

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМ. С.З.ГЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

другого (магістерського) рівня освіти

на тему:

**«МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ПОТОКОВОЇ
ЛІНІЇ ПОДРІБНЮВАЧА КОРМІВ»**

Виконав: студент VI курсу

групи Ен – 61 спеціальності

141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка».

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Саган П. П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник: Чабан А. В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент: _____.

(прізвище та ініціали)

ДУБЛЯНИ 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) рівень

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

(підпис)
к.т.н., доцент Левонюк В. Р.
(вч. звання, прізвище, ініціали)

“ ____ ” _____ 202__ року

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Сагану Павлу Павловичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Модернізація системи електроприводу потокової лінії
подрібнювача кормів»

керівник роботи д.т.н., професор Чабан А. В.

(наук.ступінь, вч. звання, прізвище, ініціали)

затверджені наказом Львівського НУП № 140 / к - с від 28.02.2025 р.

2. Строк подання студентом роботи 12.12.2025 р.

3. Вихідні дані

технічна документація, науково-технічна і довідкова література

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ

1. Потокові лінії подрібнювачів кормів

2. Схема електроприводу потокової лінії подрібнювача кормів

3. Моделювання системи автоматизованого електроприводу

4. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

5. Техніко-економічна оцінка

Висновки

Перелік джерел посилання

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Графічний матеріал подається у вигляді презентації

6. Консультанти розділів

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
1,2,3,5	<i>Дробот І. М., старший викладач</i>			
4	<i>Городецький І. М., к.т.н., доцент</i>			

7. Дата видачі завдання 28.02.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Аналіз питання потокових ліній та подрібнювачів кормів</i>	<i>28.02.2025 – 1.05.2025</i>	
2	<i>Розроблення схеми електроприводу потокової лінії подрібнювача кормів</i>	<i>2.05.2025 – 1.08.2025</i>	
3	<i>Моделювання системи автоматизованого електроприводу</i>	<i>2.08.2025 – 1.10.2025</i>	
4	<i>Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях</i>	<i>2.10.2025 – 1.11.2025</i>	
5	<i>Ефективність прийнятих рішень</i>	<i>2.11.2025 – 1.12.2025</i>	
6	<i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та презентації</i>	<i>2.12.2025 – 6.12.2025</i>	
7	<i>Завершення роботи в цілому</i>	<i>7.12.2025 – 11.12.2025</i>	

Студент Саган П. П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи Чабан А. В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

УДК 621.313:63

Р Е Ф Е Р А Т

Саган П. П. «Модернізація системи електроприводу потокової лінії подрібнювача кормів». Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького, 2025 р. 64 с. текстової частини, 2 таблиці, 22 рисунки, 17 джерел посилання.

У кваліфікаційній роботі: проведено аналіз питання особливостей будови, роботи поточкових ліній, подрібнювачів їх електроприводів та автоматизації; проаналізовано роботу електроприводу малогабаритної комбікормової установки та запропоновано модернізацію автоматизованого електроприводу із використанням перетворювача частоти; побудовано в математичному пакеті MATLAB/Simulink модель модернізованої системи автоматизованого електроприводу та проведено її дослідження; розглянуто питання охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях, а також розраховано термін окупності модернізації.

Ключові слова: потокова лінія, кормоподрібнювач, автоматизований електропривод, двигун постійного струму, асинхронний двигун, перетворювач частоти, структурно-математична модель, моделювання, перехідні процеси, експериментальні дані, термін окупності.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 ПОТОКОВІ ЛІНІЇ ПОДРІБНЮВАЧІВ КОРМІВ	8
1.1 Потоківі лінії	8
1.2 Потоківі лінії подрібнювачів кормів	11
1.3 Кормоподрібнювачі	14
1.4 Електроприводи поточових ліній	19
1.5 Автоматизація поточових ліній	23
РОЗДІЛ 2 СХЕМА ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ПОТОКОВОЇ ЛІНІЇ ПОДРІБНЮВАЧА КОРМІВ	27
2.1 Малогабаритна комбікормова установка УМК-Ф-2	27
2.2 Модернізована схема електроприводу	33
2.3 Розрахунок механічної характеристики двигуна	38
РОЗДІЛ 3 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ	41
3.1 Модель системи електроприводу	41
3.2 Дослідження роботи системи автоматизованого електроприводу	44
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	50
4.1 Аналіз стану охорони праці	50
4.2 Моделювання процесу виникнення травм та аварій	52
4.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях	56
РОЗДІЛ 5 ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ	58
ВИСНОВКИ	61
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	62

ВСТУП

Актуальність роботи. Електроприводи є ключовими енергоспоживаючими елементами в різних галузях, зокрема в сільському господарстві. Одним із найбільш витратних у цьому контексті процесів є виробництво кормів, де використовуються двигуни потужністю до 30 кВт. Для ефективного використання електроенергії та забезпечення належної якості продукції необхідно, щоб двигуни відповідали високим техніко-економічним вимогам. Це досягається завдяки створенню сучасних схем та систем управління електроприводом, які забезпечують оптимальні умови роботи. Найчастіше електродвигуни для навантажувальних механізмів використовують схеми прямого пуску асинхронних двигунів з короткозамкненими роторами. Однак ця технологія має кілька серйозних недоліків: прямий пуск створює значні пускові струми; регулярний прямий запуск змушує встановлювати двигуни більшої потужності, ніж фактично потрібно, що веде до перевитрат ресурсів; низький ККД та коефіцієнт потужності стають наслідком тривалого використання таких двигунів під умовами недостатнього навантаження. Основний двигун подрібнювача сільськогосподарської продукції часто працює в режимі низького навантаження через відсутність регулювання навантаження. Це призводить до перевитрат встановленої потужності, зниження коефіцієнта корисної дії та загальної неефективності. Всі ці проблеми сигналізують про необхідність модернізації систем управління. Нині існуючі системи електроприводу мають недостатні техніко-економічні показники, знижують надійність обладнання, збільшують витрати на ремонт, втрати електроенергії та спричиняють нераціональне використання потужності. Для оптимізації роботи головного двигуна подрібнювача на його номінальній потужності треба забезпечити автоматизоване й плавне регулювання навантаження. Це можливо за умови контролю рівня навантаження, який дозволяє управляти подачею матеріалу в подрібнювач залежно від заданих параметрів. Тенденції розвитку електроприводу передбачають заміну регульованого електроприводу постійного струму, регульованим електроприводом змінного

струму на базі перетворювачів частоти. Більшість електроприводів у сільськогосподарській техніці базуються на асинхронних двигунах. Для регулювання швидкості їх обертання активно застосовують частотні перетворювачі, які дають змогу суттєво покращити ефективність роботи та забезпечити раціональне використання енергії.

Об'єкт дослідження: автоматизований електропривод потокової лінії комбікормової установки.

Мета роботи: модернізація схеми автоматизованого електроприводу потокової лінії комбікормової установки для покращення її техніко-економічних показників.

Завдання дослідження:

- проаналізувати питання будови та роботи поточкових ліній, поточкових ліній подрібнювачів кормів, кормоподрібнювачів, особливостей побудови та роботи електроприводів та автоматизації технологічних процесів;
- запропонувати модернізацію схеми електроприводу потокової лінії комбікормової установки;
- побудувати модель модернізованої схеми електроприводу потокової лінії комбікормової установки та провести дослідження її роботи;
- розглянути питання охорони праці та безпека у надзвичайних ситуаціях;
- здійснити економічний розрахунок та визначити термін окупності.

РОЗДІЛ 1

ПОТОКОВІ ЛІНІЇ ПОДРІБНЮВАЧІВ КОРМІВ

3.1 Потоківі лінії

Потокова лінія (або технологічний потік) є однією з найпрогресивніших форм організації виробничого процесу. Вона являє собою сукупність робочих місць, обладнання та транспортних засобів, що розташовані у послідовності виконання технологічних операцій, і призначена для виготовлення одного конкретного виробу або групи схожих виробів.

Ключова ідея потокової лінії полягає у розділенні складного виробничого процесу на низку простих, коротких операцій, які закріплюються за окремими робочими місцями (постами). Предмет праці (сировина, напівфабрикат) переміщується від одного робочого місця до іншого у чіткій послідовності, зазнаючи необхідних технологічних перетворень.

Ефективність поточкових ліній базується на кількох фундаментальних принципах. Одним з них є спеціалізація. Це означає, що кожне робоче місце спеціалізується на виконанні однієї або дуже обмеженої кількості постійно повторюваних операцій. Такий підхід дозволяє робітникам досягати високого рівня майстерності, використовувати спеціалізоване обладнання та оснащення, що в результаті різко підвищує продуктивність праці.

Наступний важливий принцип — прямоточність. Згідно з ним, обладнання та робочі місця розташовуються суворо за ходом технологічного процесу. Це мінімізує відстань транспортування предметів праці, виключає зворотні та перехресні маршрути, що, в свою чергу, скорочує загальний виробничий цикл.

Безперервність також відіграє ключову роль. Процес організовується таким чином, щоб предмет праці переходив з операції на операцію з

мінімальними перервами або взагалі без них. Ідеальною є ситуація повного усунення міжопераційних простоїв та очікувань.

Невід'ємною частиною є ритмічність, яка передбачає синхронізацію всіх операцій за часом. Встановлюється єдиний такт (ритм) роботи — це проміжок часу, через який з лінії сходить одна одиниця готової продукції. При цьому час виконання операції на кожному робочому місці має дорівнювати такту лінії або бути кратним йому, що забезпечує рівномірне завантаження обладнання та персоналу.

Останній принцип — паралельність. Він полягає в тому, що, по можливості, окремі операції або частини процесу виконуються одночасно (паралельно) над різними одиницями продукції, які знаходяться на різних стадіях обробки.

Для опису, розрахунку та аналізу поточкових ліній використовують низку техніко-економічних параметрів.

Ключовим з них є такт лінії (r). Він визначає ритм випуску продукції і розраховується як відношення ефективного фонду часу роботи лінії ($F_{\text{еф}}$) до планового обсягу випуску продукції (N): $r = \frac{F_{\text{еф}}}{N}$. Доповнює його ритм лінії, що є величиною, оберненою такту ($\frac{1}{r}$), і показує кількість виробів, які випускаються за одиницю часу, наприклад, у штуках за годину.

Також важливим параметром є довжина лінії (L), яка відображає загальну протяжність зони, що займає виробнича лінія, та кількість робочих місць (n) — загальне число постів, де виконуються окремі операції.

Для ліній з безперервним рухом конвеєра важливою характеристикою є швидкість руху конвеєра (v). Цей параметр розраховується на основі кроку лінії (відстані між виробами) та встановленого такту.

І, нарешті, тривалість виробничого циклу ($T_{\text{ц}}$) позначає загальний час, що проходить від моменту запуску сировини на першу операцію до отримання готового виробу на останній стадії виробництва.

Потокові лінії класифікують за низкою ознак, що визначають їхню структуру та режим роботи. За рівнем безперервності процесу розрізняють безперервні та перервні потокові лінії. Безперервні потокові лінії (БПЛ) характеризуються повним усуненням міжопераційних перерв, коли предмет праці передається з операції на операцію негайно, штучно або за допомогою безперервного конвеєра. Це найефективніший, але й найскладніший в організації тип, що вимагає ідеальної синхронізації, прикладами є складальні лінії автомобілів або лінії розливу напоїв. Натомість, перервні (дискретні) потокові лінії допускають короточасні перерви та накопичення міжопераційних запасів (буферів) між операціями. Це дозволяє компенсувати невеликі відхилення у тривалості операцій і запобігає зупинці всієї лінії через короточасний збій на одному робочому місці.

За номенклатурою продукції потокові лінії поділяються на однопредметні та багатопредметні. Однопредметні лінії спеціалізовані на випуску лише одного найменування продукції протягом тривалого часу, що характерно для масового виробництва. Багатопредметні (змінно-потокові) лінії, на відміну від них, призначені для послідовного випуску кількох типів схожих за конструкцією та технологією виробів, проте перехід з одного виробу на інший вимагає переналагодження лінії.

Щодо способу підтримання ритму, виділяють лінії з регламентованим та вільним ритмом. На лініях з регламентованим ритмом такт роботи задається централізовано, найчастіше швидкістю руху головного конвеєра, наприклад, підвісного або стрічкового. Лінії з вільним ритмом, навпаки, не задають ритм примусово; робітники передають предмет на наступну операцію по мірі його готовності, при цьому між робочими місцями існують буферні запаси.

І, нарешті, за ступенем механізації та автоматизації потокові лінії бувають ручними, напівавтоматичними та автоматичними. Ручні лінії характеризуються тим, що операції виконуються вручну, а транспортні засоби є простими, як-от гравітаційні жолоби. На напівавтоматичних лініях частина основних операцій автоматизована, але транспортування або допоміжні дії (встановлення, зняття)

вимагають участі оператора. Автоматичні поточкові лінії представляють собою найвищий ступінь розвитку, де всі основні та допоміжні операції, включаючи транспортування, контроль та керування, виконуються автоматично без безпосередньої участі людини.

Водночас поточкові лінії мають і суттєві недоліки. Одним з головних є високі початкові капіталовкладення, необхідні для придбання, монтажу та налагодження спеціалізованого обладнання і складних транспортних систем. Також характерною є низька гнучкість: такі лінії складно і дорого переналагоджувати на випуск нової продукції, що робить їх ефективними лише в умовах стабільного масового або великосерійного попиту. Існує і висока чутливість до збоїв: вихід з ладу однієї одиниці обладнання, особливо на безперервних лініях, може призвести до зупинки всієї лінії, спричиняючи значні простої та втрати. Нарешті, слід зазначити монотонність праці, оскільки виконання коротких, одноманітних операцій може негативно впливати на психологічний стан та мотивацію робітників.



Рисунок 1.1— Поточкова лінія по виробництву корму для риб та свійських тварин

1.2 Поточкові лінії подрібнювачів кормів

Потокова лінія подрібнювачів у сучасному промисловому виробництві кормів — це не просто набір окремих машин, а інтегрований технологічний

комплекс. Він являє собою безперервну, а часом і повністю автоматизовану систему, що охоплює всі операції від прийому сировини до видачі готового подрібненого продукту із суворо заданими параметрами якості (наприклад, питомою поверхнею або модулем помелу). На відміну від дискретних, малопотужних установок, промислова потокова лінія проектується для забезпечення високої продуктивності (десятки тон на годину), енергоефективності, мінімальних втрат та відповідності жорстким нормам безпеки, зокрема — вибухобезпеки.

Технологічний маршрут такої лінії є складним та багатоетапним. Процес починається не з подрібнювача, а з модуля прийому та підготовки сировини. Зернова маса з силосів зберігання подається системою норій та конвеєрів до оперативного бункера, звідки вона проходить через багатоступеневу систему очищення. Цей етап є критичним для захисту основного технологічного обладнання. Він обов'язково включає магнітні сепаратори (зазвичай барабанні або колонкові) для вилучення будь-яких феромагнітних домішок, що могли б спричинити іскру та вибух при ударі в дробарці. Після цього сировина проходить через ситові сепаратори або каменевідбірники для видалення мінеральних та інших сторонніх домішок.

Центральним вузлом лінії є модуль подрібнення. Однак у структурі потокової лінії сам кормоподрібнювач (найчастіше — високошвидкісна молоткова дробарка) ніколи не працює ізольовано. Він інтегрований у замкнену систему аспірації та пневмотранспорту. Процес подрібнення є надзвичайно енергоємним і супроводжується значним тепловиділенням та утворенням дрібнодисперсного пилу. Цей пил є не лише втратою цінного продукту, але й головним фактором ризику вибуху. Тому робоча камера дробарки знаходиться під постійним розрідженням, що створюється потужним вентилятором високого тиску.

Система пневмотранспорту виконує одразу дві функції: вона миттєво видаляє готовий подрібнений продукт (дєрть) з робочої зони, запобігаючи його переподрібненню (що знижує енергоспоживання), та одночасно охолоджує і

транспортує його до наступної точки маршруту. Потік повітря з подрібненим продуктом надходить до циклону-осаджувача або батареї циклонів. У циклоні за рахунок відцентрової сили відбувається первинне відокремлення важчих частинок корму від повітря. Корм опускається вниз через шлюзовий затвор (який запобігає підсосу повітря), а відпрацьоване повітря, що все ще містить дрібний пил, прямує далі.

Очищення відпрацьованого аспіраційного повітря є завершальним етапом. Це повітря проходить через складні рукавні або картриджні фільтри тонкої очистки. У цих фільтрах пил осідає на поверхні фільтруючих елементів, які періодично очищуються автоматичною системою імпульсної регенерації (продувки стисненим повітрям). Зібраний пил повертається у виробничий цикл, а чисте повітря викидається в атмосферу або повертається в цех. Це забезпечує дотримання екологічних норм та мінімізує втрати сировини до часток відсотка. Подрібнений та відокремлений у циклоні продукт надходить до оперативного бункера готової продукції. Цей бункер виконує роль технологічного буфера, який "розв'язує" потокову лінію подрібнення та наступну лінію, наприклад, лінію змішування або гранулювання. Наявність буфера дозволяє кожній з ліній працювати у своєму оптимальному режимі, незалежно від короточасних зупинок суміжних ділянок, що є ключовим принципом організації безперервного промислового виробництва.

Ефективність такої складної системи визначається ступенем її синхронізації. Усі компоненти — подаючі шнеки, сепаратори, шлюзові затвори, двигун дробарки, вентилятор пневмотранспорту та система регенерації фільтрів — повинні працювати як єдиний механізм. Робота кожного наступного елемента має бути жорстко пов'язана з роботою попереднього. Ця взаємозалежність реалізується через системи електроприводу та автоматизації, які забезпечують правильну послідовність пуску, контролюють завантаження та здійснюють аварійне блокування при виникненні нештатних ситуацій, таких як забивання продуктопроводів або перевантаження основного двигуна.



Рисунок 1.2 — Автоматизована лінія гранулювання кормів

1.3 Кормоподрібнювачі

Кормоподрібнювачі в контексті промислових потокових ліній є не просто засобами для зменшення розміру частинок, а високотехнологічними агрегатами, що забезпечують задані зоотехнічні та технологічні характеристики готової кормової сировини. Їхня функція полягає у забезпеченні оптимальної тонкості та однорідності помелу, що є критичним для засвоюваності кормів тваринами, ефективності подальших процесів змішування та гранулювання, а також для зниження енергетичних витрат на всьому циклі виробництва. При виборі та експлуатації промислових подрібнювачів враховується не лише продуктивність, але й питоме енергоспоживання, надійність, довговічність робочих органів та сумісність з системами автоматизації та вибухозахисту.

Ключові показники ефективності подрібнення в промислових умовах включають продуктивність (тон/год), питоме енергоспоживання (кВт·год/т), модуль помелу (середній розмір частинок) та коефіцієнт варіації (характеризує однорідність помелу). Досягнення оптимальних значень цих параметрів вимагає

ретельного підбору конструкції подрібнювача та налаштування його робочих режимів.

Для подрібнення зернових, бобових, шротів, макухи та інших концентрованих кормів у промислових масштабах домінуючим типом є молоткові дробарки. Вони відрізняються від простих сільськогосподарських аналогів значною потужністю приводу (від десятків до сотень кіловат), набагато більшою масою ротора та конструктивними особливостями, що забезпечують довговічність та безпеку. Принцип дії залишається ударно-інтенсивним: ротор з шарнірно закріпленими молотками обертається з високою частотою, розганяючи частинки сировини до високих швидкостей. Ці частинки вдаряються об молотки, броньові плити корпусу (деки) та взаємодіють між собою, подрібнюючись до тих пір, поки не пройдуть крізь отвори змінного сита. Конструктивні особливості промислових молоткових дробарок відображають вимоги до їхньої високої продуктивності та надійності. Ротор та молотки є центральними елементами. Ротори у цих машинах масивні, динамічно збалансовані, що є критично важливим для мінімізації вібрацій при високих швидкостях обертання та забезпечення стабільної роботи. Молотки виготовляються з високоміцних зносостійких сталей, наприклад, марганцовистих, і зазвичай мають багаторазові робочі грані. Їхня кількість, оптимальна форма та розташування ретельно оптимізуються для забезпечення максимальної ефективності та однорідності помелу. Деякі передові моделі обладнуються системами двостороннього вводу сировини або двонаправленими роторами з реверсивними двигунами, що дозволяє задіяти обидві сторони молотків без їхнього фізичного перевертання, суттєво збільшуючи термін служби елементів та знижуючи час на обслуговування. Особливе значення мають сита. У промислових дробарках використовуються високоміцні перфоровані сита, виготовлені з різних сортів сталі, які здатні витримувати інтенсивні навантаження. Сучасні системи швидкої заміни сит, наприклад, засувні касети, є стандартною функцією, що дозволяє оперативно змінювати тонкість помелу відповідно до поточної рецептури корму або вимог до кінцевого продукту. Сита також можуть мати різну конфігурацію

отворів — круглі, щілинні — для додаткової оптимізації процесу подрібнення під конкретний вид сировини. Системи завантаження та розвантаження інтегровані таким чином, щоб забезпечити максимальну ефективність та безпеку. Завантаження сировини відбувається через шнекові або стрічкові живильники, які гарантують строго дозовану та, що дуже важливо, рівномірну подачу матеріалу в робочу камеру. Ця рівномірність є критично важливою для стабілізації навантаження на електродвигун дробарки, запобігаючи перевантаженням або роботі в холосту. Розвантаження подрібненого продукту зазвичай інтегроване в пневматичну систему, де матеріал видаляється з робочої зони потужним потоком повітря, що створюється спеціальним вентилятором, який може бути як інтегрованим в дробарку, так і розташованим окремо в складі пневмотранспорту. Корпус промислової дробарки відрізняється підвищеною міцністю та жорсткістю конструкції. Це необхідно для витримування значних вібрацій, динамічних навантажень та, що є найважливішим для промисловості, забезпечення безпеки. Корпус обов'язково обладнується системами вибухорозрядних панелей або клапанів, призначених для скидання надлишкового тиску у разі внутрішнього спалаху пилу. Цей аспект відповідає суворим вимогам міжнародних стандартів, таких як АТЕХ, або аналогічних національних норм для роботи у вибухонебезпечних зонах. Крім того, внутрішня поверхня дек часто має спеціальні зубці або рельєф, що не тільки покращує процес подрібнення, але й ефективно запобігає налипанню продукту на стінки, підтримуючи чистоту робочої камери.

Для подрібнення довговолокнистих кормів, таких як сіно та солома, а також високовологих матеріалів, як-от зелена маса, силос чи коренеплоди, у промислових масштабах застосовуються роторно-ножові подрібнювачі або подрібнювачі-січкарні спеціальної конструкції. Їхній принцип дії базується на різанні та зсуві матеріалу, що значно ефективніше для цих типів сировини, ніж ударна дія. Конструктивні особливості цих подрібнювачів включають кілька ключових елементів. Центральним є ротор з ножами, який зазвичай масивний та оснащений гострими лезами, що можуть мати пряму або вигнуту форму. Ножі

виготовляються з високолегованих сталей, які відрізняються підвищеною твердістю та зносостійкістю, що забезпечує їхню довготривалу гостроту. Система кріплення ножів розроблена таким чином, щоб забезпечити легку їх заміну або оперативне регулювання. Невід'ємною частиною є контрножі — нерухомі елементи, розташовані на корпусі подрібнювача. Вони створюють ріжучу пару з рухомими ножами ротора. Важливим параметром є точний зазор між рухомими та нерухомими ножами, який є критичним для забезпечення якісного різання та для регулювання довжини фракції кінцевого продукту.



Рисунок 1.3 — Промислова молоткова дробарка

Система живлення промислових роторно-ножових подрібнювачів часто включає потужні вальці або ланцюгові живильники, здатні ефективно подавати великі обсяги довговолокнистої сировини. Для подрібнення коренеплодів використовуються шнекові або лопатеві живильники, адаптовані до роботи з вологими та важкими матеріалами. Після подрібнення продукт необхідно ефективно вивантажити. Система вивантаження здійснюється за допомогою шнеків, скребкових конвеєрів або спеціально адаптованого пневмотранспорту,

який спроектований для роботи з матеріалами підвищеної вологості, що схильні до злипання та утворення заторів. Нарешті, вибір матеріалів для корпусів та робочих органів є критично важливим. Вони виготовляються з корозійностійких матеріалів, таких як нержавіюча сталь або спеціальні сплави, особливо коли йдеться про подрібнення силосу та коренеплодів, оскільки ці матеріали створюють досить агресивне хімічне середовище, що може призвести до швидкої корозії звичайних сталей.



Рисунок 1.4 — Промисловий подрібнювач соломи

Промислові подрібнювачі повинні відповідати комплексу вимог, що виходять далеко за рамки простого механічного подрібнення. Однією з найважливіших є вибухобезпека. Обладнання, призначене для роботи із зерновим пилом, який є вибухонебезпечним, має суворо відповідати міжнародним нормам, таким як АТЕХ, або їхнім національним аналогам. Це передбачає не лише високу міцність корпусу, але й обов'язкову наявність вибухорозрядних пристроїв та клапанів для контрольованого скидання тиску у випадку вибуху, надійне заземлення всіх компонентів, правильний вибір

відповідного вибухозахищеного електрообладнання та, за необхідності, інтеграцію систем пожежогасіння. Ще однією критичною вимогою є енергоефективність. Оскільки подрібнення є однією з найбільш енергоємних операцій у технологічному колі виробництва кормів, мінімізація питомого енергоспоживання є пріоритетом. Це досягається завдяки постійній оптимізації конструкції молотків, сит та аеродинамічних характеристик робочої камери. Додатково, використання високо-енергоефективних електродвигунів та інтелектуальних систем керування, які підтримують оптимальний режим роботи, також суттєво знижує витрати енергії. Надійність та довговічність обладнання є фундаментальними для безперервних промислових ліній. Умови роботи на високих навантаженнях протягом тривалого часу вимагають використання виключно високоякісних матеріалів для всіх компонентів, точного виготовлення та складання, а також застосування надійної системи підшипникових вузлів, які розраховані на інтенсивну експлуатацію. Ключовою сучасною вимогою є можливість інтеграції в автоматизовані системи. Сучасні промислові подрібнювачі оснащуються різноманітними датчиками — вібрації, температури підшипників, навантаження двигуна — та уніфікованими інтерфейсами для безперешкодного підключення до програмованих логічних контролерів (ПЛК). Це є основою для реалізації складних алгоритмів автоматичного керування, діагностики стану обладнання та інтеграції в загальну систему управління підприємством. Нарешті, легкість обслуговування також має велике значення. Швидка заміна зношених компонентів, таких як сита, молотки та ножі, мінімізує час простою лінії під час регулярного технічного обслуговування або при зміні рецептури, що є важливим фактором для підтримки високої операційної ефективності виробництва.

1.4 Електропривод потокових ліній

Електропривод є силовою основою та ключовим інструментом керування будь-якої промислової потокової лінії. У сучасному виробництві кормів його

роль виходить далеко за рамки простого "ввімкнення/вимкнення" механізмів. Він являє собою комплексну систему, що забезпечує не лише перетворення електричної енергії на механічну, але й точне регулювання параметрів, захист обладнання та інтеграцію в загальну систему автоматизації. Ефективність, надійність та гнучкість усієї потокової лінії безпосередньо залежать від типу, схеми та інтелектуальності її електроприводів.

Для приводу основного технологічного обладнання (дробарок, конвеєрів, норій, вентиляторів, шнекових живильників) у промисловості домінують асинхронні електродвигуни з короткозамкненим ротором. Їхня популярність зумовлена винятковою надійністю, простотою обслуговування та високою стійкістю до перевантажень. Однак у запиленому та потенційно вибухонебезпечному середовищі комбікормового цеху до них висуваються особливі вимоги: двигуни повинні мати високий ступінь захисту оболонки (не нижче IP54/IP55) для запобігання потраплянню пилу та вологи, а також відповідати стандартам вибухозахисту (ATEX) для безпечної роботи.



Рисунок 1.5 — Вибухозахищений іскробезпечний двигун

Вибір схеми керування електроприводом визначає його пускові характеристики, надійність та можливості регулювання. На поточкових лініях подрібнювачів одночасно існують кілька схем, кожна з яких вирішує своє завдання. Найпростішою є схема прямого пуску від мережі (Direct On-Line, DOL). Вона реалізується за допомогою магнітного пускача (контактора) та

теплового реле. Ця схема застосовується для двигунів відносно малої потужності (до 10-15 кВт), таких як приводи шлюзових затворів, очисників або невеликих конвеєрів. Її недоліком є високі пускові струми (5-8 разів вищі за номінальний) та значний механічний удар при пуску, що неприпустимо для потужного обладнання.

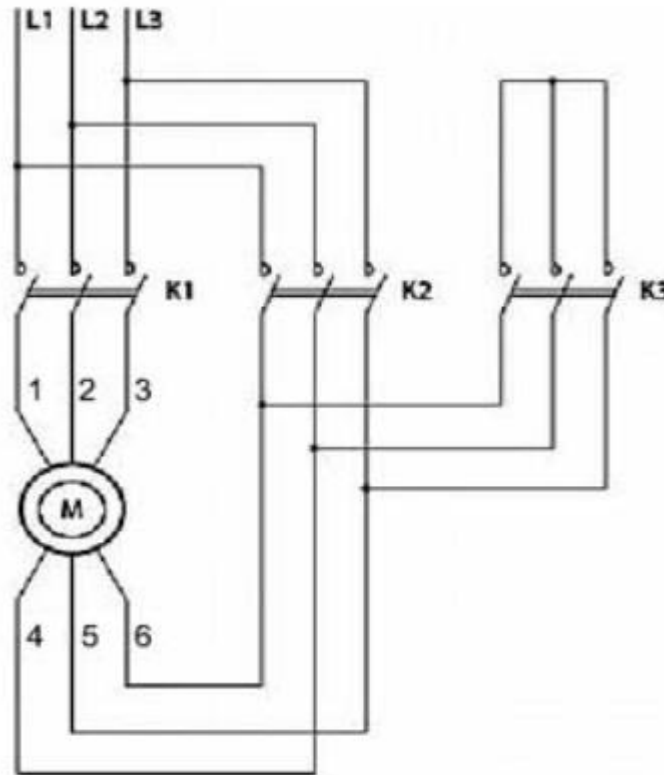


Рисунок 1.6 — Схема підключення «зірка-трикутник»

Для двигунів середньої та великої потужності, що не вимагають регулювання швидкості (наприклад, вентилятори пневмотранспорту або норії), часто використовується схема пуску "зірка-трикутник" (Y-Δ). При пуску обмотки статора з'єднуються "зіркою", що знижує напругу та пускові струми приблизно втричі. Після розгону двигуна спеціальний таймер автоматично перемикає обмотки на "трикутник" (номінальний робочий режим). Це компромісне рішення, що знижує навантаження на мережу, але все ще супроводжується ривком струму та моменту в момент перемикання.

Для приводу головного подрібнювача, який, як зазначалося, має масивний ротор та високу інерційність, обидві попередні схеми є неефективними та

небезпечними. Тут застосовуються пристрої плавного пуску (ППП) або софтстартери. Це мікропроцесорні пристрої на базі тиристорів, які забезпечують плавне наростання напруги на двигуні. Пуск відбувається без стрибків струму та механічних ударів, що кардинально збільшує ресурс як самого двигуна, так і механічної частини (підшипників, муфт, пасових передач).

Найвищим технологічним рівнем є схема з частотним перетворювачем (ЧП) або VFD (Variable Frequency Drive). Частотний перетворювач — це силовий електронний пристрій, що дозволяє плавно змінювати не лише напругу, але й частоту струму, що живить двигун. Це дає можливість плавно регулювати швидкість обертання асинхронного двигуна в широкому діапазоні. ЧП виконує ідеальну функцію плавного пуску, але його головна цінність — у можливості оперативного керування технологічним процесом.

Регулювання продуктивності та завантаження є ключовим завданням для забезпечення стабільної, ефективної та безпечної роботи потокової лінії. Недовантаження лінії веде до марнування енергії, а перевантаження — до забивання продуктопроводів, погіршення якості помелу та аварійних зупинок. Сучасні методи регулювання базуються на використанні керованих електроприводів.

Регулювання продуктивності лінії в цілому досягається шляхом зміни швидкості подачі сировини в систему. За це відповідає привід шнекового або стрічкового живильника, що стоїть на вході в дробарку. Якщо цей привід оснащений частотним перетворювачем (ЧП), оператор або система автоматизації може точно дозувати потік сировини (наприклад, у тонах/год), плавно збільшуючи або зменшуючи швидкість обертання шнека. Це дозволяє гнучко налаштовувати лінію під різні рецептури або вимоги до продуктивності.

Найбільш досконалим методом є автоматичне регулювання завантаження головного подрібнювача. Цей метод реалізується через систему зі зворотним зв'язком. На силовому кабелі, що живить головний двигун дробарки, встановлюється трансформатор струму (датчик навантаження). Цей датчик безперервно вимірює струм, який споживає двигун, і цей показник прямо

пропорційний механічному навантаженню на ротор (тобто кількості зерна в робочій камері).

Сигнал від датчика струму (наприклад, 4-20 мА) надходить на вхід програмованого логічного контролера (ПЛК) або безпосередньо на аналоговий вхід частотного перетворювача живильника. У контролері заздалегідь встановлено оптимальне значення (уставку) струму двигуна дробарки, що відповідає її максимальній ефективності (наприклад, 90% від номіналу).

Система працює в замкненому циклі: якщо потік сировини збільшується, навантаження на дробарку зростає, її струм перевищує уставку. Контролер миттєво реагує на це і дає команду ЧП живильника зменшити швидкість подачі. Якщо ж дробарка починає працювати в режимі недовантаження (струм падає), контролер дає команду збільшити швидкість подачі. Таким чином, система автоматично підтримує завантаження дробарки на оптимальному рівні, забезпечуючи максимальну продуктивність без ризику перевантаження, незалежно від коливань вологості чи щільності сировини. Цей принцип є основою для повної автоматизації потокової лінії.

1.5 Автоматизація потокових ліній

Автоматизація є логічним та вищим етапом розвитку потокових ліній подрібнення кормів. Вона об'єднує розрізнені механізми (живильники, очисники, подрібнювачі, конвеєри) в єдиний, узгоджений та саморегульований комплекс. Головна мета автоматизації — мінімізувати участь людини в управлінні технологічним процесом, забезпечити його оптимальний та безпечний режим роботи, підвищити продуктивність та гарантувати стабільну якість кінцевого продукту.

На найпростішому рівні, автоматизація може обмежуватися місцевим керуванням та захистом окремих агрегатів. Це реалізується за допомогою кнопочних постів ("Пуск"/"Стоп") та магнітних пускачів з тепловими реле, які захищають лише свій конкретний двигун від перевантаження. Однак такий

підхід не є повноцінною автоматизацією потокової лінії, оскільки вимагає від оператора вручну дотримуватися правильної послідовності ввімкнення та вимкнення обладнання і постійно контролювати процес. Помилка оператора в такій системі може легко призвести до забивання лінії та аварійної зупинки.

Справжня автоматизація починається з централізованого керування та технологічного блокування. Усі елементи лінії керуються з єдиного пульта (щита керування). Найважливішим елементом тут є правильний алгоритм пуску та зупинки. Пуск потокової лінії повинен відбуватися у послідовності, зворотній до руху сировини. Спочатку вмикається обладнання наприкінці лінії (наприклад, циклон-осаджувач та транспортний шнек), потім — сам подрібнювач, і лише в останню чергу — механізм подачі сировини (живильник). Це робиться для того, щоб кожен наступний механізм був готовий прийняти продукт від попереднього, запобігаючи забиванню. Зупинка лінії, навпаки, відбувається у прямому напрямку: спочатку вимикається подача сировини, даючи подрібнювачу та конвеєрам час на повне очищення від залишків продукту, і лише потім вони зупиняються.

Сучасні системи автоматизації будуються не на застарілих релейно-контакторних схемах, а на базі програмованих логічних контролерів (ПЛК). ПЛК — це спеціалізований промисловий комп'ютер, який є "мозком" усієї лінії. Він отримує інформацію від "органів чуття" системи — різноманітних датчиків, аналізує її відповідно до закладеної програми (алгоритму) і видає керуючі команди "рукам" системи — виконавчим механізмам (контакторам, частотним перетворювачам, електрозасувкам). Гнучкість ПЛК дозволяє легко змінювати алгоритми роботи, не переробляючи фізичні електричні схеми.

Ключову роль в автоматизації відіграють датчики. Для поточкових ліній подрібнювачів найважливішими є датчики рівня та датчики навантаження. Датчики рівня (ємнісні, ротаційні, ультразвукові) встановлюються у приймальному бункері та бункері готової продукції. Вони сигналізують ПЛК про наявність сировини ("можна починати роботу") або про заповнення бункера ("потрібно зупинити лінію"), що дозволяє лінії працювати в повністю

автономному режимі. Датчики навантаження (зазвичай це трансформатори струму, що вимірюють струм головного двигуна дробарки) є основою для найважливішої функції автоматизації.



Рисунок 1.7 — Програмований логічний контролер (ПЛК)

Найбільш досконалою формою автоматизації є система стабілізації навантаження головного подрібнювача. Подрібнювач працює найефективніше, коли він завантажений оптимально, близького до свого номінального навантаження. Робота в режимі недовантаження ("вхолосту") марнує енергію, а перевантаження призводить до забивання, зупинки та погіршення якості помелу. Система автоматизації вирішує цю проблему, створюючи зворотний зв'язок: датчик струму безперервно вимірює навантаження на двигун дробарки і передає цей сигнал ПЛК. Якщо ПЛК бачить, що навантаження зростає і наближається до критичного, він негайно дає команду частотному перетворювачу, який керує двигуном живильника (шнека подачі), і автоматично зменшує швидкість подачі сировини. Як тільки навантаження на дробарку спадає, ПЛК знову плавно

збільшує подачу. Таким чином, система постійно "балансує" на межі максимальної продуктивності, запобігаючи аваріям без втручання оператора.



Рисунок 1.8 — Панель оператора (НМІ)

Сучасні автоматизовані лінії також оснащуються панелями оператора (НМІ) — сенсорними екранами, що візуалізують весь технологічний процес. Оператор може бачити на екрані стан усіх двигунів, поточне навантаження на дробарку, рівні в бункерах, а також отримувати сповіщення про аварії чи необхідність обслуговування. Це перетворює роль працівника з оператора, що вручну керує процесом, на наглядача (супервізора), який контролює роботу інтелектуальної системи.

Таким чином, автоматизація поточкових ліній подрібнювачів є не просто додатковою опцією, а необхідною умовою для досягнення високої рентабельності, надійності та безпеки виробництва. Вона об'єднує всі окремі компоненти в єдиний злагоджений організм, здатний самостійно адаптуватися до змінних умов роботи та підтримувати оптимальний технологічний режим.

РОЗДІЛ 2

СХЕМА ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ПОТОКОВОЇ ЛІНІЇ ПОДРІБНЮВАЧА КОРМІВ

2.1 Малогабаритна комбікормова установка УМК-Ф-2

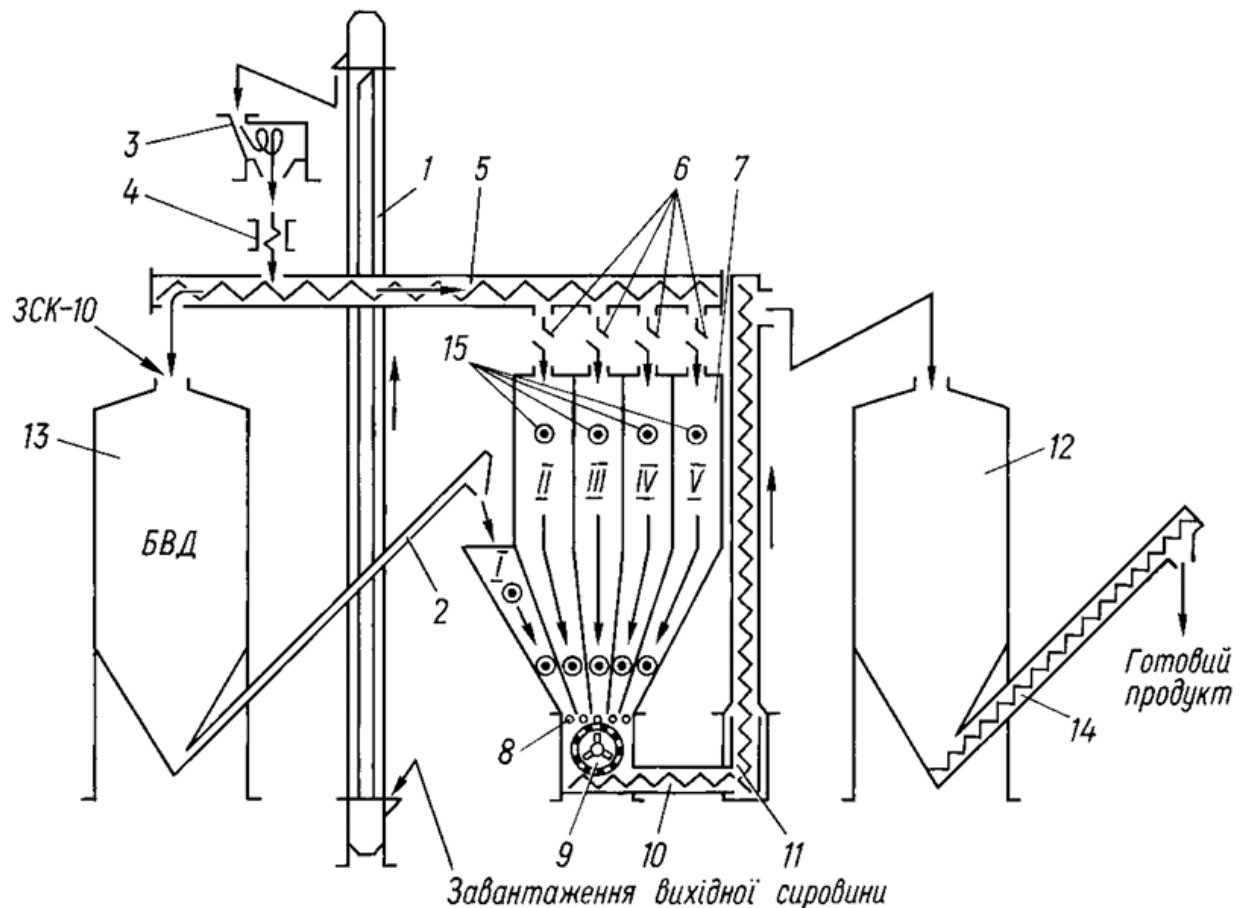
Установка УМК-Ф-2 використовується для виробництва розсипних комбікормів із зерна та білково-вітамінно-мінеральних добавок (БВД), які виготовляються промисловим способом. Її призначено для експлуатації в умовах тваринницьких ферм, де вона встановлюється в закритих приміщеннях зі спеціалізованими механізмами для подачі сировини, наприклад, норіями. Вологість вихідної сировини для переробки не повинна перевищувати 13 %. Зерно, що надходить для використання, транспортується у вивантажувальну яму спеціальними засобами, після чого норією (див. рис. 2.1) через сепаратор та магнітну колонку подається на розподільчий конвеєр. Сепаратор очищає сировину від великих сторонніх домішок, а магнітна колонка видаляє металоманітні частки. Далі за допомогою конвеєра матеріал спрямовується до бункера оперативного запасу, розділеного на секції. Подача сировини припиняється автоматично після отримання сигналу від датчика верхнього рівня завантаження. Особливістю є те, що компонент із найбільшою кількістю у рецептурі завантажується безпосередньо в секцію бункера, розташовану над дозатором.

Затор II (зерновий), а також компоненти, які не потребують подрібнення, включаючи БВД, завантажуються у відповідну секцію бункера над дозаторами I та V. БВД доставляються до бункера 13 за допомогою завантажувача сухих кормів ЗСК-10 або через завантажувальну яму (норія I), а також проходять через сепаратор 3 з магнітною колонкою 4 і далі через розподільний конвеєр 5. Контроль рівня наповнення бункерів 13 та 7 здійснюється датчиками верхнього та нижнього рівнів 15, інформація від яких передається на сигнальні лампи панелі керування. Бункер 13 обладнаний шнековим живильником 2, який забезпечує подачу вихідних БВД до

укороченої секції I бункера 7. Компоненти, що потребують подрібнення, надходять до дробарки 9 через механізми точного дозування 8, тоді як компоненти без необхідності подрібнення спрямовуються до розподільного конвеєра 5 за допомогою спеціальних перехідних клапанів. Після подрібнення продукт разом із неподрібненими компонентами передається в горизонтальний гвинтовий конвеєр 10, далі — до вертикального конвеєра. У змішувачі 11 відбувається змішування та просіювання готового продукту, який потім надходить до бункера-нагромаджувача 12 для подальшого відвантаження споживачеві. Перед запуском системи на дробильну камеру замість передньої кришки встановлюється спеціальний лоток для тарування подачі шнеків дозаторів. Після завершення тарування кришку повертають на місце. Робота системи передбачає два режими: налагоджувальний і автоматичний. Вибір режиму здійснюється за допомогою перемикача SA2, який має три положення: «Налагодження», «Вимкнено», «Автомат».

У налагоджувальному режимі забезпечується можливість окремого вмикання кожного механізму під час монтажу, обкатки або обслуговування. Для цього перемикач режиму роботи SA2 встановлюють у положення Налагоджування. При подачі напруги на шафу керування за допомогою вимикача QS активуються реле KV1 та KV2. Вони своїми контактами готують схему керування до роботи в налагоджувальному режимі. Кожен механізм запускається окремо через почергове натискання відповідних кнопок SB7, SB9, SBU, SB13, SB17, SB20, SB22, SB24, SB26, SB30, SB33, SB34, SB36, SB37. У цей момент подається напруга на котушки магнітних пускачів або реле, які активують електродвигуни. Щоб зупинити відповідний двигун, використовують кнопки SB6, SB8, SB10, SB12, SJ316, SB19, SB21, SB23, SB25, SB27, SB29, SB32, SB35, SB38. Після вмикання електродвигунів замикаючі контакти пускачів активують сигнальні лампи для індикації роботи.

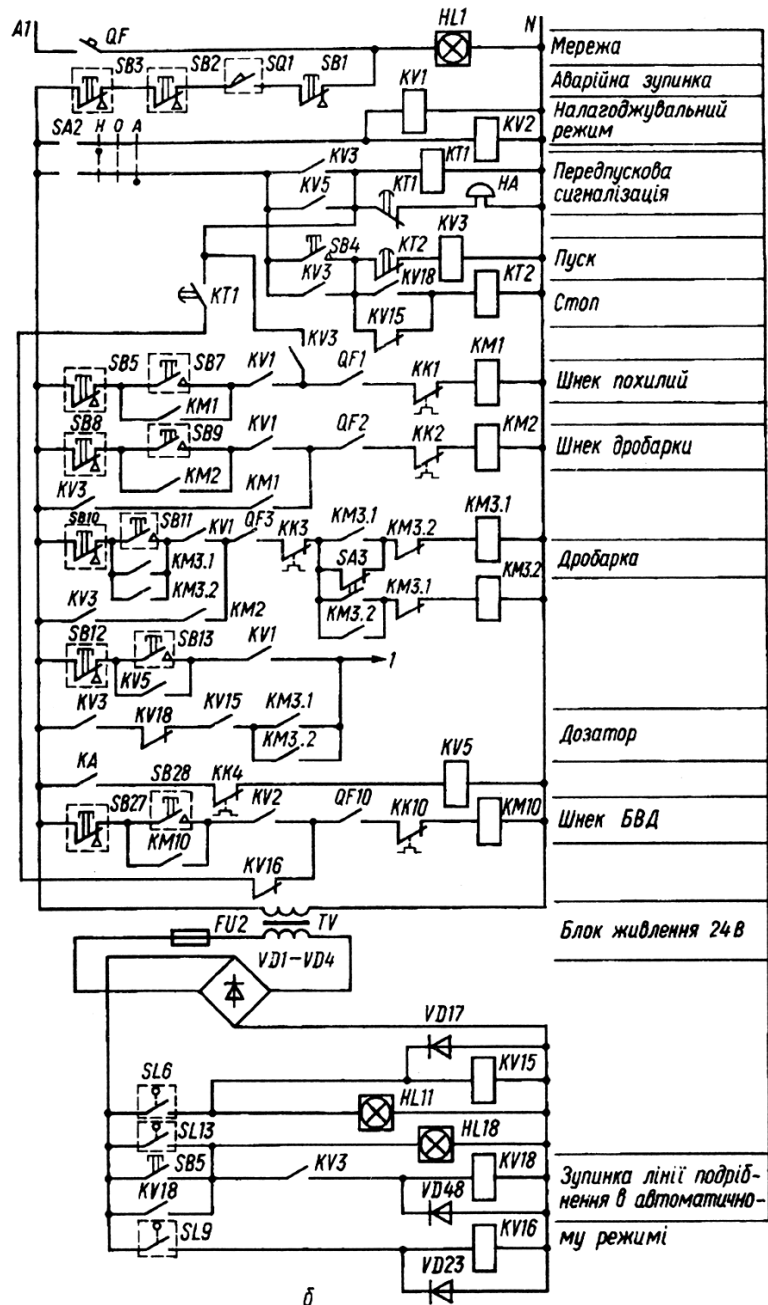
В автоматичному режимі перемикач SA2 переводять у положення Автомат. У цьому режимі забезпечується послідовне включення механізмів згідно з технологічними вимогами з використанням сигналів від датчиків рівня.



1 — норія; 2 — живильник; 3 — сепаратор; 4 — магнітна колонка; 5 — розподільний конвеєр; 6 — засувки; 7 — запасні бункери; 8 — механізм дозування; 9 — дробарка; 10 — гвинтовий конвеєр; 11 — змішувач; 12 — бункер готового продукту (нагромаджувач); 13 — бункер для білково-вітамінно-мінеральних добавок; 14 — вивантажувальний конвеєр; 15 — датчики рівня; I — IV — дозатори

Рисунок 2.1 — Схема технологічна малогабаритної комбікормової установки.

Схема автоматичного керування передбачає окрему роботу лінії подрібнення зерна та лінії завантаження або їх спільну роботу за потреби. Лінія подрібнення функціонує так. При натисканні кнопки запуску установки (SB4) активується реле KV3, що своїми контактами блокує кнопку запуску та готує мережу автоматичного керування до роботи. Одночасно з реле KV3 напруга подається на котушку реле часу КТ1 та сирену НА, яка видає попереджувальний звуковий сигнал. Через 10 секунд контакти реле часу КТ1 відключають сирену НА і активують пускачі КМ1 та РМ10. Контакти пускача КМ1 вмикають наступний пускач КМ2, а той у свою чергу запускає КМ3.1 або КМ3.2 залежно від положення перемикача SA3. При роботі магнітних пускачів КМ3.1 чи КМ3.2 їхні контакти активують струмове реле КА, яке запускає реле KV5.



Продовження рисунку 2.2.

Як наслідок, всі взаємозалежні пускачі та реле запускають електродвигуни М1–М4 та М10 (відповідно похилий шнек, шнек дробарки, дробарка, дозатор і шнек БВД). Блок керування А автоматично забезпечує оптимальну подачу дозатора таким чином, щоб навантаження на електродвигун дробарки залишалося в межах оптимального рівня. Ступінь завантаження контролюється за допомогою приладу РА.

Датчики верхнього рівня секцій піддозаторного бункера БВД, бункера готової продукції і датчики нижнього рівня служать для визначення наявності

продукту. Контроль рівня продукту здійснюється за допомогою лампочок на мнемосхемі в шафі керування. У разі відсутності основного компонента в секції №2 наддозаторного бункера, датчик SL6 активує реле KV15, яке своїми контактами вимикає мережу керування дозатора, припиняючи подавання компонентів до дробарки. Одночасно контакти реле KV15, розмикаючись і замикаючись, активують реле часу KT2. Через 20 секунд, час, необхідний для очищення системи подрібнення від залишків продукту, реле часу KT2 своїми контактами вимикає котушку реле KV3, повністю зупиняючи всю лінію подрібнення.

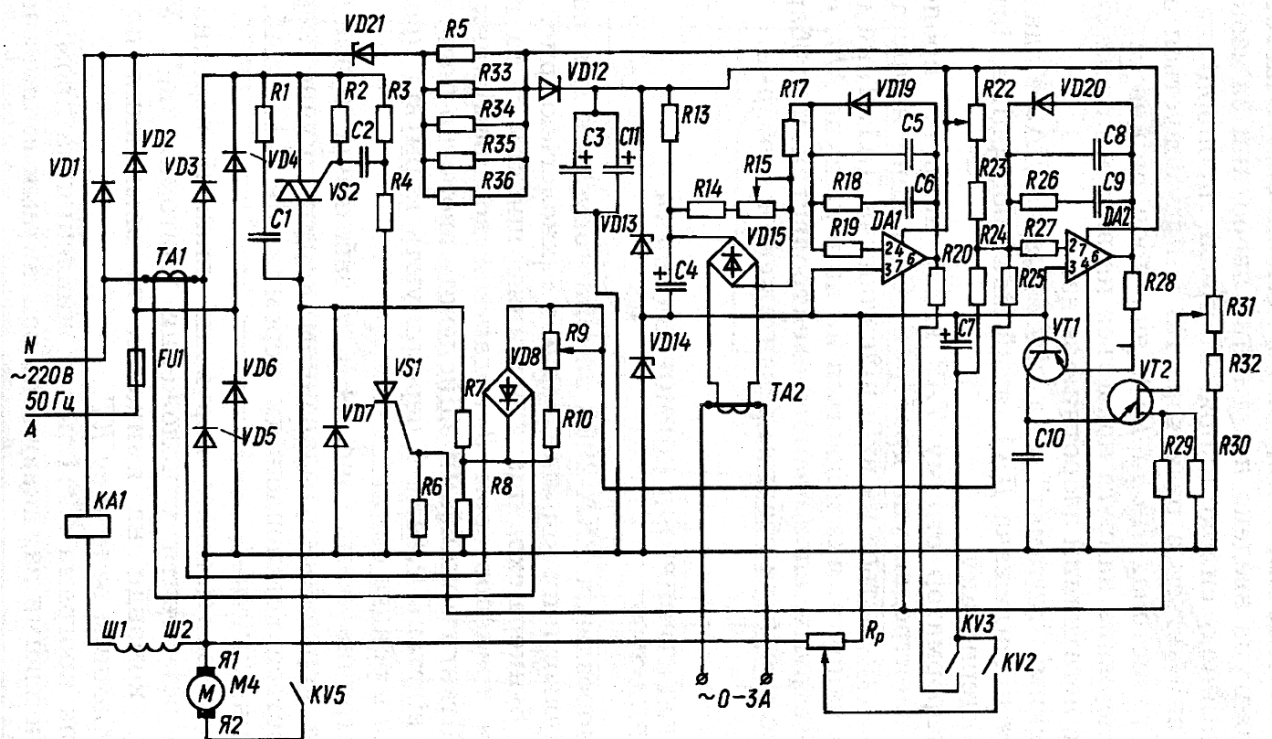


Рисунок 2.3 – Схема електрична принципова блока керування завантаженням

Аналогічний процес відбувається і при наповненні бункера готової продукції: сигнал датчика верхнього рівня SL13 активує реле KV18, яке запускає реле часу KT2, після чого лінія зупиняється за аналогічною схемою. Лінію подрібнення також можна зупинити вручну за допомогою кнопки SB5. Натискання кнопки активує реле KV18, яке стає на самоблокування і замикає контакти для запуску реле часу KT2. Унаслідок цього дозатор припиняє роботу, а через 20 секунд реле часу зупиняє всю лінію.

У режимі налагодження резистор R_P задає напругу для керування пропорційно-інтегральним підсилювачем на мікросхемі ДА2. Підсилювач ДА2 генерує імпульси напруги, які через транзистор VT1 заряджають конденсатор C10 і керують роботою генератора на транзисторі VT2. Цей процес впливає на транзистор, що вмикає тиристор VS2. Залежно від опору резистора R_P змінюється середнє значення напруги, яке подається на якір

Для забезпечення стабільності частоти обертання двигуна вводиться система негативного зворотного зв'язку, заснована на електрорушійній силі (ЕРС) якоря. Напруга, яка є пропорційною ЕРС якоря, знімається з резистора R8 і додається до напруги на резисторах R9 та D10, що відповідає струму двигуна. Ця підсумована напруга спрямовується на вхід мікросхеми ДА2, утворюючи негативний зворотний зв'язок. У режимі "Автомат" вхід підсилювача ДА2 з'єднаний із виходом підсилювача ДА1, що має пропорційно-інтегральну характеристику. Трансформатор струму ТА2 генерує напругу, пропорційну струму електродвигуна дробарки. Випрямлена напруга подається на вхід підсилювача ДА1. Таким чином, середня напруга, яка постачається до якоря двигуна М4, залежить від струму, що споживається електродвигуном дробарки. Це забезпечує можливість регулювання обсягу завантаження дробарки.

2.2 Модернізована схема електроприводу

Завантаження дробарки контролюється за допомогою споживаного струму двигуна дробарки, який керується двигуном дозатора М4. У цій системі двигун М4 є колекторною машиною постійного струму зі змінною частотою обертання. Проте, машини постійного струму мають значний недолік — конструкція із колекторно-щітковим вузлом, який є найбільш уразливою частиною та часто виходить з ладу.

Заміна двигуна постійного струму на асинхронний двигун із частотним перетворювачем є доцільною завдяки підвищенню енергоефективності, надійності, керованості та простоті обслуговування. Таке рішення забезпечує

плавний пуск, можливість регулювання швидкості в широкому діапазоні, високий пусковий момент та кращі показники якості керування, що робить його вигідним у більшості промислових застосувань.

Переваги заміни:

- вища надійність та простота конструкції: асинхронні двигуни мають простішу конструкцію без щіток і колектора, що зменшує знос і потребу в обслуговуванні;
- енергоефективність: вони демонструють вищу ефективність порівняно з багатьма двигунами постійного струму, що призводить до зниження енергоспоживання;
- плавний пуск: частотний перетворювач дозволяє здійснювати плавний пуск, що знижує навантаження на електричну мережу та механічні компоненти системи;
- широкий діапазон регулювання швидкості: за допомогою частотного перетворювача можна плавно регулювати швидкість асинхронного двигуна в широкому діапазоні, що є значною перевагою для багатьох процесів;
- кращі показники керування: таке рішення забезпечує кращу якість керування, точніше регулювання швидкості та кращі перехідні характеристики;
- високий пусковий момент: асинхронні двигуни можуть забезпечувати високий пусковий момент, що робить їх придатними для завдань, які вимагають значної сили під час запуску;
- зниження витрат: незважаючи на початкові інвестиції в перетворювач частоти, загальні витрати на обслуговування та експлуатацію знижуються, а енергозбереження призводить до економії коштів у довгостроковій перспективі.

Зважаючи на це, ми пропонуємо замінити машину постійного струму на асинхронну. Оскільки необхідно забезпечити змінну швидкість роботи, рекомендується встановити перетворювач частоти, здатний регулювати швидкість в широкому діапазоні (рис. 2.4).

Встановлений двигун постійного струму ПЛ082 потужністю 0,6 кВт з частотою обертання 2700 об/хв замінено на асинхронний двигун А02.

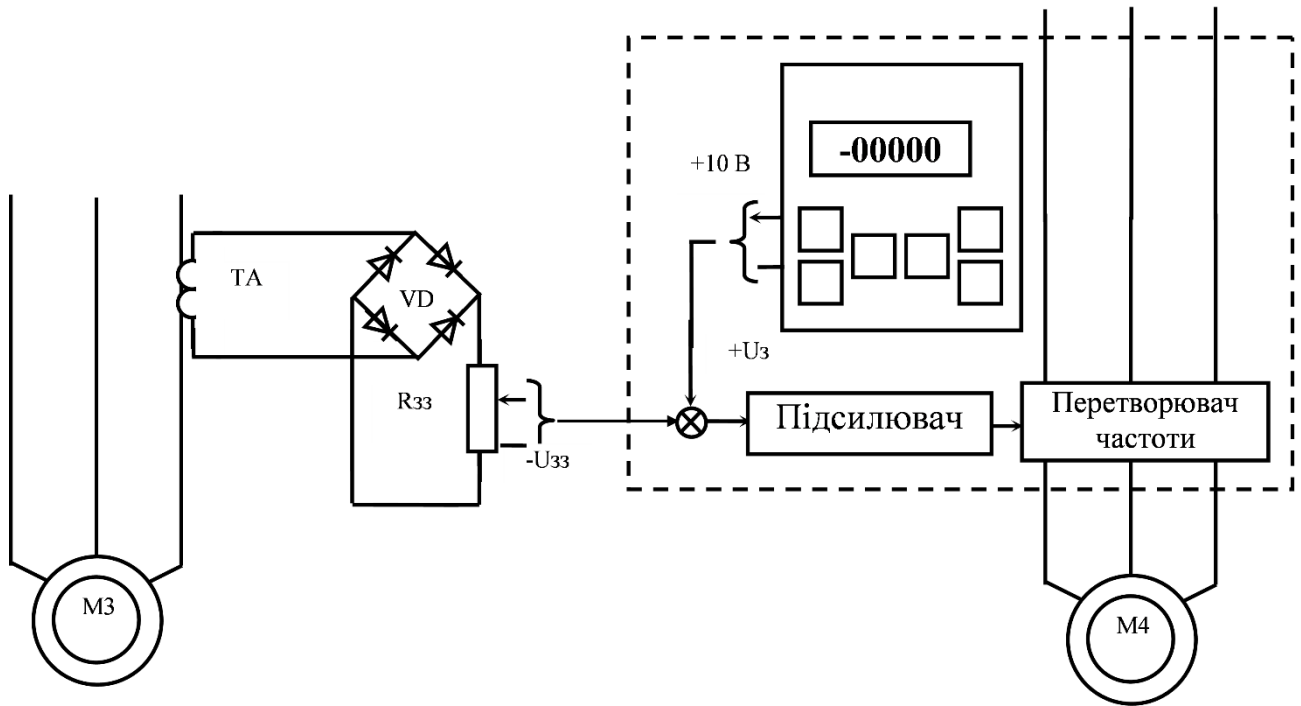


Рисунок 2.4 – Схема електроприводу завантаження дробарки модернізована

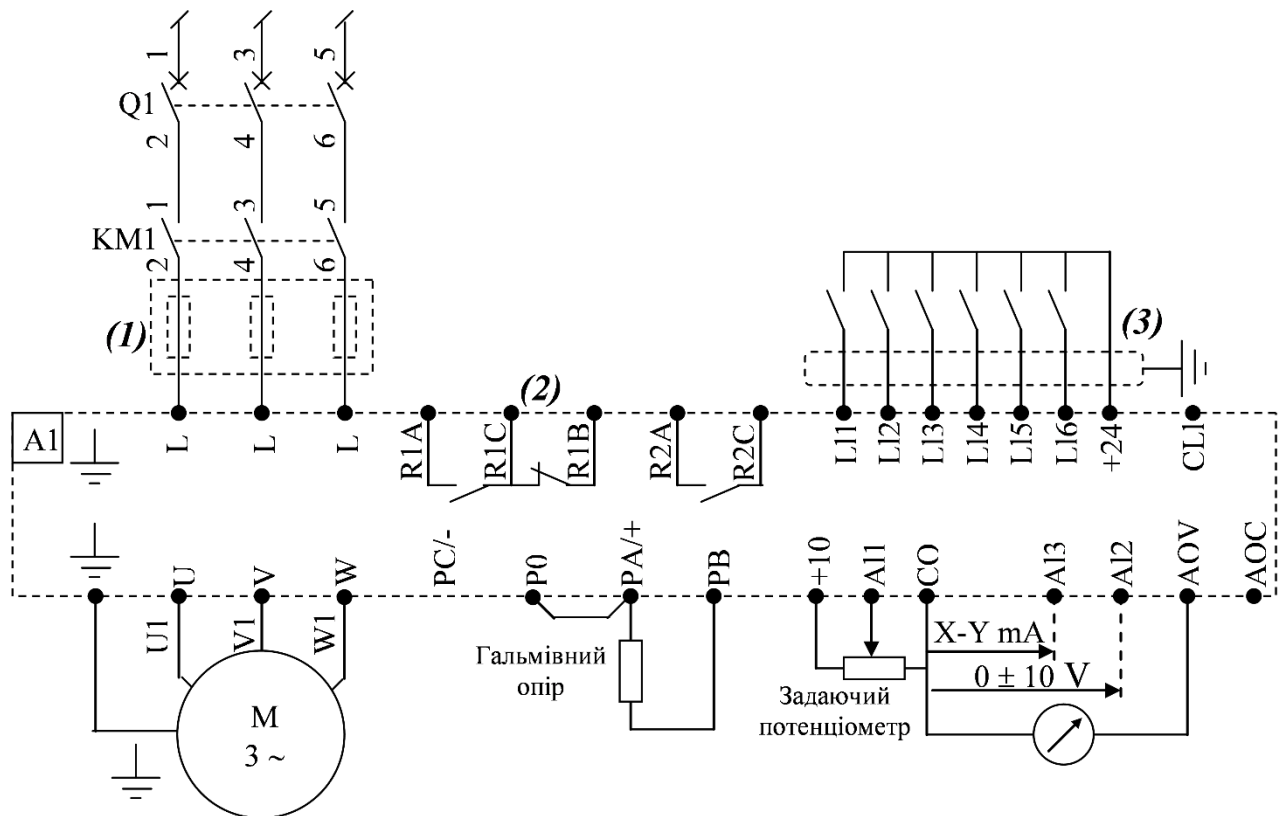


Рисунок 2.5 – Схема приєднання перетворювача та двигуна силова
 ((1) дросель мережі; (2) контакти реле несправності для дистанційного контролю перетворювача; (3) підмикання дискретних входів)

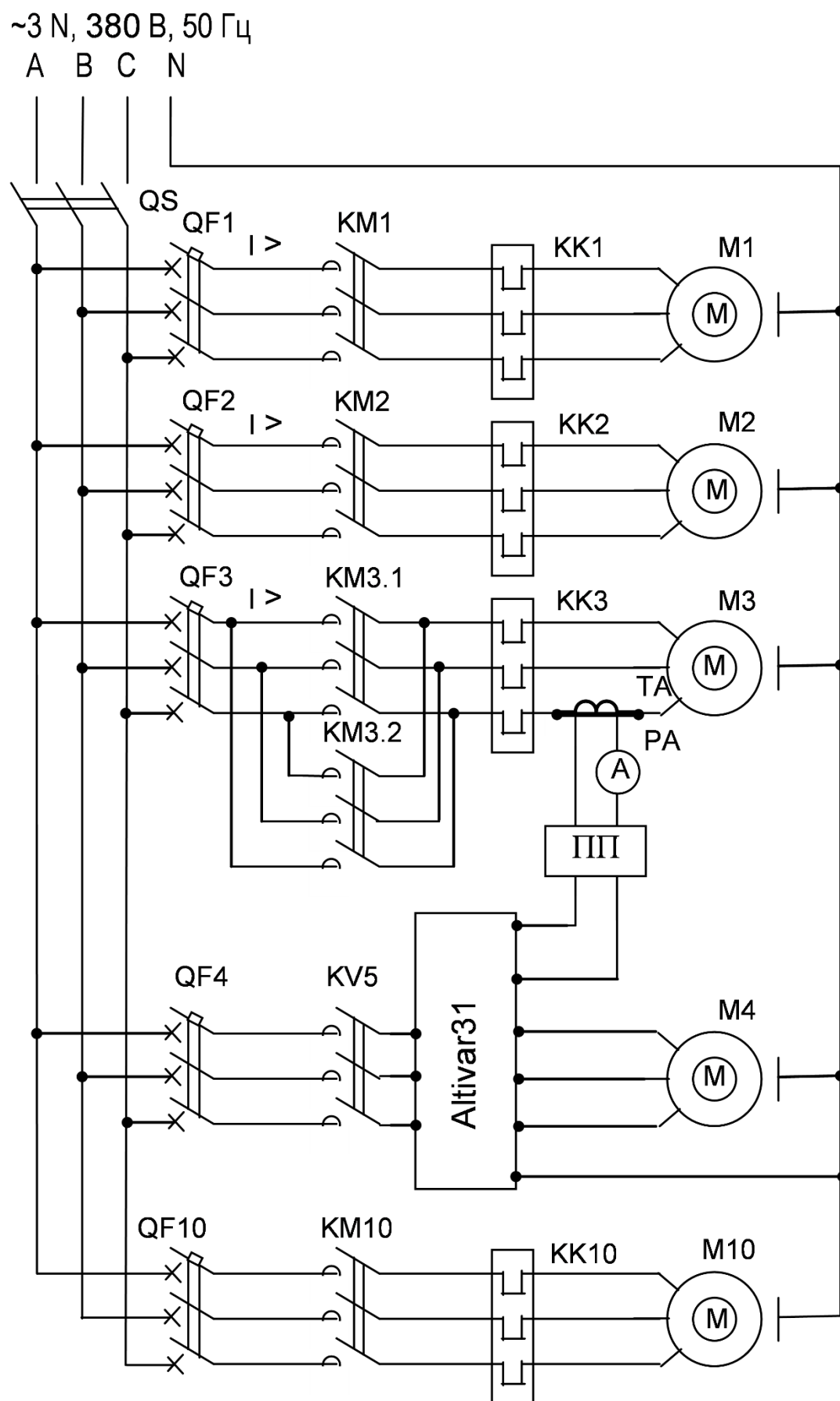


Рисунок 2.6 – Модернізована електрична схема керування малогабаритною комбікормовою установкою

Його номінальні характеристики:

- потужність – 0,6 кВт;
- номінальна швидкість обертання – 2730 об/хв;
- кратність критичного моменту ($\lambda = M_k/M_n$) – 1,9;
- коефіцієнт потужності ($\cos\varphi$) – 0,84.

Для вибору перетворювача частоти зупинились на моделі Schneider Electric типу Altivar31 ATV31H075N4 із потужністю 0,75 кВт (рис. 2.5). Налаштування перетворювача на необхідний режим здійснюється за допомогою діалогової панелі. У пристрої програмно реалізований підсилювач. Завдання швидкості обертання передається сигналом, параметри підсилювача налаштовуються програмно, а сигнал зворотного зв'язку вводиться через аналоговий інформаційний вхід (з напругою до 10 В). Схема модернізованої комбікормової установки наведена на рис. 2.6.

Перетворювач частоти Schneider Electric Altivar 31 (ATV31) — це надійний і компактний пристрій для керування асинхронними короткозамкнутими двигунами. Він відзначається простотою введення в експлуатацію, має вбудовані комунікаційні протоколи Modbus і CANopen та два типи інтерфейсу користувача: з дисплеєм і клавіатурою, або з клавіатурою, дисплеєм і елементами локального керування. Пристрій має вбудовані функції захисту, різні профілі керування, ПД-регулятор та можливість зберігати конфігурацію в пам'яті.

Основні характеристики.

Призначення: керування трифазними асинхронними двигунами.

Конструкція: компактний, може встановлюватися впритул для економії місця, поставляється з радіатором для нормальних умов експлуатації.

Комунікація: має вбудовані протоколи Modbus і CANopen.

Інтерфейс: два варіанти:

- ATV31Hxxxx: з екраном та клавіатурою для налаштування;
- ATV31HxxxxA: екраном, клавіатурою та елементами локального керування (пуск/стоп, потенціометр для швидкості).

Входи/Виходи: 6 дискретних входів; 3 аналогових входи; 1 дискретний/аналоговий вхід; 2 релейних виходи.

Функціонал:

- захист двигуна та перетворювача;
- лінійні, U-подібні та індивідуальні криві розгону/гальмування;
- робота в режимі "швидше/повільніше";
- 16 попередньо заданих швидкостей;
- ПІД-регулятор;
- автоматичний захоплення з пошуком швидкості та повторний пуск;
- налаштування конфігурації несправностей та типів зупинки;
- збереження конфігурації в пам'яті.

Ступінь захисту: може бути IP20 (у стандартному корпусі) або IP55 (у захисному кожусі) для важких умов експлуатації.

Галузі застосування: транспортувальне обладнання (невеликі конвеєри); текстильні машини; верстати; деревообробні машини; пакувальні та друкарські машини; керамічні машини; спеціальні механізми (мішалки, змішувачі).

2.3 Розрахунок механічної характеристики двигуна

За паспортними даними двигуна будуємо його механічну характеристику.

Номінальну кутову швидкість двигуна визначаємо за формулою:

$$\omega_n = \frac{\pi \cdot n_n}{30},$$

$$\omega_n = \frac{3,14 \cdot 2730}{30} = 285,74 \text{ с}^{-1}.$$

Номінальний момент двигуна обчислюємо:

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n},$$

$$M_n = \frac{600}{285,74} = 2,1 \text{ Нм}.$$

Значення максимального (критичного) моменту двигуна:

$$M_k = \lambda \cdot M_{ном},$$

$$M_k = 1,9 \cdot 2,1 = 4 \text{ Нм}.$$

Номінальне ковзання визначаємо за формулою

$$s_H = \frac{\omega_o - \omega_H}{\omega_o},$$

$$s_H = \frac{315 - 285,74}{315} = 0,09.$$

Таблиця 2.1 - Механічна характеристика двигуна

$M(s) =$	$s =$	$\omega(s) =$
$2.051 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-4}$	314.969
1.009	0.05	299.25
1.923	0.1	283.531
2.678	0.15	267.813
3.245	0.2	252.095
3.632	0.25	236.376
3.865	0.3	220.657
3.976	0.349	204.939
3.999	0.399	189.221
3.96	0.449	173.502
3.881	0.499	157.784
3.777	0.549	142.065
3.658	0.599	126.347
3.532	0.649	110.628
3.405	0.699	94.909
3.278	0.749	79.191

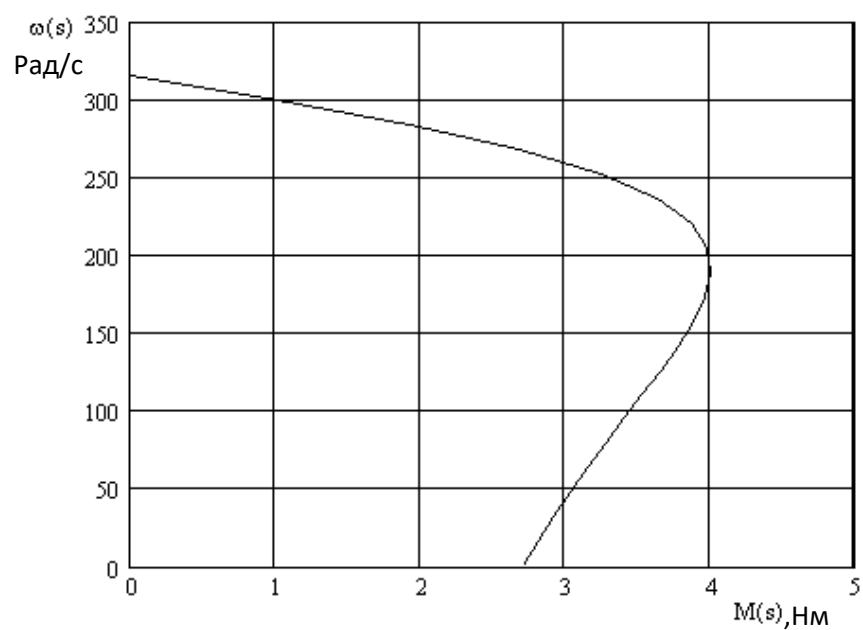


Рисунок 2.7 – Механічна характеристика асинхронної машини.

Критичне ковзання двигуна при $M=M_k$

$$s_k = s_n \cdot (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1})$$

$$s_k = 0,09(1,9 + \sqrt{1,9^2 - 1}) = 0,31.$$

Значення кутової частоти обертання при критичному моменті

$$\omega_k = \omega_o(1 - s_k),$$

$$\omega_k = 315 \cdot (1 - 0,31) = 217,35 \text{ с}^{-1}.$$

Розрахунок механічної характеристики за формулою Клосса

$$M = \frac{2 \cdot M_k \cdot \frac{s}{s_k + s}}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}}.$$

Результати розрахунку зведено у таблицю 2.1.

Отримана механічна характеристика зображена на рисунку 2.7.

РОЗДІЛ 3

МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

3.1 Модель системи електроприводу

Робота асинхронного двигуна на лінійній частині механічної характеристики (в межах $-0,8 M_{кр} \leq M \leq 0,8 M_{кр}$) визначається наступним рівнянням:

$$\frac{M}{\omega_0 - \omega} = \frac{2M_{кр}/\omega_0 s_{кр}}{T_e s + 1}, \quad (3.1)$$

де ω – кутова швидкість обертання ротора асинхронного двигуна;

$s_{кр}$ – значення критичного ковзання асинхронного двигуна;

M – електромагнітний момент двигуна;

ω_0 – значення кутової швидкості обертання магнітного поля статора;

$M_{кр}$ – критичний момент асинхронного двигуна;

$T_e = \frac{1}{\omega_{ел} s_{кр}}$ – значення електромагнітної сталої часу,

де f_l – значення частоти напруги електричної мережі живлення;

$\omega_{ел} = 2\pi f_l$ – кутової частота напруги статора

Критичне ковзання $s_{кр}$ визначаємо за формулою:

$$s_{кр} = s_{ном} (\lambda_{max} + \sqrt{\lambda_{max}^2 - 1}), \quad (3.2)$$

де λ_{max} – значення кратності максимального моменту;

$s_{ном}$ – номінальне ковзання асинхронного двигуна.

Згідно описаних математичних залежностей отримаємо структурно-математичну модель трифазного асинхронного двигуна (рисунок 3.1):

$$\frac{dM}{dt} = ((\omega_0 - \omega) \cdot 2M_{кр}/\omega_0 s_{кр} - M)/T_e; \quad (3.3)$$

$$\frac{d\omega}{dt} = (M - M_c)/J. \quad (3.4)$$

Для побудови діючої моделі необхідно необхідно позрахувати параметри моделі двигуна.

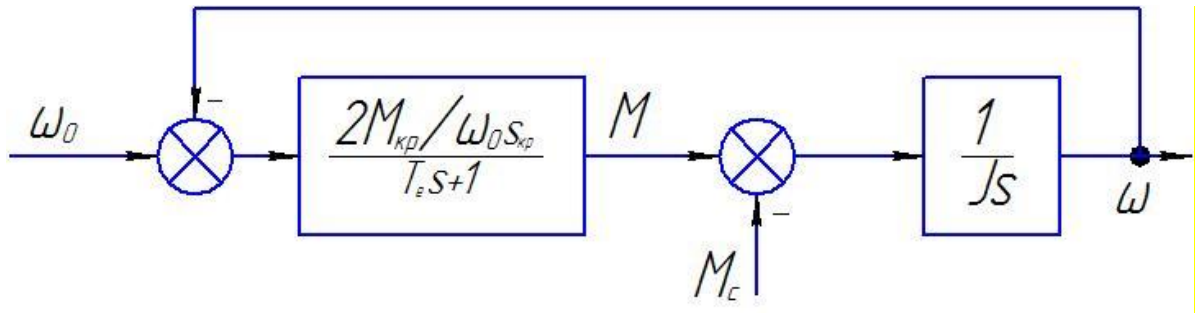


Рисунок 3.1 – Модель структурно-математична асинхронного двигуна на лінійній ділянці механічної характеристики

Розрахуємо параметри для внесення у модель електроприводу.

Розраховуємо номінальну швидкість

$$\omega_n = \frac{\pi n_n}{30}; \quad (3.5)$$

$$\omega_n = \frac{3,14 \cdot 2730}{30} = 285,74 \text{ с}^{-1}.$$

Розраховуємо номінальний момент

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n}; \quad (3.6)$$

$$M_n = \frac{600}{285,74} = 2,1 \text{ Н м}$$

Розраховуємо номінальне ковзання асинхронного двигуна:

$$S_n = \frac{n_0 - n_n}{n_0}; \quad (3.7)$$

$$S_n = \frac{3000 - 2730}{3000} = 0.09.$$

Розраховуємо критичне ковзання асинхронного двигуна:

$$S_{кр} = 0.09(1,9 + \sqrt{1,9^2 - 1}) = 0.316.$$

Розраховуємо електромагнітну сталу часу

$$T_e = \frac{1}{\omega_{ел} S_{кр}}; \quad (3.8)$$

$$T_e = \frac{1}{314 \cdot 0.316} = 0.01c.$$

Розраховуємо критичний момент

$$M_{кр} = M_n \cdot \lambda_{max}; \quad (3.9)$$

$$M_{кр} = 2.1 \cdot 1.9 = 3.99 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Після проведеного розрахунку будуюмо модель двигуна механізму завантаження М4 (рисунок 3.2) ми її реалізували як підсистему AD1.

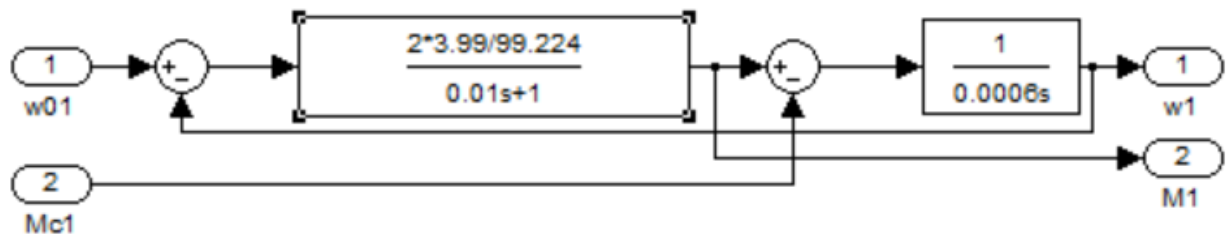


Рисунок 3.2 – Модель MATLAB/Simulink структурно-математична асинхронного двигуна на лінійній ділянці механічної характеристики AD1 живильника

Аналогічно параметри електроприводу подрібнювача головного двигуна.

Розраховуємо номінальну швидкість

$$\omega_n = \frac{3.14 \cdot 2930}{30} = 307.65 \text{ рад/с};$$

Розраховуємо номінальний момент

$$M_n = \frac{15000}{307.65} = 48.76 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Розраховуємо номінальне ковзання:

$$S_n = \frac{3000 - 2930}{3000} = 0.023.$$

Розраховуємо критичне ковзання:

$$S_{кр} = 0.023(3 + \sqrt{3^2 - 1}) = 0.134.$$

Розраховуємо електромагнітну сталу часу

$$T_e = \frac{1}{314 \cdot 0.134} = 0.024c.$$

Розраховуємо критичний момент

$$M_{кр} = 48.76 \cdot 3 = 146.28 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Після проведеного розрахунку будуюмо модель головного двигуна механізму подрібнення МЗ (рисунок 3.3) ми її реалізували як підсистему AD2.

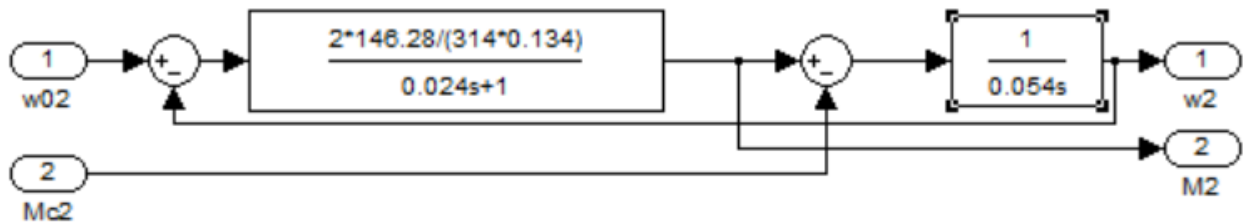


Рисунок 3.3 – Модель MATLAB/Simulink структурно-математична асинхронного двигуна на лінійній ділянці механічної характеристики AD2 головного двигуна механізму подрібнення

Ціла модель електроприводу зображена на рисунку 3.4, моделі двигунів відображені як AD1 і AD2.

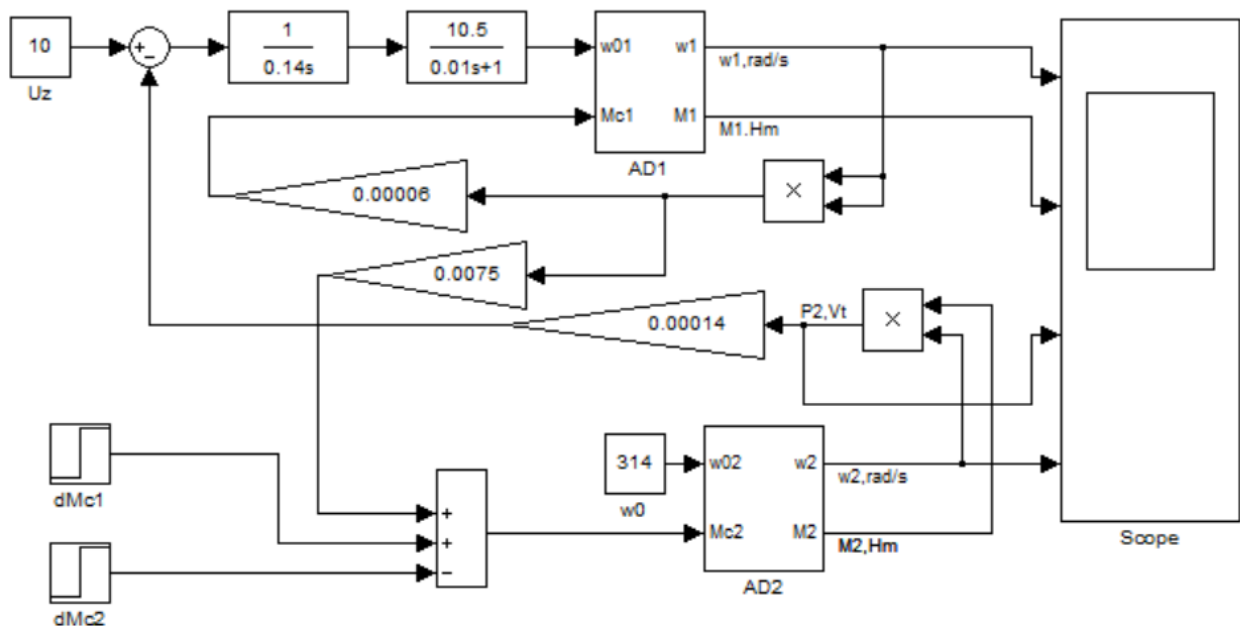


Рисунок 3.4 – Модель MATLAB/Simulink запропонованої модернізованої системи електроприводу

3.2 Дослідження динаміки системи автоматизованого електроприводу

У моделі (рис. 3.4) сигнал завдання U_z подається на суматор, де порівнюється сигнал завдання із від'ємним сигналом зворотного зв'язку за потужністю (у схемі зворотній зв'язок за струмом, а потужність пропорційна до

струму). Вихідний сигнал суматора подається на інтегральну ланку І-регулятор, далі на аперіодичну ланку першого порядку, яка моделює перетворювач частоти. Вихідний сигнал у вигляді кутової частоти подається на двигун живильника AD1. Далі вихідний сигнал кутової частоти обертання перетворюється і подається на вхід моменту навантаження двигуна AD1 та через суматор подається на вхід моменту навантаження двигуна AD2. Для імітації зміни навантаження на цей же суматор подаються сигнали стрибкоподібної зміни моменту навантаження dM_{c1} і dM_{c2} . Вихідні сигнали моделі двигуна AD2 кутова швидкість та момент перемножуються, у результаті отримуємо потужність на валі двигуна. Через давач зворотнього зв'язку, у моделі – це пропорційна ланка, у схемі – це трансформатор струму, сигнал подається на вхід системи керування електроприводу.

Для спостереження за параметрами моделі на вхід осцилоскопа Scope подано чотири сигнали: кутову швидкість та момент двигуна живильника, кутову швидкість двигуна подрібнювача та потужність споживану основним двигуном подрібнювача.

Перший дослід (рис. 3.5).

Перший дослід проводимо при стрибкоподібній зміні навантаження на валу головного двигуна подрібнювача. Для імітації зміни навантаження, у момент часу 2 с, стрибкоподібно збільшуємо моменту навантаження блоком dM_{c1} . Накид навантаження різко збільшує споживану потужність орієнтовно на 2 кВт. Система автоматизованого електроприводу зменшує швидкість обертання привідного двигуна живильника, що призводить до стабілізації споживаної потужності головного двигуна. Система автоматичного керування відпрацьовує збурення трохи менше ніж за 0,5 с.

У момент часу 3 с стрибкоподібно зменшуємо величину навантаження блоком dM_{c2} , на ту саму величину. Зменшення навантаження різко зменшує споживану потужність орієнтовно на 2 кВт. У результаті, як видно із графічної залежності перехідного процесу, ми отримуємо різкий провал споживаної потужності.

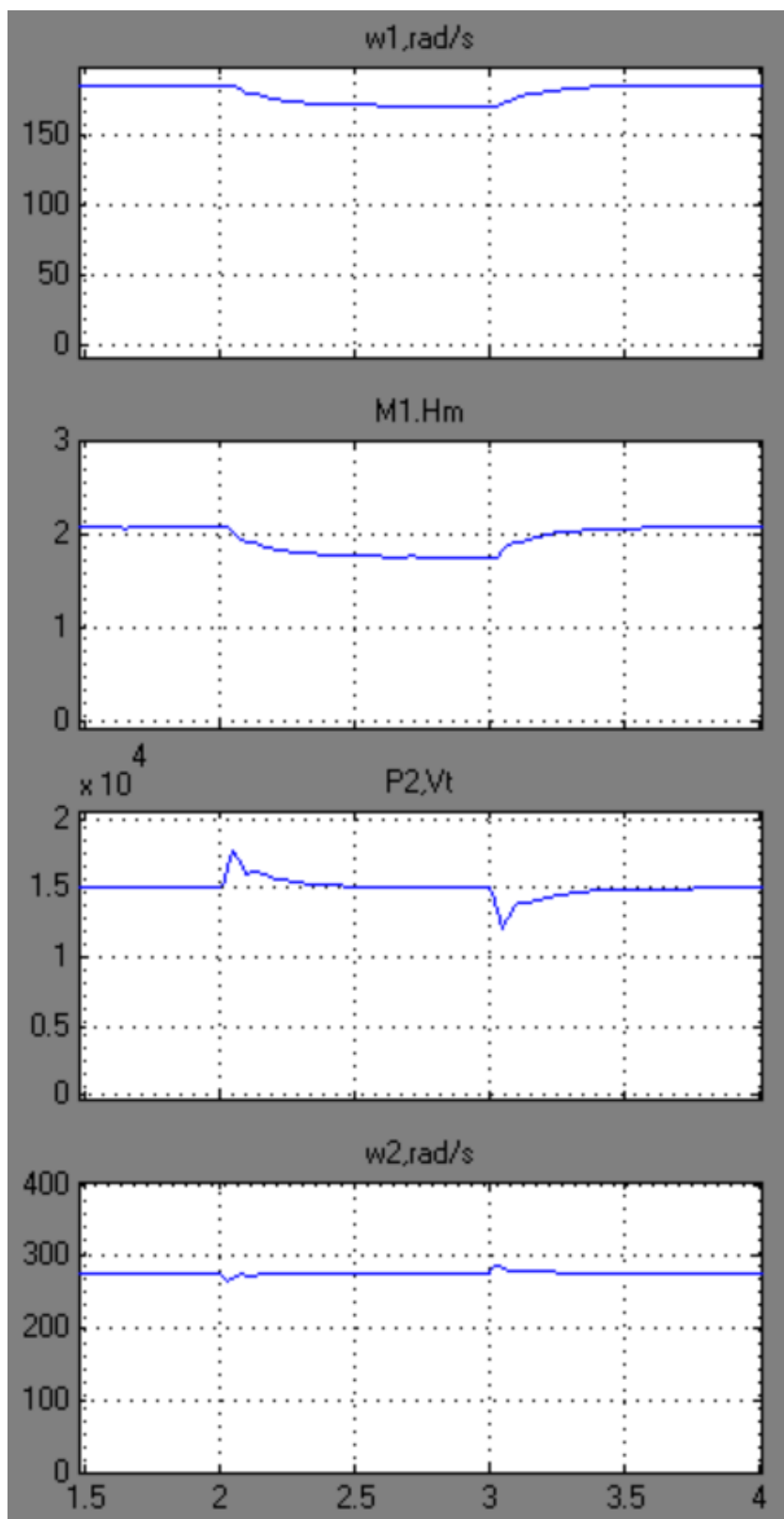


Рисунок 3.5 – Графічні залежності перехідних процесів перший дослід: кутова швидкість та момент AD1, потужність та кутова швидкість AD2

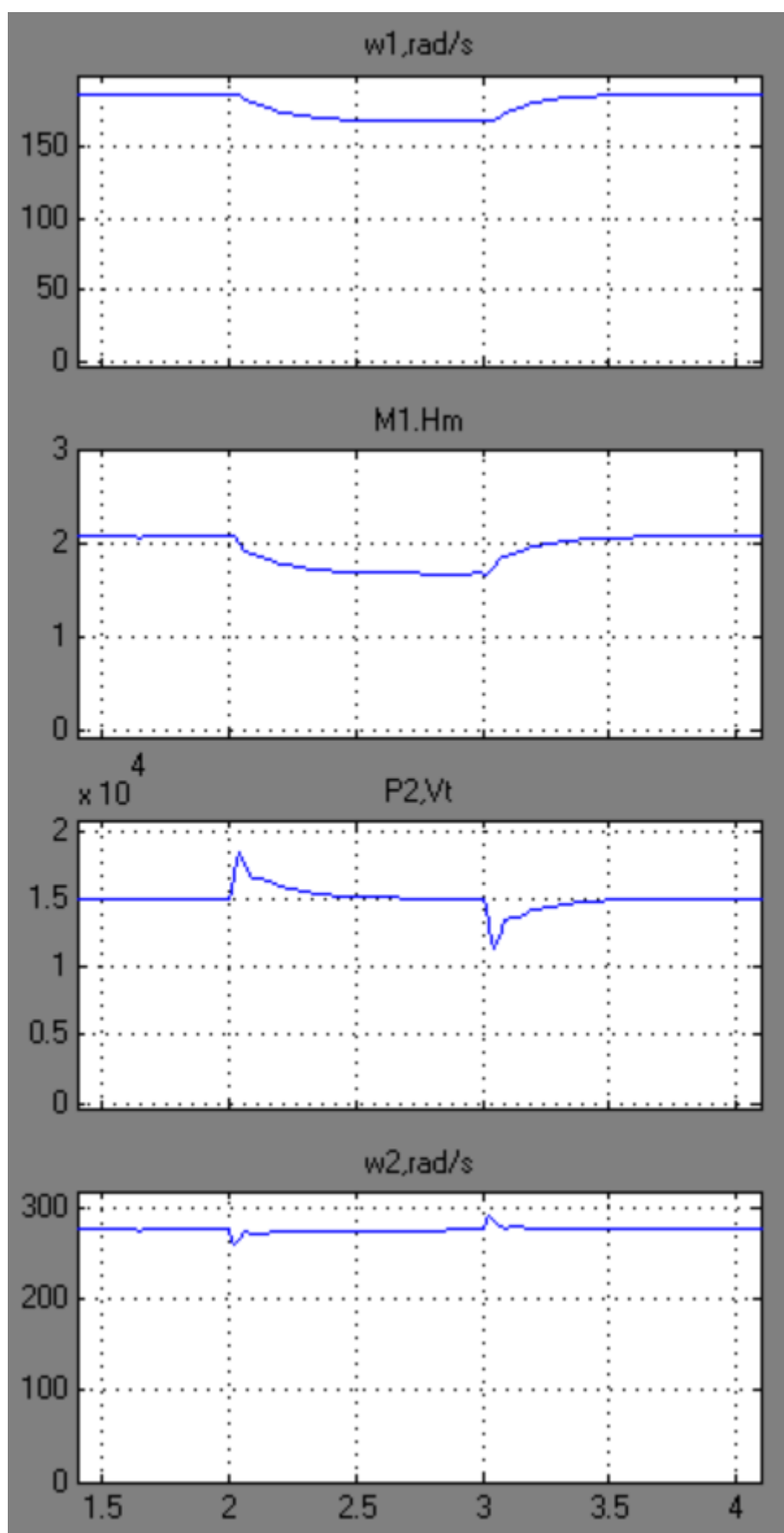


Рисунок 3.6 – Графічні залежності перехідних процесів другий дослід: кутова швидкість та момент AD1, потужність та кутова швидкість AD2

Система автоматизованого електроприводу збільшує швидкість обертання привідного двигуна живильника, до початкового рівня швидкості обертання, що призводить до стабілізації споживаної потужності головного двигуна. Система автоматичного керування відпрацьовує збурення трохи менше ніж за 0,5 с.

Другий дослід (рис. 3.5).

Другий дослід проводимо аналогічно до першого, лише збільшуємо стрибкоподібну зміну навантаження.

Для імітації зміни навантаження, у момент часу 2 с, стрибкоподібно збільшуємо моменту навантаження блоком dMc1. Накид навантаження різко збільшує споживану потужність орієнтовно на 3,5 кВт. Система автоматизованого електроприводу зменшує швидкість обертання привідного двигуна живильника до меншої швидкості ніж у першому досліді, бачимо також що двигун AD1 розвиває менший момент ніж у першому досліді, що призводить до стабілізації споживаної потужності головного двигуна. Система автоматичного керування відпрацьовує збурення трохи більше ніж за 0,5 с, але менше ніж 1 с.

У момент часу 3 с стрибкоподібно зменшуємо величину навантаження блоком dMc2, на ту саму величину. Зменшення навантаження різко зменшує споживану потужність орієнтовно на 3,5 кВт. У результаті, як видно із графічної залежності перехідного процесу, ми отримуємо різкий провал споживаної потужності.

Система автоматизованого електроприводу збільшує швидкість обертання привідного двигуна живильника, до початкового рівня швидкості обертання, що призводить до стабілізації споживаної потужності головного двигуна. Система автоматичного керування відпрацьовує збурення трохи більше ніж за 0,5 с, але менше ніж 1 с.

З аналізу отриманих графічних залежностей стає очевидним, що система управління електроприводом ефективно компенсує збурення, забезпечуючи стабілізацію споживаної потужності двигуна AD2 на заданому рівні. Це досягається шляхом регулювання частоти обертання двигуна AD1 за допомогою

перетворювача частоти. Результати досліджень свідчать про високу динамічну реакцію автоматизованої системи електроприводу. Це дозволяє завантажувати двигун до його номінальної потужності, що сприяє підвищенню продуктивності дробарки.

Такий підхід дає змогу максимально ефективно використовувати потужність основного двигуна, оскільки система швидко реагує на можливі перевантаження. У результаті забезпечується високий рівень техніко-економічних показників роботи головного двигуна дробарки, включаючи коефіцієнт корисної дії, коефіцієнт потужності та значну продуктивність у номінальному режимі.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Аналіз стану охорони праці

Електричні машини застосовуються у багатьох галузях господарства: машинобудівній промисловості, вугільній, металургійній, сільськогосподарській та в багатьох інших галузях промисловості.

Безпечна, безаварійна експлуатація систем електропостачання ставить перед працівниками електрогосподарства складні задачі з охорони праці.

При роботі з електродвигунами дуже важливим є дотримання техніки безпеки. Не можна нехтувати навіть незначними несправностями обладнання, адже таке недбале ставлення, насамперед до себе, може призвести до травм різного ступеня важкості, або і до летального випадку.

В умовах виробництва велика кількість аварій і травм виникає внаслідок конструктивних недоліків машин, механізмів, обладнання, захисних та запобіжних пристроїв, а також часто через недосконалість технологічного процесу чи засобів захисту працівників.

Несправності двигунів найчастіше виникають у результаті зносу деталей, а також через порушення правил технічної експлуатації. За характером походження ушкодження електродвигунів поділяють на:

- електричні (пошкодження ізоляції або струмопровідних частин машини);
- механічні (ослаблення кріпильних сполучних різьблень, порушення форми і поверхні деталей, перекоси і поломки).

При експлуатації електродвигунів можливі випадки, коли:

- електродвигун не запускається;
- при пуску не набирає номінальних оборотів;
- при роботі гуде, вібрує, перегрівається;

- сильно іскрять щітки;
- чується ненормальний шум.

Обслуговуючий персонал має виявити несправність, визначити причини її виникнення і при можливості усунути її або відправити двигун у капітальний ремонт.

Правила безпеки під час обслуговування електродвигунів

Під час роботи, при якій можливе доторкання до струмоведучих частин двигуна або до його обертових частин і механізму, який вони приводять у рух, необхідно зупинити електродвигун і на ключі керування вивісити знак «Не вмикати! Працюють люди».

Коли робота на електродвигуні або механізмі, який він приводить в рух пов'язана з доторканням до струмоведучих або обертових частин, то з двигуна має бути знята напруга. Також у двигуна, що працює обмотка, яка не використовується і кабель, що її живить, слід розглядати як такі, що знаходяться під напругою.

Якщо на вимкненому двигуні роботи не проводять або їх перервано на деякий час, то від'єднана від нього кабельна лінія має бути заземлена збоку електродвигуна.

На однотипному або близькому за габаритами електродвигуні, встановленому поряд з тим, на якому проводяться роботи, необхідно вивісити плакати «Стій! Напруга» незалежно чи перебуває він в резерві чи в роботі.

При роботі забороняється знімати огороження частин електродвигуна, які обертаються, під час їх роботи.

Під час обслуговування електродвигунів необхідно дотримуватися таких заходів безпеки:

- працювати потрібно в головному уборі, спецодяг має бути застібнутим;
- остерігатись захвату одягу частинами машини, які обертаються;
- користуватись гумовими килимками або спеціальним діелектричним взуттям;

- не торкатися руками одночасно до струмоведучих частин різних полюсів або струмоведучих і заземлених частин.

Основні вимоги безпеки до працівників під час обслуговування електроустановок

1. Порядок навчання і перевірки знань працівників має бути відповідним до галузевого положення про навчання, інструктаж і перевірку знань з ОП.

2. Первинний і періодичний медогляд працівників має проводитись згідно з Положенням про медичний огляд працівників, затвердженим наказом Міністерства охорони здоров'я України №45 від 31.03.94.

3. Працівники, які обслуговують електроустановки, зобов'язані чітко знати посадові інструкції відповідно до займаної посади чи роботи, яку виконують і мати відповідну групу з електробезпеки.

4. Не можна допускати до роботи в електроустановках осіб, які не пройшли навчання і перевірку знань з ОП.

5. Заборонено допускати до роботи працівників, які знаходяться в стані алкогольного чи наркотичного сп'яніння, або з явними ознаками захворювання.

6. В разі нещасних випадків з людьми необхідно негайно зняти напругу для звільнення потерпілого від дії електричного струму, без попереднього на то дозволу.

4.2 Моделювання процесу виникнення травм та аварій

У наш час розвиток виробничих та технологічних процесів тісно пов'язаний з науково-технологічним прогресом і є неможливим без ефективного використання ресурсів, зменшення збитків від аварій і травматизму. Вирішення цієї проблеми потребує використання науково обґрунтованих підходів і аналізу виробничих процесів у системі «людина-машина».

Низька культура безпечності, відсутність технологічної дисципліни, а також конструктивна недосконалість та значне спрацювання устаткування супроводжуються збільшенням аварій і виробничого травматизму на

підприємстві. Заходи щодо попередження небезпечних подій мають неабияку актуальність в усіх сферах виробництва, а нехтування небезпечними чинниками, які несуть небезпеку для працівника призводить до загибелі людей. Тому необхідно вміти оцінити характер виникнення небезпечних ситуацій. Для цього доцільно використовувати методи системного аналізу та моделювання процесу виникнення таких ситуацій. Тим самим підвищити безпеку життєдіяльності людини і зменшити збитки від аварійних і травмонебезпечних ситуацій на виробництві.

Існує 4 можливих методичних підходи аналізу небезпечних подій: інженерний; модельний; експертний; соціологічний.

Розглянемо модельний підхід аналізу визначення появи небезпечних ситуацій та розрахуємо ймовірність виникнення таких ситуацій.

Такий підхід ґрунтується на побудові моделей впливу шкідливих чинників на людину. Усі чинники, які утворюють якусь конкретну аварійну ситуацію, пов'язані між собою причинно-наслідковим зв'язком.

Кожна логічна модель виникнення небезпечної ситуації складається із деякої кількості випадкових подій, які у свою чергу можна розглядати як статично залежні або незалежні між собою компоненти. Статистично залежними називаються такі події, коли поява наступної події є неможливою без виникнення попередньої. Статистично незалежні події – такі події, коли кожна з двох подій логічної моделі можуть виникати незалежно одна від одної.

Аналізуючи побудовану логічну модель певного технологічного процесу можна знайти подію, з якої починається виникнення аварійної чи травмонебезпечної ситуації. А також такі моделі дозволяють вияви окремих осіб, які безпосередньо причетні до виникнення небезпечних ситуацій і визначити ступінь вини самого потерпілого.

Для аналізу небезпек, які були виявлені у процесі обстеження робочих споруд чи виробничих процесів цілком доцільно використання метод логічного моделювання процесів виникнення небезпечних подій. Проте для процесів, в яких аварія або травма виникає внаслідок впливу великої кількості

статистично залежних чи статистично незалежних між собою подій, такий метод не використовується. У таких випадках доцільно застосувати так званий метод «дерева» несправностей і помилок оператора, що дозволяє визначити імовірність виникнення випадкових подій у системі «людина-машина».

Основні принципи для побудови такої моделі є такими. Вивчаємо виробництво, на якому можливі або вже мали місце раніше аварії чи виробничі травми. Після чого виділяємо якусь основну небезпечну подію і зв'язуємо цю подію з наступною, яка обумовлює її виникнення, шляхом логічного аналізу використовуючи при цьому логічні оператори

- «І» якщо одночасно відбуваються всі вхідні події;
- «АБО» якщо відбувається хоча б одна вхідна подія.

Для представлення математичного обчислення імовірності випадкових подій застосовують наступні формули.

1. Нехай у третю подію P_3 , за допомогою логічного оператора «І», входять дві попередні події. Тоді імовірність виникнення події P_3 можна визначити так:

$$P_3 = P_1 \cdot P_2$$

2. Три події з ймовірностями P_1 , P_2 , P_3 утворюють четверту з ймовірністю P_4 за допомогою оператора «І». Тоді P_4 дорівнює:

$$P_4 = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3$$

3. Коли дві базові події з ймовірністю P_1 та P_2 входять до третьої за допомогою оператора «АБО». Тоді P_3 :

$$P_3 = P_1 + P_2 - P_1 \cdot P_2$$

Нехай ймовірність події $P_1 = 0,02$, а $P_2 = 0,04$, тоді

$$P_{13} = 0,3 + 0,4 - 0,3 \cdot 0,4$$

$$P_3 = 0,0592$$

$$P_{11} = 0,1 + 0,02 - 0,1 \cdot 0,02 = 0,118$$

Аналогічно обчислюємо імовірність всіх інших подій в залежності від їх номера на логіко-імітаційній моделі процесу виникнення травми при технічному обслуговуванні асинхронного двигуна (рисунку 4.1).

$$P_{14} = 0,118 \cdot 0,2 = 0,0236$$

$$P_{17} = 0,0592 + 0,0236 - 0,0592 \cdot 0,0236 = 0,0814$$

$$P_{12} = 0,12 + 0,15 - 0,12 \cdot 0,15 = 0,252$$

$$P_{15} = 0,252 \cdot 0,1 = 0,0252$$

$$P_{16} = 0,2 + 0,15 - 0,2 \cdot 0,15 = 0,264$$

$$P_{18} = 0,0252 \cdot 0,264 = 0,0065$$

$$P_{19} = 0,0814 + 0,0065 - 0,0814 \cdot 0,0065 = 0,0873$$

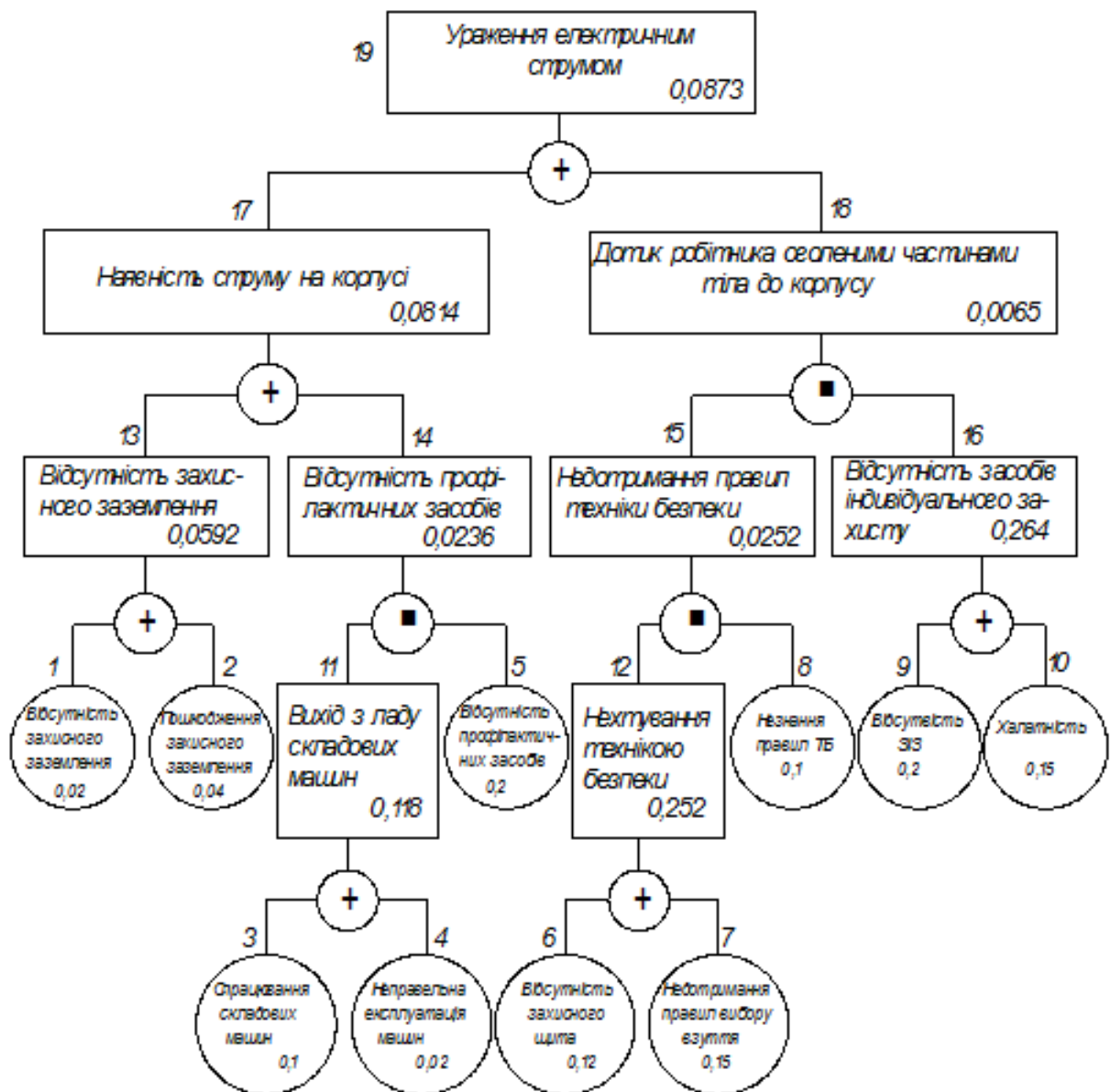


Рисунок 4.1 – Логіко-імітаційна модель процесу виникнення травми при технічному обслуговуванні асинхронного двигуна.

Отже, імовірність виникнення ураження електричним струмом, при наявності таких подій ($P_1 - P_{18}$) на кожну 100 одиниць аналогічного обладнання можна очікувати 8,73 аварій.

Такі моделі процесу виникнення аварій і травм допомагають зменшити імовірність виникнення небезпечних ситуацій.

4.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Значна кількість надзвичайних ситуацій при експлуатації асинхронних двигунів виникає внаслідок недосконалої конструкції самого двигуна, через недосконалість технологічних процесів та засобів для особистого захисту правників.

При експлуатації асинхронного двигуна, необхідно дотримуватись основних захисних заходів від шкідливих факторів, а саме:

- захист від шуму (спеціальні навушники та каски, вкладиші у вушну раковину, звукоізоляційні огорожувальні конструкції, звукопоглинаючі екрани тощо);
- захист від метеоумов (від переохолодження використовується теплий спецодяг, від атмосферних опадів для захисту голови використовуються каски, від впливу високої температури необхідно передбачити хорошу вентиляцію повітря та кондиціювання);
- захист від незадовільного освітлення (при роботі з асинхронним двигуном використовується природне і штучне освітлення. Штучне застосовується в темний час доби (згідно ПУЕ газорозрядні лампи типу ДРЛ, для аварійного освітлення – лампи розжарювання);
- захист від ураження електричним струмом (захисне заземлення та занулення, подвійна ізоляція, ізолюючі вставки, тощо).

Окрім цього усі електричні двигуни, апарати, трансформатори повинні мати відповідний ступінь вибухозахисту (згідно ГОСТ 14254, ПУЕ-84 і ДНАОП

0.00-1.32-01.). Також обладнання має мати відповідне маркування щодо його вибухозахисту та захисту оболонки.

Існують такі основні причини виникнення пожеж під час експлуатації асинхронних двигунів:

- електричного характеру (іскріння, пошкодженні контакти в місцях з'єднання, струми короткого замикання і перевантаження, електричні дуги);
- неелектричного характеру (недотримання працівниками правил технічної безпеки, правил експлуатації машини, несправність самої машини).

Якщо електричний двигун загорівся потрібно його негайно вимкнути, розібрати схему і ввімкнути заземлюючий ніж. Після цього можна приступати до гасіння за допомогою вогнегасника.

Також на підприємстві машини, які є несправними, частини електричного обладнання, які можуть бути небезпечними для людини, слід фарбувати у сигнальні кольори і наносити на них знаки безпеки. Для попередження про небезпеку застосовуються світлові, звукові сигналізатори.

РОЗДІЛ 5

ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ

Для проведення модернізації схеми електроприводу необхідно придбати перетворювач частоти, його вартість орієнтовно становить $K=10\,000$ грн.

Порахуємо амортизаційні відрахування:

$$A = 0,15 K,$$

$$A = 0,15 \cdot 10\,000 = 1500 \text{ грн.}$$

Порахуємо втрати потужності для двох випадків за формулою:

$$P' = P((1 - \eta)/\eta),$$

де η – величина коефіцієнта корисної дії електроприводу.

Коефіцієнт корисної дії (ККД) електроприводу визначається, як добуток ККД окремих елементів електроприводу.

Існуючий електропривод:

$$\eta_{\delta} = \eta_{AD} \eta_{ДПС} \eta_{ск1},$$

де η_{AD} , $\eta_{ДПС}$, $\eta_{ск1}$ – значення коефіцієнтів корисної дії відповідно асинхронного двигуна, двигуна постійного струму і системи керування без перетворювача частоти.

Проектована схема за системою ПЧ-АД:

$$\eta_{np} = \eta_{AD1} \eta_{AD2} \eta_{ск2},$$

де η_{AD1} , η_{AD2} , $\eta_{ск2}$ – значення коефіцієнтів корисної дії відповідно асинхронного двигуна першого, асинхронного двигуна другого і системи керування з перетворювачем частоти.

Розраховуємо значення обох систем електроприводу ККД:

$$\eta_{\delta} = 0,9 \cdot 0,8 \cdot 0,7 = 0,504;$$

$$\eta_{np} = 0,9 \cdot 0,8 \cdot 0,9 = 0,648.$$

Потужність існуючої схеми електроприводу та модернізованої схеми електроприводу $P_{\delta} = P_{\pi} = 15,8$ кВт. Втрати потужності для двох випадків:

$$P'_{\delta} = 15,8((1-0,504)/0,504) = 15,55 \text{ кВт},$$

$$P'_{np} = 15,8((1-0,648)/0,648) = 8,58 \text{ кВт}.$$

Тепер порахуємо втрати енергії, кВт·год:

$$\Delta P = P' \cdot K_3 \cdot F_{\delta},$$

де $F_{\delta} = 2\,000$ - річний час роботи електроприводу;

$K_3 = 0,8$ – коефіцієнт завантаження по потужності.

Порахуємо тепер втрати енергії для двох випадків електроприводу:

$$\Delta P_{\delta} = 15,55 \cdot 0,8 \cdot 2000 = 24\,880 \text{ кВт·год};$$

$$\Delta P_{np} = 8,58 \cdot 0,8 \cdot 2000 = 13\,728 \text{ кВт·год}.$$

Вартість втрати електроенергії визначається:

$$B_{втр} = \Delta P \cdot \epsilon,$$

де $\epsilon = 4,32$ грн. за кВт – роздрібна ціна за електроенергію.

Розраховуємо вартість втрати електроенергії:

$$B_{втр \delta} = 24\,880 \cdot 4,32 = 107\,482 \text{ грн};$$

$$B_{втр np} = 13\,728 \cdot 4,32 = 59\,305 \text{ грн}.$$

Орієнтовна вартість поточного ремонту B_p розраховують як 10% від капітальних.

$$B_p = 0,1 K,$$

$$B_p = 0,1 \cdot 10\,000 = 1\,000 \text{ грн}.$$

Витрати на обслуговування електрообладнання 10% від перерахованих витрат:

$$B_{обсл} = 0,1(A_{\epsilon} + B_{втр} + B_p),$$

$$B_{обсл} = 0,1(1\,500 + 59\,305 + 1\,000) = 6\,181 \text{ грн}.$$

Експлуатаційних витрати.

$$B_e = A_{\epsilon} + B_{втр} + B_p + B_{обсл},$$

$$B_e = 1\,500 + 59\,305 + 1000 + 6\,181 = 67\,986 \text{ грн.}$$

Значення повних витрат по проектуваному варіанту

$$\Pi_e = B_e + E_n \cdot K,$$

$$\Pi_e = 67\,986 + 0,12 \cdot 10\,000 = 69\,186 \text{ грн.}$$

Терміну окупності капітальних вкладень, обумовлених економією електроенергії від підвищенні коефіцієнта корисної дії системи електроприводу, враховуючи приведені витрати

$$T = \frac{K + \Pi_e}{B_{\text{втр б}} - B_{\text{втр пр}}},$$

$$T = \frac{10\,000 + 69\,186}{107\,482 - 59\,305} = 1,6 \text{ роки.}$$

Оскільки термін окупності ми отримали меншим п'яти років.

Таблиця 5.1 – Техніко-економічні показники

Показник	Величина	
	Базовий ел.прив.	Проект. ел.прив.
Капітальні вкладення, грн	-	10 000
ККД, %	50,4	64,8
Встановлена потужність, кВт	15,8	15,8
Втрати енергії, кВт год	24 880	13 728
Вартість втрат енергії, грн	107 482	59 305
Повні приведені розрахункові витрати, грн	-	69 186
Термін окупності, років	-	1,6

ВИСНОВКИ

1. У кваліфікаційній роботі розкрито питання будови та роботи потокових ліній, потокових ліній подрібнювачів кормів, кормоподрібнювачів, особливостей побудови та роботи електроприводів та автоматизації технологічних процесів.

2. Проаналізовано будову та роботу електроприводу комбікормовій установці УМК-Ф-2 та виявлено суттєвий недолік. А саме використання регульованого електроприводу постійного струму. Ми запропонували використати частотно-керований асинхронний електропривод. Така система має хороші регульовальні властивості, а також вищу надійність. Ми запропонували використати перетворювач частоти фірми Shneider Electric тип Altivar31.

3. Було побудовано модель модернізованої системи автоматизованого електроприводу комбікормової установи із електроприводом живильника на базі частотного перетворювача у математичному середовищі MATLAB/Simulink. Було проведено експериментальні дослідження його роботи на моделі при різних рівнях зміни навантаження. Отримано графіки перехідних процесів при стрибкоподібній зміні навантаження, які показали високу швидкодію системи стабілізації навантаження головного двигуна, що свідчить про доцільність проведення даної модернізації.

4. В роботі було розглянуто питання охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях, та змодельовано процеси виникнення аварійних ситуацій.

5. Було проведено порівняльний економічний розрахунок, у рамках якого визначили капітальні вкладення, повні приведені витрати, економію електроенергії та термін окупності, який фактично складає 1,6 року. Таким чином, ця модернізація є доцільною для впровадження. При цьому не враховано технологічний ефект від підвищення продуктивності подрібнювача в номінальному режимі роботи. Завдяки високій швидкодії з'являється можливість завантажувати електропривод до номінального навантаження, оскільки система автоматичного керування оперативно компенсує будь-які перевантаження.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Браславський І. Я., Ішматов З. Ш. Реалізація енергоощадних технологій на основі регульованих асинхронних електроприводів. Київ. Електроінформ. 2003 р. 15 с.
2. Видмиш А. А. Теорія електропривода. Курсове та дипломне проектування. Самостійна та індивідуальна робота студентів. Навчальний посібник. А. А. Видмиш, С. М. Бабій, В. В. Петрусь. Вінниця. ВНТУ, 2012 р. 96 с.
3. Видмиш А. А., Трошин О. А. Теорія електропривода. Лабораторний практикум. Навчальний посібник. Вінниця. ВДТУ, 2003 р. 135 с.
4. Винокурова Л. Е., Васильчук М. В. Основи охорони праці. Підручник для професійно-технічних закладів. Київ. Вікторія. 2001. 192 с.
5. Електромеханичні системи автоматичного керування та електроприводи: Навч.посібник. М. Г. Поповіч, О. Ю. Лозинський, В.Б.Клепиков та ін. Київ: Либідь, 2005 р. 680 с.
6. Жилдецький В. Ц.Основи охорони праці. Підручник. Львів. Афіша. 2005.
7. Жулай Є. Л., Зайцев Б. В., Лавріненко Ю. М., Марченко О. С., Войтюк Д. Г. Електропривод сільськогосподарських машин, агрегатів та поточкових ліній(за ред. Жулая Є.Л.). Київ. Вища освіта, 2001 р. 288 с.
8. Колб А. А. Теорія електроприводу. Навчальний посібник. Донецьк. Національний гірничий університет, 2006 р. 511 с.
9. Корчемний М., Федорейко В., Щербань В. Енергозбереження в агропромисловому комплексі. Тернопіль: Підручники і посібники, 2001 р.
10. Лавріненко Ю. М. Електропривод. Підручник. Київ: Ліра-К 2009 р. 504с.
11. Лехман С. Д., Рубльов В. І., Рябцев Б. І. Запобігання аварійності і травматизму у сільському господарстві. Київ. Урожай, 1993 р. 267 с.

12. Матвійчук В. А., Стаднік М. І., Рубаненко О. О. Електропривод виробничих машин і механізмів. Навчальний посібник з виконання курсової роботи. Вінниця. ВНАУ, 2016 р. 320 с.
13. Основи охорони праці. Купник М. П. і ін. Київ. Основа, 2000 р. 41с.
14. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів: ДНАОП 0.00 – 1.21 – 98. Офіц. вид. Київ: Держбуд України, 2001 р. 24 с.
15. Сегеда М.І Теоретичні основи електротехніки: Навч.посіб. Тернопіль, ТДУ, 2003 р. 350 с.
16. Шестеренко В. Є. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств. Вінниця: Нова книга, 2004. 656 с.
17. Ярошенко Л. В. Лабораторний практикум з електропривода та електрообладнання: Навчальний посібник. Вінниця. РВВ ВНАУ, 2010 р. 192 с.