

КИЇВ – 2026

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
електротехніки, електромеханіки
та електротехнологій

К.Т.Н., доцент _____ / **ОКУШКО О.В.** /
(підпис)
« _____ » _____ 2025 р

З А В Д А Н Н Я
на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студенту

Онiщенко Максима Валентиновичу

Спеціальність 141 „Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”
Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи: „Проектні рішення з розроблення електротехнологічного обладнання для дозування кормів у кормоцеху свиновідгодівельної ферми на 2000 голів ”

затверджена наказом ректора НУБіП України від 30.10.2025 №2607«С»
Термін подання завершеної роботи на кафедру 01. 06 .2026

Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи
«Правила улаштування електроустановок»; «Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів»; «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів».

Перелік питань, які необхідно розробити

1. Загальна характеристика виробничого об'єкта.
2. Технологічна частина.
3. Електротехнічна частина.
4. Розробка електроприводу дозатора соковитих кормів.
5. Заходи з експлуатації електрообладнання і охорони праці.
6. Основні техніко-економічні показники.

Перелік графічних матеріалів

Лист 1. Функціональна схема кормоцеху.

Лист 2. План силової електромережі кормоцеху.

Лист 3. Принципіальна електрична схема керування кормоцехом.

Лист 4. Структурна схема електрообладнання дозувального пристрою.\

Дата видачі завдання 31.10.2025 р.

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи _____ /Савченко В.В./
(підпис) (ПІБ)

Завдання прийняв до виконання _____ /Онiщенко М.В./

[illegible]

Зміст

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВИРОБНИЧОГО ОБ'ЄКТА.....	8
РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	10
2.1 Технологія приготування кормів на свинофермі	10
2.2 Обґрунтування та вибір технологічного обладнання кормоцеху свиноферми	12
2.3 Розрахунок водопостачання кормоцеху	16
2.4 Розрахунок вентиляції	24
РОЗДІЛ 3 ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА.....	27
3.1 Обґрунтування та вибір силового електрообладнання для технологічних процесів	27
3.2 Розробка принципіальної схеми керування кормоцехом	34
3.3 Вибір апаратів керування та захисту	36
3.4 Розрахунок освітлення та вибір освітлювального обладнання	39
3.5 Розрахунок освітлювальної мережі	49
3.6 Розрахунок і вибір силових електропроводок	54
3.7 Розрахунок електричних навантажень, вибір джерела живлення	55
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ДЛЯ ДОЗУВАННЯ ПОДРІБНЕНИХ КОРЕНЕБУЛЬБОПЛОДІВ	60
4.1 Значення підвищення точності дозування соковитих кормів	60
4.2 Обґрунтування мікрохвильового способу вимірювання витрати подрібнених кормів, розробка та дослідження НВЧ-вологоміра	63
4.3 Розробка системи автоматизованого електрообладнання подрібнювача коренебульбоплодів ИКС-5М	67
4.4 Розробка електропривода шнека подрібнювача коренебульбоплодів ИКС-5М	71
РОЗДІЛ 5 ЗАХОДИ З ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ОХОРОНИ ПРАЦІ.....	74
5.1 Енергозбереження в кормоцеху	74

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.007.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

5.2 Заходи з охорони праці в кормоцеху	75
РОЗДІЛ 6 ОСНОВНІ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ	79
ВИСНОВКИ	83
Список літератури	84

					02.02.КР.2607”С”.25.10.30.007.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

ВСТУП

Нині сільськогосподарське виробництво базується на широкому впровадженні сучасних технологій, що інтенсивно використовують електроенергію як один із ключових факторів підвищення продуктивності праці та автоматизації технологічних процесів у галузі. Електрифікація та автоматизація виробничих операцій дозволяють забезпечити стабільність технологічних режимів, зменшити вплив людського фактора та підвищити загальну ефективність аграрного виробництва.

Однією з найважливіших умов розвитку тваринництва є формування надійної та збалансованої кормової бази, що безпосередньо впливає на продуктивність тварин. У зв'язку з цим значна увага приділяється технологіям приготування, обробки та дозування кормів, які забезпечують точність рецептур та рівномірність годівлі.

Покращення кормової бази, впровадження сучасних досягнень селекції та генетики, використання біотехнологічних методів, а також підвищення якості вирощування молодняку сприяють суттєвому зростанню продуктивності тварин і птиці. Це також дозволяє підвищити коефіцієнт конверсії кормів та зменшити собівартість тваринницької продукції.

Характерною особливістю галузі є вузька спеціалізація виробничих процесів із широким впровадженням сучасного технологічного обладнання, засобів електрифікації та автоматизації. Використання автоматизованих систем керування та механізованих комплексів дозволяє підвищити точність технологічних операцій, зменшити трудові витрати та покращити якість кінцевої продукції. Заміна морально застарілого обладнання на сучасні автоматизовані комплекси забезпечує суттєве зростання продуктивності праці та підвищення енергоефективності виробництва.

Метою дослідження є розроблення та обґрунтування параметрів системи автоматизованого електрообладнання кормоцеху свиновідгодівельної ферми, що забезпечує підвищення точності дозування кормів, стабільність технологічного процесу та зниження енергоємності виробництва продукції.

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.007.ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Об'єктом дослідження є технологічний процес дозування кормів у кормоцеху свиновідгодівельної ферми, який визначає ефективність роботи всього технологічного ланцюга годівлі.

Предметом дослідження є структура автоматизованого електрообладнання для дозування кормів у кормоцеху, а також параметри електротехнічних засобів керування, що забезпечують реалізацію заданих режимів роботи системи.

У бакалаврській кваліфікаційній роботі обґрунтовано вибір технологічного та електротехнічного обладнання кормоцеху свиновідгодівельної ферми, розглянуто питання електропостачання, експлуатації електрообладнання та охорони праці. Розроблено структуру та визначено параметри системи автоматизованого електрообладнання для дозування подрібнених соковитих кормів, а також наведено техніко-економічні показники ефективності впровадження запропонованої системи автоматизації.

					02.02.КР.2607”С”.25.10.30.007.ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВИРОБНИЧОГО ОБ'ЄКТА

Одним із сучасних напрямків розвитку кормоцехів є створення уніфікованих комплектів технологічного обладнання, які об'єднуються в потокові виробничі лінії з узгодженими параметрами продуктивності, енергоспоживання та ступеня автоматизації. Практика експлуатації таких рішень показала, що їх використання дозволяє суттєво знизити капітальні витрати на будівництво, спростити монтаж технологічного обладнання, а також підвищити зручність і надійність подальшої експлуатації. Додатково зменшуються витрати праці та ресурсів на приготування кормових сумішей за рахунок автоматизації та потокової організації процесу.

У зв'язку з цим системою машин для комплексної механізації сільськогосподарського виробництва передбачено широкий ряд комплектів обладнання для різних типів тваринницьких ферм, які відрізняються продуктивністю, структурою технологічних процесів та типами годівлі тварин. Це дозволяє адаптувати кормоприготувальні комплекси до конкретних умов господарства та забезпечити їх енергоефективну роботу.

Розглянутий комплект обладнання призначений для оснащення кормоцеху свиновідгодівельних ферм потужністю 2000 голів із концентратно-коренебульбоплідним типом годівлі, що забезпечує високу гнучкість у використанні різних видів кормової сировини та стабільність годівельного процесу.

Технологічна схема кормоцеху побудована за принципом поточкових виробничих ліній, що забезпечує безперервність і послідовність обробки кормів. У структурі комплексу передбачено лінії підготовки концентрованих кормів, коренебульбоплодів, зелених кормів та силосу, а також окремі вузли підготовки відвійок, змішування компонентів і вивантаження готової кормосуміші.

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.007.ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продуктивність кормоцеху становить 2–3 т/год, що відповідає потребам ферми заданої потужності. Встановлена потужність електродвигунів обладнання становить 52,7 кВт, що забезпечує достатній енергетичний резерв для стабільної роботи всіх технологічних ліній. Питомі витрати праці на приготування 1 т кормосуміші становлять 1,4 люд.-год, при цьому обслуговування кормоцеху здійснюється трьома працівниками.

Керування всіма технологічними процесами кормоцеху реалізується централізовано з єдиного пульта керування, що дозволяє забезпечити синхронізацію роботи обладнання та підвищити рівень автоматизації виробництва. Допоміжне обладнання монтується безпосередньо на місцях його експлуатації з урахуванням технологічної схеми та вимог до зручності обслуговування.

					02.02.КР.2607”С”.25.10.30.007.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

РОЗДІЛ 2

ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Технологія приготування кормів на свинофермі

Основними видами кормів на свиновідгодівельній фермі є коренебульбоплоди, харчові відходи, силос, трав'яне борошно, молоко, обрат, комбікорми та різноманітні вітамінні добавки. Приготування кормів здійснюється в кормоцеху, який забезпечує виконання повного технологічного циклу підготовки та обробки кормових компонентів.

У кормоцеху свиновідгодівельної ферми реалізуються такі основні технологічні операції:

- подача та первинна переробка коренебульбоплодів;
- подача та дозування концентрованих кормів;
- подрібнення зеленої маси;
- змішування компонентів та запарювання кормових сумішей;
- видача та транспортування готового корму до місць споживання.

Кормоцехи можуть бути як блоковані безпосередньо зі свинарниками, так і мати окремий транспортний зв'язок із виробничими приміщеннями ферми. До складу раціонів тварин входять сухі кормові суміші на основі концентратів і трав'яного борошна з додаванням допоміжних компонентів, подрібнені соковиті корми та силос, вологі багатокомпонентні суміші, а також варені кормові суміші на основі харчових відходів і концентрованих кормів.

Кормоцех може включати декілька технологічних схем приготування кормів залежно від раціону тварин і структури кормової бази господарства. Все технологічне обладнання об'єднується у потокові виробничі лінії, що забезпечує безперервність процесу приготування та роздачі кормів, а також підвищує рівень механізації та автоматизації виробництва.

Технологічний процес приготування кормових сумішей включає такі основні лінії:

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.007.ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. **Лінія зелених кормів і силосу:** зелені корми та силос проходять операції очищення, подрібнення, дозування та подальшого змішування з іншими компонентами раціону.
2. **Лінія коренебульбоплодів:** коренеплоди надходять у натуральному вигляді, після чого виконуються їх миття, подрібнення, дозування та змішування у загальній кормовій суміші.
3. **Лінія концентрованих кормів:** концентровані корми підлягають очищенню від домішок, дозуванню та подальшому змішуванню відповідно до заданого раціону.
4. **Лінія змішування і запарювання:** компоненти корму разом з відвійками надходять у змішувач, де відбувається їх інтенсивне перемішування та термічна обробка (запарювання) для підвищення засвоюваності.
5. **Лінія вивантаження готових кормів:** завершальна стадія технологічного процесу, на якій готова кормова суміш транспортується до вихідного вузла кормоцеху та вивантажується у транспортні засоби для подальшої доставки до місць годівлі.

Враховуючи раціон годівлі тварин (табл. 2.1) та технологічні вимоги до процесу приготування кормів, здійснюється вибір відповідного технологічного та електротехнічного обладнання кормоцеху.

Таблиця 2.1

Кількість кормів, необхідних для свиноферми

Поголів'я, голів	Концентровані корми	Коренебульбоплоди	Силос	Сіно бобових	Всього
На одну голову, кг	2,4	2,3	1,2	0,4	6,3
На 2000 голів, т	4,8	4,6	2,4	0,8	12,6

2.2 Обґрунтування та вибір технологічного обладнання кормоцеху свиноферми

Технологічне обладнання кормоцеху підбирається відповідно до встановленої продуктивності, кінематичних параметрів робочих органів (зокрема швидкості обертання механізмів), а також за номінальною встановленою потужністю електроприводів. Такий підхід забезпечує узгоджену роботу всіх елементів технологічної лінії, стабільність режимів обробки кормів і мінімізацію енерговитрат.

Обладнання кормоцеху скомпоноване за принципом потокових технологічних ліній, що забезпечує послідовне виконання всіх етапів приготування кормових сумішей без порушення технологічного циклу. У структурі кормоцеху передбачено лінії підготовки концентрованих кормів, коренебульбоплодів, зелених кормів і силосу, а також окремі технологічні вузли змішування компонентів і вивантаження готової кормової продукції.

Розрахунок продуктивності ліній кормоцеху виконують за формулою:

$$Q = \frac{W}{T\tau}, \quad (2.1)$$

де W – кількість кормів, яка підлягає переробці, кг; T – час роботи машини, год; τ – коефіцієнт використання змінного часу.

Лінія концентрованих кормів призначена для приймання, короткочасного зберігання та дозованої подачі концентрованих кормів у змішувач, де здійснюється формування однорідної кормової суміші відповідно до заданого раціону. Робота даної лінії забезпечує стабільність подачі сировини та точність дозування, що є важливим фактором для підтримання технологічної дисципліни кормоприготування.

Розрахункова продуктивність лінії концентрованих кормів визначається відповідно до потреб ферми, режиму роботи кормоцеху та узгоджується з продуктивністю змішувального обладнання, що забезпечує безперервність

					02.02.КР.2607”С”.25.10.30.007.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

технологічного процесу та виключає утворення “вузьких місць” у системі подачі кормів.

$$Q = \frac{2,4}{0,5 \cdot 1} = 4,8 \text{ т / год.}$$

с

Розрахункова продуктивність лінії підготовки коренебульбоплодів:

$$Q = \frac{2,3}{0,5 \cdot 1} = 4,6 \text{ т / год.}$$

Лінія концентрованих кормів складається з живильника ПК-6,0, який змонтовано нижче рівня землі в бетонному прямку об’ємом 15 м³, що забезпечує стабільне накопичення та рівномірну подачу кормової сировини. Подальше транспортування кормів здійснюється за допомогою завантажувального шнека ШЗС-40М, який подає концентровані корми безпосередньо до змішувача.

Дозування кормів у системі реалізується за рахунок регулювання часу роботи живильника ПК-6,0, що дозволяє забезпечити необхідну точність подачі та узгодженість із продуктивністю змішувального обладнання. Такий спосіб дозування є простим у реалізації та забезпечує достатню стабільність технологічного процесу приготування кормових сумішей.

Продуктивність лінії концентрованих кормів становить 5–6 т/год, що відповідає технологічним вимогам кормоцеху та забезпечує узгоджену роботу з іншими потоковими лініями підприємства.

Розрахункова продуктивність лінії підготовки зелених кормів:

$$Q = \frac{1,6}{0,5 \cdot 1} = 3,2 \text{ т / год.}$$

Зелені корми та силос попередньо підлягають механічному подрібненню на подрібнювачі кормів ИКВ-Ф-5А “Волгарь-5”, що забезпечує необхідну фракцію кормової маси для подальшого змішування та підвищення засвоюваності поживних речовин. Після подрібнення кормова маса транспортується

					02.02.КР.2607”С”.25.10.30.007.ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

скребковим транспортером ТС-40С, який забезпечує безперервну подачу сировини у завантажувальний шнек ШЗМ-40М.

Далі подрібнені зелені корми та силос надходять до змішувального обладнання, де відбувається їх дозування та формування однорідної кормової суміші відповідно до заданого раціону. Така схема забезпечує стабільність технологічного процесу та мінімізує втрати кормової сировини під час транспортування.

Продуктивність лінії становить 5–10 т/год, що дозволяє забезпечити необхідний рівень завантаження кормоцеху та узгоджену роботу з іншими технологічними лініями підприємства.

Розрахункова продуктивність лінії змішування:

$$Q = \frac{6,3}{1,25 \cdot 1} = 5 \text{ т/год.}$$

Корми змішуються у змішувачі С-12, який забезпечує інтенсивне перемішування компонентів до отримання однорідної кормової суміші. Усередині змішувача розміщено дві мішалки, що обертаються у взаємно протилежних напрямках, що підвищує якість перемішування та скорочує час приготування корму.

Завантаження попередньо підготовлених кормів здійснюється завантажувальним шнеком ШЗМ-40М через завантажувальну горловину, обладнану шиберною заслінкою для регулювання потоку сировини. Подавання пари в змішувач здійснюється через систему трубопроводів, розміщених у нижній частині корпусу, що забезпечує термічну обробку кормової маси та підвищення її засвоюваності. Подача води реалізується через окрему трубу у верхній частині корпусу змішувача, що дозволяє регулювати вологість кормової суміші.

Відвійки подаються до змішувача відцентровим насосом К20/30 із резервуара для молока РМЦВ-2, що забезпечує стабільність подачі рідких компонентів та точність рецептури. Вивантаження готового корму здійснюється за допомогою вивантажувального шнека, розміщеного в нижній частині корпусу

					02.02.КР.2607”С”.25.10.30.007.ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

між лопатями змішувального механізму. Вивантажувальний шнек заблокований із механізмом заслінки та вмикається лише після повного відкривання вивантажувальної горловини, що підвищує безпеку роботи обладнання.

Продуктивність змішувача становить 5 т/год, що забезпечує узгоджену роботу з іншими технологічними лініями кормоцеху.

Розрахункова продуктивність лінії вивантажування готових кормів:

$$Q = \frac{6,3}{0,5 \cdot 1} = 12,6 \text{ т / год.}$$

Лінія вивантажування готових кормів включає в себе вивантажувальний шнек ШВС-40М та скребковий транспортер ТС-40М, які забезпечують безперервне транспортування готової кормової суміші до місць її подальшого використання або завантаження у транспортні засоби. Така схема дозволяє підтримувати стабільну продуктивність технологічного процесу та мінімізує простої обладнання кормоцеху.

Взаємодія шнекового та скребкового транспортерів забезпечує рівномірну подачу готового продукту та виключає його накопичення у проміжних вузлах системи. Це підвищує надійність роботи лінії та забезпечує узгодження з продуктивністю змішувального обладнання.

Продуктивність лінії вивантажування становить 10–40 т/год, що дозволяє ефективно обслуговувати технологічний цикл кормоцеху та забезпечує оперативне виведення готової продукції.

Технологічна схема кормоцеху наведена на аркуші 1.

Перелік машин та обладнання кормоцеху подані в табл. 2.2.

					02.02.КР.2607”С”.25.10.30.007.ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перелік технологічного обладнання кормоцеху

№ п/п	Найменування	Марка	Кіль- кість, шт	Потуж- ність, кВт	Технічна характеристика
1	Подрібнювач коренебульбоплодів	ИКС-5М	1	7,5 1,5	продуктивність 10 т /год
2	Транспортер коренебульбоплодів	ТК-5Б	1	1,5 1,5	продуктивність 5 т /год
3	Живильник концкормів	ПК-6,0	1	1,1 1,5	продуктивність 6 т /год
4	Вивантажувальний шнек	ШВС-40М	1	1,5	продуктивність 40 т /год
5	Транспортер скребковий	ТС-40М	1	3,0	продуктивність 40 т /год
6	Завантажувальний шнек	ШЗС-40М	1	1,5	продуктивн. 40 т /год
7	Насос відцентровий молочний	36МЦ-10-20	1	1,5	продуктивність 10 л/год.; напір 20 м
8	Молочний резервуар	РМВЦ-2	1		ємкість 2000 л
9	Змішувач кормів	С-12	1	15,0	продуктивність 5 т /год
10	Подрібнювач кормів	ИКВ-Ф-5А “Волгарь-5”	1	22,0	продуктивність 3-5 т /год
11	Транспортер скребковий	ТС-40С	1	2,2	продуктивність 40 т /год
12	Насос відцентровий	К20/30	1	4,0	продуктивність 20 м ³ /год; напір 30м
13	Кран підвісний одноблоковий	КБМД1-6	1		В.п. 1т L=6000

2.3 Розрахунок водопостачання кормоцеху

Для напування тварин, залежно від їх виду та вікових особливостей, використовується питна вода з температурою в межах 8–25 °С, що забезпечує фізіологічно комфортні умови споживання та сприяє нормальному водно-сольовому обміну. Вода повинна бути без стороннього

					02.02.КР.2607”С”.25.10.30.007.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

запаху, присмаку та забарвлення, що є обов'язковою умовою для підтримання санітарно-гігієнічних вимог у тваринницьких приміщеннях.

Крім того, показник забрудненості води, який характеризується вмістом органічних та мінеральних домішок, не повинен перевищувати 2 мл/л. Дотримання зазначених параметрів є необхідним для забезпечення нормальної життєдіяльності тварин, підвищення їх продуктивності та запобігання виникненню захворювань, пов'язаних із неякісним водопостачанням.

Таблиця 2.3

Норми витрати води в кормоцеху

Види витрат	Кількість води, л/кг
Запарювання 1 кг концентрованих кормів	0,24...0,3
Запарювання 1кг коренебульбоплодів	0,18
Попереднє змочування 1кг концентрованих кормів	0,2...0,4
Мийка 1 кг коренебульбоплодів	0,8...1
Миття машин (на 1 машину за зміну)	40...50
Миття підлоги в кормоцеху (на 1 м ²)	3...5

Середньодобове споживання води в кормоцеху $Q_{сер.д}$, м³, визначають за формулою:

$$Q_{сер.д} = \sum n \cdot q, \quad (2.2)$$

де n – кількість корму, кг.; q – добові норми споживання води, м³/кг;

$$Q_{сер.д} = 4800 \cdot 0,25 + 4600 \cdot 0,18 + 4800 \cdot 0,3 + \\ + 4600 \cdot 0,8 + 9 \cdot 40 + 200 \cdot 3 = 8,1 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

Максимальні витрати води за годину розраховують за формулою:

$$Q_{год, \max} = \frac{Q_{сер.д} \cdot \alpha_d \cdot \alpha_z}{24}, \quad (2.3)$$

де α_d і α_z - коефіцієнти добової і годинної нерівномірності споживання води, $\alpha_d = 1,3$; $\alpha_z = 2,5$.

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.007.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Для свинарника-відгодівельника з кормоцехом

$$Q_{\text{год. max}} = \frac{(30 + 8,1) \cdot 1,3 \cdot 2,5}{24} = 5,16 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Секундні витрати води:

$$Q_{\text{с. max}} = \frac{Q_{\text{год. max}}}{3600} = \frac{5,16}{3600} = 0,00143 \text{ м}^3/\text{с} = 1,43 \text{ л/с.} \quad (2.4)$$

За розрахунковими витратами води для системи водопостачання приймається діаметр трубопроводу 50 мм, що забезпечує необхідну пропускну здатність при заданих режимах роботи. Вибраний діаметр узгоджується з гідравлічними характеристиками системи та дозволяє підтримувати стабільну подачу води до споживачів без значних втрат напору.

Швидкість руху води в трубопроводі приймається на рівні 0,5 м/с, що відповідає рекомендованим значенням для подібних систем водопостачання та забезпечує мінімізацію гідравлічних втрат, зменшення ризику гідроударів і підвищення надійності експлуатації трубопровідної мережі.

Розрахунковий об'єм бака водонапірної башти $V_{\text{б.р}}$ визначаємо за формулою:

$$V_{\text{б.р}} = V_{\text{рег}} + V_{\text{пож}} + V_{\text{ав}}, \text{ м}^3, \quad (2.5)$$

де $V_{\text{рег}}$ – регульований запас води у баці водонапірної башти, м^3 ; $V_{\text{пож}}$ – протипожежний запас води, м^3 ; $V_{\text{ав}}$ – аварійний запас води, м^3 .

Регульований об'єм води в башті автоматизованої водокачки орієнтовно можна визначити за формулою:

$$V_{\text{рег}} = \frac{Q_{\text{доб.сер}} \cdot \alpha_{\text{доб}} \cdot \alpha_{\text{год}}}{n} \cdot 0,01, \text{ м}^3, \quad (2.6)$$

де n – кількість вмикань насоса за 1 год (приймають до 6), приймаємо $n=5$.

Тоді:

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.007.ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$V_{рег} = \frac{38,1 \cdot 1,3 \cdot 2,5 \cdot 0,01}{5} = 0,25 \text{ м}^3.$$

Протипожежний запас води визначається за формулою:

$$V_{пож} = 3,6 \cdot Q_{пож} \cdot n_{пож} \cdot t_{пож}, \text{ м}^3; \quad (2.7)$$

де $Q_{пож}$ – витрати води на гасіння однієї пожежі, $Q_{пож} = 10$ л/с [28]; $n_{пож}$ – розрахункова кількість пожеж, $n_{пож} = 1$; $t_{пож}$ – тривалість гасіння пожежі, год; $t_{пож} = 1/6$ год.

Визначаємо протипожежний запас води:

$$V_{пож} = 3,6 \cdot 10 \cdot 1 \cdot (1/6) = 6 \text{ м}^3.$$

Максимальний нормативний строк відновлення протипожежного запасу води на сільськогосподарських підприємствах не повинен перевищувати 72 години. Дотримання цього вимогового інтервалу є необхідним для забезпечення безперебійної готовності системи протипожежного водопостачання та підтримання необхідного рівня пожежної безпеки на об'єкті.

Встановлений термін відновлення запасу води враховує продуктивність джерел водопостачання, потужність насосного обладнання та можливості водопровідної мережі, що дозволяє гарантувати своєчасне поповнення резерву у разі його використання.

Аварійний запас води визначається за формулою:

$$V_{ав} = Q_{зод. max} \cdot t_{ав}, \text{ м}^3 \quad (2.8)$$

де $t_{ав}$ – час, необхідний для усунення можливої аварії, $t_{ав} = 2$ год.

Тоді:

$$V_{ав} = 5,16 \cdot 2 = 10,32 \text{ м}^3.$$

Визначаємо розрахунковий об'єм бака водонапірної башти:

$$V_{б.р} = 0,25 + 6 + 10,32 = 16,5 \text{ м}^3.$$

Розрахункові витрати води на окремих ділянках водопроводу визначаємо за формулою:

$$Q_p = Q_v + Q_{тр} + Q_{пож}, \text{ л/с}, \quad (2.9)$$

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.007.ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де Q_{ϵ} – зосереджене, максимальне середнє споживання води у вузлі, який живеться від даної ділянки водопроводу, $Q_{\epsilon} = 0 \text{ м}^3/\text{с}$; $Q_{\text{тр}}$ – транзитна витрата води, $Q_{\text{тр}} = 0,00143 \text{ м}^3/\text{с}$; $Q_{\text{пож}}$ – протипожежна витрата води, $Q_{\text{пож}} = 0,005 \text{ м}^3/\text{с}$.

Визначаємо розрахункові витрати води:

$$Q_p = 0,00143 + 0,005 = 0,00643 \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = 6,43 \text{ л/с}.$$

За розрахунковими витратами води вибираємо трубу діаметром $d = 100 \text{ мм}$, швидкість води в трубі $v = 0,7 \text{ м/с}$.

Витрати напору на подолання тертя вздовж трубопроводу знаходять за формулою:

$$h_m = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}, \text{ м}, \quad (2.10)$$

де λ – коефіцієнт гідравлічного опору, $\lambda = 0,024$ [28]; l – довжина труби, $l = 300 \text{ м}$; d – діаметр труби, $d = 0,1 \text{ м}$; v – швидкість руху води в трубі, $v = 0,7 \text{ м/с}$; g – прискорення вільного падіння, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

Тоді втрати напору складають:

$$h_m = 0,024 \cdot \frac{300}{0,1} \cdot \frac{0,7^2}{2 \cdot 9,81} = 1,79 \text{ м}.$$

Втрати напору в місцевих опорах приймаємо приблизно 5 % від втрат за довжиною труби, тобто:

$$h_{\text{м}} = 0,05 \cdot h_m = 0,05 \cdot 1,79 = 0,089 \text{ м}. \quad (2.11)$$

Розрахункову висоту водонапірної башти (від підніжжя до дна бака) $H_{\text{б.р}}$ визначаємо за формулою:

$$H_{\text{б.р}} = H_{\epsilon} + h_m + h_{\text{м}} + (z_{\text{д}} - z_{\text{б}}), \text{ м}, \quad (2.12)$$

де H_{ϵ} – необхідний вільний напір вихідного струменя розрахункового водозабору, $H_{\epsilon} = 10 \text{ м}$; $z_{\text{д}}$, $z_{\text{б}}$ – геодезичні відмітки землі відповідно біля даної точки та підніжжя башти, $z_{\text{д}} = 3 \text{ м}$, $z_{\text{б}} = 4 \text{ м}$.

Звідси визначимо розрахункову висоту:

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.007.ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$H_{\delta,p} = 10 + 1,79 + 0,089 + (3 - 4) = 11,87 \text{ м.}$$

За розрахунковим об'ємом бака та визначеною розрахунковою висотою водонапірної башти здійснюється вибір стандартної сталеві водонапірної башти типу БР-25 (ТП 901-5-29), яка відповідає вимогам щодо забезпечення необхідного запасу води та стабільного тиску у системі водопостачання сільськогосподарського об'єкта.

Прийнята конструкція башти забезпечує необхідні гідравлічні параметри системи та гарантує надійну роботу водопровідної мережі в умовах пікових навантажень.

Технічні характеристики вибраної водонапірної башти:

- ємність бака $V_{\delta} = 16 \text{ м}^3$;
- висота ствола $H_{\delta} = 15 \text{ м}$;
- діаметр бака $D_{\delta} = 3 \text{ м}$;
- діаметр ствола $D_{ст.} = 1,2 \text{ м}$.

Висоту рівня води в баці із плоским дном визначаємо за формулою:

$$H_{\delta,k} = \frac{V_{\delta,p} \cdot 4}{\pi \cdot D_{\delta}^2} = \frac{16 \cdot 4}{3,14 \cdot 3^2} = 2,26 \text{ м,} \quad (2.13)$$

де D_{δ} – діаметр бака, $D_{\delta} = 3 \text{ м}$.

Розрахунковий діаметр нагнітальної труби визначаємо за формулою:

$$d_p = 1,3 \cdot \sqrt{\frac{Q_{\max,сек}}{v_{рек}}}, \text{ мм,} \quad (2.14)$$

де $v_{рек}$ – рекомендована СНиП швидкість руху води в трубі,
 $v_{рек} = 1,5 \text{ м/с}$ [82].

Звідси розрахунковий діаметр складе:

$$d_p = 1,3 \cdot \sqrt{\frac{0,00143}{1,5}} = 40 \text{ мм}$$

Приймається трубопровід діаметром $d = 50 \text{ мм}$, що забезпечує необхідну пропускну здатність системи водопостачання відповідно до розрахункових витрат. Вибраний діаметр дозволяє підтримувати стабільний гідравлічний

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.007.ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

режим роботи мережі та забезпечує раціональні втрати напору на всіх ділянках трубопроводу.

Швидкість руху води в трубі визначається розрахунковим шляхом за відповідною гідравлічною формулою, що дозволяє оцінити відповідність прийнятого діаметра умовам ефективної та безпечної експлуатації системи водопостачання.

$$v = \frac{4 \cdot Q_{\max.сек}}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 0,00143}{3,14 \cdot 0,05^2} = 0,73 \text{ м/с.} \quad (2.15)$$

Втрати напору по довжині труби:

$$h_m = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} = 0,024 \cdot \frac{50}{0,050} \cdot \frac{0,73^2}{2 \cdot 9,81} = 2,53 \text{ м.}$$

Втрати напору в місцевих з'єднаннях визначаємо за формулою:

$$h_m = \varepsilon \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \text{ м,} \quad (2.16)$$

де ε - коефіцієнт місцевого опору. На трубі встановлено дві відкритих засувки $\varepsilon = 0,1$ і зворотній клапан $\varepsilon = 10$. Крім цього труба має два плавним вигини під прямим кутом $\varepsilon_{90^\circ} = 0,14$.

Звідси втрати напору:

$$h_m = 0,1 \cdot 2 \cdot \frac{0,73^2}{2 \cdot 9,81} + 10 \cdot \frac{0,73^2}{2 \cdot 9,81} + 2 \cdot 0,14 \cdot \frac{0,73^2}{2 \cdot 9,81} = 0,28 \text{ м.}$$

Розрахунковий опір насоса визначаємо за формулою:

$$H_p = (z_{\delta} - z_{\varepsilon}) + H_{\delta} + H_{\delta\kappa} + h_m + h_{\text{м}}, \text{ м,} \quad (2.17)$$

де $(z_{\delta} - z_{\varepsilon})$ – різниця геодезичних відміток землі біля водонапірної башти і мінімального рівня води в джерелі, $(z_{\delta} - z_{\varepsilon}) = 60 \text{ м.}$

Тоді розрахунковий напір насоса складає:

$$H_p = 60 + 15 + 2,26 + 2,53 + 0,28 = 80,1 \text{ м.}$$

За максимальними годинними витратами води $Q_{год.мах} = 5,16 \text{ м}^3/\text{год}$ та розрахунковим напором $H_p = 80,1 \text{ м}$ виконується вибір заглибного насоса типу

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.007.ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4ЭЦВ 6-6,3-85. Даний насос забезпечує необхідні гідравлічні параметри системи водопостачання та відповідає умовам стабільної роботи при заданих витратах і напорі.

Прийнятий насос має номінальну подачу $Q_{нас} = 6,3 \text{ м}^3/\text{год}$ та номінальний напір $H_{нас} = 85 \text{ м}$, що забезпечує необхідний експлуатаційний запас по продуктивності та тиску, а також підвищує надійність роботи системи в умовах можливих коливань навантаження.

Потужність електродвигуна, необхідна для приводу насоса, визначається аналітично за відповідною розрахунковою формулою, що враховує витрати води, напір, ККД насосного агрегату та інші гідравлічні параметри системи.

$$P = \frac{Q_n \cdot \rho \cdot H_n \cdot k_z \cdot 10^{-3}}{3600 \cdot \eta_n \cdot \eta_{\eta}}, \text{ кВт}, \quad (2.18)$$

де ρ - густина рідини, що подається, кг/м^3 ; k_z – коефіцієнт запасу за потужністю, $k_z = 1,3$; η_n – коефіцієнт корисної дії насоса, $\eta_n = 0,71$; η_{η} – коефіцієнт корисної дії передачі, $\eta_{\eta} = 1,0$.

Потужність електродвигуна насоса:

$$P = \frac{6,3 \cdot 10^3 \cdot 9,81 \cdot 85 \cdot 1,3 \cdot 10^{-3}}{3600 \cdot 0,71 \cdot 1} = 2,67 \text{ кВт}.$$

В якості привідного електродвигуна приймається електродвигун типу 7ПЭДВ–2,8-140 потужністю 2,8 кВт [3], який забезпечує необхідні енергетичні параметри для роботи заглибного насосного агрегату. Номінальна частота обертання вала становить 2850 об/хв, що відповідає режиму роботи насосного обладнання, а номінальний струм електродвигуна дорівнює $I_n = 6,9 \text{ А}$.

Для забезпечення місцевого, автоматичного та дистанційного керування, а також захисту заглибних електронасосних агрегатів потужністю від 1 до 65 кВт застосовуються комплектні пристрої серії “Каскад”. Використання таких систем дозволяє забезпечити надійну автоматизацію процесів запуску, зупинки та захисту електродвигуна від аварійних режимів роботи.

Для керування вибраним електронасосним агрегатом приймається комплектний пристрій “Каскад” 2,8-0-У2 у комплекті з ящиком керування типу

					02.02.КР.2607”С”.25.10.30.007.ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЯГ-5102-217Б1У2, розрахованим на номінальний струм 7 А, що забезпечує узгоджену роботу системи керування та електроприводу.

2.4 Розрахунок вентиляції

Для забезпечення нормативних параметрів якості повітря (мікроклімату) у промислових сільськогосподарських приміщеннях необхідною умовою є організація систематичного повітрообміну за допомогою вентиляційного обладнання. Це дозволяє підтримувати стабільні санітарно-гігієнічні умови праці та забезпечує нормальне функціонування технологічного обладнання.

До основних параметрів мікроклімату відносять температуру повітря, відносну вологість, газовий склад, рівень механічної та бактеріальної забрудненості, а також швидкість і напрямки повітряних потоків. Сукупність цих показників визначає загальні умови праці та впливає на ефективність технологічних процесів у кормоцеху.

Для вентиляції виробничих приміщень кормоцехів, як правило, застосовують осьові вентилятори, що характеризуються простою конструкцією, високою надійністю та можливістю роботи у тривалому режимі при відносно постійному навантаженні.

Проведемо розрахунок системи вентиляції для основного виробничого приміщення, в якому розміщене технологічне обладнання кормоцеху, з урахуванням необхідного повітрообміну та вимог до підтримання нормативних параметрів мікроклімату.

Визначимо необхідний повітрообмін у приміщенні за кратністю повітрообміну:

$$L_p = K \cdot V, \quad (2.19)$$

де K - кратність повітрообміну; L_p – необхідний повітрообмін, $\text{м}^3 / \text{год.}$; V - об'єм приміщення, м^3 :

$$V = A \cdot B \cdot H, \text{ м}^3, \quad (2.20)$$

де $A = 20 \text{ м}$; $B = 10 \text{ м}$; $H = 3,5 \text{ м}$.

$$V = 20 \cdot 10 \cdot 3,5 = 700 \text{ м}^3.$$

					02.02.КР.2607”С”.25.10.30.007.ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оскільки у кормоцеху люди працюють не постійно, то приймаємо

$$K=3 \text{ 1/год.}$$

Тоді

$$L_p = 3 \cdot 700 = 2100 \text{ м}^3/\text{год.}$$

За розрахунковим повітрообміном вибираємо вентилятор типу В-06-300-4А:

$$L_v = 2700 \text{ м}^3/\text{год.} \geq L_p = 2100 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Вентилятор В-06-300-4А має наступні технічні характеристики, які визначають його придатність для використання в системі вентиляції виробничих приміщень кормоцеху. Номінальна продуктивність вентилятора становить $L_v = 2700 \text{ м}^3/\text{год}$, що забезпечує необхідний повітрообмін у заданому об'ємі приміщення та підтримання нормативних параметрів мікроклімату.

Номінальний тиск (напір) вентилятора становить $H = 72 \text{ Па}$, що дозволяє ефективно подолати аеродинамічний опір вентиляційної системи, включаючи повітроводи та місцеві опори. Коефіцієнт корисної дії вентилятора дорівнює $\eta_v = 0,68$, що відповідає типовим значенням для осьових вентиляторів даного класу і забезпечує достатній рівень енергоефективності при тривалій експлуатації.

Визначаємо потужність вентилятора за формулою:

$$P_v = \frac{LH}{1000\eta_v}, \quad (2.21)$$

де L - продуктивність (подача) вентилятора, $\text{м}^3/\text{с}$; H – тиск, Па .

$$P_v = \frac{2700 \cdot 72}{3600 \cdot 1000 \cdot 0,68} = 0,079 \text{ кВт.}$$

Визначимо потужність електродвигуна для приводу вентилятора:

$$P_{\text{дв.розр}} = \frac{K_z P_v}{\eta_{\text{пер}} 1}, \text{ кВт;} \quad (2.22)$$

					02.02.КР.2607”С”.25.10.30.007.ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де K_3 – коефіцієнт запасу, який залежить від типу і потужності вентилятора, $K_3 = 1,2$ – для осьових вентиляторів з потужністю до 0,5 кВт; $\eta_{пер}$ – ККД передачі.

Для прямої передачі $\eta_{пер} = 1$. Тоді

$$P_{\text{дв.р.}} = \frac{1,2 \cdot 0,079}{1} = 0,0948 \text{ кВт.}$$

Електродвигун для привода вентилятора вибирають за умовою:

$$P_{\text{дв.р.}} \geq P_{\text{дв.р.}} \quad 0,12 \text{ кВт} \geq 0,0948 \text{ кВт.}$$

В якості привідного електродвигуна приймається електродвигун типу АИР56А4У2, який характеризується такими технічними параметрами та забезпечує стабільну роботу вентиляційного обладнання в заданому режимі експлуатації. Номінальна потужність електродвигуна становить $P_n = 0,12$ кВт, що відповідає розрахунковим навантаженням вентиляційної системи.

Частота обертання вала двигуна становить 1350 об/хв, що забезпечує необхідні аеродинамічні характеристики вентилятора та узгодженість роботи привідної системи. Номінальний струм електродвигуна дорівнює $I_n = 0,44$ А. Коефіцієнт корисної дії становить $\eta = 63$ %, а коефіцієнт потужності $\cos \varphi = 0,66$, що є типовими показниками для електродвигунів даного класу малої потужності.

					02.02.КР.2607”С”.25.10.30.007.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

РОЗДІЛ 3

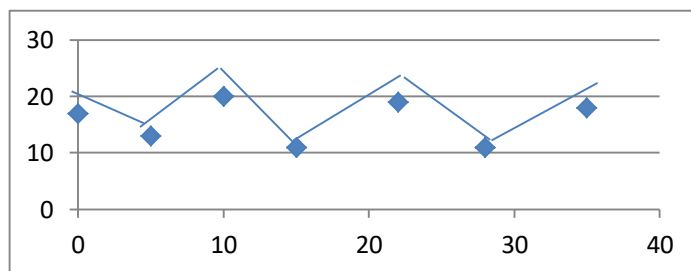
ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Обґрунтування та вибір силового електрообладнання для технологічних процесів

Розрахунок електропривода робочої машини виконується для подрібнювача соковитих кормів типу ИКС-5М, який є одним із основних елементів технологічної лінії підготовки кормів у кормоцеху. Дане обладнання характеризується змінним навантаженням, що обумовлює необхідність ретельного вибору електродвигуна з урахуванням режимів роботи.

Визначення потужності електродвигуна виконується методом еквівалентних струмів із використанням навантажувальної діаграми, наведеної на рис. 3.1. Такий підхід дозволяє врахувати нерівномірність навантаження робочого органа подрібнювача, а також забезпечити коректний перерахунок теплового навантаження електродвигуна для різних режимів його роботи.

I, А



t, c

Рис.3.1. Навантажувальна діаграма електродвигуна подрібнювача

Двигун вибираємо за умовою:

$$I_{н.дв.} \geq I_e, \quad (3.1)$$

де I_e - еквівалентний струм двигуна.

Для визначення еквівалентного струму реальна навантажувальна діаграма електропривода подрібнювача кормів апроксимується набором ділянок трапецієподібної форми, що дозволяє спростити розрахунок при збереженні

достатньої точності результатів. Для кожної з виділених трапецій визначається еквівалентне значення струму відповідно до прийнятої методики розрахунку.

Такий підхід забезпечує врахування змінного характеру навантаження робочого органа машини, дозволяє коректно оцінити тепловий режим роботи електродвигуна та є доцільним при проектуванні електроприводів з нерівномірним циклічним навантаженням.

$$I_{екв} = \sqrt{\frac{I_1^2 + I_1 I_2 + I_2^2}{3}}. \quad (3.2)$$

Розраховуємо еквівалентну потужність для кожної ділянки:

$$I_{екв1} = \sqrt{\frac{17^2 + 17 \cdot 12 + 12^2}{3}} = 14,6 \text{ А}; \quad I_{екв2} = \sqrt{\frac{12^2 + 12 \cdot 20 + 20^2}{3}} = 16,1 \text{ А};$$

$$I_{екв3} = \sqrt{\frac{20^2 + 20 \cdot 11 + 11^2}{3}} = 15,7 \text{ А}; \quad I_{екв4} = \sqrt{\frac{11^2 + 11 \cdot 19 + 19^2}{3}} = 15,1 \text{ А};$$

$$I_{екв5} = \sqrt{\frac{19^2 + 19 \cdot 11 + 11^2}{3}} = 15,2 \text{ А}; \quad I_{екв6} = \sqrt{\frac{11^2 + 11 \cdot 18 + 18^2}{3}} = 14,6 \text{ А}.$$

Визначаємо загальну еквівалентну потужність за такою формулою:

$$I_{екв} = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \dots + I_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}, \quad (3.3)$$

де I_1 – струм на першій, I_2 – другій, I_n – n -ній ділянці навантажувальної діаграми, А; t_1 – тривалість першого, t_2 – другого, t_n – n -ого інтервалу.

$$I_{екв} = \sqrt{\frac{14,6^2 + 16,1^2 + 15,7^2 + 15,1^2 + 15,2^2 + 14,6^2}{35}} = 15,1 \text{ А}.$$

В якості приводного електродвигуна приймається електродвигун типу АИР132S4У2 [18], який забезпечує необхідні енергетичні та механічні характеристики для стабільної роботи електропривода подрібнювача соковитих кормів у заданих режимах навантаження. Вибір даного типу двигуна обґрунтований відповідністю його параметрів розрахунковим умовам роботи робочої машини та забезпеченням необхідного запасу за навантажувальною здатністю.

Номінальний струм електродвигуна становить 15,1 А, що відповідає розрахунковим значенням струмового навантаження привода. Номінальна

					02.02.КР.2607”С”.25.10.30.007.ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

частота обертання вала дорівнює 1440 об/хв, що забезпечує узгоджену роботу з механічною характеристикою подрібнювача та необхідну продуктивність технологічного процесу.

Паспортні дані електродвигуна:

$$P_n = 7,5 \text{ кВт}; \quad \eta = 87,5\%; \quad \cos\varphi = 0,86;$$

$$\frac{M_{\text{пуск}}}{M_n} = 2; \quad \frac{M_{\text{мін}}}{M_n} = 1,6; \quad \frac{M_{\text{мах}}}{M_n} = 2,2; \quad \frac{I_{\text{пуск}}}{I_n} = 7,0;$$

$$\text{момент інерції ротора} - 0,028 \text{ кг}\cdot\text{м}^2.$$

Побудову механічної характеристики асинхронного двигуна виконуємо за п'ятьма характерними точками:

- 1) $S=0$, $M=0$;
- 2) Номінальне ковзання двигуна:

$$S_n = \frac{n_o - n_n}{n_o}, \quad (3.4)$$

де n_o – синхронна частота обертання (об/хв); n_n – номінальна частота (об/хв);

$$S_n = \frac{n_o - n_n}{n_o} = \frac{1500 - 1440}{1500} = 0,04.$$

Номінальний момент двигуна:

$$M_n = 9550 \frac{P_n}{n_n}, \quad (3.5)$$

де P_n – номінальна потужність (кВт).

$$M_n = 9550 \frac{7,5}{1440} = 49,74 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

- 3) Критичне ковзання двигуна:

$$S_k = \frac{S_n + \sqrt{S_n \frac{\mu_k - 1}{\mu_1 - 1}}}{1 + \sqrt{S_n \frac{\mu_k - 1}{\mu_1 - 1}}}, \quad (3.6)$$

де μ_{II} - кратність пускового моменту двигуна; $\mu_1 = \frac{\mu_k}{\mu_{II}} = \frac{2,2}{2,0} = 1,1$.

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.007.ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$S_k = \frac{0,04 + \sqrt{0,04 \frac{2,2-1}{1,1-1}}}{1 + \sqrt{0,04 \frac{2,2-1}{1,1-1}}} = 0,43 \cdot$$

Максимальний момент двигуна:

$$M_k = \mu_k \cdot M_n = 2,2 \cdot 49,74 = 109,43 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

4) $S_{\min}=0,8$.

Мінімальний момент двигуна

$$M_{\min} = \mu_{\min} \cdot M_n = 1,6 \cdot 49,74 = 79,58 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

5) Пуск двигуна: $S_{\pi}=1,0$.

Пусковий момент двигуна

$$M_{\pi} = \mu_{\pi} \cdot M_n = 2,0 \cdot 49,74 = 99,48 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Побудова механічної характеристики з урахуванням допустимих відхилень моментів:

1) $S=0$; $M'=0 \text{ Н}\cdot\text{м}$

2) S_H ; $M'_H=M_H=49,74 \text{ Н}\cdot\text{м}$

3) S_K ; $M'_K=0,9 \cdot M_K=98,49 \text{ Н}\cdot\text{м}$

4) $S_{\min}$; $M'_{\min}=0,8 \cdot M_{\min}=0,8 \cdot 79,58=63,66 \text{ Н}\cdot\text{м}$

5) S_{π} ; $M'_{\pi}=0,85 \cdot M_{\pi}=0,85 \cdot 99,48=84,56 \text{ Н}\cdot\text{м}$

Побудова механічної характеристики з урахуванням допустимого відхилення напруги на -5% :

1) $S=0$; $M''=0 \text{ Н}\cdot\text{м}$

2) S_H ; $M''_H = 0,95^2 \cdot M'_H = 0,95^2 \cdot 49,74 = 44,89 \text{ Н}\cdot\text{м}$

3) S_K ; $M''_K = 0,95^2 \cdot M'_K = 0,95^2 \cdot 98,49 = 89,79 \text{ Н}\cdot\text{м}$

4) $S_{\min}$; $M''_{\min} = 0,95^2 \cdot M'_{\min} = 0,95^2 \cdot 63,66 = 57,45 \text{ Н}\cdot\text{м}$

5) S_{π} ; $M''_{\pi} = 0,95^2 \cdot M'_{\pi} = 0,95^2 \cdot 84,56 = 76,31 \text{ Н}\cdot\text{м}$

Час пуску електропривода визначається графоаналітичним методом, який передбачає побудову та подальший аналіз механічних характеристик як електродвигуна, так і робочої машини. Такий підхід дозволяє врахувати

					02.02.КР.2607''С''.25.10.30.007.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

динамічні процеси під час розгону привода та забезпечити коректну оцінку перехідних режимів роботи електропривода.

Для побудови механічної характеристики електродвигуна за ковзанням визначається його кутова швидкість, що є базовим параметром для подальших розрахунків і дозволяє встановити залежність між електромагнітним моментом і швидкістю обертання вала двигуна. Отримані дані використовуються для подальшого зіставлення з характеристикою робочої машини та визначення часу пуску електропривода.

$$\omega = \omega_0(1 - S). \quad (3.7)$$

Синхронна кутова швидкість:

$$\omega_0 = \frac{\pi n_0}{30} = \frac{3,14 \cdot 1500}{30} = 157 \text{ c}^{-1}.$$

$$M''=0 \text{ Н}\cdot\text{м}, \quad \omega_1 = 157 \text{ c}^{-1};$$

$$M''=44,89 \text{ Н}\cdot\text{м}, \quad \omega_2 = 157 \cdot (1 - 0,04) = 150,7 \text{ c}^{-1};$$

$$M''=89,79 \text{ Н}\cdot\text{м}, \quad \omega_3 = 157 \cdot (1 - 0,43) = 89,5 \text{ c}^{-1};$$

$$M''=57,45 \text{ Н}\cdot\text{м}, \quad \omega_4 = 157 \cdot (1 - 0,8) = 31,4 \text{ c}^{-1};$$

$$M''=76,31 \text{ Н}\cdot\text{м}, \quad \omega_5 = 0 \text{ c}^{-1}.$$

Механічна характеристика робочої машини розраховується за формулою:

$$M_c = M_0 + (M_{сн} - M_0) \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^x, \quad (3.8)$$

де M_c - момент статичних опорів при заданій кутовій швидкості, Н·м; M_0 - початковий момент, Н·м; $M_0=2,94\text{Н}\cdot\text{м}$; $M_{сн}$ - момент статичних опорів при номінальній кутовій швидкості, Н·м; $M_{сн}=7,8 \text{ Н}\cdot\text{м}$; x - показник степеня, який характеризує зміну моменту опору при зміні частоти обертання; $x=2$; ω і ω_n – задане і номінальне значення кутової швидкості, c^{-1} ;

$$\omega_n = \pi \cdot n_n / 30, \quad (3.9)$$

де n_n – номінальна частота обертання, об/хв; $n_n=1450 \text{ об/хв}$;

$$\omega_n = 3,14 \cdot 1450 / 30 = 151,7 \text{ c}^{-1}.$$

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.007.ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Задаючись кутовою швидкістю ω , розраховуємо за формулою момент статичних опорів. Розрахунки виконуємо в табличній формі. Дані розрахунків заносимо в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Дані розрахунків механічної характеристики подрібнювача соковитих кормів ИКС-5М

$\omega, \text{с}^{-1}$	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
$M_c, \text{Н}\cdot\text{м}$	2,94	2,98	3,13	3,36	3,7	4,12	4,65	5,26	5,98	6,78	7,69

На основі розрахункових даних будуємо механічну характеристику робочої машини $M_c=f(\omega)$, яка зображена на рис. 3.2.

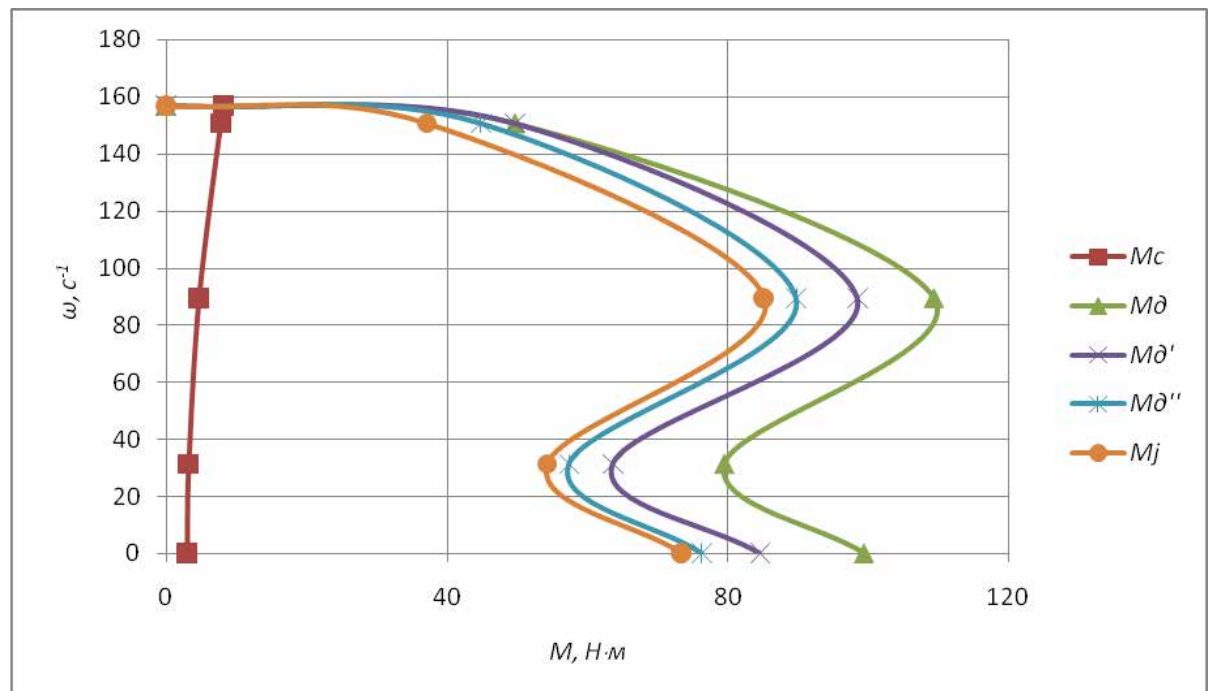


Рис. 3.2. Визначення часу пуску електропривода подрібнювача соковитих кормів ИКС-5М

Зведений момент інерції привода розраховується за формулою:

$$J_{зв} = J_p + J_{pm}, \quad (3.10)$$

де J_p - момент інерції ротора двигуна, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$; $J_p=0,028 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$; J_{pm} - момент інерції робочої машини, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$; $J_{pm}=3,1 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$;

$$J_{зв}=0,028+3,1=3,13 \text{ кг}\cdot\text{м}^2.$$

Для визначення часу пуску розраховують приріст часу:

$$\Delta t_i = \frac{J_{36} \Delta \omega_i}{M_{jcp_i}}, \quad (3.11)$$

де M_{jcp_i} – середнє значення динамічного моменту.

$$\begin{aligned} \Delta t_1 &= \frac{3,13 \cdot 20}{61} = 1,03 \text{ с}; \quad \Delta t_2 = \frac{3,13 \cdot 20}{57} = 1,1 \text{ с}; \quad \Delta t_3 = \frac{3,13 \cdot 20}{64} = 0,98 \text{ с}; \\ \Delta t_4 &= \frac{3,13 \cdot 20}{78} = 0,8 \text{ с}; \quad \Delta t_5 = \frac{3,13 \cdot 20}{84} = 0,74 \text{ с}; \quad \Delta t_6 = \frac{3,13 \cdot 20}{78} = 0,8 \text{ с}; \quad \Delta t_7 = \frac{3,13 \cdot 20}{59} = 1,06 \text{ с}; \\ \Delta t_8 &= \frac{3,13 \cdot 16}{22} = 2,28 \text{ с}. \end{aligned}$$

Час пуску:

$$t_n = \sum \Delta t_i = 8,8 \text{ с}.$$

Перевірка електродвигуна за умовами пуску виконується за умовою:

$$0,95^2 \cdot 0,9 \cdot M_{\text{пуск.дв.}} \geq 1,2 M_{\text{зр.роб.маш.}} \quad (3.12)$$

$$76,31 \geq 1,2 \cdot 4,9 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad 76,31 \geq 5,9 \text{ Н} \cdot \text{м} \text{ (умова виконується)}$$

2) перевірка за тепловим режимом під час пуску виконується за умовою:

$$\tau_{\text{дв.}} \leq \tau_{\text{доп.}}, \quad (3.13)$$

де $\tau_{\text{доп.}}$ - допустиме перевищення температури двигуна над температурою

$$\text{навколишнього середовища, } \tau_{\text{доп.}} = 80 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\tau_{\text{дв.}} = \nu_t \cdot t_{\text{пуск}}, \quad (3.14)$$

де ν_t - швидкість нагрівання двигуна, $\nu_t = 8,6 \text{ } ^\circ\text{C}$.

$$\tau_{\text{дв.}} = 8,6 \cdot 8,8 = 4,11 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad 75,7 \leq 80 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ (умова виконується)}.$$

3) перевірка електродвигуна на перевантажувальну здатність виконується за умовою:

$$0,95^2 \cdot 0,9 M_{\text{дв. max}} \leq M_{\text{тах.н.д.}}, \quad (3.15)$$

$$89,79 \leq 64,8 \text{ Н} \cdot \text{м} \text{ (умова виконується)}$$

Таким чином, можна зробити висновок, що вибір електродвигуна виконано правильно, оскільки його технічні характеристики відповідають розрахунковим умовам роботи електропривода та забезпечують необхідний запас за навантаженням і динамічними режимами.

					02.02.КР.2607”С”.25.10.30.007.ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок потужностей електродвигунів виконується індивідуально для кожної технологічної машини з урахуванням її режиму роботи, характеру навантаження та кінематичних параметрів привода. Отримані результати систематизуються та заносяться до зведеної таблиці 3.2, що дозволяє забезпечити порівняльний аналіз та узгодження всіх елементів електроприводної системи.

Таблиця 3.2

Силове електрообладнання кормоцеху

№ п/п	Найменування	Електродвигун	Потужність, кВт	Електромагнітний пускач з тепловим реле
1	Подрібнювач коренебульбоплодів ИКМ-5М	АИР80В4У2 АИР132S4У2	1,5 7,5	ПМЛ1200-О4Б РТЛ-1008-О4 ПМЛ2200-О4Б РТЛ-1021-О4
2	Транспортер коренебульбоплодів ТК-5,0Б	АИР90L6У2 АИР80В4У2	1,5 1,5	ПМЛ1200-О4Б РТЛ-1010-О4 ПМЛ1200-О4Б РТЛ-1010-О4
3	Живильник концкормів ПК-6,0	АИР80В6У2 АИР90L6У2	1,1 1,5	ПМЛ1200-О4Б РТЛ-1008-О4 ПМЛ1200-О4Б РТЛ-1010-О4
4	Вивантажувальний шнек ШВС-40М	АИР90L6У2	1,5	ПМЛ1200-О4Б РТЛ-1010-О4
5	Транспортер скребковий ТС-40М	АИР100S4У2	3,0	ПМЛ1200-О4Б РТЛ-1012-О4
6	Завантажувальний шнек ШЗС-40М	АИР90L6У2	1,5	ПМЛ1200-О4Б РТЛ-1010-О4
7	Змішувач кормів С-12	АИР160М6У2	15,0	ПМЛ3200-О4Б РТЛ-2053-О4
8	Подрібнювач кормів ИКВ-Ф-5А “Волгарь-5”	АИР180S4У2	22,0	ПМЛ4200-О4Б РТЛ-2057-О4
9	Транспортер скребковий ТС-40С	АИР90L4У2	2,2	ПМЛ1200-О4Б РТЛ-1010-О4
10	Насос відцентровий К20/30	АИР100S2У2	4,0	ПМЛ1200-О4Б РТЛ-1014-О4

3.2 Розробка принципіальної схеми керування кормоцехом

Принципіальна електрична схема керування кормоцехом наведена на аркуші 3. Силова частина електричної схеми складається з рубильника QS із

					02.02.КР.2607”С”.25.10.30.007.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

запобіжниками FU, автоматичних вимикачів QF1–QF11 серії BA-2010-S, які призначені для захисту електродвигунів і мережі від коротких замикань та аварійних режимів роботи, а також електромагнітних пускачів KM1–KM13 із тепловими реле KK1–KK13, що забезпечують захист електродвигунів від тривалих перевантажень у робочих режимах.

Подача напруги на силову схему здійснюється шляхом вмикання рубильника QS. При завантаженні змішувача після натискання кнопки SB2 першим в роботу вводиться пускач KM1, який своїми силовими контактами вмикає двигун M1 завантажувального шнека ШЗС-5. Блок-контакти пускача KM1 включені в кола керування пускачів KM2 та KM4, що виключає можливість запуску живильника концентрованих кормів ПК-6,0 та завантажувального транспортера ТС-40С за умови непрацюючого завантажувального шнека, забезпечуючи технологічну послідовність роботи.

Лінія зелених кормів і силосу запускається оператором за допомогою кнопок SB4 та SB6. Після натискання SB4 пускач KM2 запускає двигун транспортера ТС-40С і одночасно замикає блок-контакт у колі керування пускача подрібнювача ИКВ-Ф-5А “Волгарь-5”. Це забезпечує можливість запуску подрібнювача пускачем KM3 лише після стабільного ввімкнення транспортера. Для підвищення безпеки експлуатації передбачено кінцеві вимикачі SQ1 і SQ2, які розмикають коло керування при відкриванні кришок барабанів. Додатково кінцевий вимикач SQ3 запобігає пошкодженню механізмів дробарки при потраплянні сторонніх металевих предметів у зону різання. Контроль навантаження двигуна подрібнювача здійснюється за показами амперметра РА, підключеного через трансформатор струму ТА.

Лінія коренебульбоплодів запускається кнопкою SB20, після чого вмикається пускач KM10 і двигун M10 похилого транспортера ТК-5Б. Далі кнопкою SB22 через пускач KM11 вмикається двигун M11 горизонтального транспортера, що забезпечує подачу коренеплодів у ванну подрібнювача ИКС-5М. Блок-контакт пускача KM10 у колі котушки KM11 виключає можливість роботи горизонтального транспортера при непрацюючому похилому

					02.02.КР.2607”С”.25.10.30.007.ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

транспортері. Після цього кнопкою SB16 запускається двигун М8 різального барабана подрібнювача, а кнопкою SB18 вмикається двигун М9 шнека. Блокування роботи шнека реалізоване через блок-контакт пускача КМ8 у колі котушки КМ9, що підвищує надійність та безпеку системи.

Лінія концентрованих кормів вмикається за умови роботи завантажувального шнека ШВС-10М натисканням кнопки SB8, при цьому спрацьовує пускач КМ4 і запускається двигун М4 похилого транспортера живильника ПК-6,0. Далі кнопкою SB10 вмикається пускач КМ5, який запускає двигун М5 горизонтального транспортера. Блок-контакт КМ4 у колі котушки КМ5 виключає запуск горизонтального транспортера без роботи похилого, забезпечуючи технологічну послідовність.

Подача відвіток у змішувач здійснюється з резервуара РВВЦ-2 відцентровим насосом К20/30 при натисканні кнопки SB12, при цьому вмикається пускач КМ6 і двигун М6 насоса.

Змішувач С-12 запускається кнопкою SB14, після чого вмикається пускач КМ7 і двигун М7. Одночасно реле часу КТ починає відлік часу змішування кормів. Після завершення встановленого циклу реле КТ розмикає контакт у колі котушки КМ7, що призводить до зупинки двигуна М7. Додатково на завантажувальних люках змішувача встановлено кінцеві вимикачі SQ4, які блокують запуск обладнання при відкритому люці, забезпечуючи безпеку обслуговування.

Вивантаження готового корму виконується після натискання кнопки SB26, при цьому вмикається пускач КМ13 і двигун М13 вивантажувального транспортера ТС-40М. Додатково кнопкою SB24 запускається пускач КМ12, який вмикає двигун М12 вивантажувального шнека ШВС-40М, що забезпечує повний цикл вивантаження готової кормової суміші.

3.3 Вибір апаратів керування та захисту

Захист електродвигунів від коротких замикань у системі кормоцеху здійснюється за допомогою автоматичних вимикачів, які забезпечують миттєве

					02.02.КР.2607”С”.25.10.30.007.ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відключення пошкоджених ділянок електричної мережі та запобігають виходу з ладу електрообладнання. Застосування автоматичних вимикачів також підвищує загальну надійність електропостачання та безпеку експлуатації технологічного обладнання.

Вибір автоматичного вимикача для захисту електродвигуна подрібнювача виконується відповідно до встановлених умов, що враховують номінальний струм електродвигуна, характер навантаження, а також вимоги до селективності та чутливості захисної апаратури. Такий підхід дозволяє забезпечити надійний захист електропривода в усіх режимах роботи, включаючи пускові та перехідні процеси.

$$1. U_{н АВ} \geq U_{мережі}$$

$$2. I_{н АВ} \geq I_{н дв}$$

$$3. I_{н розч} \geq I_{н дв}$$

$$4. I_{відс.} \geq K_z K_{py} K_{pc} K_i I_{н дв}$$

де $I_{н АВ}$ – номінальний струм автоматичного вимикача, А;

$I_{н розч}$ – номінальний струм розчіплювача, А;

$I_{відс.}$ – струм відсічки, А; K_z – коефіцієнт запасу, $K_z = 1,1$;

K_{py} – коефіцієнт, який враховує розкид уставки електромагнітного розчіплювача, $K_{py} = 1,1$;

K_{pc} – коефіцієнт, що враховує допустиме відхилення пускового струму від каталогового значення, $K_{pc} = 1,2$;

K_i – кратність пускового струму двигуна.

Вибираємо автоматичний вимикач ВА-2010-S, С16, триполюсний із комбінованим електромагнітним та тепловим розчіплювачем. Даний тип апаратури забезпечує надійний захист електродвигуна подрібнювача від коротких замикань, перевантажень та аварійних режимів роботи, а також дозволяє здійснювати оперативне включення та відключення електропривода в процесі експлуатації технологічного обладнання.

Використання характеристики спрацювання типу «С» є доцільним для електродвигунних навантажень, оскільки забезпечує стійкість до пускових

					02.02.КР.2607”С”.25.10.30.007.ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

струмів при одночасному збереженні достатньої чутливості до струмів короткого замикання. Триполюсне виконання вимикача дозволяє захищати трифазні кола електропривода, що відповідає схемі живлення подрібнювача кормів.

$$I_{н АВ} = 16 \text{ А}, I_{н розч} = 16 \text{ А}$$

$$I_{відс.} = 10 \cdot I_{н розч}, I_{відс} = 10 \cdot 16 = 160 \text{ А}$$

$$160 > 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,2 \cdot 7 \cdot 15,1 = 153,5 \text{ А} - \text{умова виконується.}$$

Електромагнітний пускач з тепловим реле вибираємо за умовою:

$$1. U_{н мп} \geq U_{мережі}$$

$$2. I_{н мп} \geq I_{н дв}$$

$$3. I_{н т.р} \geq I_{н дв}$$

$$4. U_{кот} \geq U_{кола кер},$$

де $I_{н мп}$ - номінальний струм електромагнітного пускача, А;

$I_{н т.р}$ - номінальний струм теплового реле, А.

Вибираємо електромагнітний пускач ПМЛ-2200-О4Б – нереверсивний з тепловим реле, $I_{н мп} = 25 \text{ А}$.

Для захисту електродвигуна мийкового шнека АИР80В4У2 ($I_{н дв} = 3,52 \text{ А}$, коефіцієнт кратності пускового струму $K_i = 5,5$) застосовується автоматичний вимикач серії ВА-2010-S, С6, триполюсного виконання з комбінованим тепловим та електромагнітним розчіплювачем.

Вибір даного апарата обґрунтований відповідністю його номінального струму та часово-струмової характеристики режимам роботи електродвигуна, що забезпечує надійний захист від перевантажень і коротких замикань, а також стійкість до пускових струмів при запуску електропривода. Триполюсне виконання дозволяє здійснювати повний захист трифазного кола живлення відповідно до схеми електропостачання обладнання.

$$I_{н АВ} = 6 \text{ А}, I_{н розч} = 6 \text{ А}$$

$$I_{відс.} = 10 \cdot I_{н розч}, I_{відс} = 10 \cdot 6 = 60 \text{ А}$$

$$60 > 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,2 \cdot 5,5 \cdot 3,52 = 28,1 \text{ А} - \text{умова виконується.}$$

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.007.ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вибираємо електромагнітний пускач ПМЛ–1200–О4Б, нереверсивного виконання, з вбудованою можливістю підключення теплового реле, що забезпечує надійне керування електродвигуном у нормальних і аварійних режимах роботи. Номінальний струм пускача становить $I_{н.мп} = 10 \text{ А}$, що відповідає параметрам керованого електродвигуна та забезпечує необхідний запас по струмовому навантаженню.

Для захисту електродвигуна від перевантажень застосовується теплове реле РТЛ–1008–О4 з діапазоном уставки струму 2,4–4,0 А, що дозволяє здійснювати точне налаштування під номінальний режим роботи електропривода. Використання даного реле забезпечує своєчасне відключення двигуна при тривалих перевантаженнях, підвищуючи надійність та довговічність електрообладнання.

3.4 Розрахунок освітлення та вибір освітлювального обладнання

Для створення нормованої освітленості на робочих місцях, що забезпечує безперервний та безпечний перебіг технологічних процесів у кормоцеху, застосовується система електричного освітлення. Залежно від організації світлового потоку вона може бути виконана як загальна, з рівномірним або локалізованим розміщенням світильників, що дозволяє адаптувати освітлення до особливостей виробничих зон.

У кормоцехах, як правило, використовується комбінована система освітлення, яка поєднує загальне та місцеве освітлення. Загальне освітлення забезпечує рівномірний розподіл світлового потоку по всій площі виробничого приміщення, тоді як місцеве освітлення використовується для підвищення освітленості безпосередньо на робочих поверхнях і у зонах виконання технологічних операцій.

Як джерела світла можуть застосовуватись лампи розжарювання загального призначення, люмінесцентні та інші сучасні типи світлових приладів, вибір яких визначається вимогами до енергоефективності, умовами експлуатації та необхідним рівнем освітленості.

					02.02.КР.2607”С”.25.10.30.007.ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, для основного освітлення приміщення кормоцеху приймаються лампи розжарювання, після чого виконується розрахунок системи освітлення методом коефіцієнта використання світлового потоку, що дозволяє визначити необхідну кількість світильників та забезпечити нормативний рівень освітленості.

1) Вибір типу світильників для освітлення кормоцеху здійснюється з урахуванням умов навколишнього середовища, ступеня впливу вологи, а також вимог до енергоефективності та економічної доцільності експлуатації освітлювальної системи. Особлива увага приділяється забезпеченню надійності роботи світильників у складних виробничих умовах та їх відповідності санітарно-гігієнічним нормам.

Кормоцех відноситься до категорії вологих виробничих приміщень, що характеризуються підвищеною вологістю повітря, можливістю утворення конденсату та наявністю агресивного середовища. У зв'язку з цим освітлювальні прилади повинні мати підвищений ступінь захисту оболонки (не нижче IP54), а також бути стійкими до корозійних впливів і механічних забруднень, що забезпечує їх тривалу та безпечну експлуатацію.

2) Приймаємо нормовану освітленість:

$$E_n = 50 \text{ Лк}$$

3) Визначаємо коефіцієнти відбивання стелі, стін, підлоги: стелі $\rho_{\text{ст.}}$; стін $\rho_{\text{с.}}$; підлоги $\rho_{\text{п.}}$

Дані коефіцієнти визначають наближено.

Для виробничих приміщень з рівними стелями беруть:

$$\rho_{\text{ст.}} = 50\%; \rho_{\text{с.}} = 30\%; \rho_{\text{п.}} = 10\%$$

4) Визначаємо найвигіднішу відносну відстань між світильниками за умовою:

$$\eta_c \leq \eta \leq \eta_e,$$

де η_c і η_e – відповідно світлотехнічно та економічно найвигідніші відносні відстані між світильниками.

					02.02.КР.2607”С”.25.10.30.007.ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

η – залежить від типу кривої сили світла світильника.

Отже, для косинусної кривої світла, яку має світильник НСП02:

$$1,4 \leq \eta \leq 1,6, \text{ тоді приймаємо: } \eta = 1,5.$$

5) Визначаємо висоту підвісу світильників:

$$H_p = H - h_z - h_p, \text{ м;} \quad (3.16)$$

де $H = 3,5$ м – висота приміщення,

$h_z = 0,25 \dots 0,8$ – висота звісу світильників,

$h_p = 0$ – висота до робочої поверхні.

Висота підвісу світильників повинна становити не менше 2,5 м і визначається для обслуговування.

$$H_p = 3,5 - 0,5 - 0 = 3 \text{ м.}$$

6) Визначення відстані між світильниками або рядами світильників:

$$L_{AB} = \eta \cdot H_p = 1,5 \cdot 3 = 4,5 \text{ м.} \quad (3.17)$$

7) Визначаємо відстань між середнім рядом (кратнім) світильників до відповідної стінки.

$$\ell = (10,3 \dots 0,5) \cdot L_{AB}, \text{ м;} \quad (3.18)$$

де 10,3...0,5 – коефіцієнт, який залежить від розташування робочих місць в приміщенні.

$$\ell = 0,4 \cdot 4,5 = 1,8, \text{ м.}$$

8) Визначаємо кількість світильників в ряду:

$$n_A = \frac{A - 2\ell}{L_A} + 1, \text{ шт.;} \quad (3.19)$$

де $A = 20$ м – довжина приміщення.

$$n_A = \frac{20 - 2 \cdot 1,8}{4,5} + 1 = 4,64 \approx 5 \text{ світильників.};$$

9) Визначаємо кількість рядів світильників:

$$n_B = \frac{B - 2\ell}{L_B} + 1, \text{ шт.;} \quad (3.20)$$

де $B = 10$ м – ширина приміщення.

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.007.ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$n_B = \frac{10 - 2 \cdot 1,8}{4,5} + 1 = 2,42 \approx 3 \text{ ряди.}$$

10) Визначимо загальну кількість світильників,

$$N = n_A \cdot n_B = 5 \cdot 3 = 15 \text{ шт} \quad (3.21)$$

11) Індекс приміщення для визначення коефіцієнта використаного світлового потоку визначають з виразу:

$$i = \frac{A \cdot B}{H_p (A + B)} = \frac{10 \cdot 20}{3 \cdot (10 + 20)} = 2,22 \quad (3.22)$$

12) Залежно від індексу приміщення і коефіцієнта відбивання стелі $\rho_{ст}$, стін ρ_c , підлоги $\rho_{п}$ і типу вибраного світильника вибираємо коефіцієнт використання світлового потоку η ;

$$i = 2,25; \rho_{ст} = 50\%; \rho_c = 30\%; \rho_{п} = 10\%$$

Тип світильника НСП02, тоді $\eta = 0,30$.

13) Визначаємо розрахунковий потік лампи:

$$\Phi_p = \frac{E_n \cdot K_z \cdot S \cdot Z}{N \eta}, \text{ Лм;} \quad (3.23)$$

де $E_n = 50 \text{ Лк}$ – нормована освітленість; K_z – коефіцієнт запасу. Для ламп розжарювання $K_z = 1,15$.

$S = A \cdot B = 20 \cdot 10 = 200, \text{ м}^2$ – площа приміщення,

$Z = 1,15$ – коефіцієнт мінімальної освітленості.

$$\Phi_p = \frac{50 \cdot 1,15 \cdot 200 \cdot 1,15}{15 \cdot 0,30} = 2938,89 \text{ Лм} \quad (3.24)$$

14) По розрахунковому світловому потоку вибираємо стандартну лампу за умовою:

$$\Phi_{л} \geq \Phi_p, \quad 2920 \text{ Лм} \approx 2938,89 \text{ Лм.}$$

Світловий потік стандартної лампи відрізняється від розрахункового значення на 0,65 %, що знаходиться в межах допустимих відхилень і не впливає на забезпечення нормативного рівня освітленості виробничих приміщень. Це підтверджує коректність виконаного світлотехнічного розрахунку та правильність вибору джерела світла.

					02.02.КР.2607”С”.25.10.30.007.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

На основі виконаних розрахунків для системи освітлення кормоцеху приймається світлодіодна лампа LEMANSO 30W E27 3000LM 6500K T100 LM3005, яка забезпечує необхідні світлотехнічні характеристики та відповідає вимогам енергоефективності й експлуатаційної надійності. Номінальна потужність лампи становить $P_{\text{л}} = 30 \text{ Вт}$, що дозволяє знизити енергоспоживання системи освітлення при збереженні нормативної освітленості робочих зон.

15) Визначаємо розрахункову потужність освітлювальної установки:

$$P = P_{\text{л}} \cdot N \cdot h \cdot 10^{-3} = 30 \cdot 15 \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 4,5 \text{ Вт}; \quad (3.25)$$

де $h = 1 \text{ шт.}$ – кількість ламп в світильнику.

Напруга живлення світильників відповідає параметрам стандартної електричної мережі, що використовується для живлення технологічного обладнання кормоцеху. Живлення здійснюється від трифазної чотирипровідної системи напругою 380/220 В, що забезпечує універсальність підключення споживачів та стабільність електропостачання.

Використання зазначеної системи живлення дозволяє забезпечити надійну роботу освітлювальної мережі, рівномірний розподіл навантаження між фазами, а також відповідність вимогам електробезпеки та експлуатаційної надійності виробничих приміщень.

16) Оскільки нормована освітленість в приміщенні відповідає розрахунковому потоку, визначаємо фактичну освітленість:

$$E_{\phi} = E_{\text{н}} \frac{\Phi_{\text{л}}}{\Phi_{\text{р}}} = 50 \frac{3000}{2938,89} = 49 = 51 \text{ Лк} \quad (3.26)$$

17) Визначаємо відповідність допустимому відхиленню освітленості, що має знаходитись в межах $-10\% \dots +20\%$.

$$\Delta E = \frac{E_{\phi} - E_{\text{н}}}{E_{\phi}} 100\% = \frac{51 - 50}{49,7} = 0,02\% \quad (3.27)$$

що є в межах допустимого.

Тоді перераховуємо фактичну кількість світильників:

					02.02.КР.2607”С”.25.10.30.007.ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$N_{\phi} = \frac{E \cdot K \cdot S \cdot z}{\Phi_{\lambda} \cdot \eta} = \frac{50 \cdot 1,15 \cdot 200 \cdot 1,15}{3000 \cdot 0,30} = 14,7 \approx 15 \text{ св.} \quad (3.28)$$

Світильники розміщують з фактичною їх кількістю, а саме:

- кількість світильників в ряду отримаємо $n_A = 5$;
- кількість рядів світильників, $n_B = 3$.

Світильники в приміщенні розміщуються таким чином, щоб освітлення було рівномірним, тоді отримаємо:

$L_A = 5 \text{ м}$ – відстань між світильниками в ряду;

$\ell_A = 2,5 \text{ м}$ – відстань між світильниками і стінами по довжині приміщення;

$L_B = 3,5 \text{ м}$ - відстань між світильниками в рядах (рядами світильників);

$\ell_B = 1,5 \text{ м}$ – відстань між світильниками і стінкою по ширині приміщення.

На рис. 3.3 зображено план приміщення з нанесенням світильників.

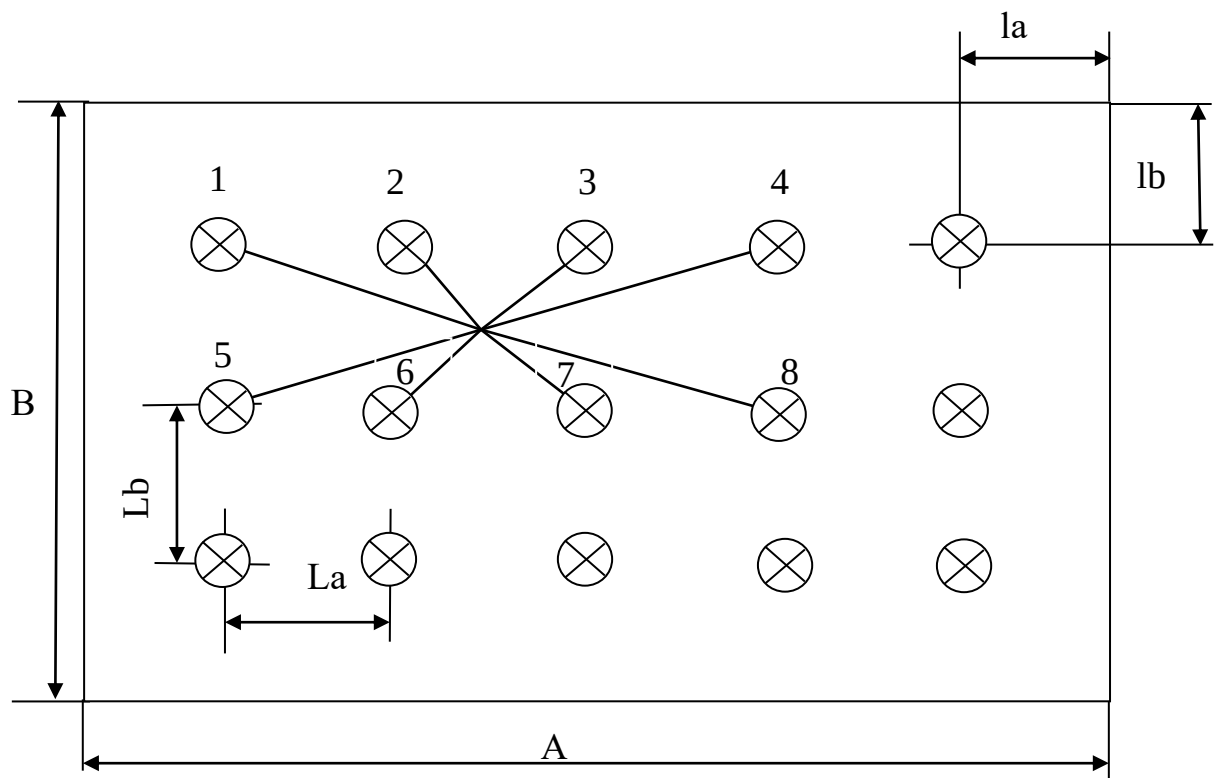


Рис. 3.4. План приміщення кормоцеху з нанесеними світильниками

Проведемо перевірочний розрахунок системи освітлення у приміщенні кормоцеху із застосуванням точкового методу, який дозволяє оцінити фактичну

освітленість у контрольних зонах та перевірити відповідність отриманих значень нормативним вимогам.

1. На плані приміщення, виконаному у відповідному масштабі, визначається та наносяться контрольні точки з найбільш характерними умовами освітлення (рис. 3.3), що дозволяє врахувати геометрію розміщення світильників та особливості світлорозподілу.

Далі визначається відстань від розрахункової точки до проекції осі симетрії світильника на площину, перпендикулярну до робочої поверхні та таку, що проходить через контрольну точку. Отримане значення відстані d , м, використовується для подальших розрахунків освітленості за точковим методом.

$$d_1 = d_4 = d_5 = d_8 = d_{1,4,5,8} = 7,0 \text{ м};$$

$$d_2 = d_3 = d_6 = d_7 = d_{2,3,6,7} = 2,5 \text{ м};$$

2) Визначаємо тангенс кута падіння світлового променя в точку розрахунку:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{d}{H_p}; \quad (3.29)$$

де $H_p = 3 \text{ м}$ – розрахункова висота підвісу.

$$\operatorname{tg} \varphi_{1,4,5,8} = \frac{7}{3} = 2,33;$$

$$\operatorname{tg} \varphi_{2,3,6,7} = \frac{2,5}{3} = 0,83;$$

3) За знайденим $\operatorname{tg} \varphi$ вибираємо значення кута падіння світлового променя $\varphi \cdot \cos^3 \varphi$, $\varphi = \arctg \varphi$;

$$\varphi_{1,4,5,8} = 66,77^\circ; \cos^3 \varphi_{1,4,5,8} = 0,06;$$

$$\varphi_{2,3,6,7} = 39,7^\circ; \cos^3 \varphi_{2,3,6,7} = 0,45.$$

4) Визначимо силу світла:

$$I_\varphi = |I_\varphi|_T \cdot \frac{\Phi_l}{1000}, \text{ кд}; \quad (3.30)$$

де $\Phi_l = 2920 \text{ Лм}$ – світловий потік лампи; $|I_\varphi|_T$ – сила світла світильника з умовною лампою 1000 Лк , вибираємо з довідкових даних [5].

					02.02.КР.2607”С”.25.10.30.007.ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дане значення залежить від $\leq \varphi$ і типу світильника.

$$|I \varphi|_{T 1, 4, 5, 8} = 69 \text{ кД};$$

$$|I \varphi|_{T 2, 3, 6, 7} = 81 \text{ кД};$$

$$|I \varphi|_{T 1, 4, 5, 8} = \frac{69 \cdot 2920}{1000} = 201,48 \text{ кД};$$

$$|I \varphi|_{T 2, 3, 6, 7} = \frac{81 \cdot 2920}{1000} = 236,52 \text{ кД};$$

5) Визначаємо освітленість в точці розрахунку:

$$E = \frac{I \varphi \cdot \cos 3 \varphi}{(H_p)^2 \cdot k}, \text{ Лк} \quad (3.31)$$

де k – коефіцієнт запасу світильника, для ламп розжарювання він становить $k = 1,15$ [5].

$$E_{1, 4, 5, 8} = \frac{201,48 \cdot 0,06}{3^2 \cdot 1,15} = 1,17 \text{ Лк};$$

$$E_{2, 3, 6, 7} = \frac{236,52 \cdot 0,45}{8^2 \cdot 1,15} = 10,3 \text{ Лк}.$$

6) Визначаємо загальну освітленість в розрахунковій точці, сумуючи

освітленість від кожного світильника.

$$E_{\text{заг.}} = 4 \cdot E_{1, 4, 5, 8} + 4 \cdot E_{2, 3, 6, 7} = 4 \cdot 1,17 + 4 \cdot 10,3 = 45,88 \approx 46 \text{ Лк}.$$

Отже, на основі виконаного розрахунку можна зробити висновок, що отримане значення освітленості знаходиться в межах допустимих нормативних значень, встановлених для виробничих приміщень даного типу. Це свідчить про коректність виконаного світлотехнічного розрахунку, правильність вибору кількості та потужності світильників, а також раціональність їх розміщення у приміщенні кормоцеху.

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.007.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Розрахунок системи електроосвітлення в інших допоміжних та підсобних приміщеннях виконується методом питомої потужності, що дозволяє швидко визначити необхідну встановлену потужність освітлювальної установки з урахуванням площі приміщень та їх функціонального призначення.

Для зазначених приміщень передбачається використання ламп розжарювання загального призначення, як більш простого та економічно доцільного рішення для зон із невисокими вимогами до рівня освітленості.

Розрахунок системи електроосвітлення виконується для допоміжних приміщень кормоцеху з урахуванням їх функціонального призначення та вимог до рівня освітленості. До таких приміщень відносяться інвентарна та щитова, які мають однакові геометричні параметри та характер експлуатації.

- Інвентарна: площа $S = 12 \text{ м}^2 (4 \times 3 \text{ м})$;
- Щитова: площа $S = 12 \text{ м}^2 (4 \times 3 \text{ м})$.

Для зазначених приміщень подальший розрахунок освітлення виконується методом питомої потужності з урахуванням нормативних вимог до мінімальної освітленості, умов експлуатації та типу прийнятих світильників.

Розрахунок освітлення методом питомої потужності проводиться в такій послідовності:

1) В якості джерела світла для освітлення допоміжних приміщень приймається лампа розжарювання типу Г 220-230-200, яка характеризується достатньою світловіддачею для приміщень з невисокими вимогами до освітленості. Використання даного типу ламп є доцільним з точки зору простоти конструкції, надійності в експлуатації та економічної доцільності для інвентарної та щитової.

Обрані лампи забезпечують необхідний рівень освітленості відповідно до нормативних вимог для допоміжних приміщень та можуть ефективно працювати в умовах періодичного перебування персоналу та невисокого рівня виробничого навантаження.

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.007.ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2) За [25] вибираємо нормовану освітленість відповідного приміщення.

3) Визначаємо висоту підвішування світильників:

$$H_p = H - h_3 - h_p, \text{ м}; \quad (3.32)$$

де H – висота приміщення, м; h_3 – висота звісу світильників, м; h_p – висота до робочої поверхні, м.

4) Знаходимо питому потужність, яка залежить від площі приміщення S , м^2 ; освітленості E , Лк; висоти підвішування світильників H_p , м.

5) Визначаємо потужність лампи:

$$P_l = \frac{P_{\text{пит}} \cdot S}{N \cdot n}, \text{ Вт}; \quad (3.33)$$

де $P_{\text{пит}}$ – питома потужність, Вт / м^2

N – кількість світильників в приміщенні.

n – кількість ламп у світильнику

6) Згідно умови вибирають стандартну лампу:

$$P_n \geq P_l,$$

де P_n – номінальна потужність лампи.

7) Визначаємо потужність освітлювальної установки:

$$P = P_n \cdot N \cdot n \cdot 10^{-3}, \text{ кВт}. \quad (3.34)$$

За наведеним прикладом виконується розрахунок системи електроосвітлення для інших допоміжних приміщень кормоцеху з урахуванням їх площі, функціонального призначення та нормативних вимог до рівня освітленості. При цьому застосовується єдина методика розрахунку, що забезпечує узгодженість отриманих результатів та їх відповідність прийнятим світлотехнічним рішенням.

Отримані результати розрахунків систематизуються та заносяться до світлотехнічної відомості, яка наведена у таблиці 3.3, що дозволяє виконати узагальнений аналіз прийнятих рішень щодо освітлення всіх приміщень кормоцеху.

					02.02.КР.2607”С”.25.10.30.007.ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.5 Розрахунок освітлювальної мережі

Переріз проводів освітлювальної мережі вибирається з умов довготривалого допустимого нагрівання струмоведучих жил, а також забезпечення достатньої механічної міцності при монтажі та експлуатації. Після попереднього вибору обов'язково виконується перевірка прийнятого перерізу за допустимою втратою напруги, що дозволяє забезпечити нормативні параметри якості електропостачання освітлювальних установок.

Для забезпечення рівномірного розподілу навантаження освітлювальну мережу доцільно розділити на окремі групи. При цьому групування виконується таким чином, щоб кількість груп була кратною трьом, а потужність кожної групи — максимально наближеною за значенням. Такий підхід дозволяє зменшити перекося навантаження по фазах та підвищити ефективність роботи освітлювальної системи.

Повна встановлена потужність освітлювальної мережі кормоцеху визначається як сума потужностей усіх світильників і є вихідною величиною для подальших електротехнічних розрахунків.

$$P=3,0+0,3+0,06+0,1=3,46 \text{ кВт.}$$

Струм (повний), А, що споживає освітлювальна мережа, розраховується за формулою:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{л}} \cdot \cos \varphi}, \quad (3.35)$$

де $U_{\text{л}}$ - лінійна напруга, В $U_{\text{л}}=380 \text{ В}$;

$\cos \varphi$ - коефіцієнт потужності, $\cos \varphi = 0,75$,

$$I = \frac{3460}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,75} = 7 \text{ А.}$$

В якості ввідного провідника приймається кабель АВВГ (4×2,5), який розрахований на тривале допустиме струмове навантаження до 14 А та забезпечує надійну передачу електроенергії до споживачів освітлювальної та силової мережі кормоцеху. Вибір даного типу кабелю обґрунтований

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.007.ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відповідністю його пропускної здатності розрахунковому навантаженню та умовам експлуатації.

Для захисту ввідної лінії застосовується автоматичний вимикач типу АЕ2046М-10Р-00-У3, який забезпечує захист електричної мережі від перевантажень і коротких замикань. Номінальна сила струму автоматичного вимикача становить 25 А, при цьому номінальний струм розчіплювача дорівнює 8 А, що забезпечує коректну селективність спрацювання та надійний захист ввідної лінії.

Розрахунок перерізу проводу та вибір автоматичних вимикачів освітлювальних груп:

Розподіляємо світильники і допоміжне обладнання на групи:

$$P_1 = 1000 + 300 = 1300 \text{ Вт};$$

$$P_2 = 1000 + 60 = 1060 \text{ Вт};$$

$$P_3 = 1000 + 100 = 1100 \text{ Вт}.$$

Визначаємо струм кожної групи за формулою:

$$I = \frac{P_i}{U_\phi \cdot \cos \varphi} \text{ А}, \quad (3.36)$$

де U_ϕ - фазна напруга, В $U_\phi = 220 \text{ В}$;

$\cos \varphi$ - коефіцієнт потужності, $\cos \varphi = 0,75$,

P_i – потужність відповідної групи;

$$I_1 = \frac{1300}{220 \cdot 0,75} = 7,86 \text{ А};$$

$$I_2 = \frac{1060}{220 \cdot 0,75} = 6,42 \text{ А}$$

$$I_3 = \frac{1100}{220 \cdot 0,75} = 6,67 \text{ А}.$$

					02.02.КР.2607”С”.25.10.30.007.ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.3

Світлотехнічна відомість

Назва приміщень і номер за порядком № п/п	Площа приміщення, м ²	Коефіцієнти відбивання			Кількість світильників, шт.	Тип світильників	Освітленість Ен., Лк.	Джерела світла (лампи)			Загальна потужність, Р, кВт.	Питома потужність Р _{пит} , Вт/м ²
		Стелі ρ _{ст}	Стіни ρ _{ст}	Підлоги ρ _п				Тип	Номін. потуж- ність Р, кВт	Світло- вий по- тік, Лм		
1. Зал приготування кормів	200	50	30	10	15	НСПО 9x200	50	Lemans o 30W E27 3000LM 6500K T100 LM3005	0,200	2920	3,0	12,8
2. Приміщення для обслуг. персоналу	16	70	50	10	3	ПО-21	50	Б 220- 230-100	0,1	1350	0,3	15,5
3. Інвентарна	12	50	30	10	1	НСПО 1x100 “Астра”	10	Б 220- 230-60	0,06	715	0,06	4,5
4. Щитова	12	50	30	10	1	НСПО 1x100 “Астра”	20	Б 220- 230-100	0,1	1350	0,1	8

02.02.КР.2607” С” .25.10.30.007.ПЗ

Живлення світильників передбачається виконувати проводом типу АППВ з алюмінієвими жилами та полівінілхлоридною ізоляцією, який призначений для монтажу силових та освітлювальних електричних мереж. Даний провід допускає використання як при відкритому, так і при прихованому прокладанні — під штукатуркою, у трубах та каналах будівельних конструкцій із негорючих матеріалів.

У даному проєкті електропроводку освітлювальної мережі передбачено виконувати приховано під шаром штукатурки, що підвищує механічний захист кабельної лінії та покращує експлуатаційні характеристики системи. Для живлення світильників застосовується двожильна схема підключення, що відповідає прийнятій структурі освітлювальних груп.

Вибір перерізу струмоведучих жил проводу виконується з умови, що тривало допустима сила струму $I_{\text{доп}}$ повинна бути не меншою за розрахункову силу струму кожної групи $I_{\text{гр}}$. Такий підхід забезпечує надійну роботу освітлювальної мережі без перевищення допустимих теплових навантажень та гарантує її довговічність.

Вибираємо площу поперечного перерізу проводу для всіх груп.

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{гр}};$$

$$14 > 7,86 \text{ А.}$$

Зазначеним умовам відповідає вибір проводу з перерізом струмоведучої жили $2,0 \text{ мм}^2$, який забезпечує тривало допустимий струм $I_{\text{доп}} = 14 \text{ А}$. Такий переріз є достатнім для надійної роботи освітлювальних групових ліній без перевищення допустимого теплового навантаження та відповідає умовам тривалої експлуатації електропроводки. Остаточню для всіх груп споживачів системи освітлення приймається провід типу АППВ $2 \times 2,0$.

Кожна групова лінія освітлення повинна бути обов'язково захищена автоматичними вимикачами, що забезпечують захист від перевантажень та коротких замикань, а також дозволяють виконувати оперативні комутаційні включення та відключення освітлювальних кіл.

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.007.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

Для захисту групових ліній обираються однополюсні автоматичні вимикачі серії АЕ1031, які застосовуються в електричних мережах з номінальною напругою до 380 В і розраховані на нечасті оперативні комутації (до 6 включень/вимкнень на годину). Розрахунок автоматичних вимикачів виконується за умовою відповідності номінального струму силі струму групи, яка становить $I_{gr} = 7,86 \text{ А}$.

$$U_{н.ав} \geq U_{мер}; 380 > 220 \text{ В};$$

$$I_{н.ав} \geq I_{гр}; 25 > 7,86 \text{ А};$$

$$I_{н.тр} \geq I_{гр}; 10 > 7,86 \text{ А};$$

де $U_{н.ав}$ – номінальна напруга автоматичного вимикача;

$U_{мер}$ – напруга мережі;

$I_{н.ав}$ – номінальний струм автоматичного вимикача;

$I_{гр}$ – струм групи;

$I_{н.тр}$ – номінальний струм теплового розчіплювача;

В якості захисної апаратури групових ліній освітлення вибираються три однополюсні автоматичні вимикачі типу АЕ1031-1У4, розраховані на номінальну силу струму 25 А. Застосування даних вимикачів забезпечує надійний захист освітлювальних мереж від перевантажень та коротких замикань, а також дозволяє здійснювати оперативне комутування окремих груп освітлення в процесі експлуатації.

Для керування та захисту освітлювальної мережі приймається освітлювальний щиток типу ЩА611, який містить один ввідний автоматичний вимикач та шість автоматичних вимикачів типу АЕ1031, встановлених на фідерних відходячих лініях. Така конфігурація забезпечує зручність експлуатації, селективність захисту та можливість рівномірного розподілу освітлювального навантаження.

Розміщення живильних та групових щитків виконується у місцях з'єднання живильних і групових мереж, переважно в геометричному центрі електричних навантажень приміщення, а також у зонах, зручних для технічного обслуговування та оперативного доступу персоналу. Висота встановлення

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.007.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

щитків приймається не більше 2 м до верхньої частини щита, що відповідає вимогам зручності обслуговування та техніки безпеки.

Траса освітлювальної мережі визначається схемою розташування світильників у приміщенні. При її проектуванні враховуються основні вимоги: мінімізація довжини кабельних ліній з метою зниження втрат напруги, забезпечення зручності монтажу та експлуатації електрообладнання, а також врахування архітектурно-будівельних особливостей будівлі та технологічного розміщення обладнання.

3.6 Розрахунок і вибір силових електропроводок

Вибір проводів і кабелів здійснюється з урахуванням типу електропроводки, категорії приміщення за умовами навколишнього середовища, способу прокладання електричних мереж, а також вимог до надійності та безпеки експлуатації. Такий комплексний підхід дозволяє забезпечити довговічність електромонтажу та відповідність чинним нормативним вимогам.

Додатково при виборі враховуються механічні навантаження на кабельні лінії, допустимі значення тривалого струмового навантаження, умови тепловідведення та можливий вплив вологи, пилу і агресивних середовищ, характерних для виробничих приміщень кормоцеху.

Проводи вибирають за тривало-допустимим струмом за умовою:

$$I_{тр. доп.} \geq I_{розр.}, \quad (3.37)$$

де $I_{розр.}$ – розрахунковий струм окремих споживачів, розраховують його за формулою залежно від приймача, або приймають рівним номінальному:

$$I_p = I_n. \quad (3.38)$$

Максимальну роботу сили струму від магістралі, від якої живлення кілька електроприймачів визначають:

$$I_{м.р} = K_0 \cdot \sum I_{н|P|}, A; \quad (3.39)$$

де K_0 – коефіцієнт одночасності роботи електроприймачів.

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.007.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Проведемо вибір і розрахунок проводки для електродвигуна подрібнювача:

$$I_{\text{тр. доп}} \geq I_{\text{розр.}}, 19 \text{ A} \geq 15,1 \text{ A}.$$

В якості живильного кабелю приймається кабель типу АВВГ 1 (4×2,5), який забезпечує передачу електроенергії до групових і силових споживачів при заданих умовах експлуатації. Вибір даного кабелю обґрунтований його відповідністю за допустимим тривалим струмовим навантаженням, умовами прокладання та вимогами до надійності електропостачання.

Для керування та захисту групи трифазних асинхронних електродвигунів із короткозамкненим ротором вибирається низьковольтний комплектний пристрій Я5901-4074У2, який являє собою ящик керування, розрахований на номінальний струм 100 А. Пристрій забезпечує керування електроприводами в силовому колі з напругою 380 В, при цьому коло керування виконується на напрузі 220 В, що підвищує безпеку експлуатації та зручність обслуговування системи.

3.7 Розрахунок електричних навантажень, вибір джерела живлення

Розрахунок електричних навантажень виконується на основі сумування навантажень на вводах окремих споживачів з урахуванням режимів їх роботи та часу включення технологічного обладнання. Такий підхід дозволяє отримати більш точну оцінку загального навантаження електричної мережі підприємства та забезпечити коректний вибір елементів системи електропостачання.

Розрахункові навантаження на вводах кожної окремої споруди та будівлі визначаються з використанням графіка електричних навантажень. Побудова графіка здійснюється шляхом відкладання по осі абсцис тривалості роботи відповідних електроприймачів, а по осі ординат — значень їх споживаних потужностей. Потужності електроприймачів, що працюють одночасно, підсумовуються з урахуванням їх фактичного режиму роботи.

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.007.ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахункове навантаження на вводі споживача (півгодинний максимум) визначається за графіком як максимальне значення сумарної потужності, яке зберігається протягом інтервалу часу не менше 30 хвилин, що відповідає прийнятій методиці визначення розрахункових навантажень у системах електропостачання.

Потужність (кВт), яку споживає електродвигун визначають за формулою:

$$P_{\text{сп.}} = \frac{P_y}{\eta} k_3, \quad (3.40)$$

де P_y – номінальна встановлена потужність електродвигуна, кВт; η - к. к. д. двигуна; k_3 – середній коефіцієнт завантаження електродвигуна при виконанні даної технологічної операції.

Повна розрахункова потужність S_p , кВА, рівна:

$$S_p = \frac{P}{\cos \varphi}, \quad (3.41)$$

де P – найбільша споживана потужність (кВт) з графіка навантаження;
 $\cos \varphi$ - коефіцієнт споживаної потужності.

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.007.ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

02.02.KP.2607" C". 25.10.30.007.ПЗ	Apr.
	43

[illegible]

Технологічний графік роботи обладнання складається відповідно до режиму дня на комплексі з відгодівлі свиней і відображає послідовність та тривалість роботи основних електроприймачів. На основі сформованого технологічного графіка будується графік електричних навантажень (рис. 3.4), який дозволяє визначити характер зміни споживаної потужності протягом доби та оцінити максимальні значення навантаження.

По осі ординат графіка відкладається розрахункова споживана потужність електрообладнання, а по осі абсцис — час роботи електроспоживачів. Такий підхід забезпечує наочне представлення режимів роботи обладнання, дозволяє визначити періоди сумісного навантаження та є основою для подальшого розрахунку електричних навантажень і вибору елементів системи електропостачання.

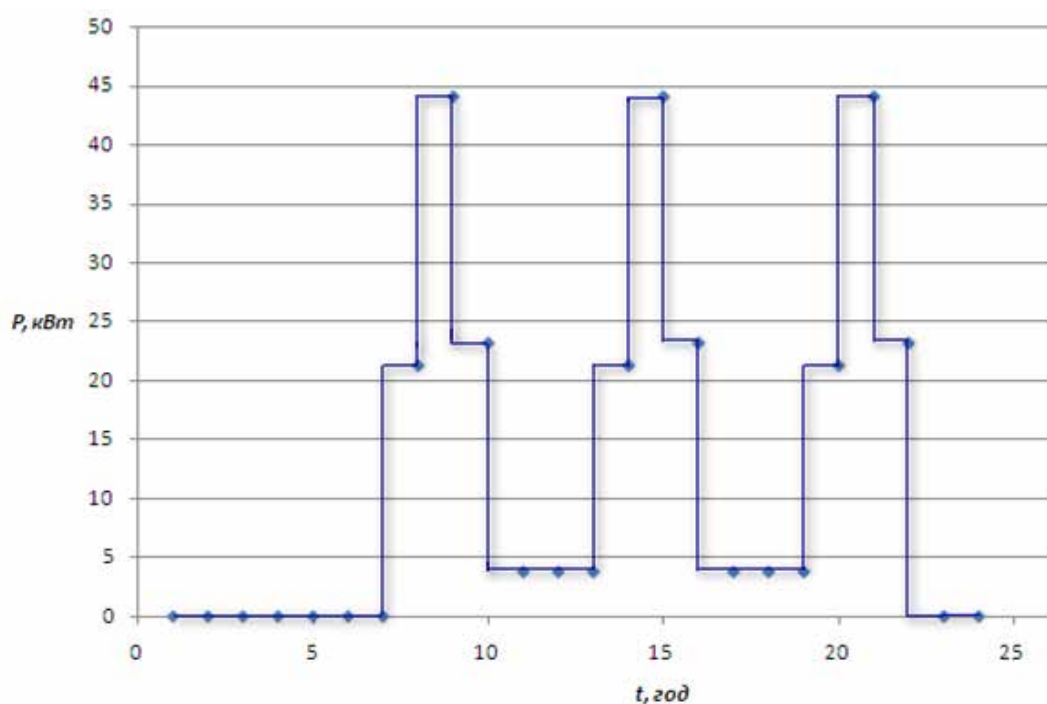


Рис. 3.5. Графік навантаження кормоцеху свинарника-відгодівельника

За графіком навантаження визначаємо максимальні денні і вечірні навантаження. Дані зводимо в табл. 3.5.

Таблиця 3.5

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.007.ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахункові навантаження кормоцеху свиноферми

№ п/п	Назва	Кількість	Розрахункове навантаження	
			Р _{дн.} , кВт	Р _{вн.} , кВт
1	Кормоцех	1	44,07	44,07
2	Підсобні приміщення	1	5,0	0,5

Визначаємо розрахункове навантаження на вводі в кормоцех.

Поводимо розрахунок відповідно в денний і вечірній максимуми.

$$Sp.v. = \frac{Pe}{\cos \varphi_v} \quad (3.42)$$

$$Sp.d. = \frac{Pd}{\cos \varphi_d} \quad (3.43)$$

де $\cos \varphi_v$ і $\cos \varphi_d$ – коефіцієнт потужності споживача відповідно в денний і вечірній максимуми.

Для кормоцехів він становить:

$$\cos \varphi_v = 0,75, \quad \cos \varphi_d = 0,78$$

$$Sp.v. = \frac{44,57}{0,75} = 59,4 \text{ кВА}$$

$$Sp.v. = \frac{49,07}{0,78} = 62,9 \text{ кВА}$$

Повна розрахункова потужність на вводі приміщення становить 62,9 кВА, що визначає вимоги до вибору трансформаторного обладнання системи електропостачання. Отримане значення враховує сумарне навантаження всіх електроприймачів з урахуванням коефіцієнтів одночасності та режимів їх роботи.

Відповідно до розрахованої потужності здійснюється вибір комплектної трансформаторної підстанції типу ТП 10/0,4 кВ номінальною потужністю 63 кВ·А, укомплектованої силовим трансформатором ТМ-63. Обрана підстанція забезпечує необхідний запас потужності, надійну роботу електроспоживачів та стабільність електропостачання технологічного обладнання приміщення.

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.007.ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ДЛЯ ДОЗУВАННЯ ПОДРІБНЕНИХ КОРЕНЕБУЛЬБОПЛОДІВ

4.1 Значення підвищення точності дозування соковитих кормів

Виробничий досвід у вітчизняній та зарубіжній практиці, а також результати досліджень провідних науково-дослідних інститутів свідчать, що використання подрібнених соковито-зелених кормів у годівлі свиней суттєво підвищує біологічну цінність кормових сумішей та дозволяє зменшити витрати концентрованих кормів у середньому на 35–40 %. Це, у свою чергу, позитивно впливає на ефективність відгодівлі та зниження собівартості продукції.

Разом з тим, аналіз існуючого електрообладнання подрібнювачів кормів та аналогічних технологічних машин показує, що воно не забезпечує повною мірою необхідний режим формування та подачі кормосуміші, що обмежує ефективність технологічного процесу. Основним недоліком діючих технологічних ліній приготування соковитих кормів є значна нерівномірність їх видачі, що негативно впливає на якість кінцевої кормової суміші та призводить до втрат кормових ресурсів.

Зазначені недоліки пояснюються тим, що регулювання та комутація потоків компонентів здійснюються переважно в ручному режимі на основі візуального контролю, а застосовувані об'ємні методи дозування не забезпечують достатньої точності та стабільності формування потоків компонентів кормових сумішей.

Позитивний досвід впровадження регульованих електроприводів та систем автоматичного керування завантаженням подрібнювачів кормів, відображений у роботах вітчизняних учених (І.І. Мартиненка, М.О. Корчемного, В.С. Федорейка, В.І. Мішина, І.В. Славіна, О.М. Мусіна та ін.), показує, що вирішення зазначеної проблеми можливе шляхом застосування регульованого електропривода безпосередньо завантажувального пристрою подрібнювального

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.007.ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

агрегату. Це дозволяє забезпечити стабілізацію навантаження та підвищити якість подрібнення кормів.

Водночас розвиток систем автоматичного регулювання у кормовиробництві стримується недостатнім рівнем розвитку датчиків контролю регульованих параметрів, зокрема відсутністю надійних витратомірів подрібнених кормів у безперервному потоці. Це ускладнює реалізацію повністю автоматизованих систем керування технологічними процесами.

Найбільш перспективним напрямом побудови систем автоматичного керування, згідно з проведеним аналізом, є застосування НВЧ-методу вимірювання, який дозволяє забезпечити розширені функціональні можливості та достатні метрологічні характеристики витратомірів при відносно прийнятній складності конструкції та експлуатації в умовах сільськогосподарського виробництва.

Експериментально встановлено, що оптимальні режими роботи подрібнювачів коренебульбоплодів забезпечуються при підтриманні продуктивності на рівні $5 \pm 0,3$ т/год, із забезпеченням обмеження нерівномірності подачі до коефіцієнта варіації не більше 20 %.

Отримана математична модель подрібнювача соковитих кормів описує імовірнісні характеристики навантаження робочих органів подрібнення та електропривода і аналітично формалізується експоненціально-косинусною кореляційною функцією, що дозволяє адекватно описувати динаміку змін навантаження в процесі роботи обладнання.

$$R(\tau) = D \exp(-0,5|\tau|) \cos 1,0\tau \quad (4.1)$$

з рівномірними функціями розподілу густини ймовірності параметрів затухання α :

$$W(\alpha) = \begin{cases} \frac{1}{2 \cdot 0,3} & \text{при } 0,2 \leq \alpha \leq 0,6 \\ 0 & \text{поза цим інтервалом} \end{cases} \quad (4.2)$$

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.007.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Випадкові зовнішні та внутрішні збурення адитивного характеру узагальнюються єдиним випадковим сигналом $Ru = 0,1D$, який характеризується рівномірним у смузі пропускання системи спектром дисперсії. Завдяки лінійності прийнятої моделі всі стохастичні впливи зосереджуються на вході динамічної системи, що дозволяє спростити її математичний опис без втрати адекватності.

У межах прийнятої структурної моделі подрібнювач кормів розглядається як об'єкт автоматичного керування, який може бути описаний аперіодичною ланкою другого порядку з урахуванням чистого запізнювання τ_z . Такий підхід забезпечує можливість подальшого аналітичного дослідження динамічних властивостей системи та синтезу регуляторів для стабілізації технологічного процесу.

$$W(p) = \frac{\exp(-1,0p)}{(0,5p + 1)(0,1p + 1)} \quad (4.3)$$

З урахуванням викладеного, найбільш доцільною стратегією керування процесом подрібнення є організація безперервного контролю вихідних параметрів роботи подрібнювальних агрегатів із одночасною стабілізацією режимів за допомогою регульованого електропривода шнекового транспортера подрібнювача. Такий підхід дозволяє забезпечити адаптивне регулювання технологічного процесу в умовах змінних навантажень.

Основним завданням у даних умовах є мінімізація дисперсії похибки стабілізації витрати вихідного потоку подрібнених кормів при підтриманні продуктивності подрібнювача на оптимальному рівні. Це, у свою чергу, забезпечує стабілізацію навантаження електропривода основного подрібнювального агрегата та підвищує якість технологічного процесу.

Реалізація такої системи керування дозволяє перерозподілити значну частину динамічних навантажень з потужного електропривода подрібнювача на менш енергоємний електропривод завантажувального шнека. У результаті досягається одночасне підвищення продуктивності обладнання та зниження питомої енергоємності процесу подрібнення кормів.

					02.02.KP.2607"С".25.10.30.007.ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.2 Обґрунтування мікрохвильового способу вимірювання витрати подрібнених кормів, розробка та дослідження НВЧ-вологоміра

При зондуванні подрібнених соковито-зелених кормів у зваженому (підвішеному) стані у вільному просторі електромагнітними НВЧ-хвилями ослаблення випромінюваної енергії в досліджуваному середовищі визначається, в основному, вмістом води, що знаходиться у кормовій масі. Це фізично обумовлено переважанням у НВЧ-діапазоні діелектричних втрат саме у воді, яка має значний коефіцієнт поглинання електромагнітної енергії.

У зв'язку з цим маса води m_v , що міститься в контрольованому об'ємі корму, може бути визначена за величиною ослаблення НВЧ-випромінювання. Оцінка виконується на основі безперервного контролю потужностей випроміненого сигналу P_v , зворотно відбитого сигналу P_z та пропущеного через середовище сигналу P_{np} , що дозволяє здійснювати непряме визначення вологості кормової маси в режимі реального часу:

$$m_v = k_v \lg \frac{P_v - P_z}{P_{np}}. \quad (4.4)$$

Для виключення впливу співвідношення води та сухої речовини в кормовій масі на результати вимірювання додатково здійснюється безперервний контроль вологості W . З цією метою використовується метод аналізу відбитої НВЧ-потужності у поєднанні з багатопараметричним принципом розділення інформаційного сигналу та завад, що дозволяє підвищити точність вимірювань у складних умовах технологічного процесу.

Компенсація впливу зміни густини потоку корму здійснюється за рахунок використання різних частот НВЧ-випромінювання, а вплив коливань шорсткості поверхні — за рахунок зміни кутів зондування. Таким чином забезпечується розділення інформаційних складових сигналу та зменшення похибки вимірювання.

Для реалізації методу перша частота f_1 вибирається в довгохвильовій області НВЧ-діапазону, де спостерігається підвищена чутливість до вологості та

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.007.ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

знижений вплив густини і шорсткості матеріалу. Друга частота f_2 обирається в короткохвильовій області, що характеризується іншою чутливістю до структурних параметрів середовища. Такий підхід дозволяє підвищити інформативність вимірювань.

Вологість подрібненого корму визначається за різницею рівнів зворотних втрат потужності НВЧ-випромінювання на зазначених частотах:

$$W = k_w \left[\lg \frac{P_{31}}{P_{d1}} - \lg \frac{P_{32}}{P_{d2}} \right]. \quad (4.5)$$

Знаючи масу води m_v , що міститься в оціночному об'ємі потоку подрібненого корму, а також його вологість W , можна однозначно визначити масу загального об'єму соковитого корму за відомим співвідношенням між вмістом води та сухої речовини. Такий підхід дозволяє виконувати непряме визначення маси кормової маси на основі вимірюваних фізичних параметрів.

Отримана залежність використовується для оперативного контролю технологічного процесу подрібнення та транспортування кормів, що забезпечує підвищення точності дозування, стабілізацію подачі сировини та покращення якості приготування кормових сумішей у кормоцеху.

$$m_k = \frac{m_v}{W}. \quad (4.6)$$

Швидкість потоку подрібненого корму визначається шляхом вимірювання доплерівського зміщення частоти f_d відбитої електромагнітної хвилі відносно падаючого НВЧ-випромінювання. Вимірювання здійснюється при зондуванні потоку під заданим кутом α_d до напрямку його руху, що дозволяє отримати інформацію про швидкісні характеристики рухомого середовища.

Такий метод базується на ефекті Доплера та забезпечує безконтактне визначення швидкості переміщення кормової маси в технологічному потоці. Отримані дані використовуються для подальшого розрахунку витрати та стабілізації режимів роботи системи подрібнення і транспортування кормів.

					02.02.KP.2607"С".25.10.30.007.ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$v = k_v f_d \frac{3 \cdot 10^{-6}}{f_2 \cos \alpha_d}. \quad (4.7)$$

Отримані параметри дають можливість безконтактно контролювати масову витрату Q подрібненого корму в безперевному потоці:

$$Q = kmW^{-1}v. \quad (4.8)$$

Результати експериментального моделювання взаємодії НВЧ-випромінювання з подрібненими соковито-зеленими кормами підтвердили коректність теоретичних передумов, покладених в основу розробленого мікрохвильового методу вимірювання витрати. Отримані результати також дозволили визначити раніше невідомі коефіцієнти k_v , k_w , k_d , які характеризують взаємозв'язок між параметрами НВЧ-випромінювання та контрольованими фізико-механічними властивостями кормової маси.

Для практичної реалізації запропонованого методу вимірювання витрати кормів за допомогою фізичного моделювання були визначені оптимальні частотні діапазони, у яких забезпечується найкраще розділення інформаційних сигналів і завад при мінімальній нелінійності їх взаємодії. Це дозволило підвищити точність та стабільність вимірювальної системи.

Аналіз отриманих частотних характеристик (рис. 4.1) з урахуванням технологічних режимів та конструктивних обмежень показав, що оптимальна частота для визначення маси вологи в соковито-зелених кормах знаходиться в діапазоні 2,5–3,5 ГГц. З урахуванням конструктивних вимог перша робоча частота прийнята рівною $f_1 = 3 \text{ ГГц}$. Найбільш чутливою областю для доплерівського вимірювача швидкості, суміщеного з каналом двочастотного вологоміра, є верхня частина НВЧ-діапазону, у зв'язку з чим друга робоча частота прийнята $f_2 = 24 \text{ ГГц}$. Потужність НВЧ-випромінювання встановлена на рівні 100 мВт для першого каналу та 50 мВт для другого каналу відповідно. Оптимальний кут зондування потоку корму доплерівським радаром становить $\alpha_d = 40^\circ \pm 5^\circ$, що забезпечує мінімальну похибку вимірювання швидкості.

					02.02.KP.2607"С".25.10.30.007.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

Розроблений спосіб вимірювання витрати корму реалізується за рахунок двочастотного зондування контрольованого потоку НВЧ-випромінюванням у двох геометріях — по нормалі та під кутом до напрямку руху потоку, із безперервною реєстрацією амплітудно-частотних характеристик змін параметрів сигналу. Така реалізація дозволяє одночасно визначати швидкість, вологість та масову витрату корму в реальному часі.

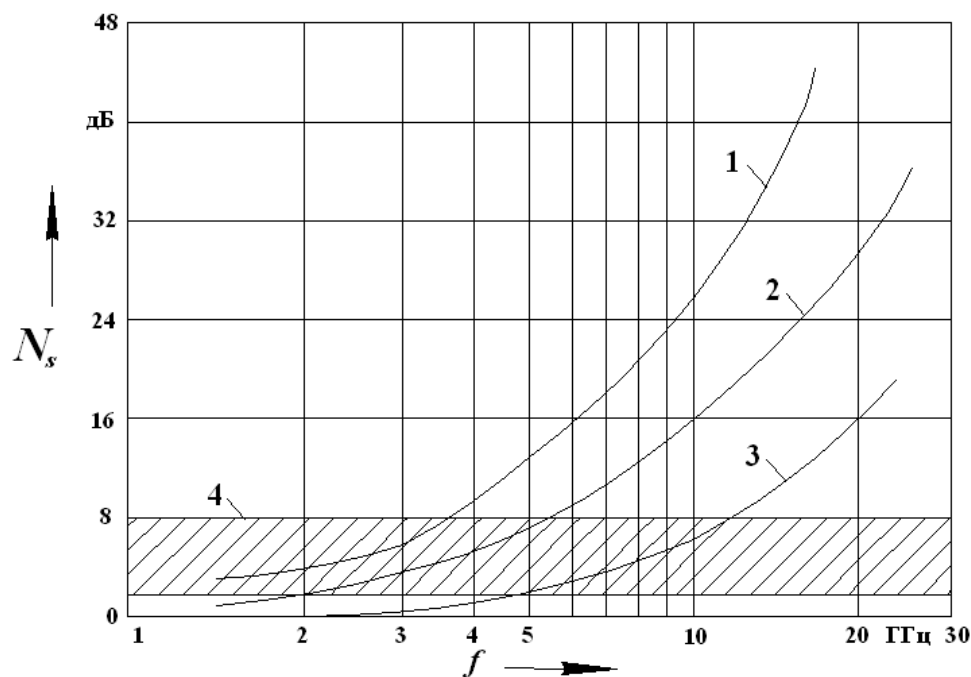


Рис. 4.1. Залежність сумарних втрат НВЧ-потужності від частоти випромінювання: 1 – для коренебульбоплодів; 2 – для силосу та зеленої маси; 3 – для соломи; 4 – зона оптимальних частот

Функціонально НВЧ-витратомір (Аркуш 4) складається з трьох основних вимірювальних каналів, кожен з яких виконує окрему функцію в загальній системі визначення витрати подрібнених соковито-зелених кормів. Така багатоканальна структура забезпечує підвищення точності вимірювань та розділення інформаційних параметрів технологічного процесу.

Канал вимірювання маси вологи включає елементи 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 11, 12, 22, 23, 27 та забезпечує визначення вологоутримання кормової маси на основі НВЧ-ослаблення сигналу. Двочастотний вологомір реалізований на елементах 1, 2, 3, 5, 6, 10, 13, 14, 15, 16, 18, 19, 21, 24, 25, 26 і забезпечує підвищену точність

визначення вологості за рахунок багаточастотного зондування та компенсації зовнішніх впливів.

Доплерівський вимірювач швидкості потоку корму зібраний на елементах 13, 14, 16, 17, 18, 20, 21 та призначений для визначення швидкісних характеристик руху кормової маси на основі доплерівського зсуву частоти відбитого сигналу.

Отримані сигнали з усіх вимірювальних каналів обробляються відповідно до встановлених функцій перетворення в спеціально розробленому обчислювальному блоці 28. Даний блок забезпечує цифрову реєстрацію інтегральної витрати корму, формування аналогового сигналу миттєвої витрати, а також реалізує функцію клавіатурного програмування заданої дози корму з подальшою видачею керуючого сигналу після досягнення встановленого значення накопиченої маси.

Результати експериментальних випробувань НВЧ-витратоміра подрібнених соковито-зелених кормів показали, що відносна похибка вимірювання масової витрати знаходиться в межах 3–7 % у діапазоні витрати 1,5–18 т/год, що підтверджує працездатність і достатню точність запропонованої системи вимірювання.

4.3 Розробка системи автоматизованого електрообладнання подрібнювача коренебульбоплодів ИКС-5М

Подрібнювач коренебульбоплодів ИКС-5М призначений для виконання операцій мийки та подрібнення коренебульбоплодів і може застосовуватись у складі технологічних ліній кормоцехів тваринницьких ферм, оснащених системами водопостачання та каналізації, а також використовуватись як окрема технологічна машина.

Функціональна схема електрообладнання процесу дозування та підготовки соковитих кормів наведена на рис. 4.2. Технологічний процес передбачає подачу коренебульбоплодів, попередньо очищених від землі та піску за допомогою транспортера ТК-5Б, до приймального бункера подрібнювача. Далі сировина

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.007.ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

проходить попередню обмивку у мийній ванні та повторну очищувальну обробку у шнеку за рахунок зустрічного потоку води.

Водяна система очищення працює за замкнутим циклом: мийна ванна – насос – шнек – мийна ванна, що забезпечує стабільність процесу мийки, зменшення витрат води та підвищення ефективності очищення коренебульбоплодів перед подальшим подрібненням.

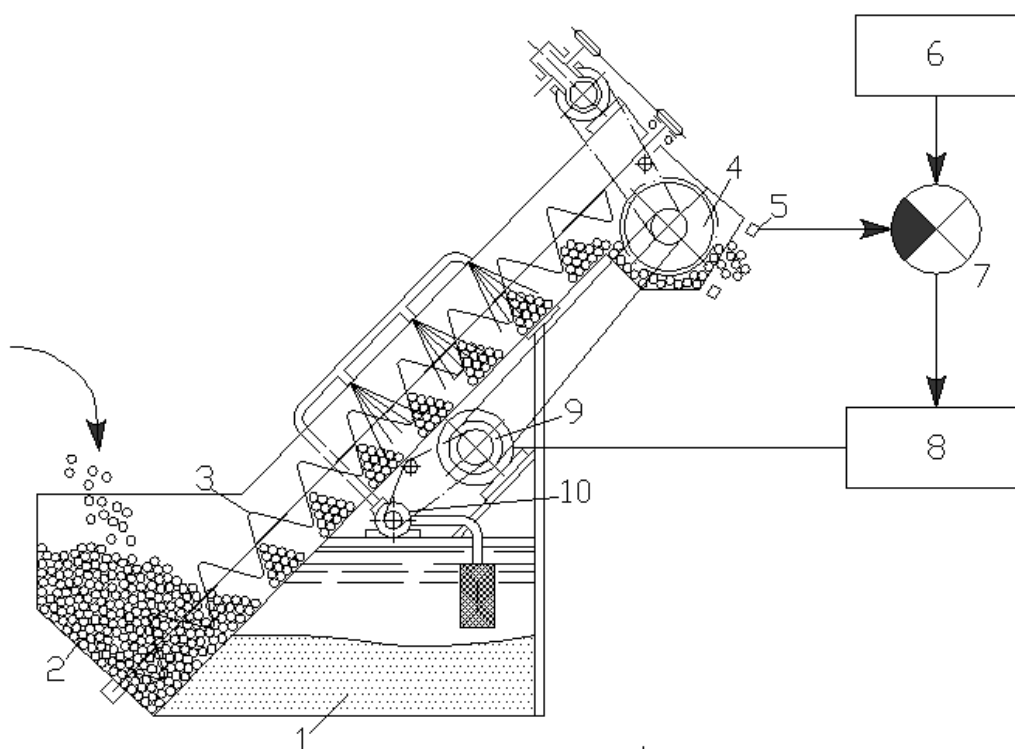


Рис. 4.2. Функціональна схема електрообладнання дозування соковитих кормів: 1 – ванна; 2 – приймальний бункер; 3 – шнек; 4 – подрібнювач; 5 – НВЧ-витратомір; 6 – задатчик; 7 – суматор; 8 – перетворювач частоти; 9 – електродвигун; 10 – водяний насос

Привід шнека вмикається після досягнення дробильним ротором номінальної частоти обертання, що забезпечує безпечний режим запуску та виключає перевантаження електропривода. Після стабілізації роботи ротора шнек здійснює подачу відмитих коренебульбоплодів у дробильну камеру для подальшого подрібнення.

Робочими органами подрібнювального барабана є шарнірно закріплені молотки та протиріжуча гребінка, що забезпечують ефективне руйнування структури коренебульбоплодів до заданої фракції. Подрібнена маса за

допомогою прямого козирка подається у завантажувальний шнек ШЗС-40Б або безпосередньо в змішувач, залежно від обраної технологічної схеми.

Відмиті забруднення осідають у нижній частині машини та видаляються самопливом через спеціальні люки мийної ванни або примусово за допомогою насоса 2½ НФ по трубопроводу. У результаті подрібнення забезпечується фракційний склад маси з вмістом часток: до 10 мм — близько 70 %, до 20 мм — близько 30 %, що відповідає технологічним вимогам приготування кормових сумішей.

Технічна характеристика подрібнювача коренебульбоплодів ИСК-5М наведена в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Технічна характеристика подрібнювача коренебульбоплодів ИСК-5М

Параметри	Значення
Встановлена потужність двигунів, кВт	9,0
Продуктивність, т/год	5,0
Місткість ванни, м³	2,5
Місткість бункера, м³	3,0
Витрата води на 1 т коренебульбоплодів, м³	0,15
Габаритні розміри, мм:	
довжина	3200
ширина	2600
висота	2800
Маса, кг	1250

Кінематична схема подрібнювача ИСК-5М зображена на рис.4.3.



Система електрообладнання подрібнювача ИКС-5М складається з електропривода основного подрібнювального агрегата (див. розділи 3.1, 3.3) та регульованого електропривода шнека подачі коренебульбоплодів. Така структура забезпечує узгоджену роботу технологічних вузлів та дозволяє реалізувати адаптивне керування процесом подрібнення.

Регульований електропривод шнека побудований на основі розробленого НВЧ-витратоміра соковитих кормів, який забезпечує безперервний контроль масової витрати кормового потоку на виході з подрібнювача. Отриманий сигнал вимірювання надходить до пристрою порівняння частотного регулятора, де здійснюється його обробка та формування керуючих впливів.

Сформовані керуючі сигнали подаються на асинхронний електродвигун шнека, який змінює частоту обертання, а відповідно і продуктивність подачі коренебульбоплодів у дробильний барабан. Таким чином забезпечується стабілізація навантаження основного електропривода та підтримання оптимального режиму роботи подрібнювача в автоматичному режимі.

					02.02.КР.2607”С”.25.10.30.007.ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.4 Розробка електропривода шнека подрібнювача коренебульбоплодів ИКС-5М

Привід шнека подрібнювача ИКС-5М виконаний на базі регульованого електропривода з використанням перетворювача частоти VFD015E43A, який призначений для керування асинхронним електродвигуном потужністю 1,5 кВт. Застосування частотного перетворювача дозволяє забезпечити плавне регулювання швидкості обертання двигуна відповідно до змін технологічного навантаження.

Перетворювач частоти забезпечує ефективне керування частотою обертання та моментом двигуна, реалізацію плавного пуску та гальмування, а також автоматизацію технологічного процесу подачі коренебульбоплодів. Це сприяє зниженню пікових навантажень, підвищенню енергоефективності та стабілізації роботи подрібнювального агрегату.

Перетворювачі частоти серії VFD компанії Delta Electronics розроблені з урахуванням специфіки промислових застосувань і дозволяють точно регулювати швидкість та обертовий момент електродвигуна. Вони забезпечують стійку роботу при змінних навантаженнях, ефективне гальмування при їх зростанні, а також можливість гнучкого налаштування режимів керування та конфігурації системи відповідно до вимог технологічного процесу.

Перетворювач частоти забезпечує реалізацію регульованої характеристики V/f та векторного керування електродвигуном, що дозволяє ефективно адаптувати режим роботи привода до змінних навантажень технологічного процесу. Завдяки цьому підвищується точність регулювання швидкості, покращується енергоефективність та стабільність роботи електропривода шнека.

Пристрій має розширений функціональний набір, до якого входять: вбудований програмований логічний контролер, ПД-регулятор для точного підтримання заданих параметрів, модульна конструкція для розширення функціональних можливостей, інтерфейс зв'язку по MODBUS для інтеграції в автоматизовані системи керування, розширені входи/виходи, вбудований

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.007.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

радіочастотний фільтр, а також функція контролю температури двигуна за допомогою РТС-термістора.

Перетворювач частоти VFD075E43A має такі основні технічні характеристики: номінальна потужність електродвигуна становить 1,5 кВт, повна потужність — 3,3 кВА, номінальний вихідний струм — 4,2 А. Вихідна напруга регулюється в діапазоні від 0 до 380 В, а вихідна частота — від 0,1 до 600 Гц, що забезпечує широкий діапазон керування електроприводом.

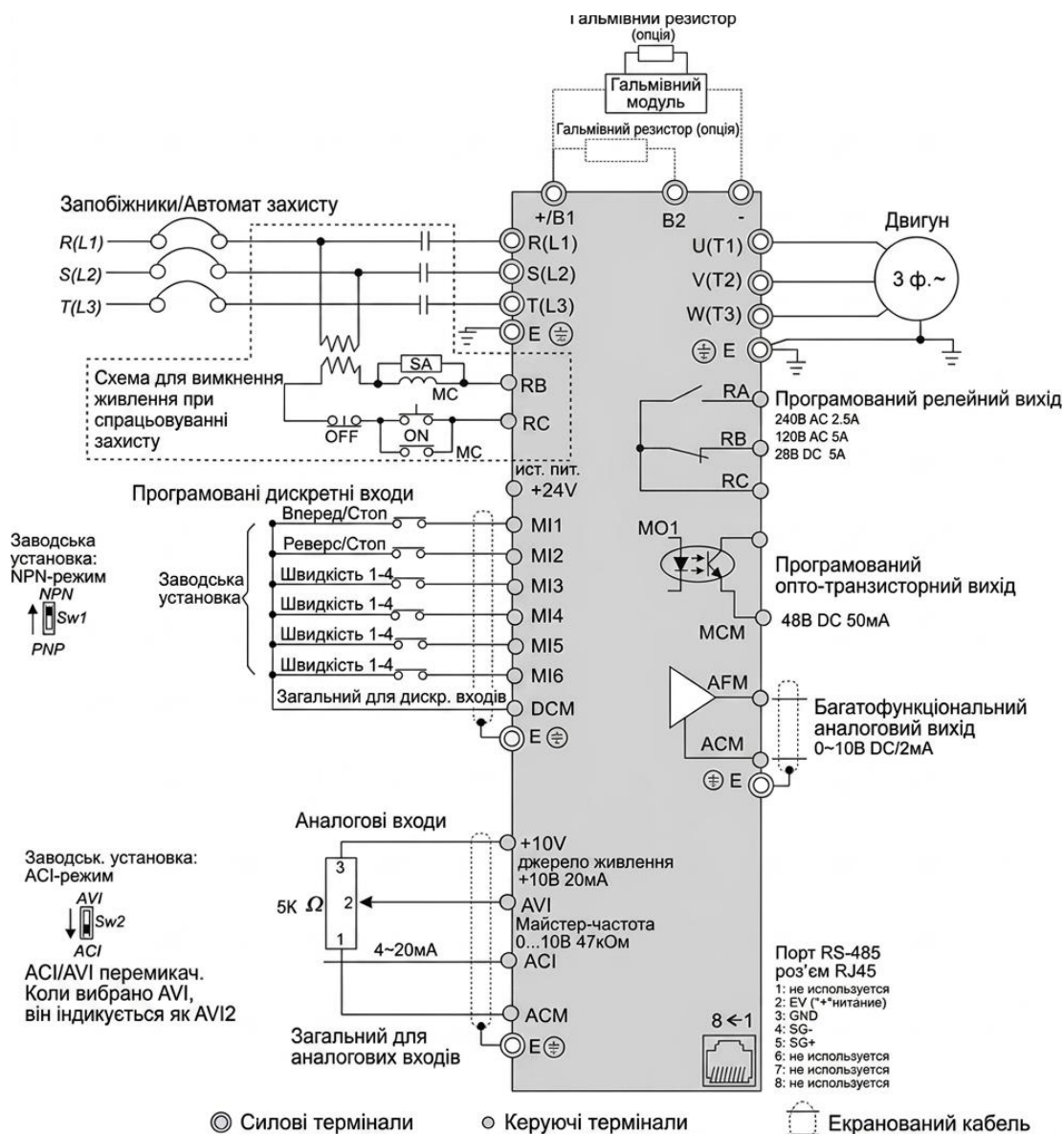


Рис.4.4. Схема підключення векторного перетворювача частоти VFD075E43A

Використання НВЧ-витратоміра у поєднанні з перетворювачем частоти VFD075E43A забезпечує плавне та безперервне регулювання частоти обертання

шнека відповідно до поточної витрати кормової маси. Це дозволяє підтримувати витрату кормів на заданому рівні в автоматичному режимі та забезпечує узгоджену роботу всіх елементів технологічної системи.

У результаті застосування даного комплексу обладнання відбувається вирівнювання навантажувальної діаграми електродвигуна, зменшення пікових струмів та підвищення стабільності його роботи. Розроблене електрообладнання (Аркуш 4) забезпечує стабілізацію витрати кормів на заданому рівні та підтримання струмів навантаження електродвигуна з нерівномірністю, що не перевищує 15 % за коефіцієнтом варіації.

Завдяки цьому досягається підвищення продуктивності процесу подрібнення коренебульбоплодів на 15–25 %, а також відповідне зниження питомої енергоємності технологічного процесу на 15–25 %, що підтверджує ефективність запропонованої системи автоматизованого керування.

					02.02.КР.2607”С”.25.10.30.007.ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 5

ЗАХОДИ З ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ОХОРОНИ ПРАЦІ

5.1 Енергозбереження в кормоцеху

Електропостачальні організації та споживачі електроенергії зобов'язані вживати комплексу заходів, спрямованих на зменшення споживання реактивної потужності, що дозволяє підвищити енергоефективність електричних мереж, зменшити втрати електроенергії та покращити якість електропостачання. Зниження реактивного навантаження електроприймачів, зокрема асинхронних електродвигунів, зварювальних трансформаторів та іншого індуктивного обладнання, може здійснюватися як без застосування компенсуючих пристроїв, так і з їх використанням.

Перший напрямок включає організаційно-технічні заходи: правильний вибір електродвигунів за потужністю відповідно до реального навантаження, забезпечення їх роботи в номінальному або близькому до номінального режимі, скорочення тривалості роботи електроприймачів у режимі холостого ходу шляхом оптимізації технологічних процесів, застосування пристроїв обмеження холостого ходу, а також використання синхронних електродвигунів замість асинхронних у випадках, коли це допускається технологічними умовами.

Встановлення компенсуючих установок (КУ) у споживачів є найбільш ефективним способом зниження реактивного навантаження та втрат електроенергії в електричних мережах. У середньому ефект компенсації становить до 300 кВт·год економії на 1 кВАр встановленої потужності конденсаторних батарей на рік. Таким чином, компенсуюча установка потужністю 250 кВАр може забезпечити значну річну економію паливно-енергетичних ресурсів.

Важливою складовою раціонального використання електроенергії є автоматизація технологічних процесів. Зокрема, автоматичне регулювання температурних режимів дозволяє забезпечити економію електроенергії на

					02.02.KP.2607"С".25.10.30.007.ПЗ	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

рівні 20–25 %. Натомість відмова від автоматичних систем і перехід на ручне керування при незначних відмовах призводить до підвищених енерговитрат та зниження ефективності роботи обладнання.

Значні перевитрати електроенергії в освітлювальних установках виникають унаслідок неправильного вибору потужності ламп, нерационального розміщення світильників, а також заміни перегорілих ламп на лампи більшої потужності через відсутність необхідних типорозмірів. Зменшення споживання електроенергії досягається шляхом впровадження енергоефективних світлодіодних джерел світла, які забезпечують вищу світловіддачу та менші експлуатаційні витрати.

Для ртутних ламп характерним є збільшення реактивної потужності при підвищенні напруги живлення, що додатково погіршує енергетичні показники системи. Уникнення таких втрат можливе шляхом постійного контролю рівня напруги в мережі та застосування автоматичних регуляторів і стабілізуючих пристроїв.

5.2 Заходи з охорони праці в кормоцеху

Для забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу в кормоцеху передбачено систему занулення всіх металевих неструмоведучих частин електроустановок, які в нормальному режимі не перебувають під напругою, але можуть опинитися під нею в разі аварійної ситуації. Занулення виконується відносно заземлювальної шини, яка прокладається вздовж стін виробничого приміщення, що забезпечує надійне вирівнювання потенціалів та зниження ризику ураження електричним струмом. З'єднання елементів системи передбачається виконувати зварюванням або болтовими з'єднаннями з обов'язковим контролем надійності контактів.

Силові електричні мережі виконуються в захисних трубах, що підвищує механічну стійкість та електробезпеку кабельних ліній. Робоче та чергове освітлення передбачається виконати на напрузі 380/220 В, тоді як ремонтне

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.007.ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

освітлення живиться від понижувального трансформатора ОСМ-0,25-220/12 В, що забезпечує підвищену безпеку при виконанні ремонтних робіт.

Розробка технічних та організаційних заходів з охорони праці базується на результатах аналізу умов праці та класифікації виробничих приміщень із врахуванням специфіки технологічного процесу. Особлива увага приділяється заходам захисту персоналу від дії електричного струму, а також забезпеченню безпечних умов експлуатації технологічного обладнання.

До основних технічних та організаційних заходів, спрямованих на усунення небезпечних та шкідливих виробничих факторів, належать:

1.забезпечення ефективної вентиляції виробничих приміщень для підтримання нормативних параметрів мікроклімату;

2.раціональне розміщення технологічного обладнання з обов'язковим огороженням усіх рухомих частин;

3.забезпечення нормативного рівня освітленості у всіх виробничих зонах;

4.використання ізолюючих вставок у водопровідних мережах для запобігання винесенню електричного потенціалу на водонапувальні пристрої;

5.занулення корпусів усіх електроприймачів та електрообладнання;

6.виконання повторного заземлення нульового проводу на кінцях магістралей, відгалуженнях та вводах у будівлі;

7.зменшення рівня шуму та вібрацій шляхом конструктивних та експлуатаційних заходів;

8.дотримання вимог ПУЕ, ПТЕ та ПТБ при проєктуванні, монтажі та експлуатації електроустановок;

9.використання інформаційних плакатів з техніки безпеки, пожежної безпеки, гігієни праці та інструкцій з надання першої допомоги при ураженні електричним струмом.

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.007.ПЗ	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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 перевантажен	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	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+

Одним із важливих напрямів забезпечення охорони праці на свиновідгодівельному комплексі є застосування індивідуальних засобів захисту персоналу, який обслуговує електроустановки. Використання засобів захисту здійснюється відповідно до «Норм комплектування засобами захисту», наведених у додатку Б.П.1 «Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів», а також вимог «Правил техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів». Це забезпечує нормативний рівень електробезпеки під час експлуатації та обслуговування електрообладнання.

Результати розрахунків потреби в засобах індивідуального захисту наведені у таблиці 5.2, що дозволяє визначити необхідну кількість та номенклатуру захисних засобів для персоналу залежно від умов виконання робіт.

Необхідна кількість спецодягу, спецвзуття та інших засобів захисту визначається відповідно до «Норм безкоштовної видачі спецодягу, спецвзуття та запобіжних пристосувань», які враховують характер виробничих факторів, умови праці та рівень професійних ризиків (табл. 5.2).

Таблиця 5.2

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

РОЗДІЛ 6

ОСНОВНІ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ

Економічна ефективність впровадження нових електрифікованих технологій та обладнання у виробничі процеси сільського господарства визначається шляхом порівняння двох варіантів: базового (до впровадження нового обладнання) та модернізованого (після впровадження удосконаленої системи). Такий підхід дозволяє оцінити доцільність інвестицій та очікуваний економічний ефект від впровадження нових технічних рішень.

Розрахунок виконується для системи автоматичного регулювання дозування соковитих кормів. Вартість базової системи становить 25 600 грн, тоді як вартість модернізованої системи — 27 800 грн. Підвищення капітальних витрат пов'язане з використанням більш сучасного електрообладнання та засобів автоматизації.

Капітальні затрати K_1 , що враховують витрати на транспортування обладнання до місця експлуатації, монтажні роботи та пусканалагодження, визначаються орієнтовно з урахуванням структури загальних інвестицій та прийнятої методики економічних розрахунків.

$$K^1=0,1 Ц$$

де Ц – оптова ціна пристрою

Річні експлуатаційні витрати включають комплекс постійних і змінних витрат, пов'язаних із забезпеченням функціонування системи автоматичного дозування соковитих кормів, а саме:

1. витрати на оплату праці обслуговуючого персоналу з урахуванням нарахувань;
2. витрати на утримання основних засобів виробництва, включаючи технічне обслуговування та ремонт обладнання;
3. витрати на споживану електроенергію відповідно до встановлених режимів роботи електроприводів;
4. інші експлуатаційні витрати, що включають адміністративні та допоміжні платежі.

					02.02.KP.2607"С".25.10.30.007.ПЗ	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Витрати на утримання основних засобів, у свою чергу, складаються з амортизаційних відрахувань та витрат на поточний ремонт і технічне обслуговування обладнання, що забезпечує його працездатність протягом усього нормативного терміну експлуатації.

Амортизаційні відрахування визначаються за відповідною розрахунковою формулою:

$$A = C_5 \frac{H_A}{100}, \quad (6.1)$$

де H_A – 14,2% - річні норми амортизаційних відрахувань; C_5 - балансова ціна пристрою.

Балансові ціни пристроїв:

– базового: $C_{бб} = C_б + K^1 = 1,1 C_б = 29150$ грн.

– нового: $C_{бн} = C_н + K^1 = 1,1 C_н = 30580$ грн

Відрахування на поточний ремонт:

$$ПР = C_б \frac{H_{тр}}{100}, \quad (6.2)$$

де $H_{тр} = 7,1\%$ - річна норма відрахувань на поточний ремонт.

Заробітна плата персоналу, обслуговуючого установку:

$$ЗП = (1 + H_c/100) C_T (З_{пнв} + З_{екс}), \quad (6.3)$$

де $H_c = 4,4\%$ минулі відрахування на соціальне страхування; $C_T = 100,00$ грн/год

– середня годинна тарифна ставка; $З_{пнв.б} = 4$ люд.·год. – трудомісткість на

підключення, налагодження і відключення базового пристрою; $З_{пнв.н} = 2$

люд.·год. – трудомісткість на підключення, налагодження і відключення нового

пристрою; $З_{екс.б} = 50$ люд.·год. – трудомісткість на експлуатацію базової

установки; $З_{екс.н} = 10$ люд.·год. – трудомісткість на експлуатацію нової

установки.

$$З_{річ} = З_{пл} + З_{дод} + З_{ел} + З_{ін}, \quad (6.4)$$

де $З_{ін} = 5\%$, $З_{дод} = 0,4\%$ від основної.

$$З_{пл} = З_{осн} + З_{дод} + З_{відр.}, \quad (6.5)$$

$$З_{осн} = C_{год} \cdot Ч_{вс}, \quad (6.6)$$

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.007.ПЗ	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $C_{\text{год}}=11.41/7=1,63$

Для розробленої системи автоматичного регулювання $Z_{\text{екс}}=0$, тоді:

$$ЗП_2 = (1 + Нс/100) Ч_Т З_{\text{пнв}} . \quad (6.7)$$

Річні експлуатаційні витрати рівні:

$$В = А + ПР + ЗП \quad (6.8)$$

Річна економічна ефективність від впровадження системи автоматичного регулювання розраховується за формулою:

$$E = \left[3_1 \frac{B_2}{B_1} \cdot \frac{P_1 + E_H}{P_2 + E_H} + \frac{(B_1 - B_2) + E_H (K'_1 - K'_2)}{P_2 + E_H} - 3_2 \right] \cdot A_2 ; \quad (6.9)$$

$$E = З + З_{\text{утр}} + З_{\text{інф}} ; \quad (6.10)$$

$$З = З_{\text{осн.}} + З_{\text{доп}} + З_{\text{відр.}} ; \quad (6.11)$$

$$З_{\text{утр}} = А + P_n, \quad (6.12)$$

де $З_1$ і $З_2$ – затрати базового і нового пристрою; $E_H = 0,15$ – нормований коефіцієнт ефективності капіталовкладень; $\frac{B_2}{B_1}$ – коефіцієнт, який враховує рівень виробництва нового пристрою в порівнянні з базовим, $\frac{B_2}{B_1} = 1,5$; P_1, P_2 – відрахування на реновацію базового і розробленого пристрою.

$$P_1 = \frac{1}{T_1} ; \quad P_2 = \frac{1}{T_2} , \quad (6.13)$$

де T_1, T_2 – срок роботи відповідно базового і розробленого пристроїв, в розрахунках приймаємо, $T_1=T_2=10$ років; A_2 – річний об'єм виробництва нових пристроїв, приймаємо $A_2=1$.

Результати розрахунку економічної ефективності в табл. 6.1.

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.007.ПЗ	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основні економічні показники базового і нового пристроїв.

Назва показників	Базоий пристрій	Новий пристрій
Оптова ціна (на одну установку), грн.	25600,0	27800,0
Капітальні затрати на виробництві, грн/рік.	2560,0	2780,0
Поточні капітальні затрати, грн/рік.	2320,0	1260,0
Амортизаційні відрахування, грн/рік.	3630,52	3940,76
Відрахування на поточний ремонт, грн/рік.	1810,76	1970,38
Відрахування на заробітну плату, грн/рік: при n=1	5630,76	1250,28
Експлуатаційні витрати, грн/рік: при n=1	1070,0	520,0
Приведені затрати, грн/рік.	410,5	260,0
Економічна ефективність, грн/рік		3260,12

Економічна ефективність від впровадження розробленої системи досягається, головним чином, за рахунок зниження експлуатаційних витрат, зокрема витрат на електроенергію, обслуговування та підвищення ефективності використання обладнання. Застосування автоматизованого регулювання технологічного процесу дозволяє оптимізувати режими роботи електроприводів та зменшити непродуктивні втрати ресурсів.

У результаті виконаних розрахунків встановлено, що річний економічний ефект від впровадження розробленої системи становить 3260,12 грн/рік, що підтверджує доцільність її використання у складі технологічної лінії приготування та дозування соковитих кормів.

ВИСНОВКИ

1.Обґрунтовано та здійснено вибір технологічного обладнання для кормоцеху свинівідгодівельної ферми, яке забезпечує механізацію та автоматизацію основних технологічних процесів приготування та обробки кормів.

2.Обґрунтовано структуру системи електрообладнання кормоцеху свинівідгодівельної ферми та виконано вибір необхідного електротехнічного обладнання з урахуванням режимів роботи технологічних ліній.

3.Розроблено систему автоматизованого електрообладнання подрібнювача коренебульбоплодів ИКС-5М, яка забезпечує автоматичне регулювання навантаження подрібнювача. Система включає НВЧ-витратомір подрібнених соковито-зелених кормів та перетворювач частоти. Завдяки стабілізації навантаження електроприводів на оптимальному рівні досягається підвищення середньої продуктивності подрібнювача на 15–25 % та зниження питомої енергоємності процесу подрібнення на 10–15 %.

4.Визначено розрахункове навантаження на ввіді кормоцеху та обґрунтовано вибір трансформаторної підстанції відповідної потужності.

5.Розроблено комплекс заходів з енергозбереження та охорони праці для забезпечення безпечної та ефективної експлуатації обладнання кормоцеху.

6.Річний економічний ефект від впровадження системи автоматичного регулювання дозування соковитих кормів становить 3260,12 грн/рік, що підтверджує доцільність запропонованих технічних рішень.

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.007.ПЗ	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Про ринок електричної енергії : Закон України від 13.04.2017 № 2019-VIII. *Відомості Верховної Ради України*. 2017. № 27-28. Ст. 312.
2. Про енергоефективність : Закон України від 21.10.2021 № 1818-IX. *Відомості Верховної Ради України*. 2022. № 2. Ст. 9.
3. Про альтернативні джерела енергії : Закон України від 20.02.2003 № 555-IV. *Відомості Верховної Ради України*. 2003. № 24. Ст. 155.
4. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). 7-ме вид., перероб. і доп. Київ : Міненерговугілля України, 2022. 794 с.
5. НПАОП 40.1-1.32-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних електроустановок. Київ : Форт, 2001. 120 с.
6. ДБН В.2.5-23:2010. Інженерне обладнання будинків і споруд. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 136 с.
7. Правила роздрібного ринку електричної енергії : затверджено Постановою НКРЕКП від 14.03.2018 № 312. *Офіційний вісник України*. 2018. № 32. Ст. 1139.
8. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів : затверджено Наказом Міністерства палива та енергетики України від 25.07.2006 № 258 (у редакції Наказу Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 13.02.2012 № 91). Київ : ХІМЕКС, 2012. 314 с.
9. Основи електропривода / Ю. М. Лавріненко, О. С. Марченко, П. І. Савченко та ін. ; за ред. Ю. М. Лавріненка. Київ : Ліра-К, 2016. 504 с.
10. Електричне освітлення та опромінення в агропромисловому комплексі : навч. посібник / Л. С. Червінський, Л. О. Сторожук. 2-ге вид., перероб. і доп. Київ : НУБіП України, 2019. 264 с.
11. Електропостачання агропромислового комплексу : підручник / В. В. Козирський, В. В. Каплун, С. М. Волошин. 2-ге вид. Київ : Компринт, 2018. 456 с.

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.007.ПЗ	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

12. Технічна експлуатація енергетичного обладнання в АПК : підручник / М. Т. Лут, О. В. Мірошник, І. М. Трунова та ін. ; за ред. М. Т. Лута. Київ : Компринт, 2020. 452 с.

13. Лут М. Т., Радько І. П., Тракай В. Г., Чміль А. І. Безпека праці в сільських електроустановках : навч. посібник для студентів вищих навчальних закладів. Київ : ТОВ «Аграр Медіа Груп», 2012. 430 с.

14. Проектування електротехнічних систем АПК : навч. посібник / В. В. Козирський, В. М. Радчук. Київ : НУБіП України, 2019. 288 с.

15. Електропривод виробничих машин і механізмів : навч. посібник / О. Ю. Синявський, В. В. Савченко, Ю. М. Лавріненко, Д. Г. Войтюк, В. Я. Бунько, В. Ю. Рамш. Київ : Компринт, 2020. 444 с.

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.007.ПЗ	Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		