

Міністерство освіти і науки України

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(назва факультету)

Кафедра електричної інженерії

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(освітній ступінь (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему: **Розробка системи керування електроприводом
для сільськогосподарської агрофірми**

Виконав: студент 4 курсу, групи ЕТ-41

спеціальності 141- Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

Гнатів Р. М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Оробчук Б. Я.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Коваль В. П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Коваль В. П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент
(підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль, 2026

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра Електричної інженерії
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Коваль В. П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«27» січня 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

студенту ГНАТІВ Ростиславу Михайловичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Розробка системи керування електроприводом
для сільськогосподарської агрофірми

Керівник роботи: Оробчук Богдан Ярославович, к.т.н, доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «31» грудня 2025 року № 4/7-1162

2. Термін подання студентом завершеної роботи: червень 2026 року

3. Вихідні дані до роботи: Типова схема електропостачання відгодівельних комплексів, графіки навантаження та споживання приміщень, графіки водопостачання, схеми електропостачання від зовнішньої мережі, схеми електропостачання внутрішніх мереж

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

1. Аналітичний розділ

2. Проектно-конструкторський розділ

3. Розрахунковий розділ

4. Безпека життєдіяльності та основи охорони праці

Загальні висновки

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

1. Розміщення об'єктів з нанесенням електричної та водогінної мереж

2. Вихідні дані для електромереж напругою 0,4 кВ і 0,38 кВ

3. Схеми для розрахунку струму короткого замикання та релейного захисту
електричної мережі 10 кВ

4. Схема електричних з'єднань КТП 10/0,4 кВ потужністю 100 кВ·А

5. Електрична схема керування гноетранспортером ТСН-160

6. Схема захисного заземлення і зони одиночного блискавковідводу

7. Загальні висновки до роботи

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності та основи хорони праці	Гурик О. Я., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання 12 січня 2026 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	15.02.2026	
2	Аналітичний розділ	28.02.2026	
3	Розрахунковий розділ	31.03.2026	
4	Проектно-конструкторський розділ	30.04.2026	
5	Безпека життєдіяльності та основи охорони праці	01.06.2026	
6	Висновки	10.06.2026	
7	Оформлення пояснювальної записки	15.06.2026	
8	Оформлення графічної частини	15.06.2026	

Студент

(підпис)

Гнатів Р. М.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Оробчук Б. Я.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Гнатів Ростислав Михайлович. Розробка системи керування електроприводом для сільськогосподарської агрофірми.

Стор.– 71; рис. - 4; табл. - 10; слайдів - 12; джерел - 32; додатків - 0.

Кваліфікаційна робота складається з 4 розділів і 15 слайдів графічної частини.

Проаналізовано виробничу діяльність відгодівельного комплексу сільськогосподарської агрофірми.

Розроблено проєкт енергозабезпечення відгодівельного комплексу, виконано розрахунок потужності, навантаження ТП 10/0,4 кВт, вибрано перерізи проводів, підібрано трансформаторну підстанцію, розраховано аварійні режими.

Розроблено схему автоматизації гноетранспортера ТСН-160, яка забезпечує тепловий захист двигунів.

Пророблено питання охорони праці та безпеки життєдіяльності за тематикою кваліфікаційної роботи.

Впровадження у виробництво автоматизованої системи керування технологічним процесом видалення гною дозволить сільськогосподарському підприємству щорічно економити кошти на електроенергії.

Ключові слова: електропостачання, потужність, напруга, струм короткого замикання, трансформатор, вимикач, схема автоматизації, центр електричних навантажень.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	11
1.1 Роль електроприводу в сільському господарстві країни	11
1.2 Особливості використання електроприводу в сільському господарстві	13
1.3 Перспективні напрямки розвитку електроприводу сільськогосподарського устаткування	17
1.4 Висновки до розділу 1	20
2 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ	21
2.1 Аналіз системи електропостачання	21
2.2 Аналіз системи водопостачання	22
2.3 Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи	23
2.4 Розрахунок електропостачання об'єкта	24
2.5 Розрахунок навантаження електричних вузлів	25
2.6 Розміщення трансформаторної підстанції та розрахунок навантажень електричних ліній	27
2.7 Вибір трансформатора для підстанції напругою 10/0,4 кВ	29
2.8 Відхилення напруги з урахуванням регулювання	32
2.9 Розрахунок системи водопостачання	34
2.10 Висновки до розділу 2	36
3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	37
3.1 Проектування мережі напругою 0,4 кВ	37
3.2 Визначення втрат електричної енергії в електромережі	40
3.3 Умови вибору трансформаторної підстанції та дослідження аварійних режимів	41
3.4 Визначення струму короткого замикання та захист при аварійних режимах	43
3.5 Розрахунок релейного захисту проектованої системи	46

3.6 Розробка схеми автоматизації гноєтранспортера	51
3.7 Вибір електроприводу гноєтранспортера	52
3.8 Розробка схеми керування транспортером	56
3.9 Висновки до розділу 3	58
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	59
4.1 Розрахунок захисного заземлення	59
4.2 Розрахунок грозозахисту	61
4.3 Дослідження оцінки стійкості роботи проєктованого об'єкта	63
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	67
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	68

ВСТУП

В сучасних економічних умовах ринкових відносин при випуску продукції тваринництва на першому плані розглядаються такі показники випуску як якість продукції і високопродуктивна праця при низькій її собівартості, ощадному використанні трудових матеріальних та енергетичних ресурсів. Цих заходів можна добитися раціональною організацією і оптимальним управлінням технологічними виробничими процесами [1].

Так як в аграрному секторі майже всі процеси електрифіковані, тому виникає питання раціонального використання електричної енергії. В цьому контексті постає питання, як вирішити задачу раціонального і надійного розподілу електричної енергії на виробничих потужностях, що на сьогодні виступають головними споживачами енергії в нашій державі. Такі місії мають складнощі при постійному зростанні вимог до якості електричної енергії і надійності її, передусім на виробництвах, що мають високий рівень автоматизації. Відповідно, необхідно відводити значно більше уваги комплексному підходу при підвищенні параметрів якості напруги. Потрібно також проаналізувати стан автоматизації технологічних процесів в господарствах, дію струмових перетворювачів на режими функціонування електромереж, поганий вплив несинусоїдальної величини напруги на роботу електричних приймачів та електролічильників. Також варто зменшити складові вищих гармонік, розробити комплексний підхід до компенсації реактивної потужності з оптимальним перерозподілом її потоків [2].

Електропостачання на селі має свої особливості, зокрема, питання відстані. Сільськогосподарські підприємства часто знаходяться далеко від великих міст та потужних підстанцій, тобто лінії електропередачі можуть бути довгими, а напруга на їхніх кінцях не завжди є стабільною. Також варто врахувати і нерівномірність споживання, оскільки в залежності від сезону, часу доби та виконуваних робіт потреба в електричній енергії може сильно змінюватися. Наприклад, під час посівної чи збирання урожаю споживання суттєво зростає.

Найпоширеніший варіант доставки електричної енергії до сільськогоспо-

дарських підприємств – це централізовані мережі, коли енергію отримують з великих електростанцій високовольтними лініями та трансформаторними підстанціями. Це є доволі зручний варіант, але, як ми вже згадували, має деякі свої нюанси. Варто відмітити, що сучасне сільське господарство все частіше починає звертати увагу у сторну альтернативних джерел і сонячні панелі на дахах корівників та вітряки на полях уже стають реальністю сьогодення. Такі джерела дозволяють доволі суттєво знизити витрати на електроенергію, зробити підприємство менш залежним від зовнішніх мереж, що особливо відчутно у випадку аварій чи перебоїв.

Енергетика сучасного агропромислового комплексу є одним із провідних складових стабільного розвитку сільського господарства. Теперішні сільськогосподарські підприємства володіють високою енергетичною ємністю технологічних процесів, що обумовлюється впровадженням обширного ряду електромеханічного обладнання, починаючи з насосних та вентиляційних систем і закінчуючи транспортерами, млинами, кормовими роздавачами, доїльними установками та системи кліматичного контролю. Згідно даних Міністерства сільського господарства України електричні приводи різного призначення становлять біля 75% від загального енергоспоживання в сільськогосподарському секторі. В таких умовах підвищення енергетичної ефективності електричних приводів стає однією із базових задач технічного переоснащення аграрного сектора. Проблема зводиться до того, що основна маса електричних двигунів, що знаходяться в експлуатації, працюють з неповним завантаженням, низьким коефіцієнтом потужності і відсутності пристроїв адаптивного керування. Ці фактори викликають значні втрати активної та реактивної енергії, прискорене зношення устаткування, підвищення витрат при експлуатації, зниження загальної енергетичної ефективності підприємств. Проведені сучасні дослідження доводять, що тільки при впровадженні частотних регульованих електроприводів та раціоналізації режимів роботи асинхронних двигунів можна отримати менші енерговитрати та потенційну економію електричної енергії, що може становити біля 0,25% від наявного енергоспоживання сільгоспідприємства. Але на практиці впровадження таких задач ускладнюється наступними

факторами: браком комплексних схем енергоефективності електричних приводів при змінних навантаженнях, браком моделей інтелектуального моніторингу показників роботи; обмеженою інтеграцією з цифровими системами управління виробництвом [3].

В Україні відбувається процес цілеспрямованого технічного переозброєння сільськогосподарської галузі, замінюється морально старе та непродуктивне устаткування на якісніше та надійніше згідно відповідних вимог сучасного узагальненого виробництва.

Розвиток сільськогосподарської техніки нерозривно пов'язаний із впровадженням автоматизованого електричного приводу і щорічно покращується якість виробництва асинхронних електродвигунів. Але варто зауважити, що у сільському господарстві їх експлуатаційна надійність знаходиться ще на недостатньому рівні [4].

Відмови електричних двигунів викликають порушення в технологічних процесах, що зумовлює значні втрати для народного господарства внаслідок псування продукції, зменшення продуктивності тварин, неефективного використання енергетичних засобів і ін. Крім того, при відновленні електричних двигунів доводиться витратити велику кількість матеріалів (електротехнічної сталі, дроту для обмоток, ізоляційного матеріалу), електричної енергії, робочого часу. Проведений аналіз відмов електричних двигунів засвідчив, що попри важкі умови роботи в сільському господарстві, значну кількість електричних двигунів можна було б зберегти при виборі надійного та правильного захисту.

Тому проблема підвищення експлуатаційної надійності електричних двигунів в агропромисловому секторі через удосконалення їх захисту є актуальною та має доволі значне народногосподарське значення.

Підсумовуючи викладений вище матеріал, можна констатувати, що проблема впровадження електрифікації та автоматизації технологічних процесів в сільськогосподарському секторі на сьогодні є надзвичайно важливою, а тематика кваліфікаційної роботи *«Розробка системи керування електроприводом для сільськогосподарської фірми»* - актуальною.

Об'єктом дослідження є електропривід в сільськогосподарському технологічному процесі.

Метою кваліфікаційної роботи є системи керування електроприводом для сільськогосподарської фірми із забезпеченням зменшення витрат електроенергії та її якості згідно встановлених стандартів.

Для того, що виконати поставлену в кваліфікаційній роботі мету, було вирішено наступні завдання:

- виконано розміщення об'єктів із нанесенням електричної та водогінної мереж;
- розроблено схеми для розрахунку струму короткого замикання та релейного захисту;
- розроблено схему електричних з'єднань комплектної трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ потужністю 100 кВ·А;
- розроблено електричну схему керування гноетранспортером ТСН-160;
- розроблено схема захисного заземлення і зони одиночного блискавковідводу.

Практична новизна кваліфікаційної роботи полягає в запропонованому ефективному варіанті системи керування електроприводом для сільськогосподарської фірми із впровадженням технологічних автоматизованих процесів, а також забезпечення параметрів якісної електричної енергії відповідно до встановлених стандартів та вимог енергетичної ефективності і функціональності.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Роль електроприводу в сільському господарстві країни

Сільське господарство, як жодна інша галузь, характеризується широким спектром різноманітного обладнання, що має відмінності у видах і параметрах рухомих виконавчих органів, режимів та умов роботи, приводними характеристиками. Широке розмаїття машин багато в чому визначає різновиди приводів – механічного, пневматичного, гідравлічного, електричного. При цьому використання електроприводу, зокрема, автоматизованого та регульованого, постійно зростає через відомі його переваги. Отже, знаннями з електроприводу в рамках необхідного повинні володіти не тільки фахівці електрики, але і механіки [5].

Електропривод у сільському господарстві багато в чому визначає технічну базу процесів механізації та автоматизації виробництва. Його широко застосовують на тваринницьких фермах та комплексах для приводу в рух виконавчих механізмів водопостачання, приготування та роздачі кормів, доїння корів, стрижки овець, вентиляції тваринницьких приміщень, а також на зернотоках, у ремонтних майстернях тощо.

Варто зазначити, що електропостачання в сільському господарстві представляє собою цілий світ дротів, електродвигунів та розумних рішень, які роблять функціонування на селі набагато простішим, ефективнішим та прибутковішим. Електрифікація на сучасному сільгоспідприємстві починається від простих насосів для поливу до складних систем мікроклімату в теплицях та автоматизованих ліній для доїння і представляє собою своєрідну кров, яка живить весь цей величезний організм.

Перед агропромисловим комплексом поставлено завдання для забезпечити населення країни якісними продуктами та підвищення її ролі світовому ринку продовольства. Вирішення поставлених завдань лежить на шляхах переходу до інтенсивних методів виробництва, комплексної механізації та електрифікації технологічних процесів із впровадженням сучасного обладнання. При цьому широке використання автоматизованого електроприводу дозволить підвищити продуктивність праці, покращити якість за рахунок вищого ступеня ке-

рованості технологічними процесами. Сказане однаково характерне для тваринництва та птахівництва, післязбиральної обробки зерна та тепличних комплексів, переробки молока, приготування та роздачі кормів, водопостачання, систем забезпечення мікроклімату приміщень. У польових роботах спостерігається використання систем електроприводу, що працюють від встановлених на борту машин джерел електроенергії. Комплектація електроприводів у сільському господарстві провадиться стандартними блоками: електродвигун, редуктор, перетворювач параметрів електроенергії, алгоритми та схеми управління.

Специфіка електроприводів у сільському господарстві визначається, насамперед, різноманітністю приводних характеристик, режимами та умовами роботи (довкілля, якість електроенергії). Отже, вибору систем електроприводу з метою забезпечення необхідних характеристик слід приділяти особливу увагу.

Основним типом електроприводу в сільському господарстві як нерегульованого, так і регульованого є привід змінного струму на основі короткозамкнутого асинхронного двигуна. Нерегульований електривід широко використовується в насосних та вентиляторних установках, що працюють у тривалому режимі з незмінною подачею, багатьох вантажопідйомних машинах та транспортерах, пилорамах, молочних сепараторах, різних сільськогосподарських машинах із вібрмеханізмами. При цьому пуск здійснюється прямим включенням в мережу або з використанням пристроїв плавного пуску на основі тиристорних регуляторів напруги зниження динамічних навантажень і при недостатній потужності мережі [6].

Регульований привід по системі «асинхронний двигун — перетворювач частоти» все ширше впроваджується в системах водо і тепlopостачання, повітродувках, димососах та інших механізмах при роботі зі змінною продуктивністю. Такі системи дозволяють вирішити питання регулювання швидкості, пуску з мінімальними втратами, будучи потужним енерго- і ресурсозберігаючим засобом. Кормоприготувальні машини обладнуються також регульованим приводом для зниження енергоємності кінцевого продукту. Альтернативним варіантом є багатошвидкісні асинхронні двигуни з перемиканням пари полюсів. В якості серводвигунів мобільних машин у польових умовах вико-

ристовуються вентильні двигуни (синхронний двигун на основі постійних магнітів з вентильним комутатором). У деревообробній сфері широко застосовуються асинхронні електроприводи (токарні верстати, фрезерні, рубанки, фуганки та ін.), як нерегульовані, так і регульовані - за системою ПЧ-АТ, а при малих потужностях (ручний інструмент) - однофазні колекторні машини. Для теплиць та тваринницьких комплексів перспективними є монорейкові транспортні засоби, у тому числі з лінійним асинхронним приводом [7].

Загалом широке застосування автоматизованого електроприводу у сільському господарстві дозволить підвищити продуктивність праці та конкурентоспроможність вітчизняної продукції.

1.2 Особливості використання електроприводу в сільському господарстві

Електроприводом називається машинний пристрій, що перетворює електричну енергію на механічну і складається з електричного двигуна, механізму передачі, обладнання управління та захисту. Електропривод забезпечує керування перетвореною механічною енергією. Електропривод деяких типів включає перетворювальні пристрої: випрямлячі, перетворювачі частоти, інвертори.

Електропривод, що застосовується у виробничих процесах, ділять на три основні типи:

1) груповий - у ньому від 1-го електричного двигуна при допомозі однієї або кількох трансмісій рух передається групі робочих машин (через технічну недосконалість його застосовують обмежено);

2) одиночний - за допомогою окремого електродвигуна приводиться в рух одна машина або виробничий механізм;

3) багаторуховий - для приводу робочих органів однієї робочої машини використовуються окремі електродвигуни.

З розвитком виробництва та його технічної оснащеності в класифікацію електроприводів запроваджено додаткові характеристики. Так, розрізняють

простий одиночний та індивідуально-одиночний приводи. У простому електродвигун з'єднується з робочою машиною плоскою або клинопасової передачею через редуктор або безпосередньо за допомогою муфт. Такий електропривод застосований на подрібнювачах кормів, дробарках кормів та ін.

В індивідуально-одиночному приводі передбачено конструктивний зв'язок деталей електродвигуна з робочою машиною (машинка для стрижки овець з вбудованим електродвигуном, електродріль тощо).

Багаторуховий привід ділять на простий, індивідуально-багаторуховий і агрегатований. У простому багаторуховому приводі електродвигун з робочими органами машини з'єднується безпосередньо з машиною, без конструктивних змін двигуна, тобто за допомогою муфт, ремінних передач і редукторів. В індивідуально-багаторуховому приводі деталі електродвигуна служать одночасно і деталями робочих органів машин (ролики прокатного стану, привід валиків, що очисують, в бавовняній машині та ін.). Агрегатований багаторуховий електропривод забезпечує роботу узгоджено діючої системи робочих машин, об'єднаних в загальну потокову (технологічну) лінію, наприклад, зерноочисно-сушильні комплекси, цехи для приготування концентрованих кормів.

Електричні приводи можуть бути класифіковані також за умовами застосування (стаціонарні і пересувні), спосіб управління (автоматизовані, частково автоматизовані і неавтоматизовані), кількості швидкостей (одно- і багатошвидкісні), роду використовуваної електричної енергії (постійний струм, одно- і трифазний) та ін.

Розвитку електроприводу та різноманітності його типів багато в чому сприяють наступні переваги:

- швидкий та простий пуск електродвигуна, завдяки якому легко здійснити часті пуски та зупинки машини;
- можливість точного обліку витрати енергії на окремі виробничі операції, що дозволяє оцінювати та порівнювати вплив цієї складової на вартість продукції, а також порівнювати між собою робочі машини різних типів;
- здатність електродвигуна витримувати значні навантаження;

- можливість роботи електродвигуна у воді, безповітряному просторі та інших середовищах, де інші двигуни працювати не можуть;
- більш тривалий термін служби;
- менші габаритні розміри та металомісткість;
- просте обслуговування; надійність експлуатації;
- при використанні електроприводу легко автоматизувати роботу як окремих машин, так і всього виробничого процесу в цілому;

можливість використання електричної машини як у руховому, так і гальмівному (генераторному) режимі;

- можливість виготовлення електроприводу практично будь-якої потужності (від часток вата до сотень і тисяч кіловат), на різну частоту обертання;
- можливість конструктивного спрощення робочої машини, її вдосконалення;
- економія обтиральних та інших матеріалів, чистота у приміщенні, покращення умов праці.

Сільськогосподарський електропривод тісно пов'язаний із життєдіяльністю біологічних об'єктів і від якості його роботи багато в чому залежить продуктивність даного виробництва, а ціна продукції може значно перевищувати вартість обладнання.

В даний час без електричного приводу не зможуть відбуватися виробничі процеси в рослинництві, тваринництві, птахівництві, зрошенні, післяприбиральній обробці та переробці сільськогосподарської продукції. Електропривод має безперечні пріоритети перед іншими типами приводів.

Ряд електричних двигунів промислового виконання не може використовуватися в сільськогосподарському виробництві через значні перепади температур, велику вологість, хімічно агресивні середовища, суттєві коливання напруги в мережі, великі пускові маси та ряд інших причин. Тому в сільському господарстві застосовуються асинхронні електродвигуни єдиної серії А2 та А02 для роботи в сільськогосподарських приміщеннях та на відкритому повітрі. Робота цих двигунів можлива за таких умов: температура навколишнього середовища від -450 до +450 С; підвищена вологість повітря із вмістом агресивних

газів; підвищена запиленість повітря; значні відхилення напруги мережі живлення від номінального значення. У таких умовах електродвигуни стійкі до дій дезінфікуючих розчинів та аерозолів. Для роботи у вибухонебезпечному середовищі ці електродвигуни не придатні [8].

Складовою частиною електроприводу є апаратура управління та захисту електродвигунів, яка використовується для запуску та зупинки електродвигуна, для зміни напрямку обертання його валу та його частоти, для забезпечення згідно вимог технологічного процесу роботи електричного двигуна у визначених режимах і захисту його від аномального режиму роботи.

Обслуговуючий персонал приводить в дію апаратуру ручного управління, до якої відносяться автоматичні вимикачі вмикачі, кнопкові станції, рубильники та перемикачі, пускові резистори і магнітні пускачі.

Релейна контакторна апаратура отримала найбільше поширення при автоматичному керуванні електричним приводом, в якій використовуються різні типи реле, кінцеві і колійні вимикачі, контактори та магнітні пускачі з кнопковими станціями. Набувають поширення безконтактні способи керування електроприводами, які в основі своєї роботи використовують тиристори та симістори.

Для сільськогосподарського водопостачання набули поширення баштові та безбаштові автоматичні водокачки, що використовують підземні води. Основними частинами баштової водокачки є електродвигун, що приводить у дію водяний насос, автоматичний вимикач, магнітний пускач, реле рівня, електродний датчик рівнів (верхнього та нижнього рівнів). Безбаштові водокачки з повітряно-водяним котлом керуються за допомогою реле тиску, що реагує на зміну тиску повітря всередині котла. Водокачки комплектують занурювальними відцентровими електронасосними агрегатами. Особливість занурювальних електронасосів у тому, що приводний електродвигун безпосередньо з'єднаний із робочим колесом насоса. Обмотка статора електродвигуна виконується із спеціальною ізоляцією, яка допускає роботу електродвигуна у воді [9].

Електропривод застосовують для вентиляції різних тваринницьких та птахівничих приміщень, для зберігання та сушіння сільськогосподарських

продуктів. Спеціально розроблені низьконапірні осьові вентилятори використовуються з електродвигунами типу Д80А4П хімостійкого виконання, частоту обертання яких можна ступінчасто регулювати в межах 5:1, змінюючи напругу, що підводиться від 70 до 380В [10].

Корми на тваринницьких та птахівницьких фермах готують у кормоцехах та кормокухнях, використовуючи для цього спеціальні машини та агрегати, що приводяться в дію трифазними електродвигунами.

У комплексі виробничих процесів на тваринницьких фермах витрати на прибирання гною і посліду становлять понад 30%. Тому електромеханізація збирання гною має високу ефективність.

Широко використовується електропривод для післязбирального очищення та штучного сушіння зерна в стаціонарних зерноочисних сушильних пунктах. Для злагодженої роботи поточкових ліній агрегати та комплекси добре електрифіковані та автоматизовані.

1.3 Перспективні напрямки розвитку електроприводу сільськогосподарського устаткування

Електропривод вентиляційних установок. Вентиляційні установки застосовують для вентиляції різних тваринницьких та птахівничих приміщень, для зберігання та сушіння сільськогосподарських продуктів. Вентиляційні установки відрізняються способами створення тяги: з природною тягою, з механічним стимулюванням тяги та комбінованої дії. Механічні установки поділяють на такі типи [11]:

- на припливні, витяжні та комбіновані;
- без підігріву повітря та з підігрівом від парових, водяних та електричних калориферів.

Припливна система вентиляції з природною тягою рахунок швидкісного натиску вітру, а витяжна система з природною тягою – за рахунок різниці температур усередині та зовні приміщення.

Нормальна продуктивність тварин на фермах та комплексах забезпечується у тих випадках, коли всередині приміщень температура, значення віднос-

ної вологості повітря, величина концентрації вмісту вуглекислого газу, аміаку та сірководню не виходять за допустимі межі. У зимовий період, коли тепловиділень тварин недостатньо для поповнення втрат тепла, повітря припливу підігрівається трубчастими електронагрівачами потужністю 15 кВт.

Електропривод машин для приготування та роздачі кормів на тваринницьких фермах. Корми на тваринницьких та птахівницьких фермах готують у кормоцехах та кормокухнях, використовуючи для цього спеціальні машини та агрегати, що приводять у дію трифазними електродвигунами. Електродвигуни та машини з'єднують між собою плоско- та клинопасовими передачами, муфтами та редукторами. Для подрібнення кормових злаків, качанів кукурудзи, макухи, зелених кормів, коренеклубнеплодів використовується універсальна дробарка КДУ-2,0, яка приводиться в дію електродвигуном потужністю 30 кВт. На валу електродвигуна встановлена фрикційна відцентрова муфта, що автоматично включає дробарку, коли частота обертання валу електродвигуна досягає $700 \dots 800 \text{ хв}^{-1}$. Контроль за завантаженням дробарки здійснюється за допомогою амперметра-індикатора [11].

Подрібнювачі кормів застосовують для подрібнення коренеплодів, зеленої маси, силосу та грубих кормів з отриманням двох фракцій подрібненої маси: стружки та дрібної мезги. Привід машини здійснюється стандартним електродвигуном потужністю 22 кВт.

Електропривод гноєприбиральних установок. У комплексі виробничих процесів на тваринницьких фермах витрати на прибирання гною і посліду становлять понад 30%. Тому електромеханізація збирання гною має високу ефективність.

Для збирання гною застосовують різні електромеханізовані установки та конвеєри. Найбільший інтерес з погляду електроприводу має скребковий транспортер типу ТСН-3,0Б. Його застосовують для видалення гною з тваринницьких приміщень та завантаження транспортних засобів. Продуктивність установки $4 \dots 5,5 \text{ т/год}$. Ця установка складається з двох самостійних горизонтального та похилого транспортерів, які приводяться в дію електродвигунами потужністю 4 та 1,5 кВт та апаратури управління [11].

Автоматизація процесів післязбиральної обробки зерна. Згідно з розробленою та прийнятою технологією після комбайнового збирання весь отриманий урожай зернових, олійних культур, бобових та насіння трав необхідно очистити, а більше половини цього урожаю необхідно штучно підсушити.

Таку необхідність обробки злакових після збирання урожаю (очищення, сортування і сушіння) можна пояснити тим, що отримана з-під комбайна зернова маса разом із зерном включає в себе до 30% бур'янів і до 5% домішок соломистих, а вологість зерна відхиляється від допустимої норми до 15% в залежності від кліматичної зони, а іноді може становити і більше 30%.

Для очищення зерна після збирання урожаю та його штучного сушіння використовують стаціонарне зерноочисне сушильне обладнання.

Для цих пунктів призначені типу КЗС продуктивністю 10 ... 100 т / год і вентилявані бункери місткістю до 100 т. Для очищення та сортування зернового вороху використовують повітрорешітні та трієрні машини, а сушать зерно в зерносушарках шахтного, камерного та барабанного типів та в установках активного вентилявання. Кожен агрегат і комплекс, крім зазначених машин, містить набір транспортерів та норій, зернопроводи та накопичувальні ємності, пристрої для зважування, завантаження та розвантаження автотранспорту, повітряні циклони, щити та пульти керування машинами. Всі машини узгоджені за продуктивністю та об'єднані в єдину потокову лінію, що обслуговується одним-двома операторами [11].

Об'єднання машин в потокову лінію та їх автоматизація дозволяють підвищити продуктивність праці в 7...10 разів і знизити собівартість обробки зерна в 2...3 рази порівняно з використанням цих машин у розрізненому вигляді. Для злагодженої роботи поточкових ліній агрегати та комплекси добре електрифіковані та автоматизовані. Комплекси типу КЗС мають від 22 до 34 електродвигунів сумарною встановленою потужністю від 65 до 150 кВт.

Із засобів автоматики для контролю та регулювання технологічних параметрів на агрегатах та комплексах використовуються наступні прилади [4]:

- давачі рівня сипучих матеріалів;

- давачі температури нагрівання теплоносія на вході та виході зерносушарки;
- давачі температури зерна в сушарках та бункерах активного вентилявання;
- вологоміри для визначення вологості повітря та зерна;
- витратоміри зерна;
- прилади контролю полум'я у топці;
- різноманітні реле;
- електромагнітні клапани;
- кінцеві вимикачі.

На базі перерахованих засобів виготовлено станції та пульти та автоматичного керування обладнанням та комплексами обробки зерна після збирання урожаю.

Результати показали, що діюча система автоматичного моніторингу та віддаленого керування машинами не повністю задовольняє вимогам післязбиральної обробки зерна на агрегатах та комплексах та має суттєві резерви. Оптимізація система автоматичного керування всіма технологічними процесами дозволить підвищити продуктивність машин на 20...25%, знизити простий машин у 4...5 разів, зменшити витрати праці в 2...3 рази та забезпечити задану якість обробленого зерна.

1.4 Висновки до розділу 1

1. Розглянуто роль електроприводу в сільському господарстві країни, широке застосування якого дозволить підвищити продуктивність праці та конкурентоспроможність вітчизняної продукції.

2. Електропривод має суттєві переваги перед іншими видами приводів: екологічність та гігієнічність, швидкий та простий пуск електродвигуна, здатність витримувати великі навантаження, можливість працювати у воді та безповітряному просторі, великий термін служби, невеликі габарити.

3. Електроприводи є простими в обслуговуванні та надійними в експлуатації.

2 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ

2.1 Аналіз системи електропостачання

Джерелом електропостачання ТОВ «Язловецький відгодівельний комплекс», що знаходиться в с. Язлівці Бучацької територіальної громади Тернопільської області, є ПС «Новосілка» 10/0,4 кВ потужністю 100 кВ·А, яка живиться від лінії 10 кВ, прокладеної від Бучацького РЕМ. Джерело резервного живлення відсутнє. За лінію електропередач відповідає Бучацький РЕМ, який проводить технічні огляди і планові ремонти лінії на території господарства.

Стан повітряних ліній вважається придатним до експлуатації. Обриви відбуваються лише при сильних грозах. Щодо кабельних ліній, то в основному вони прокладені в трубах або в землі на глибині 0,65-0,85 м. В особливо небезпечних місцях кабелі розміщені під бетонними плитами з метою запобігання від механічних пошкоджень.

Живлення споживачів здійснюється від мережі напругою 0,38 кВ. Схема електропостачання наведена на слайдах графічної частини роботи. Фідер А живить корівник, гараж, їдальню, майстерню і адміністративну будівлю. Фідер Б живить корівник, кормоцех і водонасосну установку. Фідер В живить корівник, телятник, млин і будинок тваринників.

Лінії мережі 0,38 кВ прокладені проводами марок А-25, А-35 і А-50.

Захист споживачів низької напруги здійснюється двоступінчато: перша ступінь виконана у формі струмової відсічки, а друга – має схему максимального струмового захисту із самостійною витримкою часу.

Значна кількість електродвигунів в господарстві захищена від перегрівання і асиметрії за допомогою теплових реле РТЛ. Пуск двигунів здійснюється за допомогою кнопкових постів, автоматичних вимикачів марок ВА51Г та АП50Б та електромагнітних пускачів серій ПМЛ, ПМА та ПМЕ.

Освітлення в приміщеннях здійснюється переважно світильниками НСП. В корівниках і телятнику освітлювальна магістраль виконана за допомогою тросу. Всі інші проводи і кабелі прокладені в трубах, під штукатуркою або під бетонними перекриттями.

В господарстві кілька останніх років не проводиться ніяких енергозберігаючих заходів через відсутність коштів.

Для гноєвидалення використовуються гноетранспортери ТСН-160, які завантажують гній прямо на транспортні засоби. Доїння проводиться доїльними установками УДА-8А (Тандем) з встановленою потужністю 20,2 кВт. Молоко охолоджується за допомогою водохолодильних установок АВ-30 з встановленою потужністю електродвигунів 9 кВт. Корм роздають механізованим способом. Вентиляція приміщень проводиться припливно-витяжними установками ПВУ-6М, встановлена потужність яких без нагрівних елементів становить 16,5 кВт. Воду в господарстві нагрівають водонагрівником марки САЗС-400/90, місткість якого становить 400 л, а встановлена потужність - 12,37 кВт.

В кормоцеху знаходиться наступне обладнання:

- два бункери-живильники грубих кормів БДК-Ф-70-20;
- дозатор стеблистих кормів ДСК-30;
- транспортер коренебульбоплодів ТК-5,0Б;
- подрібнювач-каменевловлювач ИКМ-5;
- дозатор соковитих кормів ДС-15;
- бункер-живильник концентрованих кормів БСК-10;
- дозатор концентрованих кормів ДК-10;
- стрічковий конвеєр ТЛ-65;
- змішувач С-30;
- вивантажувальний конвеєр ТС-40М.

В майстерні господарства знаходиться один токарний, два свердлильних і один фрезерний верстати. Також є верстат для розточувально-шліфувальних робіт циліндрів ДВЗ.

2.2 Аналіз системи водопостачання

Схема водогінної мережі господарства наведена на слайдах графічної частини роботи. Джерелом водопостачання є свердловина, з якої вода подається насосом марки ЕЦВ до накопичувального резервуара (башти Рожнов-

ського), об'єм якого складає 40 м³, а даліше - стальними трубопроводами до всіх об'єктів господарства.

Стан водогінної мережі на теперішній час є незадовільним, оскільки трубопроводам потрібно проводити ремонт, а в більшості випадків і заміну. Напування тварин здійснюється автонапувалками типу АП.

Потужність електродвигуна глибинного насоса рівна 12 кВт і захищений він лише автоматичним вимикачем марки ВА51Г. Середньодобова витрата води господарстві становить 66 м³.

2.3 Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи

Економія електричної енергії в сільськогосподарському секторі представляє собою дуже важливу задачу. Електричну енергію слід економити як в споживчих, так і в електропостачальних установках, адже економія 1% енергії складає більше 0,45 млрд. кВт·год на рік. В сільських електропостачальних установках слід систематично контролювати завантаження трансформаторних підстанцій. Перевантажені чи недовантажені трансформатори потрібно, по можливості, замінити. Потрібно слідкувати за рівномірністю завантаження фаз в точках приєднання найбільш відповідальних споживачів [12].

Щоб досягти цього, слід ширше впроваджувати засоби автоматизації для керування роботою установок, зокрема гноетранспортерів, оскільки гноєвидалення дуже є енергоємним процесом.

При впровадженні автоматизованої схеми керування гноетранспортером ТСН-160 зменшиться витрата електроенергії, підвищиться строк служби електродвигунів, а отже, і зменшиться затрати на виробництво тваринницької продукції.

При експлуатації електродвигунів їх необхідно підбирати так, щоб їх тип і потужність суворо відповідали сільськогосподарській машині. Двигуни, в яких середнє навантаження не перевищує 45% їх номінальної потужності, необхідно обов'язково замінити. Щоб виключити роботу сільськогосподарських машин з електроприводом в холосту, а також через неправильне розміщення пускової апаратури, останню розміщують поблизу працюючої машини [13].

Своєчасний і високоякісний ремонт та технічне обслуговування також сприяють зменшенню втрат електроенергії. Одна із важливих умов ефективного застосування електричної енергії в сільському господарстві полягає в впровадженні автоматизації виробничих процесів, яка сприяє досягненню найбільш високої продуктивності праці, що безпосередньо пов'язано із зменшенням питомих витрат електроенергії [14].

В даній роботі ми будемо проводити автоматизацію і захист двигуна гноєтранспортера ТСН-160, так як гноєвидалення є дуже енергомістким і тривалим процесом.

2.4 Розрахунок електропостачання об'єкта

Вихідні дані для електромережі напругою 0,38 кВ

Назва споживача	Позначення	Кількість	$P_{\Sigma \text{вч.}} / P_{\Sigma \text{дн.}}$, кВт
Корівник	К	3	17/17
Телятник	Т	1	10/6
Будинок тваринників	БТ	1	5/3
Кормоцех	КЦ	1	50/50
Млин	Мл	1	1/15
Адміністративна Будівля	АБ	1	8/15
Їдальня	Ї	1	2/5
Гараж	Г	1	10/20
Майстерня	М	1	5/15
Водокачка	В	1	10,8/3,24

Вихідні дані для електромережі напругою 10 кВ

Число годин використання максимуму, год.	Потужність к.з. на шинах ВН підстанції, МВА	Потужність трансформатора підстанції, кВА	Вища напруга підстанції, кВ	ΔU_{100} , %	ΔU_{25} , %	Віддаль до проєктованої мережі, км
3100	450	8000	110	+5	0	6

Виконаємо розрахунок об'єктів при денному навантаженні і для цього випадку визначимо для об'єктів одного рівня наступні потужності [15]:

$$P_{1\text{дн}} = k_0(P_K + P_T + P_{Mл} + P_{AB} + P_i + P_M);$$

$$P_{1\text{дн}} = 0,72 \cdot (51 + 6 + 15 + 15 + 5 + 15) = 77,04 \text{ кВт.}$$

$$P_{2\text{дн}} = k_0(P_{BT} + P_B);$$

$$P_{2\text{дн}} = 0,85(3 + 3,24) = 5,3 \text{ кВт.}$$

$$P_{3\text{дн}} = k_0(P_{KC} + P_T);$$

$$P_{3\text{дн}} = 0,85(50 + 20) = 59,5 \text{ кВт.}$$

За допомогою формули (2.3) знайдемо загальну потужність навантаження:

$$P_{\Sigma \text{ дн}} = 77,04 + 44,5 = 121,54 \text{ кВт.}$$

Аналогічно виконаємо значень потужності вечірнього навантаження:

$$P_{1\text{вч}} = k_0(P_K + P_T + P_{BT} + P_{AB} + P_T + P_M + P_B);$$

$$P_{1\text{вч}} = 0,69(51 + 10 + 5 + 8 + 10 + 5 + 10,8) = 68,8 \text{ кВт.}$$

$$P_{2\text{вч}} = k_0(P_{Mл} + P_i);$$

$$P_{2\text{вч}} = 0,85(1 + 2) = 2,55 \text{ кВт.}$$

$$P_{3\text{вч}} = k_0 \cdot P_{KC};$$

$$P_{3\text{вч}} = 0,9 \cdot 50 = 45 \text{ кВт.}$$

$$P_{\Sigma \text{ вч}} = 68,8 + 31,2 = 100 \text{ кВт.}$$

Навантаження зовнішнього освітлення об'єктів визначаємо за вказаними нормами на одну будівлю та кількістю цих будівель $P_{\text{бo}} = 3 \text{ кВт}$. Тоді сумарне навантаження освітлення рівне:

$$P_o = P_{\text{бo}} = 3 \text{ кВт.} \quad (2.4)$$

При розрахунку навантаження трансформаторної підстанції необхідно просумувати значення денних і вечірніх навантажень від об'єктів за формулою (2. 3) і додати до значення вечірнього навантаження загальне освітлювальне навантаження. В підсумку для нашого випадку отримаємо наступні значення розрахункового активного навантаження:

$$P_{\Sigma_{дн}} = 121,54 \text{ кВт};$$

$$P_{\Sigma_{вч}} = 100 + 3 = 103 \text{ кВт}.$$

Загальне розрахункове навантаження знаходимо при врахуванні відповідних значень коефіцієнтів потужності ($\cos\varphi_{дн} = 0,9$; $\cos\varphi_{вч} = 0,92$):

$$S_{\Sigma_{дн}} = \frac{P_{\Sigma_{дн}}}{\cos\varphi_{дн}} = \frac{121,54}{0,9} = 135 \text{ кВ} \cdot \text{А};$$

$$S_{\Sigma_{вч}} = \frac{P_{\Sigma_{вч}}}{\cos\varphi_{вч}} = \frac{103}{0,92} = 112 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

2.6 Розміщення трансформаторної підстанції та розрахунок навантажень електричних ліній

З теоретичного курсу «Енергетичні установки» відомо, що трансформаторну підстанцію слід намагатися розташувати у центрі електричних навантажень мережі. Згідно цього критерію, аналізуючи топологічну схему рис.2.1, можна прийти до висновку, що оптимальним місцем розташування трансформаторної підстанції у проектованій мережі буде вузол позначений індексом «0». У цьому випадку від виводів низької напруги 0,38 кВ будуть живитися три фідери: А - вузли 8, 9, 10; Б - вузли 1, 2, 3; В - вузли 9, 10, 12, 13, 14; та вуличне освітлення (оскільки вона подібна за конфігурацією до мережі 0,38 кВ, то на схемі її не зображали) [16].

Для проведення розрахунку навантажень електричних ліній необхідно наперед сформуванати таблицю підключення навантажень до певних ліній електромережі (табл. 2.1). У кружечках на схемі, яка приведена на рис. 2.1, позначено порядкові номери ліній. Номера стовпців таблиці відповідають порядковому номеру лінії і відображають число об'єктів, а також відповідну суму найбільших активних навантажень живлення цією лінією. Приведена таблиця допомагає провести розрахунок навантаження кожної лінії електромережі напругою 0,38 кВ згідно розглянутої методики.

Таблиця 2.1 - Підключення навантажень до різних ліній мережі

Лінія	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
К-ть об'єктів, шт.	3	2	1	4	4	3	2	1	1	4	4	3	2	1	1
Сума навант. (день), кВт	70,2	53,2	3,2	41	41	24	18	15	3	72	72	55	35	20	30
Сума навант. (вечір), кВт	77,8	60,8	10,8	33	33	16	6	1	5	42	42	25	15	10	13

Якщо брати до уваги освітлення зовнішніх об'єктів, то необхідно до вечірніх навантажень включити такі ж значення освітлювального навантаження в залежності від числа об'єктів, що мають живлення від цієї лінії. Наприклад, для електричної лінії 2 будемо мати:

$$P_{л2вч 0} = P_{л2вч} + n_0 \cdot P_{60}; \quad (2.6)$$

$$P_{л2вч 0} = 60,8 + 2 \cdot 0,25 = 61,3 \text{ кВт.}$$

Результати розрахунку активного навантаження електромережі напругою 0,38 кВ при врахуванні зовнішнього освітлення, приведено в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Результати розрахунку активного навантаження електромережі напругою 0,38 кВ

Лінія	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$S_{дн.}$, кВт	70,2	53,2	3,24	41	41	24	18	15	3	72	72	55	35	20	30
$P_{вч.}$, кВт	78,5	61,3	11,05	34	34	16,7	6,5	1,25	5,2	43	43	25,7	15,5	10,2	13,2

Загальний розрахунок навантаження електромережі напругою 0,38 кВ можна провести згідно значеннями певних величин коефіцієнтів потужності (для денного та вечірнього навантаження мережі). Результати розрахунку навантаження приведені в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 - Результати розрахунку повного навантаження електромережі напругою 0,38 кВ

Лінія	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$S_{дн.}$, кВ·А	78	59	3,6	45,5	45,5	27	20	16,7	3,3	80	80	61	39	22	33,3
$S_{вч.}$, кВ·А	85	66,6	12	37	37	18,2	7,1	1,4	5,7	47	47	28	17	11	14,4

Розрахунок реактивних навантажень ліній електромережі напругою 0,38 кВ виконаємо за формулою:

$$Q_i = P_i \tan \varphi \quad (2.7)$$

та занесемо у табл. 2.4.

Таблиця 2.4 - Результати розрахунку реактивного навантаження електромережі напругою 0,38 кВ

Лінія	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$Q_{дн.}$, кВАр	34	26	1,6	20	20	11,6	8,7	7,3	1,4	34,8	34,8	27	17	9,7	14
$Q_{вч.}$, кВАр	33,4	26,1	4,7	14	14	7	2,7	0,5	2,2	18	18	11	6,6	4,3	5,6

Розрахунок струмових навантажень ліній електромережі напругою 0,38 кВ виконаємо за формулою:

$$I_i = \frac{S_i}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}} ; \quad (2.8)$$

і результати занесемо у табл. 2.5. У формулах (2.7) і (2.8) індекс i відображає номер лінії електромережі.

Таблиця 2.5 - Результати розрахунку струмового навантаження електромережі напругою 0,38 кВ

Лінія	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$I_{дн.}$, А	118	89	5,4	69	69	41	30	25	5	121	121	93	59	34	51
$I_{вч.}$, А	129	101	18	56	56	27	11	2,1	8,6	71	71	42	26	17	22

2.7 Вибір трансформатора для підстанції напругою 10/0,4 кВ

У цьому розділі ми розглянемо порядок складання схеми мереж 0,4 кВ і 10 кВ із вказуванням довжин ділянок і всіх навантажень $S_{дн.}$ і $S_{вч.}$. Електромережу напругою 0,38 кВ зобразимо на схемі потовщеними лініями. Для споживачів II і III категорії підстанція 10/0,38 кВ виконується з одним трансформатором, а для споживачів I категорії з – двома трансформаторами. В останньому випадку необхідно передбачити живлення підстанції двома лініями

10 кВ від різних джерел. Потужність трансформаторів вибирають так, щоб вона складала [17]

$$S_{ном} \cdot k_n \geq S_{розр},$$

де $S_{ном}$ – значення номінальної потужності трансформаторів;

$S_{розр}$ – значення розрахункової потужності на шинах 0,38 кВ підстанції;

k_n – величина коефіцієнта перевантаження трансформаторів.

Величину коефіцієнта k_n вибирають в інтервалі від 1,34 до 1,75 в залежності від температури зовнішнього повітря (в кваліфікаційній роботі приймаємо $k_n=1,4$). На підстанціях із двома трансформаторами така ж нерівність повинна виконуватись для кожного з трансформаторів за умови, що $S_{розр}$ дорівнює максимальному навантаженню споживачів I і II категорії.

Для нашого випадку розрахунковим параметром ($S_{розр}$) при виборі потужності трансформаторів для трансформаторної підстанції буде величина денного навантаження електромережі напругою 0,38 кВ:

$$(S_{розр} = S_{\Sigma \text{ дн}} = 135 \text{ кВ} \cdot \text{А}).$$

Зважаючи на те, що до шин трансформаторної підстанції підключені лише споживачі 2-ї та 3-ї категорій, зовнішнє електропостачання можна виконати за допомогою одної повітряної лінії напругою 10 кВ з встановленням одного трансформатор 10/0,4 кВ на трансформаторній підстанції. Принципову схему такої електромережі приведено на рис. 2.2.

Враховуючи розглянуті вище рекомендації, визначимо потужність трансформатора за формулою:

$$S_T \geq \frac{S_{розр}}{1,4} = \frac{135}{1,4} = 96,4 \text{ кВ} \cdot \text{А}. \quad (2.9)$$

За посібником [17] вибираємо трансформатор типу ТМ-100-10/0,4 кВ для встановлення на трансформаторній підстанції. На стороні високої напруги у трансформатора є 5 відгалужень: 0,; $\pm 2,5\%$ та $\pm 5\%$ від значення номінальної напруги обвитки. Переключення відгалужень здійснюють лише при відключенні від мережі всіх обмоток трансформатора. В табл. 2.6 наведено технічні дані трансформатора.

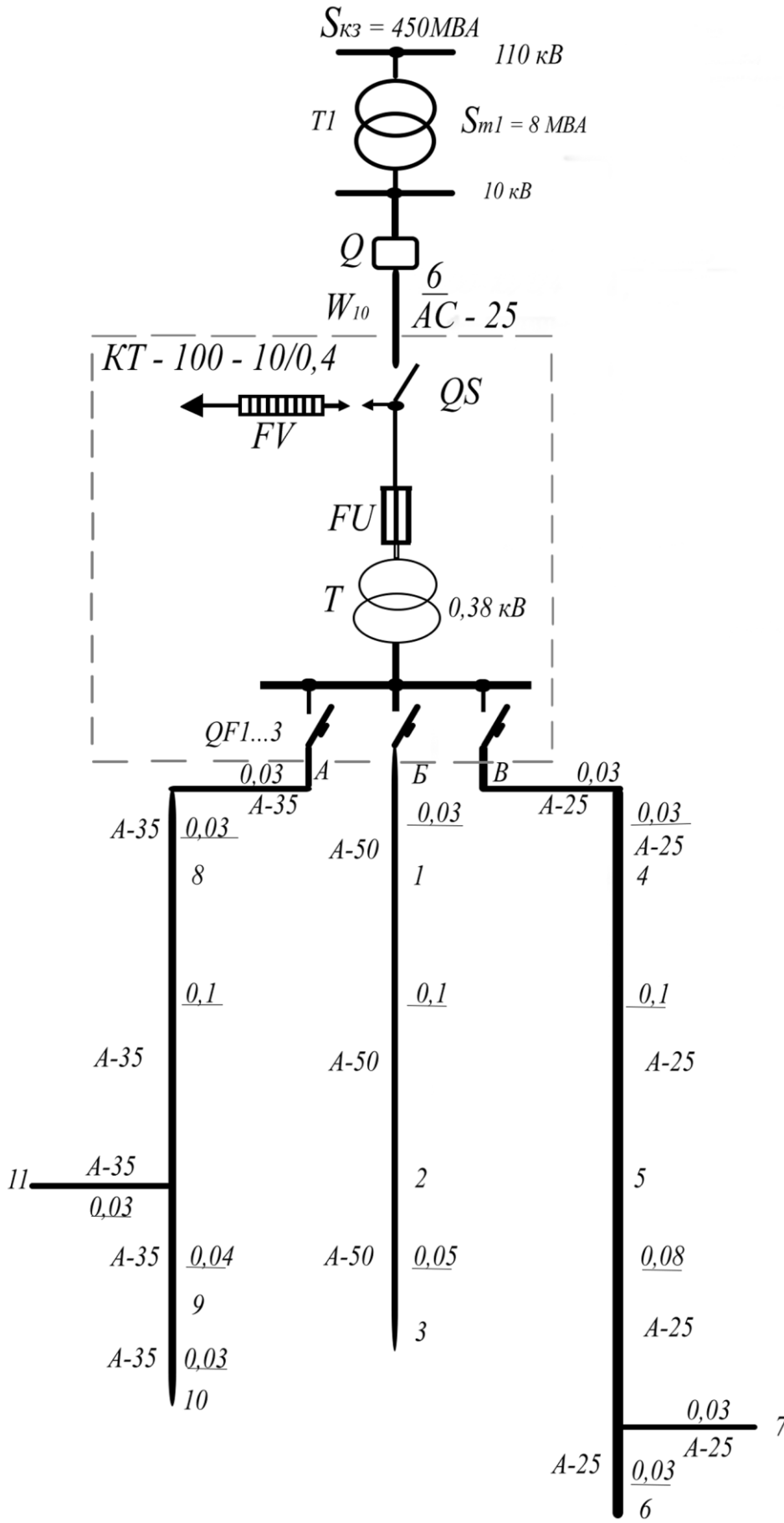


Рисунок 2.2 - Схема проектованої електромережі

Таблиця 2.6 - Технічні параметри трансформатора (ТМ-100-10/0,4)

$S_{\text{НОМ}}$ кВ·А	$U_{\text{ВНОМ}}$ кВ	$U_{\text{ННОМ}}$ кВ	Схема з'єднання	$\Delta P_{\text{НХ}}$ кВт	$\Delta P_{\text{КЗ}}$ кВт	$U_{\text{КЗ}}$ %	$I_{\text{НХ}}$ %
100	10	0,4	Y/ Y _н -0	0,36	1,97	4,5	2,6

Розрахуємо параметри трансформатора, що приведені до обвитки високої напруги трансформатора.

Повний опір:

$$Z_{\text{T}} = \frac{U_{\text{КЗ}}}{100} \cdot \frac{U_{\text{ВНОМ}}^2}{S_{\text{НОМ}} \cdot 10^{-3}} = 45 \text{ Ом}; \quad (2.10)$$

Активний опір:

$$r_{\text{T}} = P_{\text{КЗ}} \cdot \frac{U_{\text{ВНОМ}}^2}{S_{\text{НОМ}}^2 \cdot 10^{-3}} = 19,7 \text{ Ом}; \quad (2.11)$$

Реактивний опір:

$$- x_{\text{T}} = \sqrt{Z_{\text{T}}^2 - r_{\text{T}}^2} = 40,4 \text{ Ом}. \quad (2.12)$$

2.8 Відхилення напруги з урахуванням регулювання

Відхилення напруги складають у вигляді таблиці з урахуванням регулювання напруги шляхом переключення відгалужень обмоток трансформаторів (РПН і ПБЗ). Відхилення розраховують для двох режимів: максимального навантаження (100%) і мінімального (25%). У таблиці всі напруги наводять у відсотках відносно номінальної. У ній вказують напруги на шинах нижчої напруги підстанції 110/10 чи 35/10 кВ, яка живить проектовану підстанцію 10/0,38 кВ; напруги на шинах 0,38 кВ даної підстанції з врахуванням втрат напруги в трансформаторі і добавок за рахунок ПБЗ, а також допустимі втрати напруги в мережі 0,38 кВ до введів у будинки та приміщення з урахуванням того, що у внутрішніх провідках будинків і приміщень передбачаються втрати напруги 2,5% при навантаженні 100% і практично 0% при навантаженні 25%. Значення втрат напруги в мережах 0,38 кВ використовують для перевірки правильності вибраних перерізів проводів цих мереж [15].

Оскільки вибрані перерізи проводів можуть виявитися трохи більшими, ніж це потрібно за допустимими втратами напруги, після розрахунку в таблицю вносять дійсні втрати напруги в цих ділянках електричної мережі. Результати розрахунків її режимів, які наводять у таблиці відхилень напруги, повинні задовольняти вимогам чинних норм до відхилень напруги на затискачах споживачів у межах ± 5 від номінальної напруги. Згідно з викладеними зауваженнями таблицю оцінки відхилень напруги у вузлах проектованої електричної мережі складемо у вигляді табл. 2.7 (стовпці заповнимо як оцінки). Задаючи втратами напруги у лінії 10 кВ і вважаючи втрати напруги пропорційними до величини навантаження, виберемо добавки напруги, які повинні давати ПБЗ трансформаторів підстанції 10/0,38 кВ для забезпечення вимог стандартів якості електроенергії за критерієм відхилення напруги на затискачах споживачів. Під час вибору відгалужень потрібно враховувати, що відносно номінальної напруги мережі (0,38 кВ) вони дозволяють здійснювати добавки наступними ступенями: 0; +2,5%; +5,0%; +7,5%; +10,0% від номінальної напруги.

Таблиця 2.7 - Відхилення напруги в пунктах електричної мережі

Елемент електропередачі	Відхилення напруги, %							
	На шинах 0,4 кВ ТП 10/0,4 кВ				У найбільш віддаленому вузлі			
	Навант. 100%		Навант. 25%		Навант. 100%		Навант. 25%	
	оцінка	розрах.	оцінка	розрах.	оцінка	розрах.	оцінка	розрах.
Шини 10 кВ ТП 110/10 кВ	+5	+5	0	0	+5	+5	0	0
Втрата в ЛЕП 10 кВ	-4	-0,3	-1	0	-4	-0,4	-1	0
Трансформатор 10/0,38 кВ:								
втрата	-4	-3,4	-1	-1	-4	-3,6	-1	-1
добавка	+5	+5	+5	+5	+5	+5	+5	+5
Мережа 0,38 кВ	0	0	0	0	-5	-5	-1,2	-1,2
Споживач	+2	+6,3	+3	+4	-3	+1	+1,8	+2,8

Після того, як вибрано параметри трансформаторів та ліній електромереж напругою 10 і 0,38 кВ, необхідно заповнити стовпці таблиці, які є оцінкою, і зробити загальний висновок щодо правильності вибору відгалужень трансформаторів та перерізів дротів для електричних ліній напругою 10 та 0,38 кВ.

2.9 Розрахунок системи водопостачання

Середньодобову витрату води знаходимо за формулою:

$$Q_{\text{ср.доб.}} = N_1 q_1 + N_2 q_2 + \dots + N_n q_n, \quad (2.13)$$

де N_1, N_2, N_n – кількість тварин певного виду, гол.;

q_1, q_2, q_n – норма споживання води для тварин певного виду, л/добу.

$$Q_{\text{ср.доб.}} = 500 \cdot 120 + 300 \cdot 20 = 66 \text{ м}^3 / \text{добу.}$$

Максимальна добова витрата:

$$Q_{\text{max.доб.}} = k_{\text{доб.}} \cdot Q_{\text{ср.доб.}}, \quad (2.14)$$

де $k_{\text{доб.}}$ – коефіцієнт добової нерівномірності (1,3 ... 1,5).

$$Q_{\text{max.доб.}} = 1,3 \cdot 66 = 85,8 \text{ м}^3 / \text{добу.}$$

Середня годинна витрата води:

$$Q_{\text{ср.год.}} = \frac{Q_{\text{max.доб.}}}{24}; \quad (2.15)$$

$$Q_{\text{ср.год.}} = \frac{85,8}{24} = 3,575 \text{ м}^3 / \text{добу.}$$

Найбільша витрата води за годину:

$$Q_{\text{max.год.}} = k_{\text{год.}} \cdot Q_{\text{ср.год.}}, \quad (2.16)$$

де $k_{\text{год.}}$ – коефіцієнт годинної нерівномірності споживання (2 ... 4).

$$Q_{\text{max.год.}} = 3 \cdot 3,575 = 10,725 \text{ м}^3 / \text{добу.}$$

Середній показник витрати води:

$$q_{\text{ср.}} = \frac{Q_{\text{max.год.}}}{3600}, \quad (2.17)$$

$$q_{\text{ср.}} = 10,725 / 3600 = 0,0029 \text{ м}^3 / \text{добу.}$$

Як відомо, у більшості випадків для сільськогосподарських об'єктів вибирають баштову водонапірну установку з водопостачанням води із свердловин за допомогою відцентрового заглибного насоса марки ЕЦВ. На об'єктах тваринницьких ферм зазвичай встановлюють башту типу Рожновського.

Визначимо місткість бака башти ($V_6, \text{м}^3$) за формулою [18]:

$$V_6 = V_p + V_a + V_{\text{п}}, \quad (2.18)$$

де V_p – регульована місткість башти, м^3 ;

V_a – величина аварійного запасу води, м^3 ;

$V_{\text{п}}$ – величина запасу води для внутрішнього гасіння пожежі, м^3 .

Регульований об'єм башти ($V_p, \text{м}^3$) розраховуємо наступним чином [18]:

$$V_p = \frac{\pi \cdot P_6 \cdot \Delta h}{4}, \quad (2.19)$$

де P_6 – діаметр бака башти, для БР $P_6 = 2,5 \dots 3 \text{ м}$;

Δh – значення відстані між давачами нижнього і верхнього рівня, $\Delta h = 1 \text{ м}$.

$$V_p = \frac{3,14 \cdot 3^2 \cdot 1}{4} = 7,065 \text{ м}^3.$$

Аварійний запас води ($V_a, \text{м}^3$) дорівнює [18]:

$$V_a = Q_{\text{мах.год}} \cdot t_a, \quad (2.20)$$

де $Q_{\text{мах.год}}$ – найбільша годинна витрата води $\text{м}^3/\text{год.}$; $Q_{\text{мах.год}} = 21 \text{ л/год.}$ на одну тварину, відповідно для ферми $Q_{\text{мах.год}} = 10,725 \text{ м}^3/\text{год.}$;

t_a – час, потрібний для усунення імовірної аварії, $t_a = 2,5 \text{ год.}$

$$V_a = 10,725 \cdot 2,5 = 26,81 \text{ м}^3.$$

Протипожежний запас води ($V_{\text{п}}, \text{м}^3$) розраховуємо [18]:

$$V_{\text{п}} = g_{\text{п}} \cdot t_{\text{п}}, \quad (4.9)$$

де $g_{\text{п}}$ – величина подачі води при гасінні пожежі, $\text{м}^3/\text{сек.}$, $g_{\text{п}} = 0,005 \text{ м}^3/\text{сек.}$;

$t_{\text{п}}$ – значення розрахункового часу гасіння пожежі, $t_{\text{п}} = 600 \text{ с}$.

$$V_{\text{п}} = 0,005 \cdot 600 = 3 \text{ м}^3.$$

Тоді $V_6 = 7,065 + 26,81 + 3 = 36,8 \text{ м}^3$.

Згідно цих розрахунків беремо водонапірну башту БР–40А на 40 м^3 , резервний об'єм води в опорі – 38 м^3 . Вибираємо насос типу ЕЦВ 8–16–85, подача якого становить $16 \text{ м}^3/\text{год.}$, а потужність електродвигуна рівна 12 кВт .

2.10 Висновки до розділу 2

1. Проведено аналіз системи електропостачання та системи водопостачання, на базі якого виконано обґрунтування теми кваліфікаційної роботи.
2. Виконано розрахунок електропостачання об'єкта, зокрема визначено вихідні дані для електромережі напругою 0,38 кВ та 10 кВ.
3. Виконано розрахунок навантаження електричних вузлів, зокрема, розроблено схему розміщення електричних об'єктів господарства та трансформаторної підстанції.
4. Виконано вибір трансформатора для підстанції напругою 10/0,4 кВ, де при за основу взято величину денного навантаження мережі напругою 0,38 кВ.
5. Виконано розрахунок відхилення напруги у вигляді таблиці з урахуванням регулювання напруги шляхом переключення відгалужень обмоток трансформаторів.
6. Виконано розрахунок системи водопостачання за результатами якого вибрано водонапірну башту БР–40А та насос типу ЕЦВ 8–16–85.

3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Проектування мережі напругою 0,4 кВ

У цій частині кваліфікаційної роботи необхідно буде виконати розрахунок мережі напругою 0,4 кВ згідно із заданою схемою та перевірити її за допустимими втратами напруги, що приведені у таблиці відхилень напруги в попередньому розділі роботи. Спочатку потрібно вибрати типові перерізи дротів потім перевірити їх за дійсними втратами напруги в досліджуваній ділянці мережі, величини яких потрібно додати у таблицю відхилення напруги. В більшості випадків приймають для зовнішніх повітряних мережах напругою 0,4 кВ допускається втрата напруги від 6% до 8%. Якщо за даними таблиці отримуємо більшу напругу, то необхідно встановити на підстанції 10/0,4 кВ трансформатор типу ТМН з автоматичним регулюванням напруги. Обрані дроти лінії напругою 0,4 кВ необхідно перевірити згідно умови нагріву таким чином, щоб найбільший струм їх навантаження був рівним або менший за допустимий струм для вибраного дроту. Вибір перерізу дротів зазвичай виконують згідно умови допустимої втрати напруги для певних ліній електропередачі. Відповідно до рекомендацій Правил улаштування електроустановок дроти магістралі лінії напругою 0,4 кВ вибирають таким чином, щоб число різних перерізів в одній магістралі була найменшою [19]. Використовуючи умову надійності перерізу та рівних значень коефіцієнта потужності на всіх зонах магістралі, визначити в ній втрату напруги за формулою:

$$\Delta U = \sqrt{3}(r_0 \cos\varphi + x_0 \sin\varphi) \sum_{i=1}^n I_i l_i = \Delta U_a + \Delta U_p; \quad (3.1)$$

де n – число магістральних ділянок;

I_i, l_i - значення струму та протяжності i -ї магістральної ділянки;

r_0, x_0 - значення питомого активного та реактивного опорів лінії;

$\Delta U_a, \Delta U_p$ - величина активної та реактивної складових втрат напруги.

Так як питомий реактивний опір має незначну залежність від перерізу дротів для ліній напругою 0,4 кВ, то при виконанні розрахунку приймають його постійним для усіх ліній електромережі. Далі, наприклад, для ліній магіс-

тралі **03** (вона з'єднує вузол **0** і вузол **3**) можна продемонструвати порядок вибору перерізів дротів згідно розглянутої методики. За даними з табл. 2.7 (розділ 2.8 цієї роботи) втрата напруги в кожній з магістралей розробленої мережі напругою 0,4 кВ під час її максимального навантаження не має бути більшою 5% ($380 \text{ В} \cdot 0,05 = 19 \text{ В}$).

Розрахунок реактивної складової втрати напруги у магістралі **03** виконаємо за формулою [15]:

$$\Delta U_{pn} = \frac{x_0}{U_{ном}} (Q_1 \cdot l_1 + Q_2 \cdot l_2 + \dots + Q_n \cdot l_n);$$

$$\Delta U_{03} = \frac{0,35}{380} (33,4 \cdot 30 + 26,1 \cdot 100 + 4,7 \cdot 50) = 3,6 \text{ В.}$$

Величину напруги допустимої активної складової знаходимо за наступною формулою:

$$\Delta U_{a01д} = \Delta U_{д} - \Delta U_{p01};$$

$$\Delta U_{a03д} = 19 - 3,6 = 15,4 \text{ В.}$$

При визначенні розрахункового значення перерізу дротів магістралі **03** скористаємося формулою:

$$F_{03роз} = \frac{P_1 \cdot l_1 + P_2 \cdot l_2 + P_3 \cdot l_3}{U_{ном} \cdot \Delta U_{a03д} \cdot g},$$

де $g = 32 \cdot 10^6$ (См/м) – величина питомої провідності алюмінію.

$$F_{03роз} = \frac{(78,5 \cdot 30 + 61,3 \cdot 100 + 11,05 \cdot 50)1000}{380 \cdot 15,4 \cdot 32} = 48,2 \text{ мм}^2$$

Подібним чином знаходимо розрахункові величини перерізів дротів для магістралі **06** і магістралі **010**. В результаті отримаємо:

$$F_{06роз} = 21 \text{ мм}^2;$$

$$F_{010роз} = 32,3 \text{ мм}^2.$$

Виходячи з переліку типових марок дротів, виберемо необхідні номінальні перерізи дротів електромережі напругою 0,4 кВ, результати яких занесено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічні дані дротів електромережі 0,4 кВ

Лінія електромережі 0,4 кВ	Марка дроту	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	Нормований струм, А
1, 2, 3	A-50	0,64	0,297	215
4, 5, 6, 7, 8, 9	A-25	1,20	0,319	136
10, 11, 12, 13, 14, 15	A-35	0,92	0,308	170

Використовуючи параметри обраних дротів, знайдемо фактичні втрати напруги в лініях електромережі напругою 0,4 кВ і виконаємо їх порівняння з допустимою втратою напруги ($\Delta U_d = 19$ В).

$$\text{Магістраль 03} \rightarrow \Delta U_{03} = 18 \text{ В.}$$

$$\text{Магістраль 06} \rightarrow \Delta U_{06} = 15,4 \text{ В.}$$

$$\text{Магістраль 010} \rightarrow \Delta U_{10} = 17,9 \text{ В.}$$

Розрахунки показують, що для режиму найбільших навантажень мережі для всіх магістралей вимога відносно допустимої втрати напруги виконується. Для перевірки проводів мережі за допустимим струмом навантаження порівняємо розрахункові струми найбільш навантажених ліній електромережі (такими лініями є 1, 4, 10 – табл. 2.5) з допустимими струмами вибраних для цих ліній марок проводів. Як бачимо, розрахункові струми в розглянутих випадках мають менші значення від допустимих.

Аналогічно проведемо вибір перерізу дротів лінії напругою 10 кВ при умові, що допустима втрата напруги тут повинна складати 4% ($10000 \times 0,04 = 400$ В). В результаті отримаємо розрахунковий переріз $F_{10\text{розр}} = 2 \text{ мм}^2$. Відповідно до вимог Правил улаштування електроустановок найменший переріз сталевалюмінієвого дроту марки АС для ліній напругою 10 кВ має бути 25 мм^2 . Відповідно, для лінії напругою 10 кВ вибираємо дріт марки АС-25 з параметрами, наведеними у табл. 3.2.

Таблиця 3.2 - Технічні дані дротів електромережі 10 кВ

Лінія електромережі 10 кВ	Марка дроту	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	Нормований струм, А
ТП 110 кВ – ТП 10 кВ	АС-25	1,147	0,378	137

В режимі найбільших навантажень фактична втрата напруги у лінії напругою 10 кВ для вибраної марки дроту становить 32,3 В (0,31%).

В режимі найбільших навантажень втрата напруги обмотках трансформатора 10/0,4 кВ становить 341 В (3,41%).

Фактичні величини відхилень напруги в компонентах електромережі показано у стовпцях у табл. 2.7 (розділ 2.8 роботи), які позначені як «розрах». Якщо взяти до уваги, що внутрішньомережеві втрати споруд комунального і побутового призначення приймають в межах від 0 до -2,5%, то можна стверджувати, що всі пункти забезпечені потрібною якістю електричної енергії відповідно до критерію відхилення напруги [20].

3.2 Визначення втрат електричної енергії в електромережі

Враховуючи втрати в електричних підстанціях типу 10/0,4 кВ можна розрахувати втрати електричної енергії у мережах напругою 10 кВ і 0,4 кВ. По ділянках з різною величиною навантаження і перерізами дротів розраховують втрати електричної енергії у мережах. Для розробленої електричної мережі значення втрат електричної енергії складатимуться із суми втрат в електромережі напругою 10 кВ і величини втрат у трансформаторі 10/0,4 кВ.

Величина втрат електричної енергії у мережі напругою 10 кВ:

$$\Delta W_{10} = 3I_{л10\max}^2 r_{л10} \tau, \quad (3.2)$$

де

$$I_{л10\max} = \frac{S_{\Sigma\text{вч}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{135 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10} = 7,8 \text{ А.}$$

$\tau = 1860$ год (час максимального використання становить 3100 год).

$$W_{10} = 3 \cdot 7,8^2 \cdot 6,9 \cdot 1860 \cdot 10^{-3} = 2342,5 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Велична втрат електричної енергії у мережі напругою 0,4 кВ:

$$\Delta W_{0,38} = \sum_{i=1}^n 3I_{\max i}^2 r_i \tau, \quad (3.3)$$

де значення струму ліній знаходять як $I_{\max i} = I_{\text{вчої}}$.

$$W_{0,38} = 9991,7 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Велична втрат електричної енергії у трансформаторі 10/0,4 кВ складається із постійних втрат (від потужності навантаження вони не залежать):

$$\Delta W_c = \Delta P_{\text{нх}} \cdot 8760, \quad (3.4)$$

$$\Delta W_c = 0,36 \cdot 8760 = 3153,6 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

а також непостійних втрат, що залежать від навантаження:

$$\Delta W_0 = \Delta P_{\text{кз}} \left(\frac{S_{\Sigma \text{дн}}}{S_{\text{т ном}}} \right)^2 \tau, \quad (3.5)$$

$$\Delta W_0 = 1,97 \left(\frac{135}{100} \right)^2 \cdot 1860 = 6678 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Велична втрат електричної енергії у розробленій електромережі складається:

$$\text{з постійних -} \quad \Delta W_{\text{пост}} = \Delta W_c = 2102,0 \text{ кВт} \times \text{год};$$

змінних-

$$\Delta W_{\text{зм}} = \Delta W_{10} + \Delta W_{0,38} + \Delta W_0 = 2342,5 + 9991,7 + 6678 = 19012,2 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

$$\text{та сумарних -} \quad \Delta W = \Delta W_{\text{пост}} + \Delta W_{\text{зм}} = 3153,6 + 19012,2 = 22165,8 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

3.3 Умови вибору трансформаторної підстанції та дослідження аварійних режимів

При виборі трансформаторних підстанцій рекомендують в першу чергу вибирати комплектні трансформаторні підстанції відкритого типу, хоча при відповідному обґрунтуванні також вибирають підстанції щоглового або закритого типу [21]. Для розробленої електромережі напругою 0,4 кВ вибираємо комплектну трансформаторну підстанцію типу КТП-100-10/0,4 кВ. Вибрана підстанція комплектується у вигляді блока з такими базовими параметрами:

- величина вхідної напруги - 10 кВ;
- величина вихідної (розподільної) напруги - 0,4 кВ;
- потужність силового трансформатора - 100 кВ·А.

Вхідна електрична напруга 10 кВ формується з трифазного роз'єднувача із замикаючими ножами, який монтується на опорі поблизу лінії 10 кВ, розрядників вентиляного типу для захисту устаткування від різних видів перенапруг зі сторони напруги 10 кВ. На стороні вводу 10 кВ трансформатора передбачені запобіжники, що захищають трансформатор у випадку багатознакового короткого замикання. Розподільне електрообладнання напругою 0,4 кВ встановлюється у нижньому відділенні шафи. На стороні виводів напруги 0,4 кВ трансформатора є рубильник зі встановленими вентиляними розрядниками на ножах зі сторони ліній 0,4 кВ для захисту від перенапруг. Потім підключається 3-фазний набір трансформаторів струму, що живлять кола вимірювання активної енергії, а також двофазний (фази А і С) набір трансформаторів струму з підключеним тепловим реле, що виконує захист від перевантажень силового трансформатора. Включення, виключення та захист 3-х ліній напругою 0,4 кВ від коротких замикань виконують автоматичні вимикачі серії АЗ710 [22]. Плавкі запобіжники захищають виводи лінії живлення вуличного освітлення, ввімкнення якої може ручним або від роботи фотореле.

Дослідження аварійних режимів. Цей пункт кваліфікаційної роботи містить розрахунок аварійних струмів, який приведено в наступному підпункті. Розрахунок аварійних струмів необхідний для вибору апаратури підстанції, а також проектування захисту від цих струмів [23]. У даному випадку аварійні струми розраховують в іменованих одиницях, враховуючи активні опори і використовуючи модульний метод. Для розрахунків складають еквівалентну схему однієї фази. На схему наносять джерело живлення з заданими значеннями еквівалентного опору системи, трансформатори цієї підстанції, лінію 10 кВ, що живить проектувану підстанцію 10/0,38 кВ, її трансформатори і лінії 0,4 кВ. На схемі еквівалентній вказують значення параметрів всіх її елементів, зведені до відповідної базисної напруги. Струми трифазних і двофазних

коротких замикань розташовують для шин 10 кВ проектованої підстанції, а також для шин 0,4 кВ цієї підстанції, в кінці найдовшої і найкоротшої лінії 0,4 кВ. У цих розрахунках всі опори зводять до напруги 0,4 кВ. Для ліній і шин 0,4 кВ, крім трифазних і двофазних коротких замикань, розраховують ще й однофазні, причому опір нульового проводу приймають однаковим з опором фазного проводу.

3.4 Визначення струму короткого замикання та захист при аварійних режимах

Схему заміщення для визначення струму короткого замикання показано на слайдах графічної частини кваліфікаційної роботи.

При визначенні струму короткого замикання на стороні 10 кВ опори приводяться до напруги 10 кВ під час коротких замикань у точках **а** і **б**:

- значення еквівалентного опору системи 110 кВ:

$$x_s = \frac{U_{\text{ном}}^2}{S_{\text{кв}}} = 0,22 \text{ Ом.} \quad (3.6)$$

- значення реактивного опору трансформатора 110/10 кВ:

$$x_{\text{т1}} = \frac{U_{\text{кз}}}{100} \cdot \frac{U_{\text{ном}}^2}{S_{\text{т1}}} = 1,25 \text{ Ом;} \quad (3.7)$$

$$(r_{\text{т1}} \approx 0);$$

- значення опорів лінії 10 кВ - $x_{\text{л10}} = 2,26 \text{ Ом}; r_{\text{л10}} = 6,9 \text{ Ом};$

- значення опорів трансформатора - $x_{\text{т}} = 40,4 \text{ Ом}; r_{\text{т}} = 19,7 \text{ Ом}.$

Загальна величина опору і струмів при трифазному і двофазному короткому замиканні на початку лінії напругою 10 кВ (точка **0**):

$$z_{\Sigma 0} = x_s + x_{\text{т1}}; \quad (3.8)$$

$$z_{\Sigma 0} = 0,22 + 1,25 = 1,47 \text{ Ом.}$$

$$I_{\text{к0}}^{(3)} = \frac{1000 U_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot z_{\Sigma 0}} = 3927,6 \text{ А.} \quad (3.9)$$

$$I_{\text{к0}}^{(2)} = 0,87 \cdot I_{\text{к0}}^{(3)} = 3417 \text{ А.}$$

Загальна величина опору і струмів зі сторони обмотки високої напруги трансформатора при трифазному і двофазному короткому замиканні у точці **а**:

$$z_{\Sigma a} = \sqrt{(x_s + x_{T1} + x_{Л10})^2 + r_{Л10}^2} = 7,8 \text{ Ом};$$

$$I_{Ka}^{(3)} = \frac{1000 \cdot U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot z_{\Sigma a}} = 740,2 \text{ А};$$

$$I_{Ka}^{(2)} = 0,87 \cdot I_{Ka}^{(3)} = 644 \text{ А};$$

а також у точці **б**:

$$z_{\Sigma б} = \sqrt{(x_s + x_{T1} + x_{Л10} + x_T)^2 + (r_{Л10} + r_T)^2} = 51,5 \text{ Ом};$$

$$I_{Kб}^{(3)} = 112,1 \text{ А};$$

$$I_{Kб}^{(2)} = 97,5 \text{ А}.$$

Отже, значення струмів зі сторони виводу 0,4 кВ низької напруги трансформатора при короткому замиканні у точці **б** знаходять з виразу:

$$I_{Kбн} = \frac{U_{Вном}}{U_{Нном}} \cdot I_{Kб}. \quad (3.10)$$

Тоді будемо мати:

$$I_{Kбн}^{(3)} = 2802,5 \text{ А};$$

$$I_{Kбн}^{(2)} = 2437,5 \text{ А}.$$

Аналізуючи отримані співвідношення бачимо, що опори електромережі напругою 10 кВ та системи напругою 110 кВ є суттєво меншими за опори трансформатора. Тому при проведенні розрахунків струмів короткого замикання в мережі 0,4 кВ їх не беруть до уваги, оскільки вони майже не мають впливу на значення струмів. Застосовуючи приведену послідовністю, можна розрахувати значення струму короткого замикання у електрично найвіддаленіших вузлах електромережі 0,4 кВ (в схемі заміщення вузли **3**, **6**, **10** отримують значення точки **в**), для яких будемо мати загальні опори короткого замикання за такими формулами:

$$z_{\Sigma в} = z_{\Sigma б} \cdot \left(\frac{U_{Нном}}{U_{Вном}} \right)^2 + z_{0в}, \quad (3.11)$$

а у вузлах **в = 3**, **6**, **10** відповідно отримаємо:

$$z_{03} = 0,13 \text{ Ом}; z_{\Sigma 03} = 0,21 \text{ Ом};$$

$$z_{06} = 0,33 \text{ Ом}; z_{\Sigma 06} = 0,41 \text{ Ом};$$

$$z_{010} = 0,22 \text{ Ом}; z_{\Sigma 10} = 0,3 \text{ Ом}.$$

Тоді отримаємо значення струмів короткого замикання:

$$I_{K3H}^{(3)} = 1099,7 \text{ А}; I_{K3H}^{(2)} = 956,7 \text{ А};$$

$$I_{K6H}^{(3)} = 563,3 \text{ А}; I_{K6H}^{(2)} = 490 \text{ А};$$

$$I_{K10H}^{(3)} = 769,8 \text{ А}; I_{K10H}^{(2)} = 669,7 \text{ А}.$$

Для знаходження струму однофазного короткого замикання в електрично найвіддаленіших вузлах мережі 0,4 кВ використаємо вираз:

$$I_{KBH}^{(1)} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot \left(\frac{z_{T0}}{3} + z_{пв} \right)}, \quad (3.12)$$

де z_{T0} - величина опору при замиканні фази на корпус нульової послідовності трансформатора ($z_{T0} = 1,62 \text{ Ом}$);

$z_{пв}$ - значення опору петлі «фаза – нульовий провід» для конкретного вузла короткого замикання ($\mathbf{v = 3, 6, 10}$):

$$z_{пв} = \frac{z_{0в}}{3} \cdot (2 + 3,5). \quad (3.13)$$

$$z_{п3} = 0,39 \text{ Ом};$$

$$z_{п6} = 0,75 \text{ Ом};$$

$$z_{п10} = 0,55 \text{ Ом}.$$

Отже, маємо такі величин струмів при однофазному замиканні на землю:

$$I_{K3H}^{(1)} = 235 \text{ А};$$

$$I_{K6H}^{(1)} = 169,6 \text{ А};$$

$$I_{K10H}^{(1)} = 201 \text{ А};$$

При дослідженні дії захисту ліній напругою 0,4 кВ, трансформатора підстанції і лінії живлення напругою 10 кВ необхідно узгодити між собою та забезпечити перевірений захист усіх компонентів мережі. Для організації захисту лінії напругою 0,4 кВ використовуються електромагнітні, теплові і напівпровідникові розмикачі, що вмонтовуються в автомати. Деякі типи конструкцій автоматів мають комбіновані розмикачі з електромагнітними та тепловими елементами. В автоматичних вимикачах вмонтовують окремі електромагнітні розмикачі для підключення до нульового проводу або дистанційні типові електромагнітні розмикачі, які спрацьовують від включеного в нульовий провід максимального струмового реле [22]. Це дозволяє організувати захист у випадку однофазних коротких замикань, коли захист є дуже не чутливим для однофазних коротких замикань, від дії двофазних і трифазних коротких замикань. Теплові розмикачі автоматичних вимикачів дозволяють створити витримки часу, котрі зменшуються при збільшенні струму перевантаження захищуваної лінії. При захисті лінії під час коротких замикань електромагнітні та напівпровідникові розмикачі спрацьовують майже миттєво і так само спрацьовують теплові і електромагнітні елементи в комбінованих розмикачах.

3.5 Розрахунок релейного захисту проєктованої системи

Трансформатор. Для захисту силового трансформатора на напругу 10/0,4 кВ та потужністю 630 кВА використовують плавкі запобіжниками, що встановлюють зі сторони високої напруги 10 кВ. Згідно рекомендацій Правил улаштування електроустановок для силового трансформатора плавкий запобіжник вибирають за наступними критеріям:

- номінальна напруга електромережі - $U_{зап} = U_{ном}$;
- значення номінального струму вимкнення має перевищувати максимальний струму короткого замикання у встановленому місці:

$$-I_{н\ вимк} \geq I_{кз\ макс}$$

- значення номінального струму плавкої вставки повинно співвідноситись із значенням номінального струму трансформатора: $-I_{\text{вст}} \approx 2 I_{\text{т ном}}$.

Для трансформатора на напругу 10/0,4 кВ та 100 кВ·А необхідно встановлювати запобіжники з $I_{\text{вст}} = 10 \text{ А}$. Аналізуючи розглянуті вимоги щодо захисту силового трансформатора у розробленій електромережі, необхідно вибрати плавкий запобіжник типу ПКТ-10-10-31 з такими параметрами:

Номінальна напруга, кВ	Номінальний струм, А	Номінальний струм вимкнення, кА
10	10	31,5

Отримані дані розрахунку показують, що у точці **а** найбільша величина струму короткого замикання буде рівною 0,74 кА. Отже, вибір запобіжника виконано правильно, згідно вимог.

Електромережа на напругу 0,4 кВ. Захист електромережі на напругу 0,4 кВ для обраної схеми комплектної трансформаторної підстанції (фідерів у нульових проводах мають реле струму, які при функціонуванні подають сигнал на обмотку окремого розмикача) виконують за допомогою автоматичного вимикачами серії А371, вибирають якого виконують за такими умовами:

- номінальна напруга мережі $-U_{\text{авт}} = U_{\text{ном}}$;
- значення струму автоматичного вимикача повинно бути більшим за струм навантаження $-I_{\text{рв}} \geq I_{\text{наб}}$;
- значення струму імпульсу напівпровідникового розмикача повинно бути більшим за найбільший робочий струм магістралі $-I_{\text{сн}} \geq 1,4 I_{\text{мр}}$;
- значення струму імпульсу незалежного розмикача від імпульсу струму при однофазному короткому замиканні $-I_{\text{с рн}} \geq 1,25 \cdot 0,3 I_{\text{мр}}$;
- значення коефіцієнта чутливості напівпровідникового розмикача:

$$-k_{\text{ч}} = I_{\text{кз}}^{(2)} / I_{\text{с.н.}} \geq 1,1.$$

За вимогами Правил улаштування електроустановок виконують перевірку роботи автоматичних вимикачів згідно умови спрацювання від величини струмів перевантажень у досліджуваній мережі.

Знайдемо значення номінальної напруги автоматичного вимикача:

$$-U_{\text{авт}} = 660 \text{ В} > U_{\text{ном}} = 380 \text{ В.}$$

За довідником [22] виконаємо вибір номінальних струмів напівпровідникових розмикачів для наших фідерів:

$$\begin{aligned} \text{А} &\rightarrow I_{\text{наб А}} = 71 \text{ А}; & I_{\text{р в А}} &= 80 \text{ А}; \\ \text{Б} &\rightarrow I_{\text{наб Б}} = 129 \text{ А}; & I_{\text{р в Б}} &= 160 \text{ А}; \\ \text{В} &\rightarrow I_{\text{наб В}} = 56 \text{ А}; & I_{\text{р в В}} &= 62 \text{ А}. \end{aligned}$$

Для усіх фідерів значення струмі спрацювання напівпровідникових розмикачів будуть наступними:

$$\begin{aligned} \text{А} &\rightarrow I_{\text{сн А}} = 160 \text{ А} \geq 1,4 I_{\text{мп А}} = 99,4 \text{ А}; \\ \text{Б} &\rightarrow I_{\text{сн Б}} = 320 \text{ А} \geq 1,4 I_{\text{мп Б}} = 180,6 \text{ А}; \\ \text{В} &\rightarrow I_{\text{сн В}} = 126 \text{ А} \geq 1,4 I_{\text{мп В}} = 78,4 \text{ А}. \end{aligned}$$

Коефіцієнти чутливості напівпровідникових розмикачів для фідерів:

$$\begin{aligned} \text{А} &\rightarrow k_{\text{ч}} = I_{\text{К10н}}^{(2)} / I_{\text{снА}} = 669,7 / 160 = 4,2; \\ \text{Б} &\rightarrow k_{\text{ч}} = I_{\text{К3н}}^{(2)} / I_{\text{снБ}} = 956,7 / 320 = 3; \\ \text{В} &\rightarrow k_{\text{ч}} = I_{\text{К6н}}^{(2)} / I_{\text{снВ}} = 490 / 126 = 3,9. \end{aligned}$$

При однофазному короткому замиканні значення розрахункових струмів спрацювання реле самостійного розмикача будуть такими:

$$\begin{aligned} \text{А} &\rightarrow I_{\text{с рн}} = 1,25 \cdot 0,3 I_{\text{мп}} = 26,6 \text{ А}; \\ \text{Б} &\rightarrow I_{\text{с рн}} = 1,25 \cdot 0,3 I_{\text{мп}} = 48,4 \text{ А}; \\ \text{В} &\rightarrow I_{\text{с рн}} = 1,25 \cdot 0,3 I_{\text{мп}} = 21 \text{ А}. \end{aligned}$$

Прийmemo:

$$\begin{aligned} \text{А} &\rightarrow I_{\text{с рн}} = 31,5 \text{ А}; < I_{\text{К10н}}^{(1)} / 2 = 100,5 \text{ А}; \\ \text{Б} &\rightarrow I_{\text{с рн}} = 50 \text{ А}; < I_{\text{К3н}}^{(1)} / 2 = 117,5 \text{ А}; \\ \text{В} &\rightarrow I_{\text{с рн}} = 25 \text{ А}; < I_{\text{К6н}}^{(1)} / 2 = 84,8 \text{ А}. \end{aligned}$$

Визначаємо значення струму спрацювання електромагнітного розмикача:

$$-I_{сн} = 1600 \text{ А.}$$

При трифазному короткому замиканні на початку ліній 1, 4 і 10 струм буде становити

$$(I_{К\text{бн}}^{(3)} = 2802,5 \text{ А}),$$

що потягне за собою спрацювання електромагнітних розмикачів автоматичних вимикачів та миттєве вимикання відповідного фідера.

Електромережа напругою 10 кВ. Відповідно до Правил улаштування електроустановок [19] на лініях напругою 10 кВ при односторонньому живленні потрібно застосовувати 2-ступінчастий струмовий захист, 1-й ступінь якого реалізовано у вигляді струмової відсічки, а 2-й реалізовано у вигляді найбільшого струмового захисту (залежна або незалежна витримка часу).

На лінії напругою 10 кВ зі сторони підстанції 110/10 кВ, що здійснює живлення ТП 10/0,4 кВ встановимо трансформатори струму серії ТПЛК-10 на фазах А і С з коефіцієнтом трансформації 10/5. 2-ступінчастий струмовий захист реалізовано за схемою, що приведена на слайдах графічної частини кваліфікаційної роботи.

Виберемо значення струму спрацювання відсічки за умовою:

$$I_{сзв} = k_{н} I_{Кзобн}, \quad (3.14)$$

де $I_{Кзобн}$ - значення зовнішнього найбільшого струму короткого замикання (струм у місці наявного захисту при короткому замиканні на стороні низької напруги силового трансформатора 10/0,4 кВ);

$$k_{н} = 1,2 \text{ для реле РТ-40.}$$

$$I_{сзв} = 1,2 \cdot 112,1 = 134,5 \text{ А.}$$

Знайдемо значення струму спрацювання реле за умовою:

$$I_{сзв} = \frac{I_{сзв}}{n_{тр}}; \quad (3.15)$$

$$I_{сзв} = \frac{134,5}{10/5} = 67,25 \text{ А.}$$

Виконаємо перевірку чутливості спрацювання відсічки при струмі двофазного короткого замикання в кінці лінії:

$$k_{чв} = \frac{I_{к min}^{(2)}}{I_{сзв}}; \quad (3.16)$$

$$k_{чв} = \frac{644}{134,5} = 4,8 > 1,5.$$

Отже, відповідно до вимог Правил улаштування електроустановок [19] для даного випадку застосовуємо відсічку у якості основного захисту лінії.

У якості 2-ї ступені захисту лінії напругою 10 кВ розроблено електромережі можна вибрати найбільший струмовий захист з використанням реле РТ-40 (непрямої дії) та часового реле типу РВ-122. Значення струм спрацювання захисту знаходимо за формулою:

$$I_{с.з.} = \frac{k_H \cdot k_3}{k_{П}} \cdot I_{max p}, \quad (3.17)$$

де

$$I_{max p} = \frac{S_{\sum \rho_n}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \quad (3.18)$$

$$I_{max p} = \frac{135}{\sqrt{3} \cdot 10} = 7,8 \text{ А;}$$

$$I_{с.з.} = \frac{1,2 \cdot 1}{0,8} \cdot 7,8 = 11,7 \text{ А.}$$

Знайдемо значення струму спрацювання реле за умовою:

$$I_{с.р.} = \frac{I_{с.з.}}{n_{мс}}. \quad (3.19)$$

$$I_{с.р.} = \frac{11,7}{10/5} = 5,85 \text{ А.}$$

Виконаємо перевірку чутливості найбільшого струмового захисту (у якості резервного для силового трансформатора) за умовою короткого замикання на стороні низької напруги ТП 10/0,4 кВ:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{КЗ}}^{(2)}}{I_{\text{с.з.}}} \quad (3.20)$$

$$k_{\text{ч}} = \frac{97,5}{11,7} = 8,48 > 1,2$$

3.6 Розробка схеми автоматизації гноєтранспортера

На тваринницьких фермах ТОВ «Язловецький відгодівельний комплекс» керування гноєтранспортерами здійснюється на даний час в ручному режимі. Відсутній також захист двигунів, що призводить до виходу з ладу 1-2 двигунів щороку. Двигуни на транспортери ставлять більшої потужності, що призводить до їх недовантаження і наслідком чого є низький $\cos\varphi$.

Процес видалення гною є доволі трудомістким і займає багато часу в виробничому циклі тваринницького господарства. Тому розробка устаткування, що зможе забезпечити в тваринницьких комплексах автоматичне управління роботою гноєприбиральних транспортерів, є одним із головних завдань. На тваринницьких комплексах найбільшого застосування знайшли транспортери скребкові кругового руху серії ТСН-3,0Б, ТСН-160 і зворотно-поступального руху - УС-10, УС-15, УС-12, ТС-1 та інші [24].

Транспортери кругового руху серії ТСН-3 та ТСН-160 мають в своєму складі горизонтальні і похилі транспортери. Перші при допомозі скребоків, приєднаних до ланцюга, здійснюють переміщення гною спеціальними каналами із тваринницького приміщення до похилих транспортерів, а далі - на транспортні засоби. Похилий транспортер вмикається першим, а після нього вмикається горизонтальний, відключення здійснюється в зворотному порядку. Після відключення горизонтального транспортера через заданий проміжок часу, достатнім для звільнення його від гною, відключають похилий транспортер. Це робиться для того, щоб в зимову пору при замерзанні залишкового

гною на похилому транспортері робочі рухомі частини не примерзли до його конструкції (це стосується тієї частини, яка розміщена поза приміщенням, на вулиці). Пуск електричного двигуна похилого транспортера в такому випадку може не здійснитися, оскільки електричний двигун не зможе запустити примерзлі робочі компоненти транспортера. Для такого випадку електричний двигун від мережі мав би відключити захист, а при його відсутності чи не спрацюванні можуть вийти з ладу його обмотки [25].

3.7 Вибір електроприводу гностранспортера

В процесі видалення гною при допомозі транспортера кругового руху відбувається зміна навантаження електричного двигуна, оскільки його запуск виконують при найбільшому навантаженні. Під час руху ланцюга зі скребками і переміщенням гною в приймальну частину похилого транспортера маса гною, що переміщується, стає меншою і на завершальній стадії прибирання при здійсненні ланцюгом транспортера повного оберту, навантаження спадає до величини холостому ходу двигуна.

Для горизонтального транспортера тривалість роботи при одному прибиранні розраховують за формулою [25]:

$$t = \frac{1,05 \cdot l}{v} \quad (3.21)$$

де l – величина довжини горизонтального транспортера (170 м);

v - швидкість переміщення ланцюга зі скребками (0,19 м/с);

1,05 – значення коефіцієнта тривалості пуску.

$$t = \frac{1,05 \cdot 170}{0,19} = 900 \text{ с.}$$

Після відключення горизонтального транспортера тривалість роботи похилого транспортера встановлюють біля 1,5 хв. – час, за який необхідно звільнення від наявного на ньому гною.

Отримані розрахунки свідчать про те, що на початку видалення гною навантаження є майже в 4 рази більшим, ніж в кінці операції. Тому при виборі

електричного двигуна для горизонтальних транспортерів розраховують найбільше можливе навантаження на початковому етапі прибирання і за умовою пуску визначають необхідний момент пуску і потужність електричного двигуна.

При роботі в неробочому стані можна знайти зусилля транспортерного ланцюга за формулою:

$$F_x = mglf_x, \quad (3.22)$$

де m – значення маси 1м ланцюга зі скребками (16 кг/м);

g – величина прискорення (9,81 м/с);

l – величина довжини ланцюга, м;

f_x - значення коефіцієнта тертя ланцюга ($f_x = 0,5$).

$$F_x = 16 \cdot 9,81 \cdot 160 \cdot 0,5 = 12557 \text{ Н.}$$

Зусилля, яке затрачається під час переміщення гною каналом, для подолання опору тертя цього гною дном каналу, знаходять за формулою:

$$F_H = m_H g f_H, \quad (3.23)$$

де $m_H = Nm_1/z$ - вага гною в каналі при одному видаленні (кг);

N – к-ть тварин на обслуговування одним транспортером (100 гол.);

m_1 - к-ть гною від однієї тварини за добу (40 кг/гол.);

Z - добова кількість видалення гною ($z = 4$);

f_H - значення коефіцієнт тертя гною дном каналу, ($f_H = 0,97$).

$$F_H = 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,97 = 9516 \text{ Н.}$$

Зусилля, яке затрачається під час переміщення гною каналом, для подолання опору тертя цього гною по бокових стінках, знаходять за формулою:

$$F_6 = p_6 f_H, \quad (3.24)$$

де p_6 - величина тиску гною на бокові стінки каналу (рівна 50% від загальної маси гною - $p_6 = m_H g / 2$).

$$F_{\text{б}} = 4905 \cdot 0,97 = 4758 \text{ Н.}$$

Зусилля, яке затрачується під час подолання опору при застряганні гною, що виникає між скребками та стінками каналу, знаходять за формулою:

$$F_{\text{з}} = lF_1/a, \quad (3.25)$$

де $F_1=15$ Н – величина зусилля, затраченого на подолання опору при застряганні (припадає на один скребок);

$a = 0,5$ м- значення відстані між скребками (м).

$$F_{\text{з}} = 160 \cdot 15/0,46 = 5217 \text{ Н.}$$

Сумарне найбільше зусилля, що потрібно затратити для переміщення гною в каналі при повністю завантаженому транспортері, знаходять за формулою:

$$F_{\text{max}} = F_{\text{н}} + F_{\text{б}} + F_{\text{з}} + F_{\text{х}}. \quad (3.26)$$

$$F_{\text{max}} = 9516 + 4758 + 5217 + 12557 = 32048,0 \text{ Н.}$$

Значення моменту опору, приведеного до валу електричного двигуна, при найбільшому навантаженні, знаходять за формулою:

$$M_{\text{max}} = F_{\text{max}}v/(\omega\eta_{\text{п}}), \quad (3.27)$$

де ω – значення кутової швидкості електричного двигуна (157,5 рад/с).

$$M_{\text{max}} = 32048 \times 0,19 / (157,50 \times 75) = 51,50 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Оскільки відомо, що приведений до валу електричного двигуна момент опору має тенденцію до збільшення при пуску транспортера, то момент пуску від найбільшого зусилля опору можна визначити наступним чином:

$$M_{\text{т.пр}} = 1,2 \times M_{\text{max}}. \quad (3.28)$$

$$M_{\text{т.пр}} = 1,2 \times 51,5 = 61,8 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Потрібний момент електродвигуна:

$$M \geq \frac{M_{\text{т.пр}}}{k^2 \mu_{\text{п}} - 0,25}, \quad (3.29)$$

де μ_n - значення кратності пускового моменту (наприклад, для електричного двигуна типу 4А потужністю до 10 кВт, $\mu_n=2,0$).

$$M \geq \frac{61,8}{1,2^2 \cdot 2,0 - 0,25} = 23,5 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Знайдемо потрібну потужність електричного двигуна:

$$P = M\omega. \quad (3.30)$$

$$P = 24 \cdot 157,5 = 3780 \text{ Вт}.$$

Вибираємо електродвигун серії 4А100В4СУ1 потужністю 4,0 кВт (синхронний, частота обертання становить 1500 об/хв).

Для похилого транспортера потужність електричного двигуна можна розрахувати за формулою:

$$P = \frac{Q}{367 \cdot \eta_n} \left(Lf + \frac{h}{\eta_r} \right), \quad (3.31)$$

де Q - подача, рівна 18 т/год;

η_n - ККД редуктора, беремо 0,75;

L - горизонтальна складова шляху переміщення вантажу, м:

$$L = l \cdot \cos \alpha = 20 \cdot \cos 30^\circ = 17,3 \text{ м},$$

де l - шлях переміщення гною, м;

α - кут нахилу, рівний 30° .

F - коефіцієнт тертя ланцюга, ($f=1,3$);

h - висота підйому, м; $h = l \cdot \sin \alpha = 20 \cdot \sin 30^\circ = 10 \text{ м}$;

η_r - ККД транспортера.

$$P = \frac{18}{367 \cdot 0,75} \left(17,3 \cdot 1,3 + \frac{10}{0,6} \right) = 1,53 \text{ кВт}.$$

Отже, до встановлення приймаємо електричний двигун серії 4А80В4СУ1, потужність якого становить 1,50 кВт, а синхронна частота обертання рівна 1500 об/хв.

3.8 Розробка схеми керування транспортером

На слайдах графічної частини кваліфікаційної роботи приведено принципову електричну схему керування гноєтранспортером ТСН-160 (комплектний пристрій ЯАА5910). Дистанційне керування електродвигунами гноєтранспортера здійснюється при допомозі кнопкових постів *SB1...SB4*. Під час пуску спочатку вмикають автоматичні вимикачі *QF1* і *QF2*, які захищають двигуни від режиму короткого замикання. Якщо натиснути кнопку *SB3*, то отримує живлення котушка магнітного пускача *KM1*, який запускає електричний двигун похилого транспортера та здійснює підготовку електричного кола пускача *KM2* пуску горизонтального транспортера до запуску на довготривалу роботу і подає живлення на захисний пристрій А. За допомогою кнопки *SB2* здійснюється подача живлення на котушку електромагнітного пускача *KM2*, - він відповідає за запуск електричного двигуна горизонтального транспортера.

В схемі передбачено ввімкнення на зимовий період блоку захисту УЗП-1 від примерзання скребків похилого транспортера. Блок підключається за допомогою перемикача *SA*, про що сигналізує лампа *HL1*. В цьому випадку, якщо температура повітря вища від норми, контакт датчика температури *SK* замкнутий, відповідно з випрямляючого моста *VD2...VD5* сигнал подається через діод *VD1*, резистор *R1*, конденсатор *C1* на керуючий електрод тиристора *VS*, котрий відкривається. Котушка електромагнітного пускача *KM1* отримує живлення, вмикається електродвигун похилого транспортера.

Коли температура повітря нижча від норми, контакт датчика температури *SK* розімкнутий, тиристор *VS* закритий, відповідно ввімкнення похилого транспортера неможливе. Для забезпечення ввімкнення похилого транспортера його слід ретельно оглянути, звільнити від можливого примерзання і намерзання.

На рис. 3.1 представлено схему електричну принципова захисного пристрою.

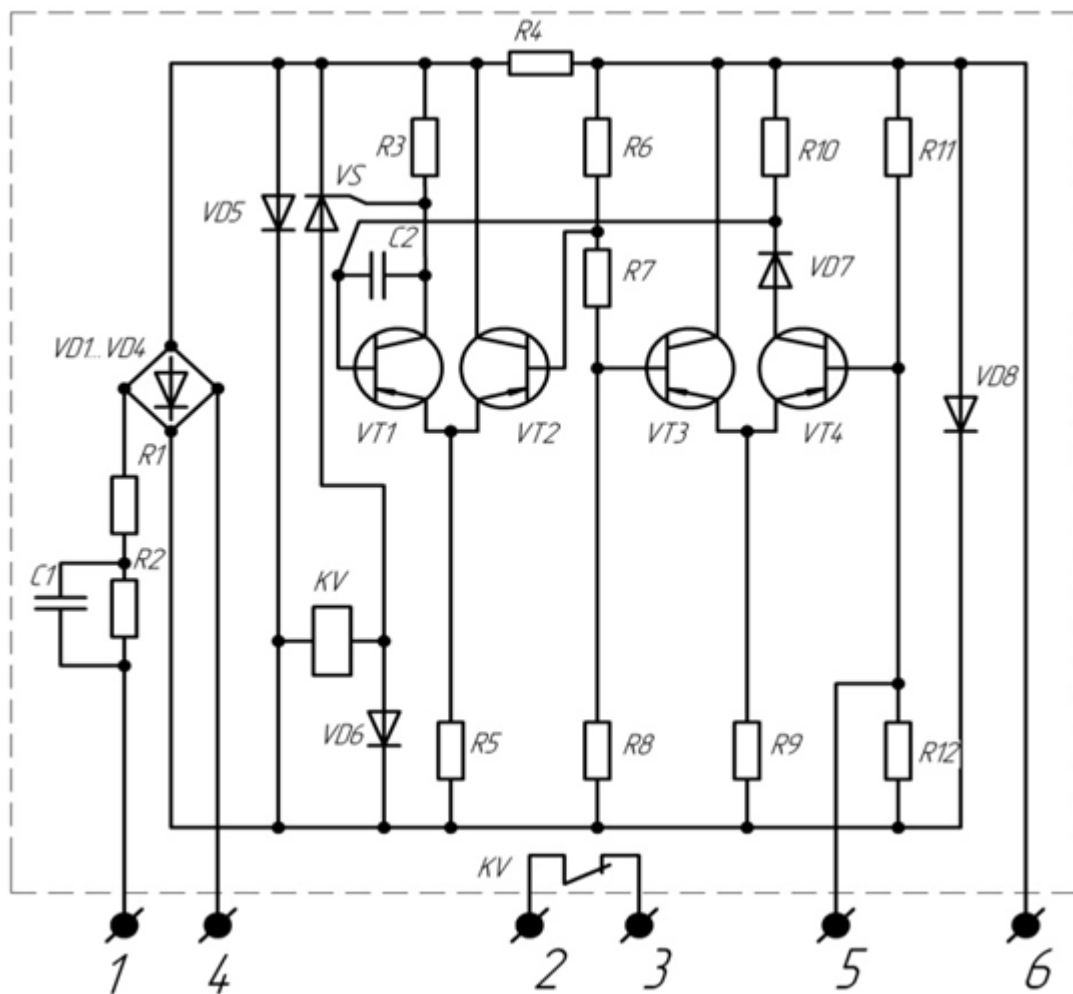


Рисунок 3.1 - Схема електрична принципова захисного пристрою

Принцип роботи схеми полягає в тому, що у випадку збільшення температури обмоток двигуна, опір позисторів (позистори розміщені безпосередньо на обмотці по одному на кожен фазу) збільшується і сигнал, який поступає на транзистор *VT4* і він закривається, натомість відкривається транзистор *VT1*. Тиристор *VS* і реле *KV* вмикаються і контакт реле розмикає коло живлення котушки електромагнітного пускача, який вимикає двигун від мережі.

3.9 Висновки до розділу 3

1. Розроблено підхід до проєктування мережі напругою 0,4 кВ і виконані розрахунки показали, що всі розглянуті ділянки мають необхідну якість електричної енергії згідно з вимогами до відхилення напруги.

2. Виконано визначення втрат електричної енергії в електромережі, які складаються із суми втрат в електромережі напругою та у трансформаторі.

3. Розглянуто умови вибору трансформаторної підстанції та дослідження аварійних режимів, де перевагу надано комплектній трансформаторній підстанції відкритого типу, а розрахунок аварійних струмів використано для вибору апаратури підстанції для захисту від цих струмів. Також проведено розрахунок струмів коротких замикань для різних режимів роботи трансформатора.

4. Виконано розрахунок релейного захисту проєктованої системи, зокрема, для силового трансформатора та електромереж напругою 0,4 кВ і 10 кВ.

5. Виконана розробка схеми автоматизації гноетранспортера та вибір електроприводу гноетранспортера є одним із головних завдань, оскільки дозволяє забезпечити в тваринницьких комплексах автоматичне управління роботою гноєприбиральних транспортерів.

6. Виконано розробку схеми керування транспортером, що дозволяє автоматизувати технологічний процес, скоротити час обслуговування та зекономити фінансові витрати.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Розрахунок захисного заземлення

Захисне заземлення – це навмисне з'єднання з землею частин обладнання, які не знаходяться під напругою в нормальних умовах експлуатації, але які можуть знаходитись під напругою в результаті порушення ізоляції електроустановки. Заземлюючий пристрій розташовується за межами ділянки, на якій розміщене обладнання, що заземлюється. Конструктивними елементами захисного заземлення є заземлювачі (металеві провідники, які знаходяться в землі) і провідники, які з'єднують обладнання з заземлювачем [27].

Розрахунки заземлюючого контуру будемо вести у відповідності до порядку розрахунку захисного заземлення згідно Правил улаштування електроустановок (ПУЕ) [19]. Для розрахунку штучного заземлюючого контуру приймаємо наступні вихідні дані: контур складається з сталевих заземлювачів та з'єднувальної штаби [28]. З'єднані заземлювачів між собою зварними швами. Грунт - суглинок з питомим електричним опором $\rho = 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$; заземлювачі – вертикальні електроди довжиною $l_g=2 \text{ м}$, діаметром $d=0,012 \text{ м}$, середина яких розміщена на глибині $t=1,5 \text{ м}$, а верхні кінці на глибині $h=0,5 \text{ м}$. Заземлювачі з'єднані між собою горизонтальною з'єднувальною штабою зі стрічки перерізом $40\times 4 \text{ мм}$, відстань між вертикальними заземлювачами $2 \cdot l_g$, тобто $a = 2 \cdot 2 = 4 \text{ м}$. Допустимий опір контурного заземлюючого пристрою згідно ПУЕ [19]:

$$R_{\text{доп}} \leq 4 \text{ Ом.}$$

Розрахунок. Визначаємо розрахунковий опір ґрунту, (Ом·м):

$$\rho_{\text{гр}} = \Phi \rho_{\text{пит.гр}}, \quad (4.1)$$

де Φ – коефіцієнт сезонності, який враховує коливання питомого опору при зміні вологості ґрунту протягом року; $\Phi=1,1 \div 1,2$.

$$\rho_{\text{гр}} = 1,2 \cdot 100 = 120 \text{ Ом}\cdot\text{м.}$$

Визначаємо опір розтікання струму одиночного вертикального заземлювача R_B , (Ом):

$$R_B = \frac{\rho_{гр}}{2 \cdot \pi \cdot l_{г}} \left(\ln \frac{2 \cdot l_B}{d} + \frac{l_B}{2} \cdot \ln \frac{4t + l_B}{4t - l_B} \right). \quad (4.2)$$

$$R_B = \frac{120}{2 \cdot 3,14 \cdot 2} \left(\ln \frac{2 \cdot 2}{0,012} + \frac{2}{2} \ln \frac{4 \cdot 1,5 + 2}{4 \cdot 1,5 - 2} \right) = 62,4 \text{ Ом.}$$

Визначаємо приблизну кількість заземлювачів, шт:

$$n_{\text{приб.}} = \frac{R_B}{[R_{\text{доп.}}]}. \quad (4.3)$$

$$n_{\text{приб.}} = \frac{62,4}{4} \approx 16 \text{ шт.}$$

Знаходимо із таблиць коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів η_B , який враховує ефект екранування.

$$k = \frac{a}{l_{г}}. \quad (4.4)$$

$$k = \frac{5}{2} = 2,5.$$

Тоді по значенню k знаходимо $\eta_B = 0,83$.

Уточнена кількість заземлювачів n :

$$n = \frac{R_B}{[R_{\text{доп.}}] \eta_B}. \quad (4.5)$$

$$n = \frac{62,4}{4 \cdot 0,83} = 19 \text{ шт.}$$

Визначаємо довжину горизонтальної штаби, м:

$$L_{\text{шт}} = a \cdot (n - 1). \quad (4.6)$$

$$L_{\text{шт}} = 5 \cdot (19 - 1) = 90 \text{ м.}$$

Обчислюємо опір горизонтальної штаби.

Розрахунковий питомий опір ґрунту $\rho_{гр}$ при використанні горизонтальної штаби:

$$\rho_{гр} = 100 \cdot 1,3 = 130 \text{ Ом} \cdot \text{м.}$$

$$R_{шт} = \frac{\rho_{грр}}{2\pi L_{шт}} \ln \frac{2L_{шт}}{Bh}, \quad (4.7)$$

де B – ширина штаби, м.

$$R_{шт} = \frac{130}{2 \cdot 3,14 \cdot 90} \ln \frac{2 \cdot 90}{0,04 \cdot 0,5} = 2,1 \text{ Ом.}$$

Визначаємо загальний опір заземлюючого пристрою з врахуванням коефіцієнта використання горизонтальної штаби:

$$R_{заг} = \frac{R_{в} \cdot n \cdot \frac{R_{шт}}{\eta_{шт}}}{R_{в} \cdot n + \frac{R_{шт}}{\eta_{шт}}}. \quad (4.8)$$

$$R_{заг} = \frac{62,4 \cdot 19 \cdot \frac{2,1}{0,88}}{62,4 \cdot 19 + \frac{2,1}{0,88}} = 2,5 \text{ Ом.}$$

Оскільки розрахований загальний опір заземлюючого пристрою менший допустимого згідно ПУЕ $R_{заг} < R_{доп}$, то приймаємо розрахований контур заземлення, який включає 19 вертикальних стержнів, з'єднаних горизонтальною штабою довжиною 90 м.

4.2 Розрахунок грозозахисту

Вихідні дані для розрахунку наведено в табл. 4.1, схема розміщення підстанції відносно блискавковідводу – на рис. 4.1.

Таблиця 4.1 - Вихідні дані для розрахунку грозозахисту

Назва розміру	Одиниці виміру, м	Умовне позначення
Розміри підстанції:		
- довжина	1,3	A
- ширина	1,3	B
- висота	4,5	H _x
Відстань від підстанції до блискавковідводу	4	R

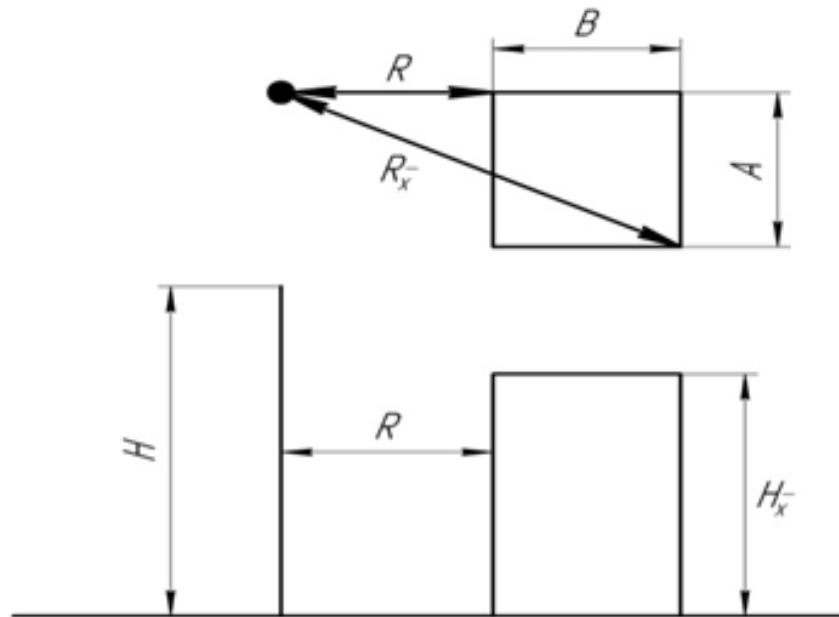


Рисунок 4.1 - Розміщення підстанції відносно блискавковідводу

Розрахунок. Визначаємо відстань від блискавковідводу до найвіддаленішої точки підстанції [29]:

$$R_x = \sqrt{(R + B)^2 + A^2}. \quad (4.9)$$

$$R_x = \sqrt{(4 + 1,3)^2 + 1,3^2} = 5,4 \text{ м.}$$

Визначаємо висоту блискавковідводу за формулою:

$$H = \frac{1,6H_x + R_x}{3,2} + \sqrt{\left(\frac{1,6H_x + R_x}{3,2}\right)^2 + \frac{H_x R_x}{1,6}}. \quad (4.10)$$

$$H = \frac{1,6 \cdot 4,5 + 5,4}{3,2} + \sqrt{\left(\frac{1,6 \cdot 4,5 + 5,4}{3,2}\right)^2 + \frac{4,5 \cdot 5,4}{1,6}} = 9,48 \text{ м.}$$

Приймаємо висоту блискавковідводу $H = 9,5$ м.

Контур споруди і захисна зона приведені на слайді графічної частини кваліфікаційної роботи.

4.3 Дослідження оцінки стійкості роботи проєктованого об'єкта

Дослідження стійкості роботи об'єкту — це всебічне вивчення обстановки, яка може скластися під час надзвичайної ситуації та визначення її впливу на виробничу діяльність підприємства. Мета дослідження полягає в тому, щоб виявити слабкі місця в роботі об'єкта та виробити найбільш ефективні пропозиції, спрямовані на підвищення його стійкості [30].

Проводиться воно силами інженерно-технічного персоналу із залученням спеціалістів науково-дослідних та проєктних організацій. Організатором та керівником досліджень є керівник підприємства.

Увесь процес планування і проведення досліджень поділяється на три етапи [31]:

- I етап — підготовчий;
- II етап — оцінка стійкості роботи ОГД;
- III етап — розроблення заходів, які підвищують стійкість роботи об'єкту в умовах надзвичайних ситуацій.

На першому етапі розробляються керівні документи, які визначають склад учасників досліджень та організовується їх підготовка.

Основними документами для організації досліджень є:

- наказ керівника підприємства, щодо проведення дослідження;
- календарний план основних заходів з підготовки до проведення досліджень;
- план проведення досліджень.

Наказ керівника підприємства розробляється на підставі вказівок старшого начальника з урахуванням умов пов'язаних з виробничою діяльністю об'єкта. В наказі вказується:

- мета і завдання дослідження;
- терміни проведення робіт;
- склад учасників досліджень;
- склад і завдання дослідницьких груп;
- строки готовності облікової документації.

На другому етапі проводиться безпосереднє дослідження стійкості роботи об'єкта. В ході дослідження визначаються умови захисту робітників та службовців від уражаючих факторів, проводиться оцінка уразливості виробничого комплексу від різних уражаючих факторів, оцінюється характер можливих пошкоджень від вторинних уражаючих факторів, вивчається стійкість роботи системи забезпечення та кооперативних зв'язків з іншими об'єктами, з'ясовуються вразливі місця в системі управління виробництвом.

Другий етап складається з певних груп, кожна з яких оцінює стійкість відповідних елементів виробничого комплексу та робить необхідні розрахунки.

1. Група комплексних досліджень - робить загальну оцінку стійкості роботи об'єкту.

2. Група досліджень стійкості будівель та споруд - визначає ступінь їх стійкості до дії уражаючих факторів, оцінює розміри можливої шкоди від дії вторинних уражаючих факторів та проводить розрахунки сил і засобів, необхідних для відновлення виробничих споруд при різних ступенях руйнування.

3. Група досліджень стійкості виробничого обладнання - оцінює стійкість технологічних ліній, верстатів та механізмів.

4. Група дослідження стійкості технологічного процесу - оцінює стійкість технологічного процесу.

5. Група досліджень стійкості систем енергозабезпечення – оцінює стійкість системи електро-, газо- та водопостачання, каналізації та можливість переведення котелень на інші види палива; нормативно-необхідні та мінімальні потреби з кожного виду енергії; основні та додаткові джерела енергопостачання, можливості внутрішніх та зовнішніх джерел; стійкість заводських комунікацій; наявність та можливості автономних джерел енергопостачання; характер можливих аварій і можливість виникнення вторинних факторів ураження та їх наслідки; можливі варіанти підвищення стійкості роботи систем енергопостачання; варіанти відновлення систем енергопостачання при різних ступенях ураження об'єкта; можливість підключення до сусідніх трансформаторних підстанцій.

6. Група досліджень стійкості матеріально-технічного постачання і транспорту - аналізує систему забезпечення робочого процесу всім необхідним для випуску продукції в умовах надзвичайної ситуації; оцінює умови відправки продукції і стійкості роботи транспорту; обґрунтовує необхідність і створює додаткові запаси сировини, обладнання, комплектуючих виробів, а також визначає місця їх зберігання; вивчає стійкість існуючих зв'язків з поставниками та користувачами; складає розрахунки на потрібну кількість будівельних та інших матеріалів для відновлення виробництва і будівництва сховищ на об'єкті та ПРУ в заміській зоні (на підставі заявок інших груп).

На третьому етапі підводяться підсумки проведених досліджень. Групи спеціалістів за підсумками досліджень готують і пропозиції з захисту робітників та службовців і підвищенню стійкості елементів виробництва, які досліджуються.

Група комплексних досліджень на основі доповідей інших груп складає загальну доповідь, в якій визначаються: можливості щодо захисту робітників і службовців в ЗС; загальна оцінка стійкості об'єкта, найбільш слабкі (вразливі) ділянки виробництва; практичні заходи, терміни та обсяги робіт, які виконуються при повсякденній діяльності та при загрозі надзвичайної ситуації; порядок та приблизні строки відновлюваних робіт при різних ступенях руйнування.

Правильність проведених розрахунків та реальність пропозицій і рекомендацій перевіряються на спеціальних навчаннях під керівництвом начальника ЦЗ об'єкта.

Завчасно плануються і проводяться, в основному, заходи які потребують значних матеріальних витрат та часу на їх виконання. Економічна ефективність цих заходів може бути досягнута при їх коригуванні з завданнями щодо безаварійної роботи об'єкта, поліпшення умов праці, удосконаленню виробничого процесу, реконструкції виробництва і таке інше.

На період загрози виникнення НС плануються заходи, які можуть бути легко реалізовані або виконання яких в мирний час недоцільно.

Методика оцінки стійкості об'єкта базується на таких вихідних положеннях:

- спочатку оцінюється стійкість кожного елемента об'єкта;
- стійкість об'єкта в цілому оцінюється по стійкості найбільш слабкого елемента.
 - стійкість об'єкта оцінюється по відношенню до кожного з можливих уражаючих факторів НС (варіантів аварій, стихійного лиха, сучасної зброї);
 - враховуються максимальні значення параметрів уражаючих факторів щодо умов розташування об'єкта.

За результатами порівняння визначають, чи об'єкт стійкий щодо даного уражаючого фактора та чи потрібно підвищувати його стійкість.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи було виконано розробку проекту системи керування електроприводом для ТОВ «Язловецький відгодівельний комплекс» із застосуванням знань, отриманих при вивченні загальних і спеціальних дисциплін. Кваліфікаційна робота виконана на базі представлених технічних даних діючого сільськогосподарського підприємства і пов'язана з його реальними потребами та запитами.

В ході виконання кваліфікаційної роботи було здійснено характеристику об'єкта господарювання, проведено технічні розрахунки, виконано вибір елементів системи електрообладнання проєктованого об'єкта та вирішено такі поставлені завдання.

1. Розглянуто роль електроприводу в сільському господарстві країни, широко застосування якого дозволить підвищити продуктивність праці та конкуренто-спроможність вітчизняної продукції.

2. Виконано розміщення об'єктів з нанесенням електричної та водогінної мереж.

3. Виконано розрахунок електропостачання об'єкта, розрахунок навантаження електричних вузлів, розроблено схему розміщення електричних об'єктів господарства та трансформаторної підстанції.

4. Розроблено схеми для розрахунку струму короткого замикання та релей-ного захисту електричної мережі 10 кВ.

5. Розроблено схему електроз'єднань КТП 10/0,4 кВ потужністю 100 кВ·А.

6. Розроблено електричну схему керування гноєтранспортером ТСН-160.

7. Розроблено схему захисного заземлення і зони одиночного блискавковідводу.

Виконана кваліфікаційна робота дає змогу зменшити затрати на процес гноєвидалення, зменшити затрати електричної енергії, що підтверджує мету роботи.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Скопенко Н. Агропромисловий сектор: сучасний стан, тенденції та перспективи розвитку: Економічний аналіз. – 2011. – Вип. 8. – Ч. 1. – С. 179- 183
2. Оробчук Б., Гоцуляк Ю. Підвищення надійності електропостачання сільськогосподарських споживачів. Актуальні питання розвитку агропромислового комплексу. ВП НУБІП України «Бережанський агротехнічний інститут». - Бережани, 2016 р.
3. Бебко В. Г. Зниження втрат електроенергії у сільському господарстві / В. Г. Бебко, С. Я. Меженний, В. Г. Стафійчук, В. Ю. Юрчук // – К.: Урожай, – 2008. – 128 с.
4. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування: Навчальний посібник / Барало О.В., Самойленко П.Г., Гранат С.Є., Ковальов В.О. – К. : Аграрна освіта, 2016. – 557 с.
5. Теорія електропривода: [підручник для студ. вищ. навч. закл.] М.Г. Попович, М.Г. Борисюк, В.А. Гаврилюк, О.М. Желдак, О.В. Ковальчук, Є.П. Красовський, С.М. Пересада, М.В. Печеник, В.І. Теряєв, В.М. Пижов: за ред. М.Г. Поповича. – К.: Вища шк., 1993. – 494 с.
6. Електропривод сільськогосподарських машин, агрегатів та потокових ліній: [підручник для студ. вищ. навч. закладів] / Є.Л. Жулай, Б.В. Зайцев, Ю.М. Ларіненко, О.С. Марченко, Д.Г. Войтюк: за ред. Є.Л. Жулая. – К.: Вища освіта, 2001. – 288 с.
7. Електрообладнання та засоби автоматизації сільськогосподарської техніки / В. А. Гриневич та ін. ; за ред. В. А. Гриневич. Київ : НМЦ, 2006. 170 с.
8. Матвійчук В.А. Електротехнології в АПК: навчальний посібник/ В.А. Матвійчук, О. Є. Рубаненко, І. П. Стаднійчук. ВНАУ – Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2020. – 272 с.
9. Електропривод і автоматизація: Навчальний посібник / О.Ю.Синявський, П.І Савченко, Ю.М. Лавріненко та ін.; За ред. О.Ю.Синявського. – К.: Аграр Медіа Груп, 2013. – 586 с.

10. Механізація та автоматизація у тваринництві і птахівництві / О. С. Марченко та ін. ; за ред. О. С. Марченко. Київ : Урожай, 2012. 155 с.
11. Електричні машини і апарати / Ю. М. Куценко та ін. ; за ред. Ю. М. Куценко. Київ : Аграрна освіта, 2014. 449 с.
12. Оробчук Б., Прокопчук В. Бартошевський Р. Методи зниження втрат електричної енергії в розподільчих мережах. Актуальні задачі сучасних технологій: зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, (Тернопіль, 6-7 грудня 2023) // М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]: ТНТУ, 2023
13. Гаврилюк І.А. Курс лекцій з електроприводу сільськогосподарських машин, агрегатів та поточкових ліній : підруч. / І.А. Гаврилюк, Ю.М. Хандола. – Харків : Факт, 2008. – 260 с.
14. Корчемний М. Енергозбереження в агропромисловому комплексі/М. Корчемний, В. Федорейко, В. Щербань. – Тернопіль: Підручники @ посібники, 2001. – 984с.
15. Електричні мережі та системи: підручник [для студентів електроенергет. спец. ВНЗ, аспірантів, викл. і спеціалістів відповід. профілю] / М. С. Сегеда ; М-во освіти і науки України, Нац. ун-т «Львів. політехніка». — 3-тє вид, переробл. та доповн. — Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2015. — 540 с.
16. Оробчук Б.Я. Конспект лекцій з дисципліни «Енергетичні установки» для студентів, які навчаються за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – Тернопіль: В-во ТНТУ ім. І. Пулюя, 2023 р. – 107 с.
17. Електричні машини: навчальний посібник. // О.А. Буняк, І.М. Сисак, С.М. Бабюк, Б.Я. Оробчук, Я.М. Осадца, В.П. Коваль. – Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., – 2023. О – 324 с.
18. Козирський В.В. Електропостачання агропромислового комплексу: підруч. / Козирський В.В., Каплун В.В., Волошин С.М. – К. : Аграрна освіта, 2011. – 448 с.

19. ПУЕ - Правила улаштування електроустановок (перше переглянуте, перероблене, доповнене та адаптоване до умов України видання)/ Наказ від 21.07.2017 № 476 Про затвердження Правил улаштування електроустановок
20. Закон № 1818-IX «Про енергетичну ефективність». Прийнятий Верховною Радою 21 жовтня 2021 року, надруковано в газеті «Голос України» 12.11.21 р.
21. Електрична частина станцій та підстанцій: курс лекцій [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»/уклад.: О.В. Остапчук, П.Л. Денисюк, Ю.П. Матеєнко / КПІ ім. Ігоря Сікорського, – Електронні текстові дані. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 183 с.
22. Ю.М. Лаврінченко, П.В. Олійник, В.В. Савченко. Автоматичні вимикачі та пристрої захисного вимикання. Технічні характеристики та правила вибору // Навчальний довідник з дисципліни „Проектування систем електрифікації, автоматизації та електропостачання сільського господарства”. – Київ, 2013 р.
23. Оробчук Б., Терновий В. Підвищення надійності роботи силового обладнання підстанцій. Актуальні питання розвитку агропромислового комплексу. ВП НУБІП України «Бережанський агротехнічний інститут». - Бережани, 2016 р.
24. Хомик Н.І., Довбуш А.Д., Олексюк В.П. Машини та обладнання для тваринництва: навчальний посібник (курс лекцій). Частина друга. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2021. 246 с.
25. Жулан Є. Л. Електропривід сільськогосподарських машин, агрегатів та поточкових ліній: підручник. Київ : Вища освіта, 2013. 214 с.
26. Марченко О. С. Довідник по монтажу і налагодженню електрообладнання в сільському господарстві. Київ : Урожай, 2014. 175 с.
27. Ткачук К.Н., Зацарний В.В., Третьякова Л.Д., Мітюк Л.О. Охорона праці і промислова безпека: навчальний посібник. Київ: Лібра, 2010. - 425 с.
28. Правила експлуатації електрозахисних засобів. Вид. офіц. Київ: Міністерство енергетики, 2002. 46 с.

29. Бондаренко О.В., Іоргачов Д.В.. Дослідження опорів заземлювальних пристроїв у неоднорідній землі // Методичне керівництво до лабораторної та навчально-дослідницької роботи студентів. – Одеса, 2003
30. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання «Безпека в надзвичайних ситуаціях» / В.С. Стручок –Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., –156 с.
Отримано з <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/39196>
31. Рекомендації щодо організації роботи кабінету промислової безпеки та охорони праці. Затверджені Головою Держгірпромнагляду 16.01.2008 р.
32. Оробчук Б.Я., Буняк О.А., Бабюк С.М., Сисак І.М., Вакуленко О.О. Методичні вказівки щодо виконання та оформлення дипломної роботи. Тернопіль, ТНТУ імені Івана Пулюя, 2017 р.