

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра механічної та електричної інженерії

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти

бакалавр

на тему: «Розроблення системи керування та захисту електроприводу
лінії подачі кормів»

КРБ.14ЕЕбд_31.12.00.00.000 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти за
освітньо-професійною програмою
*«Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка»*
спеціальності 141
*«Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка»*
ступеня вищої освіти *бакалавр*
групи *141ЕЕбд_31[3]*
Пацула В.С.

Керівник: Семенов А.О.
Рецензент: Сусліч О.Г.

Полтава – 2026 року

ВСТУП

У сучасних умовах розвитку агропромислового виробництва особливого значення набуває підвищення рівня механізації та автоматизації технологічних процесів у тваринництві. Однією з найбільш відповідальних операцій у структурі виробничого циклу є подача кормів, від своєчасності та рівномірності якої безпосередньо залежать продуктивність тварин, раціональне використання кормових ресурсів, трудомісткість обслуговування та економічна ефективність господарства.

На сучасних фермах і тваринницьких комплексах лінії подачі кормів працюють у складних умовах експлуатації, що характеризуються змінним навантаженням, підвищеною вологістю, наявністю пилу, агресивного середовища та необхідністю безперервної роботи у визначені проміжки часу. За таких умов особливо важливим є правильний вибір електроприводу, а також побудова надійної системи керування і захисту, здатної забезпечити стабільне функціонування обладнання, зменшення аварійності та безпечні умови праці обслуговуючого персоналу.

Практика експлуатації кормоподаючих установок показує, що значна частина відмов пов'язана не лише з механічним зношуванням робочих органів, а й з недосконалістю електричних схем, недостатньою ефективністю захисту електродвигунів від перевантажень, коротких замикань, перекосу фаз, а також з відсутністю достатнього рівня автоматизації процесу керування. У зв'язку з цим актуальним є розроблення сучасної системи керування та захисту електроприводу, яка б відповідала умовам реальної експлуатації лінії подачі кормів і забезпечувала підвищення надійності та енергоефективності її роботи.

Актуальність теми полягає у необхідності вдосконалення технічних рішень у сфері електроприводів кормоподаючих систем за рахунок обґрунтованого вибору двигуна, розрахунку параметрів електромеханічної системи, а також проектування ефективної схеми керування, комутації та захисту.

Мета роботи – розробити систему керування та захисту електроприводу лінії подачі кормів, яка забезпечить надійну, безпечну та енергоефективну роботу технологічного обладнання в умовах тваринницького господарства.

Об'єкт дослідження – електропривод лінії подачі кормів у тваринницькому виробництві.

Предмет дослідження – система керування, захисту та електроживлення електроприводу лінії подачі кормів, а також методи вибору її основних параметрів.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

1. Проаналізувати технологічні особливості роботи лінії подачі кормів.
2. Дослідити конструктивні та режимні характеристики робочого механізму.
3. Виконати розрахунок навантаження електроприводу та обґрунтувати вибір електродвигуна.
4. Перевірити електродвигун за умовами пуску, перевантажувальною здатністю та енергетичними показниками.
5. Розробити принципову електричну схему керування електроприводом.
6. Обґрунтувати вибір апаратів захисту, комутації та кабельної продукції.
7. Оцінити умови безпеки праці, екологічні аспекти та економічну ефективність запропонованого рішення.

Методи дослідження – аналітичний аналіз технологічного процесу, розрахунки електромеханічних параметрів, графоаналітичні методи визначення динамічних характеристик, порівняльний аналіз технічних рішень, а також інженерне проєктування систем керування та захисту.

Практичне значення одержаних результатів полягає в можливості використання розробленої системи керування та захисту під час модернізації існуючих кормоподаючих установок або при створенні нових механізованих ліній у тваринницьких господарствах. Запропоновані рішення можуть сприяти

підвищенню надійності електроприводу, зменшенню експлуатаційних витрат, покращенню умов праці та підвищенню ефективності виробничого процесу.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПОДАЧІ КОРМІВ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ НАПРЯМКУ РОЗРОБКИ

1.1 Особливості механізації та електрифікації ліній подачі кормів у тваринництві

Сучасний розвиток тваринництва нерозривно пов'язаний із підвищенням рівня механізації та автоматизації основних виробничих операцій. Одне з провідних місць у структурі цих процесів займає подача та роздавання кормів, оскільки саме від своєчасного, рівномірного й дозованого надходження кормової маси значною мірою залежать продуктивність тварин, стабільність технологічного процесу та економічна ефективність господарства [1, 2].

Для тваринницьких ферм і комплексів характерна значна повторюваність операцій, пов'язаних із транспортуванням, накопиченням, дозуванням і видачею кормів. Виконання цих операцій вручну потребує великих витрат праці, ускладнює дотримання встановленого режиму годівлі та не забезпечує належної точності подачі кормів до годівниць. Саме тому в сучасних умовах дедалі ширше застосовуються механізовані та автоматизовані лінії подачі кормів, у яких поєднуються транспортуючі механізми, дозувальні пристрої, виконавчі органи та електроприводи [1, 3].

Загальна тенденція розвитку аграрного виробництва полягає у заміні ручної праці механічною та електромеханічною, що дає змогу підвищити продуктивність технологічних процесів і знизити експлуатаційні витрати. У тваринництві це проявляється в переході від окремих машин до комплексних кормоподаючих систем, здатних працювати у складі автоматизованих технологічних ліній. Такі системи, як правило, включають бункери запасу корму, шнеки, скребкові або стрічкові транспортери, живильники, заслінки, кінцеві вимикачі, датчики рівня та електродвигуни, які забезпечують привід окремих механізмів [1, 3].

Електрифікація ліній подачі кормів створює передумови для більш точного регулювання режимів роботи обладнання. На відміну від механічних або гідромеханічних схем, електропривод забезпечує зручний пуск, зупинку,

реверсування, можливість автоматичного керування та реалізацію різних алгоритмів функціонування. Особливо важливим це є для обладнання, що працює у циклічних або змінних режимах навантаження, коли необхідно узгодити подачу корму з продуктивністю окремих ділянок технологічної лінії [4, 5].

У практиці тваринницького виробництва застосовуються різні типи ліній подачі кормів: стаціонарні, мобільні, рейкові, підвісні, шнекові, скребкові, стрічкові та комбіновані. Їх вибір визначається видом тварин, типом корму, плануванням приміщення, кількістю поголів'я та прийнятою технологією годівлі. У свинарстві та птахівництві особливе поширення мають стаціонарні системи транспортування й роздавання сухих комбікормів, що працюють у напівавтоматичному або автоматичному режимі. Такі системи можуть забезпечувати як нормовану подачу корму, так і видачу корму за програмою, що задається оператором або програмувальним пристроєм [3, 4].

Перевагами автоматизованих кормоподаючих систем є зменшення частки ручної праці, підвищення точності годівлі, покращення санітарно-гігієнічних умов, зниження втрат корму, а також можливість інтеграції в загальну систему управління фермою. Дослідження та огляди, присвячені автоматичним системам годівлі, свідчать, що їх упровадження сприяє скороченню щоденного робочого навантаження персоналу, поліпшенню керованості процесу та більш стабільному дотриманню режимів згодовування [2].

Разом з тим ефективність роботи лінії подачі кормів залежить не лише від конструкції механічної частини, а й від правильного вибору електроприводу. Саме електропривод є ключовою ланкою, яка перетворює електричну енергію на механічну та забезпечує потрібний характер руху робочих органів. У більшості кормоподаючих установок використовуються асинхронні двигуни завдяки простоті конструкції, надійності, прийнятній вартості та достатнім експлуатаційним характеристикам. Однак у реальних умовах тваринницького виробництва двигуни працюють у середовищі з підвищеною вологістю, запиленістю, температурними коливаннями та нерівномірними навантаженнями, що потребує особливої уваги до систем керування й захисту [4, 6, 7].

Для ліній подачі кормів характерні такі режими роботи електроприводу:

- пуск під навантаженням;
- короткочасні та повторно-короткочасні режими;
- можливе реверсування окремих механізмів;
- робота при нерівномірній або змінній продуктивності;
- ймовірність перевантаження при зависанні чи ущільненні корму;
- необхідність блокувань при відкритих люках, перевантаженні або аварійних ситуаціях [4].

У навчально-методичних і прикладних матеріалах з електроприводу сільськогосподарських машин зазначається, що електричні схеми кормороздавачів мають забезпечувати ручне й автоматичне керування, програмовану послідовність увімкнення механізмів, контроль рівня заповнення проміжних бункерів, а також захист електрообладнання від коротких замикань і перевантажень [4]. Це підтверджує, що сучасна кормоподаюча установка має розглядатися не як окрема машина, а як електромеханічна система з узгодженим функціонуванням усіх елементів.

Важливе значення має також енергоефективність електроприводів. За даними ІЕА, значна частка електроспоживання в промислових і технологічних системах припадає саме на електроприводні системи, а рівень споживання визначається не лише характеристиками двигуна, а й втратами в передачах, способами керування та узгодження приводу з навантаженням [5]. Для ліній подачі кормів це означає, що підвищення енергоефективності досягається комплексно: за рахунок правильного вибору двигуна, раціональної кінематики, оптимізації режимів роботи та застосування ефективних схем керування.

Отже, механізація та електрифікація ліній подачі кормів є важливою умовою інтенсифікації тваринницького виробництва. Подальше вдосконалення таких систем пов'язане з підвищенням рівня автоматизації, покращенням технічної надійності, впровадженням енергоефективних електроприводів та створенням більш досконалих систем керування і захисту [2–5].

1.2 Вимоги до систем керування і захисту електроприводів кормоподаючих установок

Надійність та ефективність роботи лінії подачі кормів значною мірою визначаються не тільки характеристиками електродвигуна, а й якістю побудови системи керування та захисту. Електропривод кормоподаючої установки функціонує у взаємодії з транспортуючими механізмами, датчиками, комутаційними апаратами та пристроями контролю, тому будь-яка помилка в роботі системи керування може призвести до порушення технологічного процесу, перевитрати електроенергії, аварійної зупинки або пошкодження обладнання [4, 6].

Система керування електроприводом повинна забезпечувати виконання основних функцій, необхідних для роботи кормоподаючої лінії. До таких функцій належать: пуск і зупинка електродвигунів у заданій послідовності; блокування помилкових або небезпечних команд; реверсування за необхідності; автоматичне вимкнення при виникненні аварійного режиму; узгодження роботи окремих механізмів між собою; а також можливість переходу з ручного режиму в автоматичний і навпаки [4, 8].

Для кормоподаючих систем особливе значення має саме послідовність керування. Наприклад, подача корму до проміжних або кінцевих бункерів повинна здійснюватися лише після приведення в готовність приймальних механізмів. Аналогічно, вимкнення окремих вузлів повинно реалізовуватися так, щоб не допустити зависання корму, перевантаження шнеків або переповнення накопичувальних ємностей. У відомих схемах автоматизованих кормороздавачів застосовуються датчики рівня, кінцеві вимикачі, програмні реле часу та проміжні реле, які забезпечують автоматичне формування команд керування відповідно до стану технологічного процесу [3, 4].

Важливою вимогою до системи керування є її функціональна простота та надійність. Для виробничих умов тваринництва характерні запиленість, підвищена вологість, наявність агресивних домішок у повітрі, тому використання занадто складних або недостатньо захищених апаратів може знижувати експлуатаційну надійність системи. З цієї причини у багатьох

випадках доцільно поєднувати класичні засоби релейно-контакторного керування з елементами автоматизації, які реалізують часові затримки, контроль положення механізмів, блокування та аварійну сигналізацію [4, 6].

Не менш важливим є захист електроприводу. У процесі роботи кормоподаючих механізмів можуть виникати перевантаження, спричинені ущільненням кормової маси, потраплянням сторонніх предметів, заклинюванням транспортуючих органів або порушенням режиму подачі. Також існує загроза коротких замикань, зниження опору ізоляції, перегріву обмоток двигуна, зникнення або перекосу фаз. Тому система захисту повинна охоплювати весь комплекс можливих аварійних режимів і забезпечувати своєчасне відключення пошкодженої ділянки [4, 6, 7].

Базовими елементами захисту електроприводів кормоподаючих установок є автоматичні вимикачі, теплові реле, контактори, запобіжники, реле контролю фаз, кінцеві вимикачі аварійного відключення та пристрої сигналізації. Автоматичні вимикачі виконують захист від струмів короткого замикання та, залежно від конструкції, від перевантаження. Теплові реле забезпечують захист електродвигунів від тривалого перевищення струму. Кінцеві вимикачі використовуються для обмеження переміщення рухомих частин, формування команд реверсу або аварійної зупинки. Реле часу й датчики рівня дозволяють реалізувати алгоритми автоматичної подачі корму та узгодити роботу виконавчих механізмів [3, 4].

Під час проєктування системи захисту необхідно враховувати вимоги чинних нормативних документів щодо експлуатації електроустановок споживачів. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів встановлюють загальні організаційні та технічні вимоги до забезпечення надійної, безпечної та раціональної експлуатації електрообладнання [6]. У свою чергу, Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів регламентують порядок організації робіт, підготовки персоналу, допуску до обслуговування електроустановок, перевірки стану безпеки та використання захисних засобів [7].

Крім експлуатаційних правил, до систем керування та захисту електроприводів висуваються вимоги стандартів з безпеки машин. Для електрообладнання машин в Україні застосовується ДСТУ EN 60204-1:2015, який встановлює загальні вимоги до побудови, маркування, захисних заходів, кіл керування та безпечної експлуатації електрообладнання машин [8]. Для лінії подачі кормів це означає необхідність передбачення захисту від непрямого дотику, належного заземлення, безпечного розміщення апаратів керування, аварійного відключення та чіткої ідентифікації елементів схеми.

Особливу увагу слід приділяти вибору режиму керування. Для практичних умов господарства доцільно передбачати щонайменше два режими роботи: ручний та автоматичний. Ручний режим потрібен для налагодження, технічного обслуговування, ремонтних робіт і локального керування окремими виконавчими механізмами. Автоматичний режим забезпечує виконання повного циклу подачі кормів відповідно до заданого алгоритму без постійного втручання оператора. Перемикання між режимами має бути взаємно заблокованим, щоб унеможливити одночасне подання суперечливих команд [4].

Ще однією важливою вимогою є забезпечення селективності та достатньої чутливості захисту. Це означає, що при виникненні несправності має відключатися саме пошкоджена ділянка, а не вся установка без потреби. Такий підхід зменшує втрати часу, полегшує пошук несправностей та підвищує загальну надійність системи. Водночас параметри захисних апаратів повинні відповідати номінальним і пусковим струмам електродвигунів, щоб уникнути хибних спрацювань при нормальних перехідних процесах [4, 5].

Для сучасних електроприводів також актуальною є задача енергозбереження. Енергоефективність системи керування полягає не тільки у виборі двигуна достатньої, але не завищеної потужності, а й у мінімізації непродуктивної роботи механізмів, обмеженні холостих ходів, автоматичному вимкненні при завершенні циклу, оптимізації тривалості ввімкнення окремих приводів і, за потреби, у використанні регульованого електроприводу [2, 5]. Для кормоподаючих ліній це особливо важливо, оскільки робота більшості

механізмів носить циклічний характер, а тому правильний алгоритм керування безпосередньо впливає на споживання електроенергії.

Таким чином, система керування та захисту електроприводу лінії подачі кормів повинна забезпечувати: технологічну узгодженість роботи всіх механізмів; безпечний пуск, зупинку та, за необхідності, реверс; ручний і автоматичний режими керування; захист від коротких замикань, перевантажень і аварійних відхилень; відповідність вимогам чинних нормативних документів; а також надійність і зручність експлуатації в умовах тваринницького виробництва [4, 7, 8]. Саме ці положення слід покласти в основу подальшого розроблення електричної схеми керування та захисту електроприводу лінії подачі кормів.

Висновки до розділу 1

У першому розділі проведено аналіз технологічних особливостей подачі кормів у тваринницькому виробництві та встановлено, що підвищення ефективності процесу годівлі безпосередньо пов'язане з рівнем механізації, електрифікації й автоматизації кормоподаючих установок.

Визначено, що сучасні лінії подачі кормів являють собою складні електромеханічні системи, до складу яких входять транспортуючі, дозувальні та виконавчі механізми, об'єднані єдиною системою керування. Їх використання дозволяє скоротити частку ручної праці, підвищити точність і ритмічність подачі кормів, зменшити втрати кормової маси та покращити умови експлуатації обладнання.

Установлено, що електропривод є основною функціональною ланкою лінії подачі кормів, а його робота повинна відповідати умовам змінного навантаження, можливого пуску під навантаженням, циклічності та підвищених вимог до надійності в умовах тваринницьких приміщень.

Обґрунтовано, що система керування електроприводом має забезпечувати ручний і автоматичний режими роботи, послідовність увімкнення механізмів, блокування небезпечних режимів, контроль стану робочих органів та аварійне вимкнення у разі виникнення несправностей. Система захисту повинна гарантувати надійне відключення електроприводу при коротких замиканнях, перевантаженнях, аварійних зупинках і порушеннях технологічного процесу, а її побудова має відповідати чинним нормативним вимогам щодо експлуатації електроустановок споживачів і безпеки електрообладнання машин.

На підставі проведеного аналізу зроблено висновок про доцільність розроблення удосконаленої системи керування та захисту електроприводу лінії подачі кормів, яка буде враховувати технологічні особливості установки, умови експлуатації та вимоги до енергоефективності, безпеки й надійності.

РОЗДІЛ 2 КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЛІНІЇ ПОДАЧІ КОРМІВ

2.1 Будова та принцип роботи лінії подачі кормів

Лінія подачі кормів є складовою частиною механізованої системи годівлі тварин і призначена для транспортування сухих сипких кормів від бункера-накопичувача до зони роздавання. У тваринництві для таких цілей застосовують шнекові, ланцюгові, тросово-дискові та комбіновані системи, а вибір типу транспортуючого органу залежить від виду корму, довжини траси, продуктивності та планування приміщення [8, 10]. Для сипких комбікормів одними з найпоширеніших є шнекові та споріднені системи, оскільки вони забезпечують безперервну подачу матеріалу, прості за конструкцією та придатні до автоматизації. Фізико-механічні властивості кормів, зокрема насипна густина, прямо впливають на поведінку корму під час транспортування, змішування та дозування [11, 14]. Для розсипного комбікорму наводиться орієнтовна насипна вага близько $0,5 \text{ т/м}^3$, а для гранульованого – $1,0\text{-}1,2 \text{ т/м}^3$.

Для подальших розрахунків у роботі приймається розрахункова стаціонарна лінія подачі сухих кормів шнекового типу для свинарського приміщення [8, 9]. Таке рішення є технічно обґрунтованим, оскільки в джерелах з машин для тваринництва наведено, що продуктивність лінії завантаження кормів для свинарських систем може становити близько $0,83\text{--}0,94 \text{ т/год}$ [8], що відповідає умовам середнього тваринницького приміщення.

Конструктивно лінія подачі кормів складається з бункера-накопичувача, шнекового транспортера, кожуха транспортера, приводної станції, редуктора, електродвигуна, завантажувального патрубку, вивантажувальних вікон, заслінок, кінцевих вимикачів і шафи керування [9, 10]. Основним робочим органом є шнек, який під час обертання переміщує корм уздовж жолоба або труби до місця вивантаження. Продуктивність системи визначається геометричними параметрами шнека, частотою його обертання, ступенем заповнення міжвиткового простору та властивостями корму [9, 13]. Для транспортуючих машин насипна густина є одним з базових параметрів при

визначенні продуктивності, виборі типу машини та розрахунку навантажень [13].

На рис. 2.1. подано технологічну схему лінії подачі кормів.

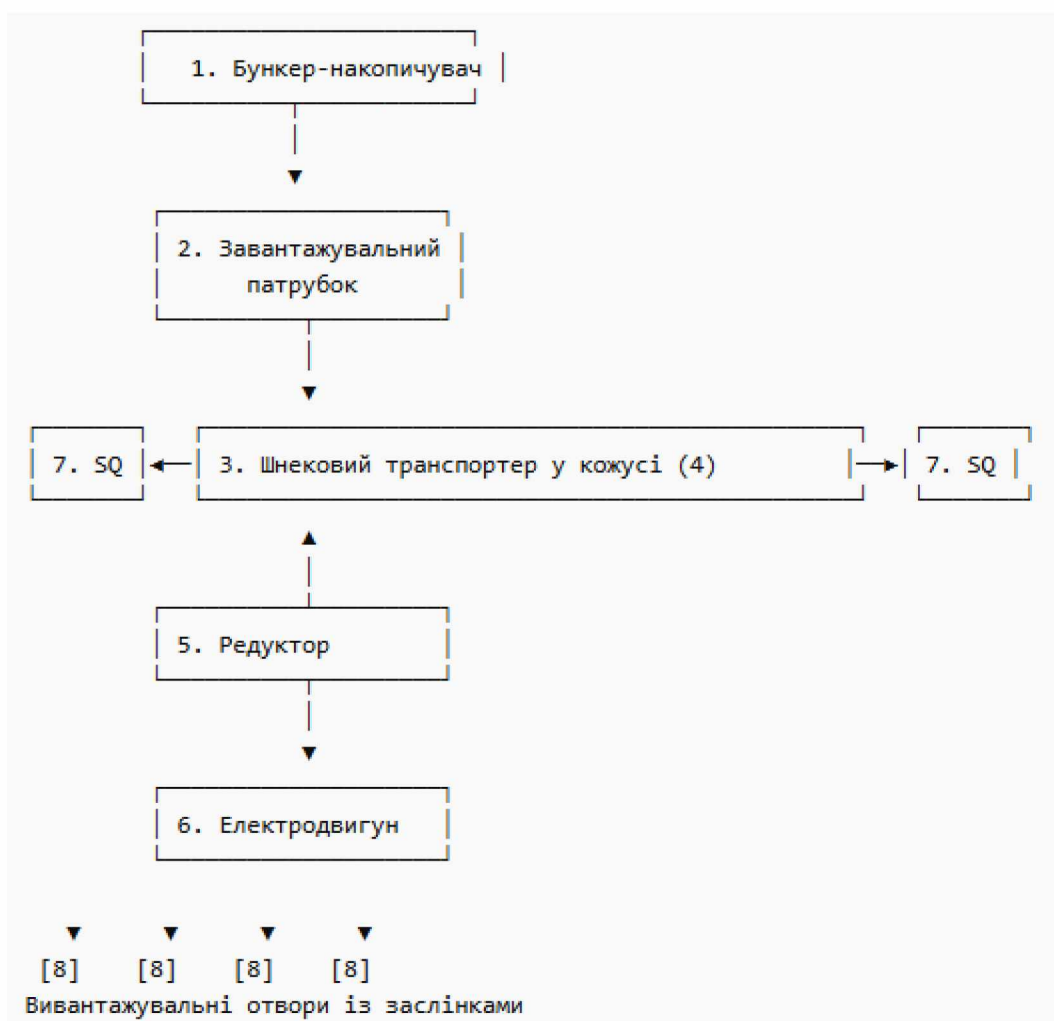


Рисунок 2.1 – Технологічна схема лінії подачі кормів: 1 – бункер-накопичувач; 2 – завантажувальний патрубок; 3 – шнек; 4 – кожух шнека; 5 – редуктор; 6 – електродвигун; 7 – кінцеві вимикачі; 8 – вивантажувальні отвори із заслінками.

Розглянемо принцип роботи лінії. Після завантаження корму в приймальний бункер оператор або автоматична система подає команду на пуск електроприводу. Електродвигун через редуктор передає обертальний момент на вал шнека. Під час обертання шнека корм захоплюється витками і переміщується вздовж транспортуючого каналу до вивантажувальних отворів. Інтенсивність

подачі корму регулюється тривалістю роботи приводу, частотою обертання шнека та положенням заслінок. Після завершення циклу подачі корму двигун вимикається, а система переходить у режим очікування наступної команди [9, 10]. Такий принцип роботи відповідає загальним підходам до побудови стаціонарних систем подачі та роздавання кормів у тваринництві [8, 10].

В таблиці 2.1 наведено технічну характеристику розрахункової лінії подачі кормів.

Таблиця 2.1 – Технічна характеристика розрахункової лінії подачі кормів

| Параметр | Позначення | Значення |
|--|------------|---------------------------|
| Тип лінії | – | стаціонарна шнекова |
| Вид корму | – | сухий розсипний комбікорм |
| Насипна густина корму, кг/м ³ | ρ | 500 |
| Довжина лінії, м | L | 18 |
| Діаметр шнека, м | D | 0,16 |
| Крок шнека, м | S | 0,16 |
| Частота обертання шнека, об/хв | n | 95 |
| Об'єм бункера, м ³ | V | 1,8 |
| Продуктивність лінії, т/год | Q | 0,90 |
| ККД механічної передачі | η | 0,85 |

Для розрахункової моделі лінії приймаються такі технічні параметри:

- вид корму – сухий розсипний комбікорм;
- насипна густина корму – 500 кг/м³;

2.2 Аналіз навантаження робочого органу і побудова механічної характеристики

Одним із головних етапів проєктування електроприводу лінії подачі кормів є визначення навантаження на робочий орган. Для шнекових систем характерний нерівномірний режим роботи. На початку циклу електропривод працює майже в режимі холостого ходу, далі навантаження зростає до номінального рівня, а при локальному ущільненні або нерівномірному надходженні корму можливе короткочасне перевантаження. Тому для вибору електродвигуна доцільно використовувати не миттєву, а еквівалентну потужність, яка враховує зміну навантаження упродовж усього циклу [9, 13]. Методика такого підходу застосовується для шнекових кормороздавачів і транспортерів у навчально-методичних матеріалах з розрахунку параметрів роздавального шнека [9].

Для розрахункової лінії приймаємо цикл роботи тривалістю 10 хв, що складається з чотирьох характерних ділянок:

1. пуск і холостий хід — 1,0 хв;
2. номінальна подача корму — 6,0 хв;
3. короткочасне підвищене навантаження — 1,5 хв;
4. завершення подачі та спорожнення каналу — 1,5 хв.

Відповідні значення потужності на валу робочої машини приймаємо:

$P_1=0,60$ кВт; $P_2=1,80$ кВт; $P_3=2,40$ кВт; $P_4=1,20$ кВт.

Еквівалентну потужність визначаємо за формулою:

$$P_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{\sum P_i^2 t_i}{\sum t_i}}$$

де P_i – потужність на окремій ділянці циклу, кВт; t_i – тривалість цієї ділянки, хв.

Підставляючи прийняті значення, одержимо: $P_{\text{екв}}=1,75$ кВт

З урахуванням коефіцієнта корисної дії передачі потужність на валу електродвигуна дорівнює:

$$P_{\text{дв}}=P_{\text{екв}} / \eta$$

Таким чином, для подальшого вибору двигуна розрахункова потужність становить: $P_{дв}=2,06$ кВт. В табл. 2.2 наведені дані для побудови навантажувальної діаграми лінії подачі кормів.

Таблиця 2.2 – Дані для побудови навантажувальної діаграми лінії подачі кормів

| № ділянки | Характер режиму | Потужність, кВт | Тривалість, хв |
|-----------|-----------------------------|-----------------|----------------|
| 1 | Пуск і холостий хід | 0,60 | 1,0 |
| 2 | Номінальна подача корму | 1,80 | 6,0 |
| 3 | Короткочасне перевантаження | 2,40 | 1,5 |
| 4 | Спорожнення шнека | 1,20 | 1,5 |

На рис. 2.3 наведено навантажувальну діаграму електроприводу лінії подачі кормів.

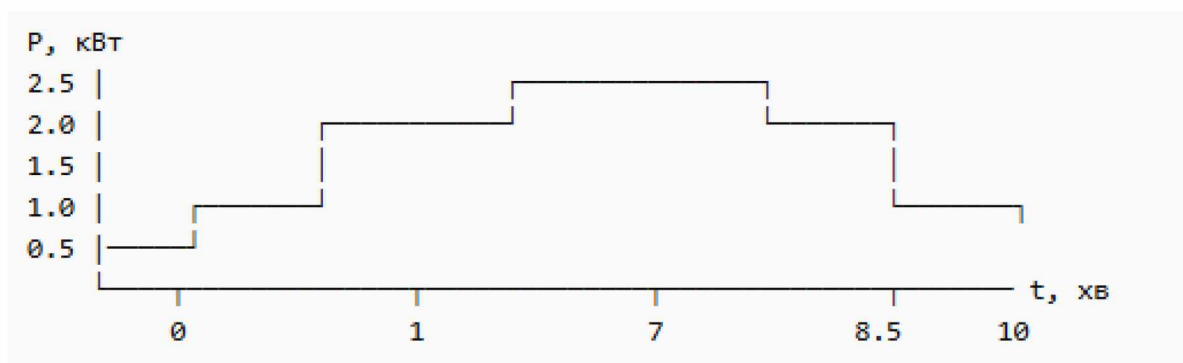


Рисунок 2.3 – Навантажувальна діаграма електроприводу лінії подачі кормів.

Після визначення еквівалентної потужності розрахуємо кутову швидкість шнека:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}$$

де $n=95$ об/хв.

Таким чином одержуємо, що $\omega=9,95 \text{ с}^{-1}$.

Номінальний момент опору робочої машини визначається за формулою:

$$M_{\text{с.ном}} = \frac{9550 \cdot P_{\text{дв}}}{n}$$

Отже, номінальний момент опору робочого органу $M_{\text{с.ном}}=207,0 \text{ Нм}$.

Для подальшої побудови механічної характеристики приймаємо момент холостого ходу і механічних втрат: $M_0=65 \text{ Нм}$

Тоді механічну характеристику робочої машини можна наближено описати квадратичною залежністю:

$$M_c = M_0 + (M_{\text{с.ном}} - M_0) \left(\frac{\omega}{\omega_{\text{ном}}} \right)^2$$

де $M_0=65 \text{ Н}\cdot\text{м}$; $M_{\text{с.ном}}=207 \text{ Н}\cdot\text{м}$; $\omega_{\text{ном}}=9,95 \text{ с}^{-1}$.

За цією формулою визначимо значення моменту опору для побудови механічної характеристики.

Таблиця 2.3 – Значення параметрів для побудови механічної характеристики лінії подачі кормів

| № п/п | Кутова швидкість $\omega, \text{ с}^{-1}$ | Момент опору $M_c,$ Н·м |
|-------|--|----------------------------|
| 1 | 0,00 | 65,0 |
| 2 | 1,00 | 66,4 |
| 3 | 2,00 | 70,7 |
| 4 | 3,00 | 77,9 |
| 5 | 4,00 | 87,9 |
| 6 | 5,00 | 100,8 |
| 7 | 6,00 | 116,6 |
| 8 | 7,00 | 135,3 |
| 9 | 8,00 | 156,9 |

| | | |
|----|------|-------|
| 10 | 9,00 | 181,3 |
| 11 | 9,95 | 207,0 |

На рис. 2.4 наведена механічна характеристика робочої машини

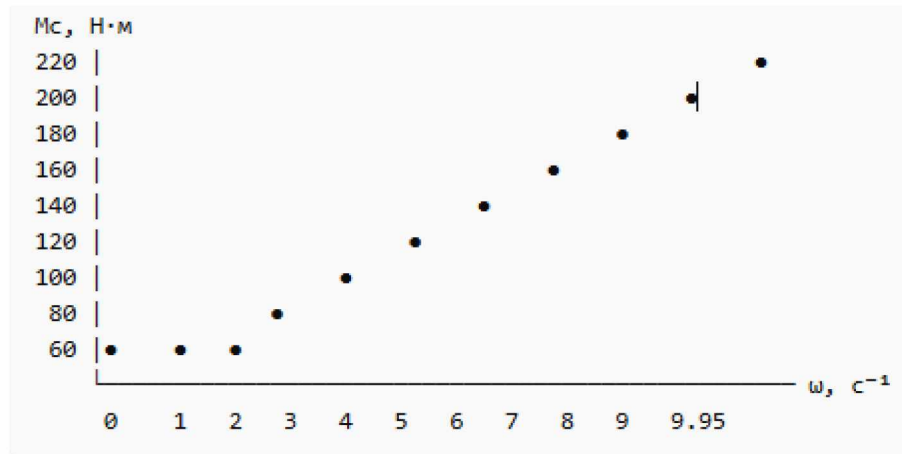


Рисунок 2.4 – Механічна характеристика робочої машини

Отримана механічна характеристика показує, що зі збільшенням кутової швидкості шнека момент опору зростає нелінійно [9, 13]. Це пояснюється тим, що зі збільшенням швидкості обертання зростають як втрати на тертя, так і інтенсивність переміщення кормової маси вздовж транспортуючого каналу. Для шнекових транспортуючих систем така тенденція є типовою [9, 10], а тому при виборі електродвигуна необхідно враховувати не лише номінальний режим, а й пускові та перевантажувальні умови.

Таким чином, у результаті проведеного аналізу встановлено, що для розрахункової лінії подачі сухих кормів еквівалентна потужність робочої машини становить 1,75 кВт, а потужність, яку повинен розвивати електродвигун з урахуванням ККД передачі, дорівнює 2,06 кВт. Номінальний момент опору шнекового робочого органу становить 207 Н·м, що є вихідною базою для подальшого вибору типу та потужності електродвигуна в наступному розділі.

Висновки до розділу 2

У другому розділі бакалаврської роботи розглянуто конструктивно-технологічні особливості лінії подачі сухих кормів шнекового типу. Встановлено, що для транспортування сипких комбікормів доцільним є використання шнекового робочого органу, який забезпечує безперервну подачу корму, простоту конструкції та можливість автоматизованого керування. Вибір такого типу системи узгоджується з технічними рішеннями, що застосовуються в тваринництві для механізації процесів годівлі.

Для розрахункової лінії прийнято такі основні параметри: довжина 18 м, діаметр шнека 160 мм, крок шнека 160 мм, частота обертання 95 об/хв, об'єм бункера 1,8 м³, продуктивність 0,90 т/год. Як транспортований матеріал прийнято сухий розсипний комбікорм з насипною густиною 500 кг/м³, що відповідає наведеним у джерелах значенням для розсипних комбікормів.

На основі навантажувальної діаграми визначено еквівалентну потужність робочої машини, яка становить 1,75 кВт. З урахуванням ККД механічної передачі 0,85 встановлено, що необхідна потужність на валу електродвигуна дорівнює 2,06 кВт.

Розрахунок кутової швидкості шнека показав, що при частоті обертання 95 об/хв вона становить 9,95 с⁻¹. Відповідний номінальний момент опору робочого органу дорівнює 207 Н·м. За розрахованими даними побудовано механічну характеристику робочої машини, яка відображає зростання моменту опору зі збільшенням швидкості обертання шнека.

Отримані результати є вихідною основою для наступного розділу, у якому буде виконано вибір електродвигуна, перевірку умов його пуску, оцінку перевантажувальної здатності та визначення споживаної потужності електроприводу.

РОЗДІЛ 3 ВИБІР І ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ЛІНІЇ ПОДАЧІ КОРМІВ

3.1 Вибір типу електродвигуна та визначення необхідної потужності

Для приводу шнекової лінії подачі кормів доцільно застосувати трифазний асинхронний електродвигун із короткозамкненим ротором [15, 16]. Такий двигун відзначається простотою конструкції, достатньою надійністю, невисокою вартістю та придатністю до експлуатації в складі загальнопромислових електроприводів. Для механізмів подачі кормів, що працюють циклічно, але без жорстких вимог до регулювання швидкості в широкому діапазоні, саме цей тип двигуна є найбільш раціональним. Швидкість асинхронного двигуна визначається числом полюсів, ковзанням і частотою живлення, тому для узгодження швидкості двигуна зі швидкістю шнека необхідно правильно підібрати як сам двигун, так і передавальне число редуктора [16].

У роботі встановлено, що розрахункова потужність на валу електродвигуна для лінії подачі кормів становить: $P_{\text{дв.розр}}=2,06$ кВт

Для вибору електродвигуна необхідно виконати умову:

$$P_{\text{ном}} \geq P_{\text{дв.розр}}$$

де $P_{\text{ном}}$ – номінальна потужність двигуна, кВт; $P_{\text{дв.розр}}$ – розрахункова потужність приводу, кВт.

Оскільки стандартне значення 2,06 кВт відсутнє в типовому ряді потужностей, приймаємо двигун найближчої більшої потужності: $P_{\text{ном}}=3,0$ кВт.

Для проєктного рішення приймаємо загальнопромисловий трифазний асинхронний двигун 3,0 кВт, 4-полюсний, 380 В, 50 Гц, для якого каталог WEG наводить такі параметри: номінальний момент 20,0 Н·м, кратність пускового струму 7,8, кратність пускового моменту 2,9, кратність максимального моменту 3,3, номінальну швидкість 1430 об/хв і номінальний струм 6,27 А.

Коефіцієнт запасу за потужністю становить:

$$k_3 = \frac{P_{\text{ном}}}{P_{\text{дв.розр}}}$$

Отримуємо, що $k_3=1,46$

Отже, обраний двигун має достатній запас потужності для стабільної роботи електроприводу [15].

Для узгодження швидкості обертання двигуна зі швидкістю шнека визначимо необхідне передавальне число редуктора:

$$i = n_{\text{дв}} / n_{\text{ш}}$$

Приймаємо, що $i=15$.

Тоді дійсна швидкість шнека становитиме: $n_{\text{ш.д}}=95,3$ об/хв, що практично збігається з прийнятим у розділі 2 значенням 95 об/хв.

Параметри двигуна в таблиці 3.1 наведено за каталогом WEG для двигуна 3 кВт, 4 полюси, 380 В, 50 Гц.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані та вибрані параметри електроприводу

| Параметр | Позначення | Значення |
|--------------------------------------|----------------------|----------|
| Розрахункова потужність приводу, кВт | $P_{\text{дв.розр}}$ | 2,06 |
| Обрана потужність двигуна, кВт | $P_{\text{ном}}$ | 3,0 |
| Номінальна швидкість двигуна, об/хв | $n_{\text{дв}}$ | 1430 |
| Номінальний струм двигуна, А | $I_{\text{ном}}$ | 6,27 |
| Номінальний момент двигуна, Н·м | $M_{\text{ном}}$ | 20,0 |
| Кратність пускового струму | I/I_n | 7,8 |
| Кратність пускового моменту | T/T_n | 2,9 |
| Кратність максимального моменту | T_b/T_n | 3,3 |
| ККД двигуна при 75% навантаженні | η | 0,865 |

| | | |
|--|---------------|------|
| Коефіцієнт потужності при 75% навантаженні | $\cos\varphi$ | 0,76 |
| Необхідне передавальне число | i | 15 |

3.2 Перевірка умов пуску електродвигуна під навантаженням

Для перевірки пускових можливостей електроприводу визначимо пусковий момент двигуна [15]:

$$M_{\text{пуск}} = M_{\text{ном}} \cdot \lambda_{\text{пуск}}$$

де $M_{\text{ном}} = 20,0 \text{ Н} \cdot \text{м}$ – номінальний момент двигуна; $\lambda_{\text{пуск}} = 2,9$ – кратність пускового моменту.

$$M_{\text{пуск}} = 20,0 \cdot 2,9 = 58,0 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Пусковий момент на валу шнека з урахуванням передаточного числа редуктора і ККД передачі дорівнює:

$$M_{\text{пуск.ш}} = M_{\text{пуск}} \cdot i \cdot \eta_{\text{перед}}$$

де $i = 15$; $\eta_{\text{перед}} = 0,85$.

$$M_{\text{пуск.ш}} = 58,0 \cdot 15 \cdot 0,85 = 739,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Для шнекових транспортуючих механізмів пусковий момент опору зазвичай перевищує номінальний через ущільнення корму та додаткові сили тертя. Для перевірного розрахунку приймаємо

$$M_{\text{с.пуск}} = 1,3 \cdot M_{\text{с.ном}}$$

Отже, $M_{\text{с.пуск}} = 269,1 \text{ Нм}$

Порівнюючи моменти, одержимо: $M_{\text{пуск.ш}} = 739,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$

Отже, обраний електродвигун забезпечує надійний пуск електроприводу лінії подачі кормів навіть при підвищеному стартовому навантаженні. З огляду на кратність пускового струму 7,8, схема живлення й комутаційна апаратура в наступному розділі мають бути розраховані на короткочасний пусковий струм приблизно $I_{\text{пуск}} = 48,9 \text{ А}$. Це слід врахувати під час вибору апаратури захисту та комутації відповідно до вимог експлуатації електроустановок споживачів [15, 17, 18].

3.3 Розрахунок приведенного моменту інерції системи

Для оцінки динамічних властивостей електроприводу необхідно визначити сумарний приведений момент інерції системи до валу електродвигуна.

Каталог для вибраного двигуна наводить момент інерції ротора:
 $J_{дв}=0,0123 \text{ кгм}^2$.

Прийmemo розрахунковий момент інерції шнека з кормом на тихохідному валу: $J_{мех}=18,0 \text{ кгм}^2$.

Тоді приведений до валу двигуна момент інерції механізму становитиме:
 $J_{мех}'=J_{мех} / i^2=18,0/15^2=0,080 \text{ кгм}^2$.

Сумарний приведений момент інерції системи дорівнює

$$J_{\Sigma}=J_{дв}+J_{мех}'$$

Таким чином, $J_{\Sigma} = 0,0923 \text{ кгм}^2$

Отримане значення є прийнятним для приводу такої потужності й не створює надмірного динамічного навантаження на двигун під час пуску [15, 16].

3.4 Визначення динамічних показників пуску електроприводу

Для оцінки часу розгону використаємо спрощений підхід через середній динамічний момент [16]. Номінальна кутова швидкість двигуна дорівнює:

$$\omega_{дв} = \frac{2\pi n_{дв}}{60}$$

Таким чином, $\omega_{дв}=149,75 \text{ с}^{-1}$.

Номінальний момент опору на валу шнека, визначений у розділі 2, дорівнює $207 \text{ Н}\cdot\text{м}$. Приведемо його до валу двигуна:

$$M'_{ном} = \frac{M_{с.ном}}{i \cdot \eta_{перед}}$$

$M_{с.ном}'=16,24 \text{ Нм}$

Для оцінки пуску прийmemo середній момент опору під час розгону:

$$M_{с.сер}'=0,8 \cdot M_{с.ном}'$$

Таким чином, $M_{с.сер}'=12,99 \text{ Нм}$

Середній динамічний момент:

$$M_{дин.сер}=M_{пуск}-M_{с.сер}'$$

Таким чином, $M_{\text{дин.сер}} = 45,01 \text{ Нм}$

Тоді орієнтовний час розгону:

$$t_{\text{пуск}} = \frac{J_{\Sigma} \cdot \omega_{\text{дв}}}{M_{\text{дин.сер}}}$$

$$t_{\text{пуск}} = 0,31 \text{ с}$$

Отже, електропривод має короткий час розгону, що є позитивним для шнекового механізму подачі кормів [16].

Таблиця 3.2 – Розрахункові параметри пуску електроприводу

| Параметр | Позначення | Значення |
|---|----------------------|----------|
| Номінальна кутова швидкість двигуна, с^{-1} | $\omega_{\text{дв}}$ | 149,75 |
| Номінальний момент опору на валу шнека, $\text{Н}\cdot\text{м}$ | $M_{\text{с.ном}}$ | 207,0 |
| Приведений момент опору, $\text{Н}\cdot\text{м}$ | $M_{\text{с.ном}'}$ | 16,24 |
| Середній момент опору під час пуску, $\text{Н}\cdot\text{м}$ | $M_{\text{с.сер}'}$ | 12,99 |
| Пусковий момент двигуна, $\text{Н}\cdot\text{м}$ | $M_{\text{пуск}}$ | 58,0 |
| Сумарний момент інерції, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$ | J_{Σ} | 0,0923 |
| Орієнтовний час пуску, с | $t_{\text{пуск}}$ | 0,31 |

3.5 Перевірка двигуна за перевантажувальною здатністю

Максимальний момент двигуна визначається за каталожною кратністю максимального моменту [15]:

$$M_{\text{max}} = M_{\text{ном}} \cdot \lambda_{\text{max}}$$

де $\lambda_{\text{max}} = 3,3$.

Тоді, $M_{\text{max}} = 20,0 \cdot 3,3 = 66,0 \text{ Нм}$

Максимальний момент на валу шнека з урахуванням редуктора і ККД передачі:

$$M_{\max.ш} = 841,5 \text{ Нм}$$

Навіть при перевантаженні механізму до рівня 1,5 від номінального моменту опору отримаємо:

$$M_{с.пер} = 1,5 \cdot 207 = 310,5 \text{ Нм}$$

Отже,

$$M_{\max.ш} = 841,5 \text{ Нм}$$

Тому обраний двигун має достатню перевантажувальну здатність для роботи в складі приводу лінії подачі кормів. Кратність максимального моменту 3,3 наведена у каталозі двигуна.

3.6 Визначення споживаної потужності електроприводу

Для оцінки електричних параметрів приводу визначимо активну, реактивну та повну потужності при робочому режимі [15, 16].

Активна споживана потужність:

$$P_1 = P_2 / \eta$$

де $P_2 = 2,06$ кВт – механічна потужність на валу; $\eta = 0,865$.

Тоді $P_1 = 2,38$ кВт

Реактивна потужність:

$$Q = P_1 \tan \varphi$$

За $\cos \varphi = 0,76$, отримуємо $\tan \varphi = 0,855$, а $Q = 2,03$ квар

Повна потужність:

$$S = \sqrt{P_1^2 + Q_2}$$

Тоді $S = 3,13$ кВА

Отже, у розрахунковому режимі електропривод лінії подачі кормів споживає:

активну потужність — 2,38 кВт;

реактивну потужність — 2,03 квар;

повну потужність — 3,13 кВА.

Ці значення необхідно врахувати при виборі апаратури захисту, кабелів і комутаційних апаратів у розділі 4 [17, 18]. Значення ККД і коефіцієнта потужності для вибраного двигуна взято з технічного каталогу [15].

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

У третьому розділі виконано обґрунтований вибір електродвигуна для приводу лінії подачі кормів. На підставі розрахункової потужності 2,06 кВт обрано трифазний асинхронний двигун потужністю 3,0 кВт із номінальною швидкістю 1430 об/хв. Для узгодження швидкості двигуна зі швидкістю шнека прийнято редуктор із передавальним числом 15. Каталожні параметри вибраного двигуна — номінальний струм 6,27 А, пусковий момент 2,9 від номінального та максимальний момент 3,3 від номінального — підтверджують придатність такого рішення для приводу шнекової лінії.

Перевірка умов пуску показала, що пусковий момент на валу шнека становить 739,5 Н·м і суттєво перевищує розрахунковий пусковий момент опору 269,1 Н·м. Це забезпечує надійний запуск приводу навіть при підвищеному стартовому навантаженні. Також встановлено, що максимальний момент на валу шнека дорівнює 841,5 Н·м, що значно більше за можливий перевантажувальний момент опору 310,5 Н·м.

Розрахунок приведенного моменту інерції показав, що сумарний момент інерції системи становить 0,0923 кг·м², а орієнтовний час розгону електроприводу до номінальної швидкості – 0,31 с. Це свідчить про достатню динамічну якість обраного приводу для механізму подачі кормів.

У результаті визначено, що в робочому режимі електропривод споживає активну потужність 2,38 кВт, реактивну – 2,03 квар, а повну – 3,13 кВА. Отримані результати є вихідною базою для розроблення схеми керування, вибору апаратів захисту та силових кіл у наступному розділі.

РОЗДІЛ 4 РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТА ЗАХИСТУ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ЛІНІЇ ПОДАЧІ КОРМІВ

4.1 Розроблення принципової електричної схеми керування

Для лінії подачі кормів доцільно застосувати релейно-контакторну систему керування з живленням силового кола від трифазної мережі 380 В, 50 Гц і пониженим колом керування 24 В постійного струму. Такий підхід підвищує експлуатаційну безпеку, спрощує налагодження та відповідає загальним вимогам до електрообладнання машин і електроустановок споживачів [19, 20]. Вимоги до побудови електрообладнання машин регламентуються ДСТУ EN 60204-1:2015, а загальні вимоги до улаштування та експлуатації електроустановок — ПУЕ, ПТЕЕС і Правилами безпечної експлуатації електроустановок споживачів [19, 20].

У силовому колі пропонується така послідовність елементів: ввідний автоматичний вимикач QF1, автомат захисту двигуна QF2, контактор KM1, асинхронний електродвигун M1. Для кола керування передбачається окремий автомат QF3, імпульсний блок живлення PS1 на 24 В DC, кнопка аварійної зупинки SB0, кнопки «Стоп» SB1 і «Пуск» SB2, селектор режимів SA1 («Ручний/Автоматичний»), проміжне реле KV1, а також два кінцеві вимикачі SQ1 і SQ2, які контролюють крайні положення або стан подачі корму. Для прикладу придатними є контактор TeSys D LC1D09BD на 9 А AC-3 з котушкою 24 В DC, мініатюрне реле RXM2AB2BD на 24 В DC, кінцевий вимикач XCKN2118P20 з 1NC+1NO та блок живлення ABL2REM24020K 24 В DC, 2,2 А [22-25].

У ручному режимі після ввімкнення ввідного автомата QF1 та автомата керування QF3 блок живлення PS1 подає напругу 24 В у коло керування. Після натискання кнопки SB2 спрацьовує котушка контактора KM1, його силові контакти замикають коло живлення двигуна M1, а допоміжний контакт забезпечує самопідхоплення. Зупинка двигуна виконується кнопкою SB1 або аварійною кнопкою SB0. У ручному режимі кінцеві вимикачі використовуються як блокувальні елементи, що не допускають роботи механізму в заборонених

положеннях. Аварійна кнопка повинна мати грибоподібну червону головку з фіксацією та поворотним скиданням [20, 26]; таку функцію має, зокрема, пристрій XB5AS8445.

На рис. 4.1 наведено функціональну схему керування електроприводом лінії подачі кормів.

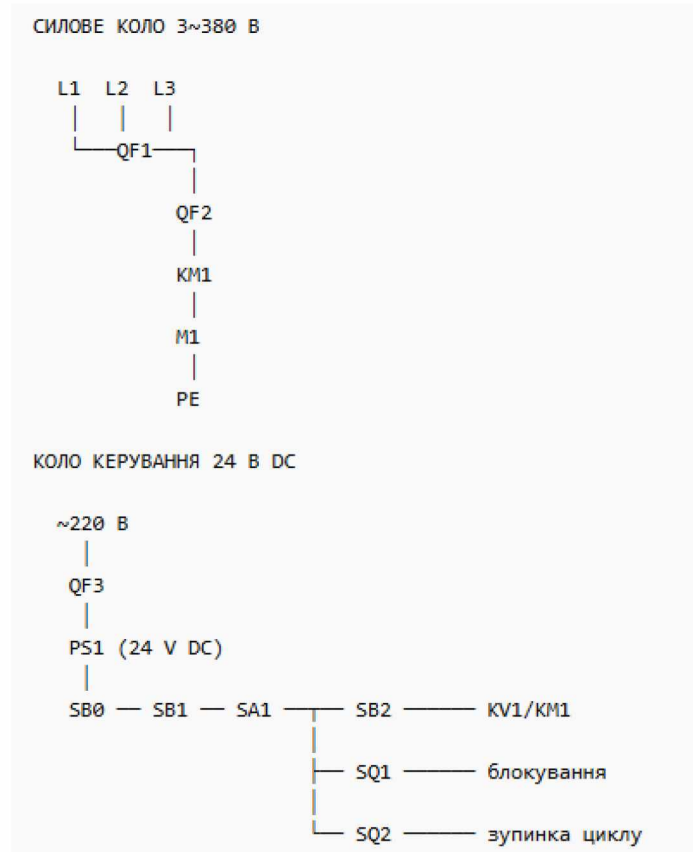


Рисунок 4.1 – Функціональна схема керування електроприводом лінії подачі кормів: QF1 – ввідний автоматичний вимикач; QF2 – автомат захисту двигуна; QF3 – автомат кола керування; PS1 – блок живлення 24 В DC; SB0 – аварійна зупинка; SB1 – кнопка «Стоп»; SB2 – кнопка «Пуск»; SA1 – перемикач режимів; KV1 – проміжне реле; KM1 – контактор; SQ1, SQ2 – кінцеві вимикачі; M1 – електродвигун.

В автоматичному режимі вибір положення перемикача SA1 переводить керування на проміжне реле KV1. Пуск здійснюється від зовнішньої команди або кнопкою запуску циклу, після чого двигун працює до спрацювання кінцевого вимикача SQ2, який формує сигнал завершення циклу подачі корму. Вимикач SQ1 виконує функцію початкового або аварійного блокування. Така схема дає можливість реалізувати простий цикл «пуск — подача — зупинка», а також

забезпечити блокування повторного пуску до повернення виконавчого механізму у вихідний стан. Вимоги до кінцевих вимикачів і їх контактної схеми відповідають характеристикам ХСКН2118Р20.

4.2 Вибір апаратів комутації, керування та захисту

Вибір апаратури виконується на підставі даних Розділу 3. Для двигуна потужністю 3,0 кВт номінальний струм становить 6,27 А, а розрахунковий пусковий струм — близько 48,9 А. Тому апарати захисту й комутації повинні забезпечувати нормальну роботу в тривалому режимі, не відключати двигун під час пуску і водночас надійно спрацьовувати при короткому замиканні або перевантаженні [19, 20].

Як ввідний автоматичний вимикач доцільно прийняти триполюсний автомат із номінальним струмом 16 А та характеристикою спрацювання типу С. Такий апарат забезпечує достатній запас за струмом відносно робочого струму приводу та стійкість до короткочасних пускових перевантажень. Для прикладу може бути використаний автомат Acti9 iC60N серії A9F74310 або аналогічний за класом; у серії iC60N підтверджено наявність триполюсних автоматів з термомагнітним розчіплювачем і характеристикою С [19].

Для безпосереднього захисту двигуна доцільно використати моторний автомат GV2ME10 із тепломагнітним розчіплювачем і регульовальним діапазоном 4–6,3 А. Цей діапазон добре узгоджується з номінальним струмом двигуна 6,27 А, а сам апарат призначений саме для трифазних двигунів. Крім того, Schneider Electric вказує, що GV2ME10 забезпечує тепломагнітний захист двигуна і належить до категорії застосування АС-3 [22].

Як основний комутаційний апарат силового кола вибираємо контактор LC1D09BD. За даними Schneider Electric, цей контактор має три силові полюси, вбудовані допоміжні контакти 1NO+1NC, котушку 24 В DC і додатний для керування двигунами до 9 А / 4 кВт при 400 В АС-3. Оскільки наш двигун має потужність 3 кВт і номінальний струм 6,27 А, контактор має достатній запас за струмом і потужністю [22].

Для формування логіки автоматичного режиму достатньо проміжного реле RXM2AB2BD з котушкою 24 В DC, двома перекидними контактами та номінальним струмом контактів 12 А. Його параметри є достатніми для використання в ланцюгах керування та блокування [23].

Для контролю крайніх положень приймаємо кінцеві вимикачі ХСКН2118Р20, які мають схему контактів 1NC + 1NO, що зручно для одночасного використання в ланцюгах блокування й сигналізації [24]. Для аварійного відключення застосовується кнопка ХВ5АS8445 з червоною грибоподібною головкою діаметром 40 мм, фіксацією та поворотним скиданням [26]. Для живлення кола керування застосовується імпульсний блок живлення АBL2REM24020К, який працює від 100...240 В AC і забезпечує вихід 24 В DC, 2,2 А, 53 Вт [25].

Таблиця 4.1 – Результати вибору апаратів керування та захисту

| Позначення | Найменування | Прийнятий тип | Основні параметри |
|------------|-------------------------|---------------|---------------------------------------|
| QF1 | Ввідний вимикач | 3P, 16 А, С | захист вводу силового кола |
| QF2 | Автомат захисту двигуна | GV2ME10 | 3P, 4–6,3 А, тепломагнітний |
| QF3 | Автомат кола керування | 1P, 2 А | захист блоку живлення і кіл керування |
| KM1 | Контактор | LC1D09BD | 3P, 9 А AC-3, 24 V DC, 1NO+1NC |

| | | | |
|----------|------------------|-------------------|---|
| KV1 | Проміжне реле | RXM2AB2BD | 24 V DC, 2CO, 12 A |
| PS1 | Блок живлення | ABL2REM2402 OK | 24 V DC, 2,2 A, 53 W |
| SQ1, SQ2 | Кінцеві вимикачі | XCKN2118P20 | 1NC+1N O |
| SB0 | Аварійна зупинка | XB5AS8445 | 1NO+1N C, фіксація, поворотне скидання |

4.3 Вибір кабельної продукції та елементів електроживлення

За результатами Розділу 3 повна потужність електроприводу становить 3,13 кВА. Струм трифазного навантаження при напрузі 380 В дорівнює приблизно 4,76 А. Це значення узгоджується з робочим режимом двигуна і є меншим за його номінальний струм 6,27 А, що підтверджує наявність резерву за потужністю [19, 20].

Для силового кола доцільно прийняти мідний кабель типу ВВГнг-LS 4×2,5 мм². Такий вибір забезпечує достатній запас за допустимим струмом і механічною міцністю. У таблицях допустимих тривалих струмів за ПУЕ для мідних кабелів переріз 2,5 мм² має допустимий струм, який суттєво перевищує струм нашого електродвигуна. Навіть з урахуванням поправок на умови прокладання цей переріз є достатнім [19, 27].

Для кола керування 24 В DC достатньо прийняти мідний кабель або провід перерізом 1,5 мм², наприклад ПВ-3 1,5 мм² або кабель типу КВВГнг-LS відповідної кількості жил. Такий переріз є достатнім для кнопок, реле, кінцевих вимикачів і котушки контактора, струми яких незначні порівняно із силовим колом. Вибір перерізу повинен також відповідати вимогам ПУЕ та ДСТУ EN 60204-1 щодо надійності, механічної міцності й електричної безпеки кіл керування [19, 20].

В таблиці 4.2 наведено характеристики кабельної продукції.

Таблиця 4.2 – Вибір кабельної продукції

| Лінія | Призначення | Марка кабелю (приклад) | Переріз |
|-------------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|
| Ввід QF1 – QF2 – KM1 – M1 | силове коло двигуна | ВВГнг-LS | 4×2,5 мм ² |
| QF3 – PS1 – коло керування | живлення 24 В DC | КВВГнг-LS / ПВ-3 | 1,5 мм ² |
| РЕ | захисне заземлення | мідний провід | 2,5 мм ² |

Оскільки установка працює в тваринницькому приміщенні, кабелі доцільно прокладати в захисних коробах або трубах, а для металевих частин електрообладнання слід передбачити окремий захисний провідник РЕ. ПУЕ та ДСТУ EN 60204-1 вимагають наявності захисного заземлення доступних металевих частин і надійного підключення захисних провідників [19, 20].

4.4 Склад і характеристика електротехнічного обладнання системи

До складу електротехнічного обладнання розробленої системи входять апарати захисту, комутації, керування, сигналізації та елементи живлення кола керування. Всі вибрані апарати узгоджені між собою за напругою, струмом і функціональним призначенням. Використання 24 В DC у колі керування спрощує реалізацію кнопових постів, кінцевих вимикачів і проміжних реле, а також підвищує безпеку обслуговування. Це відповідає загальним принципам електрообладнання машин, викладеним у ДСТУ EN 60204-1 [20].

Таблиця 4.3 – Перелік електротехнічного обладнання

| Позначення | Найменування | Кількість | Примітка |
|------------|--------------------------------------|-----------|--------------------------|
| QF1 | Автоматичний вимикач вводу 3P 16A | 1 | захист силового вводу |

| | | | |
|---------------------|---|----------------|-------------------------------|
| QF2 | Автомат захисту двигуна GV2ME10 | 1 | 4–6,3 А |
| QF3 | Автомат кола керування 1P 2A | 1 | захист PS1 і кіл керування |
| KM1 | Контактор LC1D09BD | 1 | 9 А AC-3, 24 V DC |
| KV1 | Проміжне реле RXM2AB2BD | 1 | 24 V DC, 2CO |
| PS1 | Блок живлення ABL2REM24020K | 1 | 24 V DC, 2,2 А |
| SQ1 | Кінцевий вимикач XCKN2118P20 | 1 | 1NC+1NO |
| SQ2 | Кінцевий вимикач XCKN2118P20 | 1 | 1NC+1NO |
| SB0 | Кнопка аварійної зупинки XB5AS8445 | 1 | грибоподібн а, з фіксацією |
| SB1 | Кнопка «Стоп» | 1 | 24 V DC |
| SB2 | Кнопка «Пуск» | 1 | 24 V DC |
| SA1 | Перемикач «Ручний/Автоматични й» | 1 | 2- позиційний |
| M1 | Електродвигун асинхронний | 1 | 3,0 кВт, 380 В |
| Кабель силовий | ВВГнг-LS 4×2,5 мм ² | за потребою | до двигуна |
| Кабель керування | КВВГнг-LS / ПВ-3 1,5 мм ² | за потребою | кола керування |

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4

У четвертому розділі розроблено систему керування та захисту електроприводу лінії подачі кормів на основі релейно-контакторної схеми з пониженим колом керування 24 В DC. Прийнята структура силового кола включає ввідний автоматичний вимикач, автомат захисту двигуна, контактор і асинхронний двигун. Коло керування містить блок живлення 24 В DC, кнопки «Пуск», «Стоп», аварійне відключення, перемикач режимів, проміжне реле та кінцеві вимикачі. Така побудова відповідає загальним вимогам до електрообладнання машин і електроустановок споживачів.

Для захисту й комутації обрано апарати, параметри яких відповідають характеристикам двигуна 3,0 кВт: моторний автомат GV2ME10 з діапазоном 4–6,3 А, контактор LC1D09BD на 9 А AC-3, проміжне реле RXM2AB2BD, кінцеві вимикачі XCKN2118P20, блок живлення ABL2REM24020K і кнопку аварійної зупинки XB5AS8445. За своїми характеристиками ці апарати мають достатній запас і забезпечують реалізацію ручного та автоматичного режимів роботи.

Для силового кола прийнято кабель ВВГнг-LS 4×2,5 мм², а для кола керування – провід або кабель перерізом 1,5 мм², що забезпечує необхідну струмову пропускну здатність і відповідає вимогам ПУЕ та принципам побудови електрообладнання машин. Отримане технічне рішення є придатним для практичної реалізації в складі лінії подачі кормів.

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ, ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ТА ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОЗРОБКИ

5.1 Заходи з охорони праці під час експлуатації лінії подачі кормів

Охорона праці під час експлуатації лінії подачі кормів повинна розглядатися як сукупність правових, організаційних, технічних, санітарно-гігієнічних та профілактичних заходів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності персоналу у процесі виконання виробничих операцій [28]. Для електрифікованих кормоподаючих систем особливе значення мають питання електробезпеки, безпеки обслуговування рухомих механізмів, попередження пожеж, а також забезпечення належних параметрів мікроклімату робочої зони [28–31].

Під час експлуатації лінії подачі кормів на працівників можуть впливати такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

- ураження електричним струмом при пошкодженні ізоляції, дотику до струмовідних частин або корпусів обладнання, що опинилися під напругою;
- механічне травмування при контакті з обертовим шнеком, муфтою, валом або іншими рухомими частинами;
- підвищений рівень запиленості повітря у зоні завантаження та подачі сухих кормів;
- підвищений рівень шуму від роботи електроприводу, редуктора і транспортуючого органу;
- пожежна небезпека у разі перегрівання електрообладнання, короткого замикання або накопичення пилу в місцях прокладання кабелів [28–31].

З метою забезпечення безпечної експлуатації розробленої системи керування та захисту необхідно передбачити комплекс технічних заходів. Усі металеві неструмовідні частини електрообладнання, які можуть опинитися під напругою внаслідок пошкодження ізоляції, повинні бути приєднані до захисного провідника РЕ. У силовому колі слід застосовувати автоматичний вимикач

вводу, автомат захисту двигуна і контактор, а в колі керування — окремий автомат, блок живлення на 24 В постійного струму та аварійну кнопку зупинки. Понижена напруга кола керування 24 В є доцільною з погляду безпеки обслуговування та відповідає логіці побудови електрообладнання машин [29–31].

Безпека роботи з механічною частиною установки забезпечується встановленням огорожень на муфті, відкритих ділянках вала, редукторі та місцях можливого доступу до шнека. Усі огороження повинні бути жорстко закріплені та виключати можливість випадкового доступу персоналу до рухомих частин під час роботи. Роботи з технічного обслуговування, очищення або усунення зависання корму дозволяється виконувати лише після повного знеструмлення установки, вивішування попереджувального плаката та перевірки відсутності напруги [28, 29].

До організаційних заходів охорони праці належать: проведення вступного, первинного, повторного та позапланового інструктажів; перевірка знань працівників з електробезпеки; допуск до обслуговування електроустановок тільки працівників, які мають відповідну групу з електробезпеки; ведення журналів огляду та технічного обслуговування; розроблення інструкції з безпечної експлуатації лінії подачі кормів [28–30]. Закон України «Про охорону праці» прямо визначає обов'язки роботодавця щодо створення безпечних умов праці, а Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів регламентують підготовку персоналу, організацію робіт і технічні заходи безпеки.

Окрему увагу слід приділити пожежній безпеці. У виробничому приміщенні необхідно передбачити справний стан ізоляції кабелів, захист від коротких замикань і перевантажень, регулярне очищення електрообладнання від пилу, недопущення захарашення щита керування та наявність первинних засобів пожежогасіння. Відповідно до Правил пожежної безпеки в Україні, на об'єкті повинні бути розроблені інструкції про заходи пожежної безпеки, визначені місця розміщення вогнегасників і встановлений порядок дій у разі пожежі [30].

Параметри мікроклімату робочої зони мають відповідати санітарним нормам мікроклімату виробничих приміщень. Для нормальної роботи обслуговуючого персоналу слід забезпечити допустимі показники температури, відносної вологості та швидкості руху повітря, а також належний стан вентиляції та освітлення робочої зони [31]. ДСН 3.3.6.042-99 поширюються на умови мікроклімату в межах робочої зони виробничих приміщень і встановлюють вимоги до методів вимірювання та оцінки параметрів мікроклімату.

Працівники, що обслуговують лінію подачі кормів, повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту: спецодягом, захисним взуттям, діелектричними рукавичками для робіт поблизу електрообладнання, а за потреби — захисними окулярами та респіраторами для роботи в умовах запиленості. Сукупність наведених технічних і організаційних заходів дозволяє забезпечити безпечну експлуатацію розробленої системи керування та захисту електроприводу лінії подачі кормів [28–31].

5.2 Екологічна оцінка запропонованого технічного рішення

Екологічна оцінка розробленої системи керування та захисту електроприводу лінії подачі кормів полягає у визначенні можливого впливу обладнання на довкілля та обґрунтуванні заходів із мінімізації такого впливу. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» встановлює правові, економічні та соціальні основи організації охорони довкілля в Україні, а стандарти екологічного управління серії ISO 14001 призначені для системного керування екологічними зобов'язаннями організації [32, 33].

Під час експлуатації лінії подачі кормів відсутні безпосередні викиди продуктів згоряння або токсичних речовин, оскільки установка працює від електричної енергії. Разом з тим можливими факторами впливу на навколишнє середовище є:

- споживання електроенергії;
- утворення кормового пилу;
- шум від роботи редуктора, електродвигуна та транспортуючого органу;

- утворення відходів під час ремонту і технічного обслуговування, зокрема відпрацьованих мастильних матеріалів та зношених електротехнічних компонентів [32, 33].

Позитивним екологічним аспектом запропонованого рішення є використання електроприводу з раціонально підбраною потужністю та системи керування, яка унеможлиблює необґрунтовану тривалу роботу механізму на холостому ході. Це сприяє зменшенню непродуктивного споживання електроенергії. Також застосування автоматичного відключення наприкінці циклу подачі корму дозволяє скоротити тривалість роботи обладнання та, відповідно, зменшити енергетичне навантаження [33].

Для зменшення негативного впливу на довкілля доцільно передбачити такі заходи:

- герметизацію або часткове укриття ділянок завантаження і транспортування корму для зниження запиленості;
- своєчасне технічне обслуговування редуктора і заміну мастильних матеріалів з недопущенням витоків;
- використання кабельної продукції з низьким димо- та газовиділенням;
- збирання і передачу відпрацьованих матеріалів та електротехнічних елементів на спеціалізовану утилізацію;
- контроль рівня шуму та підтримання справного технічного стану підшипників, муфт і шнека [30, 32, 33].

Таким чином, запропонована система керування та захисту електроприводу лінії подачі кормів за умови дотримання норм експлуатації не створює суттєвого негативного впливу на довкілля і може бути оцінена як екологічно прийнятне технічне рішення для використання в умовах тваринницького підприємства [32, 33].

5.3 Економічне обґрунтування впровадження системи керування та захисту

Економічна ефективність упровадження розробленої системи визначається за рахунок скорочення витрат ручної праці, зменшення простоїв, підвищення надійності роботи електроприводу та раціонального споживання електроенергії. Оскільки розроблена система забезпечує автоматизований цикл подачі корму та наявність захисту від аварійних режимів, очікується зменшення експлуатаційних витрат у порівнянні з менш автоматизованим варіантом керування.

Для розрахунку приймаємо такі вихідні дані: активна потужність електроприводу — 2,38 кВт; середня тривалість роботи за добу — 2,0 год; кількість робочих днів на рік — 300; тариф на електроенергію — 8,00 грн/кВт·год; економія трудових витрат — 1,0 людино-год на добу; вартість однієї людино-години — 120 грн; орієнтовна вартість комплексу апаратури керування, захисту, кабелів і монтажу — 38 000 грн.

Річне споживання електроенергії становить:

$$W_{річ} = P \cdot t \cdot D$$

де $P = 2,38$ кВт; $t = 2$ год/добу; $D = 300$ діб.

Таким чином, $W_{річ} = 1428$ кВт/год

Річні витрати на електроенергію:

$$C_{ел} = W_{річ} \cdot T$$

де $T = 8,00$ грн/кВт·год.

Тобто отримуємо: $C_{ел} = 11424$ грн

Річна економія на оплаті праці: $E_{праця} = 36000$ грн

Для більш реалістичної оцінки врахуємо щорічні витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт у розмірі 5 % від вартості обладнання:

$$C_{обсл} = 0,05 \cdot 38\,000 = 1\,900 \text{ грн}$$

Тоді річний економічний ефект:

$$E_{\text{річ}} = E_{\text{праця}} - C_{\text{ел}} - C_{\text{обсл}}$$

$$\text{Тоді } E_{\text{річ}} = 36000 - 11424 - 1900 = 22676 \text{ грн}$$

Термін окупності капітальних витрат:

$$T_{\text{ок}} = K / E_{\text{річ}}$$

$$\text{де } K = 38000 \text{ грн. Тоді } T_{\text{ок}} = 38\,000 / 22\,676 = 1,68 \text{ року}$$

Отже, строк окупності впровадження системи становить приблизно 1,7 року, що свідчить про економічну доцільність запропонованого рішення.

В табл. 5.1 та 5.2 наведені вихідні дані та результати економічного розрахунку.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані для економічного розрахунку

| Показник | Позначення | Значення |
|---|-------------------|----------|
| Активна потужність електроприводу, кВт | P | 2,38 |
| Тривалість роботи за добу, год | t | 2,0 |
| Кількість робочих днів на рік | D | 300 |
| Тариф на електроенергію, грн/кВт·год | T | 8,00 |
| Економія трудових витрат, люд.-год/добу | – | 1,0 |
| Вартість 1 людино-години, грн | – | 120 |
| Капітальні витрати, грн | K | 38 000 |
| Витрати на обслуговування, грн/рік | C _{обсл} | 1 900 |

Таблиця 5.2 – Результати економічного розрахунку

| Показник | Позначення | Значення |
|--|------------------|----------|
| Річне споживання електроенергії, кВт·год | W _{річ} | 1428 |
| Річні витрати на електроенергію, грн | C _{ел} | 11 424 |

| | | |
|-------------------------------------|--------------------|--------|
| Річна економія на оплаті праці, грн | $E_{\text{праця}}$ | 36 000 |
| Річний економічний ефект, грн | $E_{\text{річ}}$ | 22 676 |
| Термін окупності, років | $T_{\text{ок}}$ | 1,68 |

Отже, впровадження системи керування та захисту електроприводу лінії подачі кормів є не лише технічно, а й економічно обґрунтованим. Очікуваний річний економічний ефект перевищує 22 тис. грн, а строк окупності є меншим за два роки, що відповідає вимогам до інженерних рішень, які впроваджуються в аграрному виробництві.

Висновки до розділу 5

У п'ятому розділі розглянуто питання охорони праці, екологічної оцінки та економічної ефективності розробленої системи керування та захисту електроприводу лінії подачі кормів.

Установлено, що безпечна експлуатація лінії подачі кормів забезпечується поєднанням технічних і організаційних заходів, зокрема застосуванням захисного заземлення, автоматичного захисту, аварійного відключення, огороження рухомих частин, використанням пониженої напруги в колі керування, проведенням інструктажів і допуском до обслуговування тільки підготовленого персоналу.

Проведена екологічна оцінка показала, що запропоноване технічне рішення не спричиняє значного негативного впливу на довкілля, а основні екологічні ризики пов'язані з енергоспоживанням, утворенням пилу, шумом і відходами технічного обслуговування. За умови виконання передбачених заходів із мінімізації цих факторів система є екологічно прийнятною.

Економічний розрахунок засвідчив, що при прийнятих вихідних даних строк окупності впровадження системи керування та захисту становить близько 1,7 року, а річний економічний ефект перевищує 22 тис. грн. Це підтверджує доцільність упровадження запропонованого технічного рішення у практику тваринницьких підприємств.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У бакалаврській роботі розв'язано актуальне інженерне завдання з розроблення системи керування та захисту електроприводу лінії подачі кормів для використання в умовах тваринницького виробництва.

1. Проведено аналіз технологічного процесу подачі кормів у тваринництві та встановлено, що ефективність кормоподаючих систем значною мірою залежить від рівня механізації, електрифікації та автоматизації. Використання електроприводних ліній подачі кормів забезпечує безперервність технологічного процесу, підвищує точність подачі корму та зменшує трудомісткість виробничих операцій.

2. Розглянуто конструктивно-технологічні особливості лінії подачі сухих кормів шнекового типу та прийнято основні параметри розрахункової установки: довжина лінії 18 м, діаметр і крок шнека 160 мм, частота обертання 95 об/хв, об'єм бункера 1,8 м³, продуктивність 0,90 т/год.

3. На основі аналізу навантаження робочого органу побудовано навантажувальну діаграму електроприводу та визначено еквівалентну потужність робочої машини, яка становить 1,75 кВт. З урахуванням ККД механічної передачі встановлено, що розрахункова потужність на валу електродвигуна дорівнює 2,06 кВт.

4. Побудовано механічну характеристику робочої машини та визначено, що номінальний момент опору шнекового механізму становить 207 Н·м. Отримані результати дали змогу обґрунтувати вимоги до електроприводу та параметрів його роботи.

5. Для приводу лінії подачі кормів обґрунтовано вибрано трифазний асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором потужністю 3,0 кВт і номінальною швидкістю 1430 об/хв. Для узгодження швидкості двигуна зі швидкістю шнека визначено передавальне число редуктора, яке становить 15.

6. Перевірка пускових і перевантажувальних властивостей показала, що пусковий момент на валу шнека 739,5 Н·м перевищує розрахунковий момент

опору під час пуску 269,1 Н·м, а максимальний момент 841,5 Н·м є достатнім для роботи електроприводу в умовах короткочасних перевантажень.

7. Розраховано динамічні параметри системи: сумарний приведений момент інерції становить 0,0923 кг·м², а орієнтовний час пуску електроприводу — 0,31 с. Це підтверджує достатні динамічні властивості приводу для роботи у циклічному режимі.

8. Розроблено систему керування та захисту електроприводу лінії подачі кормів на основі релейно-контакторної схеми з пониженим колом керування 24 В постійного струму. Запропонована схема забезпечує ручний і автоматичний режими роботи, аварійне відключення, блокування за кінцевими вимикачами та надійний захист силового кола. Виконано вибір апаратів захисту, керування, живлення і кабельної продукції, які відповідають параметрам двигуна й вимогам безпечної експлуатації.

9. У роботі обґрунтовано заходи з охорони праці, електробезпеки та екологічної безпеки під час експлуатації лінії подачі кормів. Економічний розрахунок підтвердив доцільність упровадження розробленої системи: річний економічний ефект становить 22 676 грн, а термін окупності – близько 1,68 року.