

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
другого (магістерського) рівня освіти

на тему:
**«АНАЛІЗ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО
ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ВЕНТИЛЯЦІЇ ПТАШНИКА»**

Виконав: студент VI курсу
групи Ен – 71з спеціальності
141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка».
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

_____ Лісецький В. О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник: _____ Гречин Д. П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент: _____.
(прізвище та ініціали)

ДУБЛЯНИ 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ЗАОЧНОЇ ТА
ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ ОСВІТИ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) рівень

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

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

“ ____ ” _____ 202__ року

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

Лісецькому Володимирі Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Аналіз та обґрунтування схеми автоматизованого електроприводу вентиляції пташника»

керівник роботи к.т.н., доцент Гречин Д. П.

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

затверджені наказом Львівського НУП № 887 / к - с від 30.12.2024 р.

2. Строк подання студентом роботи 8.12.2025 р.

3. Вихідні дані

технічна документація, науково-технічна і довідкова література

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

Вступ

1. Аналіз питання вентиляції

2. Автоматизована система електроприводу вентиляції пташника

3. Моделювання електроприводу

4. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

5. Ефективність прийнятих рішень

Висновки

Перелік джерел посилання

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

Графічний матеріал подається у вигляді презентації

6. Консультанти розділів

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

7. Дата видачі завдання 30.12.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Аналіз питання вентиляції</i>	<i>30.12.2025 – 1.05.2025</i>	
2	<i>Розрахунок повітрообміну та вибір електрообладнання</i>	<i>2.03.2025 – 1.05.2025</i>	
3	<i>Розгляд питання моделювання електроприводу</i>	<i>2.05.2025 – 1.10.2025</i>	
4	<i>Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях</i>	<i>2.10.2025 – 1.11.2025</i>	
5	<i>Ефективність прийнятих рішень</i>	<i>2.11.2025 – 1.12.2025</i>	
6	<i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та презентації</i>	<i>2.12.2025 – 1.12.2025</i>	
7	<i>Завершення роботи в цілому</i>	<i>2.12.2025 – 7.12.2025</i>	

Студент

Лісецький В. О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

Гречин Д. П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Р Е Ф Е Р А Т

Лісецький В. О. «Аналіз та обґрунтування схеми автоматизованого електроприводу вентиляції пташника». Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького, 2025 р. 63 с. текстової частини, 4 таблиць, 24 рисунків, 25 джерел посилання.

У кваліфікаційній роботі: проведено аналіз питання вентиляції: типи вентиляції, обладнання вентиляційних систем, регулювання продуктивності вентиляційних систем, електропривод вентиляційних установок, способи регулювання швидкості електроприводів; проведено розрахунок повітрообміну, запропоновано електричну схему групового електроприводу системи вентиляції, вибрано вентилятори із асинхронними трифазними двигунами, перетворювач частоти, кабельно-провідникову продукцію та апаратуру керування та захисту; проаналізовано питання математичної моделі трифазного електродвигуна, проведено дослідження пуску трифазного асинхронного двигуна на моделі MATLAB/Simulink при різних частотах живлення; здійснено аналіз питання охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях, зокрема розглянуто питання логіко-імітаційного моделювання процесів виникнення аварій та безпеки у надзвичайних ситуаціях; здійснено економічну оцінку та визначено термін окупності.

Ключові слова: вентиляція, регулювання продуктивності, електропривод, повітрообмін, електрообладнання, перетворювач частоти, модель асинхронного двигуна, модель MATLAB/Simulink, термін окупності.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПИТАННЯ ВЕНТИЛЯЦІЇ	8
1.1 Типи вентиляції	8
1.2 Обладнання вентиляційних систем	19
1.3 Регулювання продуктивності вентиляційних систем	22
1.4 Електропривод вентиляційних установок	20
1.5 Способи регулювання швидкості електроприводів	24
РОЗДІЛ 2 АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ВЕНТИЛЯЦІЇ ПТАШНИКА	27
2.1 Схема функціонування автоматизованого електроприводу для вентиляції пташника	27
2.2 Електрична схема	29
2.3 Вибір устаткування	30
2.3.1 Розрахунок потоку повітря в системі вентиляції	30
2.3.2 Вибір перетворювача частоти та датчика концентрації вуглекислого газу	33
2.3.3 Визначення типу провідникових виробів	37
2.3.4 Розрахунок і підбір апаратури захисту та керування для комплектних пристроїв	38
РОЗДІЛ 3 МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ	44
3.1 Математична та структурна модель електродвигуна	44
3.2 Дослідження пуску двигуна при різних частотах живлення	47
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	53
4.1 Логіко-імітаційне моделювання процесів виникнення аварій	53
4.2 Безпека у надзвичайних ситуаціях	57
РОЗДІЛ 5 ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ	58
ВИСНОВКИ	60
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	61

ВСТУП

Актуальність роботи. У виробничих приміщеннях необхідно підтримувати оптимальний склад повітря. Для цього потрібна регулярна вентиляція, яка забезпечує ефективний обмін повітря у всіх шарах. У тваринницьких господарствах повітря забруднюється сірководнем, надлишковим теплом, водяною парою, вуглекислим газом, метаном та аміаком, що виділяються тваринами.

Висока швидкість повітряного потоку може спричинити у тварин простудні захворювання. Порушення температурно-вологісного режиму та газового складу повітря негативно позначається на продуктивності, зокрема, знижуючи несучість курей до 20%. Зважаючи на особливості технології вирощування птиці, яка передбачає утримання значної кількості птахів в одному приміщенні, постає нагальна потреба у підтриманні необхідного мікроклімату в пташниках.

Якісний повітрообмін сприяє підвищенню рівня несучості та зниженню втрат через вибраковування. Для підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва в Україні активно впроваджуються електрифіковані технологічні процеси та комплексна автоматизація. Це дає змогу зменшувати собівартість продукції, скорочувати експлуатаційні витрати, оптимізувати чисельність обслуговуючого персоналу, підвищувати конкурентоспроможність, продуктивність праці та якість продукції.

Більшість технологічних процесів в аграрному секторі вже автоматизовано. Сучасні інтенсивні технології стали загальноприйнятими завдяки їх здатності суттєво скорочувати затрати і втрати продукції на всіх етапах виробництва. Такі методи також сприяють швидкому будівництву й оснащенню об'єктів для зберігання та переробки сільськогосподарської продукції. Господарства активно впроваджують високотехнологічне обладнання, яке потребує належної експлуатації.

У птахівництві рівень електрифікації та автоматизації технологічних процесів є особливо високим. Електроприводи споживають понад дві третини

всієї електроенергії в Україні. Вони є основою для електрифікації та автоматизації технологічних процесів, забезпечуючи комплексну механізацію стаціонарної діяльності в усіх сферах аграрного виробництва. Підтримка оптимального складу повітря у виробничих приміщеннях залежить від систематичної вентиляції з належним обміном повітря у всіх шарах.

З огляду на постійне зростання вартості енергоносіїв, важливим завданням для підприємств є пошук шляхів зниження експлуатаційних витрат та енергоспоживання, що веде до зменшення собівартості продукції. Одним із найефективніших рішень є застосування частотних перетворювачів, які регулюють швидкість обертання електродвигунів у системах вентиляції, забезпечуючи оптимізацію роботи обладнання.

Об'єкт дослідження: електрична схема системи автоматизованого електроприводу вентиляції пташника.

Мета роботи: обґрунтувати вибір схеми системи автоматизованого електроприводу вентиляції пташника.

Предмет дослідження: робота електроприводу вентиляції пташника.

Завдання дослідження:

- проаналізувати питання примусової вентиляції, а саме її типи, обладнання, регулювання продуктивності, електропривод та автоматизація вентиляції;
- провести розрахунок та вибір обладнання електроприводу вентиляції;
- дослідити модель двигуна в середовищі MATLAB/Simulink при різних частотах живлення;
- розкрити питання охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях;
- визначити термін окупності запропонованої системи електроприводу.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ПИТАННЯ ВЕНТИЛЯЦІЇ

1.1 Типи вентиляцій

Вентиляція є організованим процесом управління повітрообміном, фундаментально необхідним для підтримання параметрів внутрішнього середовища приміщень у заданих межах. Її ключова мета — забезпечення санітарно-гігієнічних норм для комфорту та здоров'я людей, або, як у випадку пташників, дотримання жорстких технологічних вимог для життєдіяльності та продуктивності поголів'я. Фізично, завдання вентиляції полягають в асиміляції (розбавленні та видаленні) надлишкового тепла, вологи, продуктів дихання (CO_2), шкідливих газів (NH_3 , H_2S), а також пилу та мікроорганізмів, із одночасною подачею свіжого, а за потреби й спеціально обробленого, зовнішнього повітря. Класифікація існуючих систем вентиляції є багатогранною і базується на кількох визначальних ознаках, що описують джерело рушійної сили, напрямок потоків та зону дії.

Найбільш фундаментальною є класифікація за способом спонукання руху повітря, яка розділяє всі системи на природні та механічні. Природна вентиляція функціонує виключно за рахунок природних фізичних факторів, не вимагаючи витрат електроенергії на привід механізмів. Рушійних сил тут дві. Перша — це гравітаційна (або теплова) аерація. Її принцип базується на різниці густини (ρ) повітря: тепле повітря всередині приміщення (нагріте, наприклад, птицею) має меншу густину, ніж холодне зовнішнє ($\rho \sim 1/T$). Під дією сили Архімеда, це легше повітря піднімається вгору і виходить через витяжні отвори (шахти, дефлектори), створюючи у приміщенні розрідження. Ця різниця тисків, відома як гравітаційний тиск ($\Delta P_g = h * g * (\rho_{зовн} - \rho_{внутр})$), «засмоктує» свіже, важке повітря через припливні отвори у нижній зоні. Друга сила — це вітрова аерація, що виникає через кінетичну енергію вітру. На навітряній стороні будівлі, згідно з законом Бернуллі, створюється зона надлишкового

тиску, що «заштовхує» повітря всередину, тоді як на підвітряній стороні та даху формується зона розрідження, що «відсмоктує» його.

Незважаючи на свою енергетичну безкоштовність, природна вентиляція має критичний недолік — вона є абсолютно некерованою та стохастичною. Її ефективність повністю залежить від зовнішніх метеоумов: різниці температур ΔT (яка влітку прямує до нуля) та швидкості вітру. Для таких відповідальних об'єктів, як пташники, де потрібен гарантований повітрообмін 24/7, така нестабільність є неприпустимою. Тому основою промислових рішень є механічна (штучна) вентиляція. Вона використовує електромеханічні пристрої — вентилятори з електроприводами — для примусового переміщення повітря. Це дозволяє точно контролювати об'єм повітрообміну (Q , м³/год) незалежно від погоди, долати значний аеродинамічний опір мережі (фільтрів, повітроводів) та здійснювати комплексну обробку повітря (фільтрацію, нагрів, охолодження).

Другою важливою ознакою є класифікація за напрямком руху повітря, що визначає баланс тиску у приміщенні. Припливна вентиляція механічно подає повітря всередину, створюючи надлишковий (позитивний) тиск ($P_{\text{внутр}} > P_{\text{зовн}}$). Видалення повітря при цьому відбувається пасивно (ексфільтрація). Така схема критична для «чистих зон» (лабораторії, операційні), де потрібно запобігти засмоктуванню брудного повітря ззовні.

На противагу їй, витяжна вентиляція механічно видаляє повітря, створюючи у приміщенні контрольоване розрідження (негативний тиск, $P_{\text{внутр}} < P_{\text{зовн}}$). Свіже повітря надходить або неорганізовано (через нещільності), або, що є технологічно правильним, через спеціальні припливні клапани. Саме ця схема є домінуючою у сучасних пташниках. Створюючи стабільний вакуум (напр., 10-20 Па) за допомогою витяжних вентиляторів, оператор може точно дозувати та спрямовувати потоки свіжого повітря через керовані припливні клапани, забезпечуючи його правильне перемішування без створення холодних протягів на рівні птиці.

Припливно-витяжна вентиляція є збалансованою системою, де і приплив, і витяжка забезпечуються механічно. Це найбільш гнучка, але й найдорожча

схема, що дозволяє підтримувати будь-який баланс тиску. Її ключовою перевагою, особливо актуальною для енергоефективності, є можливість рекуперації тепла. У спеціальному теплообміннику (рекуператорі) потік теплого витяжного повітря, не змішуючись, нагріває зустрічний потік холодного припливного повітря. Це дозволяє економити до 80-90% енергії, яка в іншому випадку була б витрачена на електричний або водяний підігрів (роботу калориферів), що є надзвичайно важливим для електроенергетики.

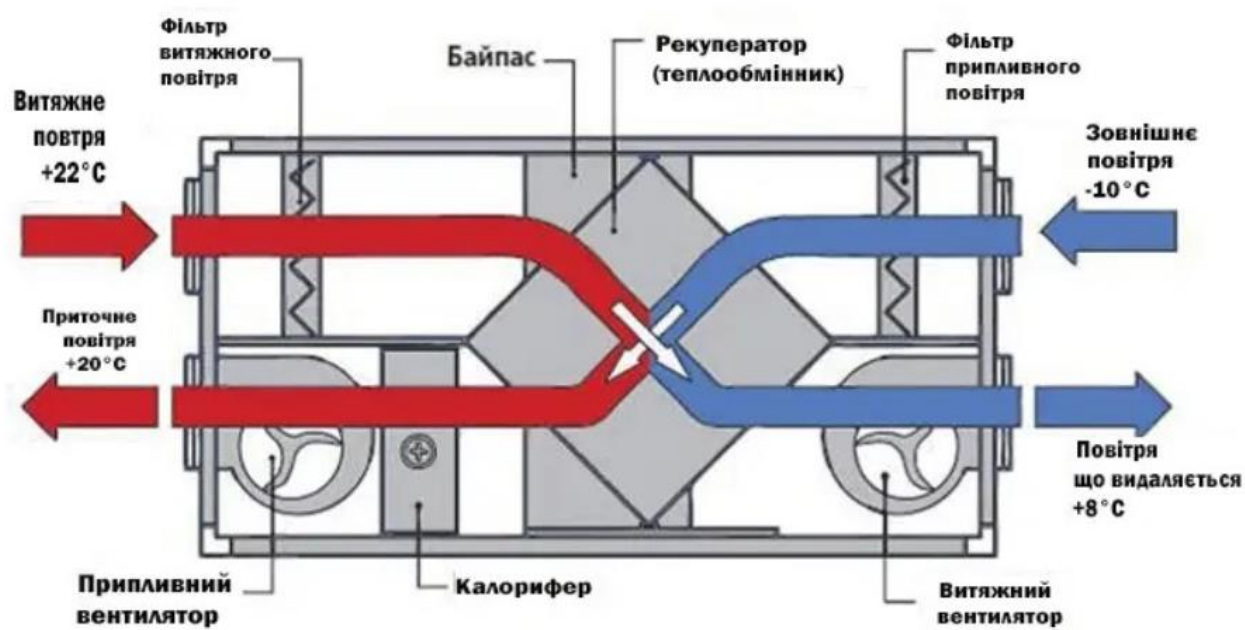


Рисунок — 1.1 Принцип роботи припливно-витяжної вентиляції

Остання важлива класифікація — за зоною дії. Загальнообмінна вентиляція розрахована на обробку всього об'єму приміщення, її задача — розбавити (асимілювати) шкідливості, що розповсюджуються по всьому простору, до гранично допустимих концентрацій. Специфічним і вкрай важливим для пташників підтипом є тунельна вентиляція. Влітку, потужні осеві вентилятори в одному торці будівлі створюють поздовжній високошвидкісний потік повітря (до 2-3 м/с), який, проходячи через все приміщення, забезпечує інтенсивне охолодження птиці за рахунок так званого «wind chill» ефекту (конвективний та випарний тепловідвід).

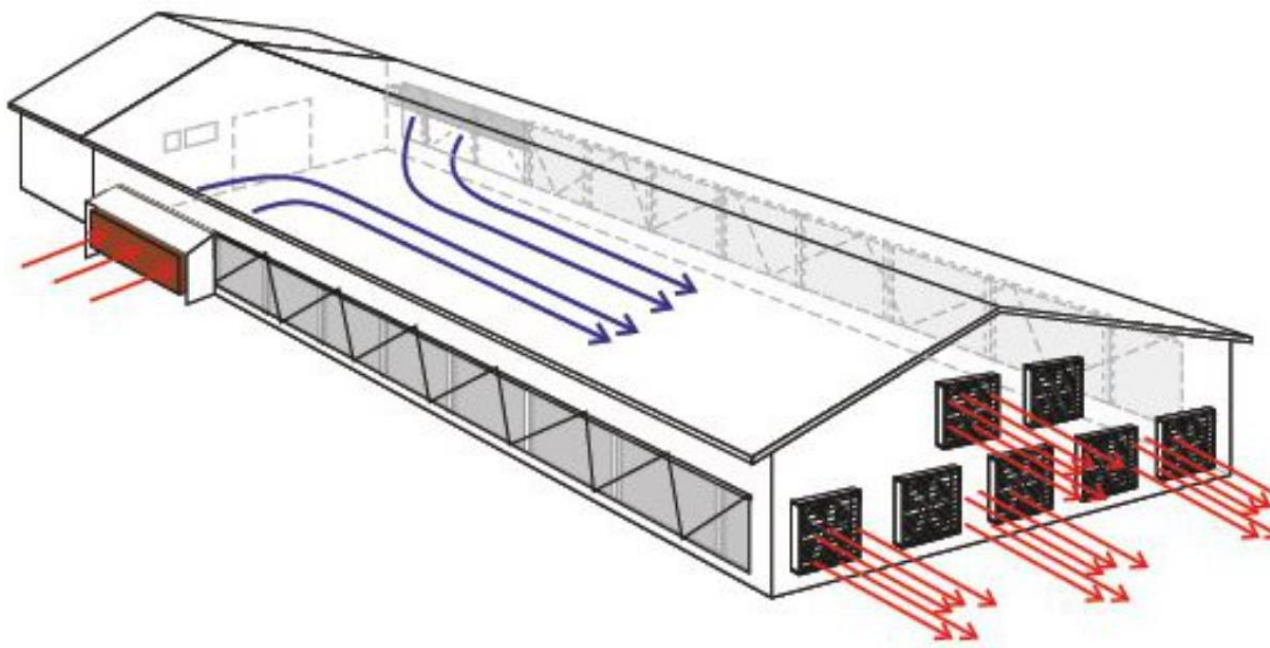


Рисунок 1.2 — Принцип роботи тунельної вентиляції

На відміну від неї, місцева вентиляція є більш ефективною та економічною, оскільки вона локалізує та видаляє шкідливості безпосередньо від місця їх утворення, не даючи їм поширитись. Це можуть бути як місцеві витяжні системи (витяжні зонти, відсмоктувачі), так і місцеві припливні (повітряні душі на робочих місцях). Окремо стоїть аварійна вентиляція — це система безпеки, а не технології, що вмикається автоматично від датчиків для швидкого видалення небезпечних концентрацій газів (напр., аміаку) чи диму при пожежі.

Таким чином, для промислового пташника характерна складна комбінована механічна система, що працює у різних режимах: від мінімальної витяжної вентиляції взимку (для видалення CO_2 та вологи) до потужної тунельної влітку (для охолодження). Ця необхідність гнучкого перемикання режимів та, що найважливіше, плавного регулювання продуктивності відповідно до віку птиці, зовнішньої температури та інших технологічних параметрів, ставить на перше місце задачу аналізу та вибору оптимальних схем електроприводів та способів керування їхньою швидкістю.

1.2 Обладнання вентиляційних систем

Механічна вентиляційна система є складною інженерною мережею, аеродинамічна та енергетична ефективність якої визначається сукупністю та взаємодією її компонентів. Кожен елемент на шляху повітряного потоку, від входу до виходу, створює певний опір, сума яких і формує загальне навантаження на ключовий виконавчий механізм — електропривод вентилятора. Тому аналіз обладнання є необхідним для розуміння фізичних процесів, що відбуваються в системі, та для правильного вибору схем керування.



Рисунок 1.3 — Осьовий вентилятор

Центральним елементом, «серцем» будь-якої механічної системи, є вентилятор. Це електромеханічний пристрій, призначений для перетворення механічної енергії обертання (отриманої від валу електродвигуна) в потенційну (тиск) та кінетичну (швидкість) енергію повітряного потоку. Найбільш поширеними є два типи. Осьові (аксіальні) вентилятори конструктивно схожі на пропелер; потік повітря в них рухається паралельно осі обертання. Їхня головна характеристика — здатність переміщувати великі об'єми повітря

(висока продуктивність, Q) при подоланні відносно низького аеродинамічного опору (низький напір, P). Це робить їх ідеальними для систем з низьким опором, таких як настінна витяжка або потужна тунельна вентиляція у пташниках, де основна задача — створити масовий рух повітря.

На противагу їм, відцентрові (радіальні) вентилятори мають зовсім інший принцип дії та конструкцію. Вони складаються з робочого колеса (барабана з лопатками) та спірального корпусу («равлика»). Повітря засмоктується в колесо вздовж осі обертання, а потім, під дією відцентрової сили, відкидається лопатками радіально до стінок корпусу. Спіральний корпус збирає цей потік і, поступово розширюючись, перетворює його високу кінетичну енергію на статичний тиск на вихідному патрубку. Такі вентилятори здатні розвивати значно вищий тиск, що робить їх незамінними у системах з високим аеродинамічним опором — наприклад, у припливних установках з розгалуженою мережею повітроводів, багатоступеневими фільтрами та калориферами. Кожен вентилятор має унікальний «паспорт» — аеродинамічну характеристику, що являє собою графік залежності тиску P від продуктивності Q при номінальній швидкості обертання.



Рисунок 1.4 — Відцентровий вентилятор

Наступним за важливістю компонентом є мережа повітроводів, що виконує функцію «артерій» для транспортування повітря. Вона складається з прямих каналів (зазвичай круглого або прямокутного перерізу) та різноманітних фасонних частин (поворотів, трійників, переходів). Аеродинамічний розрахунок мережі є складною інженерною задачею. При заданій витраті повітря Q , вибір занадто малого перерізу каналів (A) призведе до високої швидкості руху ($v = Q/A$), що неминуче спричинить високий рівень шуму та, що найважливіше з точки зору електроенергетики, значні втрати тиску на тертя. Зворотна ситуація, надто великі канали, є економічно не вигідною через перевитрату матеріалів та складність монтажу.

Загальні втрати тиску в мережі, які має подолати вентилятор, складаються з двох компонентів. По-перше, це втрати на тертя ($\Delta P_{\text{тертя}}$) об стінки прямих ділянок повітроводів. Вони описуються рівнянням Дарсі-Вейсбаха, з якого видно, що ці втрати прямо пропорційні довжині каналу (L) та квадрату швидкості (v^2). По-друге, це місцеві втрати ($\Delta P_{\text{місц}}$), які виникають на будь-яких фасонних елементах, де потік змінює напрямок або швидкість: поворотах, розширеннях, звуженнях, а також на всьому встановленому обладнанні. Місцеві втрати також пропорційні квадрату швидкості. Оскільки обидві складові втрат залежать від Q^2 (бо $v \sim Q$), то сумарний опір всієї мережі $P_{\text{мережі}}$ можна описати параболічною залежністю: $P_{\text{мережі}} = k * Q^2$. Ця крива, відома як характеристика мережі, є графічним відображенням «навантаження» на вентилятор.

Окрім вентиляторів та повітроводів, система включає різноманітне обладнання для обробки та регулювання повітря. Фільтри є обов'язковим елементом припливних систем, вони очищують повітря від пилу та мікроорганізмів. З аеродинамічної точки зору, вони є значним місцевим опором, причому цей опір не є постійним — він зростає в міру забруднення фільтра. Це означає, що характеристика мережі $k * Q^2$ з часом стає крутішою, і електроприводу доводиться працювати з більшим навантаженням для підтримання тієї ж продуктивності. Калорифери (нагрівачі) використовуються

для підігріву припливного повітря в холодний період. Вони можуть бути водяними (теплоносій від котла) або електричними (використовуючи ТЕНи). Електричні калорифери є потужним, суто резистивним навантаженням, що має значний вплив на загальне електроспоживання об'єкта.

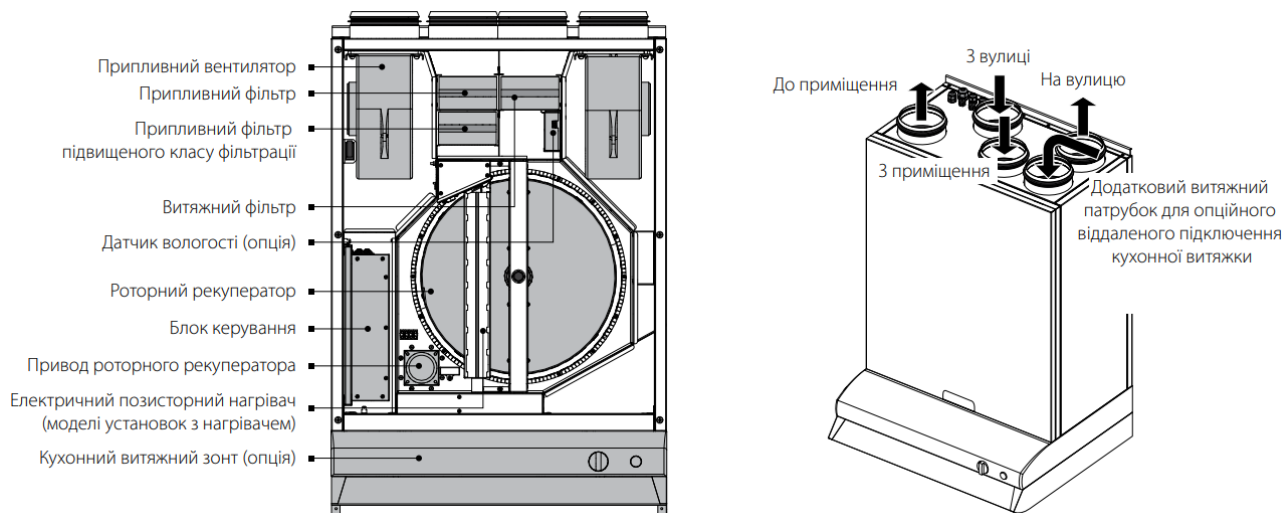


Рисунок 1.5 — Будова та принцип роботи припливної установки

У пташниках для охолодження влітку широко застосовують випарні панелі (педи). Це пористі касети, що постійно змочуються водою. Гаряче зовнішнє повітря, проходячи крізь них, випаровує воду; на цей фазовий перехід (випаровування) витрачається тепла енергія, внаслідок чого повітря на виході стає прохолоднішим, але більш вологим (процес адіабатного охолодження). Для керування потоками використовуються клапани та заслінки — це, по суті, регульовані «крани» для повітря. Прикриваючи заслінку, ми штучно збільшуємо місцевий опір мережі, що є фізичною основою методу регулювання дроселюванням. У сучасних системах ці заслінки, як і спеціальні припливні клапани у пташниках, керуються сервоприводами. Припливні клапани при цьому є високотехнологічними аеродинамічними пристроями, що формують вхідний струмінь повітря і спрямовують його (напр., вздовж стелі, використовуючи ефект Коанда), щоб холодне повітря встигло перемішатися з теплим кімнатним, перш ніж опуститися в зону перебування птиці.

Таким чином, кожен із перерахованих компонентів — від типу вентилятора до ступеня забруднення фільтра та положення припливного

клапана — безпосередньо впливає на загальну аеродинамічну характеристику мережі $P_{\text{мережі}}$. Саме цю сукупну характеристику опору і повинен долати електропривод вентилятора, витрачаючи електричну енергію. Розуміння роботи кожного елемента є ключем до правильного проектування системи та вибору оптимальної стратегії керування її електроприводами.

1.3 Регулювання продуктивності вентиляційних систем

Регулювання продуктивності, тобто плавна або ступінчаста зміна об'ємної витрати повітря (Q , м³/год), є ключовою вимогою для будь-якої сучасної вентиляційної системи, особливо на таких технологічно складних об'єктах, як пташники. Необхідність у регулюванні диктується двома головними факторами. По-перше, технологічними вимогами: потреба у повітрообміні кардинально змінюється залежно від віку поголів'я (добовим курчатам потрібна мінімальна вентиляція, дорослій птиці — максимальна), часу доби (день/ніч) та, найголовніше, зовнішніх кліматичних умов (мінімальний повітрообмін для видалення CO_2 взимку проти максимального для асиміляції тепла влітку). По-друге, енергоефективністю: робота вентиляційної системи на повній номінальній потужності, коли технологічно це не потрібно, призводить до колосальних невиправданих витрат електричної енергії.

Для глибокого розуміння фізики процесів регулювання необхідно спершу засвоїти поняття «робочої точки» системи. Будь-яка вентиляційна мережа описується двома незалежними характеристиками. Перша — це аеродинамічна характеристика вентилятора ($P_v(Q)$), яка являє собою графік залежності тиску (напору), що його може створити вентилятор, від продуктивності, з якою він працює при номінальній швидкості обертання (n_1). Друга — це аеродинамічна характеристика мережі ($P_m(Q)$), що описує опір, який необхідно подолати. Як було показано раніше, цей опір є сумою втрат на тертя та місцевих втрат, і він має чітку квадратичну залежність від витрати: $P_m(Q) = k * Q^2$, де k — коефіцієнт опору мережі. Робочою точкою називається точка перетину цих

двох графіків. Саме в цій точці (Q_1, P_1) тиск, що створюється вентилятором, дорівнює опору мережі ($P_v = P_m$), і система працює стабільно. Метою будь-якого регулювання є зміщення цієї робочої точки для отримання нової, зазвичай меншої, продуктивності Q_2 .

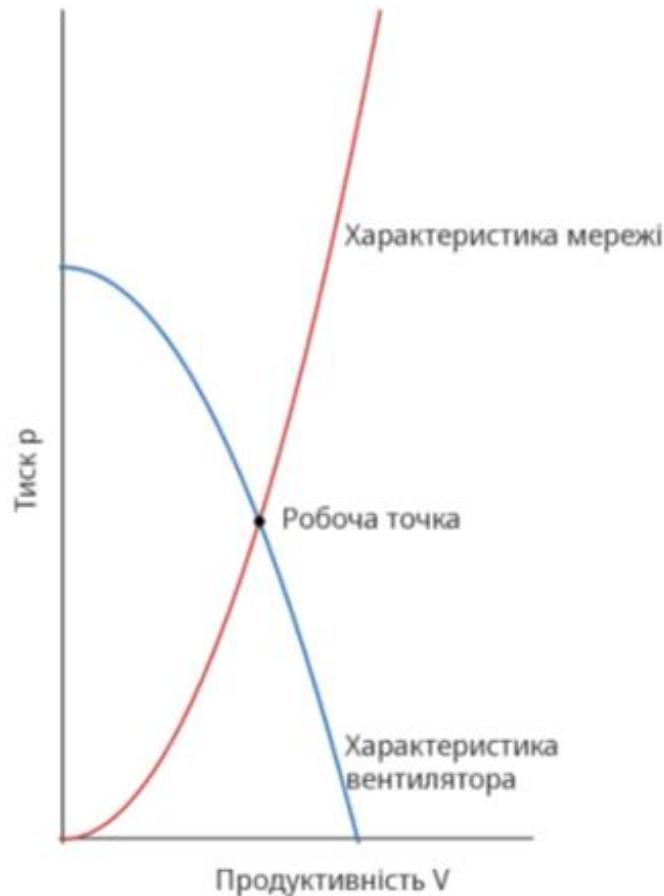


Рисунок 1.6 — Графік $P(Q)$ та робоча точка

Історично першим і найпростішим методом є регулювання дроселюванням, тобто зміною опору мережі. Фізично це реалізується шляхом часткового прикриття повітряного клапана (заслінки), встановленого у повітроводі. При цьому сам вентилятор продовжує працювати на своїй постійній номінальній швидкості (n_1), тому його характеристика $P_v(Q)$ залишається незмінною. Натомість, змінюється характеристика мережі: прикриття заслінки вводить в систему потужний додатковий місцевий опір, що призводить до збільшення загального коефіцієнта опору мережі ($k_2 > k_1$). Нова крива мережі $P_{m2}(Q) = k_2 * Q^2$ стає значно крутішою. Нова робоча точка (перетин P_v і P_{m2}) зміщується по кривій вентилятора вліво і вгору. Ми досягаємо

мети — продуктивність падає до Q_2 , але тиск P_2 , який змушений розвивати вентилятор, при цьому парадоксально зростає ($P_2 > P_1$). З точки зору електроенергетики, це найбільш неефективний спосіб. Електродвигун обертається з повною швидкістю і, оскільки Q впало, а P зросло, його споживана потужність ($N \sim Q * P$) зменшується дуже незначно. Енергія фактично не економиться, а марно розсіюється на заслінці у вигляді тепла та шуму.

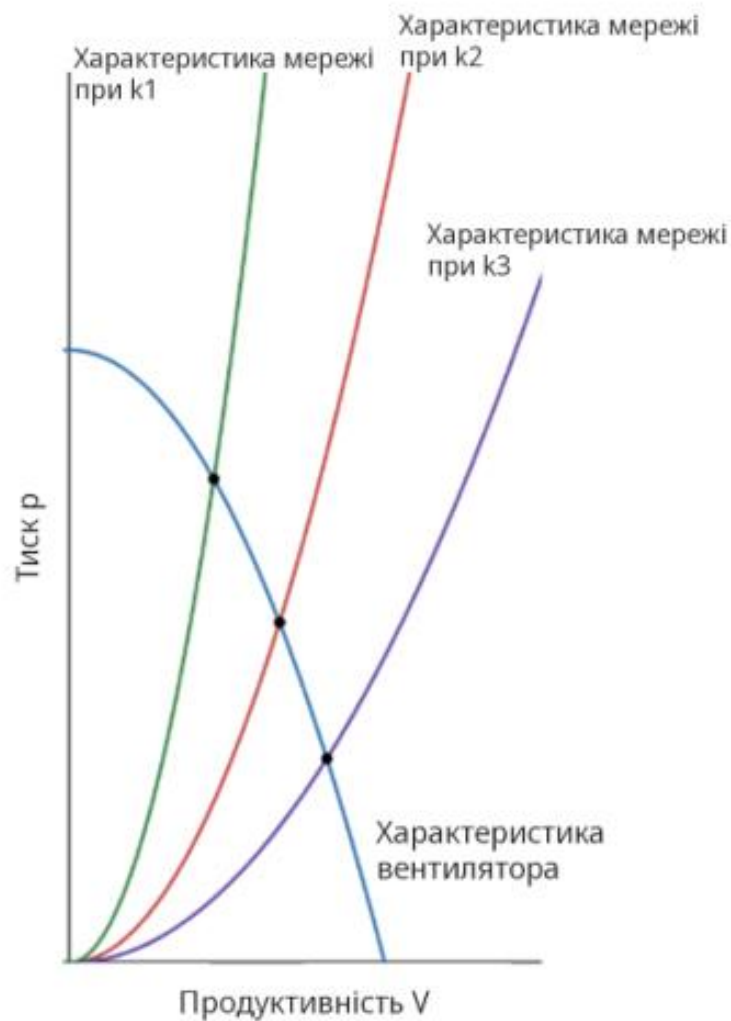


Рисунок 1.7 — Графік $P(Q)$ під час регулювання дроселюванням при $k_1 > k_2 > k_3$

Більш досконалим є ступінчасте регулювання, яке часто застосовується у пташниках. Замість одного великого вентилятора, встановлюється група з кількох (наприклад, десяти) менших вентиляторів, що працюють паралельно. Регулювання продуктивності відбувається шляхом простого ввімкнення або вимкнення певної кількості цих вентиляторів. При паралельній роботі N

однакових вентиляторів їхні продуктивності при тому ж тиску додаються. Таким чином, контролер мікроклімату, залежно від потреби, активує 1, 2, 3... або всі 10 вентиляторів, ефективно змінюючи сумарну характеристику вентиляторної групи. На відміну від дроселювання, тут характеристика мережі $P_m(Q)$ залишається незмінною, а робоча точка «стрибає» по ній, переходячи на криву одного, двох, трьох і т.д. вентиляторів. Енергетично це значно вигідніше, оскільки вимкнений двигун не споживає енергії. Проте, таке регулювання є дискретним, що може викликати «стрибки» мікроклімату, а кожен двигун при цьому вмикається в найважчому режимі прямого пуску, що створює високі навантаження на електромережу.

Найбільш досконалим, гнучким та енергоефективним методом є регулювання зміною швидкості обертання робочого колеса вентилятора. Цей метод базується на фундаментальних «законах подібності» (або «Fan Laws») для відцентрових механізмів. Вони математично описують, як змінюються параметри вентилятора при зміні його швидкості обертання n (об/хв). Перший закон говорить, що продуктивність (витрата) Q прямо пропорційна швидкості: $Q \sim n$. Другий закон встановлює, що тиск (напір) P пропорційний квадрату швидкості: $P \sim n^2$. Третій закон, що має ключове значення для електроенергетики, стверджує, що споживана потужність N пропорційна кубу швидкості: $P \sim n^3$.

Фізика процесу при такому регулюванні кардинально відрізняється від дроселювання. Характеристика мережі $P_m(Q) = k * Q^2$ залишається незмінною (адже ми не змінюємо геометрію каналів). Натомість, згідно з законами подібності, змінюється (масштабується) сама характеристика вентилятора $P_v(Q)$. При зниженні швидкості з n_1 до n_2 вся крива вентилятора «з'їжджає» вниз та вліво. Нова робоча точка (Q_2, P_2) знаходиться на перетині старої кривої мережі та нової кривої вентилятора. При цьому Q_2 та P_2 знижуються одночасно, і система працює точно в тій точці, яка необхідна. Енергетичний ефект від кубічної залежності ($N \sim n^3$) є колосальним: зменшення швидкості обертання всього на 20% (до $0.8n$) призводить до зниження споживаної потужності майже вдвічі, а саме на $1 - 0.8^3 \approx 49\%$. Зменшення швидкості вдвічі (до $0.5n$) знижує

енергоспоживання у вісім разів (до 12.5% від номіналу). Таким чином, регулювання швидкістю є фізично найбільш обґрунтованим методом, що забезпечує максимальне енергозбереження, оскільки електропривод споживає рівно стільки енергії, скільки потрібно для подолання опору мережі при заданій технологічній продуктивності, без жодних штучних дросельних втрат.

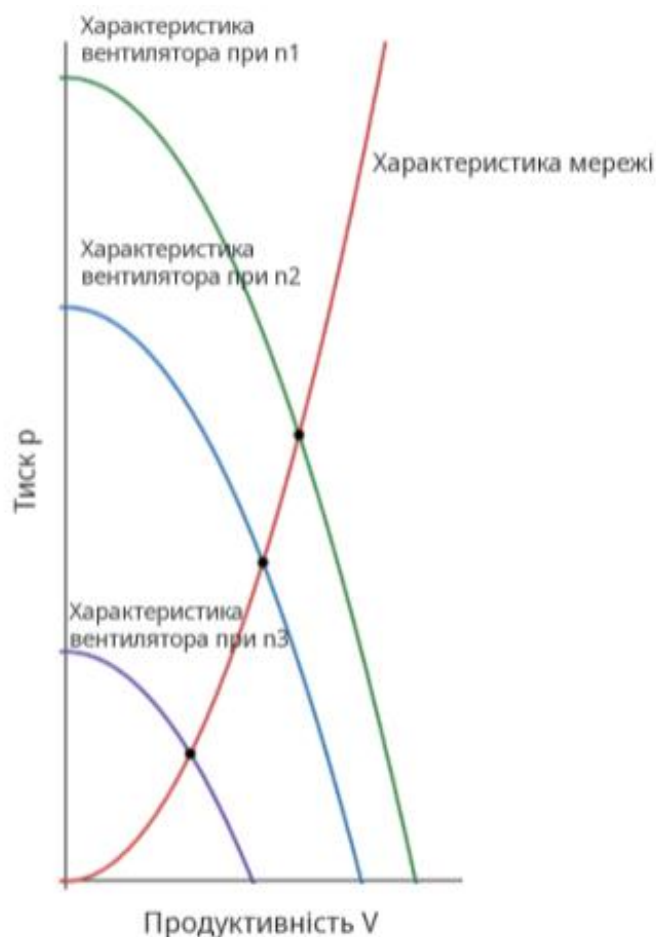


Рисунок 1.8 — Графік $P(Q)$ під час регулювання зміною швидкості обертання при $n_1 > n_2 > n_3$

1.4 Електропривод вентиляційних установок

Для практичної реалізації методів регулювання продуктивності, що були розглянуті раніше, необхідні відповідні електричні схеми керування. У переважній більшості вентиляційних установок, від малих до великих, в якості приводу використовується асинхронний електродвигун (АД) з короткозамкненим ротором. Цей вибір обумовлений його ключовими перевагами: винятковою надійністю завдяки відсутності щітково-колекторного

вузла, простотою конструкції, відносно низькою вартістю та високою ремонтпридатністю. Вибір конкретної схеми підключення та керування цим двигуном залежить від його потужності, вимог до навантаження на електромережу та, найголовніше, від необхідності регулювання його швидкості.

Найпростішою, найпоширенішою та водночас найгрубшою є схема прямого пуску (DOL - Direct-On-Line). Вона складається з мінімального набору апаратури: автоматичного вимикача (для захисту від короткого замикання та перевантаження, хоча часто захист від перевантаження виноситься на теплове реле) та магнітного контактора (для комутації). При замиканні контактора на обмотки статора двигуна подається повна номінальна напруга трифазної мережі. Фізика цього процесу є вкрай несприятливою. У початковий момент часу, коли ротор нерухомий (ковзання $s = 1$), індуктивний опір обмоток мінімальний, і двигун поводить себе подібно до трансформатора в режимі короткого замикання. Це призводить до виникнення величезного пускового струму, який може у 6-8 разів перевищувати номінальний робочий струм двигуна. Такий кидок струму викликає значне «просідання» напруги у лінії живлення, що негативно впливає на інше обладнання (мерехтіння освітлення, можливі збої контролерів). Одночасно з цим виникає і потужний механічний удар, оскільки двигун розвиває високий пусковий момент, що призводить до ривків, ударних навантажень на підшипники, ремінні передачі та крильчатку вентилятора, прискорюючи їх знос. Через ці недоліки прямий пуск, як правило, використовується лише для двигунів малої потужності (до 5-7 кВт) або у ступінчастих системах регулювання, де кілька малих вентиляторів вмикаються по черзі.

Для зменшення негативного впливу пускових струмів у двигунах середньої потужності (орієнтовно понад 7.5 кВт) тривалий час домінувала схема пуску «Зірка-Трикутник» (Y/Δ). Ця схема є значно складнішою і вимагає трьох контакторів (головного, контактора «зірки» та контактора «трикутника»), реле часу та специфічного двигуна, у якого в клемній коробці є виводи всіх шести кінців обмоток. Принцип дії двоступінчастий: спершу замикаються головний контактор та контактор «зірки», з'єднуючи обмотки статора у «зірку». У цьому

режимі на кожну фазну обмотку подається напруга, що у $\sqrt{3}$ разів ($\approx 1,73$) менша за лінійну (наприклад, 220 В замість 380 В). Оскільки обертовий момент пропорційний квадрату напруги ($M \sim U^2$), а струм — першій степені ($I \sim U$), то і пусковий момент, і пусковий струм знижуються приблизно в 3 рази порівняно з прямим пуском у «трикутнику». Через заданий реле часу проміжок (коли двигун набрав 70-80% швидкості), контактор «зірки» розмикається, і з короткою паузою замикається контактор «трикутника», переводячи двигун у номінальний робочий режим. Важливо розуміти, що це виключно схема пуску, а не регулювання швидкості. Вона має недоліки: зниженого у 3 рази моменту може не вистачити для розгону важкої крильчатки, а в момент перемикавання з Y на Δ все одно виникає значний кидок струму та механічний удар.

Технологічною еволюцією пускових пристроїв є пристрій плавного пуску (ППП) або софт-стартер (Soft Starter). Це вже електронний, а не електромеханічний пристрій. Його силова частина складається з зустрічно-паралельних тиристорів у кожній фазі. PPP працює як інтелектуальний регулятор напруги. Замість миттєвої подачі повного живлення, він використовує метод фазового керування: тиристори «відкриваються» у певний момент кожної півхвилі синусоїди, таким чином «відсікаючи» її частину. Пристрій плавно змінює цей кут відкриття, за рахунок чого діюче (RMS) значення напруги на обмотках двигуна плавно зростає від заданого початкового рівня до номінального 380 В за встановлений час (наприклад, 10 секунд). Це забезпечує повністю безударний механічний розгін та обмежує пусковий струм на заданому рівні (напр., не більше 3-4 номіналів). Важливою особливістю більшості PPP є наявність вбудованого байпасного контактора. Після завершення розгону цей контактор замикається, підключаючи двигун напряму до мережі, а тиристори вимикаються. Це робиться для підвищення ККД, оскільки на тиристорах під час роботи є втрати потужності, що викликають їх нагрів. Таким чином, PPP є ідеальним пристроєм для пуску, але, як і Y/ Δ , не є регулятором швидкості у робочому режимі.

Найбільш досконалою, гнучкою та енергоефективною схемою є застосування перетворювача частоти (ПЧ) або VFD (Variable Frequency Drive).

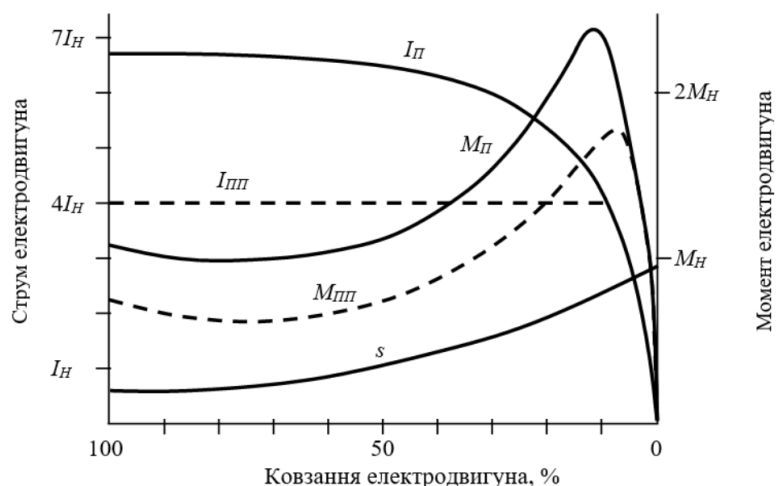


Рисунок 1.9 — Залежності моменту і струму електродвигуна під час прямого $M_{\text{п}}$, $I_{\text{п}}$ і плавного $M_{\text{пп}}$, $I_{\text{пп}}$ пуску асинхронного електродвигуна

Це складний силовий електронний пристрій, що кардинально змінює саму природу живлення двигуна. ПЧ складається з трьох основних блоків: випрямляча (зазвичай некерований діодний міст), який перетворює вхідну змінну напругу 50 Гц у постійну; ланки постійного струму (потужні конденсатори для згладжування пульсацій); та інвертора (набір потужних транзисторів, зазвичай IGBT). Інвертор, працюючи в режимі широтно-імпульсної модуляції (ШІМ), «нарізає» постійну напругу на тисячі імпульсів різної ширини. Усереднене значення цих імпульсів формує на виході нову трифазну синусоїдальну напругу, у якій оператор (або автоматичний контролер мікроклімату) може задавати будь-яку частоту (f) та амплітуду (U). Саме ця схема дозволяє повною мірою реалізувати найефективніший метод регулювання продуктивності — зміну швидкості обертання. Контролер пташника, вимірюючи температуру та вологість, посилає на ПЧ простий аналоговий (0-10 В) або цифровий (по шині Modbus) сигнал «працювати на 65%», а ПЧ самостійно генерує, наприклад, 32.5 Гц, змушуючи двигун обертатися з потрібною швидкістю. Це забезпечує максимальне енергозбереження ($N \sim n^3$), повний контроль, плавний пуск та комплексний захист двигуна, що робить ПЧ де-факто стандартом для сучасних систем вентиляції.

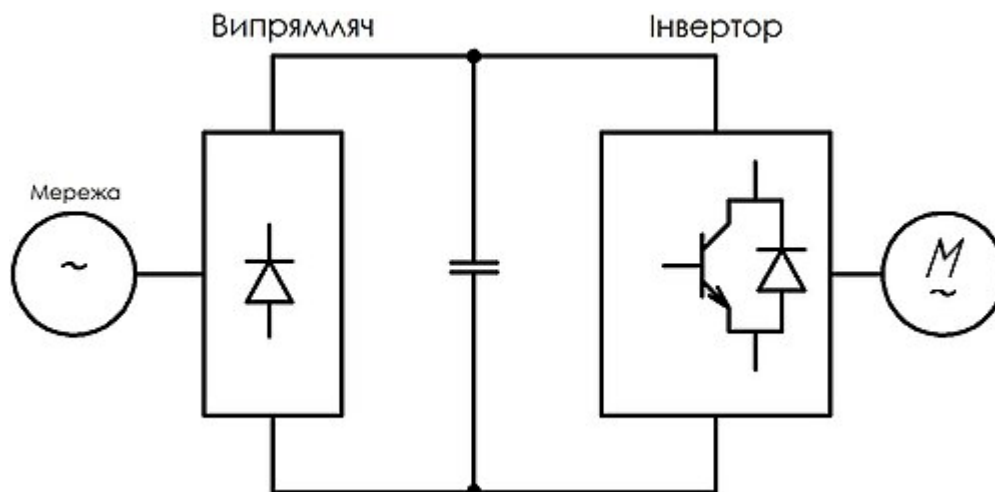


Рисунок 1.10 — Функціональна схема перетворювача частоти

1.5 Способи регулювання швидкості електроприводів

Аналіз схем електроприводів нерозривно пов'язаний з фундаментальними фізичними методами керування швидкістю, які лежать в основі роботи цих схем. Для асинхронного двигуна (АД), що є домінуючим у вентиляційних системах, швидкість обертання його ротора (n_p) визначається двома ключовими параметрами: швидкістю обертання магнітного поля статора, відомою як синхронна швидкість (n_c), та ковзанням (s). Зв'язок між ними є основоположним для розуміння всіх методів регулювання.

Синхронна швидкість n_c (в об/хв) є жорстко заданою величиною, яка залежить лише від частоти f (в Гц) напруги живлення, що подається на статор, та від конструктивного параметра самого двигуна — числа пар полюсів p його обмотки. Формула для синхронної швидкості має вигляд: $n_c = \frac{60 \cdot f}{p}$

Наприклад, для стандартної в Україні частоти $f = 50$ Гц, 4-полюсний двигун (де $p = 2$, тобто дві пари полюсів) матиме синхронну швидкість 1500 об/хв, а 2-полюсний ($p = 1$) — 3000 об/хв. Ротор асинхронного двигуна ніколи не може обертатися з синхронною швидкістю (інакше не буде індукції струму в роторі), він завжди дещо відстає. Це відставання характеризується ковзанням s , яке є безрозмірною величиною: $s = (n_c - n_p)/n_c$. Відповідно, реальна (або механічна) швидкість ротора n_p описується кінцевою формулою:

$$n_p = n_c * (1 - s) = \frac{60 * f}{p} * (1 - s)$$

Ця формула є ключем до всього розділу. З неї математично чітко видно, що для зміни реальної швидкості ротора n_p у нас є лише три фізичні важелі впливу: ми можемо змінювати число пар полюсів (p), частоту живлення (f) або ковзання (s).

Найстаріший і конструктивно найскладніший метод — це регулювання зміною числа пар полюсів (p). Для цього використовуються спеціальні багатошвидкісні двигуни, у яких на статорі укладено або дві (чи більше) абсолютно незалежні обмотки з різним числом полюсів, або одна складна обмотка, що допускає перекомутацію (наприклад, за схемою Даландера) для зміни числа полюсів у співвідношенні 1:2. При підключенні живлення до однієї чи іншої обмотки (або перемиканні схеми) ми дискретно змінюємо p , що, згідно з формулою, стрибкоподібно змінює n_c і, відповідно, n_p . Наприклад, двигун 4/8 полюсів при 50 Гц може працювати лише на швидкостях, близьких до 1500 або 750 об/хв. Це дискретне (ступінчасте) регулювання, яке не дає плавності, а самі двигуни є дорогими, габаритними та складними. При перемиканні швидкостей також виникають значні кидки струму.

Другий великий клас методів базується на регулюванні шляхом зміни ковзання (s). Це можна зробити двома способами. Перший — реостатне регулювання — застосовується лише для специфічних та рідкісних АД з фазним ротором, де обмотки ротора не короткозамкнені, а виведені на контактні кільця. Вмикаючи в коло ротора зовнішні реостати, ми збільшуємо активний опір роторного кола. Це змінює механічну характеристику двигуна $M(s)$ таким чином, що для розвитку того ж самого моменту опору M_c двигун змушений працювати з більшим ковзанням s , що призводить до зниження швидкості n_p . Цей метод має катастрофічно низький ККД. Вся потужність ковзання ($P_{\text{втрат}} \sim s * P$) марно розсіюється у вигляді тепла на реостатах. Наприклад, при зниженні швидкості до 50% ($s = 0,5$), половина всієї активної потужності двигуна перетворюється на тепло, що робить цей метод економічно неприйнятним.

Другий спосіб зміни ковзання — це регулювання зміною напруги живлення (U) (амплітудне регулювання), що реалізується за допомогою тиристорних або симісторних регуляторів (по суті, тих же ППП, але працюючих у постійному режимі без байпасу). Фізика тут така: обертовий момент АД пропорційний квадрату напруги ($M \sim U^2$). При зниженні U , механічна характеристика $M(s)$ «стискається» донизу. Для вентиляторного навантаження ($M_c \sim n_p^2$) цей метод працює вкрай погано. Критичний (максимальний) момент двигуна падає дуже швидко, що призводить до вузького діапазону регулювання. Щоб досягти хоч якогось зниження швидкості, двигун змушений переходити у режим дуже високого ковзання s . Це означає різке зростання струмів у роторі, що викликає критичний перегрів двигуна. Ситуація погіршується тим, що власний вентилятор охолодження, розташований на валу двигуна, також сповільнюється і не може розсіяти це надлишкове тепло. Цей метод категорично не підходить для тривалого регулювання швидкості вентиляторів.

Нарешті, третій і найбільш досконалий метод — це регулювання зміною частоти живлення (f). Він реалізується за допомогою перетворювачів частоти (ПЧ), розглянутих раніше. Цей метод є ідеальним, оскільки він впливає на найефективніший параметр у формулі — на f . Змінюючи частоту, ПЧ прямо і лінійно змінює синхронну швидкість n_c . Однак тут є ключовий фізичний нюанс: для підтримання стабільного обертового моменту (який залежить від магнітного потоку (Φ)) необхідно підтримувати цей потік постійним. Оскільки магнітний потік приблизно пропорційний відношенню напруги до частоти ($\Phi \sim U/f$), ПЧ повинен реалізовувати так званий скалярний закон керування: $U/f = \text{const}$. Це означає, що, знижуючи частоту f , ПЧ повинен пропорційно знижувати й амплітуду напруги U (наприклад, 50 Гц/400 В; 25 Гц/200 В; 5 Гц/40 В). Такий підхід дозволяє сформувати ціле сімейство паралельних механічних характеристик, даючи двигуну змогу стабільно працювати на будь-якій швидкості з оптимальним, низьким ковзанням s . Це забезпечує плавне, глибоке регулювання у широкому діапазоні, високий ККД і є єдиним методом, що дозволяє повною мірою реалізувати колосальну економію енергії від кубічного закону $N \sim n^3$.

РОЗДІЛ 2

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ВЕНТИЛЯЦІЇ ПТАШНИКА

2.1 Схема функціонування автоматизованого електроприводу для вентиляції пташника

Для початку представимо об'єкт, який будемо розглядати, а саме витяжна система вентиляції марки «Клімат – 4М». Для неї характерне застосування при холодних або помірних кліматичних умов.

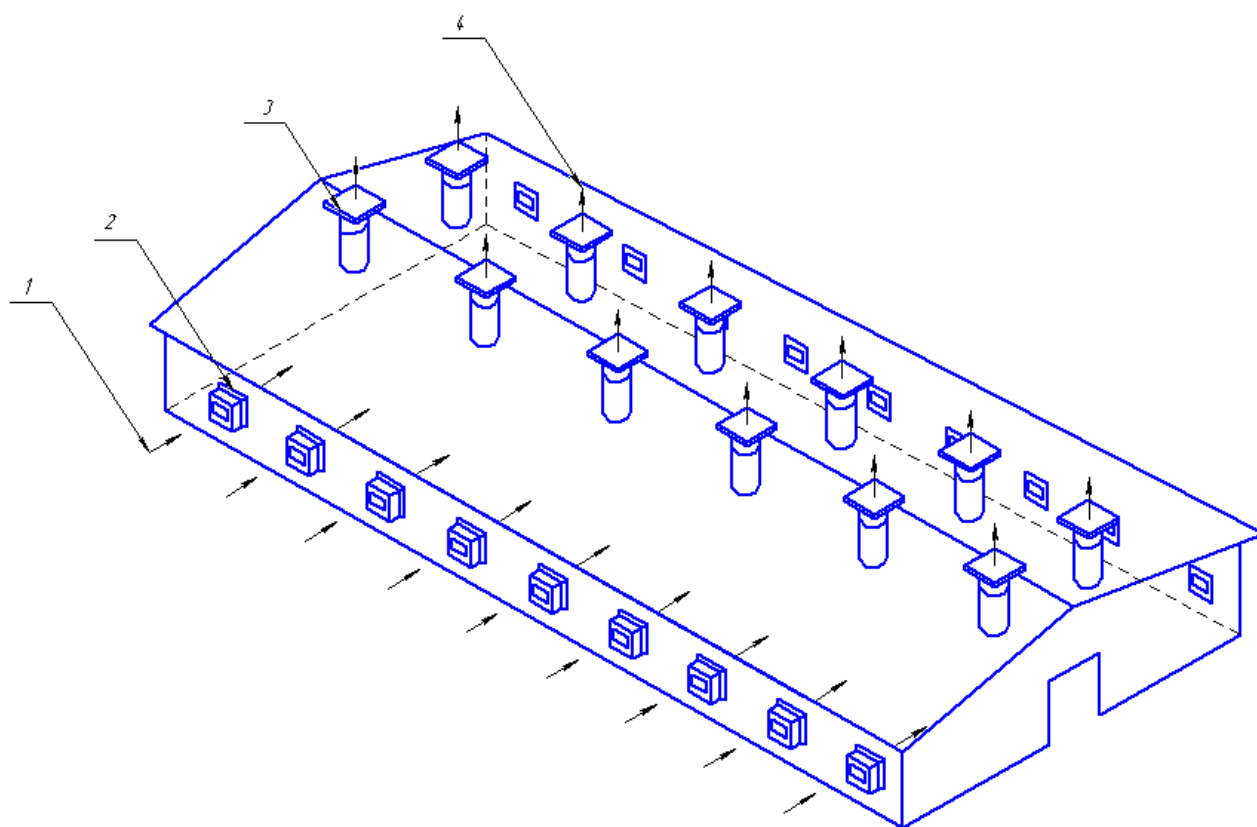


Рисунок 2.1 – Схема технологічного процесу витяжної вентиляції:
1- приточне прохолодне повітря; 2- клапан для подачі повітря; 3- камін для
відводу повітря; 4- витяжний пристрій для теплого повітря

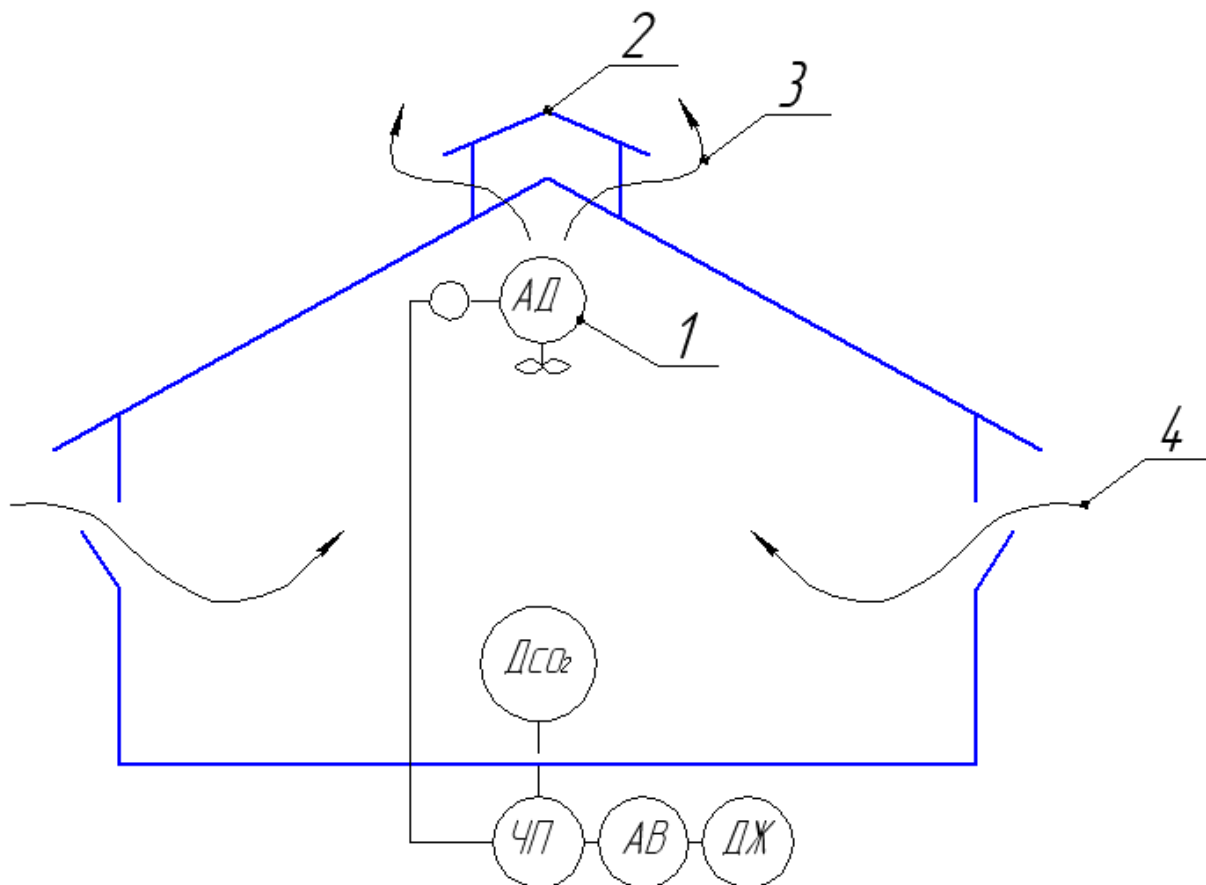


Рисунок 2.2 – Функціонально-технологічна структура: 1- осьовий повітряний агрегат; 2- камін для відводу повітря; 3- витяжний пристрій для теплого повітря; 4- приточне прохолодне повітря; ДЖ- основне джерело живлення; АВ – вимикач автоматичного типу; ЧП- перетворювач частоти; Дсо₂- датчик концентрації вуглекислого газу.

У зв'язку з цим для виведення повітря з приміщення застосовують відвідні вентилятори, які зазвичай знаходяться на даху або в деяких випадках на торці пташника, а подачу повітря на себе беруть припливні клапани, які можуть розташовуватись в бокових стінах або також на даху.

Основоположною причиною застосування таких систем стає зимова пора року, оскільки при забезпеченні установці правильного використання можна суттєво зменшити ризики надходження прохолодного повітря на птицю, а також і на підстилку.

Потрібно зазначити, що нові плани включають в себе установки для внутрішнього обладнання, а ще й годівного інвентаря, за таких умов всі основні

виробничі процеси на пташниках стають максимально механізовані. У габаритних пташниках з величезною кількістю птиці, яка розташовується на підстилці з довготривалим застосуванням, і до якої підведені годівниці стендового типу, а ще плюсом автопоїлки з водою, відкрили можливість використання комплексів кормороздачі та кормозмішування, візків для збирання яєць або стрічкового конвеєра, який також передбачає збір продукції і на закінчення тракторів, які очищають приміщення від посліду. У зв'язку з такою механізацією процесів досить швидко зросла ефективність та продуктивність роботи на пташиних фермах.

2.2 Електрична схема

Основними елементами електричної схеми буде певна кількість асинхронних двигунів, датчик для контролю за вмістом у приміщенні концентрації вуглекислого газу, останнім пристрій представляє з себе перетворювач частоти і зображена ця схема на рисунку 2.3.

Щоб дана схема розпочала працювати потрібно першочерговою дією включити автомат захисту електричної мережі QS. Після цього перетворювач частоти ЧП отримує живлення. Після ввімкнення потрібно настроїти датчик вмісту CO_2 на номінально допустимі значення концентрації вуглекислого газу для приміщення. Контроль кількості CO_2 в пташнику здійснюватиметься п'ятьма датчиками Дсо₂1.....Дсо₂6, їх зазвичай розташовують у місцях з легким доступом до них і з параметрів кожного знаходять загальне значення.

За умови зростання концентрації газу в пташнику за виставлені норми сенсори Дсо₂1...Дсо₂6 засікають це і передають комплексні значення до ЧП, що призведе до заживлення асинхронних приводів АД1...АД21, які запустять повне примусове вентилявання всієї пташиної ферми.

У випадках при стрімкому зростанні навантаження або в разі короткого замикання, що виникне в приводі, системою передбачаються запобіжники F1...F19, в яких в разі чого при зростанні температури розплавиться плавка вставка, після чого коло розірветься. Щоб контролювати справність кожного

приводу застосовуються індикатори HL1...HL19, роль яких можуть відігравати лампочки.

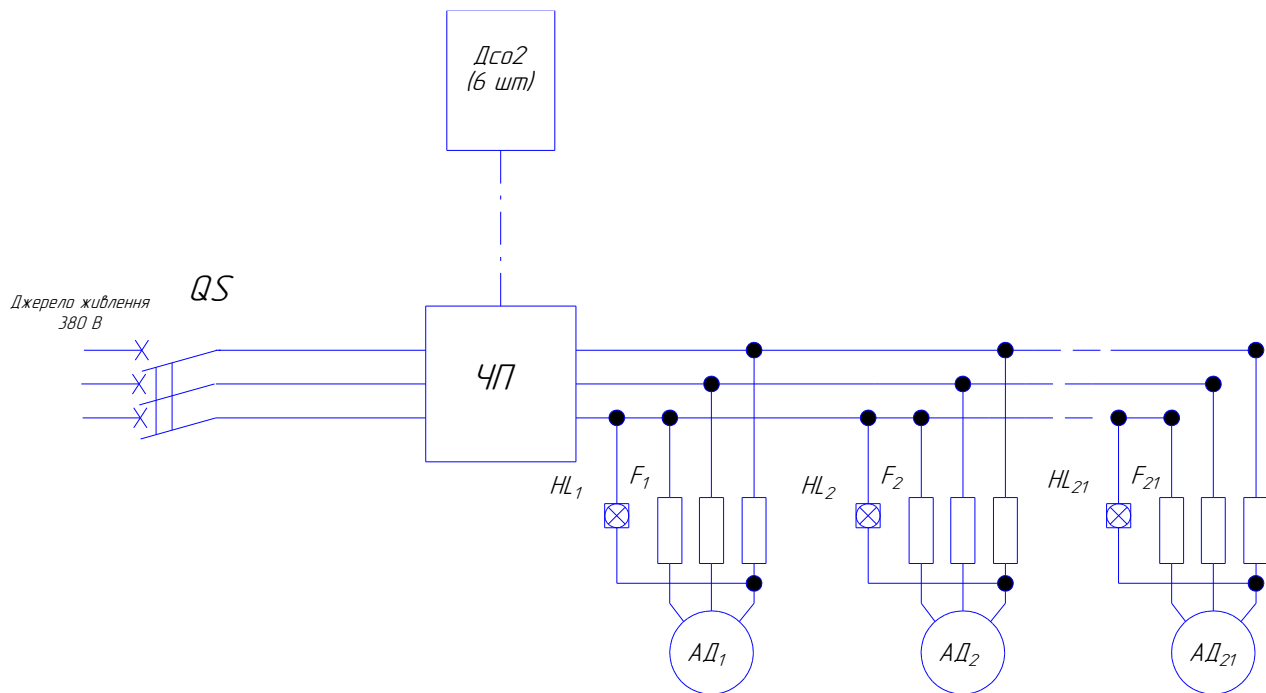


Рисунок 2.3 – Базова електрична схема з'єднання між собою перетворювача частоти, датчика вуглекислого газу та асинхронних приводів

2.3 Вибір устаткування

2.3.1 Розрахунок потоку повітря в системі вентиляції

Розміри обчислюваної птишиної ферми 122×30×4 м.

Для розрахунку нормального обміну повітря використаємо вміст CO₂ в приміщенні м³:

$$B_1 = \frac{n \cdot C_1}{C_2 - C_3} \quad (2.1)$$

n – загальна кількість птахів у приміщенні $n=10000$ од.

C_1 – виділення вуглекислого газу однією птицею $C_1=1,5$ л/год*шт.

C_2 – доцільні значення концентрації газу в повітрі, становить $C_2=1,53$ л/м³.

C_3 – значення газу у пташнику, $C_3=0,35$ л/м³.

Звідси отримаємо:

$$B_1 = \frac{n \cdot C_1}{C_2 - C_3} = \frac{10000 \cdot 1,5}{1,53 - 0,35} = 12711,8 \text{ м}^3$$

Тепер визначимо рівень для обміну повітря включаючи номінальні значення вмісту вологи, м³/год:

$$B_2 = \frac{W \cdot n \cdot \beta}{W_1 - W_2} \quad (2.2)$$

де: W – кількість виділеної одною птицею водяної пари, що становить 4,1 г/год;

β – коефіцієнтне значення випаровування вологи, що знаходиться в діапазоні від 2 до 3;

W_1 – допустимі значення водяної пари щодо пташників, г/м³:

$$W_1 = \frac{\omega \cdot W_{\max}}{100} \quad (2.3)$$

де: ω – допустимі значення відносної вологості, яка може бути у приміщенні, і знаходиться в межах 4 – 7,5 %

$W_{\max}$ – максимально допустимі значення рівня вологого повітря з врахуванням температури для пташника в 20°C, $W_{\max} = 19,2$ г/м³.

У зв'язку з цим W_1 дорівнюватиме:

$$W_1 = \frac{5,9 \cdot 19,2}{100} = 1,13 \text{ г/м}^3$$

W_2 – середньо допустимі значення абсолютної вологості для приточного зовнішнього повітря, $W_2 = 0,3$ г/м³

$$B_2 = \frac{W \cdot n \cdot \beta}{W_1 - W_2} \quad (2.4)$$

$$B_2 = \frac{4,1 \cdot 10000 \cdot 2,4}{1,13 - 0,3} = 118554,2 \text{ м}^3/\text{год}$$

Наступною задачею є вибір повітрообміну за умови максимальних значень.

Для розрахунку годинного повітрообміну використаємо таку формулу:

$$K = \frac{B_2}{V_n} \quad (2.5)$$

де V_n – значення об'єму всього пташника, м³.

Після чого K:

$$K = \frac{118554}{14640} = 8,1$$

У зв'язку з нормами, яких дотримуються при проектуванні, якщо значення K перевищує 5 то виникає необхідність використання примусової вентиляції, яка буде підігрівати внутрішнє повітря.

Через це нам потрібно здійснити розрахунки щодо цієї вентиляції, але врахувавши, що робота її буде циклічною і подача повітря в приміщення обов'язково повинне бути в діапазоні не менше ніж в 2-3 рази від раніше знайденої нами величини B_2 :

$$\Sigma B_{np.v} = (2...3)B_2 \quad (2.6)$$

При розрахунку отримаємо:

$$\Sigma B_{np.v} = 2,2 \cdot 118554 = 260818,8 \text{ м}^3/\text{год}$$

За цими даними знаходимо продуктивна здатність для одного вентилятора:

$$B_{вен} = \frac{\Sigma B_{np.v}}{n_{вен}} \quad (2.7)$$

де $n_{вен}$ – загальна кількість вентилявальних пристроїв (26).

Звідси:

$$B_{вен} = \frac{260818,8}{26} = 10031,5 \text{ м}^3/\text{год}$$

Тепер потрібно провести розрахунки діаметри отворів для вентиляції, м:

$$d = \frac{1}{30} \cdot \sqrt{\frac{B_{вен}}{\pi V}} \quad (2.8)$$

де V – загальні значення швидкості переміщення повітряних мас, що знаходиться в діапазоні 12-15 м/с.

За таких умов розраховуємо діаметр:

$$d = \frac{1}{30} \cdot \sqrt{\frac{10031,5}{3,14 \cdot 14,5}} = 0,495 \text{ м}$$

Наступним пунктом розрахунків є розрахунок значення тиску вентилявального пристрою в Па:

$$P_{вен} = \frac{\rho V^2}{2} \cdot \left(K \cdot \frac{L}{2d} + \Delta P \right) \quad (2.9)$$

де ρ – сталe значення густини для повітря (1,2 кг/м³);

L – довжина для трубопроводу приміщення, $L=0,76$ м;

ΔP – втрати тиску для приміщення, $\Delta P=2,7$;

K – коефіцієнт величини опору повітря, в межах від 0,02 до 0,03.

$$P_{вен} = \frac{1,2 \cdot 14,5^2}{2} \cdot \left(0,026 \cdot \frac{0,76}{2 \cdot 0,495} + 2,7 \right) = 343,1 \text{ Па}$$

На завершення можливий розрахунок трифазних асинхронних приводів, які запускатимуть в рух вентиляційні пристрої:

$$P = \frac{B_{вен} \cdot P_{вен} \cdot 10^{-3}}{3600 \cdot \eta} \quad (2.10)$$

де η – допустимий коефіцієнт корисної дії для вентиляційних пристроїв, межі коефіцієнта 0,4...0,7

$$P = \frac{10031,5 \cdot 615,1 \cdot 10^{-3}}{3600 \cdot 0,7} = 1,37 \text{ кВт}$$

Таблиця 2.1 - Технічна характеристика електродвигуна

Тип	К-ть	P_H , кВт	n , об/хв	I_H , А	K_I
AIP80B2	21	1,5	2900	2,7	4,3

З врахуванням параметрів наведених вище найдоцільніший вибір у випадку асинхронних приводів це AIP80B2, а що стосується вентиляційних пристроїв, то хороший вибір це осьовий вентилятор марки ВО-25-188 8.

2.3.2 Вибір перетворювача частоти та датчика концентрації вуглекислого газу

Загальна потужність для 21 асинхронного приводу становитиме 31,5 кВт, це не забуваючи про привід задачею якого є запуск дроселів камін для відводу повітря. Для початку ми провели заміну регулятора напруги на тиристорній основі перетворювачем частоти марки CFW – 08 plus для якого характерний певний діапазон використання:

- Виключна придатність інвертора в колах з трифазними асинхронними приводами із змінними значеннями струму, але за умов використання лише в виробничих галузях промисловості.
- Даний інвертора потребує підвищеної обережності і можливої консультації в спеціалістів або виробника у випадках спроби під'єднання пристрою до обладнання призначеного в цілях захисту, забезпечення життєдіяльності або цінної власності.
- Основне застосування спрямоване на пристрої, які працюють з промисловими двигунами, але в разі коли в системі передбачається небезпечне обладнання, при виникненні несправності інвертора потрібно ввести заходи захисту.

Крім цього обрали 6 датчиків концентрації вуглекислого газу виду Вентс СО2-1. Розміщення цих датчиків визначених контрольних ділянках приміщення, приблизно по висоті птахів, за даними пристроїв знаходять комплексне значення з врахуванням всіх точок розміщення.

Використання

Пристрій має чітку спрямованість на вимірювання номінальних значень вуглекислого газу в пташнику. За таких умов через сигнали на пряму керує ефективністю вентиляційних пристроїв. З точки зору продуктивності при контролі рівня вуглекислого газу можна значно збільшити економію споживання електроенергії будівлею.

Конструктивні особливості та сумісність

Датчик має два незалежних один від одного виходами – першим релейним який є нормально розімкнутим контактом (або ще так званим «сухим» контактом) і другим аналоговим виходом 0...10В (при необхідності можна зробити зміни на 2...10В/0...20мА/4...20мА). Перший вихід отримав застосування при ввімкненні/вимкненні вентиляційних пристроїв враховуючи значення рівня СО2 в приміщенні, а спрямування другого здійснено в поступове регулювання швидкості руху вентиляторів (для такого використовуються спеціальні ЕС мотори в вентиляторі, у випадку відсутності такого мотору можна використати допоміжний регулятор для обертів, але з входом на 0...10В).

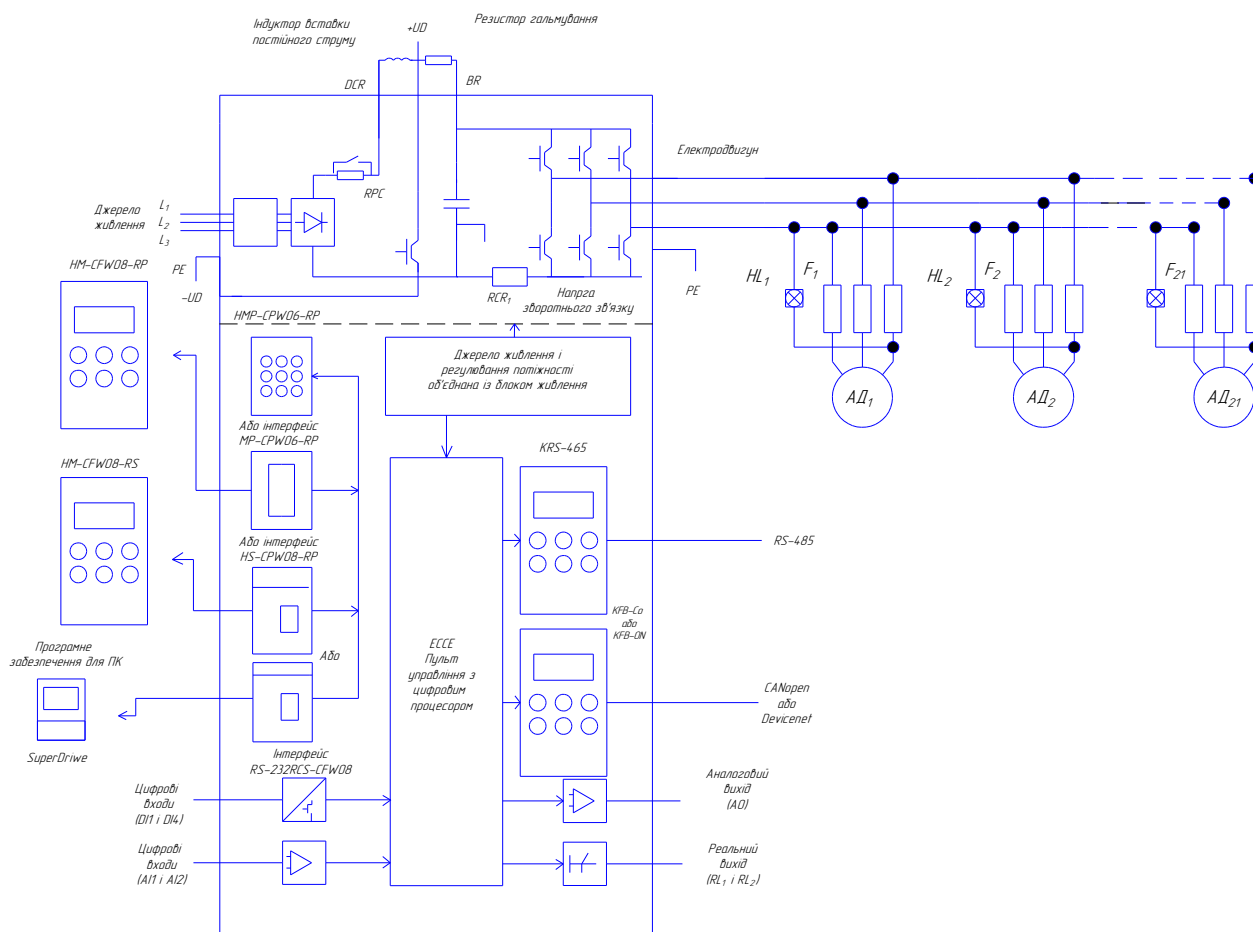


Рисунок 2.4 – Електрична схема підключення CFW – 08 plus

За рахунок поступовому регулюванні швидкості обертання вентиляційного пристрою буде отримана пропорційна подача газу. У зв'язку з тим що датчик має релейний, а також аналоговий вихід це призводить до його сумісності з будь-яким типом вентиляції. Колосальним плюсом датчика є можливість самокалібрування, що забезпечить безперебійну роботу і довготривалий термін застосування.

Конфігурації

Для даного датчика притаманні дві конфігурації CO₂₋₁ і CO₂₋₂. Перша включає в себе діоди, які відіграють роль сигналізаторів рівнів вуглекислого газу, а також керуючої кнопки для зміни режимів роботи (закладені три основні режими: 1- постійно працюючий; 2- постійно відключено і 3- функціонує за

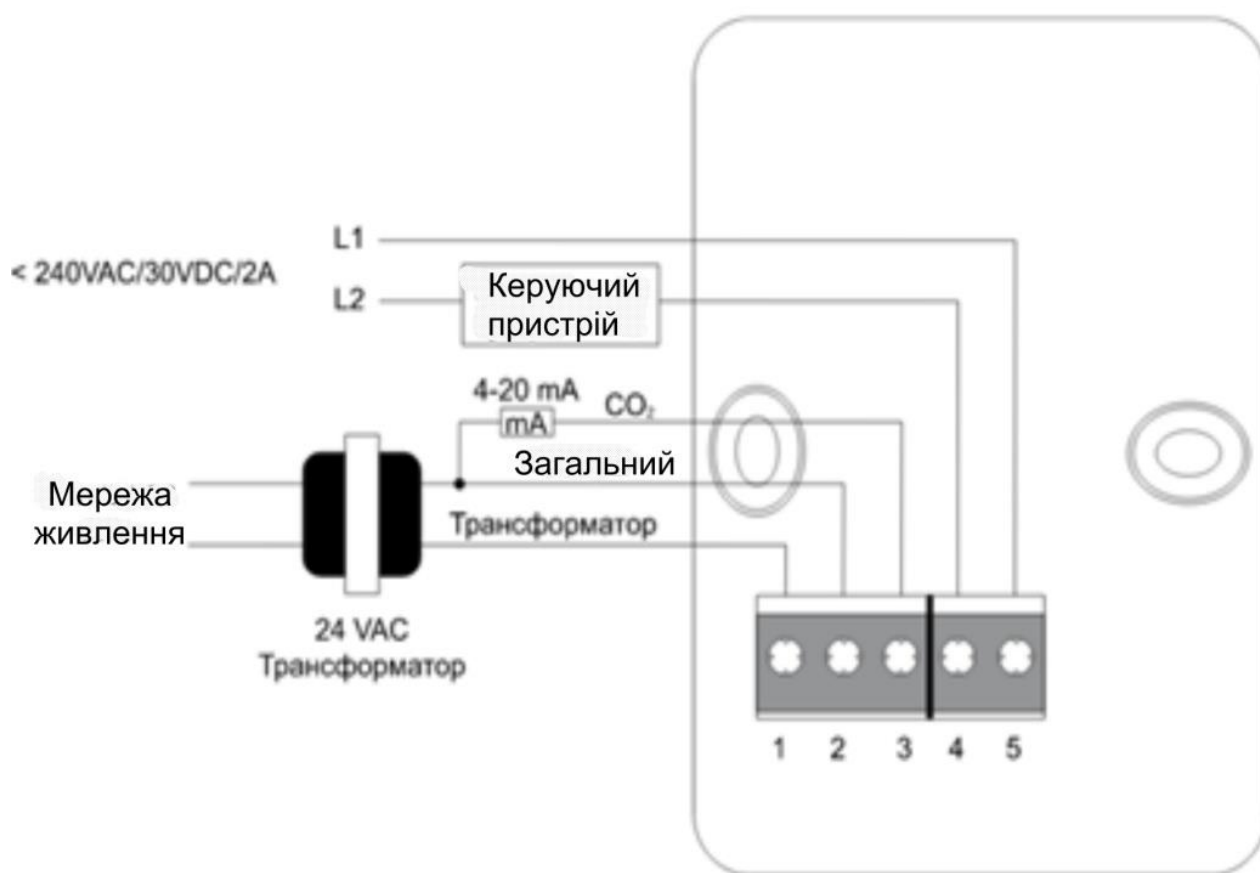


Рисунок 2.8 – Схема підключення датчика концентрації CO₂(Вентс CO2-1)

2.3.3 Визначення типу провідникових виробів

З технічних характеристик двигуна беремо номінальні значення струму приводу, що становить 2,7 А.

Для початку розрахуємо максимально допустимий тривалий струм, але включаючи параметри регулювальних коефіцієнтів:

$$I_{дон} = k_1 \cdot k_2 \cdot I_{но} \quad (2.11)$$

де k_1 – регулювальний коефіцієнт, що стосується температури в навколишньому оточенні й становить 1,19.

k_2 – регулювальний коефіцієнт, зазначає можливу кількість кабелів, які будуть розташовані в траншеї і допустиму відстань один від одного ($k_2=1$)

$$I_{дон} = 1,19 \cdot 1 \cdot 2,7 = 3,21 \text{ А}$$

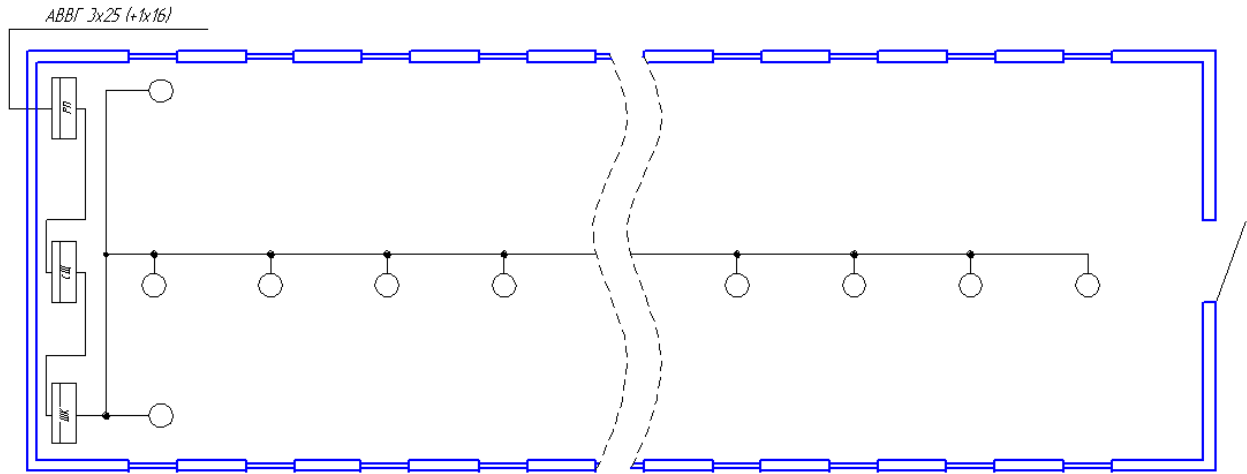


Рисунок 2.9 – Електрична схема силової мережі приміщення

Загальне значення максимально допустимого струму розраховується :

$$\Sigma I_{\text{заг}} = N \cdot I_{\text{дон}} \quad (2.12)$$

де N – задіяні системою асинхронні приводи.

$$\Sigma I_{\text{заг}} = 21 \cdot 3,21 = 67,4 \text{ А}$$

За розрахунками, а також навколишнім середовищем, яке потрібно врахувати при прокладанні кабельної лінії, можна дійти висновків в доцільності використання кабелю, який маркується так – АBBГ 3x25 (+1x16).

2.3.4 Розрахунок і підбір апаратури захисту та керування для комплектних пристроїв

В даному пункті першочерговою задачею потрібно приділити розрахунок і підбір автоматичного вимикача для включення і захисту системи QS:

Розрахуємо струм для уможливлення пуску трифазного асинхронного приводу:

$$I_n = K_i \cdot I_{\text{нд}} \quad (2.13)$$

Знаходимо струм пуску, враховуючи, що $K_i = 1,02$:

$$I_n = 1,02 \cdot 2,7 = 2,75 \text{ А}$$

Для розрахунку струму теплової вставки розраховуємо автоматичного апарату захисту потрібно звернутися до такої формули з умовою що:

$$I_{\text{н.т.р}} \geq K_{\text{н.т}} \cdot I_{\text{нд}} \quad (2.14)$$

де $K_{н.т}$ - показник надійності, який представляє собою діапазон коливань струму для спрацювання теплової вставки.

За цих умов отримаємо:

$$I_{н.т.р} \geq 1,15 \cdot 2,7 = 3,1 \text{ A}$$

Тепер знайдемо струм, який спричинить спрацювання розчеплювача:

$$I_{с.в.р} \geq K_{н.е} \cdot I_{нд} \quad (2.15)$$

де $K_{н.е}$ – показник надійності, який включає в себе як діапазон коливань струму для спрацювання теплової вставки, так і струму для пуску асинхронного приводу.

Підставивши значення $K_{н.е}$ знайдемо:

$$I_{с.в.р} \geq 1,3 \cdot 2,7 = 3,51 \text{ A}$$

Закінчимо розрахунком остаточного максимально допустимого струму:

$$\Sigma I_{заг} = 21 \cdot 3,51 = 73,71 \text{ A}$$

За таких результатів для наших потреб ми можемо використати автоматичний апарат захисту марки ВА - 2005 М10, для якого характерний такий струм теплового розчіплювача $\Sigma I_{с.в.р} = 78 \text{ A} > 73,7 \text{ A}$, а струм при якому воно спрацює $\Sigma I_{заг} = 100 > 73,7 \text{ A}$.

Після вимикача потрібно перейти до розрахунку запобіжник з плавкою вставкою:

Для початку розрахуємо номінальні значення струму для приводу:

$$I_H = \frac{S}{U_{ном}} \text{ A} \quad (2.16)$$

де S – тривала робоча потужність для асинхронного приводу, кВА;

$U_{ном}$ – значення номінальної напруги, трифазна становить 380В.

$$I_H = \frac{2080}{380} = 5,47 \text{ A}$$

Струм для пуску асинхронного приводу знаходиться:

$$I_{ел.дв}^{пус} = P_{дв} \cdot I_H \quad (2.17)$$

$$I_{ел.дв}^{пус} = 1,5 \cdot 5,47 = 8,2 \text{ A}$$

За допомогою попередніх результатів знайдемо струм для плавкої вставки:

$$I_{нл.вст}^{нус} = \frac{I_{ел.дв}^{нус}}{\alpha} \quad (2.18)$$

$$I_{нл.вст}^{нус} = \frac{8,2}{1,7} = 4,8 \text{ А}$$

де α – основний коефіцієнт для режиму роботи приводів. Потрібно зазначити, що у випадку частого запуску діапазон α буде в районі 1,6...1,8, а при рідкому запуску 2...2,25.

Розрахуємо теоретичне значення струму при виникненні короткого замикання:

$$I_{к.з.} \geq 3 \cdot I_{нл.вст}^{нус} \quad (2.19)$$

$$I_{к.з.} \geq 3 \cdot 4,8 = 14,4 \text{ А}$$

За основу перерізу нейтрального проводу можемо застосувати стандартні значення в 4×10 мм і з цих даних проведемо розрахунок густини для струму δ :

$$\delta = \frac{I_{к.з.}}{S} \quad (2.20)$$

$$\delta = \frac{14,4}{160} = 0,9$$

З табличних даних знаходимо резистивні та індуктивні опори для провідників зі сталі. Такі умови вимушують зазначення перерізу і відстані як для нульового l_n так і для фазного l_ϕ провідника зі сталі: $l_n = 80$ м, перетин проводу 4×40 мм; $S = 160$ мм²; $l_\phi = 180$ м; перетин $S = 58,4$ мм².

Основними вимогами для перерізу і сировини нульового провідника, можна зазначити допустиму провідність, яка не повинна бути меншою за фазний провід приблизно 1/2 рази:

$$\frac{1}{(R_H + X_H)} \geq \frac{R_\phi + X_\phi}{2} \quad (2.21)$$

Резистивний опір фазного провідника знаходимо за формулою:

$$R_\phi = r \cdot l_\phi \quad (2.22)$$

$$R_\phi = 8,3 \cdot 0,18 = 1,5 \text{ Ом/км}$$

За таким же принципом знаходимо резистивний опір нульового провідника:

$$R_H = r \cdot l_H \quad (2.23)$$

$$R_H = 2,34 \cdot 0,08 = 0,187 \text{ Ом/км}$$

Перейдемо до розрахунків індуктивного опору для фазного дроту:

$$X_\phi = X_\omega \cdot l_\phi \quad (2.24)$$

$$X_\phi = 3,84 \cdot 0,18 = 0,69 \text{ Ом/км}$$

Для нульового дроту:

$$X_H = X_\omega \cdot l_H \quad (2.25)$$

$$X_H = 1,17 \cdot 0,08 = 0,093 \text{ Ом/км}$$

де X_ω – індуктивні значення опору дроту, Ом;

l – протяжність дроту, км.

Індуктивний опір для контуру фаза-нуль $X_l = 0,65 \text{ Ом/ км}$

Вся протяжність контуру фаза-нуль 0,043 км.

Звідси:

$$X_l = 0,65 \cdot 0,043 = 0,028 \text{ Ом}$$

За знайденими вище параметрами стає можливим вичислити Z_{Π} , а також значення струму в разі виникнення короткого замикання:

$$Z_{\Pi} = \sqrt{(R_\phi + R_H)^2 + (X_\phi + X_H + X_l)^2} \quad (2.26)$$

$$Z_{\Pi} = \sqrt{(1,5 + 0,187)^2 + (0,69 + 0,093 + 0,028)^2} = 1,87 \text{ Ом}$$

На завершення проведемо перевірку створення умов стабільного спрацювання захисту системи:

$$I_{\text{к.з.}} = \frac{U_\phi}{\frac{Z_T}{3} + Z_{\Pi}} \quad (2.27)$$

$$I_{\text{к.з.}} = \frac{380}{\frac{1,94}{3} + 1,87} = 150,8 \text{ А} > 14,4$$

Таблиця 2.2 – Основні технічні показники обладнання

Найменування	Розмірність	Марка, кількість,.
Вентилятор: - Всього вентиляторів - Подача повітря вентилятором - Вид вентилятора	шт м ³ /год	21 10031 ВО-25-188 8
Асинхронний привід: - Марка - Всього - Потужність - Швидкість обертання	шт. кВт об/хв	AIP80B2 21 1,5 2900
Перетворювач частоти: - Вид - Повна потужність - Всього одиниць - Номинальний струм на виході	кВт шт. А	CFW – 08 plus 50 1 80
Датчик вмісту вуглекислого газу - Вид - Всього пристроїв	шт.	СО Вентс СО2-1 6
Силовa проводка: Позначення проводу		АВВГ 3х25 (+1х16)
Автоматичний апарат захисту: - Тип вимикача - Максимальний струм	А	ВА - 2005 М10 56,43
Запобіжник з плавкою вставкою: - Серійне маркування вставки - Допустимий струм	А	ПН2-100 50

У зв'язку з тим що струм при короткому замиканні перевищує величину плавкої вставки в три рази, це призведе до плавлення вставки, яка згорить в проміжку часу до 3 секунд, що призведе до відключення однієї з фаз де відбулося замикання.

Для нас хорошим рішенням буде використання плавкої вставки типу ПН2-100, за параметрами допустимого значення струму в 50 А, а використання можливе для трифазної напруги в 380 В.

РОЗДІЛ 3

МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

3.1 Математична та структурна модель електродвигуна

У зв'язку з розкриттями нових підходів, які були засновані в основному на повних рівняннях диференціалів асинхронного приводу, відкриваються можливості щодо побудови системи керування приводами, що міститиме в собі систему із частотним регулюванням, за таких умов для дослідження та створення цілісності побудови асинхронних приводів можна звернутися до простіших розрахункових методів. Потрібно розуміти, що математичні моделі у вигляді похідних для моделі загальної машини будуть розміщуватися у різних координатних системах. Через це приймаємо такі осі координат як α і β , які будуть нерухомими відносно статора і осі d та q , що будуть навпаки нерухомими у відношенні до ротора приводу. Якщо записувати ці рівняння у відповідності до розглянутих осей можна отримати математичний опис всіх можливих процесів, які відбуваються у асинхронній машині. Як правило рівняння будуть записуватися у довільній системі координатних осей, як приклад осі u та v , які обертатимуться з певною швидкістю ω_k , що призведе до різних типів виконаної електричною машиною роботи. Для перетворення рівнянь з похідними в векторні, нам потрібно приймати осьову лінію u як дійсну частину, а у випадку з v навпаки за уявну частину і отримаємо рівняння (3.1):

Для асинхронного приводу в координатних осях u - v модель у математичній формі набуде таких значень (3.2):

ω_k – інтенсивність руху системи координат;

i_v, i_u – складові значення струмів системи;

ψ_v, ψ_u - зв'язок магнітних потоків;

R_1 – значення опору на статорі;

M – електромагнітний крутний момент приводу;

L_1, L_2 – індуктивні опори фаз в статорі, а також в роторі;

L_{12} – індуктивний зв'язок між обмотками двигуна;

U_1 – значення напруги на нерухомій частині машини.

$$\left. \begin{aligned} U_{1u} &= i_{1u} R_1 + \frac{d\psi_u}{dt} - \omega_k \psi_{1g} \\ U_{1g} &= i_{1g} R_1 + \frac{d\psi_g}{dt} - \omega_k \psi_{1u} \\ 0 &= i_{2u} R_2 + \frac{d\psi_{2u}}{dt} - (\omega_k - \omega_{3л}) \psi_{2g} \\ 0 &= c R_2 + \frac{d\psi_{2g}}{dt} - (\omega_k - \omega_{3л}) \psi_{2u} \\ M &= p_n L_{12} (i_{1g} i_{2u} - i_{1u} i_{2g}) \\ \psi_{1u} &= L_1 i_{1u} + L_{12} i_{2u} \\ \psi_{1g} &= L_1 i_{1g} + L_{12} i_{2g} \\ \psi_{2u} &= L_2 i_{2u} + L_{12} i_{1u} \\ \psi_{2g} &= L_2 i_{2g} + L_{12} i_{1g} \end{aligned} \right\} \quad (3.1)$$

Потрібно розуміти що у випадку зміни частоти струму у нерухомій частині машини, всі змінні рівняння 3.2 будуть також змінюватися.

$$\left. \begin{aligned} \omega_k &= 0 \\ \bar{U}_1 &= \bar{i}_1 R_1 + \frac{d\bar{\psi}_1}{dt} \\ 0 &= \bar{i}_2 R_2 + \frac{d\bar{\psi}_2}{dt} - j\omega_{3л} \bar{\psi}_2 \\ \bar{M} &= p_n L_{12} \operatorname{Im}(\bar{i}_1 \cdot \bar{i}_2) = p_n L_{12} (i_{1\beta} i_{2\alpha} - i_{1\alpha} i_{2\beta}) \end{aligned} \right\} \quad (3.2)$$

Симуляційна модель в осях координат α – β для асинхронного приводу з двома фазами буде розраховуватися так (3.3):

де M , M_c – крутний момент приводу та опірний момент механізму;

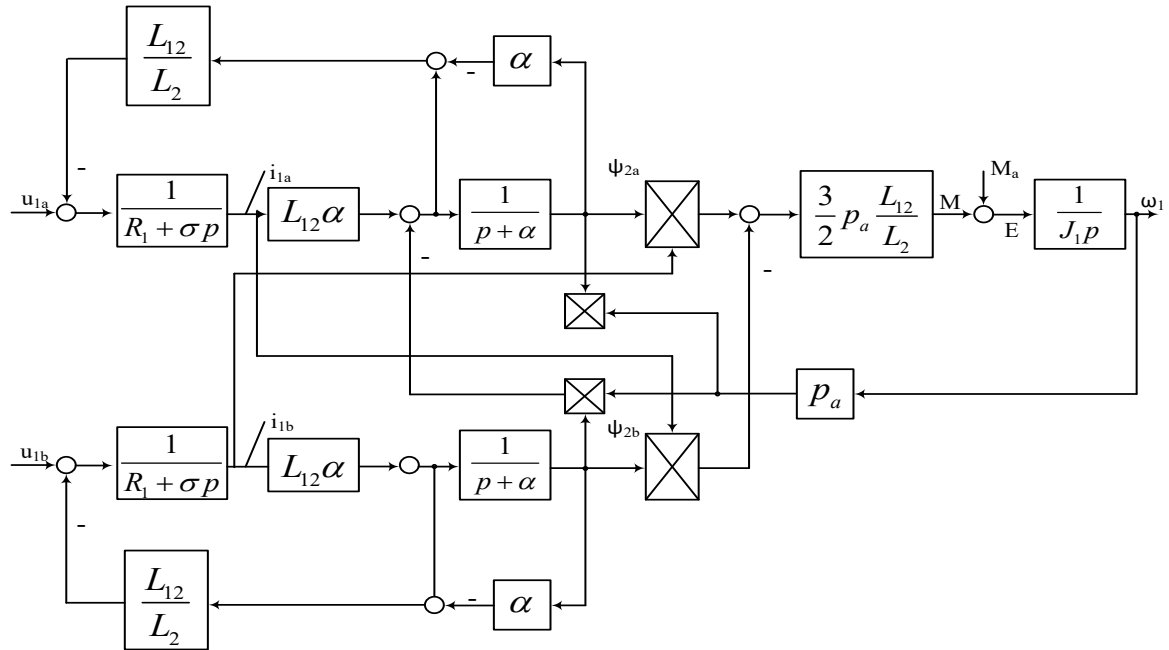
J_Σ – загальний опір обертальному руху механізму.

$$\left. \begin{aligned}
\frac{di_{1\alpha}}{dt} &= K_1(U_{1\alpha} - i_{1\alpha}R_1) + K_3i'_{2\alpha} + K_2e_{1\beta} \\
\frac{di_{1\beta}}{dt} &= K_1(U_{1\beta} - i_{1\beta}R_1) + K_3i'_{2\beta} + K_2e_{1\alpha} \\
\frac{di'_{2\alpha}}{dt} &= -K_2(U_{1\alpha} - i_{1\alpha}R_1) + K_5i'_{2\alpha} + K_4e_{1\beta} \\
\frac{di'_{2\beta}}{dt} &= -K_2(U_{1\beta} - i_{1\beta}R_1) + K_5i'_{2\beta} + K_4e_{1\alpha} \\
\frac{d\omega}{dt} &= \frac{1}{j}(M - |M_c| \text{sign}\omega) \\
M &= K_6(i_{1\beta}i'_{2\alpha} - i_{1\alpha}i'_{2\beta}) \\
e_{1\alpha} &= \omega_{3\lambda}(L_2i'_{2\alpha} + L_{12}i_{1\alpha}) \\
e_{1\beta} &= \omega_{3\lambda}(L_2i'_{2\beta} + L_{12}i_{1\beta}) \\
\omega_{3\lambda} &= p_n\omega
\end{aligned} \right\} \quad (3.3)$$

в якій:

$$\begin{aligned}
K_1 &= \frac{L_2}{L_1L_2 - L_{12}^2} \\
K_2 &= \frac{L_{12}}{L_1L_2 - L_{12}^2} \\
K_3 &= K_2R'_2 \\
K_4 &= \frac{L_1}{L_1L_2 - L_{12}^2} \\
K_5 &= K_4R'_2 \\
K_6 &= \frac{3}{2}p_nL_{12} \\
U_{1\alpha} &= U_{1m}\cos[\phi_{3\lambda}(t)] \\
U_{1\beta} &= U_{1m}\sin[\phi_{3\lambda}(t)] \\
\phi_{3\lambda} &= 2\pi f_{1ном} \int \alpha(t)dt \\
\alpha(t) &= \frac{f_1(t)}{f_{1ном}}
\end{aligned} \quad (3.4)$$

Взявши за основу модель асинхронного приводу з двома фазами, яка розміщується в осьових лініях α - β , можна побудувати конструктивну модель для звичайного асинхронного приводу зображеного на рисунку 3.1:



Рисунку 3.1 – Блок-схема асинхронного приво́ду

3.2 Дослідження пуску двигуна при різних частотах живлення

Для моделювання електроприводів, в яких за основу взяті напівпровідники найкраще себе показало програмне забезпечення MATLAB, яке представляє собою матричну лабораторію, що містить декілька розширених пакетів (Toolboxes) і за допомогою яких можна достатньо просто і точно визначити параметри систем приводів з силовими напівпровідниками, без загрози для системи.

Як правило для побудови і дослідження приводів з силовими напівпровідниками підходять два основні за призначенням пакети розширення – Simulink і Power System Blockset.

Можна з впевненістю сказати, що середовище моделювання Simulink і всі його доповнення є ключовим інструментом при вивченні різноманітних електромеханічних комплексів. Якщо розумітися достатньо добре в даному середовищі, то будь-яке завдання, що стосується аналізу і вивчення систем електроприводу можна гарантовано виконати.

В результаті при використанні Simulink, спеціаліст спроможний отримати розуміння не лише в структурно-математичному описі системи, а й написанням

коду, за допомогою якого запрограмує мікропроцесор для необхідної йому схеми взаємозв'язків компонентів моделі.

Simulink можна назвати бібліотекою, яка містить в собі достатньо велику кількість графічних об'єктів, при їх використанні відкриваються можливості аналізу і розрахунку різноманітних систем автоматичного регулювання. Для цього майже кожен елемент з бібліотеки має можливість для налаштування початкових параметрів. Щоб змінити або перевірити параметри вибраного блоку потрібно на нього двічі натиснути після чого відкриється панель де будуть розташовані всі можливі дані для цього елемента.

Схема для досліджень зображена на рисунку 3.2 і буде складатися з таких основних елементів:

- Asynchronous Machine SI Unit – вже існуюча модель для асинхронного приводу з точними параметрами, відносно паспортних даних використаної нами марки двигуна AIP80B2;

- 3Phase Programmable Voltage Source – забезпечує систему трифазним джерелом живлення, яке матиме стандартні робочі параметри в $U_m=380$ В; враховуючи, що між кожною фазою є зсув в 120° , при моделюванні системи з трифазною напругою використовують стандартні дані: $U_\phi=220$ В, $U_\pi=380$ В, $f=50$ Гц;

- Step – призначається для подавання ступінчастого сигналу, але у нашому випадку навантаження на ньому буде рівне 0;

- Voltage Measurement – елемент для вимірювання показників напруги, що протікає в моделі, звичний всім вольтметр;

- Блок RMS – основне призначення даного елемента полягає в обчисленні діючих значень напруги в системі;

- Machine Measurement Demux – особливий блок за допомогою якого можна обрати параметри, які будуть виводитися на Scope;

- Scope – блок, який дозволяє розглянути осцилограми проведених нами дослідів у системі;

- Powergui – основоположник всієї роботи у пакеті Simulink у зв'язку з тим, що він повністю керує середовищем для моделювання.

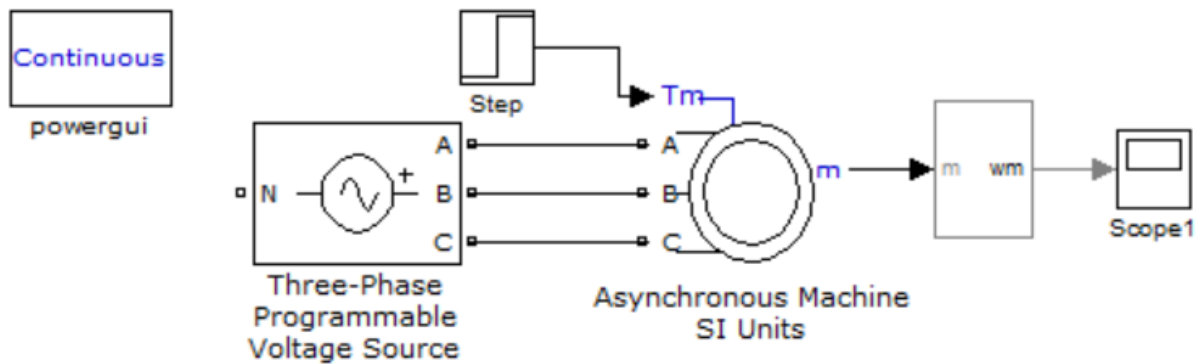


Рисунок 3.2 – Комп’ютерна модель процесу пуску асинхронного електродвигуна

Після побудови моделі у панелі параметрів двигуна нам потрібно перевірити дані для вибраного нами приводу типу AIP80B2 і у випадку відмінності налаштувати параметри до паспортних даних або частково провести розрахунки.

Спочатку розрахуємо значення номінального ковзання машини:

$$s_n = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad (3.5)$$

$$s_n = \frac{3000 - 2900}{3000} = 0,033$$

Наступним на черзі є значення кутової швидкості обертання рухомої частини машини:

$$\omega_n = \frac{\pi n_n}{30} \quad (3.6)$$

$$\omega_n = \frac{3,14 \cdot 2900}{30} = 303,5 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Визначимо моменти приводу:

Номінальний:

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n} \quad (3.7)$$

$$M_n = \frac{1500}{303,5} = 4,94 \text{ Нм.}$$

Максимальний:

$$M_{\text{макс}} = m_{\text{макс}} \cdot M_n \quad (3.8)$$

в якій $m_{\text{макс}}$ (2,5...3,5):

$$M_{\text{макс}} = 3 \cdot 4,94 = 14,82 \text{ Нм.}$$

Пусковий:

$$M_{\Pi} = m_{\Pi} \cdot M_{\text{н}} \quad (3.9)$$

де m_{Π} (0,8...1,2):

$$M_{\Pi} = 0,9 \cdot 4,94 = 4,45 \text{ Нм.}$$

Розрахуємо значення для критичного ковзання машини:

$$s_{\text{кр}} = s_{\text{н}} (m_{\text{макс}} + \sqrt{m_{\text{макс}}^2 - 1}) \quad (3.10)$$

$$s_{\text{кр}} = 0,033 \cdot (3 + \sqrt{3^2 - 1}) = 0,192$$

Після цього можна перейти до розрахунків опорів машини. Перший це значення приведенного активного опору рухомої частини машини:

$$R_r = \frac{1}{3} \cdot \frac{(P_{\text{н}} + P_{\text{мех}})}{I_{\text{н}}^2 \frac{1 - s_{\text{н}}}{s_{\text{н}}}} \quad (3.11)$$

Перед цим знайдемо значення механічних втрат:

$$P_{\text{мех}} = (0,01 \div 0,05) P_{\text{н}} = 0,05 \cdot 1500 = 75 \quad (3.12)$$

$$R_r = \frac{1}{3} \cdot \frac{(1500 + 75)}{2,7^2 \frac{1 - 0,033}{0,033}} = 1,39 \text{ Ом.}$$

За цими даними можемо розрахувати значення активного опору що буде на нерухомій частині машини:

$$R_s = \frac{U \cdot \cos \varphi \cdot (1 - \eta)}{I_{\text{н}}} - C^2 \cdot R_r - \frac{P_{\text{мех}}}{3 \cdot I_{\text{н}}^2} \quad (3.13)$$

де: $U = U_{\text{н}}/1,73$ номінальні значення фазної напруги

C – привідний коефіцієнт (1,01...1,05)

η – коефіцієнт корисної дії для нашої машини 0,79

$$R_s = \frac{220 \cdot 0,87 \cdot (1 - 0,79)}{2,7} - 1,02^2 \cdot 1,39 - \frac{30}{3 \cdot 2,7^2} = 1,105 \text{ Ом.}$$

Знаходимо індуктивні опори машини (розсіяння, статора і контура намагнічування):

$$L_{sp} = L_{rp} = \frac{U}{4\pi f_1(1+C^2)\kappa_i I_H} \quad (3.14)$$

$$L_{sp} = L_{rp} = \frac{220}{4 \cdot 3,14 \cdot 50(1 + 1,02^2)6,5 \cdot 2,7} = 0,0098 \quad \Gamma_H$$

$$L_s = \frac{U}{2\pi f_1 I_H \sqrt{1 - (\cos \varphi)^2} - \frac{2}{3} \cdot \frac{2\pi f M_{\max}}{pU} \cdot \frac{s_H}{s_{кр}}} \quad (3.15)$$

$$L_s = \frac{220}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 2,7 \sqrt{1 - (0,87)^2} - \frac{2}{3} \cdot \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 14,82}{220} \cdot \frac{0,033}{0,192}} = 0,529 \quad \Gamma_H.$$

$$L_m = L_s - L_{sp} \quad (3.16)$$

$$L_m = 0,529 - 0,0098 = 0,519 \quad \Gamma_H.$$

Для моделювання пуску навантаження використовуємо чотири частоти для напруги живлення, а саме $f_1=50$ Гц, $f_2=45$ Гц, $f_3=40$ Гц та $f_4=35$ Гц. Але саме головне не забути про закон регулювання частоти:

$$K = \frac{U}{f^2} = \text{const} \quad (3.5)$$

У зв'язку з цим при підстановці отримаємо значення коефіцієнта, який стосуватиметься даного закону:

$$K = \frac{380}{50^2} = 0,152$$

Тепер для того, щоб забезпечити цей закон нам потрібно врахувати цей коефіцієнт при трьох інших частотах:

$$U_n = K \cdot f_n^2 \quad (3.6)$$

$$U_2 = 0,152 \cdot 45^2 = 307,8 \text{ В.}$$

$$U_3 = 0,152 \cdot 40^2 = 243,2 \text{ В.}$$

$$U_4 = 0,152 \cdot 35^2 = 186,2 \text{ В.}$$

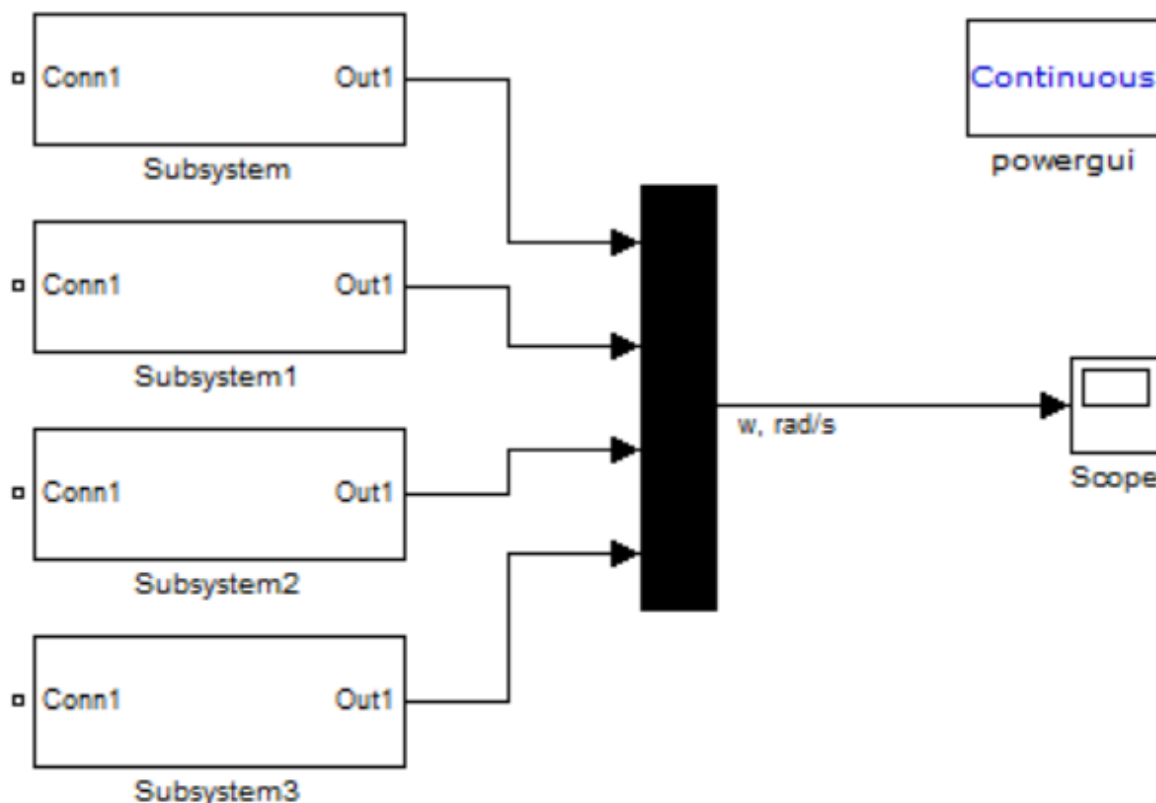


Рисунок 3.3 – Спрощена комп’ютерна модель процесу пуску асинхронного електродвигуна

Задовільнивши закон U/f^2 ми можемо перейти до моделювання, але щоб спростити його зробимо чотири однакових моделі процесу для пуску асинхронного приводів і згрупуємо їх в чотири однакових блоки Subsystem, але з різними параметрами живлення: для першого блоку напруга $U_1=380$ В, а частота $f_1=50$ Гц, для другого блоку напруга $U_2=307,8$ В, частота $f_2=45$ Гц; для третього блоку напруга $U_3=243,2$ В, частота $f_3=40$ Гц і для останнього блоку напруга $U_4=186,2$ В і частота $f_4=35$ Гц;

За таких умов провівши дослід для наглядності вивели всі швидкості приводів у кожного блоці Subsystem і виведемо їх на Scope отримавши наступні осцилограми системи рис. 3.4.

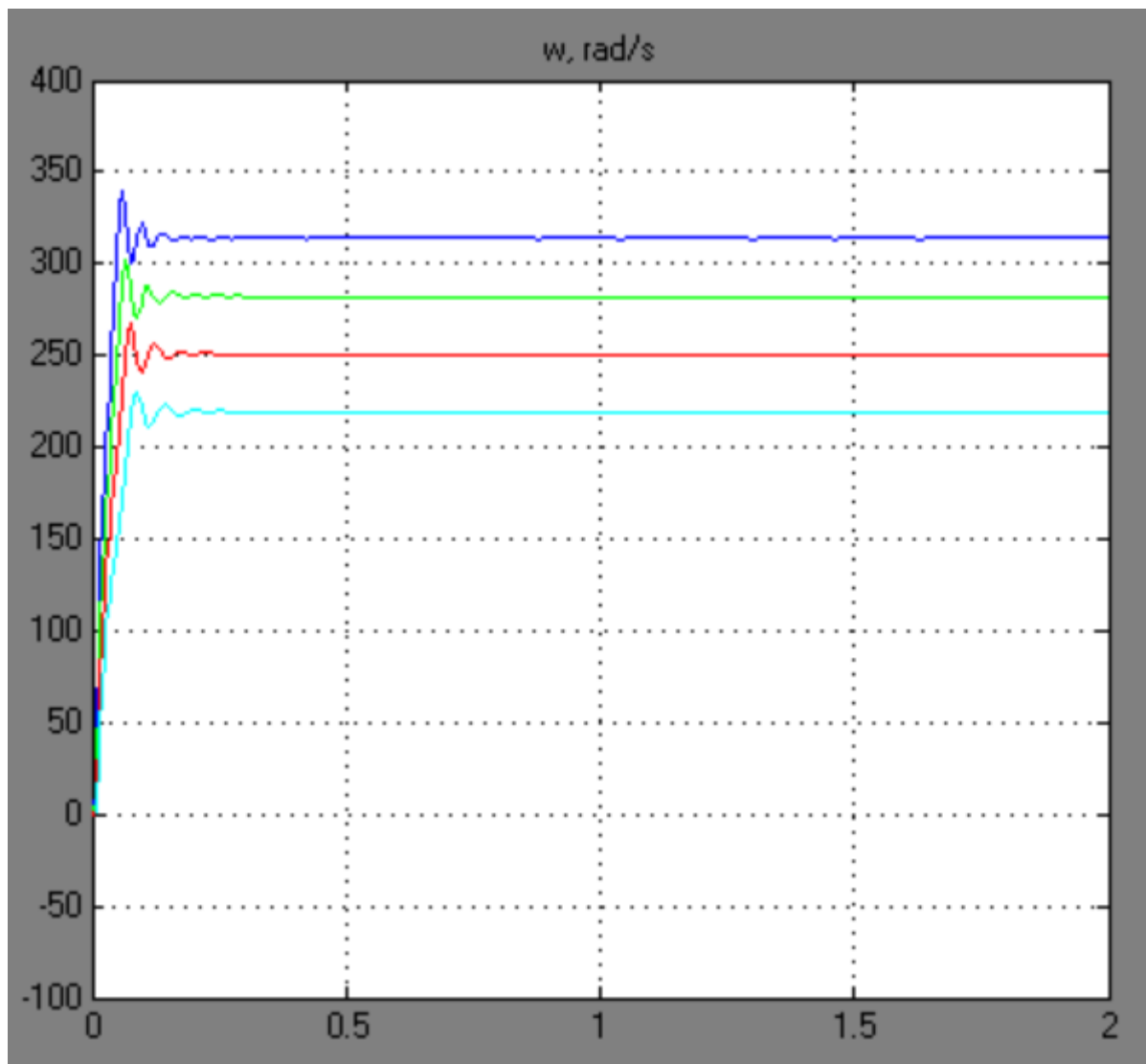


Рисунок 3.4 – Динаміка швидкості асинхронного двигуна під час пуску від мережі 50, 45, 40 і 35 Гц без навантаження.

Спираючись на отримані вище результати можна сказати, що у випадку лінійного спаду частоти, а з нею і напруги зменшуються номінальні значення швидкості, а плюсом і час для її досягнення, за таких умов вибраний нами привід може спокійно забезпечувати значення номінального моменту.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Логіко-імітаційне моделювання процесів виникнення аварій

Основні принципи побудови моделі такі. Спочатку визначають, так звану, головну подію. Головна подія – це і є та небезпечна ситуація, модель якої ми будемо будувати (аварія, травма, катастрофа тощо). Головна подія графічно позначається подвійним прямокутником і записується зверху аркуша. Головна подія завжди тільки одна в моделі. Далі починають логічно міркувати, які події привели до головної, тобто визначають причини цієї події. Їх записують під головною. Графічно їх позначають по-різному: ромб - нерозкрита подія (подія, яка вимагає проведення відповідних додаткових досліджень); прямокутник - проміжна подія (подія, причини якої ми можемо визначити); овал-подія-умова, що використовується з оператором „ЗАБОРОНА”; хатка (п'ятикутник, в якому один з боків є основою)- подія, яка може відбутися або не відбутися; трикутник (рівносторонній трикутник) – символ перенесення. Наступний етап побудови моделі-визначення виду логічного зв'язку, що пов'язує головну подію з подіями-причинами. Оскільки дані моделі є логічними, то всі події в них зв'язані логічними зв'язками. Графічно ці зв'язки позначаються за допомогою символів-операторів або логічних операторів. Найчастіше використовуються оператори „І” та „АБО”.

Далі визначають причини подій, що були причинами головної події. Визначають вид цих подій та логічні оператори, які пов'язують ці події з попередніми. Таким чином, ми визначаємо логічну послідовність подій, що призвела до небезпечної ситуації. Нарешті, визначають, так звані, базові або кінцеві події. Графічно вони зображуються у вигляді кола. Будь-яка модель закінчується саме такими подіями. Це події, з яких починається процес формування небезпеки.

Повністю побудована і перевірена модель підлягає математичній обробці для визначення ймовірності кожної випадкової події, що увійшла до моделі, починаючи з базових і закінчуючи головною.

Необхідно звернути увагу на те, що при побудові логіко-імітаційної моделі першою ми визначаємо головну подію, а останніми – базові події. Але в житті все відбувається навпаки. Спочатку відбуваються базові події, які дають поштовх для розвитку „ланцюжку” наступних подій, що призводять, в кінці кінців, до головної події, тобто, до небезпечної ситуації.

Таким чином, логіко-імітаційні моделі дають можливість виявити послідовність подій, що призводять до виникнення небезпечної ситуації. Знаючи цю послідовність, ми можемо на будь-якій стадії перервати її та запобігти виникненню небезпеки. Саме тому логіко-імітаційні моделі мають велике практичне значення для вивчення механізмів зародження та формування небезпечних ситуацій.

Таблиця 4.1 – Ймовірності подій виникнення небезпеки в пташнику

Шифр	Назва події	Ймовірність
P ₁	Відсутність захисного заземлення	0,1
P ₂	Пошкодження захисного заземлення	0,13
P ₃	Неправильна експлуатація електрообладнання	0,03
P ₄	Спрацювання електротехнічних засобів захисту	0,05
P ₅	Відсутність профілактичних заходів	0,2
P ₆	Відсутність захисного щита	0,18
P ₇	Недотримання правил техніки безпеки	0,15
P ₈	Незнання правил техніки безпеки	0,17
P ₉	Відсутність спецодягу	0,21
P ₁₀	Халатність працівників	0,17

Після обчислення ймовірностей всіх подій, починаючи з лівої нижньої гілки "дерева", позначаємо номерами всі випадкові події, що увійшли до даної моделі. Потім модель представляємо до математичного виконання ймовірностей випадкових подій, застосовуючи формули:

1. Базові події з ймовірностями P_1 і P_2 за допомогою оператора "І" входять у наступну третю подію. Тоді ймовірність виникнення цієї події P_3 можна визначити так:

$$P_3 = P_1 P_2 \quad (4.3)$$

2. За допомогою оператора "І" три події з ймовірностями P_1 , P_2 і P_3 формують четверту випадкову подію. Тоді ймовірність цієї події P_4 обчислюють так:

$$P_4 = P_1 P_2 P_3 \cdot \text{л} \quad (4.4)$$

3. Оператор "І" об'єднує n події з ймовірностями P_1 , P_2 , P_3 , ..., P_n тоді ймовірність вихідної події P буде

$$P = P_1 P_2 \dots P_n. \quad (4.5)$$

4. Дві базові події з ймовірностями P_1 і P_2 за допомогою оператора "АБО" входять до третьої події. Тоді ймовірність P_3 буде

$$P_3 = P_1 + P_2 - P_1 P_2. \quad (4.6)$$

5. Оператор "АБО" об'єднує три базові події з ймовірностями P_1, P_2, P_3 , які за допомогою цього оператора входять у наступні події з ймовірністю P_4 . Тоді ймовірність цієї події можна визначити за формулою

$$P_4 = P_1 + P_2 + P_3 - P_1 P_2 - P_2 P_3 - P_1 P_3 + P_1 P_2 P_3. \quad (4.7)$$

6. Якщо до оператора "АБО" входять чотири і більше випадкових базових події з відомими значеннями ймовірностей, то для спрощення обчислень їх згруповують по дві або по три події і застосовують наведені формули. Після визначення ймовірностей вихідних подій кожної з таких груп, їх знову необхідно згрупувати і провести аналогічні обчислення, аж поки не залишаться дві або три події, над якими необхідно провести ті ж операції. Так поступово обчислюючи ймовірність вихідних подій кожного окремого розгалуження, наближаємось до головної події і обчислюємо ймовірність її виникнення.

Для проведення обчислень ймовірності травми використовуємо логіко-імітаційну модель процесу її формування (рис. 4.1).

Підставивши дані ймовірностей базових подій у формулу (4.6), Отримаємо ймовірність події 13:

$$P_{13} = 0,1 + 0,03 - 0,1 \cdot 0,03 = 0,127.$$

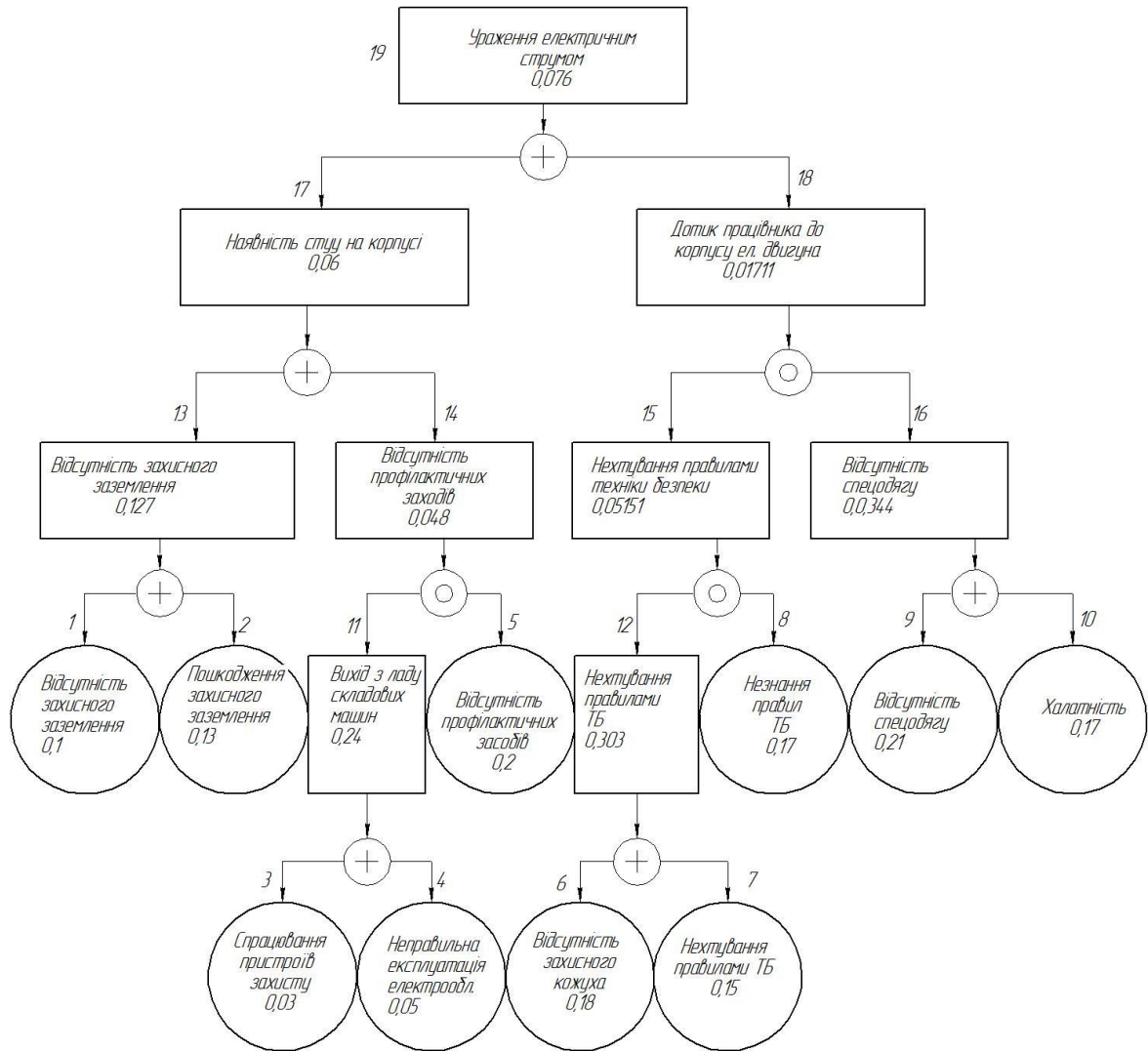


Рисунок 4.1 – Логіко-імітаційна модель процесу виникнення травм під час роботи вентиляційної установки

Аналогічно визначаємо ймовірність інших подій:

$$P_{11} = P_4 + P_5 - P_4 P_5 = 0,05 + 0,2 - 0,05 \cdot 0,2 = 0,24.$$

$$P_{12} = P_6 + P_7 - P_6 P_7 = 0,18 + 0,15 - 0,18 \cdot 0,15 = 0,303.$$

$$P_{16} = P_9 + P_{10} - P_9 P_{10} = 0,21 + 0,17 - 0,21 \cdot 0,17 = 0,0344.$$

$$P_{14} = P_{11} P_5 = 0,24 \cdot 0,2 = 0,048.$$

$$P_{15} = P_{12} P_8 = 0,303 \cdot 0,17 = 0,05151.$$

$$P_{17} = P_{13} + P_{14} - P_{13} P_{14} = 0,127 + 0,048 - 0,127 \cdot 0,048 = 0,06.$$

$$P_{18} = P_{15} - P_{16} = 0,05151 - 0,0344 = 0,01711.$$

$$P_{19} = P_{17} + P_{18} - P_{17} P_{18} = 0,06 + 0,01711 - 0,06 \cdot 0,01711 = 0,076.$$

Таким чином під час роботи стрічкової пилорами установки при наявності тих недоліків з охорони праці, які відображені у базових подіях на 100 таких

місць, можна очікувати 0,19 травми. Якщо зазначені недоліки негайно усунути (підвищити професійний рівень працюючих, поліпшити контроль та виготовити необхідну кількість профілактичних засобів за всіма вимогами безпеки), то можна побачити на моделі шляхом повторного розрахунку, що рівень небезпеки буде наближатися до 0, а рівень безпеки – до 1.

4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях

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

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

- захист від шуму (спеціальні навушники та каски, вкладиші у вушну раковину, звукоізоляційні огорожувальні конструкції, звукопоглинаючі екрани тощо);

- захист від метеоумов (від переохолодження використовується теплий спецодяг, від атмосферних опадів для захисту голови використовуються каски, від впливу високої температури необхідно передбачити хорошу вентиляцію повітря та кондиціонування);

- захист від незадовільного освітлення (при роботі з асинхронним двигуном використовується природне і штучне освітлення. Штучне застосовується в темний час доби (згідно ПУЕ газорозрядні лампи типу ДРЛ, для аварійного освітлення – лампи розжарювання);

- захист від ураження електричним струмом (захисне заземлення та занулення, подвійна ізоляція, ізолюючі вставки, тощо).

Окрім цього усі електричні двигуни, апарати, трансформатори повинні мати відповідний ступінь вибухозахисту (згідно ГОСТ 14254, ПУЕ-84 і ДНАОП 0.00-1.32-01.). Також обладнання має мати відповідне маркування щодо його вибухозахисту та захисту оболонки.

РОЗДІЛ 5

ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ

Розрахунок річної економії електроенергії при заміні автотрансформатора на частотний перетворювач відповідної потужності

Визначаємо витрату електроенергії при регулюванні напругою

$$E_i = P \cdot T / K \quad (5.1)$$

де $P = 31,5$ – номінальна потужність навантаження, кВт;

T – час роботи вентиляції, год;

K – ККД автотрансформатора, або частотного перетворювача.

$$T = 24 \cdot 365 = 8760 \text{ год/рік.}$$

$$E_1 = 31,5 \cdot 8760 / 0,88 = 313\,568 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік.}$$

Визначаємо витрату електроенергії при частотному регулюванні

$$E_2 = 31,5 \cdot 8760 / 0,95 = 290\,463 \cdot \text{год/рік.}$$

Визначаємо економію електроенергії

$$E = E_2 - E_1; \quad (5.2)$$

$$E = 313\,568 - 290\,463 = 23\,105 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік.}$$

Визначаємо економію в грошовому вираженні, грн;

$$C = E \cdot A, \quad (5.3)$$

де $A = 1,3$ – ціна за 1 кВт · год електроенергії.

$$C = 4,32 \cdot 23\,105 = 99\,813 \text{ грн.}$$

Визначаємо термін окупності установки

$$T_{\text{окуп.}} = P / C, \quad (5.4)$$

де $P = 190\,000$ грн – одноразове збільшення капітальних витрат на електропривод;

$$T_{\text{окуп.}} = 190\,000 / 99\,813 = 1,9 \text{ років.}$$

Таблиця 5.1 – Ефективність прийнятих рішень

Показник	Позначення	Одиниці вимірювання	Значення
Витрата енергії при регулюванні напругою	E_1	кВт · год/рік	313 568
Витрата електроенергії при частотному регулюванні	E_2	кВт · год/рік	290 463
Час роботи вентиляції	T	год/рік	8760
ККД автотрансформатора			0,88
ККД частотного перетворювача			0,95
Економія електроенергії	E	кВт · год/рік	23 105
Економія електроенергії в грошовому вираженні	C	грн.	99 813
Термін окупності	$T_{\text{окуп.}}$	років	1,9

ВИСНОВКИ

1. У кваліфікаційні роботі проведено аналіз питання вентиляції: типи вентиляції, обладнання вентиляційних систем, регулювання продуктивності вентиляційних систем, електропривод вентиляційних установок, способи регулювання швидкості електроприводів. Прийшли до висновку про доцільність використання частотно-керованого електроприводу вентиляції.

2. Проведено розрахунок повітрообміну, запропоновано електричну схему групового електроприводу системи вентиляції, вибрано вентилятори із асинхронними трифазними двигунами, перетворювач частоти, кабельно-провідникову продукцію та апаратуру керування та захисту.

3. Проаналізовано питання математичної моделі трифазного електродвигуна, проведено дослідження пуску трифазного асинхронного двигуна на моделі MATLAB/Simulink при різних частотах живлення.

4. Здійснено аналіз питання охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях, зокрема розглянуто питання логіко-імітаційного моделювання процесів виникнення аварій та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

5. Здійснено економічну оцінку, яка показала, що термін окупності запропонованої схеми електроприводу за рахунок економії електроенергії становить 1,9 років.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Браславський І. Я., Ішматов З. Ш. Реалізація енергоощадних технологій на основі регульованих асинхронних електроприводів. Київ. Електроінформ. 2003 р. 15 с.
2. Видмиш А. А. Теорія електропривода. Курсове та дипломне проектування. Самостійна та індивідуальна робота студентів. Навчальний посібник. А. А. Видмиш, С. М. Бабій, В. В. Петрусь. Вінниця. ВНТУ, 2012 р. 96с.
3. Видмиш А. А., Трошин О. А. Теорія електропривода. Лабораторний практикум. Навчальний посібник. Вінниця. ВДТУ, 2003 р. 135 с.
4. Винокурова Л. Е., Васильчук М. В. Основи охорони праці. Підручник для професійно-технічних закладів. Київ. Вікторія. 2001. 192 с.
5. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: Навч.посібник. М. Г. Поповіч, О. Ю. Лозинський, В.Б.Клепиков та ін. Київ: Либідь, 2005 р. 680 с.
6. Жилдецький В. Ц. Основи охорони праці. Підручник. Львів. Афіша. 2005.
7. Жулай Є. Л., Зайцев Б. В., Лавріненко Ю. М., Марченко О. С., Войтюк Д. Г. Електропривод сільськогосподарських машин, агрегатів та поточкових ліній(за ред. Жулая Є.Л.). Київ. Вища освіта, 2001 р. 288 с.
8. Колб А. А. Теорія електроприводу. Навчальний посібник. Донецьк. Національний гірничий університет, 2006 р. 511 с.
9. Корчемний М., Федорейко В., Щербань В. Енергозбереження в агропромисловому комплексі. Тернопіль: Підручники і посібники, 2001 р.
10. Лаврієнко Ю. М. Електропривод. Підручник. Київ: Ліра-К 2009 р. 504с.
11. Лехман С. Д., Рубльов В. І., Рябцев Б. І. Запобігання аварійності і травматизму у сільському господарстві. Київ. Урожай, 1993 р. 267 с.
12. Малинівський С. М. Загальна електротехніка. Львів: НУ «Львівська політехніка», 2001 р. 596 с.

13. Матвійчук В. А., Стаднік М. І., Рубаненко О. О. Електропривод виробничих машин і механізмів. Навчальний посібник з виконання курсової роботи. Вінниця. ВНАУ, 2016 р. 320 с.
14. Основи охорони праці. Купник М. П. і ін. Київ. Основа, 2000 р. 41с.
15. Правила улаштування електроустановок. Харків: Форт, 2009 р. 736 с.
16. «Правила техніки безпеки при електромонтажних і налагоджувальних роботах». Київ 2006. 190 с.
17. «Правила технічної експлуатації магістральних і внутрішньо зонових мереж». Міністерство палива та енергетики. Київ 2007. 230 с.
18. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів: ДНАОП 0.00 – 1.21 – 98. Офіц.вид. Київ: Держбуд України, 2001 р. 24 с.
19. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення. ДБН В.2.5-23-2003. Державний комітет України з будівництва та архітектури. Київ. 2004.
20. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. ДНАОП 0.00-1.32-01. Київ 2001.
21. Сегеда М.І. Теоретичні основи електротехніки: Навч.посіб. Тернопіль, ТДУ, 2003 р. 350 с.
22. Шевчук В., Пилипчук М., Карпенко Н., та ін. Довідник з питань економіки та фінансування природокористування і природоохоронної діяльності. Видавництво «Геопринт». Київ, 2000. 412с.
23. Шелепетень Т. М. Захисна автоматика електричних мереж. Львів. Видавництво «Дичандр», 2002. 157с.
24. Шестеренко В. Є. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств. Вінниця: Нова книга, 2004. 656 с.
25. Ярошенко Л. В. Лабораторний практикум з електропривода та електрообладнання: Навчальний посібник. Вінниця. РВВ ВНАУ, 2010 р. 192 с.