Керування вибраним електронасосним агрегатом передбачено комплектним пристроєм “Каскад” 2,8-0-У2 з ящиком керування типу ЯГ-5102-217Б1У2, номінальною силою струму 7 А.

**2.5. Силове електрообладнання кормоцеху**

Клектроприводи машин, що використовуються в кормоцеху, показані в табл.

2.3.

Таблиця 2.3

**Силове обладнання кормоцеху ВРХ**

Робоча машина	Електродвигун	$P_n$ , кВт	$n_n$ , об/хв	$I_n$ , А	$\eta_n$ , %	$\cos\varphi$	$M_{II}/M_H$	$M_{min}/M_H$	$M_{max}/M_H$	$I_n/I_H$
Бункер-дозатор БДК-Ф-70	АИР112МВ6У2	4,0	950	9,2	82,0	0,81	2,0	1,6	2,2	6,0
Дозатор стеблових кормів ДСК-30	АИР100L6У2	2,2	945	5,6	81,0	0,74	2,0	1,6	2,2	6,0
Дозатор концентрованих кормів ДК-10	МРА-III-1,1/40КУ3	1,1	920	3,05	74,0	0,74	2,0	1,6	2,2	4,5
Живильник ПК-6	АИР90L6У2	1,5	925	4,2	76,0	0,72	2,0	1,6	2,2	6,0
	АИР80В6У2	1,1	920	3,05	74,0	0,74	2,0	1,6	2,2	4,5
Транспортер коренеплодів ТК - 5	АИР90L6У2	1,5	925	4,2	76,0	0,72	2,0	1,6	2,2	6,0
	АИР90L6У2	1,5	925	4,2	76,0	0,72	2,0	1,6	2,2	6,0
Дозатор соковитих кормів ДС-15	АИР90L6У2	1,5	925	4,2	76,0	0,72	2,0	1,6	2,2	6,0
Транспортер ТЛ-65	АИР132М6У2	7,5	760	16,5	85,5	0,81	2,0	1,6	2,2	7,0
Транспортер ШБ-30	АИР100L6У2	2,2	945	5,6	81,0	0,74	2,0	1,6	2,2	6,0
Подрібнювач-каменевловач ИКМ-Ф- 10	АИР160S6У2	11	970	22,9	88,0	0,83	2,0	1,6	2,7	6,5
	АИР100L6У2	2,2	945	5,6	81,0	0,74	2,0	1,6	2,2	6,0
	АИР80В6У2	1,1	920	3,05	74	0,74	2,0	1,6	2,2	4,5
Змішувач меляси СМ- 1.7	АИР90L4У2	2,2	1400	5,0	81,0	0,83	2,1	1,6	2,2	6,5
	АИР132S8У2	4,0	715	10,5	83,0	0,70	1,8	1,4	2,2	6,0

Силова частина принципіальної електричної схеми кормоцеху (рис. 2.1) складається з рубильника Q1 з запобіжниками FU типу ЯБПВУ-4У2 номінальним струмом 400 А при напрузі 380 В, автоматичних вимикачів QF1-QF10 серії S263 для захисту електродвигунів та мережі від коротких замикань, електромагнітних пускачів КМ1-КМ19 з тепловими реле КК1-КК19 для захисту двигунів від

невеликих тривалих перевантажень, перемикача S1 для виведення у режим налагодження двигунів M1-M3, перемикача S2 для виведення у режим налагодження двигунів M4-M5, перемикача S3 для виведення у режим налагодження двигунів M6-M7, перемикач S4 який дозволяє подати живлення на всі лінії кормоцеху, окрім лінії змішування і видачі готової кормо-суміші, для подальшого налагодження.

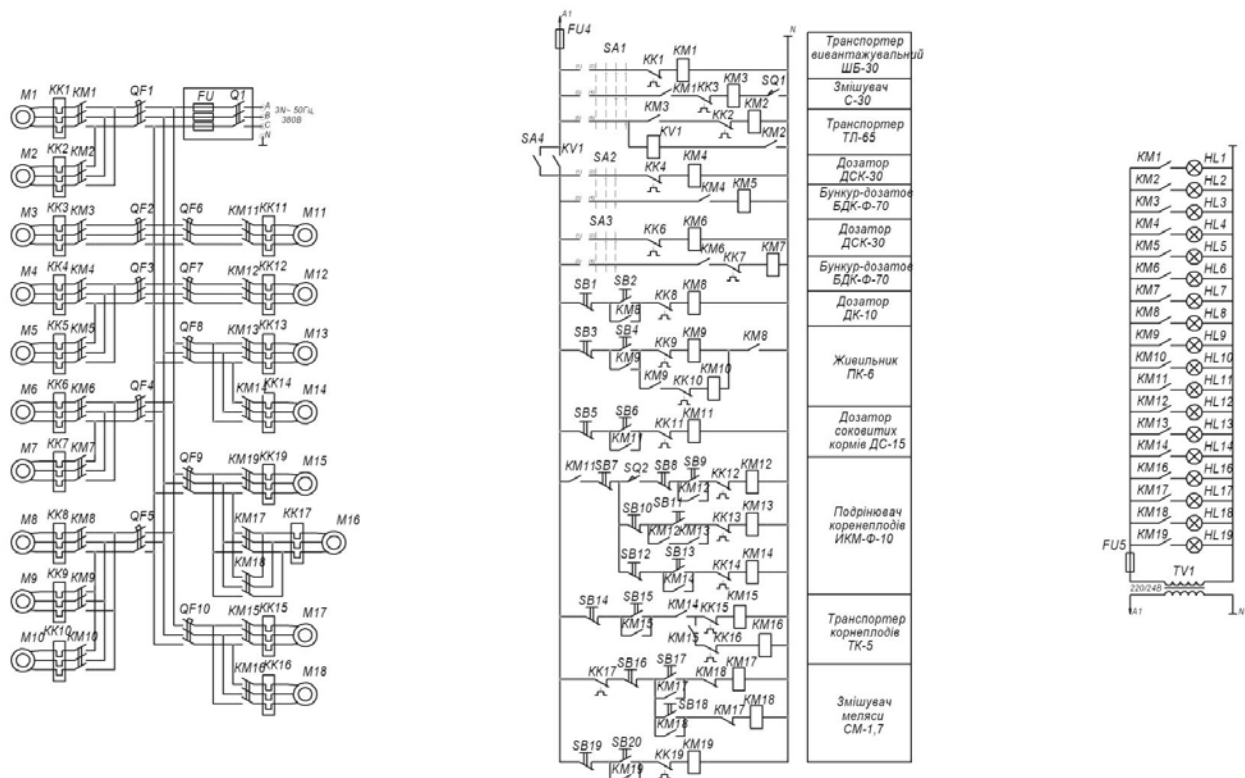


Рис. 2.1. Принципіальна схема керування кормоцехом

Схема керування кормоцехом: рубильником Q1 подається напруга на силову схему. При замиканні перемикача S1 у положення «4» одержує живлення лінії змішування і видачі готової кормо суміші. Першим вмикається пускач KM1, який своїми силовими контактами вмикає двигун вивантажувального транспортера M1. Блок-контактом KM1 замикає коло живлення пускача KM3, який силовими контактами вмикає двигун змішувача M3, а своїми блок-контактами замикає коло живлення пускача KM2 який вмикає двигун транспортера M2. Блокування запуску

змішувача С-30 при відчиненому кожусі машини виконане кінцевим вимикачем SQ1 у колі котушки пускача КМ3.

Напруга в коло керування електродвигунами решти технологічних ліній буде подаватися тільки після запуску всіх машин лінії збору змішування та видача кормів (у режимі налагодження контакти проміжного реле KV1 шунтують контактами перемикача S4).

Перемикач S2 у положенні «3» подає живлення у коло керування лінії силос. Пускач КМ4 силовими контактами запускає двигун дозатора М4, блок-контактами подає живлення в коло пускача КМ5 який запускає двигун бункера-дозатора М5.

Перемикач S3 у положенні «3» подає живлення у коло керування лінії грубих кормів. Пускач КМ6 силовими контактами запускає двигун дозатора М6, блок-контактами подає живлення в коло пускача КМ7 який запускає двигун бункера-дозатора М7.

Лінія силосу вмикається оператором вручну за допомогою кнопки SB2. Після натискання, пускач КМ8 запускає двигун дозатора КМ8, і замикає блок контакт у колі пускачів живильника ПК-6. Це дозволяє запустити його в роботу кнопкою SB4 лише після запуску дозатора. Аварійну зупинку лінії забезпечує кнопка SB1.

Лінія коренебульбоплодів запускається, починаючи з дозатора М11, кнопкою SB6. Після подачі напруги на пульт подрібнювача ИКМ-Ф-10 кнопкою SB9 запускається двигун подрібнювача М12. Кнопками SB11, SB13 вмикаються двигуни транспортерів подрібнювача М13 та М14 відповідно. Запуск транспортера ТК-5 здійснюється в ручну кнопкою SB15. Блокування запуску транспортера здійснюється блок-контактом пускача КМ14, у колі пускача КМ15. Аварійну зупинку лінії забезпечує кнопка SB5 та SB7.

Змішувач обладнання для внесення меляси СМ-1.7 вмикається кнопкою SB17. Реверсування двигуна змішувача М16 відбувається за допомогою кнопки SB18. Насос обладнання для внесення меляси М15 запускається кнопкою SB20. Зупинка двигунів виконується кнопками SB16 та SB20.

## 2.6. Освітлення кормоцеху

У кормоцеху є загальне освітлення, яке призначене для забезпечення рівномірної освітленості всієї площі приміщення, а місцеве у мережах робочої поверхні.

Для робочого освітлення приміщення кормоцеху використовуються світильники НСП09Х200 зі світлодіодними лампами EUROLAMP A75 20W E27 3000К.

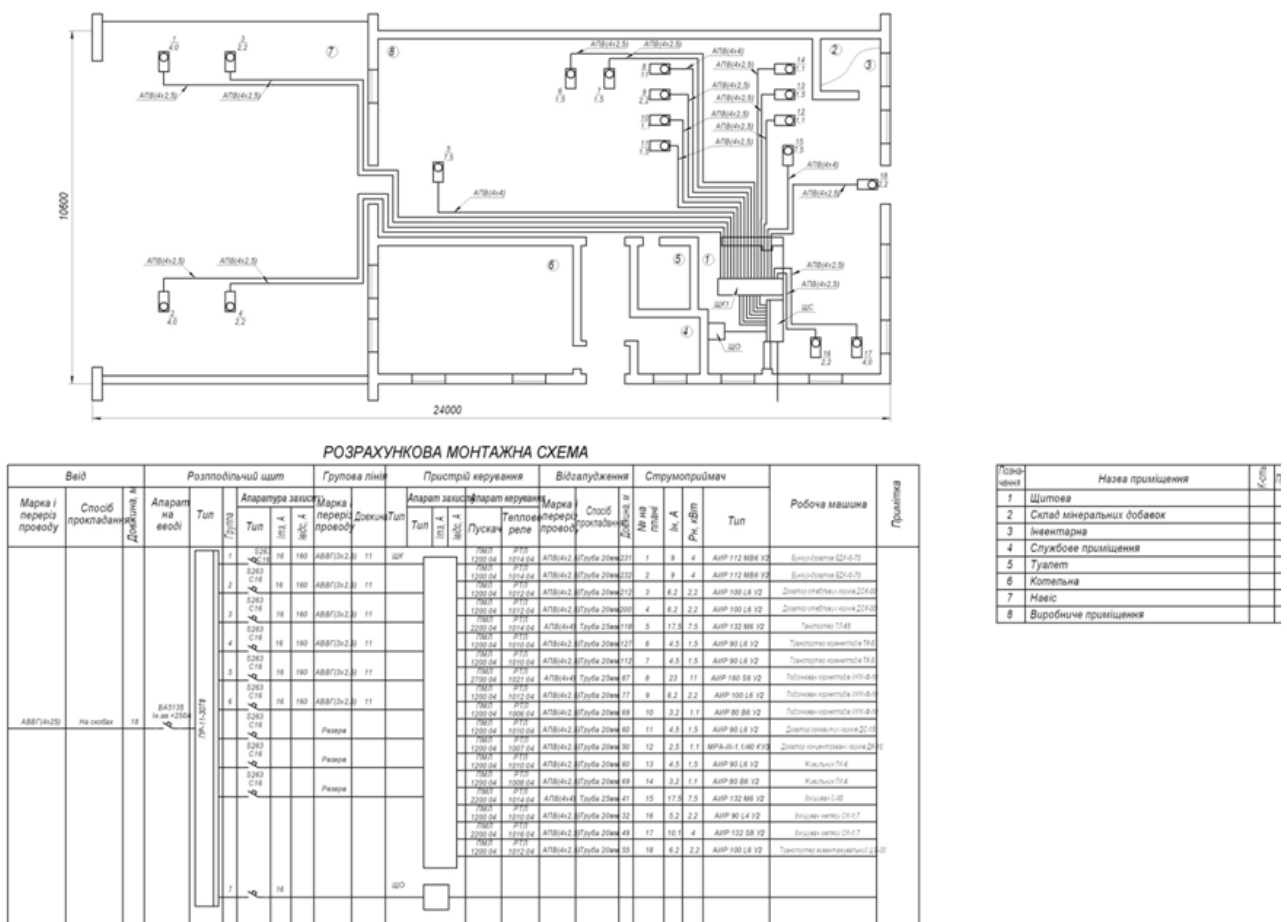


Рис. 2.2. План силової мережі кормоцеху

## 2.7. Розрахунок електричних навантажень кормоцеху ВРХ

При розрахунку потужність на ввіді в кормоцех застосовувався метод побудови графіка електричних навантажень.

Розрізняють денні і вечірні розрахункові навантаження. За розрахункове навантаження приймають більшу з величин денного чи вечірнього розрахункових навантажень.

Розрахунки проводять в такій послідовності.

1) Споживану двигунами потужність визначаємо за формулою:

$$P_{cn} = \frac{P_n \cdot K_3}{\eta}, \text{кВт}; \quad (2.3)$$

де  $P_n$  – номінальна потужність електродвигуна, кВт;

$K_3$  – коефіцієнт завантаження електричного приймача по активній потужності, залежить від виконання певної технологічної операції;

$\eta$  – ККД двигуна:

Споживану повну потужність визначаємо за виразом:

$$S_{cn} = \frac{P_{cn}}{\cos \varphi}, \text{кВт}; \quad (2.4)$$

2) За даними таблиці 2.4 будемо графік електричних навантажень, рис.

3.7

3) Визначимо максимум навантаження за графіком

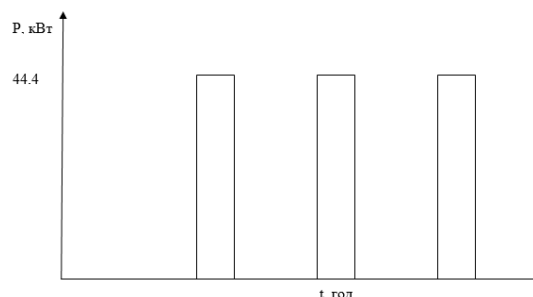


Рис.2.3. Графік електричних навантажень кормоцеху



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Транспортер коренеплоді в ТК-5,0Б АИР90L6У 2	2	0,76	0,7	1,5	2,8	6							-	-					-	-					-	-				
Дозатор соковитих кормів ДС-15	1	0,76	0,7	1,5	1,4	6							-	-					-	-					-	-				
Транспортер ТЛ-65 АИР132 М6У2	1	0,855	0,7	7,5	6,1	6							-	-					-	-					-	-				
Транспортер ШБ-30 АИР100	1	0,81	0,4	2,2	1,9	6							-	-					-	-					-	-				
Подрібнювач каменевлов АИР160S У2	1	0,88	0,6	11	7,5	6							-	-					-	-					-	-				



Струм вводу визначаємо за формулою:

$$I_e = \frac{\sum P}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot \cos \varphi} = \frac{44400}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0.75} = 90,1 A \quad (2.5)$$

Вибираємо ввідний кабель марки АВВГ (4х25).

### **РОЗДІЛ 3**

## **РОЗРОБКА РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА ДОЗАТОРА ГРУБИХ КОРМІВ**

### **3.1 Значення підвищення точності дозування грубих кормів**

Виробничий досвід в нашій країні и за кордоном, дані провідних науково-дослідних інститутів найближче років показують що в промисловому тваринництві для великої рогатої худоби найдоцільніше застосовувати кормові суміші, основним компонентом яких є грубі корми (подрібнена солома, силос, трав'яна січка).

За результатами досліджень, проведеними ВНДТваринмаш, та УНДІМЕСГ створені два типи кормоцехів на базі змішувачів неперервної дії. Загальним недоліком вказаних технологічних ліній є велика нерівномірність видачі грубих кормів, що в значній мірі обумовлюється якістю кінцевої суміші та приводить до неоправданих втрат кормів. Це пояснюється тим, що регулювання та комутація потоків компонентів здійснюються в ручну на основі візуальних спостережень, а використання об'ємне дозування не забезпечує ефективного формування потоків компонентів сумішей. Відсутні засоби вимірювання витрати кормів у неперервному потоці.

Питаннями вивчення режимів роботи та розробки систем електричного обладнання для сільськогосподарських потокових ліній присвячені роботи академіка ВАСХНИЛ Л.Г. Прищепа, членів-кореспондентів ВАСГНІЛ Г.І. Назарова, І.І. Мартиненка, доктора технічних наук В.Н. Андріанова, Д.Н. Бистрицького, Н.М. Зуля, С.Г. Квачева, А.М. Мусіна, професора Н.М. Славіна та інших.

Однак питання зі створення раціональних систем електрообладнання потокових ліній у кормо-виробництві, які проводять дозування компонентів кормів, з урахуванням їх фізико-механічних властивостей, є особливо актуальними.

### **3.2 Технологічне обладнання для дозування грубих кормів**

В складі кормоцехів використовують дозатори грубих кормів БДК-Ф-70-20. Цей дозатор призначений для прийому, нагромадження і безперервної дозованої видачі стеблових кормів потокових лініях кормоцехів. Він



5-20	10	2,2	Ручне	Дистанційне	2375	1280	1445	610
------	----	-----	-------	-------------	------	------	------	-----

При дослідженні нерівномірності дозування грубих кормів дозатором БДК-Ф-70-20, які виконані ННЦ “ІМЕСТ”, будували спектральну густину розподілу дисперсії за частотами для двох режимів роботи дозатора, при регулюванні активної гребінки ДСК-30 і при регулюванні швидкості подачі данного конвеєра.

Аналіз спектрів показав, що при частоті коливань потоку  $\omega \geq 0,91 \text{ с}^{-1}$  спектральна густина  $S(\omega) \rightarrow 0$ , оскільки її крива у межах частот  $0,07 \dots 0,9 \text{ с}^{-1}$  описує 80...95% загальної дисперсії. Звідси випливає що максимальна частота елементарних гармонік коливань потоку з кормової маси практично не перевищує  $0,91 \text{ с}^{-1}$ , що відповідає періоду 7 с. Це означає, що кожні 7 с може виникнути необхідність в зміні режиму роботи дозатора. Звідси випливає, що для забезпечення високої точності підтримання рівномірності потоку ручне регулювання повинно бути змінено пристроями автоматичного керування і контролю. Спектри потоку матеріалу при регулюванні подачі данним конвеєром апроксимуються експоненціальною – косинусною функцією:

$$S(\omega) = \frac{A_i * D_x}{\pi} \left[ \frac{1}{A_i^2 + (\omega - \beta_i)^2} + \frac{1}{A_i^2 + (\omega + \beta_i)^2} \right] \quad (3.1)$$

При апроксимації величина параметрів при швидкості донного транспортера  $73,5 \text{ с}^{-1}$ ,  $94,2 \text{ с}^{-1}$  та  $147 \text{ с}^{-1}$  становили відповідно  $A_1=0,11$ ;  $A_2=0,115$ ;  $A_3=0,15$ ;  $\beta_1=0,21$ ;  $\beta_2=0,28$ ;  $\beta_3=0,42$ .

У зв'язку з цим на основі методики, як запропонованої Ю. Д. Ведінесвим, доведена доцільність застосування регулятора швидкості данного конвеєра після чого визначена його гранична швидкість –  $5 \dots 6 \text{ мм/с}$  і частота пропускання пристрою вимірювання витрат кормів у безперервному потоці  $(0,07 \dots 1) \text{ с}^{-1}$

### 3.3. Розроблення електропривода дозатора стеблових корчів ДСК-30

Навантажувальна діаграма дозатора стеблових кормів ДСК-30 показана на рис. 3.1..

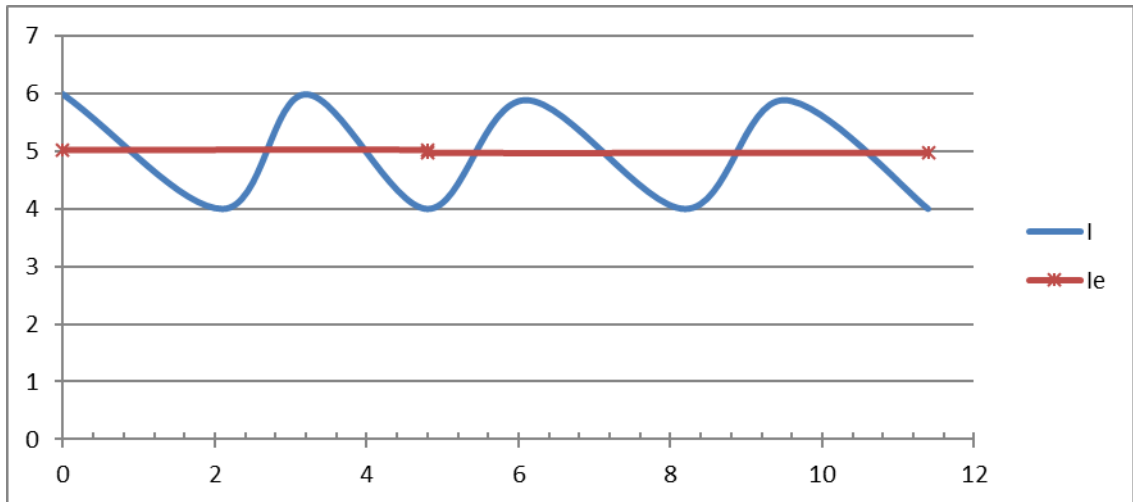


Рис. 3.1 Навантажувальна діаграма дозатора ДСК-30

Розбиваємо навантажувальну діаграму на прості геометричні фігури (трапеції), які максимально наближені до навантажувальної діаграми.

Визначаємо з навантажувальної діаграми струм і час для кожного виду фігур. Дані записуємо до таблиці 3.2.

Таблиця 3.2.

**Вихідні дані з навантажувальної діаграми для визначення еквівалентного струму**

№	1	2	3	4	5	6	7	8
$I, A$	6	4	6	4	5,9	4	5,9	4
$t, c$	0	2,1	3,2	4,8	6,1	8,2	9,5	11,4

Визначаємо еквівалентний струм для кожної з визначених ділянок за формулою:

$$I_e = \sqrt{\frac{I_1^2 + I_1 I_2 + I_2^2}{3}}; \quad (3.2)$$

де  $I_1, I_2$  - струм ділянки трапецеївидної форми (навантажувальна діаграма), А;

$$I_e = \sqrt{\frac{6^2 + 6 \cdot 4 + 4^2}{3}} = 5,03 \text{ А}$$

Решту струмів визначаємо аналогічно та заносимо до таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

**Еквівалентні струми для кожної ділянки навантажувальної діаграми**

№	1	2	3	4	5	6	7
$I, \text{ А}$	5,03	5,03	5,03	4,98	4,98	4,98	4,98
$t, \text{ с}$	2,1	1,1	1,6	1,3	2,1	1,3	1,9

Сумарний еквівалентний струм визначаємо за формулою:

$$I_e = \sqrt{\frac{\sum I_e^2 t_i}{\sum t_i}}; \quad (3.3)$$

$$I_e = 5 \text{ А.}$$

За потужністю вибираємо двигун за умовою:

$$I_{н.дв.} \geq I_{екв}; \quad (3.4)$$

де  $I_{н.дв.}$  – номінальний струм двигуна;

$I_{екв.}$  — еквівалентний струм.

Вибираємо двигун АИР100L6У2, режим роботи двигуна S1.

Таблиця 3.4

**Технічна характеристика двигуна АИР100L6У2**

Тип двигуна	Асинхронний трифазний з короткозамкненим ротором, загального призначення	3
-------------	--	---

Висота осі обертання ротора, мм	100
Кількість полюсів	6
Номинальна потужність, кВт	2,2
Номинальний струм, А	5,9
Частота обертання ротора, об/хв	940
ККД при 100% навантаженні, %	81,5
$\cos \varphi$	0,74
Кратність пускового струму, $K_p$	6
Кратність пускового моменту, $\mu_{\text{пуск}}$	1,9
Кратність максимального моменту, $\mu_{\text{max}}$	2,2
Кратність мінімального моменту, $\mu_{\text{min}}$	1,6
Напруга	380 В, 50 Гц
Динамічний момент інерції ротора, кг·м <sup>2</sup>	0,02
Клас ізоляції	F
Маса, кг	27

*Перевірка вибраного двигуна за тепловим режимом під час пуску.*

Будуємо механічну характеристику електродвигуна за 5-ма характерними точками.

Точка 1. Ідеальний холостий хід:

$$S=0; M=0$$

$$\omega_c = \frac{\pi \cdot n_c}{30}; \quad (3.5)$$

де  $n_c$  — синхронна частота обертання;

$$\omega_c = \frac{3,14 \cdot 1000}{30} = 104,67 \text{ рад} / \text{с}$$

Точка 2. Номінальний режим роботи електродвигуна:

$$S_n = \frac{n_c - n_n}{n_n} = \frac{1000 - 940}{940} = 0,06;$$

$$M_{cn} = 9550 \frac{P_n}{n_n} = 9550 \frac{2,2}{940} = 22,35 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$\omega_n = \frac{\pi \cdot n_n}{30} = \frac{\pi \cdot 940}{30} = 98,39 \text{ рад} / \text{с}$$

де  $n_n$  — номінальна частота обертання;

$P_n$  — номінальна потужність.

Точка 3. Максимальний критичний момент:

$$S_\kappa = \frac{S_n + \sqrt{S_n \cdot \frac{\mu_{\max} - 1}{\mu_1 - 1}}}{1 + \sqrt{S_n \cdot \frac{\mu_{\max} - 1}{\mu_1 - 1}}} = \frac{0,06 + \sqrt{0,06 \cdot \frac{2,2 - 1}{1,16 - 1}}}{1 + \sqrt{0,06 \cdot \frac{2,2 - 1}{1,16 - 1}}} = 0,45; \quad (3.6)$$

$$\omega_\kappa = \omega_c \cdot (1 - S_\kappa) = 104,67 \cdot (1 - 0,45) = 57,79 \text{ рад} / \text{с};$$

$$M_\kappa = \mu_{\max} \cdot M_n = 2,2 \cdot 22,35 = 49,17 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

де  $S_n$  — номінальне ковзання;

$\mu_{\max}$  — кратність максимального моменту;

$\mu_1$  — допоміжна величина; ( $\mu_1 = \mu_\kappa / \mu_n$ );

$\omega_\kappa$  — максимальна, критична кутова швидкість;

$\omega_c$  — синхронна кутова швидкість;

$S_\kappa$  — критичне ковзання;

$M_\kappa$  — максимальний момент;

$M_n$  — номінальний момент;

.Точка 4. Точка мінімального моменту:

$$S_{\min} = 0,8$$

$$\omega_{\min} = \omega_c \cdot (1 - S_{\min}) = 104,67 \cdot (1 - 0,8) = 20,94 \text{ рад} / \text{с}$$

$$M_{\min} = \mu_{\min} \cdot M_n = 1,6 \cdot 22,35 = 35,76 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Точка 5. Пуск двигуна:

$$S_{\text{пуск}} = 1$$

$$\omega_{\text{пуск}} = 0$$

$$M_{\text{пуск}} = \mu_{\text{пуск}} \cdot M_{\text{н}} = 1,9 \cdot 22,35 = 42,47 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Розрахунок механічної характеристики електродвигуна за п'ятьма характерними точками з урахуванням допустимого відхилення моментів:

Т.1:  $M' = 0;$

Т.2  $M_{\text{н}}' = M_{\text{н}} = 22,35 \text{ Н} \cdot \text{м};$

Т.3  $M_{\text{к}}' = 0,9 \cdot M_{\text{к}} = 0,9 \cdot 49,17 = 44,25 \text{ Н} \cdot \text{м};$

Т.4  $M_{\text{min}}' = 0,8 \cdot M_{\text{min}} = 0,8 \cdot 35,76 = 28,61 \text{ Н} \cdot \text{м};$

Т.5  $M_{\text{пуск}}' = 0,85 \cdot M_{\text{н}} = 0,85 \cdot 42,47 = 36,1 \text{ Н} \cdot \text{м};$

Розрахунок механічної характеристики електродвигуна за п'ятьма характерними точками з урахуванням допустимого відхилення моменту і допустимого відхилення напруги на 5%:

Т.1  $M'' = 0$

Т.2  $M_{\text{н}}'' = 0,95^2 \cdot M_{\text{н}}' = 0,95^2 \cdot 22,35 = 20,17 \text{ Н} \cdot \text{м};$

Т.3  $M_{\text{к}}'' = 0,95^2 \cdot M_{\text{к}}' = 0,95^2 \cdot 44,25 = 39,94 \text{ Н} \cdot \text{м};$

Т.4  $M_{\text{min}}'' = 0,95^2 \cdot M_{\text{min}}' = 0,95^2 \cdot 28,61 = 25,82 \text{ Н} \cdot \text{м};$

Т.5  $M_{\text{пуск}}'' = 0,95^2 \cdot M_{\text{пуск}}' = 0,95^2 \cdot 36,1 = 32,58 \text{ Н} \cdot \text{м};$

Таблиця 3.5

**Дані для побудови механічних характеристик електродвигуна**

№	S	$\omega$ , рад/с	M, Н·м	M', Н·м	M'', Н·м
1	0	104,67	0	0	0
2	0,064	98,44	22,35	22,35	20,17
3	0,45	57,79	49,17	44,25	39,94
4	0,8	20,94	35,76	28,61	25,82
5	1	0	42,47	36,1	32,58

За даними таблиці 3.5 будемо механічні характеристики електродвигуна.

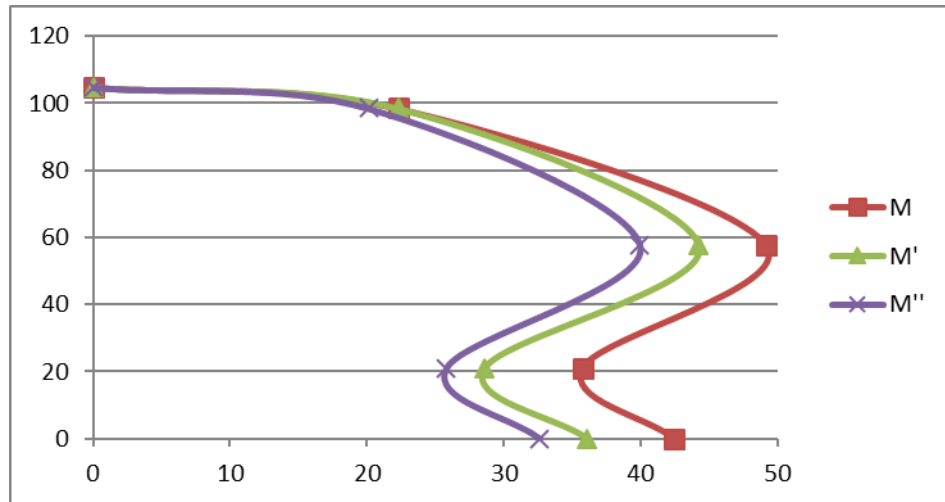


Рис. 3.2. Механічні характеристики електродвигуна

Механічна характеристика робочої машини описується рівнянням:

$$M_c = M_{сн} = 22Нм,$$

де  $M_c$  - статичний момент опору;

$M_{сн}$  - статичний момент опору при номінальній кутовій швидкості.

Визначаємо номінальне значення кутової швидкості дозатора:

$$\omega_n = \frac{\pi \cdot n_n}{30} = \frac{\pi \cdot 940}{30} = 98,44 \text{ рад/с};$$

Для визначення тривалості пуску електродвигуна знаходимо динамічний момент:

$$M_{дин} = M_{дв} - M_{рм} \quad (3.7)$$

де  $M_{дв}$  - момент електродвигуна;

$M_{рм}$  - момент робочої машини.

Інтервал швидкостей ділять на ділянки  $\Delta\omega_i = 10$  рад/с, для кожної з яких визначають середнє значення динамічного моменту (табл. 3.6).

Зведений момент інерції:

$$j_{зв} = j_{дв.зв.} + j_{р.м} = 0,02 + 0,065 = 0,085 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

де  $j_{дв.зв.} = 0,02 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$  - зведений момент інерції двигуна;

$j_{р.м.} = 0,065 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$  - зведений момент інерції робочої машини

Визначаємо приріст часу за формулою:

$$\Delta t_i = \frac{j_{зв} \cdot \Delta \omega_i}{M_{сер,i}} ; \quad (3.8)$$

де  $j_{зв}$ — зведений момент інерції ;

$\Delta \omega_i$ — приріст кутової швидкості;

$M_{сер,i}$ — середнє значення динамічного моменту;

$$\Delta t_1 = \frac{0,085 \cdot 10}{8} = 0,11 \text{ с.}$$

Таблиця 3.6

### Визначення приросту часу

$M_{сер},$ Н·м	8	5	6	10	15	17	16	12	7	2
$\Delta t_i, \text{ с}$	0,11	0,17	0,14	0,09	0,06	0,05	0,05	0,07	0,12	0,36

Визначаємо час пуску електродвигуна за формулою:

$$t_{пуск} = \sum_{i=1}^n \Delta t_i = 1,22 \text{ с}$$

Перевіряємо двигун на нагрівання під час пуску за умовою:

$$\tau_{доп} \geq V_t \cdot t_{п}; \quad (3.9)$$

де  $\tau_{доп}$  – допустиме підвищення температури над температурою охолоджуючого середовища,  $\tau_{доп} = 80^\circ\text{C}$ ;

$V_t$  – швидкість наростання температури обмотки при загальмованому роторі,  $V_t = 5,0^\circ\text{C/с}$ .

Отже:

$$80 \geq 5 \cdot 1,22 = 6,1 \text{ }^\circ\text{C}$$

Умова перевірки виконується.

*Перевірка вибраного двигуна за умовами пуску.*

Умова перевірки:

$$0,95^2 \cdot 0,85 \cdot \mu_n \cdot M_{дин} \geq (1,2 \dots 1,3) \cdot M_{зр.р.м} \quad (3.10)$$

де  $\mu_n$  – кратність пускового моменту електродвигуна;

$M_H$  – номінальний момент двигуна, визначений за каталоговими даними, Нм;

$M_{зр.р.мм}$  – момент зрушення робочої машини, зведений до вала електродвигуна.

$$0,95^2 \cdot 0,85 \cdot 1,9 \cdot 22,35 = 32,58 \geq (1,2 \dots 1,3) \cdot 22 = 26,4 \dots 28,6 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Умова перевірки виконується.

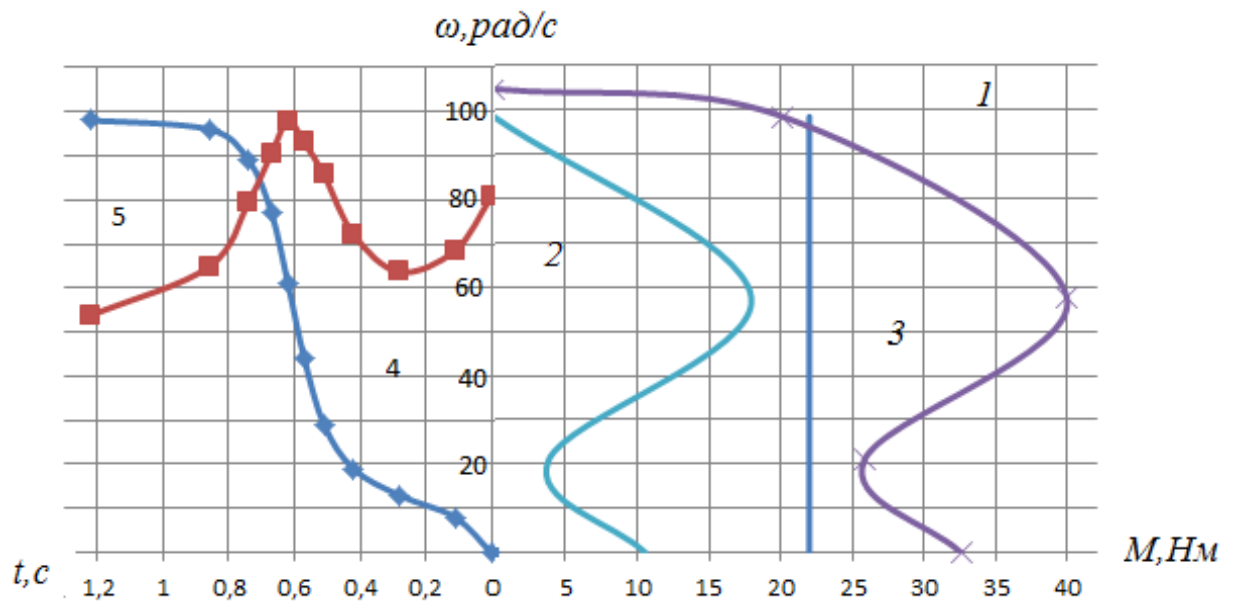


Рис. 3.3. Побудова кривих перехідного процесу: 1 - механічна характеристика електродвигуна  $\omega=f(M'_{дв})$ ; 2 - динамічна характеристика  $\omega=f(M_{дин})$ ; 3 - механічна характеристика робочої машини  $\omega=f(M_c)$ ; 4 - швидкість електродвигуна  $\omega=f(t)$ ; 5 - характеристика зміни моменту електродвигуна за час розгону  $M_{дв}=f(t)$ .

*Перевірка вибраного двигуна на перевантажувальну здатність.*

Умова перевірки:

$$0,95^2 \cdot 0,9 \cdot \mu_k \cdot M_{дин} \geq M_{макс.н.д.} \quad (3.1)$$

де  $\mu_k$  – кратність максимального моменту електродвигуна;

$M_{макс.н.д.}$  – максимальний момент на валу електродвигуна при роботі, визначений навантажувальною діаграмою, Н·м.

Якщо навантажувальна діаграма задана залежністю  $I=f(t)$ , то будемо залежності  $\eta$  і  $\cos\varphi_i$  від ступеня завантаження двигуна  $\beta_i=P_2/P_{ном}$ . Розраховуємо коефіцієнт завантаження двигуна

$$\beta = I_{макс} / I_{ном}$$

і за залежностями  $\eta_i=f(\beta_i)$  і  $\cos\varphi_i=f(\beta_i)$  визначаємо коефіцієнт корисної дії  $\eta$  і коефіцієнт потужності  $\cos\varphi$  при струмі  $I_{макс}$ .

Таблиця 3

Дані для побудови залежностей  $\eta_i=f(\beta_i)$  і  $\cos\varphi_i=f(\beta_i)$

$\beta$	0,25	0,5	0,75	1	1,25
$\eta$	0,74	0,815	0,82	0,81	0,78
$\cos\varphi$	0,33	0,54	0,67	0,74	0,77

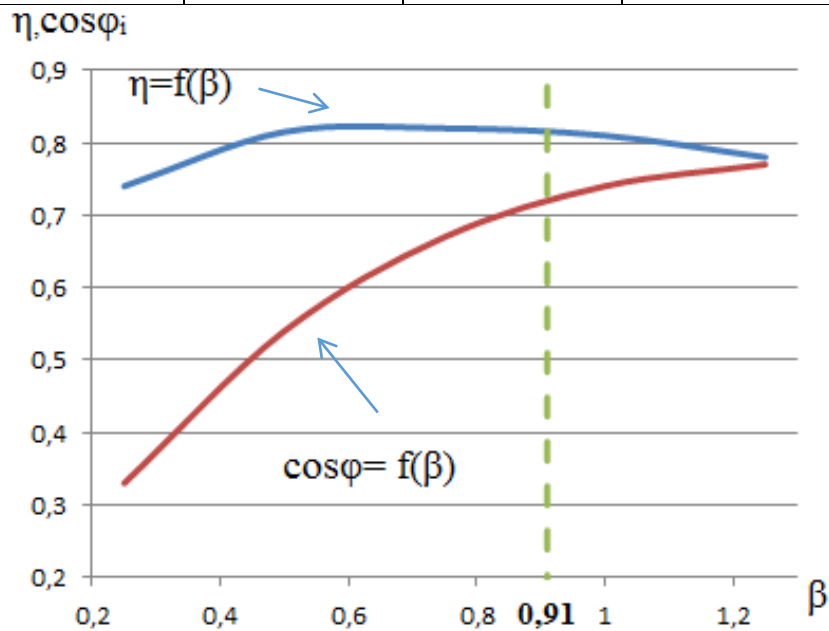


Рис. 3.4. Залежність ККД та коефіцієнта потужності від коефіцієнта завантаження двигуна.

Розраховуємо значення  $M_{макс.н.д}$  за формулою:

$$M_{макс.н.д} = \frac{\sqrt{3} \cdot U \cdot I_{макс} \cdot \cos\varphi \cdot \eta}{\omega_n} = \frac{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 6 \cdot 0,72 \cdot 0,82}{98,44} = 23,68 \text{ Нм}$$

Тоді

$$0,95^2 \cdot 0,9 \cdot 2,2 \cdot 22,35 = 44,38 \geq 23,68$$

Умова перевірки виконується.

### 3.4. Вибір апаратів керування та захисту

Для захисту електродвигуна від струмів короткого замикання вибираємо автоматичний вимикач за умовою:

- |                                   |                  |
|-----------------------------------|------------------|
| 1. $U_{н.АВ} \geq U_{н.ел.м.}$    | 1. $380В = 380В$ |
| 2. $I_{н.АВ} \geq I_{н.ел.дв}$    | 2. $25А > 5,9А$  |
| 3. $I_{н.р.АВ} \geq I_{н.ел.дв.}$ | 3. $6,3А > 5,9А$ |

де  $U_{н.АВ}$  – номінальна напруга автоматичного вимикача, В;

$U_{н.ел.м.}$  – номінальна напруга електричної мережі, В;

$I_{н.р.АВ.}$  – номінальний струм розчіплювача, А;

4. За конструктивними ознаками (кількість полюсів, розчіплювачів, контактів).

5. За ступенем захисту.

6. За кліматичним виконанням та категорією розміщення.

Отже, вибираємо автоматичний вимикач типу ВА51-25У3,  $I_{н.р.АВ}=25А$ . Да автоматичний вимикач триполюсний з електромагнітним розчіплювачем додаткових розчіплювачів і контактів та ступенем захисту IP20.

Вибираємо електромагнітний пускач для подачі живлення і керування роботою електродвигуна за умовами:

- |                               |                  |
|-------------------------------|------------------|
| 1. $U_{н.мп.} \geq U_{ел.м.}$ | 1. $380В = 380В$ |
| 2. $I_{н.мп.} \geq I_{н.дв.}$ | 2. $10А > 5,9А$  |

де  $U_{н.мп.}$  – номінальна напруга електромагнітного пускача, В;

$U_{ел.м.}$  – номінальна напруга електричної мережі, В;

$I_{н.мп.}$  – номінальний струм електромагнітного пускача, А;

$I_{н.дв.}$  – номінальний струм двигуна, А.

Вибираємо електромагнітні пускачі типів: ПМЛ-1200О4 зі ступенем захисту IP00 з допоміжним контактом та додатковою приставкою ПКЛ-20МО4.

Для захисту трифазних асинхронних електродвигунів від перевантажень вибираємо теплове реле РТЛ101204О4 (струм неспрацювання 5.5..8 А).

Для комутації електричних кіл керування вибираємо кнопки:

«пуск»-XB2-BC31

«стоп»- XB2-BC42

Для живлення двигуна вибираємо кабель виходячи з умови:

$$I_{\text{тр.д.}} \geq I_p$$

Вибираємо кабель ВВГнг 4х2,5  $I_{\text{тр.доп}}=25\text{А}$ .

### **3.5. Розроблення системи електрообладнання дозувального пристрою потокової лінії приготування грубих кормів**

Для вимірювання витрат кормів в потоці розроблений ультразвуковий витратомір. Ультразвуковий спосіб вимірювання витрат кормів в потоці полягає в тому, що контрольований матеріал прозвучується у зависному стані в місті його вивантаження із живильника.

Ефективний ультразвуковий коридор при цьому утворюються між випромінювачем та приймачем випромінювання за допомогою компенсатора, насадженого на резонатор приймача. Розмір вхідної кромки визначатися із залежності:

$$D_k = (G_m \gamma^{-1} * V_{\text{ж}}^{-1})^{1/2} \quad (3.12)$$

де  $D_k$  – Розмір вхідної кромки концентратора;

$G_m$  – максимальна продуктивність живильника м/с;

$\gamma$  – об'ємна маса контрольованого матеріалу, кг \* м<sup>-3</sup>

$V_{\text{ж}}$  – швидкість живильника.

Цей вираз дає можливість вибрати потрібний розмір ультразвукового коридору при зміні виду матеріалу і параметрів дозатора.

Залежність вихідної напруги датчика від витрати корму лійною (рис. 3.5).

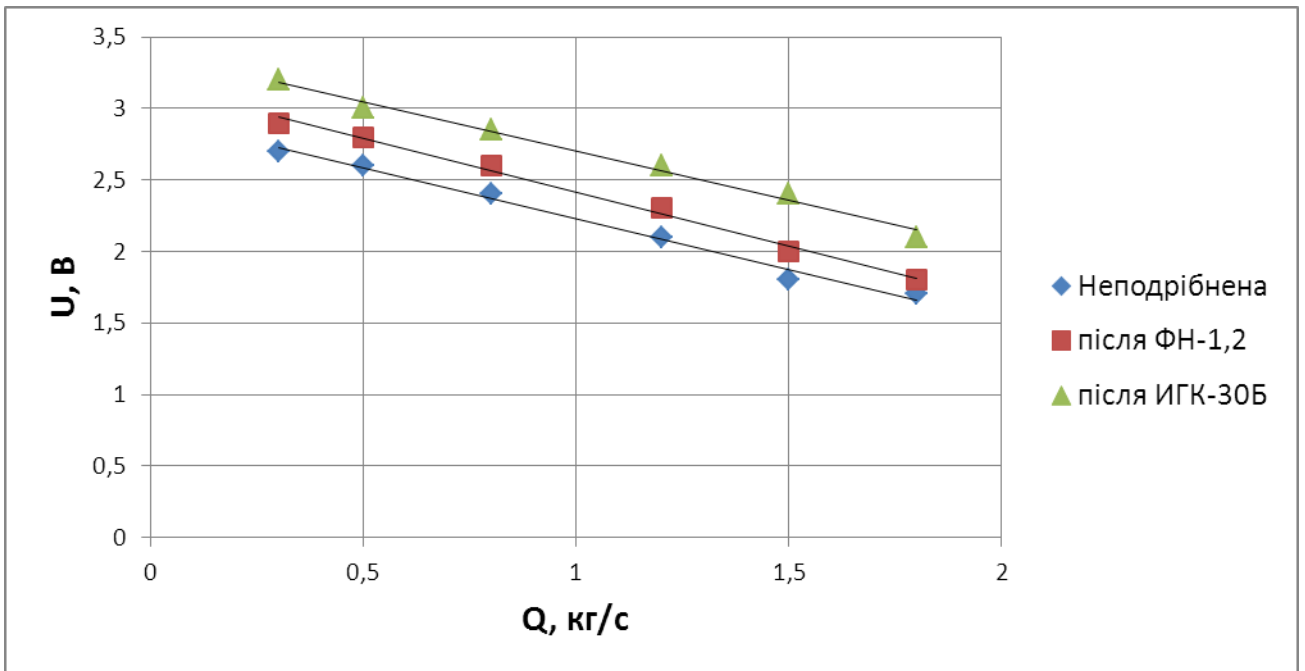


Рис. 3.5. Залежність вихідної напруги датчика від витрати соломи пшеничної

Принципова електрична схема ультразвукового витратоміра (рис. 3.6) містить блок живлення 1, випромінювач 2, приймач 3, підсилювач 4, коректор 5, пороговий елемент 6. Пороговий елемент є сигналізатором, за рахунок якого виключається похибка вимірювань при потраплянні в стеблову масу сторонніх предметів.

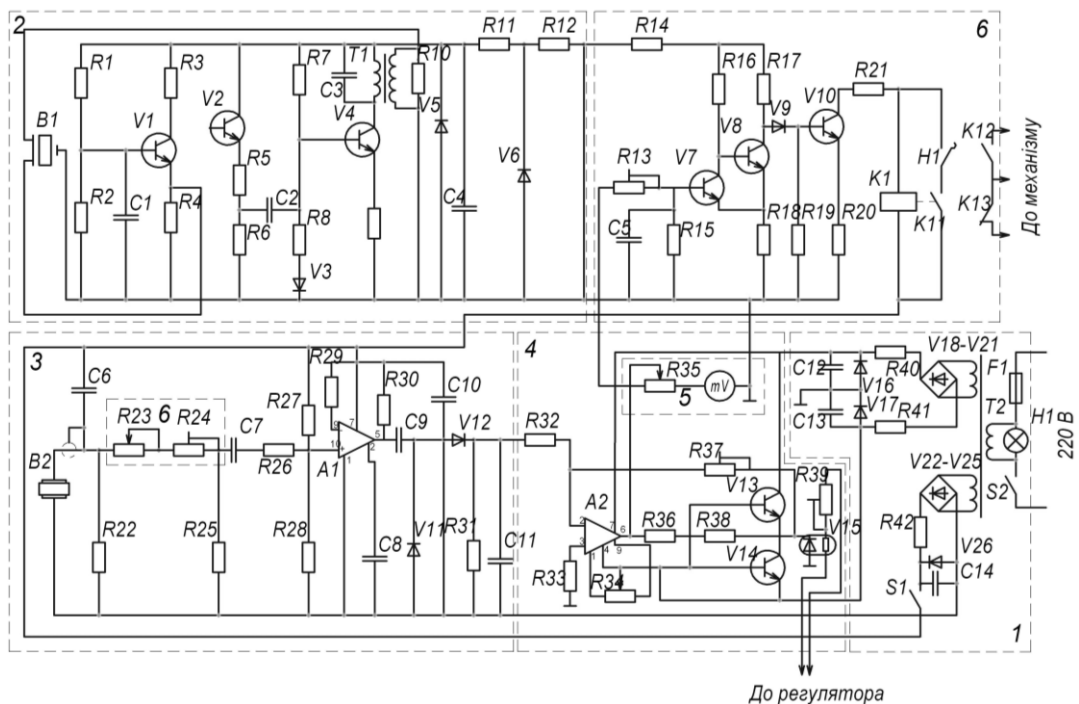


Рис. 3.6. Принципіальна електрична схема ультразвукового витратоміра

Лабораторні дослідження розробленого пристрою показали, що характер потоку матеріалу не впливає на точність вимірювань, а найбільш ефективна частота прозвучування дорівнює 40 кГц. Залежність напруги на вході приймача від подачі матеріалу лінійна в робочому діапазоні дозатора при різній мірі подрібнення стеблової маси. Несуттєвий вплив вологості на процес прозвучування компенсується коректором 5.

На основі розробленого пристрою вимірювання витрати кормів побудована система електрообладнання дозувального пристрою (рис. 3.7).

Система електрообладнання містить електропривод дозатора стеблових кормів ДСК-30 та регульований електропривод живильника грубих кормів.

Витрата кормів вимірюються ультразвуковим витратоміром на виході із дозатора стеблових кормів ДСК-30.

Сигнал з витратоміра підсилюється і поступає в пристрій порівняння регулятора, який виробляє сигнали керування двигуном змінного струму, який змінює швидкість руху стрічки контейнера, відповідно і подачу корма.

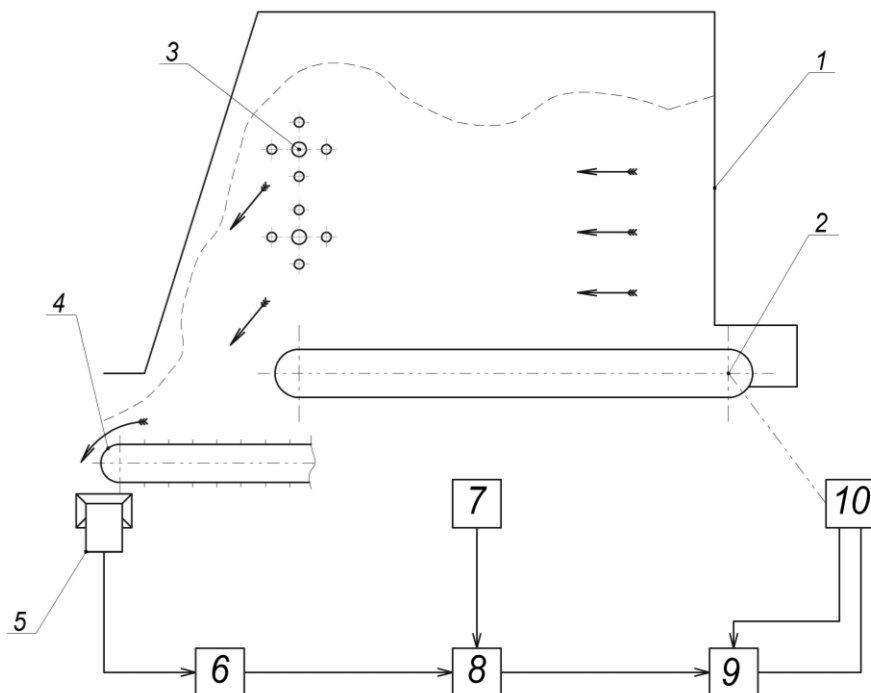


Рис. 3.7. Система електрообладнання дозувального пристрою грубих кормів:

1 – бункер; 2 – донний транспортер; 3 – блок бітерів; 4 – дозатор ДСК-30; 5 – пристрій для вимірювання витрати стеблової маси; 6 – підсилювач; 7 – за датчик витрати корму; 8 – пристрій порівняння; 9 – регулятор; 10 – регульований електропривод

### **3.6. Розроблення регульованого електропривода дозатора грубих кормів**

Перетворювач частоти вибирають за такими параметрами.

*Напруга живлення і кількість фаз.* Перетворювачі частоти бувають однофазними та трифазними.

*За повною потужністю.* Повна потужність частотного перетворювача повинна відповідати граничній потужності електродвигуна:  $S_{nc} \geq S_{ov}$ ; або номінальний струм електродвигуна не повинен перевищувати номінальний струм перетворювача:  $I_{nc} \geq I_{ov}$ .

*За типом керування (скалярне, векторне).* Скалярне керування не здатне забезпечити точне регулювання у широких межах. У разі підвищених чи знижених частот може падати момент, тобто змінюватися перевантажувальна здатність електродвигуна. Сама підтримка моменту забезпечується зміною напруги залежно від частоти струму.

Векторне керування дозволяє точно регулювати роботу системи у широких межах. Для частотних перетворювачів з таким типом у системі керування застосовуються кола зворотного зв'язку, які зумовлюють стабільність підтримання моменту на валу двигуна за рахунок підтримання незмінним магнітного потоку електродвигуна. Завдяки цьому реактивна потужність двигуна знижується.

Частотні перетворювачі зі скалярним керуванням виготовляються найчастіше. Вони використовуються для роботи насосних систем, компресорів, вентиляторів та інших пристроїв подібного призначення.

Вартість частотних перетворювачів з векторним керуванням досить висока, але ці пристрої незамінні в умовах, коли потрібно підтримувати

незмінним момент на валу незалежно від навантаження, що створилося. Це дозволяє використовувати ці перетворювачі частоти для роботи машин зі змінним навантаженням.

*За діапазоном регулювання. За методом гальмування (інерційне, динамічне, рекуперативне).* Щоб швидко загальмувати обладнання, використовують динамічне або рекуперативне гальмування. Воно реалізовано за рахунок зворотного обертання електромагнітного поля всередині статора. Також подібний вид гальмування може виникнути внаслідок швидкого зниження частоти самим перетворювачем.

*За ступенем захисту, кліматичним виконанням та категорією розміщення.*

*За набором функцій.* Деякі механізми повинні плавно змінювати кутову швидкість електродвигуна, керуючись від завдання, яке створюється обертанням ручки потенціометра, а в деяких випадках потрібна робота на фіксованих швидкостях. Причому, і в тому й іншому випадку може бути можливим керування з самої панелі перетворювача частоти, так і за аналоговими входами за допомогою кнопок, перемикачів і потенціометрів. При реалізації останнього варіанта необхідно переконатися в достатній кількості необхідних входів.

У разі використання зовнішнього керуючого пристрою (контролера, логічного реле, тощо), необхідно переконатися у відповідності до технічних параметрів. Зазвичай це струмові або вольтові сигнали з діапазонами 0...20 мА, 4...20 мА та 0...10 В, відповідно. Якщо керування частотним перетворювачем відбувається через мережу, необхідна наявність відповідного інтерфейсу з протоколом передачі. Керування двигуном може проходити автоматично, для цього необхідна наявність вбудованого ПД-регулятора та можливість організувати зворотний зв'язок від датчика контрольованого параметра.

*За кількістю вихідних сигналів.* Дискретні виходи використовуються для виведення сигналів про різні події (аварія, перегрівання, вхідна напруга вища або нижча заданого рівня, сигнал помилки тощо). Аналогові виходи

використовуються для побудови складних систем зі зворотними зв'язками. Рекомендації щодо вибору аналогічні попередньому пункту.

Для регульованого електропривода дозатора стеблових кормів вибраний перетворювач частоти VDF022EL43A для двигуна потужністю 2,2 кВт (рис. 3.8).

Перетворювач частоти в змозі ефективно управляти частотою обертання двигуна, поліпшити машинну автоматизацію і економити електроенергію.

Використовуючи передове становище в технології виробництва силової електроніки, компанія Delta Electronics випустила широкий модельний ряд перетворювачів частоти VFD серії. Кожен модельний ряд частотних перетворювачів VFD розроблений, щоб задовольнити певні прикладні потреби.

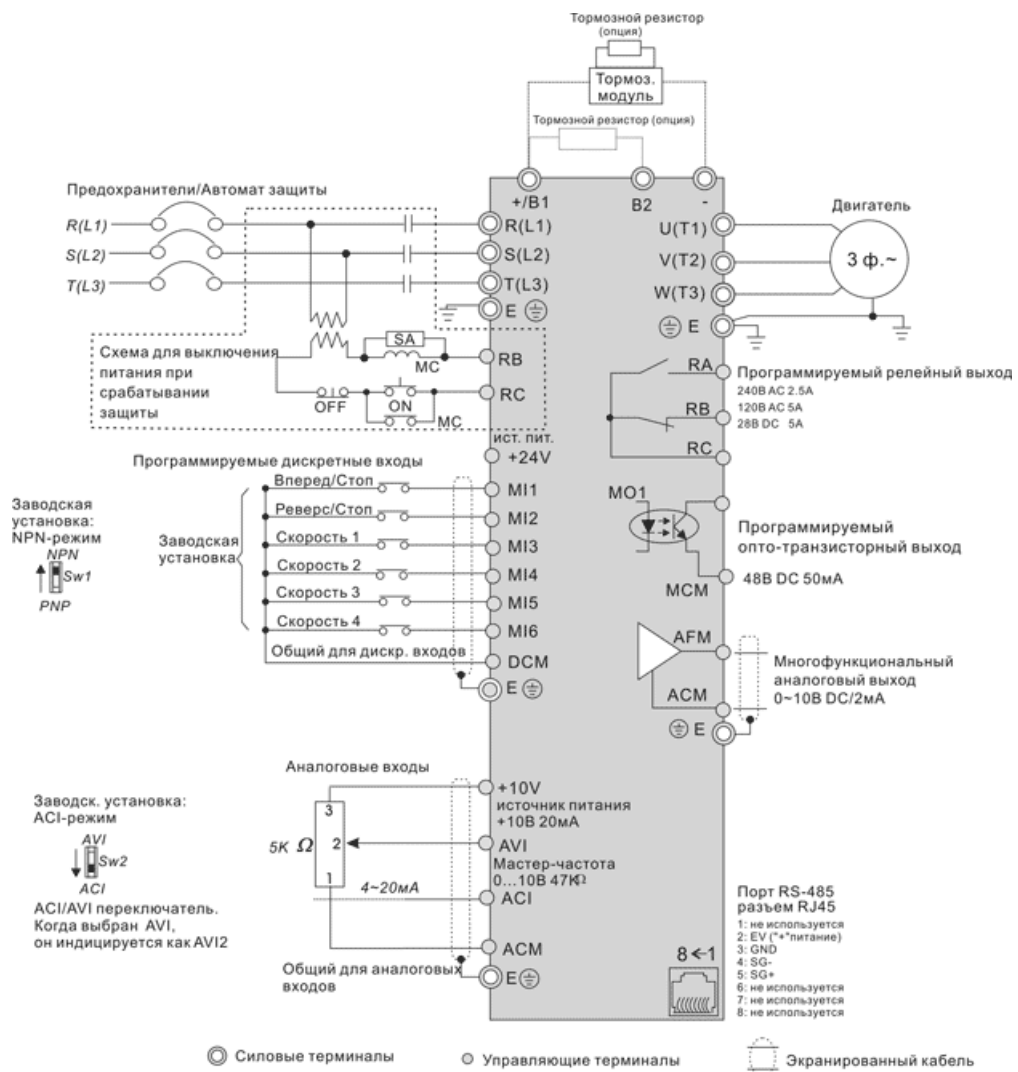


Рис.3.8. Схема підключення векторного перетворювача частоти VDF022EL43A

Ці частотні перетворювачі точно керують швидкістю і обертовим моментом, плавно звертаються із збільшенням навантаження, і забезпечують численний режимний контроль і конфігурацію. Виробнича лінія перетворювачів для електродвигунів змінного струму забезпечує повний діапазон потужностей і використовується всюди по широкому діапазону галузей промисловості, щоб збільшити і поліпшити машинну автоматизацію.

Перетворювач має наступні переваги:

- Регульована характеристика V/F та векторне управління
- Вбудований програмний логічний контролер
- ПД-регулятор
- Допускається щільна установка
- Простота обслуговування
- Модульна конструкція
- Зв'язок по MODBUS
- Глибоке розширення входів/виходів
- Вбудований РЧ-фільтр
- Контроль температури двигуна (РТС-термістор).

Застосування розробленої системи електрообладнання дозувального пристрою потокової лінії приготування грубих кормів забезпечує коефіцієнт варіації 11 %, а відхилення математичного очікування порівняно із заданим не перевищує 3 %, що свідчить про високу якість дозування.

## РОЗДІЛ 4

### ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В КОРМОЦЕХУ ФЕРМИ ВРХ

До основних заходів, які забезпечують раціональному використанню електроенергії в сільському господарстві відносяться технічні, організаційні, економічні заходи.

До технічних заходів відносять:

- зменшення втрат електроенергії в мережах і трансформаторах;
- автоматизація виробничих процесів;
- правильне використання електроосвітлювального обладнання;
- зменшення втрат електроенергії, обумовлених поганим технічним станом робочих машин.

Організаційні заходи передбачають нормування витрат енергетичної енергії на одиницю продукції або площі і вдосконалення систем обліку електроенергії.

До економічних заходів відносять вдосконалення методів визначення рівня споживання електроенергії; матеріальне стимулювання економічного використання електроенергії.

Одним із заходів зниження втрат енергії є компенсація реактивної потужності, яка забезпечується використанням спеціальних конденсаторних батарей.

Питомі втрати електроенергії в електроприводі залежить від навантаження, тобто необхідно обмежити роботу двигуна на холостому ході. Якщо електродвигун завантажений менше 70 % від номінальної потужності, його потрібно замінити.

Електропривод є основним споживачем електроенергії, понад 65 - 70% електричної енергії, вироблювана у світі, перетворюється на механічну енергію в асинхронних двигунах. Тому проблема енергозбереження в електроприводі нині є однією із основних. Розрізняють енергозбереження власне в

електроприводі та створення енергозберігаючих технологій на базі автоматизованого регульованого електроприводу.

Енергозбереження в електроприводі необхідне для скорочення втрат на перетворення електричної енергії на механічну та підвищення енергетичних показників електроприводу.

Енергозбереження в електроприводі досягається так:

Правильний вибір електродвигуна за потужністю. Часто практика вибору двигуна із завищеною потужністю призводить до зниження ККД та коефіцієнта потужності  $\cos\phi$ ;

Застосування в силовому колі електропривода силових напівпровідникових перетворювачів, які дозволяють перетворювати електричну енергію в потрібному вигляді для досягнення необхідних результатів з меншими втратами;

скорочення до мінімуму використання реостатних способів регулювання швидкості електродвигунів;

З метою підвищення коефіцієнта потужності  $\cos\phi$  та зменшення впливу вищих гармонік струму застосування в живлячих колах електропривода фільтро-компенсуючих пристроїв.

З погляду оптимізації технологічних процесів при енергозбереженні набагато важливіше використовувати можливості автоматизованого електропривода. Перебіг технологічного процесу у необхідному автоматичному режимі скорочує непродуктивні витрати електроенергії. В установках, що здійснюють подачу води, повітря, сипких матеріалів, є можливості економії електроенергії шляхом вибору виробничого механізму, який відповідає умовам технологічного режиму в даний момент.

## **РОЗДІЛ 5**

### **ЗАХОДИ З БЕЗПЕКИ ПРАЦІ НА ОБ'ЄКТИ ТА ВИБІР ЗАХИСНИХ ЗАСОБІВ**

#### **Передмова**

Основним завданням керівних інженерно-технічних працівників і спеціалістів сільського господарства в області охорони праці є суворе дотримання ПТБ, норм виробничої санітарії в сільськогосподарському виробництві.

У цьому розділі проведено аналіз умов праці, передбачені заходи із забезпечення індивідуального захисту від ураження електричним струмом обслуговуючого персоналу, інші заходи із усунення небезпечних та шкідливих факторів, проведено розрахунок заземлюючих пристроїв, розроблені заходи із забезпечення протипожежного захисту та блискавкозахисту.

#### **5.1 Аналіз умов праці в кормоцеху і визначення категорій виробництв, приміщень та класів виробничих зон**

На кожному робочому місці в кормоцеху повинні бути індивідуальні аптечки, інструкції з охорони праці. Увесь обслуговуючий персонал кормоцеху періодично проходить інструктаж з охорони праці. Для забезпечення заходів з охорони праці виділяються кошти.

В табл. 5.1 наведено категорії виробництв, приміщень та класи виробничих зон.

У кормопріготувальному цеху для ферми ВРХ виробничі приміщення відносяться до вогких. У виробничих приміщеннях повітря загазоване і містить велику кількість пилу. Є природне освітлення. У процесі роботи технологічного і електротехнічного обладнання створюються шуми, які перевищують норму.

При аварійних режимах роботи електроприймачів можливі ураження людей електричним струмом, а також небезпека травмування при дотику до частин, що обертаються або рухаються. Машини і механізми з частинами, що

обертаються, заборонено експлуатувати без захисних огорож або без дотримання спеціальних заходів безпеки.

Таблиця 5.1

### Класи і категорії об'єктів кормоцеху ферми ВРХ

Найменування об'єкта	Санітарний клас	Категорія приміщення за характером навколишнього	Клас приміщення за можливістю	Клас вибухо- та пожежобезпечн	Категорія виробництва 2	Ступінь ризикованості	Категорія пристроїв
Кормоцех	IV	Вогке	З підвищеною небезпекою	II-IIIa	Д	II	III
Санпропускник	IV	Вогке	З підвищеною небезпекою	II-IIIa	Д	III	III
Приміщення для зберігання транспорту	IV	Сухе	Без підвищеної небезпеки	II-IIIa	Д	III	III

У більшості машин і механізмів використовуються пристрої для запобігання робот обслуговуючого персоналу при обертових чи поступальних рухах машин. На змішувачі С-12 на завантажувальних люках є кінцеві вимикачі, які запобігають вмиканню змішувача при відкритому люці, коли всередині люка знаходиться працівник. Шкідливі і небезпечні фактори кормоцеху перераховані в табл. 6.1.

### 5.2 Розрахунок індивідуальних засобів захисту

Одним із способів, направлених на забезпечення охорони праці в кормоцеху ферми ВРХ є використання індивідуальних засобів захисту, що застосовуються в електроустановках виконуються відповідно до "Норм комплектування засобами захисту," які викладено в додатку Б.П.1 "Правил

технічної експлуатації електроустановок споживачів " та "Правил техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів". Результати розрахунків наведені в табл. 5.3.

Таблиця 5.2

### Шкідливі і небезпечні виробничі фактори кормоцеху

Робочі місця, технологічні лінії, приміщення та ділянки приміщень	Небезпечні та шкідливі фактори за ГОСТ 12.0.003-74										
	Фізичні				Хімічні		Біологічні		Психофізіологічні		
	Запиленість	Загазованість	Шум	Інші	Токсичні	Інші	Мікроорганіз	Інші	Фізичні перевантаженн	Нервово-пси- хологічні	Інші
Приміщення для переробки грубих і соковитих кормів	+	+	+	Рухомі частини	+	-	+	-	+	+	+
Відділення для приготування кормів	+	+	+	Рухомі частини	+	-	+	-	+	+	+
Відділення для прийому вихідних продуктів	+	+	+	Рухомі частини	+	-	+	-	+	+	+
Кімната для обслуговуючого персоналу	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	-
Електрощитова	-	-	+	напруга	-	-	-	-	-	+	+
Санвузол	-	-	+	-	+	+	+	-	-	-	+
Коридор	+	+	+	-	+	-	-	-	-	+	-
Тамбур	+	+	+	-	+	-	-	-	-	+	-
Душова	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+

Необхідна кількість спецодягу, спецвзуття та інших засобів захисту визначається відповідно до "Норм безкоштовної видачі спецодягу, спецвзуття та запобіжник пристосувань" (табл. 5.3).

**Індивідуальні засоби захисту**

Найменування засобу захисту	Марка, тип	ГОСТ, ОСТ, ТУ	Потрібна к-сть шт. пар
Показник напруги	ИН-92	ТУ25-04-1129-78	2
Комплект інструменту з ізольованими рукоятками		ГОСТ 1115-79	2
Кліщі ізолюючі	К-1000	ТУ34-1632-75	2
Кліщі електровимірювальні	Ц-91	ТУ25-04-956-76	1
Рукавички діелектричні		ТУ38-105.977-76	12
Заземлення переносне		ТУ34-3816-74	2
Килимок діелектричний		ГОСТ 4997-75	12
Окуляри захисні	033-9	ГОСТ 12.4.003-74	2
Пояс запобіжний монтерський		ГОСТ 14185-77	2
Універсальні когті		ГОСТ 14331-77	2
Галоші діелектричні		ГОСТ 13385-78	2
Плакети і знаки безпеки		ГОСТ 12. 4026-76	40
Медична аптечка			5

**5.3 Розрахунок заземлюючого пристрою трансформаторної підстанції**

Для забезпечення безпеки людей і захисту електрообладнання передбачено спорудження заземлюючих пристроїв електроустановок до і вище 1000 В.

Передбачається установка заземлюючого пристрою на трансформаторній підстанції 10/0,4 кВ і на лінії 0,38 кВ перед кожною виробничою спорудою. Для зони, де знаходиться кормоцех ферми ВРХ, число грозових годин на рік складає 60-80.

За ПУЕ, до  $U \leq 1000$  В з глухозаземленою нейтраллю опір заземлюючого пристрою повинен становити для трансформатора з потужністю  $\geq 100$  кВА не

більше 4 Ом. Цей опір повинен бути забезпеченим з урахуванням природних і повторних заземлювачів нульового провoda повітряної лінії 0,38 кВ.

Заземлюючий пристрій пропонується виконати з круглої сталі діаметром  $d=0,8$  мм, довжиною  $l=5$  м, глибиною закладання  $t=0,8$  м від поверхні землі. Верхні кінці електродів з'єднати полосовою сталлю 40x4 мм по всьому периметру заземлюючого пристрою.

Виконаємо розрахунок заземлюючого пристрою, виходячи з вимог лінії 0,38кВ і нейтралі силового трансформатора:

$$\frac{1}{R_{\partial}} = \frac{1}{R_{шт}} + \frac{1}{R_{пр}} + \frac{1}{R_{ек}}, \quad (5.1)$$

де  $R_{\partial}$  - допустимий опір заземлення лінії 0,38 кВ, Ом;

$R_{пр}$  - опір природнього заземлення, Ом;

$R_{шт}$  - опір штучного заземлення, Ом;

$R_{ек}$  - еквівалентний опір заземлення повітряних ліній, Ом;

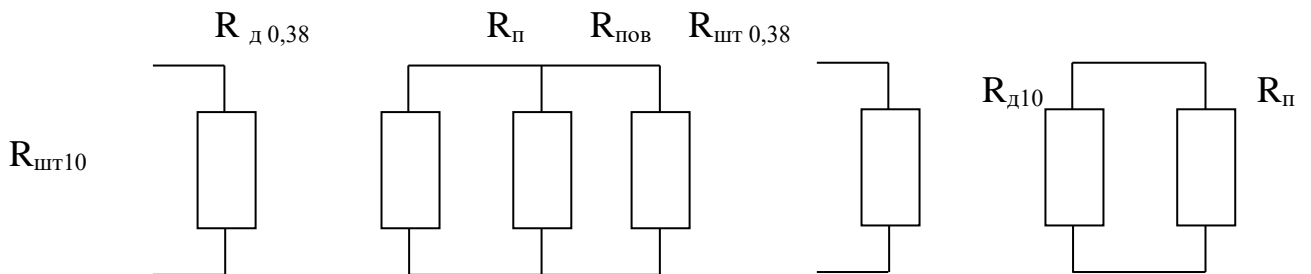


Рис.5.1. Схема замiщення лінії 0,38 кВ

Визначаємо еквівалентний питомий опір ґрунту:

$$\rho_{екв} = \frac{\rho_1 \cdot \rho_2 \cdot k \cdot l}{\rho_1(t + k \cdot l - h_1) + \rho_2(h_1 - t)}, \quad (5.2)$$

де  $\rho_1$  і  $\rho_2$  - відповідно питомі опори верхнього і нижнього шарів ґрунту,

$k$  - коефіцієнт сезонності,  $k = 1,1$ ;

$l$  - довжина стержня, м;

$t$  - глибина закладання стержня, м;

$h_1$  - товщина верхнього шару ґрунту, м;

$$\rho_{екв} = \frac{340 \cdot 50 \cdot 1,1 \cdot 5}{340(0,8 + 1,1 \cdot 5 - 3,2) + 50(3,2 - 0,8)} = 79,6 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Еквівалентний питомий опір фундаменту:

$$\rho_{еф} = \rho_1 \cdot \left( 1 - e^{-\alpha \cdot \frac{h_1}{\sqrt{S_6}}} \right) + \rho_2 \cdot \left( 1 - e^{-\beta \cdot \frac{\sqrt{S_6}}{h_1}} \right), \text{ Ом} \cdot \text{м} \quad (5.3)$$

де  $\rho_1$  - питомий опір верхнього шару ґрунту, **Ом · м**;

$\rho_2$  - питомий опір нижнього шару ґрунту, **Ом · м**;

$h_1 = 3,2$  м;

$S_6$  – площа будівлі, м<sup>2</sup>;

$\alpha = 3,6$ ;

$\beta = 0,1$ ;

оскільки  $\rho_1 > \rho_2$ .

$$\rho_{еф} = 340 \left( 1 - e^{-3,6 \cdot \frac{3,2}{\sqrt{50}}} \right) + 50 \left( 1 - e^{-0,1 \cdot \frac{\sqrt{50}}{3,2}} \right) = 284,2 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Опір природного заземлювача:

$$R_{np} = 0,5 \frac{\rho_{еф}}{\sqrt{S}} = 0,5 \frac{284,2}{\sqrt{50}} = 20,09 \text{ Ом}. \quad (5.4)$$

Для визначення опору повторних заземлювачів користуємось розрахунковою схемою мережі 0,38 кВ.

$$\frac{1}{R_{\check{v}}} = \frac{1}{R_{\check{v}1}} + \frac{1}{R_{\check{v}2}}; \quad (5.5)$$

$$R_{Л1} = \frac{R_{нов}}{m_1}; \quad R_{Л2} = \frac{R_{нов}}{m_2}, \quad (5.6)$$

де  $m_1$  і  $m_2$  - відповідно кількість заземлювачів у першій і другій лініях;

$$R_{Л1} = \frac{30}{6} = 5 \text{ Ом}, \quad R_{Л2} = \frac{30}{4} = 7,5 \text{ Ом}.$$

Загальний опір всіх повторних заземлювачів:

$$R_{нов} = \frac{R_{Л1} \cdot R_{Л2}}{R_{Л1} + R_{Л2}} = \frac{5 \cdot 7,5}{5 + 7,5} = 3 \text{ Ом}. \quad (5.7)$$

Розрахуємо еквівалентний опір лінії 0,38 кВ:

$$R_{екв} = \frac{R_{np} \cdot R_{нов}}{R_{np} + R_{нов}} = \frac{20,09 \cdot 3}{20,09 + 3} = 2,6 \text{ Ом}. \quad (5.8)$$

Оскільки  $R_{екв} < R_{шт}$ , то  $R_{шт}$  приймаємо максимально допустимим, тобто  $R_{шт} = 30 \text{ Ом}$ .

Пред'являємо вимоги мережі 10 кВ:

$$R_{\partial(10)} = \frac{125}{I_{C.3.}} \leq 10 \text{ Ом},$$

де  $I_{C.3.}$  - розрахунковий струм на землю, А.

$$I_{C.3.} = \frac{U(L_n + 35L_K)}{350}, \quad (5.9)$$

де  $U$  - номінальна напруга мережі, В;

$L_n$  - довжина повітряної лінії 10 кВ, м;

$L_K$  - довжина кабельної лінії, м.

$$I_{C.3.} = \frac{10(5,2 + 35 \cdot 20)}{350} = 21,58 \text{ А}.$$

Тоді 
$$R_{\partial(10)} = \frac{125}{21,58} = 5,8 \text{ Ом} \leq 10 \text{ Ом}.$$

Визначаємо штучний опір для лінії 10 кВ:

$$R_{шт(10)} = \frac{R_{\partial(10)} \cdot R_{np}}{R_{np} - R_{\partial(10)}} = \frac{5,8 \cdot 20,09}{20,09 - 5,8} = 8,15 \text{ Ом}. \quad (5.10)$$

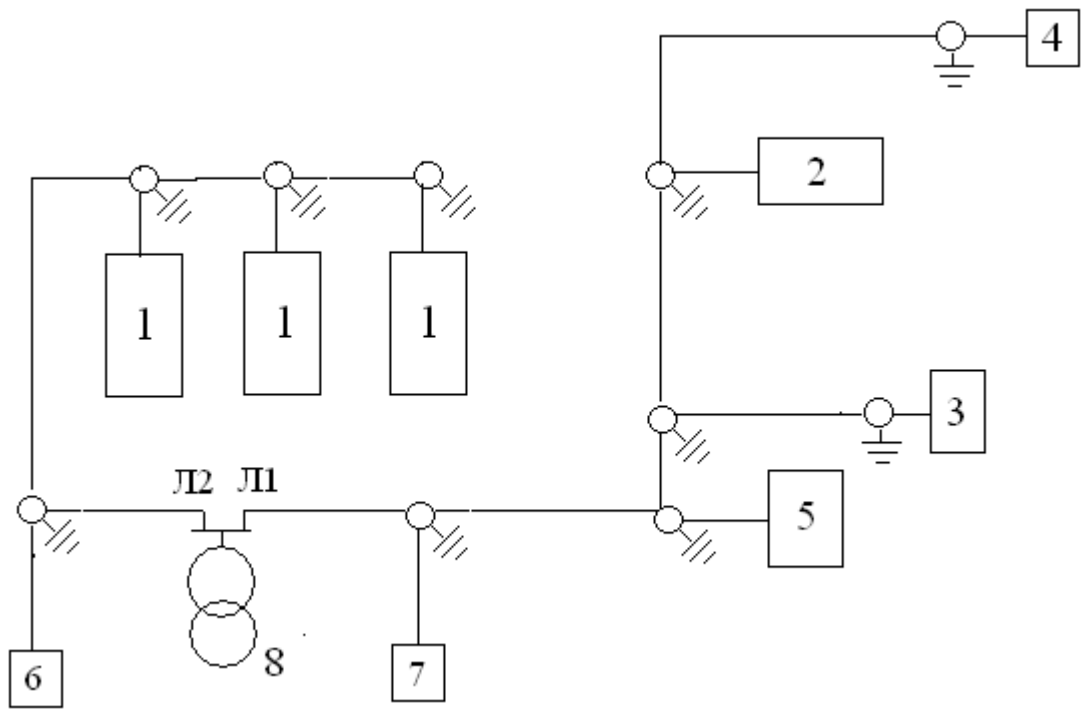


Рис.5.2. Розрахункова схема електромережі 0,38 кВ:

1 – телятники; 2 – кормоцех; 3 – приміщення для зберігання автотранспорту; 4 – прохідна з санпропускником; 5 – службово-виробнича будівля з санпропускником; 6 – вагова з критим манежем; 7 – ветпункт; 8 – трансформаторна підстанція 10/0,4 кВ, S=160 кВА

Порівнюючи  $R_{ШТ(0,38)}$  і  $R_{ШТ(10)}$  приймаємо менше значення із них, тобто  $R_{ШТ(10)}=8,15$  Ом.

Визначаємо опір стікання одного вертикального

$$\text{стержня } R_{СТ} = \frac{\rho_{екв} \cdot \kappa_c}{2\pi \cdot l} \cdot \left( \ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4h'+l}{4h'-l} \right) = \frac{79,6 \cdot 1,15}{2 \cdot 3,14 \cdot 5} \cdot \left( \ln \frac{2 \cdot 5}{0,008} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 3,3+5}{4 \cdot 3,3-5} \right) = 25,4 \text{ Ом}$$

$\kappa_c$  - коефіцієнт сезонності,  $\kappa_c=1,15$ ;

$$h' = t + 0,5 \quad l = 0,8 + 0,5 \cdot 5 = 3,3 \text{ м.}$$

Провідність:

$$g_B = \frac{1}{R_{СТ}} = \frac{1}{25,4} = 0,039 \text{ См.} \quad (5.11)$$

Попередньо визначаємо кількість вертикальних стержнів:

$$N_B = \frac{R_{СТ}}{R_{ШТ}} = \frac{25,4}{8,15} = 3,116. \quad (5.12)$$

Приймаємо  $N_B=4$  стержні.

Еквівалентний горизонтальний опір визначаємо за формулою:

$$R_{\Gamma} = \frac{k_C \cdot \rho_{\text{екв.г}}}{2\pi \cdot l_{\Gamma}} \cdot \ln \frac{2l_{\Pi}}{b \cdot t}, \quad (5.13)$$

де  $k_C$  - коефіцієнт сезонності,  $k_C = 1,75$ ;

$\rho_{\text{екв.г}}$  - еквівалентний горизонтальний опір, з таблиці приймаємо  $\rho_{\text{екв.г}} = 284,2 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ ;

$l_{\Gamma}$  - довжина заземлюючого контуру,  $l_{\Pi} = 40 \text{ м}$ ;

$b$  - ширина сталюї штаби,  $b = 0,04 \text{ м}$ .

$$R_{\Gamma} = \frac{1,75 \cdot 284,2}{2 \cdot 3,14 \cdot 40} \cdot \ln \frac{2 \cdot 40}{0,04 \cdot 0,8} = 47 \text{ Ом}.$$

Провідність:

$$g_{\Gamma} = \frac{1}{R_{\Gamma}} = \frac{1}{47} = 0,021 \text{ См}. \quad (5.14)$$

Визначаємо значення штучного опору:

$$R_{\text{шт}} = \frac{1}{\eta(N_B \cdot g_B + g_{\Gamma})}, \quad (5.15)$$

де  $\eta$  - коефіцієнт використання складного заземлювача (вибираємо за таблицею  $\eta = 0,67$ );

$$R_{\text{шт}} = \frac{1}{0,67(4 \cdot 0,039 + 0,021)} = 6,51 \text{ Ом}.$$

Оскільки  $R_{\text{шт}} < R_{\text{дон}}(10)$ , робимо висновок, що заземлюючий контур задовольняє умови безпеки.

## 5.4 Блискавкозахист

Прямими ударами блискавки може уражатися будівля кормоцеху ферми ВРХ.

Для захисту обладнання трансформаторних підстанцій від атмосферних перенапруг, з боку лінії 10 кВ передбачено встановлення вентильних

розрядників ОВС-10, а зі сторони лінії 0,38 кВ – розрядників типу ВН-0,5. В якості заземлення розрядників використовується контур заземлення ТП-10/0,4 кВ.

Приміщення для кормоцеху передбачено захищати від прямого попадання блискавки і від попадання в приміщення перенапруг по лінії 0,38 кВ. Для цього застосовані повторні заземлення нульового провода і траверс з опором  $R_3 \leq 30$  Ом через кожні 100 м і на опорах вводу в будівлю.

Визначаємо очікувану кількість ударів блискавки:

$$N = \frac{(S + 6h)(L + 6h) - 7,7h^2}{10^6} \cdot n, \quad (5.16)$$

де  $S$  і  $L$  – відповідно ширина і довжина будівлі, м;  $h$  – найвища висота будівлі, м;  $n$  – середньорічне число ударів блискавки на площі 1 км<sup>2</sup> земної поверхні у місці знаходження будівлі,  $n=5$ .

Будівля повинна бути захищена відповідно з III категорією блискавкозахисту і типом зони захисту Б.

Визначаємо для цієї зони висоту одиночного стержневого блискавковідводу з урахуванням розмірів границі зони захисту  $r_{x1}=12$  м на висоті  $h_{x1}=3$  м (рис.6.3):

$$h \geq r_{x1} \cdot \frac{2}{3} + \frac{h_{x1}}{0,92}, \quad (5.17)$$

де  $h_{x1}$  - висота об'єкту, що захищається, у найвіддаленішій точці  $h_{x1}=3$  м;

$r_{x1}$  - відстань від блисковідводу до найвіддаленішої точки об'єкту,

$r_{x1}=12$  м;

$$h_1 \geq 12 \cdot \frac{2}{3} + \frac{3}{0,92} = 11,26 \text{ м.}$$

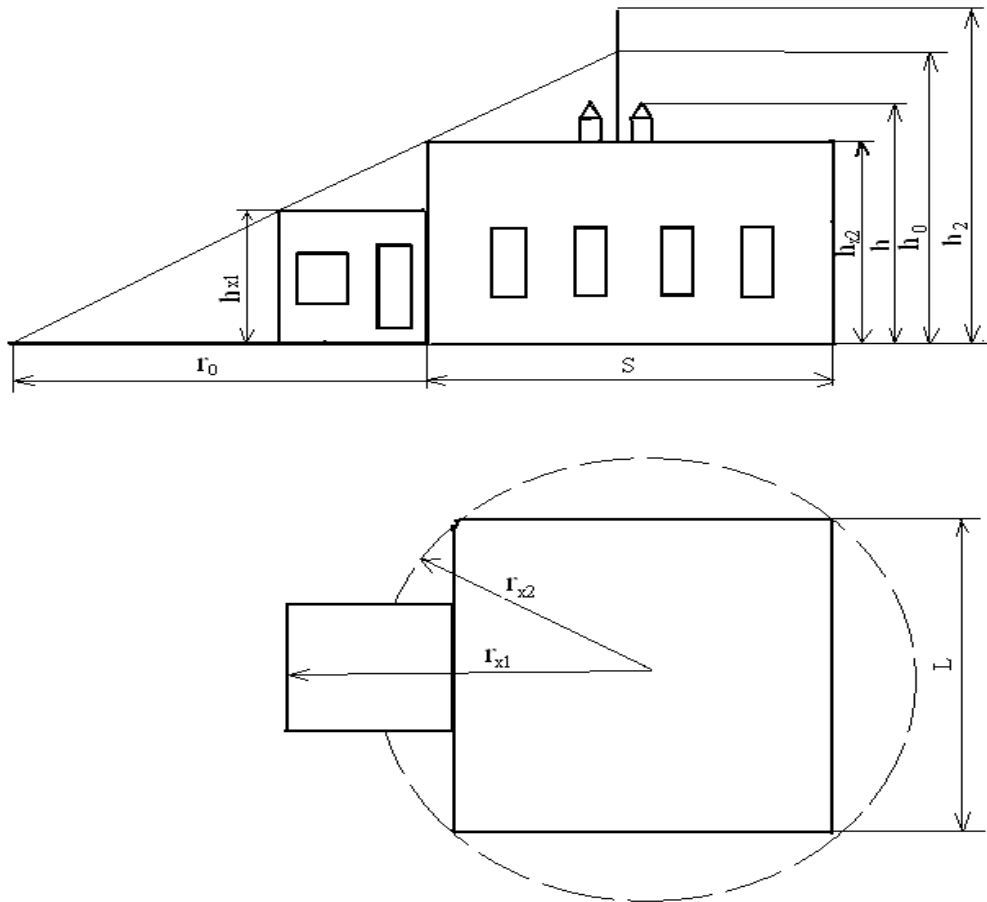


Рис.5.3. Розрахунок блискавкозахисту

Визначимо зону захисту для стержневого блисковідводу для зони Б:

$$h_2 = \frac{r_{X2} + 1,63h_{X2}}{1,5}, \quad (5.18)$$

де  $r_{X2}$  - зона захисту об'єкту на висоті, що захищається,  $r_{X2} = 9$  м;

$h_{X2}$  - висота об'єкту, що знаходиться,  $h_{X2} = 5$  м.

$$h_2 = \frac{9 + 1,63 \cdot 5}{1,5} = 11,4 \text{ м.}$$

Ця зона захисту представляє собою конус з висотою  $h_0$ :

$$h_0 = 0,92 \cdot h_2 = 0,92 \cdot 11,4 = 10,48 \text{ м.}$$

На рівні даху будівлі зона захисту представляє собою коло з радіусом  $r_{X2}$ :

$$r_{X2} = 1,5 \left( h_2 - \frac{h_{X2}}{0,92} \right) = 1,5 \left( 11,4 - \frac{5}{0,92} \right) = 8,95 \text{ м.} \quad (5.19)$$

Границя зони захисту на рівні землі

$$r_0 = 1,5 \cdot h_2 = 1,5 \cdot 11,4 = 17,1 \text{ м.}$$

## 5.5 Пожежна безпека

За ступенем пожежобезпеки кормоцех відноситься до категорії Д (неспалимі речовини і матеріали в холодному стані).

Можливими причинами виникнення пожежі є короткі замикання в несправній електропроводці чи електрообладнанні, недотримання правил техніки безпеки при зварювальних роботах, недбала поведінка з вогнем.

Кількість необхідного пожежного обладнання та інвентаря наведена в табл. 5.4.

Таблиця 5.4

### Перелік пожежного обладнання та інвентаря

Найменування пристрою чи засобу пожежогасіння	Тип, марка	Місце встановлення	К-сть	Характеристика пожежного пристрою
Вогнегасник хімічний пінний	ОХП-10	Тваринницьке приміщення, кормоцех	12	
Вогнегасник вуглекислотний	ОУ-2	Електрощитові	7	
Ящик з піском		Перед входом	8	Ємкість 0,5 м <sup>3</sup>
Пожежний щит		Перед входом	8	ОХП-10-2шт відро- 2 шт. лопата-2шт. багор-2 шт. лом-2 шт.

З метою протипожежної безпеки у кормоцеху ферми ВРХ розроблені такі заходи:

- під'їзди до пожежного резервуару заборонено загороджувати;
- при вході в кожену будівлю встановлені ємкості з водою, піском, пожежні щити;
- пожежний резервуар обладнаний насосом для підйому води, так як ємкість знаходиться нижче поверхні землі.

## РОЗДІЛ 6

### ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО ДОЗУВАННЯ ГРУБИХ КОРМІВ

Порівняння інвестиційних проектів і вибір кращого з них рекомендується здійснювати з використанням таких показників:

чистий дисконтований прибуток (ЧДП) або інтегральний ефект;

індекс прибутковості (ІП);

внутрішня норма прибутковості (ВНП);

термін окупності.

Величину ЧДП при постійній нормі дисконту ( $E$ ) визначають за формулою:

$$\text{ЧДП} = \sum_{t=0}^T (R_t - Z_t) \cdot \frac{1}{(1+E)^t} - K, \quad (6.1)$$

де  $R_t$  – результати, які досягаються на кроці  $t$ ;

$Z_t$  – витрати, які здійснюються на кроці  $t$  (без капітальних вкладень);

$T$  – тривалість розрахункового періоду;

$E$  – постійна норма дисконту;

$K$  – капітальні вкладення.

Результати, які досягаються у будь який період  $R_t$ , визначаються вартістю додатково отриманої яловичини  $R_n$ .

Капітальні вкладення у даному випадку будуть тільки на першому етапі експлуатації:

$$K = B_{ек}, \quad (6.2)$$

де  $B_{ек}$  – вартість регульованого електропривода бункера-дозатора.

Норма дисконту приймається постійною і рівною  $E = 0,17$ .

Застосування автоматичного дозування грубих кормів забезпечує підвищення продуктивності худоби, на 30 % питому витрату електроенергії та витрату корму. Витрати при ручному дозуванні кормів становлять для ферми

ВРХ на 800 голів 5,04 млн. грн, а при автоматичному дозуванні грубих кормів – 5,02 млн. грн.

Капітальні вкладення становлять 15,2 тис. грн..

Тоді ЧДП становитиме:

$$ЧДП = \frac{5,04 - 5,01}{1 + 0,17} - 0,0152 = 0,01044 \text{ млн. грн.}$$

Індекс прибутковості, який є відношенням суми приведених ефектів до величини капітальних вкладень, розраховується за формулою:

$$ІП = \frac{1}{K} \cdot \sum_{t=0}^T (R_t - Z_t) \cdot \frac{1}{(1 + E)^t} \quad (6.3)$$

Індекс прибутковості тісно пов'язаний з ЧДП, якщо ЧДП позитивний, то ІП більший за одиницю і навпаки. Якщо ІП більший за одиницю, проект ефективний, якщо ІП менший за одиницю – неефективний.

Індекс прибутковості

$$ІП = \frac{1}{0,0152} \cdot \frac{5,04 - 5,01}{1 + 0,17} = 1,69.$$

Внутрішня норма прибутковості  $E_{BH}$  (ВНП) є нормою дисконту, при якій величина приведених ефектів дорівнює приведеним капітальним вкладенням.  $E_{BH}$  визначається при розв'язанні рівняння:

$$ВНП = \sum_{t=0}^T \frac{R_t - Z_t}{(1 + E_{BH})^t} \quad (6.4)$$

Коли ВНП дорівнює або більше потрібної інвестору норми прибутку на капітал, інвестиції у даний інвестиційний проект виправдані. В іншому разі вони недоцільні.

$$ВНП = \frac{5,04 - 5,01}{1 + 0,17} = 25,6 \text{ грн/рік.}$$

Термін окупності – мінімальний часовий інтервал (від початку здійснення проекту), за межами якого інтегральний ефект стає і в подальшому залишається невід'ємним.

Внутрішня норма прибутковості складає 25,6 тис. грн./рік, а термін окупності системи автоматичного дозування грубих кормів – 1,5 року.

## ВИСНОВКИ

1. Проведений аналіз технологічного та електротехнічного обладнання для кормоцеху відгодівельної ферми ВРХ, яке забезпечує електромеханізацію основних технологічних процесів у кормоцеху.

2. Удосконалений електропривод дозатора стеблових кормів ДСК-30.

3. Розроблений витратомір грубих кормів. Дослідження витратоміра показали, що похибка вимірювання витрати грубих кормів в безперервному потоці не перевищує 5 % у діапазоні витрати кормів  $0,15 - 2,5 \text{ кг}\cdot\text{с}^{-1}$  на соломі,  $1,5 - 12,0 \text{ кг}\cdot\text{с}^{-1}$  на силосі.

4. Стабілізація дозування грубих кормів досягається при коефіцієнті варіації 11 %, а відхилення математичного очікування порівняно із заданим значенням витрати корму не перевищує 3 %, що свідчить про високу якість дозування. При цьому питома витрата електроенергії знижується на 30,5 % на соломі та 27,5 % на силосі.

5. Розроблені заходи з енергозбереження в кормоцеху ферми ВРХ.

6. Розглянуті питання охорони праці та протипожежної безпеки в кормоцеху ферми ВРХ.

7. Застосування автоматичної системи дозування грубих кормів забезпечує чистий дисконтовий прибуток 10440 грн, індекс прибутковості 1,7, строк окупності 1,5 року.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРИ

1. Дипломне проектування енергетичних та електротехнічних систем в агропромисловому комплексі : навч. посіб. для студентів вищих навчальних закладів / Іноземцев Г. Б., Козирський В. В., Лут М. Т., Радько І.П., Синявський О.Ю. – 2-е вид., перероб. і доп. – К., 2014. – 525 с.
2. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ – 2017).
3. ДНАОП 0.00. – 1.32 – 01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних електроустановок. – К.: ПП „Фірма Гранмна”, 2001. – 117 с.
4. ДБН В.2.5. – 23 – 2003. Інженерне обладнання будинків і споруд. Проектування електрообладнання об’єктів цивільного призначення. Державний комітет України з будівництва та архітектури. – К.: 2004. – 128 с.
5. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. Затверджено Наказом Міністерства палива та енергетики України за № 258 від 25.07.2006. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України за № 1143/13017 від 25.10.2006.
6. Правила технічної експлуатації тепловикористовуючих установок і теплових мереж / Держенергонагляд України.: -К.: "Дисконт",1995.- 81с.
7. Правила користування електричною енергією. Затверджено постановою НКРЕ 31.07.96 N 28 у редакції постанови НКРЕ від 17.10.2005 N 910. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 18 листопада 2005 р. за N 1399/11679
8. Правила користування електричною енергією для населення. – К.: ДП „НТУКЦ” АЕЕ, 2002. – 34
9. Правила користування тепловою енергією. Затверджено наказом Міненерго України та Держбуду України від 28.10.99 N 307/262. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 30 листопада 1999 р. за N 825/4118.
10. Закон України «Про енергетику». В редакції від 1 липня 2010 року N 2388-VI

11. Закон України «Про енергозбереження». ( Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2006, N 15, ст.126 )
12. Закон України №555-IV від 20.02.2003р «Про альтернативні джерела енергії»
13. ДНАОП 0.00.1.21. – 98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. / Держнаглядохоронпраці України.: – К.: Основа, 1998. – 380 с.
14. ССБП ДСТУ 2293-93. "Система стандартів безпеки праці. Терміни та визначення".
15. ДСТУ 2272-93 Пожежна безпека. Терміни та визначення.
16. Основи електропривода: Підручник / Ю. М. Лавріненко, П. І. Савченко, О. Ю. Синявський, та ін.; За ред.. Ю. М. Лавріненка. – К.: Видавництво «Ліра-К», 2015. – 504 с.
17. Червінський Л.С., Сторожук Л. О. Електричне освітлення та опромінення: Посібник. – К.: Вид-во ТОВ «Аграр Медіа Груп», 2011. -214с
18. Кігель А. Г. Приведення техніко-економічних показників електричних мереж до розрахункових умов / А. Г. Кігель // Науковий вісник Національного гірничого університету. - 2014. - № 5. - С. 63-69. (**Scopus**)
19. Козирський В.В. Електропостачання агропромислового комплексу: підруч./ Козирський В.В., Каплун В.В., Волошин С.М. – К.:Аграрна освіта, 2011.- 448 с.
20. Лут М.Т., Мірошник О.В., Трунова І.М. Основи технічної експлуатації енергетичного обладнання АПК.: Підручник для студентів ВНЗ. – Харків: Факт, 2008. – 438 с.
21. Лут М.Т., Радько І.П., Тракай В.Г., Чміль А.І. Безпека праці в сільських електроустановках : навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів / Лут М.Т., Радько І.П., Тракай В.Г., Чміль А.І. – К.: Вид – во ТОВ «Аграр Медіа Груп», 2012- 430 с.
22. Довідник сільського електрика / За ред. В.С. Олійника. – К.: Урожай, 1982. – 296 с.

23. Механізація виробництва продукції тваринництва. За редакцією І.І.Ревенка, 1994.
24. Електропривід сільськогосподарських машин, агрегатів і потокових ліній : Підручник / Е.Л. Жулай, Б. В. Зайцев, Ю. М. Лавріненко та ін. За ред.Є.Л. Жулая. – К.: Вища освіта, 2001.
25. Ramata A. Ventilation of piggeries in cold and humid climate / A. Ramata // 7th International Cold Climate HVAC Conference; Calgary; Canada; 12 – 14 November 2012, P. 176-183 (**Scopus**)
26. Електропривод і автоматизація: навчальний посібник / [Синявський О.Ю., Савченко П.І., Савченко В.В. та ін.]; за ред. О.Ю. Синявського. – К.: Аграр Медіа Груп, 2015. – 604 с.