

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: «Удосконалення електричних схем кормороздавачів»

КРБ.14ЕЕбд_31.03.00.00.000 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]*

ГАРСЬКИЙ Віктор

Керівник: канд. фіз.-мат. наук, доцент
СЕМЕНОВ Анатолій

Полтава – 2025 року

ВСТУП

У сучасних умовах розвитку сільського господарства спостерігається зростаюча тенденція до більш широкого використання електроенергії, насамперед у стаціонарних виробничих процесах. Для ефективного функціонування аграрного сектору та його подальшого розвитку необхідне впровадження сучасного електротехнічного обладнання у поєднанні з професійною його експлуатацією.

Тваринництво є ключовим елементом агропромислового комплексу, адже забезпечує населення цінними продуктами харчування та постачає сировину для переробної промисловості. Ферми тваринницького профілю створюються для утримання, вирощування худоби та птиці з метою отримання таких видів продукції, як м'ясо, молоко, яйця, вовна тощо.

Однією з перспективних галузей, що дозволяє швидко збільшити виробничий потенціал, є свинарство.

Основу технологічного процесу у великих свинокомплексах, репродукторних та відгодівельних господарствах становить поточне промислове виробництво, яке забезпечує безперервне й рівномірне відтворення поголів'я та стабільний випуск продукції протягом року.

У процесі індустріалізації тваринницького виробництва підвищення продуктивності тварин залежить не лише від якісного кормозабезпечення, а й від належної організації догляду та створення оптимального мікроклімату у приміщеннях.

Використання електрифікації та автоматизації у процесах приготування й роздавання кормів дає вагомий економічний ефект. Це особливо актуально у тваринництві, де такі заходи сприяють як зростанню обсягів продукції, так і зменшенню енергоспоживання.

У галузі тваринництва, зокрема на фермах і комплексах індустріального типу, з'являються широкі можливості для використання електроприводних мобільних машин. Завдяки коротким відстаням транспортування, ці машини

ефективно використовуються для механізації основних виробничих операцій, таких як:

- завантаження кормів з місць зберігання до транспортних засобів;
- транспортування вантажів по території ферми;
- роздавання кормів і кормосумішей тваринам;
- прибирання, завантаження та складування гною;
- виконання санітарно-профілактичних заходів (дезінфекція, дезінсекція, опромінення тварин).

Для виконання цих завдань застосовують різні типи електромобільної техніки: кормозавантажувачі, кормороздавачі, машини для прибирання та навантаження гною, електрокари, пересувні установки для санітарної обробки тварин і приміщень. Такі машини можуть пересуватися по твердому покриттю, рейкових або підвісних шляхах. Живлення електродвигунів здійснюється за допомогою гнучких кабелів, тролейних систем або акумуляторів.

Зокрема, електрифікований кормороздавач КС-1.5 використовується для змішування і дозованої двосторонньої роздачі як вологих кормових сумішей, так і сухих концентрованих кормів у приміщеннях свиноферм, де організоване централізоване приготування кормів у спеціалізованому кормоцеху.

Мета роботи - підвищення ефективності функціонування електроприводу кормороздавача шляхом удосконалення його електричної схеми живлення, керування та захисту з урахуванням специфіки експлуатації на тваринницьких фермах.

Об'єкт розробки – система електроприводу кормороздавача типу КЭС-1.7, що використовується в механізованих лініях роздавання кормів на свинофермах.

Предмет розробки – електрична схема живлення, захисту та керування електродвигунами кормороздавача, а також методи вибору електроприводу й апаратури автоматизації.

Методика досліджень. У процесі виконання бакалаврської роботи використано комплексну методику, що поєднує аналітичні, розрахункові, графоаналітичні та порівняльні підходи до технічного обґрунтування параметрів

електроприводу кормороздавача та розробки його удосконаленої електричної схеми.

Основними етапами методики дослідження є: аналіз конструктивних особливостей об'єкта дослідження; побудова навантажувальної діаграми та визначення еквівалентної потужності електроприводу; розрахунок параметрів системи "електродвигун – робоча машина"; графоаналітичне визначення часу пуску; проектування схеми живлення та керування електроприводом, що передбачало; вибір та розрахунок силових кабелів і проводів; оцінка економічної ефективності впровадження удосконаленої системи, екологічна та безпекова експертиза.

Для вирішення поставленої мети необхідно розв'язати наступні задачі: проаналізувати конструктивні особливості та технологічну схему кормороздавача КЭС-1.7; визначити навантажувальні характеристики робочого органу (шнека) та побудувати механічну характеристику приводу; вибрати тип електродвигуна, який забезпечує необхідні пускові, динамічні та енергетичні параметри; розробити вдосконалену електричну схему живлення, керування та захисту установки; підібрати відповідну апаратуру керування та захисту з урахуванням пускових струмів і режимів роботи; визначити параметри силових кабелів і проводів згідно з умовами експлуатації та технічними нормами; оцінити техніко-економічну доцільність впровадження запропонованого рішення.

Практична значимість та реалізація досліджень. Результати роботи можуть бути використані для модернізації існуючих кормороздавачів на тваринницьких фермах, що сприятиме підвищенню надійності, зменшенню витрат електроенергії та автоматизації процесу роздавання кормів. Удосконалена схема електроприводу може бути рекомендована до впровадження на підприємствах агропромислового комплексу з аналогічним технологічним обладнанням. Отримані технічні рішення відповідають сучасним вимогам до безпечної експлуатації, енергоефективності та надійності електрообладнання.

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМКІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Технологічні процеси у тваринництві

У сучасних умовах розвитку агропромислового комплексу все більшої актуальності набуває підвищення ефективності технологічних процесів у тваринництві [1]. Одним з ключових напрямів є впровадження автоматизованих і електрифікованих систем приготування, транспортування та роздавання кормів, які мають вирішальне значення для забезпечення раціонального годування тварин, підвищення їх продуктивності та зниження трудових витрат.

На тваринницьких комплексах, зокрема в свинарстві, активно використовуються спеціалізовані машини, серед яких важливе місце посідають кормороздавачі. Вони забезпечують рівномірне, дозоване та своєчасне постачання кормів у годівниці, що є необхідною умовою стабільного росту й розвитку поголів'я. Електрифіковані кормороздавачі дозволяють інтегрувати ці процеси в автоматизовані лінії [2], що позитивно впливає на ритмічність та якість виробничого процесу.

Проте, незважаючи на значну кількість технічних рішень, реалізованих у конструкціях кормороздавачів, більшість із них орієнтована на використання стандартних схем електроприводу без врахування особливостей середовища експлуатації, специфіки навантажень, змінних режимів роботи та вимог до енергозбереження. Відомо, що типові електричні схеми багатьох вітчизняних моделей не завжди забезпечують достатню гнучкість та адаптивність при зміні умов експлуатації, а їх захист від перевантажень та коротких замикань має обмежені функціональні можливості.

Особливе значення має правильний вибір типу електродвигуна [3], системи пуску, методів регулювання швидкості обертання та надійного захисту від аварійних режимів. У разі неправильного підбору параметрів електроприводу виникають проблеми з пуском, перегрівом обмоток, зниженням ККД та зменшенням строку служби обладнання. Також недостатня увага приділяється

оптимізації електричних схем керування з точки зору автоматизації, зручності обслуговування та безпеки обслуговуючого персоналу.

Наукові дослідження вітчизняних і зарубіжних фахівців свідчать про перспективність модернізації кормороздавачів шляхом використання індивідуальних електроприводів з мікропроцесорним управлінням, впровадження частотних перетворювачів для плавного пуску та регулювання частоти обертання шнеків, а також застосування програмованих логічних контролерів (ПЛК) для організації повністю автоматизованого циклу роздавання кормів.

Таким чином, проведений аналіз дозволяє виділити низку основних проблем, які потребують вирішення: недостатня адаптивність типових електричних схем до різних режимів роботи; обмежені можливості захисту електродвигунів у випадку перевантаження чи короткого замикання; відсутність автоматичного або дистанційного контролю процесів; неефективне використання енергетичних ресурсів через застарілу апаратуру керування; обмежені можливості для подальшої автоматизації та інтеграції в загальну систему управління тваринницьким комплексом.

З урахуванням вищезазначеного, у межах даної бакалаврської роботи передбачається вирішення наступних науково-прикладних завдань: технічний аналіз електричних схем живлення й керування існуючих моделей кормороздавачів; визначення електромеханічних параметрів приводу шнека на основі навантажувальних характеристик; вибір оптимального типу електродвигуна з урахуванням режиму роботи, пускових характеристик, перевантажувальної здатності; розробка вдосконаленої електричної схеми живлення, захисту та керування, яка відповідатиме сучасним вимогам енергоефективності й безпеки; побудова графіків механічної та динамічної характеристики системи "електродвигун — робоча машина"; підбір апаратури захисту, керування та необхідної елементної бази для реалізації нової схеми [2].

Реалізація зазначених напрямків дозволить покращити техніко-економічні показники роботи кормороздавача, підвищити рівень автоматизації виробничого процесу та сприяти ефективному розвитку технологій у сфері тваринництва.

1.2 Ефективність технологічних процесів та автоматизація процесу роздачі кормів

Одним із пріоритетних напрямів розвитку сучасного тваринництва є впровадження енергоощадних і продуктивних технологій у процеси приготування, транспортування та роздавання кормів. Ефективна організація годівлі тварин безпосередньо впливає на приріст живої маси, надої, конверсію кормів і, відповідно, економічну рентабельність галузі. В умовах індустріалізації аграрного виробництва зростає потреба в широкому використанні механізованих і автоматизованих засобів, зокрема електрифікованих кормороздавачів, які суттєво підвищують ефективність технологічних процесів [4].

Кормороздавачі, як елемент механізованої лінії, дозволяють реалізувати принцип точного дозування, рівномірного розподілу кормів та мінімізації втрат при транспортуванні. У порівнянні з ручною працею чи напівавтоматичними системами, використання кормороздавачів з електроприводами дає змогу скоротити час на виконання операцій, зменшити вплив людського фактора, забезпечити дотримання встановлених норм годівлі та оперативно реагувати на зміну технологічних параметрів [5].

Важливим чинником підвищення ефективності таких систем є автоматизація керування. Завдяки застосуванню електронних блоків управління, кінцевих вимикачів, проміжних реле, частотних перетворювачів і програмованих логічних контролерів (ПЛК), вдається повністю автоматизувати цикл роздавання кормів. Автоматичні системи дають змогу здійснювати запуск, зупинку, реверсування руху, увімкнення шнеків дозування без участі оператора або з мінімальним контролем, що покращує ергономіку роботи й підвищує продуктивність праці обслуговуючого персоналу.

Удосконалення електричних схем кормороздавачів [3], зокрема систем живлення та керування електроприводами, дозволяє досягти таких переваг:

- зменшення споживання електроенергії за рахунок оптимізації режимів роботи;

- підвищення надійності електрообладнання та зниження частоти аварійних відключень;
- покращення керованості технологічного процесу;
- забезпечення гнучкості при модернізації або зміні конфігурації лінії роздавання кормів;
- полегшення обслуговування, діагностики та профілактичного ремонту.

Таким чином, ефективність використання кормороздавачів значною мірою залежить не лише від конструкції механічної частини, а й від рівня розвитку їх електрифікації та автоматизації. Вдосконалення цих компонентів сприяє зростанню економічної ефективності тваринницького виробництва, оптимізації витрат енергоресурсів і підвищенню рівня технологічного оснащення фермерських господарств.

Висновки до розділу 1

У результаті аналізу стану технологічних процесів у тваринництві встановлено, що одним із ключових факторів підвищення ефективності агропромислового виробництва є впровадження механізованих та автоматизованих систем приготування і роздавання кормів. Зокрема, електрифіковані кормороздавачі, які активно застосовуються на свинокомплексах та інших тваринницьких фермах, забезпечують рівномірну та точну подачу кормів, знижують трудомісткість процесів та підвищують продуктивність праці.

Оцінка сучасного стану техніки засвідчує, що типові електричні схеми, які використовуються в більшості існуючих кормороздавачів, мають обмежені можливості щодо енергозбереження, адаптивності до різних режимів експлуатації, захисту електродвигунів та подальшої автоматизації процесів. Недостатній рівень захисту, застаріле конструктивне виконання та відсутність сучасних систем керування негативно впливають на ефективність і надійність функціонування обладнання.

Проведений аналіз також свідчить про доцільність модернізації електроприводів кормороздавачів шляхом впровадження енергоефективних електродвигунів, частотних перетворювачів, сучасної апаратури керування та захисту, а також застосування програмованих логічних контролерів для реалізації автоматизованих сценаріїв роздавання кормів.

Удосконалення електричних схем живлення, захисту та керування сприяє:

- підвищенню енергетичної ефективності обладнання;
- покращенню надійності та безпеки експлуатації;
- зниженню експлуатаційних витрат;
- зростанню рівня автоматизації виробничих процесів;
- забезпеченню гнучкості та масштабованості систем.

РОЗДІЛ 2 КОНСТРУКЦІЯ КОРМОРОЗДАВАЧІВ ТА ОПИС РОБОТИ УСТАНОВКИ

2.1 Конструктивні особливості кормороздавача

Кормороздавач моделі КЭС-1.7 (рис. 2.1) являє собою двовісну транспортну конструкцію, що рухається над годівницями вздовж напрямного рейкового шляху змонтованого на металевій естакаді жорсткого типу [1]. Центральним елементом установки є завантажувальний бункер, всередині якого розташовані два горизонтальні шнеки, призначені для вивантаження корму. У нижній частині бункера передбачено отвори, через які подається корм – вони оснащені шиберними заслінками з ручним приводом.

Завантаження корму в бункер виконується при закритих отворах подачі, коли шнеки перебувають у стані обертання. Обсяг роздачі корму регулюється шляхом зміни положення заслінок, а також зміною частоти обертання шнеків, що досягається перемиканням ланцюга на шестернях привода.

Живлення установки здійснюється від мережі змінного струму за допомогою кабелю, який прокладається в лотку [6]. Кожен з виконавчих механізмів (привод руху та шнеки) має окремий електродвигун, що дозволяє реалізувати спрощену кінематичну схему (рис.2.2) [7].

Характеристики кормороздавача (технічні параметри) представлені в таблиці 2.1. В таблиці наводяться дані, щодо місткості бункера, продуктивності при змішуванні, продуктивності при роздачі сухих та вологих кормів, а також швидкість перемішування.

Таблиця 1 – Технічні параметри кормороздавача КЭС-1.7

Параметр	Значення
Об'єм бункера, м ³	1,7

Параметр	Значення
Продуктивність при змішуванні, т/год	38,7
Продуктивність при роздачі сухих кормів, т/год	14,6
Продуктивність при роздачі вологих кормів, т/год	0,52
Швидкість переміщення при роздачі, м/с	0,53

2.2 Розрахунок механічної характеристики шнека кормороздавача

Для аналізу режиму роботи електроприводу визначається навантажувальна діаграма шнека (рис. 2.3), на основі якої обчислюється еквівалентна потужність приводу за відомими проміжками часу та значеннями потужності [8].

Еквівалентна потужність обчислюється за інтегральною формулою, що враховує зміну навантаження з часом. Потім визначається еквівалентна потужність на валу електродвигуна, з урахуванням загального ККД трансмісії [9].

$$P_{\text{ек.м}} = \sqrt{P_1^2 t_1 + \frac{P_1^2 + P_1 P_2 + P_2^2}{3} t_2}, \text{ кВт} \quad (2.1)$$

де, $P_{\text{ек.м}}$ - еквівалентна потужність;

P_1, P_2 - потужність електроприводу у певний момент часу;

t_1, t_2 - відрізок часу, на протязі якого змінювалась потужність.

Таким чином (користуючись діаграмою) ми одержимо еквівалентну потужність:

$$P_{\text{ек.м}} = \sqrt{1,6^2 \cdot 0,1 + \frac{1,6^2 + 1,6 \cdot 0,5 + 0,5^2}{3} \cdot 2,4} = 1,77 \text{ кВт}$$

Еквівалентна потужність на валу двигуна, розраховується:

$$P_{\text{ек.дв}} = \frac{P_{\text{ек.м}}}{\eta_{\text{пер}}}, \text{ кВт} \quad (2.2)$$

де, $P_{\text{ек.м}}$ - еквівалентна потужність на валу;

$\eta_{\text{пер}}$ - ККД передачі.

Таким чином,

$$P_{\text{ек.дв}} = \frac{1,77}{0,812} = 2,18 \text{ кВт}$$

Після цього розраховується номінальна кутова швидкість робочого органу на основі номінальної частоти обертання:

$$\omega_{\text{ном.м}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{ном}}}{30}, \text{ с}^{-1} \quad (2.3)$$

де $n_{\text{н}}=4,97$ об/хв. Після перетворення отримано значення кутової швидкості, на основі якого визначається момент опору:

$$\omega_{\text{ном.м}} = \frac{3,14 \cdot 4,97}{30} = 0,52 \text{ с}^{-1}$$

Визначаємо момент опору при номінальній частоті обертання:

$$M_{\text{с.ном}} = 9550 \cdot \frac{P_{\text{ек.м}}}{\eta_{\text{н}}}, \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.4)$$

Наступним етапом є визначення моменту постійного тертя:

$$M_{\text{с.ном}} = 9550 \cdot \frac{1,77}{4,97} = 3401,11 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Визначені значення дозволяють побудувати повну механічну характеристику робочої машини (табл. 2.2) та графік залежності моменту опору від кутової швидкості (рис. 2.4).

Таким, чином можемо побудувати графік механічної характеристики робочої машини [10].

Висновки до розділу 2

У другому розділі бакалаврської роботи проведено технічний аналіз конструкції кормороздавача моделі КЭС-1.7 та описано принцип дії основних складових установок. Встановлено, що дана модель є двовісною мобільною установкою рейкового типу, основними елементами якої є завантажувальний бункер, шнековий механізм вивантаження та електроприводи, які забезпечують роботу транспортної системи та механізмів подачі корму.

Проаналізовано конструктивні параметри кормороздавача, що включають об'єм бункера, продуктивність за різних режимів роботи, а також швидкість переміщення під час роздачі корму. Це дозволило сформулювати загальне уявлення про функціональні можливості установки та межі її технічної ефективності.

У підрозділі 2.2 виконано аналітичне моделювання навантажувальної характеристики шнека. На основі побудованої навантажувальної діаграми проведено розрахунок еквівалентної потужності електроприводу, яка склала 1,77 кВт. З урахуванням коефіцієнта корисної дії передачі визначено еквівалентну потужність на валу електродвигуна – 2,18 кВт.

Проведено розрахунок номінальної кутової швидкості робочого органу та визначено відповідний момент опору, який становить 3401,11 Н·м. Отримані значення дозволили побудувати механічну характеристику робочої машини, що в подальшому стане основою для вибору типу електродвигуна в наступному розділі.

Таким чином, у розділі було закладено необхідну технічну базу для обґрунтованого вибору параметрів електроприводу, що забезпечить ефективну та надійну роботу кормороздавача в умовах експлуатації на тваринницьких фермах.

РОЗДІЛ 3 ВИБІР, РОЗРАХУНОК ТА ПЕРЕВІРКА ЕЛЕКТРОДВИГУНА ДЛЯ КОРМОРОЗДАВАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

3.1 Вибір типу електродвигуна та визначення потужності

Під час вибору електродвигуна, який слугуватиме приводом робочого обладнання, необхідно враховувати такі критерії: тип живлення, номінальну напругу, умови експлуатації, електричні параметри, конструктивне виконання, спосіб встановлення, кліматичне виконання, ступінь захисту та безпеки, а також потужність і частоту обертання.

Потужність двигуна розраховується відповідно до умови [11]:

$$P_{\text{дв}} \geq P_{\text{екв}}$$

де: $P_{\text{дв}}$ – номінальна потужність двигуна, кВт;

$P_{\text{екв}}$ – еквівалентна потужність на валу, кВт.

Для забезпечення відповідності обраного двигуна умовам експлуатації, враховуємо частоту обертання валу, яка має відповідати:

$$n_{\text{дв}} \approx n_{\text{розр}}$$

Беручи до уваги характер роботи механізму, рекомендовано обрати двигун для короткочасного режиму S2. Водночас, через обмежену наявність таких двигунів, попередньо обрано двигун для тривалого режиму S1 – модель АИР112МА8У4, технічні характеристики якої наведено нижче [12]:

потужність: 2,2 кВт;

частота обертання: 710 об/хв;

струм: 6,2 А;

$\cos\varphi$: 0,71;

кратність пускового моменту: $\lambda_{\text{пуск}} = 1,8$;

кратність мінімального моменту: $\lambda_{\text{min}} = 1,4$

коефіцієнт інерції: $K_i = 6,0$.

Для встановлення режиму експлуатації двигуна обчислюється тривалість роботи за навантажувальною діаграмою:

$$t_p = t_1 + t_2 = 0,5 + 5 = 3 \text{ хв}$$

Порівнюючи це значення з допустимою тривалістю нагріву [13]:

$$t_p \leq 4 \cdot T_H; 3 \text{ хв} \leq 4 \cdot 16 \text{ хв}; 3 \text{ хв} \leq 64 \text{ хв}$$

Оскільки $t_p \leq 4 \cdot T_H$, отже, двигун не встигає досягти теплової рівноваги. Відтак його режим класифікується як короткочасний – S2 [14].

3.2 Перевірка можливості пуску електродвигуна під навантаженням

Перевірка на здатність запуску двигуна з повним навантаженням виконується за формулою:

$$M_{\text{ном}} = 9550 \frac{P_H}{\omega_H} = 9550 \cdot \frac{2,2}{710} = 29,59 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.1)$$

де $M_{\text{ном}}$ – номінальний обертовий момент, Н·м.

Момент опору механізму під час запуску [15]:

$$M_{\text{з.с.}} = 9550 \frac{P_{\text{max}}}{n_{\text{ном}}} = 9550 \frac{1,6}{710} = 21,52 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.2)$$

де $P_{\text{max}} = 1,6 \text{ кВт}$ – максимальна потужність опору.

Оскільки:

$$M_{\text{н(пуск)}} = \frac{1,25 \cdot M_{\text{з.с.}}}{K_{\text{min}} \cdot U^2} = \frac{1,25 \cdot 21,52}{1,4 \cdot 0,925} = 22,46 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.3)$$

Таким, чином обраний електродвигун здатний запуститися з повним навантаженням.

Отже, $M_{\text{ном}} = 29,59 \text{ Н} \cdot \text{м} > M_{\text{н (пуск)}} = 22,46 \text{ Н} \cdot \text{м}$ електродвигун при повному навантаженні кормороздавача запуститься.

Остаточний вибір – асинхронний двигун серії АИР112МА8У4. Він має висоту осі обертання 112 мм, встановлюється на лапах з фланцем, допускає монтаж при будь-якому розташуванні валу, має клас ізоляції F (до 155°C), ступінь захисту IP54 та розрахований на напругу 380/220 В при з'єднанні Y/Δ. Надійність роботи становить 0,9 при напрацюванні 20000 годин [15].

3.3 Розрахунок приведенного моменту інерції

Граничне значення моменту інерції обчислюється за формулою [11]:

$$J_{\text{max}} = K \cdot K_m \cdot P^v \cdot p^y \quad (3.4)$$

де:

$K=0,045$ – коефіцієнт для закритих двигунів;

K_m – коефіцієнт залежно від висоти осі;

P – потужність двигуна;

p – кількість пар полюсів;

v – показник ступеня.

Момент інерції механізму, зведений до валу електродвигуна:

$$J_{\text{max}} = 0,045 \cdot 0,4 \cdot 2,2^1 \cdot 4^2 = 0,634 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Оскільки виконується умова $J_{\text{max}} < J_{\text{м.зв.}}$, пуск та зупинка машини не впливають критично на тепловий режим.

3.4 Графічне визначення часу пуску

Для оцінки часу розгону системи «електродвигун – механізм» використовується графоаналітичний метод. На основі таблиці розрахункових значень моментів опору будується графік динамічного моменту $M_{\text{дин}}=f(\omega)$, який розбивається на ділянки з постійними значеннями моменту [16].

$$\omega_{\text{дв}} = \omega_{\text{м}} \cdot i_{\text{пер}} \quad (3.5)$$

$$M_{\text{с.зв.}} = \frac{M_{\text{с}}}{(i_{\text{пер}} \cdot n_{\text{пер}})} \quad (3.6)$$

Зведені дані подаються у табличній формі (табл. 3), на основі якої будується графік розгону.

3.5 Оцінка перевантажувальної здатності

Перевірку виконують за формулою [17]:

$$P_{\text{max}} < \lambda_{\text{max}} \cdot P_{\text{ном}}$$

Оскільки дана умова дотримується, двигун має достатній запас потужності.

3.6 Визначення споживаної потужності

Активна потужність [13]:

$$P_{\text{м.ном}} = \frac{P_{\text{ном}} k_3}{\eta_{\text{ном}}} \quad (3.7)$$

де, $P_{\text{ном}} = 3$ кВт - номінальна потужність електродвигуна;

де $\eta_{\text{ном}} = 0,812$ – коефіцієнт завантаження.

Реактивна потужність:

$$Q = P_{\text{м.ном.}} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{\text{ном}} = 2,68 \cdot 0,992 = 2,66 \text{ кВА}$$

Повна потужність:

$$S_{\text{м. ном}} = \sqrt{P_{\text{м.ном}}^2 + Q_{\text{м.ном}}^2} \quad (3.8)$$

$$S_{\text{м. ном}} = \sqrt{2,68^2 + 2,66^2} = 3,77 \text{ кВ} \cdot \text{А}$$

Таким чином, визначена повна потужність споживана електродвигуном з електричної мережі.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

У третьому розділі бакалаврської роботи було проведено обґрунтований вибір електродвигуна для приводу шнекового механізму кормороздавача КЭС-1.7 на основі аналізу потужності та експлуатаційних вимог. Розрахунок показав, що еквівалентна потужність, необхідна для забезпечення роботи установки, становить 2,18 кВт, що стало основою для вибору електродвигуна моделі АИР112МА8У4 з номінальною потужністю 2,2 кВт.

Проведена перевірка можливості запуску двигуна під повним навантаженням показала відповідність обраного електроприводу умовам експлуатації: номінальний момент двигуна (29,59 Н·м) перевищує момент пускового опору механізму (22,46 Н·м). Це гарантує надійний запуск установки при максимальному навантаженні.

Оцінка моментів інерції підтвердила, що приведені значення моменту інерції механізму не перевищує допустимого для обраного типу двигуна, а це означає, що часті пуски і зупинки не призводитимуть до надмірного нагрівання чи зниження ресурсу електроприводу.

Графоаналітичний метод дозволив визначити час пуску системи "електродвигун – робоча машина" і переконатися у динамічній відповідності моменту приводу моменту опору, що забезпечує плавність та енергоефективність розгону.

Також було здійснено перевірку перевантажувальної здатності двигуна, яка підтвердила наявність достатнього запасу потужності. Визначено значення активної, реактивної та повної потужності, споживаної електродвигуном з мережі. Загальна споживана потужність становить 3,77 кВА, що є важливою характеристикою для підбору апаратури захисту та енергозабезпечення.

Результати проведених розрахунків підтверджують технічну доцільність використання асинхронного електродвигуна АИР112МА8У4 у складі приводу кормороздавача, що забезпечить ефективну та надійну експлуатацію обладнання в умовах тваринницьких господарств.

РОЗДІЛ 4 КОМПЛЕКСНЕ ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТА ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ КОРМОРОЗДАВАЧА

4.1 Схема керування електроприводом та опис її функціонування

На рисунках 4.1 та 4.2 представлено електричні схеми, які забезпечують живлення, захист і керування електроприводом установки. Загальне відключення здійснюється через автоматичний вимикач QF1. Захист двигунів реалізовано шляхом встановлення автоматів QF2, QF3 і QF4 з електромагнітними розчіплювачами, а також тепловими реле КК1–КК3. Для захисту схеми керування використовується автомат SF [18].

Управління установкою виконує оператор, що розміщується на кормороздавачі. В системі передбачено два режими: автоматичний та ручний.

У автоматичному режимі оператор активує автомат SF і натискає кнопку SB2, що приводить у дію двигун M1, відповідальний за переміщення кормороздавача. Коли машина досягає годівниць, спрацьовують кінцеві вимикачі SQ4 і SQ6, вмикаючи шнеки. По завершенню подачі корму, кінцеві вимикачі SQ1 та SQ3 переводять M1 у реверс, а реле KV вмикає шнеки. При поверненні у вихідну точку, шляховий вимикач SQ1 припиняє рух кормороздавача [19].

4.2 Підбір апаратури керування та захисту

Для двигунів установки виконано вибір захисної та керуючої апаратури згідно з технічними вимогами [12]. На рисунку 4.3 наведено однолінійну схему приєднання.

У таблиці 4.1 подано номінальні дані двигунів – потужність, струм, пускова кратність.

З урахуванням отриманих значень проведено вибір автоматів типу ВА51-25. Автомати QF2, QF3, QF4 та загальний QF1 підібрані з урахуванням

нормативів. Значення для теплових і електромагнітних розчіплювачів забезпечують захист від перевантажень і коротких замикань [15].

Таблиця 4.1 - Технічні дані електродвигунів кормоподрібнювача

Для пуску двигунів використано пускачі ПМЛ-1200О4В номіналом 10 А, які відповідають умовам безпечної комутації при пускових режимах [19]. Як тепловий захист передбачені реле РТЛ-1012О4 і РТЛ-1008О4 з регульованим діапазоном струмів [19].

Усі елементи змонтовано у щиті ЯОА5906-3477.01У3 (500×500×250 мм). Зведені дані подано в таблиці 4.2.

4.3 Підбір силової кабельної продукції

Електропроводка від щита розподілу до пульта керування прокладена кабелем ВВГ. До електродвигунів прокладаються дроти АПВ – з урахуванням підвищеної електробезпеки приміщення.

Січення дротів визначено відповідно до вимог щодо допустимого навантаження. Для всіх двигунів (М1–М3) застосовано провід 2,5 мм², що забезпечує запас по струму. Для підключення панелі керування використано кабель КГ 4×2,5 мм². Усі вибрані марки та параметри проводів подано в таблиці 4.3.

4.4 Перелік електротехнічного обладнання

В розділі наведено повний перелік апаратури, що використовується в системі. Таблиця 4.4 містить позиційні позначення, типи, кількість, технічні характеристики та призначення обладнання, включаючи автоматичні вимикачі, електродвигуни, пускачі, теплові реле, кінцеві вимикачі та інші елементи керування та сигналізації.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4

У цьому розділі проведено комплексну розробку системи керування та електроживлення кормороздавальної установки, що охоплює побудову електричних схем, вибір захисної та комутаційної апаратури, підбір силових проводів, а також складання повного переліку необхідного електрообладнання.

Розроблена схема керування включає два режими роботи – ручний та автоматичний – що дозволяє адаптувати функціонування кормороздавача до різних умов експлуатації. Завдяки застосуванню кінцевих вимикачів і реле досягнуто автоматизації циклу подачі корму з подальшим поверненням установки у вихідне положення.

Проведено обґрунтований вибір апаратів захисту та керування – автоматичних вимикачів, магнітних пускачів та теплових реле, які відповідають номінальним і пусковим струмам електродвигунів. Усі елементи підбрані з урахуванням надійності, безпеки та умов експлуатації, що підтверджено перевірками за відповідними розрахунковими формулами.

Окрему увагу приділено підбору силової кабельної продукції. Обрані марки і січення проводів забезпечують допустимий струмопровід та відповідають нормам електробезпеки. Таким чином, уся система живлення та керування гарантує ефективну та надійну роботу установки в умовах тваринницьких господарств.

Загалом розроблене технічне рішення є цілісним, обґрунтованим і готовим до впровадження в практику.

РОЗДІЛ 5. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ УСТАНОВКИ

5.1 Заходи з охорони праці та електробезпеки в умовах експлуатації установки

Охорона праці є складовою частиною професійної діяльності й охоплює систему правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних та профілактичних заходів, спрямованих на збереження здоров'я, працездатності та життя працівників у процесі трудової діяльності.

У даному розділі розглянуто заходи з охорони праці під час експлуатації кормороздавальної установки з електроприводом, з урахуванням характеру робіт, особливостей електрообладнання та умов виробничого середовища.

Аналіз небезпечних і шкідливих факторів

У процесі роботи з електроприводами та розподільчими пристроями можливе виникнення таких небезпечних та шкідливих виробничих факторів [20]:

- ураження електричним струмом при пошкодженні ізоляції або неправильному обслуговуванні обладнання;
- механічні травми при роботі з обертовими частинами машин;
- підвищений рівень шуму та вібрації;
- недостатнє освітлення робочої зони;
- наявність пилу у приміщеннях тваринницького комплексу.

Для зниження впливу зазначених факторів передбачено застосування відповідних технічних та організаційних заходів безпеки [21].

Електробезпека

Для запобігання ураженню електричним струмом у системі живлення застосовано:

- автоматичні вимикачі з тепловими і електромагнітними розчіплювачами;

- захисне заземлення всіх металевих корпусів електрообладнання;
- пристрої захисного відключення (УЗО), які спрацьовують при струмах витоку;
- позначення та блокування небезпечних ділянок схеми;
- ізолювання струмоведучих частин та використання кабелю з подвійною ізоляцією.

Допуск до обслуговування електроустановок мають лише особи з відповідною групою електробезпеки.

Пожежна безпека

Приміщення, де встановлено електрообладнання, відносяться до категорії з підвищеним ризиком виникнення пожежі. У зв'язку з цим передбачено:

- використання негорючих матеріалів для монтажу кабельних трас;
- наявність первинних засобів пожежогасіння (вогнегасники ВВК-2 або ВП-5);
- розроблення та дотримання інструкцій з пожежної безпеки;
- заборона паління та використання відкритого вогню у виробничих приміщеннях.

Вимоги до мікроклімату і освітлення

Нормативні значення мікроклімату для приміщень, де розміщується обладнання, мають відповідати ДСН 3.3.6.042-99. Температура має бути в межах +15...+25 °С, відносна вологість – до 70%, швидкість руху повітря – не більше 0,2 м/с.

Освітленість повинна бути не менше 300 лк згідно з нормами СНіП II-4-79 для обслуговування електроустановок та електрощитового обладнання. Рекомендується комбіноване освітлення – загальне та локальне.

Засоби індивідуального захисту [22]

Для безпечної роботи персоналу передбачено використання засобів індивідуального захисту:

- діелектричні рукавички та килимки;
- захисний одяг і взуття (ізолюючі чоботи, комбінезони);
- засоби захисту органів зору (окуляри), слуху (беруші, навушники);

- запобіжні пояси при роботі на висоті.

Організаційні заходи

Для забезпечення охорони праці слід:

- проводити інструктажі з техніки безпеки (вступний, первинний, повторний);
- забезпечити періодичну перевірку знань з електробезпеки;
- організувати навчання персоналу роботі з електроустановками;
- вести журнал технічного обслуговування та перевірок обладнання;
- мати план евакуації та дії у разі аварійної ситуації.

5.2 Екологічна експертиза проектного рішення

Екологічна експертиза є важливою складовою оцінки технічного рішення щодо впровадження будь-якого виду обладнання у виробничу сферу. Її мета — визначити вплив проєктованої установки на довкілля, а також встановити відповідність конструкції та способу експлуатації вимогам екологічної безпеки.

У цьому розділі проведено екологічну експертизу проекту автоматизованого кормороздавача, оснащеного електроприводом, який призначено для використання в умовах тваринницьких ферм.

Аналіз потенційного впливу установки на навколишнє середовище

Під час експлуатації кормороздавача можуть виникати такі чинники, що впливають на навколишнє середовище:

- енергоспоживання (використання електроенергії спричиняє непрямі викиди парникових газів, особливо в умовах традиційного енергозабезпечення);
- акустичне навантаження (робота електродвигунів та обертових елементів може створювати шум, що перевищує граничнодопустимі рівні);
- можливі забруднення (витоки масла або змащувальних матеріалів з редукторів можуть забруднити ґрунт або поверхневі води);
- електромагнітні поля (при роботі електрообладнання формуються слабкі електромагнітні поля, які, втім, не перевищують допустимі норми).

Заходи щодо зниження негативного впливу

Для мінімізації екологічних ризиків передбачено:

- використання енергоефективних електродвигунів класу IE2 (або вище);
- шумоізоляція рухомих частин конструкції та дотримання режимів технічного обслуговування;
- регулярний контроль та заміна мастильних матеріалів із запобіганням витокам;
- використання екологічно безпечних матеріалів і кабельної продукції, що не містить галогенів;
- організація збору та утилізації відходів згідно з чинним законодавством.

Відповідність екологічним стандартам

Проектна документація відповідає основним положенням чинного природоохоронного законодавства України, зокрема:

- Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища»;
- Закону України «Про екологічну експертизу»;
- ДСТУ ISO 14001:2015 «Системи екологічного управління»;
- вимогам санітарних норм ДСН 3.3.6.042-99, СНіП II-12-77 (щодо шуму, вібрацій і мікроклімату).

5.3 Розрахунок економічної ефективності впровадження установки

Економічна ефективність проекту (таблиця 5.1) визначається шляхом оцінки витрат на впровадження автоматизованого кормороздавача з електроприводом та порівняння цих витрат із очікуваними вигодами у вигляді зниження витрат на ручну працю, підвищення продуктивності та економії електроенергії [23].

Розрахунок експлуатаційних витрат

Річне споживання електроенергії:

$$W_{\text{річне}} = P \cdot t \cdot D = 1320 \text{ кВт/год}$$

Таблиця 5.1 – Показники економічної ефективності проєкту

Показник	Значення
Кількість робочих днів на рік	300 днів
Тривалість зміни	8 год
Потужність основного двигуна	2,2 кВт
Тариф на електроенергію	6,86 грн/кВт·год
Середня тривалість роботи установки за зміну	2 год
Економія робочого часу	1 людино- год/день
Зарплата працівника	100 грн/год
Вартість установки	42 000 грн
Термін служби	5 років

Розрахунок експлуатаційних витрат

Річне споживання електроенергії:

$$W_{\text{річне}} = P \cdot t \cdot D = 1320 \text{ кВт/год}$$

Річні витрати на електроенергію:

$$C_{\text{ел}} = W_{\text{річне}} \cdot T = 1320 \cdot 6,86 = 9055,2 \text{ грн}$$

Економія витрат на оплату праці:

$$E_{\text{зарп}} = 1 \text{ год/день} \cdot 100 \text{ грн/год} \cdot 300 \text{ днів} = 30000 \text{ грн}$$

Річний економічний ефект:

$$E_{\text{річний}} = E_{\text{зарп}} - C_{\text{ел}} = 30\,000 - 9055,2 = 20\,944,8 \text{ грн}$$

Термін окупності інвестицій:

$$T_{\text{окуп}} = C_{\text{уст}} / E_{\text{річний}} = 42000 / 20944,8 \approx 2,0 \text{ роки}$$

Для обґрунтування доцільності впровадження автоматизованої кормороздавальної установки з електроприводом було виконано розрахунок економічного ефекту, який включає прямі та опосередковані вигоди від її використання у виробничих умовах тваринницького господарства.

Основними джерелами економічного ефекту є:

- зниження витрат на оплату праці за рахунок автоматизації роздачі кормів;
- скорочення тривалості технологічного процесу, що дозволяє більш ефективно використовувати робочий час;
- оптимізація споживання електроенергії завдяки використанню енергоощадного асинхронного електродвигуна;
- підвищення продуктивності обслуговуваного поголів'я через точність і регулярність роздачі кормів.

За результатами проведених розрахунків встановлено [24]:

- економія заробітної плати за рахунок вивільнення одного працівника становить близько 30 000 грн/рік;
- витрати на електроенергію складають приблизно 9 055 грн/рік;
- чистий річний економічний ефект — понад 20000 грн/рік;
- термін окупності установки — близько 2 років.

Після досягнення окупності обладнання забезпечуватиме стабільну економію підприємству протягом усього періоду експлуатації. Враховуючи термін служби установки не менше 5 років, загальний економічний ефект за період використання становить понад 100 000 грн.

Таким чином, впровадження електроприводної кормороздавальної установки є економічно доцільним і сприяє зниженню витрат при одночасному підвищенні ефективності виробничого процесу.

Висновки до розділу 5

У п'ятому розділі бакалаврської роботи було всебічно проаналізовано аспекти охорони праці, екологічної безпеки та економічної ефективності впровадження автоматизованої кормороздавальної установки з електроприводом.

У рамках розділу:

- Розглянуто основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, що виникають при експлуатації установки, та визначено шляхи їх нейтралізації через технічні й організаційні заходи.
- Встановлено, що електробезпека забезпечується застосуванням сучасних захисних пристроїв, таких як автоматичні вимикачі, заземлення, пристрої захисного відключення (УЗО) та відповідне маркування.
- Враховано вимоги до пожежної безпеки, мікроклімату, освітлення, засобів індивідуального захисту і навчання персоналу.
- Проведено екологічну експертизу, яка засвідчила, що установка не має суттєвого негативного впливу на довкілля за умови дотримання регламентованих умов експлуатації.
- Обґрунтовано економічну доцільність впровадження обладнання: термін окупності становить близько 2 років, після чого система забезпечує щорічний чистий економічний ефект понад 20 тис. грн.

Таким чином, впровадження кормороздавальної установки з електроприводом є раціональним і обґрунтованим рішенням, що відповідає вимогам безпеки, екологічності та економічної ефективності для підприємств аграрного сектору.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У ході виконання бакалаврської роботи було розроблено електроприводну систему для автоматизованої кормороздавальної установки, призначеної для використання в умовах тваринницьких господарств. Робота охоплює технічне, електромеханічне, екологічне та економічне обґрунтування вибраного технічного рішення.

Основні результати роботи:

1. Проаналізовано конструкцію та принцип дії кормороздавача моделі КЭС-1.7, визначено основні вузли установки, кінематичну та технологічну схеми її функціонування.
2. Обґрунтовано вибір електродвигуна для приводу основного робочого механізму. На основі розрахунків потужності, моментів опору та інерції остаточно вибрано асинхронний електродвигун типу АИР112МА8У4.
3. Проведено аналіз динамічних характеристик системи «електродвигун – робоча машина», визначено тривалість пуску та перевірено здатність двигуна до роботи в умовах максимального навантаження.
4. Розроблено схеми живлення, захисту та керування установкою, реалізовано дві схеми керування: автоматичну та ручну.
5. Виконано вибір електротехнічної апаратури, магнітних пускачів, автоматичних вимикачів та кабельної продукції відповідно до вимог електробезпеки, надійності та нормативних документів.
6. Розглянуто питання охорони праці, електро- та пожежної безпеки, забезпечення належного мікроклімату та використання засобів індивідуального захисту.
7. Проведено екологічну експертизу, яка підтвердила безпечність установки для навколишнього середовища за умови дотримання технологічних норм експлуатації.
8. Розраховано економічну ефективність впровадження, яка засвідчила доцільність реалізації проекту: термін окупності становить близько 2 років, а загальний економічний ефект за 5 років перевищує 100000 грн.

9. Запропоноване технічне рішення є ефективним, енергозберігаючим і екологічно безпечним, має короткий термін окупності та може бути рекомендоване до впровадження у виробництво.