

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ім. ПОТЕБНІ Ю.М.

Електричної інженерії та кіберфізичних систем

(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

перший (бакалаврський) рівень

(рівень вищої освіти)

на тему Підвищення енергетичної ефективності електромеханічних
комплексів підприємства

Виконав: студент 4 курсу, групи 6.1419-з
спеціальності 141 Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

(код і назва спеціальності)

спеціалізації

(код і назва спеціалізації)

освітньої програми Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

Дем'янов С.А.

Керівник проф. Артемчук В.В.

Консультант


Запоріжжя

2024 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Потебні Ю.М.

Кафедра Електричної інженерії та кіберфізичних систем
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський) рівень
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)
Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

д.т.н., доц.  В.Л. Коваленко
“ 20 ” травня 2024 року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу студенту

Дем'янову Сергію Андрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема бакалаврської роботи Підвищення енергетичної ефективності
електромеханічних комплексів підприємства

керівник роботи проф. Артемчук В.В.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ЗНУ від « 26 » грудня 2023 року № 2212 - с





2. Строк подання студентом роботи: 20 травня 2024 року

3. Вихідні дані бакалаврської роботи Потужність основного обладнання та режими
роботи; поточний тариф за 1 кВтгод. електроенергії

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Вступ; загальна характеристика підприємства та технологічного процесу;
аналіз споживання енергоресурсів; пропозиції щодо зниження втрат
електроенергії на підприємстві

5. Перелік графічного матеріалу (лише у якості рекомендації): Схема технологічного
процесу виробництва паперу. Схема розміщення вентиляторного обладнання.
Розрахункові параметри зовнішнього та внутрішнього повітря. Аеродинамічна
характеристика вентилятора. Технічні дані електродвигуна «АИР132S4 У2 ІМ 1081».
Розрахунок електричних навантажень. Спрощена схема електропостачання

5. Консультанти розділів дипломної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання прийняв	Завдання прийняв
Розділ 1	Артемчук В.В., проф.		
Розділ 2	Артемчук В.В., проф.		
Розділ 3	Артемчук В.В., проф.		
Нормоконтроль	Бандуренко І.І., асистент		

7. Дата видачі завдання 30.12.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Загальна характеристика виробництва	01.03.24	
2	Аналіз споживання енергоресурсів	01.04.24	
3	Оцінка можливості енергозбереження вентиляторної установки	01.05.24	

Студент



(підпис)

Дем'янов С.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник/консультант роботи



(підпис)

Артемчук В.В.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтролер



(підпис)

Бандуренко І.І.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Дем'янов С.А. Підвищення енергетичної ефективності електромеханічних комплексів підприємства.

Дипломна робота для здобуття ступеня вищої освіти бакалавра за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, науковий керівник Артемчук В.В. Запорізький національний університет, Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні., кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем, 2024 рік.

В роботі представлена загальна характеристика виробництва та технологічного процесу, розглянуто розповсюджені схеми автоматики вентиляції виробництва. Проведено розрахунок параметрів повітрообміну та вибір і розрахунок параметрів вентиляторної установки, а також електродвигуна. У другому розділі зроблено розрахунок електропостачання деяких елементів виробництва, у тому числі аварійних режимів.

Ключові слова: електрична енергія; вентиляторні установки; потужність електричної енергії; втрати електричної енергії, втрати потужності.

ЗМІСТ

Вступ	6
1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВИРОБНИЦТВА	7
1.1 Загальні риси розглядуваного виробництва	7
1.2 Характеристика технологічного процесу.....	8
1.3 Розповсюджені схеми автоматики вентиляції виробництва	12
2 АНАЛІЗ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ	17
2.1 Визначення розрахункових параметрів повітрообміну	17
2.2 Вибір і розрахунок параметрів вентиляторної установки.....	23
2.3 Розрахунок електропостачання підприємства	25
2.4 Характеристика споживачів ковальського цеху. Розрахунок втрат електричної енергії	30
2.5 Розрахунки втрат на трансформаторних підстанціях	48
2.6 Втрати активної потужності у головних приводів РКМ-1000	50
3 ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ВЕНТИЛЯТОРНОЇ УСТАНОВКИ	44
Висновки	55
Перелік посилань	57
Додаток А	60

ВСТУП

Питання, пов'язані з енергозбереженням актуальні фактично для всіх галузей. Це пов'язано з впливом на собівартість продукції, а значить і на конкурентоздатність підприємств. Однією з суттєвих складових енергоспоживання на підприємствах є витрати електричної енергії на роботу систем вентиляції. Ці системи повинні забезпечувати не лише комфортні умови праці та збереження здоров'я працівників, але й створювати оптимальні умови для виробничих процесів і зберігання матеріальних цінностей. Тому розробка та вдосконалення систем вентиляції є актуальною та важливою задачею для промислових підприємств.

Метою цієї роботи є розробка та впровадження системи вентиляції, яка буде ефективно функціонувати в цеху промислового підприємства. Основне завдання полягає в забезпеченні високої якості повітря, видаленні шкідливих речовин та запахів з виробничих приміщень під час роботи обладнання та забезпеченні енергоефективних режимів роботи.

При розгляді поставлених завдань було використано різноманітні електромеханічні пристрої та технології, а також засоби автоматизації, що дозволило забезпечити раціональну роботу системи з мінімальними витратами енергії та ресурсів. Також у рамках подальшого розгляду можливе проведення розрахунків, моделювання та експериментів для підбору оптимальних параметрів і налаштування системи вентиляції з урахуванням специфіки цеху промислового підприємства.

Таким чином виконання даної роботи передбачає розв'язання таких завдань як:

- розробка та ефективна система вентиляції;
- підбір раціональних умов роботи системи вентиляції з точки зору енергозбереження і створення при цьому необхідної якості повітря у приміщеннях підприємства.

1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВИРОБНИЦТВА

1.1 Загальні риси розглядуваного виробництва

В представленій роботі аналіз, дослідження і пропозиції розглянуто відносно виробництва гофрованого паперу та картону, а також паперової та картонної тари. Задокументована потужність виробництва становить 5 тис. тонн на рік паперових та картонних матеріалів і виробів, при цьому кількість робочих годин у році складає 8040 годин. З урахуванням додаткових факторів, таких як умови праці, технічна складова виробництва та ефективний менеджмент, максимальна потужність досягала понад 5,7 тис. тонн на рік відповідної продукції.

Сировинний матеріал. Як відомо, виробництво базується на використанні різних видів сировини, зокрема волокна целюлози, що отримується з деревини, вторинної сировини або комбінації обох.

Технологічний процес. Процес виробництва складається з декількох основних етапів:

- 1) Приготування целюлозної сировини. Целюлозу готують, проходячи процеси волокондобування, очищення, змішування та розчинення для отримання волоконної маси.
- 2) Обробка волоконної маси. Масу піддають обробці, готують паперову масу і утворюють аркуші або рулони паперу чи картону.

Основні етапи виробництва.

- 1) Гофрування. Для виробництва гофрованого паперу та картону матеріал проходить процес гофрування, де на нього наносять спеціальні гофровані смуги або шари, що надають йому здатність добре деформуватися та мають структуру гофри.
- 2) Виготовлення тари. Готові аркуші або рулони паперу чи картону піддаються формуванню, різанню або згинанню для створення різних видів тари відповідно до замовлень та контрактів.
- 3) Обробка та пакування. На останньому етапі проводиться обробка

виготовленої продукції, наприклад, нанесення захисних покриттів, етикеток, типографічний друк або пакування готової продукції. Далі продукція зберігається та доставляється замовникам.

1.2 Характеристика технологічного процесу

Розглянемо деякі етапи технологічного процесу виготовлення паперової продукції. Попередньо заготовлена суспензія подається у три екструдера, яка може бути у вигляді паперових відходів або целюлозної пульпи. Ця суспензія піддається попередній обробці, змішується з водою і може містити різні добавки, наприклад, барвники або пігменти, утворюючи пастоподібну суміш. Суспензія подається в тримач або завантажувач екструдера, де вона обробляється додатковими хімічними речовинами або стабілізаторами для покращення властивостей матеріалу.

Етапи технологічного процесу:

- подавання та підготовка сировини: суспензія потрапляє у внутрішній простір екструдера через гнучкий живильний шнек або гвинт;
- шнек поступово вдавлює сировину в зону нагріву, де відбувається плавлення матеріалу.

Плавлення та змішування:

- у зоні нагріву сировина плавиться і стає пластичною масою;
- нагрівальні елементи підтримують постійну температуру, забезпечуючи розплавлення матеріалу;
- шнек забезпечує змішування компонентів, що сприяє однорідності маси.

Формування: пластична маса подається в гнучкі формувальні пластини або матриці з гофрованою структурою, що дозволяє створити форму гофрованого паперу або картону. Матеріал охолоджується і твердне під час проходження через формувальні елементи.

Охолодження та різання: твердий гофрований матеріал витягується з екструдера за допомогою валків або спеціальних рулонів. Він ріжеться на відповідні розміри за допомогою ножів або лез.

Додаткова обробка:

- готова продукція може піддаватися додатковій обробці: нанесення захисних покриттів, написів, ламінованих покриттів, етикеток;
- підготовка продукції до транспортування або довготривалого зберігання на складах;

Система вентиляції повітря запроєктована для забезпечення наступних функцій технологічного процесу:

- фільтрація витяжного повітря від шкідливих речовин, парів ацетальдегіду до допустимого рівня забруднення;
- підтримання допустимого рівня концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони;
- забезпечення нормативної кількості повітря, видалюваного від укриття технологічного обладнання.

Системи видалення повітря від технологічного обладнання запроєктовані з примусовим спонуканням, здійснюються трьома каналними вентиляторами UNO-ME102-630-4 DFU фірми Rosenberg. Для кожного екструдера №1, №2 і №3 передбачена власна система видалення повітря ВУ-1, ВУ-2 і ВУ-3. Вентилятори розташовані в виробничому цеху на платформах, на позначці +0,980, які рухаються разом з технологічним обладнанням (екструдером).

Схему технологічного процесу виробництва паперу наведено на рисунку 1.1.

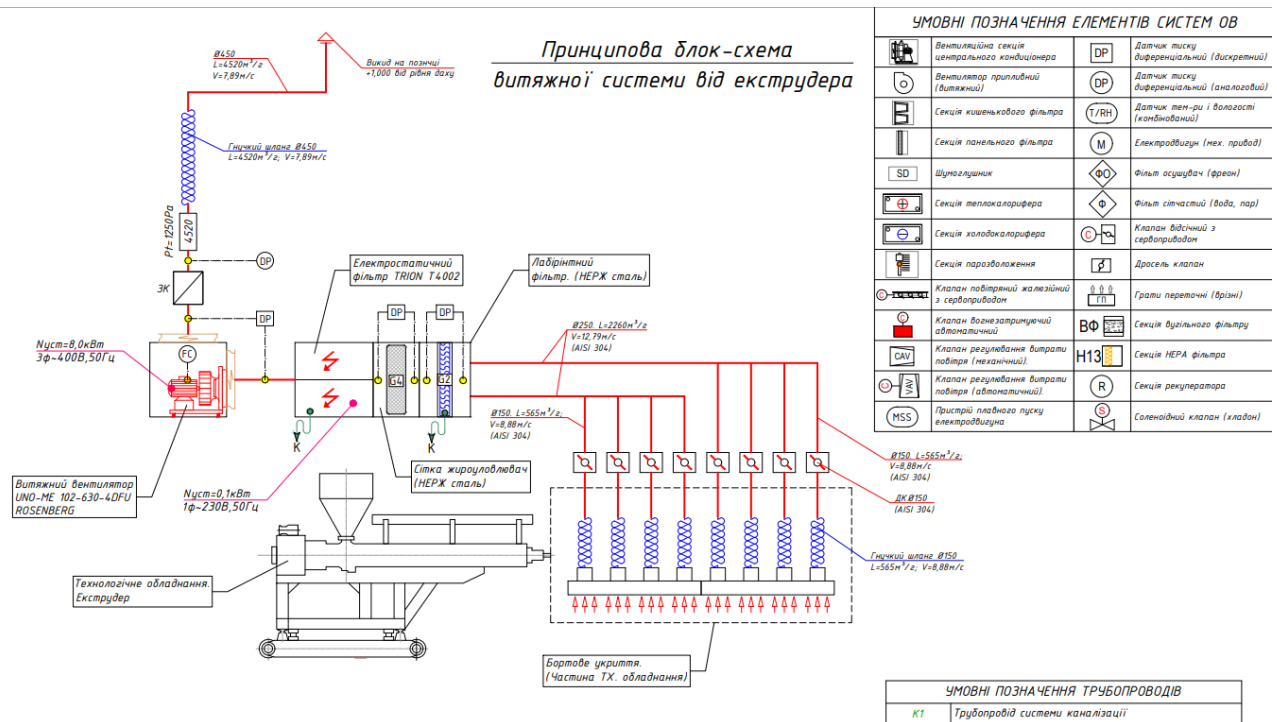


Рисунок 1.1 – Схема технологічного процесу виробництва паперу

Пристрій видалення повітря (укриття бортового типу) оснащений двома незалежними камерами з однощілинними дифузорами розмірами 1820x40 мм і площею перерізу $S=0.0728\text{м}^2S = 0.0728 \text{ м}^2S=0.0728\text{м}^2$. Дифузор має чотири коннектори Ø150 мм, до яких під'єднуються гнучкі шланги на швидко роз'ємних хомутах з нержавіючої сталі. Шланги під'єднуються до відгалужень від корінних гілок повітроводів Ø150 мм. На кожній системі передбачено дві гілки Ø250 мм. На кожному відгалуженні встановлюється дросельний клапан Ø150 мм для налаштування проектною витрати витяжного повітря.

Система повітроводів. Гілки Ø250 мм з'єднуються з адаптером, підключеним до фільтра першого рівня. Всі повітроводи і дросельні клапани до фільтра першого рівня виконані з нержавіючої сталі. Для швидкого розбору повітроводів під час очищення використовуються вентиляційні фланці за ДСТУ ISO 7005-1:2005 з нержавіючої сталі або інші швидкокороз'ємні з'єднання.

Фільтраційна система. Після проходження фільтраційних блоків, повітря направляється вентилятором у повітровод з оцинкованої сталі Ø450 мм. Для запобігання перетоку повітря при непрацюючому обладнанні, на повітроводі після вентилятора встановлюється зворотний клапан Ø450 мм. Для вільного руху

обладнання на вертикальній ділянці повітроводів Ø450 мм використовується гнучкий ізольований повітровод довжиною не менше 6 метрів.

Викид повітря. Викид повітря здійснюється через загальний вузол на позначці +6,865 з перерізом Ø630 мм. Далі повітря по повітроводу Ø630 мм направляється на дах, де викидається через насадку захисту від атмосферних опадів вище 1 м від рівня даху.

Рівні очищення повітря. Видалене повітря проходить через три рівні очищення:

- 1) перший рівень: лабіринтний фільтр грубої очистки повітря з нержавіючої сталі, класу G2 (EU2).
- 2) другий рівень: фільтр грубої очистки повітря (сітка жироловлювач) з нержавіючої сталі, класу G4 (EU4).
- 3) третій рівень: електростатичний фільтр TRION T4002 з ефективністю фільтрації 99.97% для часток до 0.01 мікрон. Розрахунковий рівень фільтрації по DOP стандарту 95% при початковій концентрації 475 мг/м³ і кінцевій концентрації 23.75 мг/м³.

Схема розміщення вентиляторного обладнання наведено на рисунку 1.2.

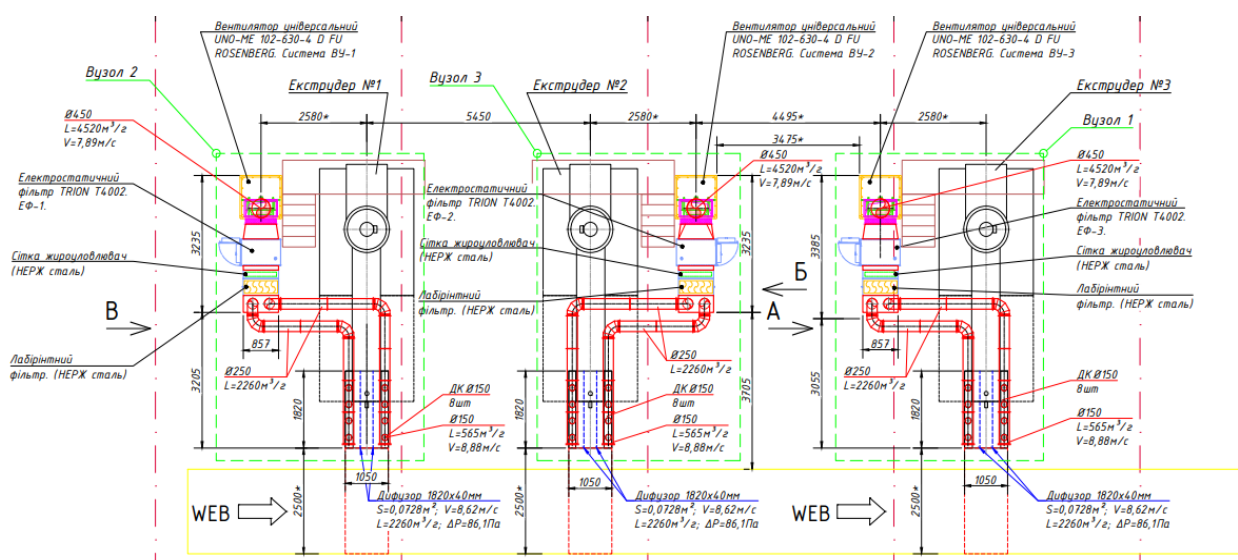


Рисунок 1.2 – Схема розміщення вентиляторного обладнання

1.3 Розповсюджені схеми автоматики вентиляції виробництва

Сучасні системи припливно-витяжної вентиляції для промисловості мають різноманітні реалізації, кожна з яких має свої переваги та недоліки. Створення гнучкої автоматики, яка може бути налаштована під конкретні потреби виробництва, є складним завданням. Проектування системи автоматики припливно-витяжної вентиляції (СА ПВВ) вимагає ретельного аналізу наявної вентиляційної структури, технологічних процесів у виробничому циклі, а також врахування вимог з охорони праці, екології та пожежної безпеки. СА ПВВ часто проектується з урахуванням специфічних вимог для конкретної галузі застосування.

Основні групи даних для проектування системи автоматики вентиляції.

Загальні дані. Територіальне розташування промислового об'єкта (регіон, область, місто, район). Тип і функціональне призначення об'єкта.

Відомості про конкретне приміщення:

- схеми приміщення з вказанням розмірів і висоти щодо рівня землі;
- категорія приміщень відповідно до вимог протипожежної безпеки;
- технічні зони з точними розмірами;
- розташування та характеристики існуючих вентиляційних систем;
- опис характеристик енергоносіїв.

Інформація про технологічний процес:

- технічні креслення з розташуванням технологічного обладнання;
- специфікація обладнання з вказанням встановлених потужностей;
- параметри технологічного режиму (кількість змін, середня кількість робочих на зміну, режим роботи обладнання);
- обсяги шкідливих викидів в атмосферу (допустимі рівні концентрації шкідливих речовин).

Дані для розрахунків автоматики системи припливно-витяжної вентиляції як правило включають: продуктивність системи, тобто потужність та повітрообмін наявної системи; параметри регульованого повітря, наприклад,

температура, вологість, швидкість повітря; межі регулювання; допустимі відхилення параметрів повітря, які визначають ефективність роботи системи та взаємодія з іншими системами. Робота систем автоматики при отриманні сигналів від інших систем промислового об'єкта (наприклад, систем пожежної безпеки, аварійного вимкнення).

Розглянемо типові схеми автоматики вентиляції виробничого цеху.

Пряма схема. У прямій схемі витяжні вентилятори розташовані у витяжних каналах, що знаходяться у верхній частині приміщення. Повітря витягується через ці витяжні канали, створюючи негативний тиск і змушуючи свіже повітря входити через вентиляційні отвори або вентиляційні клапани у нижній частині приміщення. Ця схема дозволяє ефективно видаляти забруднене повітря з приміщення та забезпечувати його заміщення свіжим повітрям. Основні переваги прямої схеми включають ефективне видалення забрудненого повітря з верхніх шарів приміщення, полегшене надходження свіжого повітря знизу, що сприяє природній конвекції.

Зворотна схема. У зворотній схемі витяжні вентилятори розташовані у нижній частині приміщення, а припливні вентиляційні отвори або вентиляційні клапани розташовані у верхній частині. Витягуване повітря знаходиться нижче, оскільки витяжні вентилятори створюють негативний тиск, а свіже повітря припливає зверху через вентиляційні отвори або клапани. Основні переваги зворотної схеми включають: ефективне видалення важких забруднень та пилу, що осідають ближче до підлоги, полегшене надходження свіжого повітря зверху, що сприяє рівномірному охолодженню приміщення.

Змішана схема. У змішаній схемі витяжні та припливні вентилятори розташовані як у верхній, так і у нижній частині приміщення. Ця схема комбінує переваги прямої та зворотної схем, забезпечуючи ефективний обмін повітря у приміщенні. Витяжні вентилятори відкачують забруднене повітря, а припливні вентилятори забезпечують свіже повітря зверху. Основні переваги змішаної схеми включають: оптимальний розподіл свіжого та витяжного повітря по всьому об'єму приміщення, можливість налаштування системи під специфічні

умови виробничого процесу.

Кожна з цих схем має свої переваги та недоліки, які визначаються умовами експлуатації та вимогами конкретного виробничого процесу. Пряма схема підходить для випадків, де необхідно ефективно видаляти забруднене повітря з верхніх шарів приміщення, зворотна схема ефективна для видалення важких забруднень, а змішана схема забезпечує найкращий загальний обмін повітря. Вибір конкретної схеми залежить від особливостей виробничого процесу та вимог до якості повітря в робочій зоні.

Вибір відповідної схеми вентиляції для створення повітряного середовища, яке відповідає встановленим гігієнічним і технологічним вимогам, залежить від цільового призначення будівлі, характеру приміщення та наявності шкідливих виділень під час робочого процесу.

Механічна припливно-витяжна вентиляція для адміністративно-побутових будівель. У будинках адміністративно-побутового призначення зазвичай застосовується механічна припливно-витяжна вентиляція. Під час розрахунку такої вентиляції керуються параметрами кратності повітрообміну в приміщеннях певного призначення, які наведені в технічній документації. Якщо для певного приміщення кратність повітрообміну не встановлена, то вентиляційний об'єм визначають за допомогою розрахунків.

Обмін повітря в таких приміщеннях організовується за схемою «зверху-вгору». Припливне повітря подається з повітророзподільників, розташованих зверху приміщення, а витяжка повітря здійснюється також з верхньої зони. Це забезпечує рівномірний розподіл свіжого повітря та ефективне видалення забрудненого повітря.

Вентиляція для промислових цехів. У промислових цехах встановлюються витяжні шафи, які забезпечують видалення повітря. У холодний період року видалення повітря здійснюється з верхньої зони приміщення. Це забезпечує найефективніше провітрювання цеху, виключає можливий прорив холодного повітря через витяжні отвори в нижню зону, зменшує шумове забруднення від вентиляторів, та дозволяє найефективніше здійснити викид забрудненого

повітря над покрівлею промислової будівлі.

Літній період. У літню пору необхідний мікроклімат забезпечується таким же самим шляхом, тобто через механічну вентиляцію. Природного організованого повітрообміну (провітрювання) недостатньо, оскільки забруднене повітря продуктами виробництва необхідно пропускати через систему фільтрації для захисту навколишнього середовища та безпеки персоналу.

Переваги механічної вентиляції:

- контроль параметрів повітря. Механічна вентиляція дозволяє точно регулювати параметри повітря, такі як температура, вологість та швидкість подачі;
- фільтрація. Система фільтрації забезпечує видалення шкідливих речовин з повітря, що є критично важливим у промислових умовах;
- енергоефективність. Механічні системи вентиляції можуть бути налаштовані для оптимального використання енергії, що знижує експлуатаційні витрати;
- шумозниження. Використання вентиляційних шаф та розташування вентиляторів у верхній зоні приміщення зменшує шумове забруднення.

Вибір схеми вентиляції залежить від конкретних вимог приміщення та технологічних процесів, що в ньому відбуваються. Механічна припливно-витяжна вентиляція є ефективним рішенням для забезпечення необхідних гігієнічних та технологічних умов у різних типах приміщень, забезпечуючи ефективний обмін повітря, фільтрацію та контроль параметрів повітря.

Розрахункові параметри внутрішнього і зовнішнього повітря приймаються відповідно до ДБН В.2.5-67:2013 і відповідними нормами для виробничого цеху (табл. 1.1, 1.2).

Таблиця 1.1 – Розрахункові параметри зовнішнього повітря

Період року	Параметр А		Параметр Б		Швидкість вітру, м/с
	$t_n, ^\circ\text{C}$	$I_B, \text{кДж/кг}$	$t_n, ^\circ\text{C}$	$I_B, \text{кДж/кг}$	
ТПР	28,00	44,27	---	---	2,3
ХПР	---	---	-22,00	-22,89	3,3

Таблиця 1.2 – Розрахункові параметри внутрішнього повітря

Період року	Температура, $^\circ\text{C}$	Від. вологість, %	Швидкість вітру, м/с
ТПР	23	63	0,5
ХПР	19	65	0,2

2 АНАЛІЗ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ

2.1 Визначення розрахункових параметрів повітрообміну

Для проведення аналізу споживання енергоресурсів у першу чергу необхідно зробити розрахункових параметрів повітрообміну.

Обмін повітря в цеху розраховується на розподілення та відведення надлишків тепла, відведення надлишку вологи, а також надлишків вуглекислого газу, і обирається найбільший з них. Розрахунок повітрообміну на розведення надлишків тепла ведеться як для літнього, так і для зимового періодів року.

Розрахунок надлишків тепла виконується за наступними формулами:

$$\Delta Q^{ТПГ} = Q_{люд}^{ТПГ} + Q_{солн.рад.}^{ТПГ} + Q_{осв.}^{ТПГ},$$
$$\Delta Q^{ХПГ} = Q_{люд}^{ХПГ} + Q_{осв.}^{ХПГ} - Q_{огр.}^{ХПГ},$$

де $Q_{люд.}$ – тепло, що поступає від людей, Вт;

$Q_{солн.рад.}$ – тепло, що поступає від сонячної радіації, Вт;

$Q_{осв.}$ – тепло, що поступає від джерел світла, Вт;

$Q_{огр.}$ – тепловтрати через огороджувальні конструкції, Вт.

Тепло, що поступає від людей визначається за формулою:

$$Q_{люд.}^{ТПГ(ХПГ)} = q \times n,$$

де q – тепловиділення від однієї людини, Вт/люд;

n – кількість людей в цеху ($n = 40$), люд.

Для теплого і холодного періоду:

$$Q_{люд.}^{ТПГ(ХПГ)} = 0,85 \times 40 = 34 \text{ Вт}$$

Тепло, що поступає від сонячної радіації визначається за формулою:

$$Q_{\text{солн.рад.}}^{\text{ТПГ}} = Q_{\text{солн.рад.}}^{\text{остекл.}} + Q_{\text{солн.рад.}}^{\text{покр.}},$$

де $Q_{\text{солн.рад.}}^{\text{покр}}$ – тепло, що поступає через скління, Вт:

$$Q_{\text{солн.рад.}}^{\text{покр.}} = q_n \times F,$$

де q_n – тепловий потік, що надходить через один метр квадратний площі покриття ($q = 8$), Вт/м²;

F – площа покриття ($F = 768$), м².

$$Q_{\text{солн.рад.}}^{\text{покр.}} = 8 \times 768 = 6144 \text{ Вт}$$

Тепло, що поступає від джерел світла визначається за формулою:

$$Q_{\text{осв.}}^{\text{ТПГ(ХПП)}} = E \times F \times q_{\text{осв.}} \times \eta,$$

де E – загальна освітленість цеху ($E = 360$);

F – площа підлоги приміщення ($F=768$), м²;

$q_{\text{осв}}$ – питомі тепловиділення від джерел штучного освітлення ($q = 0,056$), Вт/м²;

η – частка теплоти, що надходить в цех ($\eta = 1$).

$$Q_{\text{осв.}}^{\text{ТПГ(ХПП)}} = 360 \times 768 \times 0,056 \times 1 = 15482,88 \text{ Вт}$$

Тепловтрати через огорожувальні конструкції визначаються за формулою:

$$Q_{\text{огр.}}^{\text{ХПП}} = q_0 \times V \times \Delta t \times k_i,$$

де q_0 – питома теплова характеристика цеху ($q=0,39$), Вт/м³;

V – об'єм цеху ($F = 6144$), м³;

k_i – коефіцієнт на зовнішню температуру ($k_i = 1,05$);

Δt – розрахункова різниця температур, °С.

$$Q_{\text{огр.}}^{\text{ХПП}} = 0,39 \times 6144 \times 4 \times 1,05 = 10063,87 \text{ Вт}$$

$$\Delta t = t_e^{\text{вент}} - t_e^{\text{ом}},$$

$$\Delta t = 23 - 19 = 4$$

Надходження вологи визначається за формулою:

$$W^{ТПГ(ХПГ)} = w^{ТПГ(ХПГ)} \times n,$$

де w – надходження вологи від однієї людини (для теплового періоду 48 для холодного періоду 40);

n – кількість людей ($n=40$), люд.

$$W^{ТПГ} = 48 \times 40 = 1920$$

$$W^{ХПГ} = 40 \times 40 = 1600$$

Надходження вуглекислого газу від однієї людини визначається за формулою:

$$G_{\text{угл.г}}^{ТПГ(ХПГ)} = g_{CO_2} \times n,$$

де g_{CO_2} – надходження вуглекислого газу від однієї людини ($g_{CO_2} = 23$), л/год.

$$G_{\text{угл.г}}^{ТПГ(ХПГ)} = 23 \times 40 = 920$$

Результати розрахунків заносимо в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Результати розрахунків надлишків тепла, вологи і CO_2

Період року	Надходження тепла, Вт				Qогр.,Вт	ΔQ, Вт	Тепл. напр., Вт/м3	W, кг/чол	Сугл., л/чол
	Від людей	від с.р.	від осв.	Всього					
ТПР	5882	6144	15482,88	27508.88	–	27508.88	12,8	13,7	920
ХПР	6528	–	15482,88	22010,88	10063,87	11947,01	16,1	11,0	920

Температура повітря, яке видаляється визначається за формулою:

$$t_{\text{в}}^{\text{ТПГ(ХПГ)}} = t_{\text{е}}^{\text{ТПГ(ХПГ)}} + \text{grad } t \times (H - h_{\text{оз}}),$$

де $\text{grad } t$ – градієнт температури (величина враховує зростання температури по висоті цеху);

H – висота цеху ($H = 8$), м;

$h_{\text{оз}}$ – висота обслуговується зони ($h_{\text{оз}} = 3,2$), м.

$$t_{\text{в}}^{\text{ТПГ}} = 23 + 0,25 \times (8 - 3,2) = 24,2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{в}}^{\text{ХПГ}} = 19 + 0,25 \times (8 - 3,2) = 20,2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Кутовий коефіцієнт визначається за формулою:

$$E^{\text{ТПГ(ХПГ)}} = \frac{3,6 \times \Delta Q^{\text{ТПГ(ХПГ)}}}{W^{\text{ТПГ(ХПГ)}}},$$

$$E^{\text{ТПГ}} = \frac{3,6 \times 27508,88}{13,7} = 7228,61 \text{ Вт/кв}$$

$$E^{\text{ХПГ}} = \frac{3,6 \times 11947,01}{11} = 3909,93 \text{ Вт/кв}$$

Визначення надлишкового надходження вологи.

Надходження вологи в робоче приміщення відбувається внаслідок випаровування з поверхні шкіри, а також через дихання людей, випаровування з вільних поверхонь, хімічні реакції робочих рідин (газів).

Кількість вологи, що виділяється робочим персоналом визначається за формулою:

$$ML = 0,85 * n * q,$$

де n – кількість людей ($n = 40$), люд.

q – кількість вологи, яка виділяється одним робітником ($q = 2$), г/чол.

Для теплого та холодного періоду:

$$ML = 0,85 * 40 * 2 = 68 \text{ г/чол}$$

Визначення газовиділення та паровиділення.

Кількість CO_2 , яка міститься в повітрі, що видихається людиною у повітрі, залежить від інтенсивності його праці і зазвичай визначається за допомогою табличних даних.

Проведемо розрахунки для теплого періоду року:

$$G_Q = \frac{3,6 \times \Delta Q^{ТПГ}}{J_{y\delta} - J_n} = \frac{3,6 \times 27508,88}{41,5 - 33,5} = 14147,42 \text{ кг/чол}$$

$$L_Q = \frac{G_Q}{\rho} = \frac{14147,42}{1,19} = 11888,59 \text{ м}^3 / \text{чол}$$

$$\rho = \frac{353}{273 + t_{np}} = \frac{353}{273 + 23} = 1,19 \text{ кг/м}^3$$

де:

$$G_W = \frac{W^{ТПГ}}{d_{y\delta} - d_n} = \frac{13700}{6,5 - 4,9} = 8562 \text{ кг/чол}$$

$$L_W = \frac{G_W}{\rho} = \frac{8562}{1,19} = 7194,96 \text{ м}^3 / \text{чол}$$

$$L_{y_{2л.г.}} = \frac{G_{y_{2л.г.}}}{c_{y\delta} - c_{np}} = \frac{920}{2 - 0,4} = 575 \text{ м}^3 / \text{чол}$$

За санітарно-гігієнічним вимогам нормована кількість зовнішнього повітря на одного робочого $20 \text{ м}^3/\text{год}$, таким чином:

$$L = L_i \times n = 20 \times 40 = 800 \text{ м}^3 / \text{чол}$$

З усіх розрахункових значень необхідно обрати максимальне

$$G_{\text{max}}^{\text{ТПГ}} = 14147,42 \text{ кг} / \text{чол}$$

Оскільки ми працюємо з прямоточною схемою, то для холодного періоду року ми розраховуємо з таким же числом.

$$G^{\text{ХПГ}} = G_{\text{max}}^{\text{ТПГ}} = 14147,42 \text{ кг} / \text{чол}$$

Асимілююча здатність зовнішнього повітря по волозі розраховуємо наступним чином

$$\Delta d = \frac{W^{\text{ХПГ}}}{G^{\text{ХПГ}}} \times 10^3 = \frac{11,0}{14147,42} \times 10^3 = 0,78$$

$$\rho_{\text{нр}} = \frac{353}{273 + t_{\text{нр}}} = \frac{353}{273 + 19} = 1,209 \text{ кг} / \text{м}^3$$

де:

$$\rho_{\text{выт}} = \frac{353}{273 + t_{\text{yd}}} = \frac{353}{273 + 20,2} = 1,204 \text{ кг} / \text{м}^3$$

Розрахунок повітрообміну з врахуванням кратності та питомого обсягу.

Розрахунок повітрообміну по кратності виконується за наступною формулою:

$$L = \kappa_p \times V = 30 \times 6144 = 184320 \text{ м}^3 / \text{год}$$

де κ_p – кратність повітрообміну (30 [1/год] – в даному випадку);

V – об'єм приміщення, м^3 .

Розрахунок повітрообміну за питомим обсягом виконується за наступною формулою:

$$L = L_i \times n = 184320 \times 3 = 522960 \text{ м}^3 / \text{год}$$

де L_i – питома витрата повітря на одну установку, $\text{м}^3/\text{год}$;

n – кількість установок, шт.

2.2 Вибір і розрахунок параметрів вентиляторної установки

Для того, щоб забезпечити високу якість вентиляції виробничого цеху, треба дотримуватися наступних параметрів:

- повний тиск 1300 Па;
- продуктивність 4500 $\text{м}^3/\text{год}$;
- тип: кухонний (універсальний).

Кухонний тип вентиляторів забезпечує необхідну область повного тиску, який створюється в номінальному режимі 1300 Па. Завдяки конструкції робочого колеса та лопатей – даний тип вентиляторів має високу продуктивність, понад 20000 $\text{м}^3/\text{год}$ і можливість точного регулювання для конкретних потреб.

Важливо те, що кухонні вентилятори забезпечують фільтрацію повітря, тобто затримують жири й інші забруднення, щоб запобігти їх потраплянню у вентиляційну систему та забрудненню повітря.

Провівши порівняльний аналіз за параметрами було обрано вентилятор Rosenberg UNO ME 102-630-4 D FU, загальні характеристики якого наведено нижче:

- робочий тиск від 300 до 1500 Па;
- продуктивність від 2500 м³/год до 20000 м³/год;
- діаметр робочого колеса 630 мм;
- корпус з алюмінію;
- квадратний канал;
- лопатки загнуті назад (всього 9 шт.)
- тип: вентилятор високого тиску.

Вихідні дані даного вентилятора:

- частота обертання двигуна: 1460 об/хв.
- діаметр робочого колеса 630 мм.
- потужність електродвигуна 6 кВт.
- продуктивність 2500-21000 м³/год.

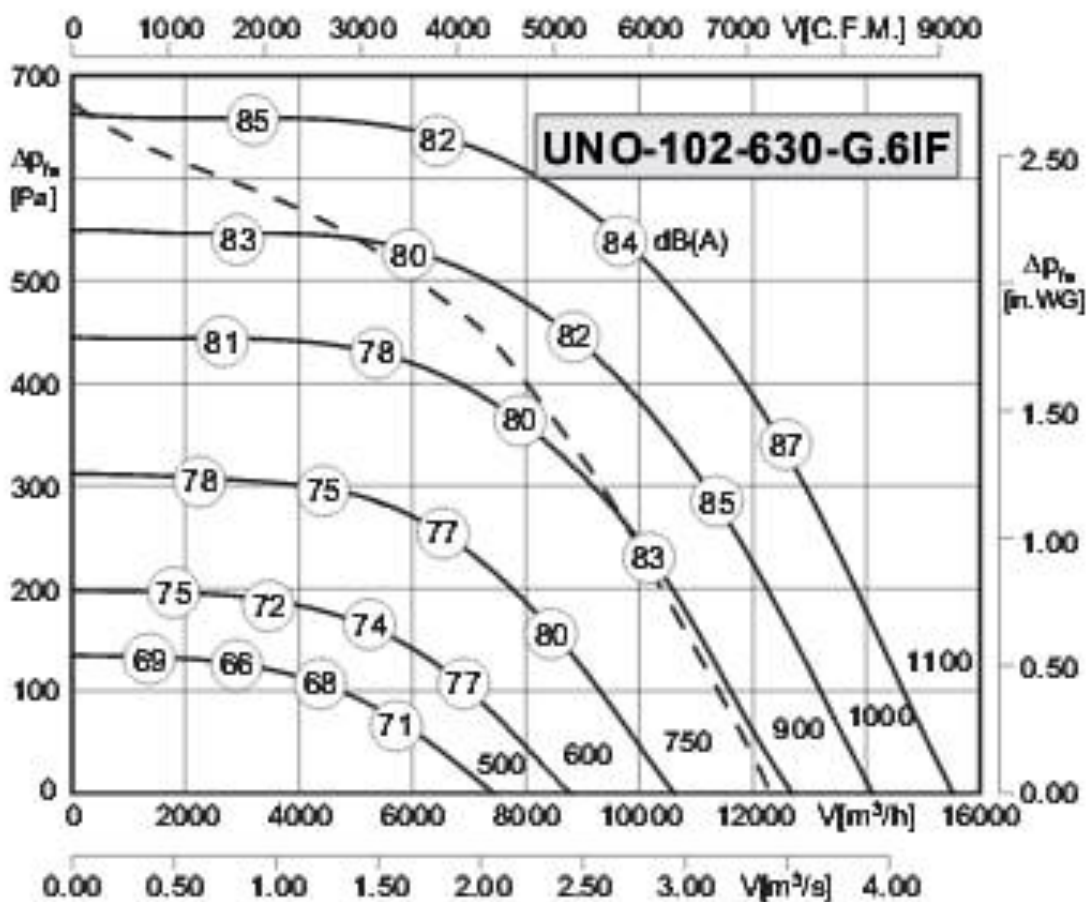


Рисунок 1.3 – Аеродинамічна характеристика вентилятора

Розрахунок потужності електродвигуна для вентилятора.

Технічні дані на розрахунок вентилятора:

- продуктивність: $Q = 2,8 \text{ м}^3/\text{с}$.
- напір: $H = 1300 \text{ Па}$

Розрахунок потужності:

$$P_p = \frac{K_z \times Q \times H}{\eta_n \times \eta_b} \times 10^{-3} = \frac{1,1 \times 2,8 \times 1300}{0,9 \times 0,8} \times 10^{-3} = 5,56 \text{ кВт}$$

де K_z – коефіцієнт запасу ($K_z = 1,1$);

η_n – коефіцієнт видатності передачі ($\eta_n = 0,9$);

η_b – коефіцієнт видатності вентилятора ($\eta_b = 0,8$).

Провівши порівняльний аналіз за розрахунковою потужністю було обрано трифазний асинхронний двигун з короткозамкнутим ротором АИР132S4 У2 ІМ 1081 (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Технічні дані електродвигуна «АИР132S4 У2 ІМ 1081»

Потужність	7,5 кВт
Швидкість обертів на валу	1450
Тип	Асинхронний
Живлення	230/400 В
Виконання	Лапи, Фланець
Номинальний струм	15,6 А
ККД	87%
Номинальний момент	49,740 Нм
Співвідношення моментів струму M_p/M_n	2,3
Співвідношення моментів сили M_{\max}/M_n	2,3
Співвідношення струму I_p/I_n	7
Момент інерції	0,0227 кг*м ²

2.3 Розрахунок електропостачання підприємства

Для розрахунку освітлення методом коефіцієнта використання світлового потоку необхідно визначити кількість світильників, необхідних для забезпечення нормативного рівня освітлення.

Вхідні дані:

- розміри цеху: 32 м x 24 м
- висота підвісу світильника: $h = 7$ м
- тип світильника: INSEL LB/S LED150
- потужність світильника: $P = 145$ Вт
- напруга: $U = 230$ В
- коефіцієнт корисної дії (ККД): 85%
- косинус фі ($\cos \phi$): 0,99
- світловий потік (Фл): 14600 лм

Необхідні розрахунки:

1) Визначення площі цеху:

$$S = 32 \times 24 = 768 \text{ м}^2$$

2) Вибір нормативного рівня освітленості: Згідно з ДБН В.2.5-28:2006 "Природне і штучне освітлення", для промислових приміщень із загальним робочим освітленням, нормативний рівень освітленості на робочих місцях може варіюватися. Прийmemo значення нормативної освітленості $E = 300$ лк.

3) Визначення необхідного світлового потоку (F_H):

$$F_H = E \times S = 300 \times 768 = 230400 \text{ лм}$$

4) Визначення коефіцієнта використання світлового потоку (К):
Коефіцієнт використання світлового потоку залежить від типу

приміщення, кольору стін, стелі та підлоги, а також від розміщення світильників. Для нашого розрахунку приймемо $K = 0.5$ (величина може бути взята з таблиць коефіцієнтів для типових приміщень).

5) Визначення загального світлового потоку світильників (F_3):

$$F_3 = \frac{F_H}{K} = \frac{230400 \text{ лм}}{0.5} = 460800 \text{ лм}$$

6) Визначення кількості світильників (N):

$$N = \frac{F_3}{F_L} = \frac{460800 \text{ лм}}{14600 \text{ лм}} \approx 31.58$$

Округлюємо кількість світильників до цілого числа:

$$N = 32 \text{ шт}$$

Отже, для забезпечення нормативного рівня освітлення в цеху розміром 32 м x 24 м з висотою підвісу світильників 7 м, необхідно встановити 32 світильники типу INSEL LB/S LED150.

Розрахунок освітлення кімнати керування методом коефіцієнта використання світлового потоку. Вхідними умовами для розрахунку методом коефіцієнта світлового потоку є розміри цеху – 5·5 м, та висота підвісу світильника $h = 2$ м. Приймаємо тип лампи і знаходимо світловий потік F_L .

Тип лампи – TITANUM A100 30W E27 6500K, параметри: $P = 30$ Вт; $U = 230$ В; ККД – 85%; $\cos\varphi = 0,97$; $F_L = 2700$ лм.

Розраховуємо показник приміщення:

$$i = \frac{A * B}{h * (A + B)} = \frac{5 * 5}{2 * (5 + 5)} = 1,25$$

де: A і B - довжина та ширина освітлюваного приміщення, м; h – висота підвісу світильника над робочою поверхнею, м.

Розраховуємо площу приміщення, враховуючи його прямокутну форму:

$$S = A * B = 5 * 5 = 25 \text{ м}^2$$

Мінімальна освітленість по нормах приймається в залежності від умов проектування. Для приміщення даного промислового цеху:

$$E_{min} = 50 \text{ лк.}$$

Коефіцієнт використання при індексі приміщення $i = 1,25$ Знаючи індекс приміщення I , за нормативним документом [6] знаходимо $\eta = 0,2$.

Розраховуємо загальний світловий потік, потрібний для забезпечення необхідної освітленості:

$$F = \frac{K_3 * E_{min} * S * z}{\eta} = \frac{1,8 * 50 * 25 * 1,3}{0,2} = 14625 \text{ Лм}$$

де K_3 - коефіцієнт запасу, який враховує старіння ламп та заповищеність їхніх ковпаків, $K_3 = 1,3 \dots 1,5$ для ламп розжарювання, $K_3 = 1,5 \dots 2,0$ для люмінесцентних ламп; z - коефіцієнт нерівномірності освітлення ($z = 1,3 \dots 1,4$).

Обчислюємо потрібну кількість ламп:

$$N = \frac{F}{F_{л}} = \frac{14625}{2700} = 5,4 \text{ шт.}$$

Приймаємо $N = 6$ шт, оскільки в одному світильнику 3 лампи, тобто всього 2 світильники.

Розрахунок електричних навантажень. Розрахунок навантажень проводимо методом коефіцієнта попиту від споживача до джерела. Для даного

підприємства доцільно об'єднати у збірки наступні електроприймачі: вентилятори та електростатичні фільтри; окремо екструдери; окремо освітлення цеху і робочої кімнати. Таке розділення виконано оскільки для цих з'єднань автоматика зібрана окремо для кожного вузла. Розрахункові параметри споживачів низької напруги наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Розрахункові параметри споживачів низької напруги РП-1

№	Споживач	Р _н , кВт	n	К _п	η _н	cosφ
Секція №1 (U _н = 0,4 кВ)						
1	Електродвигун АИР132S4 У2 ІМ 1081	7,5	3	0,9	0,87	0,8
2	Вентилятор UNO-ME102- 630-4 DFU	6	3	0,7	0,85	0,9
3	Електростатичний фільтр TRION T4002	0,1	3	0,5	0,85	0,9
4	Екструдер	40	3	0,6	0,82	0,7
5	Лампа TITANUM A100 30W E27 6500K	0,03	6	1	0,85	0,8
6	Світильник INSEL LB/S LED150	0,145	11	1	0,85	0,8

Визначимо розрахункове активне навантаження Р_р для електроприймачів та сумарне активне навантаження на вузол РП-1.

$$P_p = K_p \cdot \sum_{i=1}^n P_{н.i}$$

$$P_{p1} = K_{п1} \cdot \sum_{i=1}^{n=3} P_{н1} = 0,9 \cdot 7,5 \cdot 3 = 20,25 \text{ кВт};$$

Аналогічно для споживачів (2-6).

$$P_{\text{Ррп-1}} = \sum_{i=1}^n P_{\text{н.і.}} = 20,25 + 12,6 + 0,15 + 72 + 0,18 + 1,595 = 106,775 \text{ кВт.}$$

Визначимо коефіцієнт реактивної потужності кожного споживача.

$$\begin{aligned} \text{tg}\varphi_{\text{н}} &= \text{tg}(\arccos(\cos\varphi_{\text{н}})) \\ \text{tg}\varphi_{\text{н1}} &= \text{tg}(\arccos(0,8)) = 0,75; \end{aligned}$$

Аналогічно для споживачів (№2 – №6).

Визначимо коефіцієнт реактивної потужності кожного споживача.

$$Q_p = \sum_{i=1}^n \frac{P_{\text{нi}}}{\eta_{\text{нi}}} \text{tg}\varphi_{\text{н}}$$

$$Q_p = P_p \cdot \text{tg}\varphi_{\text{н}}$$

$$Q_{p1} = \sum_{i=1}^{n=3} \frac{P_{\text{н1}}}{\eta_{\text{н1}}} \text{tg}\varphi_{\text{н1}} = 3 \frac{7,5}{0,87} * 0,75 = 19,396 \text{ кВАр};$$

Аналогічно для споживачів (№2 – №6).

$$\begin{aligned} Q_{\text{Ррп-1}} &= \sum_{i=1}^n Q_{\text{н.і.}} = 19,396 + 10,25 + 0,0726 + 149,268 + 0,135 + 1,196 \\ &= 180,318 \text{ кВАр.} \end{aligned}$$

Визначимо повне розрахункове навантаження S_p збірки РП-1:

$$S_p = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$S_{p1} = \sqrt{P_{p1}^2 + Q_{p1}^2} = \sqrt{20,25^2 + 19,396^2} = 28,04 \text{ кВА.}$$

Аналогічно для споживачів (№2 – №6) (табл. 2.4).

Обираємо трансформатор Т1 згідно заданої потужності, враховуючи що трансформатор може працювати при навантаженні до 30% більше номінального, $U_{номВН} = 10$ кВ, а $U_{номНН} = 0,4$ кВ (табл. 2.5).

Таблиця 2.4 – Розрахунок електричних навантажень

Вхідні дані							Розрахунок			
№	Споживач	$P_H,$ кВт	n	K_{Π}	η_H	$\cos\varphi$	$P_p,$ кВт	$\text{tg}\varphi_H$	$Q_p,$ кВАр	$S_p,$ кВА
Секція №1 ($U_H = 0,4$ кВ)										
1	Електродвигун АИР132S4 У2 ІМ 1081	7,5	3	0,9	0,87	0,8	20,25	0,75	19,396	28,04
2	Вентилятор UNO- ME102-630-4 DFU	6	3	0,7	0,85	0,9	12,6	0,484	10,25	16,242
3	Електростатичний фільтр TRION Т4002	0,1	3	0,5	0,85	0,9	0,15	0,484	0,0726	0,167
4	Екструдер	40	3	0,6	0,82	0,7	72	1,02	149,268	165,725
5	Лампа TITANUM А100 30W E27 6500К	0,03	6	1	0,85	0,8	0,18	0,75	0,135	0,225
6	Світильник INSEL LB/S LED150	0,145	11	1	0,85	0,8	1,595	0,75	1,196	1,994

Таблиця 2.5 – Параметри трансформатора для шини РП-1

Тип	Номінальна потужність, кВА	S _{ном} ,	Номінальні напруги, кВ		Втрати потужності КЗ, P _к , кВт	Напруга КЗ, U _к %
			ВН (Y)	НН (Δ)		
ТМ- 250/10	250		10	0,4	3,7	6,5

Розрахунок втрат активної та реактивної потужності в трансформаторах Т1, Т2:

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot S_{\text{ном.Т}} = 0,02 \cdot 250 = 5 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot S_{\text{ном.Т}} = 0,1 \cdot 250 = 25 \text{ кВАр.}$$

Розрахунок електричних мереж. Розрахунок струмів навантаження групи електроприймачів. Розрахунковий струм двигунів визначається за наступною формулою:

$$I_P = \frac{P_P}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \eta_H \cdot \cos \varphi_H}$$

$$I_{P1} = \frac{3 \cdot P_{H1}}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \eta_{H1} \cdot \cos \varphi_{H1}} = 3 \cdot \frac{7,5}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,87 \cdot 0,8} = 46,661 \text{ А};$$

$$I_{P2} = \frac{3 \cdot P_{H2}}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \eta_{H2} \cdot \cos \varphi_{H2}} = 3 \cdot \frac{6}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,85 \cdot 0,9} = 33,962 \text{ А};$$

$$I_{P4} = \frac{3 \cdot P_{H4}}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \eta_{H4} \cdot \cos \varphi_{H4}} = 3 \cdot \frac{40}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,82 \cdot 0,7} = 301,751 \text{ А.}$$

де η_n – ККД двигуна при номінальному навантаженні;

$\cos \varphi$ – номінальний коефіцієнт потужності.

Розрахунковий струм однофазних споживачів визначається за наступною формулою:

$$I_P = \frac{S_P}{U_{H1\phi}}$$

$$I_{P3} = \frac{S_{P3}}{U_{H1\phi}} = \frac{0,167}{0,23} = 0,726 \text{ A};$$

$$I_{P5} = \frac{S_{P5}}{U_{H1\phi}} = \frac{0,225}{0,23} = 0,978 \text{ A};$$

$$I_{P6} = \frac{S_{P6}}{U_{H1\phi}} = \frac{1,994}{0,23} = 8,669 \text{ A}.$$

Отримані дані заносимо у таблицю 2.6.

Таблиця 2.6 – Дані параметри для розрахунку

№ лінії	Споживач	Довжина лінії, м	Тип лінії	Потужність, що передається лінією, кВт	cosφ	ККД	Розрахунковий робочий струм лінії I _p , А
РП-1							
Споживачі низької напруги (0,4 кВ)							
1	Електродвигун АИР132S4 У2 ІМ 1081	100	КЛ	20,25	0,8	0,87	46,661
2	Вентилятор UNO-ME102-630-4 DFU	100	КЛ	12,6	0,9	0,85	33,962
3	Електростатичний фільтр TRION T4002	100	КЛ	0,15	0,9	0,85	0,726
4	Екструдер	100	КЛ	72	0,7	0,82	301,751
5	Лампа TITANUM A100 30W E27 6500K	100	КЛ	0,18	0,8	0,85	0,978
6	Світильник INSEL LB/S LED150	100	КЛ	1,595	0,8	0,85	8,669

Вибір перетину провідників і жил кабелів за нагрівом. Вибір перерізу проводів і жил кабелів за нагрівом полягає у порівнянні розрахункового струму лінії з допустимим струмом по рекомендаціях ПУЕ за умови:

$$I_P \leq I_d$$

де I_P - розрахунковий (або робочий) струм і-ї лінії, А; $I_{доп}$ – тривало-допустимі струми для стандартного ряду перерізів провідника ліній.

Обираємо кабелі з алюмінієвими жилами з пластмасовою ізоляцією у ПВХ оболонці (прокладені у землі).

$$L_1: I_{P1} = 46,661 \text{ А}; I_{доп1} = 52 \text{ А}; S_{нагр1} = 6 \text{ мм}^2; \text{АВВГ } 1 \times 6;$$

$$L_2: I_{P2} = 33,962 \text{ А}; I_{доп2} = 40 \text{ А}; S_{нагр2} = 4 \text{ мм}^2; \text{АВВГ } 1 \times 4;$$

$$L_3: I_{P3} = 0,726 \text{ А}; I_{доп3} = 32 \text{ А}; S_{нагр3} = 2,5 \text{ мм}^2; \text{АВВГ } 1 \times 2,5;$$

$$L_4: I_{P4} = 301,751 \text{ А}; I_{доп4} = 308 \text{ А}; S_{нагр4} = 185 \text{ мм}^2; \text{АВВГ } 3 \times 185;$$

$$L_5: I_{P5} = 0,978 \text{ А}; I_{доп5} = 32 \text{ А}; S_{нагр5} = 2,5 \text{ мм}^2; \text{АВВГ } 1 \times 2,5;$$

$$L_6: I_{P6} = 8,669 \text{ А}; I_{доп6} = 32 \text{ А}; S_{нагр6} = 2,5 \text{ мм}^2; \text{АВВГ } 1 \times 2,5.$$

Розрахунок електричної мережі за економічною густиною струму. Величина економічного перерізу визначається розрахунковим струмом і-ї лінії та економічною густиною струму. Для підприємств даного комплексу $T_M = 8040$ год/рік. Економічна густина струму ЖЕК (А/мм²) при (год/рік) для кабелів з гумовою та пластмасовою ізоляцією: алюмінієві – 1,6 А/мм².

Розраховемо переріз провідників:

$$S'_{\text{ек}} = \frac{I_P}{J_{\text{ек}}}$$

де I_P - розрахунковий струм, А;

$J_{\text{ек}}$ - економічна густина струму, А/мм².

$$S'_{\text{ек1}} = \frac{I_P}{J_{\text{ек}}} = \frac{46,661}{1,6} = 29,16 \text{ мм}^2$$

$$S'_{\text{ек1}} = 35 \text{ мм}^2$$

Аналогічно для ліній (L2 – L6).

Вибір ліній мережі за умови механічної міцності. В ПУЕ [21] вказані мінімально допустимі перерізи для силових та освітлювальних мереж з алюмінію: $S_{\text{мех}} = 2,5 \text{ мм}^2$.

Розрахунок електричної мережі за допустимими втратами напруги. Вибраний перетин також повинен забезпечувати достатній рівень напруги з боку споживача, тому мережі також перевіряють на допустимі втрати напруги [22].

Для електроприймачів напругою до 1 кВ втрати напруги вимірюються у вольтах. Для нашого випадку (номінальна напруга $U_N = 400 \text{ В}$) згідно вимог допустимі втрати напруги дорівнюють:

$$\Delta U_{\text{доп}} = 39 \text{ В}$$

Втрати напруги в мережі являють собою суму втрат напруги в усіх її елементах. Якщо сума втрат напруги перевищує максимально допустиме значення, необхідно збільшувати переріз вибраних кабелів.

Розрахунок втрат напруги в трансформаторі [%] проводиться за формулою:

$$\Delta U_{TP\%} = \beta(U_{a\%} \cos \varphi_{TP} + U_{p\%} \sin \varphi_{TP})$$

де: β – коефіцієнт завантаження трансформатора;

$U_{a\%}$ – активна складова напруги КЗ трансформатора, %;

ΔP_K – втрати КЗ трансформатора, Вт;

$S_{H.T}$ – номінальна потужність трансформатора, кВА;

$U_{p\%}$ – реактивна складова напруги КЗ трансформатора;

$$\beta = \frac{S_P}{S_{H.T}}$$

$$U_{a\%} = \frac{\Delta P_K}{10S_{H.T.}}$$

$$U_{p\%} = \sqrt{(U_{к\%})^2 - (U_{a\%})^2}$$

Враховуючи можливість регулювання напруги на виході трансформатора за рахунок переключення відпайок обмотки первинної напруги абсолютне значення втрат напруги в трансформаторі, В:

$$\Delta U_{TP} = \Delta U_{TP\%} \cdot K_0 \cdot \frac{U_0}{100}$$

де K_0 – коефіцієнт зміни напруги в трансформаторі, що дорівнює 0,95, 1,0 та 1,05 при відпайках +5%, 0, -5%.

U_0 – вторинна напруга холостого ходу трансформатора.

Розрахуємо втрати напруги для трансформатора ТМ-250/10:

$$\beta = \frac{S_p}{S_{H.T.}} = \frac{209,56}{250} = 0,838;$$

$$U_{a\%} = \frac{\Delta P_{\kappa}}{10 \cdot S_{\text{н.т.}}} = \frac{3700}{10 \cdot 250} = 1,48 \%;$$

$$U_{p\%} = \sqrt{(U_{k\%})^2 - (U_{a\%})^2} = \sqrt{4,5^2 - 1,48^2} = 4,25 \%$$

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{106,775}{209,56} = 0,509;$$

$$\sin\varphi = \sqrt{1 - \cos\varphi^2} = \sqrt{1 - 0,509^2} = 0,861;$$

$$\begin{aligned} \Delta U_{TP\%} &= \beta \cdot (U_{a\%} \cdot \cos\varphi + U_{p\%} \cdot \sin\varphi) = 0,838 \cdot (1,48 \cdot 0,509 + 4,25 \cdot 0,861) \\ &= 3,698 \% \end{aligned}$$

$$\Delta U_{TP} = \Delta U_{TP\%} \cdot K_0 \cdot \frac{U_0}{100} = 3,698 \cdot 1 \cdot \frac{400}{100} = 14,792 \text{ В}$$

Тоді допустимі втрати напруги в кабелі:

$$\Delta U_{\text{мк}} = \Delta U_{\text{доп}} - \Delta U_{TP} = 39 - 14,792 = 24,208 \text{ В}$$

Розрахунок втрат напруги в кабелі [В] проводиться за формулою:

$$\Delta U_{\text{м.к.}} = \frac{P_{\text{н}} \cdot L_{\text{м.к.}} \cdot 10^3}{\gamma \cdot S_{\text{м.к.}} \cdot U_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{н}}}$$

$P_{\text{н}}$ - потужність всіх електроприймачів, що живиться цим кабелем, кВт;

$L_{\text{м.к.}}$ - довжина кабелю, м;

$\gamma = 50$ [м/(Ом•мм²)] - питома провідність мідного кабелю ($\gamma=32$ для алюмінієвих жил);

$S_{\text{м.к.}}$ - найбільший переріз кабелю з попередніх перевірок, мм²;

$U_{\text{н}}$ - номінальна напруга мережі, для якої розраховуються втрати напруги,

В;

η_H - ККД електроприймача.

$$\Delta U_{M.K1} = \frac{P_{H1} \cdot L_{M.K1} \cdot 10^3}{\gamma \cdot S_{M.K1} \cdot U_H \cdot \eta_1} = \frac{3 \cdot 7,5 \cdot 100 \cdot 10^3}{32 \cdot 6 \cdot 400 \cdot 0,87} = 33,67 \text{ В}$$

Аналогічно для ліній (L2 – L6).

Остаточний вибір перетинів проводів і жил кабелів. Зводимо розраховані параметри в таблиці 2.7 та обираємо остаточні кабелі за найбільшим перерізом.

Таблиця 2.7 – Остаточний розрахунок мережі

№ лінії	Розрахунковий робочий струм I_p , А	За нагрівом		Мех. міцність $S_{мех.}$, мм ²	За втратами напруги		Обраний кабель
		$I_{доп.}$, А	$S_{нагр.}$, мм ²		Втрати напруги, В	$S_{втр.}$ напруги, мм ²	
1	46,661	52	6	2,5	33,67	6	АВВГ 1x6
2	33,962	40	4	2,5	41,36	4	АВВГ 1x4
3	0,726	32	2,5	2,5	1,103	2,5	АВВГ 1x2,5
4	301,751	308	185	2,5	5,965	185	АВВГ 3x185
5	0,958	32	2,5	2,5	1,151	2,5	АВВГ 1x2,5
6	8,669	32	2,5	2,5	10,198	2,5	АВВГ 1x2,5

Розрахунок струмів короткого замикання (КЗ).

Розрахунок струмів КЗ є важливою частиною проектування електричних систем. Він дозволяє вибрати необхідне обладнання і визначити уставки релейного захисту для забезпечення надійної і безпечної роботи електроустановок.

Етапи розрахунку струмів КЗ. Вибір точки короткого замикання.

Визначення характерних точок в мережі, для яких будуть розраховуватися струми КЗ. Це можуть бути точки підключення основного обладнання, вузли мережі або інші критичні точки.

Розрахункова схема заміщення. Створення схеми заміщення мережі, яка включає всі основні елементи електричної системи: генератори,

трансформатори, лінії, шини, а також опори короткого замикання.

Визначення параметрів елементів схеми. Опори генераторів, трансформаторів, ліній передачі та інших елементів. Зазвичай ці дані беруться з паспортів обладнання або розраховуються за відомими формулами.

Розрахунок еквівалентної опору системи. Обчислення еквівалентної опору всієї системи в точці короткого замикання.

Розрахунок струму КЗ. Визначення струму короткого замикання за допомогою закону Ома:

$$I_{\text{КЗ}} = \frac{U_{\text{НОМ}}}{Z_{\text{ЕКВ}}}$$

де $U_{\text{НОМ}}$ - номінальна напруга системи,

$Z_{\text{ЕКВ}}$ - еквівалентний опір системи в точці КЗ.

Приклад розрахунку трифазного короткого замикання

Вихідні дані:

- номінальна напруга мережі: $U_{\text{НОМ}} = 10$ кВ
- потужність короткого замикання в точці приєднання: $S_{\text{КЗ}} = 500$ МВА
- опір трансформатора: $Z_{\text{Тр}} = 0.1$ Ом;
- опір лінії: $Z_{\text{Л}} = 0.01$ Ом

Розрахунок:

Еквівалентний опір системи:

$$Z_{\text{ЕКВ}} = Z_{\text{Тр}} + Z_{\text{Л}} = 0.1 + 0.01 = 0.11 \text{ Ом}$$

Струм короткого замикання:

$$I_{\text{КЗ}} = \frac{U_{\text{НОМ}}}{Z_{\text{ЕКВ}}} = \frac{10 \text{ кВ}}{0.11 \text{ Ом}} = 90.91 \text{ кА}$$

Використання результатів розрахунку. Отриманий струм короткого замикання використовується для вибору захисного обладнання, такого як автоматичні вимикачі та релейний захист. Вибирається обладнання з номіналом,

який перевищує розрахунковий струм КЗ, щоб забезпечити надійну і безпечну експлуатацію електричної системи (рис. 2.1).

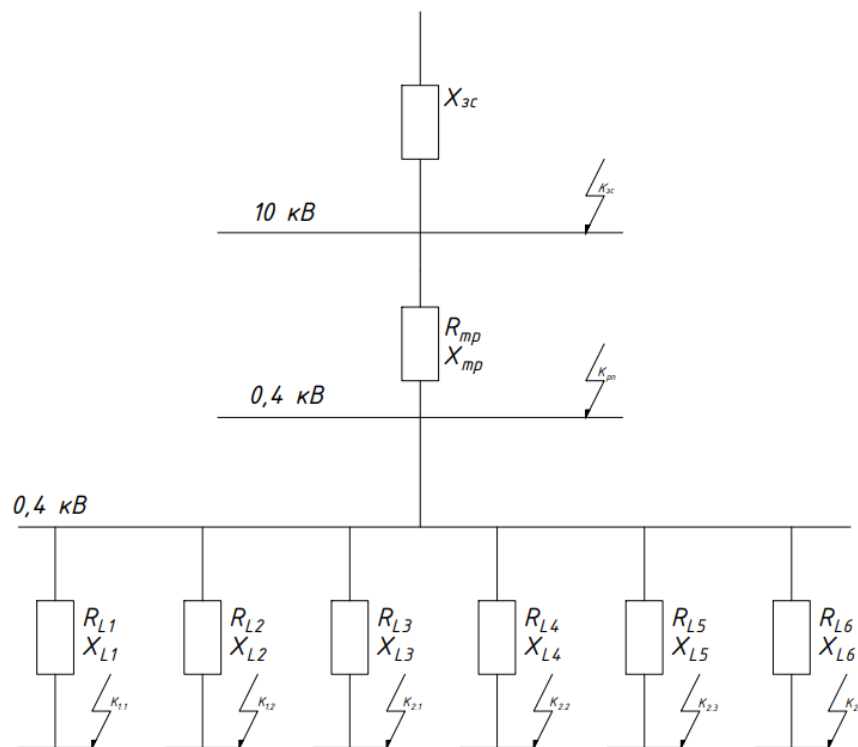


Рисунок 2.1 – Спрощена схема електропостачання

Отже, розрахунок струмів КЗ є важливим етапом у проектуванні електричних систем, що дозволяє вибрати відповідне обладнання і налаштувати релейний захист для забезпечення безпеки та надійності роботи електроустановок. У випадку промислового цеху з виробництва гофрованого паперу та картону, такі розрахунки допомагають уникнути аварійних ситуацій і забезпечують безперебійну роботу підприємства.

Вибір електричних апаратів.

Як відомо, автоматичні вимикачі є апаратами багаторазової дії, які характеризуються наступними величинами:

- номінальні струм та напруга автомата $I_{н.а}, U_{н.а}$;
- номінальний струм розчеплювача автомата $I_{н.розч}$. Оскільки в один автомат можуть бути встановлені різні за струмом розчеплювачі, повинна виконуватись умова $I_{н.а} \geq I_{н.розч}$.

- уставки спрацювання за струмами та часом при перевантаженні ($I_{\text{перевант}}, t_{\text{перевант}}$) та КЗ ($I_{\text{КЗ}}, t_{\text{МТ}}$), які називаються відсічками;

- розривною здатністю – максимальним струмом КЗ, який вимикається без пошкодження автомата.

Вибір апаратів захисту відбувається за трьома умовами:

$$I_{\text{н.а}} \geq I_{\text{р}}; U_{\text{н.а}} \geq U_{\text{н.м}}; I_{\text{в}} \geq 1,2 \cdot I_{\text{к}}^{(3)};$$

де: $I_{\text{н.а}}, U_{\text{н.а}}$ – номінальний струм та напруга автомата;

$I_{\text{в}}$ – граничний струм автомата;

$I_{\text{к}}^{(3)}$ – струм трифазного КЗ на вході автомата.

Деякі електричні апарати наведено в таблиці 2.8.

Основні енергетичні показники підприємства. Розрахунок втрат потужності у трансформаторах. Наближені втрати активної та реактивної та реактивної потужності в трансформаторах наведені в таблиці 2.9.

Річні втрати активної потужності в трансформаторі визначається за формулою

$$\Delta W_{\text{тр}} = \Delta P_{\text{х}} \cdot T_{\text{р}} + \tau \cdot \Delta P_{\text{к}} \cdot \beta^2$$

де: $\Delta P_{\text{х}}, \Delta P_{\text{к}}$ – задані в параметрах трансформатора;

$T_{\text{р}}$ – кількість роботи днів трансформатора у році;

τ – кількість годин використання втрат.

$$\tau = 8760 \cdot (0,124 + T_{\text{м}} \cdot 10^{-4}) = 8760 \cdot (0,124 + 4500 \cdot 10^{-4}) = 5028,24 \text{ год};$$

Коефіцієнт завантаженості трансформатора:

$$\beta = \frac{S_{\text{р}}}{S_{\text{н.т.}}} = \frac{209,56}{250} = 0,838;$$

$$\Delta W_{\text{тр}} = 0,74 \cdot 8760 + 5028,24 \cdot 3,7 \cdot 0,838^2 = 19547,29 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Таблиця 2.8 – Електричні апарати

Місце встановлення	Позначення на схемі	Умови вибору електричних апаратів										Тип прийнятого апарата
		За номінальною напругою $U_{\text{ном.ап}} > U_{\text{м}}$		За номінальним струмом $I_{\text{ном.ап}} > I_{\text{р}}$		За струмом вимикання $I_{\text{вим}} > I_{\text{кі}}^{(3)}$		За ел.-дин. стійкістю $i_{\text{д.с.}} > i_{\text{у}}$		За термічною стійкістю $I_{\text{м.с}}^2 t_{\text{м.с}} > I_{\infty}^2 t_{\text{пр}}$		
		$U_{\text{ном.ап}}$, кВ	$U_{\text{м}}$, кВ	$I_{\text{ном.ап}}$, А	$I_{\text{р}}$, А	$I_{\text{вим}}$, кА	$I_{\text{кі}}^{(3)}$, кА	$i_{\text{д.с.}}$, кА	$i_{\text{у}}$, кА	$I_{\text{м.с}}^2 t_{\text{м.с}}$, кА ² *с	$I_{\infty}^2 t_{\text{пр}}$, кА ² *с	
Роз'єднувачі												
Ввід 10 кВ	QS1	10	10	630	520	-	-	31,5	15,782	12,5 ² *0.25	6,3 ² *0.25	РЛНД-10/630 НУХЛ1
Магнітні пускачі												
L1	KM1	0,4	0,4	63	46,661	2,9	0,434	-	-	-	-	ПМЛ-4220
L2	KM2	0,4	0,4	63	33,962	2,9	0,292	-	-	-	-	ПМЛ-4220
L4	KM4	0,4	0,4	320	301,751	5	3,982	-	-	-	-	Schneider Electric TeSys V 3P
Автоматичні вимикачі												
L1	QF1	0,4	0,4	50	46,661	2,9	0,434	-	-	-	-	Schneider Electric BA63
L2	QF2	0,4	0,4	36	33,962	2,9	0,292	-	-	-	-	E.Next.C36
L3	QF3	0,4	0,4	2	0,726	2,9	0,183	-	-	-	-	MC102A
L4	QF4	0,4	0,4	315	301,751	5	3,982	-	-	-	-	IEK BA88-37 3P
L5	QF5	0,23	0,23	2	0,978	2,9	0,183	-	-	-	-	MC102A
L6	QF6	0,23	0,23	10	8,669	2,9	0,183	-	-	-	-	MC110A

Таблиця 2.9 – Втрати потужності в трансформаторі

Трансформатор	$S_{\text{н.т.}}$, кВА	ΔP , кВт	ΔQ , кВАр
ТМ-250/10	250	5	25

Річні втрати реактивної потужності в трансформаторі визначається за формулою

$$\Delta V_{\text{тр}} = \Delta Q_{\mu} \cdot T_{\text{р}} + \tau \cdot \Delta Q_{\text{к}} \cdot \beta^2$$

$$\Delta Q_{\mu} = I_{x\%} \cdot \frac{S_{\text{н.т.}}}{100} = 2,3 \cdot \frac{250}{100} = 5,75 \text{ кВАр};$$

$$\Delta Q_{\text{к}} = U_{x\%} \cdot \frac{S_{\text{н.т.}}}{100} = 6,5 \cdot \frac{250}{100} = 16,25 \text{ кВАр};$$

$$\Delta W_{\text{тр}} = 5,75 \cdot 8760 + 5028,24 \cdot 16,25 \cdot 0,838^2 = 107749,58 \text{ кВАр} \cdot \text{год.}$$

Кількість переданої через трансформатор активної енергії за рік:

$$\Delta W_{\text{річне}} = S_p \cdot \cos\varphi \cdot T_m = 209,56 \cdot 4500 \cdot 0,509 = 479997,18 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Відсоток втрат за рік:

$$W_{\text{річне}\%} = \frac{\Delta W_{\text{тр}}}{W_{\text{річне}}} \cdot 100\% = \frac{19547,29}{479997,18} \cdot 100\% = 4,07 \%$$

Розрахунок втрат потужності в лініях електричної мережі.

Втрати в лініях обраховуються за наступними формулами:

$$\Delta W_{Li} = \frac{3 \cdot I_{pi}^2 \cdot R_{Li} \cdot \tau}{1000}, \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$\Delta V_{Li} = \frac{3 \cdot I_{pi}^2 \cdot X_{Li} \cdot \tau}{1000}, \text{ кВАр} \cdot \text{год}$$

$$\Delta W_{L1} = \frac{3 \cdot 46,661^2 \cdot 0,52 \cdot 5028,24}{1000} = 17075,55 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$\Delta V_{L1} = \frac{3 \cdot 46,661^2 \cdot 0,52 \cdot 5028,24}{1000} = 229,86 \text{ кВАр} \cdot \text{год}$$

Таблиця 2.11 – Втрати активної та реактивної потужності в лініях

№ лінії	I_p , А	R_L , Ом	X_L , Ом	ΔW , кВт·год	ΔV , кВАр·год
1	46,661	0,52	0,007	17075,55	229,86
2	33,962	0,781	0,007	13586,66	121,77
3	0,726	1,25	0,007	9,94	0,055
4	301,751	0,017	0,007	23345,85	9619,18
5	0,958	1,25	0,007	17,05	0,095
6	8,669	1,25	0,007	1416,81	7,93

3 ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ВЕНТИЛЯТОРНОЇ УСТАНОВКИ

Зважаючи на актуальність проблем енерго- та ресурсозбереження, дослідження режимів функціонування вентиляторної установки є необхідним для оптимізації енергоспоживання та підвищення ефективності роботи системи вентиляції. Встановлення частотних перетворювачів у структурі електропривода вентиляторів дозволяє гнучко керувати їх продуктивністю, зменшуючи експлуатаційні витрати і підвищуючи надійність системи.

Регулювання обертів валу вентилятора за допомогою частотних перетворювачів (ЧП) дозволяє економити енергію залежно від аеродинамічних характеристик вентиляційної установки, використання ЧП може забезпечити економію електроенергії на рівні 25-45%. Оптимізація обертів вентилятора відповідно до реальної потреби в продуктивності запобігає надлишковому споживанню енергії.

Покращення робочих режимів. Уникнення неприпустимих режимів роботи, таких як завихрення, радіальні сили і резонанс, які можуть виникати при неповному навантаженні. Запобігання цих явищ зменшує зношення механічних частин і продовжує термін служби обладнання.

Динамічні показники. Частотний перетворювач забезпечує високі динамічні характеристики завдяки швидкодіючому ШІМ-керуванню, що важливо для стабільної роботи вентиляційної системи. Високий коефіцієнт потужності (близько до одиниці) у всіх режимах роботи забезпечує ефективне використання електроенергії. Якість електропривода. Вихідний струм, близький до синусоїди, сприяє зменшенню гармонічних спотворень, що позитивно впливає на роботу електромережі та електрообладнання.

Переваги використання частотних перетворювачів.

Підключення кількох двигунів. Один частотний перетворювач може обслуговувати кілька асинхронних електродвигунів, що зменшує витрати на обладнання.

Управління відповідно до технологічного процесу. Гнучке налаштування режимів роботи електропривода відповідно до поточних потреб виробництва. Програмований пуск двигуна дозволяє уникнути пускових перевантажень і зменшує механічний знос.

Автоматизація та керування. ЧП забезпечують можливість повної автоматизації системи вентиляції, інтеграції з системами управління та моніторингу. Це дозволяє оптимізувати роботу вентиляційної системи в режимі реального часу, зменшуючи експлуатаційні витрати і підвищуючи ефективність.

Економія енергії та зменшення шуму. Плавне регулювання швидкості вентиляторів знижує енергоспоживання та зменшує шумове навантаження на обслуговуючий персонал.

Збільшення терміну служби. Оптимальні режими роботи і м'який пуск зменшують механічні навантаження, що сприяє довговічності електродвигунів та приводних механізмів.

Розглянемо деякі недоліки розглядуваної системи. Несинусоїдальність напруги, що виникає через гармонічні спотворення, є серйозною проблемою для якості електроенергії. Ці спотворення можуть призводити до:

- додаткових втрат потужності в лініях живлення, трансформаторах і батареях конденсаторів;
- старіння ізоляції;
- порушень в роботі автоматики, телемеханіки й релейного захисту.

З метою зменшення несинусоїдальності напруги, слід використовувати перетворювачі частоти (ПЧ) від надійних виробників, таких як «ABB», «Danfoss», «Siemens», «Mitsubishi», «Yaskawa», «Control Techniques», «Lenze», «Schneider Electric». Проте, використання ПЧ супроводжується низкою недоліків, які необхідно враховувати.

Недоліки структури електропривода на основі ПЧ-АД.

- 1) Високий рівень радіоперешкод. Необхідність прокладання силових кабелів в заземлених трубах для зменшення радіоперешкод.
- 2) Некономічність прокладання довгих живильних кабельних ліній.

Значні струми високочастотного витоку на нуль призводять до зменшення моменту.

- 3) Необхідність встановлення спеціальних фільтрів. Фільтри необхідні як на вході, так і на виході інвертора, звичайні фільтри не підходять.
- 4) Неприпустимість використання комутуючої апаратури на виході ПЧ. Використання комутуючої апаратури може призвести до несправностей.

Розрахунок потенціалу енергозбереження частотно-регульованого привода.

Для оцінки потенціалу енергозбереження частотно-регульованих приводів, компанія Lenze пропонує програму Lenze Energy Saving Calculator. Ця програма дозволяє виконати наближені розрахунки енергозбереження.

Основні параметри для розрахунків. У програмі Lenze Energy Saving Calculator задаються такі параметри:

- номінальна потужність двигуна. Визначає потужність електродвигуна, який буде використовуватись.
- режими роботи. Описує умови експлуатації двигуна, зокрема кількість робочих годин, навантаження тощо.
- тип вентиляційної системи. Характеристика системи вентиляції, до якої підключений двигун.

Оцінка ефективності. Програма надає інформацію про потенційну економію та окупність інвестицій у встановлення ПЧ. Розрахунки виконуються в програмі Lenze Energy Saving Calculator, основні параметри для розрахунків задаються у вікні програми, зображеному на рис. 3.1.

У вікні програми (рис. 3.1) задається потужність перетворювача, кількість днів роботи в рік, графік навантаження та ін., які мають наступні значення:

- вартість електроенергії в доларах США - 0,05\$;
- потужність перетворювача – 7,5 кВт;
- метод регулювання, з яким проводиться порівняння – регулювання за допомогою засувки;

- кількість днів роботи установки протягом року - 335 днів;
- вартість перетворювача частоти – 520\$;
- знижка, при покупці перетворювача – 5%;
- навантажувальна діаграма роботи установки протягом доби по продуктивності (50% - 2 години; 80% - 6 годин; 90% - 13 годин; 100% - 3 години).

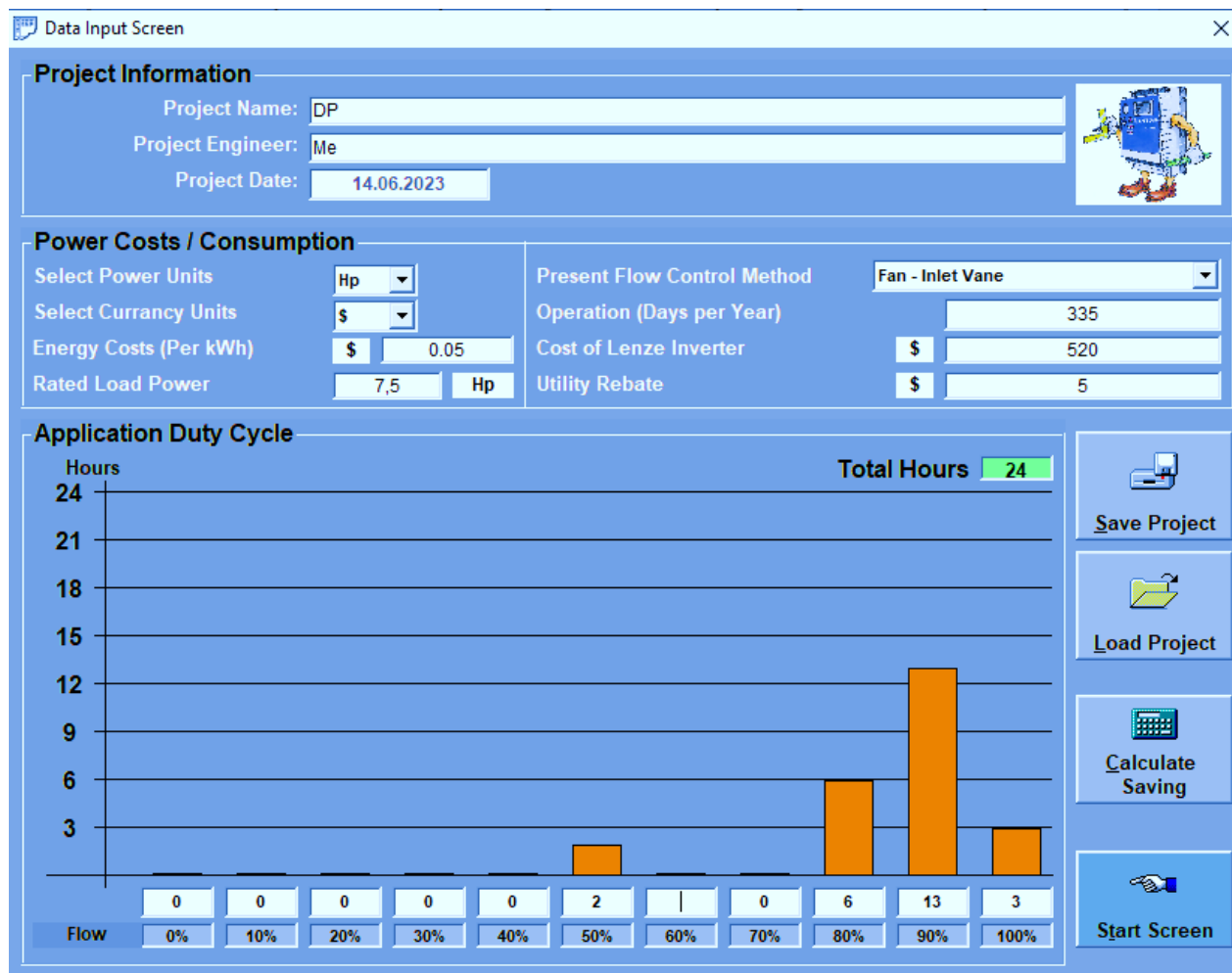


Рисунок 3.1 – Вікно задання параметрів розрахунків програми Lenze Energy Saving Calculator

За результатами наближеного розрахунку на екран виводиться річна економія в доларах США й строк окупності. Для прийнятих умов результати розрахунків зображені на рисунку 3.2.

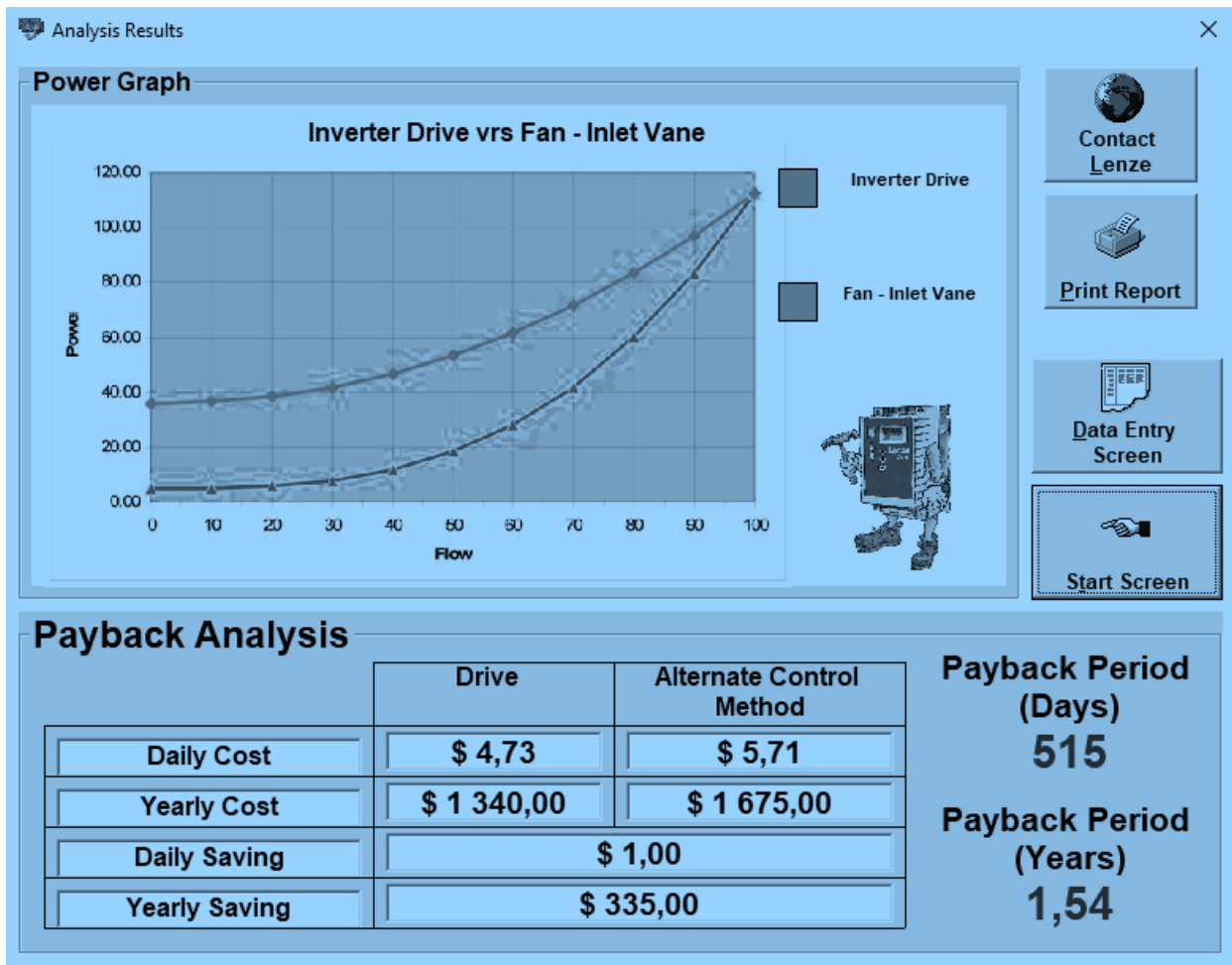


Рисунок 3.2 – Результати розрахунків ефективності застосування ПЧ у програмі Lenze Energy Saving Calculator

При наближених розрахунках за допомогою запропонованої програми не враховується тип перетворювача (інвертор напруги або інвертор струму), гармонійні складові струму та напруги в мережі, а також потужність спотворень, що генеруються установкою.

У цьому розділі було розглянуто існуючі системи керування та проведено вибір конкретної системи, розрахунок і вибір перетворювача частоти, вхідного та вихідного фільтрів. Також було розроблено структурну схему ПЧ-АД. Регулювання системи здійснюється за тиском і струмом. Результати моделювання представлені графічно у вигляді характеристик зміни тиску та моменту моделі електроприводу ПЧ-АД. Для плавного та лінійного переходу до робочої швидкості було прийнято рішення встановити на початку системи задатчик інтенсивності 1-го порядку.

Система керування та диспетчеризації MicroNet. «MicroNet» – це модульна, гнучка, та проста у використанні система керування, яка призначена для автоматизації та диспетчеризації інженерного обладнання підприємств. Функції керування реалізовані на основі стандартних відкритих платформ і технологій промислової автоматики. Система розроблена для середніх підприємств і комплексів, забезпечуючи високий рівень комфорту, оптимальне використання обладнання та максимальну ефективність капіталовкладень.

Систему MicroNet обирають завдяки її ключовим перевагам: легка у використанні; проста при специфікації; легко модифікується за вимогою замовника; гнучка; відкрита архітектура; інтегруюча система; легко масштабована.

У системі MicroNet використовується унікальна за гнучкістю технологія bus-du-jour (мережа на кожен день), що надає можливість вибору типу комунікаційного протоколу мережі керування - NCP, ARCNET® або LonWorks®. Для зміни типу мережі достатньо замінити комунікаційну плату в контролері MNN або вибрати контролер MicroNet 50 Series з відповідним протоколом. Такий підхід дозволяє максимально ефективно використовувати технічні та фінансові ресурси клієнта при створенні систем керування.

Швидкість і спосіб обміну даними залежать від типу мережі керування. Мережа NCP (9,6 Kbits/s) є найбільш простою, недорогою і застосовується в системах, де не потрібен відкритий протокол і прямий обмін даними між контролерами. Мережа ARCNET передбачає безпосередній обмін даними й забезпечує найвищу швидкість - 156 Kbits/s. Мережа LonWorks (78 Kbits/s) максимально гнучка, відкрита й передбачає просту інтеграцію LonMark-сумісного обладнання в єдину систему. Контролери MNN підтримують технологію bus-du-jour, що робить їх придатними для різних типів мереж.

Система також включає контролери MNL (з інтерфейсом LonWorks) та MNB, які підтримують мережі керування VASnet. Відображення стану обладнання та керування його параметрами можуть здійснюватися за допомогою локальних і мережних засобів індикації й керування, таких як пульти й дисплеї,

а також одним або кількома операторськими терміналами з програмним забезпеченням MicroNetView. Для обміну даними між додатками використовуються технології Microsoft® DDE® і ActiveX®.

Система візуалізації та керування може бути реалізована на одному комп'ютері (Single PC Terminal) або як розподілена багатотермінальна структура на базі технології клієнт-сервер (Client/Server). Функції обміну даними між контролерами й операторським терміналом реалізовані через DDE сервери вводу-виводу. Великі бібліотеки стандартних серверів вводу-виводу (понад 600) дозволяють керувати обладнанням інших виробників і спрощують його інтеграцію в єдину систему керування.

MicroNet має потужний комплекс програмних засобів для розробки й експлуатації систем візуалізації й диспетчеризації з активною 2D і 3D графікою MicroNet View, комунікаційне програмне забезпечення, інструментальне програмне забезпечення для програмування контролерів та інші компоненти.

Система включає широкий ряд мережних програмувальних і конфігурованих контролерів з кількістю входів/виходів (I/O) від 5 до 32, що підтримують мережі 5NP, NCP, ARCNET, LonWorks, ВАСnet. Для відображення й зміни параметрів контролерів MicroNet призначені програмувальні пристрої індикації й керування – мережний сенсорний графічний дисплей MNTOUCH, дисплей-клавіатури MNL-PPOV та MNLCD, а також ряд цифрових пультів MN5 з вбудованими датчиками температури й вологості. Архітектура й комунікаційне обладнання наведено на рисунку 3.3.

MicroNet підтримує різні типи мереж керування: 5NP, NCP, ARCNET, LonWorks, та ВАСnet. Комунікаційні модулі призначені для забезпечення сумісності різних логічних і фізичних протоколів і забезпечують надійність передачі файлів [4]. В систему також входять такі компоненти: комунікаційні модулі; плати для контролерів bus-du-jour: MNN-C (NCP), MNA-C(ARCNET), MNL-C (LonWorks); менеджер інтерфейсів NN N1; ARCNET роутер MNA-P10; WEE-Gate - інтернет-сервер NCP/Ethernet; плати LonWorks WPA-LON; MNL-CI-конвертор S-Link/PS232; додаткове встаткування; модулі розширення для

контролерів системи MicroNet, які використовуються для розширення функціональності входів/виходів контролерів.

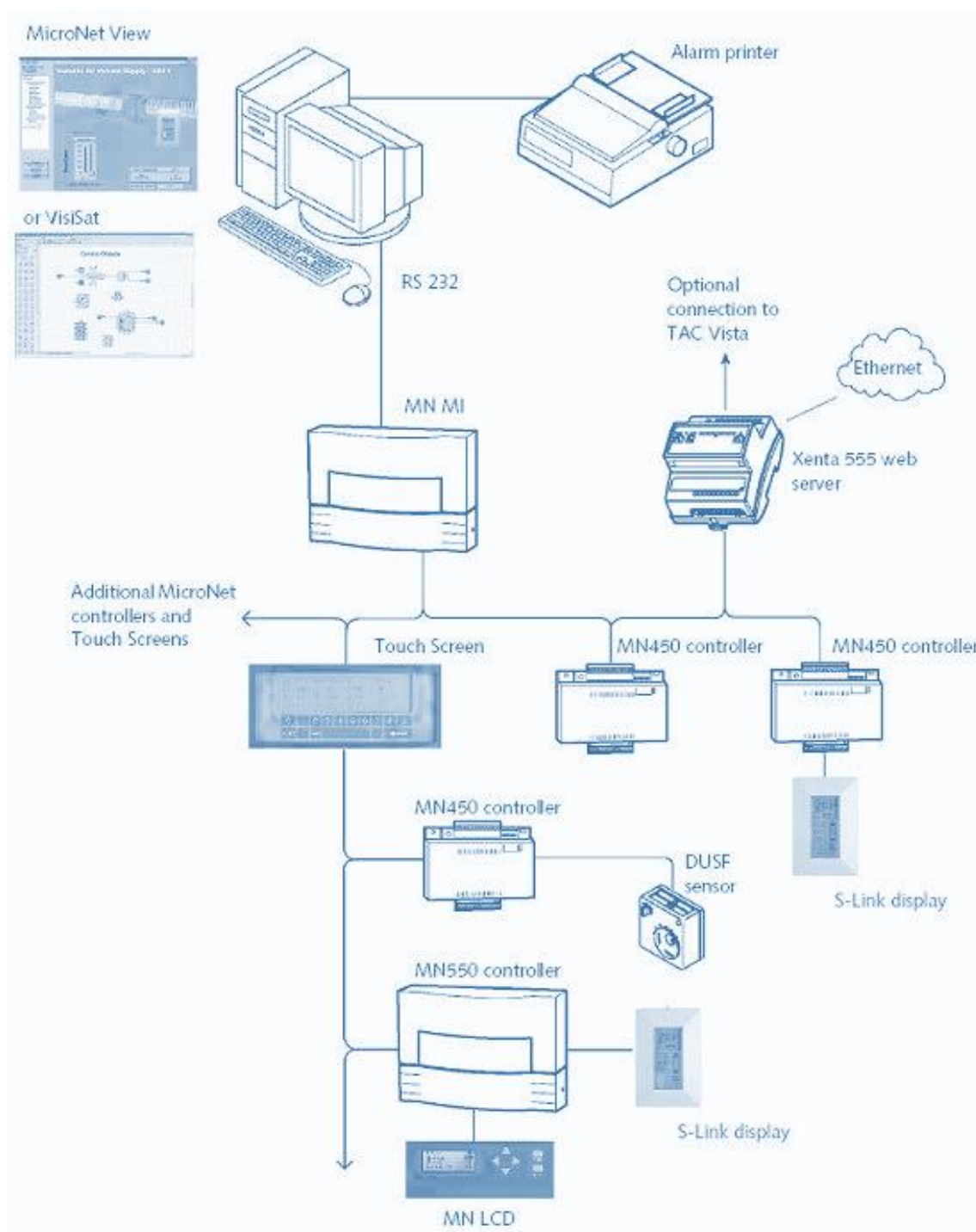


Рисунок 3.3 – Архітектура й комунікаційне обладнання

Планувати систему керування об'єктами й перериваннями MicroNetView дозволяє користувачеві на місці, нагромадженням і відображенням даних реального часу, а також установкою й запуском тривожних повідомлень.

MicroNet ViewPro дає можливість користувачеві генерувати й друкувати звіти, формовані з різних баз даних, а також створювати й налагоджувати користувальницькі екрани [4].

Короткі характеристики MicroNet View: відображення даних реального часу в активних мультимедійних екранах; зміна значення уставок, тимчасових графіків; підтвердження тривожних повідомлень; перегляд історичних (зареєстрованих) даних MicroNet View Pro; допускає створення графічних образів і розробку додатків; має потужний редактор скриптів для створення й виконання системних завдань; допускає перевірку й редагування системних змінних; зміна параметрів, відображуваних у контролерах; визначення, реєстрованих значень і способу реєстрації; визначення тривожних повідомлень; визначення операторів системи і їхніх прав; зміна візуалізуємої області без обмежень.

Мінімальні системні вимоги наведені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Вимоги до мінімальної конфігурації комп'ютера

Тип	IBM PC-сумісний Desktop
Процесор	Intel® Core™ 2 Duo E6600 чи AMD Phenom™ X3 8750 або кращі
Пам'ять	1 ГБ RAM
HDD Disk Drive	2 ГБ
CD-ROM Drive	4x і вище
Video	Мінімально SVGA/1024 x 768

В основу вибору контрольно-вимірювальних приладів покладені наступні принципи: параметри, спостереження за якими необхідно для правильної експлуатації обладнання, контролюються приладами; параметри, зміна яких може привести до аварійного стану обладнання, контролюються приладами, що сигналізують; параметри, яких необхідно врахувати для аналізу роботи обладнання чи сільськогосподарських розрахунків, що контролюються приладами, які реєструють і сумують.

Для автоматизації і КВП агрегатів застосовані прилади які серійно

випускаються промисловістю: прилади і регулятори.

Система керування вентиляторною установкою регулює дроселем витрати витяжного повітря та електростатичним фільтром. Вона працює у режимах "Місцевий", "Автоматичний", "Зима" та "Літо", які можна вибрати за допомогою перемикачів П-SA1 та П-SA2 на двері щита. Пуск та зупинка вентилятора здійснюються кнопками "Пуск вент." та "Стоп вент." також на щиті.

У всіх режимах роботи САУ виконує такі функції:

- 1) управляє вентилятором за командами обслуговуючого персоналу через кнопки на двері щита;
- 2) забезпечує захист двигуна від перегріву за допомогою теплового реле;
- 3) автоматично вимикає вентилятор при спрацюванні системи пожежної сигналізації на підприємстві;
- 4) сигналізує про роботу вентилятора через індикаторну лампу;
- 5) сигналізує про засмічення фільтра.

У режимах "Місцевий", "Зима", "Літо" САУ додатково встановлює засувку зовнішнього повітря в будь-яке положення з меню контролера. У режимах "Автоматичний", "Зима", "Літо" САУ контролює роботу вентилятора та сигналізує про його несправність через відповідні індикаторні лампи на щиті.

На двері щита управління розміщені наступні індикаторні лампи:

- 1) "Робота вент." сигналізує про активність вентилятора;
- 2) "Аварія вент." сигналізує про несправність вентилятора;
- 3) "Фільтр засмічений" сигналізує про необхідність очищення фільтра вентиляторної установки.

На фасадній панелі поста розміщені індикаторні лампи:

- 1) "Аварія вент." сигналізує про несправність вентилятора;
- 2) "Фільтр засмічений" сигналізує про засмічення фільтра вентиляторної установки.

При роботі припливної установки можуть виникнути такі аварії:

- 1) Несправність вентилятора.
- 2) Засмічення фільтра.

При виникненні несправності вентилятора (такої як фізична поломка агрегату, несправність пускача або перегрів електродвигуна), спрацьовують лампи «Аварія вент.», які розташовані на двері щита та в пості сигналізації в операторській, а також вмикається звукова сигналізація. У разі цього вентилятор автоматично вимикається, а також вимикається екструдер, якщо система працює в режимах «Автоматичний» «Влітку» або «Взимку». Після виявлення та усунення причини несправності потрібно розблокувати цю аварію через меню контролера. Після цього лампи «Аварія вент.» вимикаються, і можна знову запустити вентилятор за допомогою кнопки «Пуск вент.», що розташована на двері щита. До тих пір, поки лампа «Аварія вент.» не погасне, вентилятор не можна буде запустити. Для вимкнення звукового сигналу потрібно натиснути кнопку «Зйом звука», що розташована в пості сигналізації. Ця аварія сигналізується лише у режимі «Автоматичний».

У випадку засмічення фільтра загоряється лампа «Фільтр засмічений», розташована на двері щита. При цьому припливний вентилятор залишається увімкненим. Після очищення фільтра лампа «Фільтр засмічений» вимикається. Ця аварія сигналізується у будь-якому режимі роботи системи: «Автоматичний», «Місцевий», «Зима» чи «Літо».

ВИСНОВКИ

У представленій роботі проведено дослідження з метою покращення ефективності та безпеки систем вентиляції, забезпечення оптимальних умов роботи обладнання. В ході дослідження було оцінено сучасні технології та інноваційні рішення в галузі електромеханічного обладнання, які можуть застосовуватися для покращення вентиляційних систем. Особлива увага приділялась принципам проєктування, вибору та розрахунку обладнання, а також використанню програмного забезпечення для автоматизації систем вентиляції.

Дослідження показали, що застосування електромеханічного обладнання та автоматизації вентиляції призвело до значного покращення якості повітря, зниження споживання енергії та забезпечення енергоефективних режимів роботи системи. Це дозволило зменшити ризик негативного впливу на здоров'я та забезпечити відповідність вимогам безпеки на робочому місці.

На підприємстві використовується універсальний вентилятор UNO-ME102-630-4 DFU від компанії Rosenberg, який забезпечує подачу 4500 м³/год. Для приводу вентилятора використовується асинхронний двигун АИР132S4 У2 ІМ 1081 потужністю 7,5 кВт, який працює на дві пари полюсів.

Регулювання частоти обертання валу двигуна та його плавний пуск здійснюється за допомогою перетворювача частоти Siemens V20. Цей перетворювач працює на основі модуляції ширини імпульсів (PWM) і приймає вхідні сигнали зі змінної напруги та струму. Він генерує вихідні сигнали з оптимальними параметрами для керування електродвигуном.

Структурна схема ПЧ-АД була обрана з урахуванням розрахунків та виконано моделювання автоматизованого приводу в середовищі SIMULINK. Були побудовані перехідні характеристики по тиску системи та моменту на валу двигуна.

Деякі здобуті результати включають розрахунок електропостачання цеху підприємства, яке займається виробництвом гофрованого паперу та картону,

паперової та картонної тари, загальна потужність якого становить 209,56 кВА. В процесі було обрано оптимальний переріз провідників, силові трансформатори та інші електричні апарати.

Завдяки впровадженню систем автоматизації витрати електроенергії на роботу вентиляційної установки значно зменшилися, оскільки обрані ПЧ і засоби автоматизації дозволяють точно налаштувати швидкість вентилятора під конкретні вимоги і умови роботи. Це зменшення швидкості сприяє економії енергії, забезпечує більш тиху роботу та збільшує термін служби обладнання. Загалом, завдяки цим заходам щорічно досягається економія електроенергії приблизно 4%, а також продовжується термін експлуатації установки на 3 роки.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Врублевский, Б. И, Основы энергосбережения. [Текст]: Учеб пособие / Б. И. Врублевский, С. Н. Лебедева, А. Б Невзорова. ЧУП и ЦНТУ «Развитие», Гомель, 2002.- 190 с.
2. СОУ-Н ЕЕ 40.1-37471933-55_2011 Методика вимірювання якості електричної енергії в системах електропостачання загального призначення.
3. IEEE Std 519-1992 // IEEE Recommend practices and Requirements for harmonic control in electrical power system.
4. Волошко А.В. Устранение влияния нестабильности частоты сети на на точность определения показателей качества электрической энергии / А.В. Волошко, О.В. Коцарь // Техническая электродинамика. - 1994. - № 4. - С. 73 - 77. 19.
5. Шершень О. І. Вплив коливання частоти електричної мережі на точність проведення гармонічного аналізу, та способи їх зменшення / О. І. Шершень, А.В. Волошко // «ЕНЕРГЕТИКА. ЕКОЛОГІЯ. ЛЮДИНА» 2018
6. Лагутін Г.І. Вищі гармоніки в системах електропостачання / Г.І. Лагутін, А.М. Панченко, А.І. Гарагуля // Системи озброєння і військова техніка, 2012, № 2(30) ISSN 1997-9568.
7. Електрообладнання та електропостачання машин і установок геотехнічних виробництв [Електронний ресурс] : підручник для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», спеціалізації «Електромеханічні та мехатронні системи геотехнічних виробництв» / І. С. Рябенко, С. П. Шевчук, О. В. Мейта ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 15,9 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 633 с.
8. Лагутін Г.І. Вищі гармоніки в системах електропостачання / Г.І. Лагутін, А.М. Панченко, А.І. Гарагуля // Системи озброєння і військова техніка, 2012, № 2(30) ISSN 1997-9568
9. Тітов, Ю. П. Насосні станції водопостачання і водовідведення

[Текст] / Ю. П. Тітов, М. М. Яковенко. Навчально-методичний посібник. – Харків, 2004. – 203 с.

10. Електронний ресурс: <https://micronet.com.ua/micronet-system.htm>

11. Попович, Н. Г. Электромеханические системы автоматизации и задача энергосбережения [Текст] / Н. Г. Попович, Н. В. Печник // Вісник ХДПУ. Збірка наукових праць: Тематичний випуск 113. – Харків: ХДПУ, 2000. – С. 297–300

12. Електронний ресурс: <https://micronet.com.ua/mn50-series-overview.htm>

13. ДСН 3.3.6.042-99. «Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.» Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 1999.

14. ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення».

15. ДСН 3.36.037-99 Державні санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Вид. офіц. Київ: Держнаглядохоронпраці, 1996.

16. ДБН В.1.1-31:2013 «Захист територій будинків і споруд від шуму».

17. ДСН 3.3.6.039-99. «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації.» Вид. офіц. Київ: Держнаглядохоронпраці, 1999.

18. Потапенко, Е. М. Определение скорости и постоянной времени ротора асинхронного двигателя с помощью адаптивного наблюдателя [Текст] / Е. М. Потапенко, Е. Е. Потапенко, А. В. Соломаха // Матеріали 12-ої міжнародної конференції з автоматичного управління —Автоматика–2005, 30 травня – 3 червня 2005 р. – Харків: НТУ —ХПШ, 2005. – Т. 2. – С. 123,124.

19. Бондаренко, В. І. Основи електричного привода [Текст] / В. І. Бондаренко. Навчальний посібник. - Запоріжжя: ЗНТУ, 2003. – 314 с.

20. Правила улаштування електроустановок. Четверте видання, перероблене й доповнене — Х.: Вид-во «Форт», 2011.— 736 с.

21. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ-2018). Вид. офіц Харків: Форт, 2018.

22. НПАОП 40.1-1.21-98 «Про затвердження Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів»

23. Blaschke, F. Das Prinzip der Feldorientierung die Grundlage für die TRANSVECTOR – Regelung von Asynchronmaschinen [Текст] / F. Blaschke // SiemensZeitschrift.–1971.– 45.– P.757.