

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту
Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів

До захисту допущено:
Завідувач кафедри
_____ Сергій БОЙЧЕНКО
«__» _____ 2025р.

Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою
«Інжиніринг інтелектуальних електротехнічних та мехатронних комплексів»
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
на тему: «Електромеханічне обладнання та автоматизація системи вентиляції
цеху екструзії полімерних відходів»

Виконала:
студентка IV курсу, групи ОА-11
Бушtruk Євгенія Владиславівна _____

Керівник:
к.т.н., доцент,
Мейта Олександр Вячеславович _____

Консультант з електропостачання:
к.т.н., доцент,
Мейта Олександр Вячеславович _____

Консультант з охорони праці:
к.т.н., доцент,
Мітюк Людмила Олексіївна _____

Рецензент:
к.т.н., доцент,
Калінчик Василь Прокопович _____

Нормоконтроль:
к.т.н., доцент,
Кулаковський Леонід Ярославович _____

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті немає
запозичень з праць інших авторів без відповідних
посилань.
Студентка _____ Євгенія БУШТРУК

Київ – 2025 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту
Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма «Інжиніринг інтелектуальних електротехнічних та мехатронних комплексів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Сергій БОЙЧЕНКО

«__» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту
Бушtruk Євгенії Владиславівні

1. Тема проєкту «Електромеханічне обладнання та автоматизація системи вентиляції цеху екструзії полімерних відходів», керівник проєкту Мейта Олександр Вячеславович, к.т.н., доцент, затверджені наказом по університету від «23» травня 2025 р. №1698-с.

2. Термін подання студентом проєкту 09.06.2025

3. Вихідні дані до проєкту – характеристика обладнання цеху екструзії підприємства з переробки полімерних відходів.

4. Зміст пояснювальної записки:

Загально-технічна частина. Аналітичний огляд підприємства з переробки полімерних відходів: структура підприємства, технологічний процес, опис об'єкту проєктування.

Електропостачання. Розрахунок освітлення, розрахунок електричних навантажень, розрахунок електричних мереж, розрахунок струмів КЗ, вибір електричних апаратів.

Спеціальна частина. Аналіз літературних джерел для виявлення проблематики. Обґрунтування параметрів системи вентиляції та вибір обладнання.

Розробка системи автоматизації з ПЧ-АД та моделювання її роботи системи MATLAB. Економічна оцінка запропонованої модернізації.

Охорона праці. Аналіз умов праці, мікроклімату, освітлення, рівня шуму та вібрації, електробезпека, пожежна безпека.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо):

1 аркуш – Технологічна схема вентиляції цеха екструзії;

2 аркуш – Схема електропостачання цеху екструзії;

3 аркуш – Моделювання електроприводу з ПЧ-АД в середовищі MATLAB;

4 аркуш – Блок-схема системи керування вентиляцією цеху екструзії.

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
2 Електропостачання	Мейта О.В., к.т.н., доцент		
4 Охорона праці	Мітюк Л.О., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання 19.05.2025

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1.	Загально-технічна частина	30.04.2025	Виконано
2.	Електропостачання	21.05.2025	Виконано
3.	Спеціальна частина	26.05.2025	Виконано
4.	Охорона праці	30.05.2025	Виконано
5.	Графічна частина	09.06.2025	Виконано

Студентка

Євгенія БУШТРУК

Керівник

Олександр МЕЙТА

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	ДП ОА11.06.000 ПЗ	Пояснювальна записка	94	
3	A1	ДП ОА11.06.000 СЗ	Технологічна схема вентиляції цеха екструзії	1	
4	A1	ДП ОА11.06.000 ЕЗ	Схема електропостачання цеху екструзії	1	
5	A3	ДП ОА11.06.000 С1	Модель електроприводу з ПЧ-АД в середовищі MATLAB	1	
6	A3	ДП ОА11.06.000 С1	Блок-схема системи керування вентиляцією цеху екструзії	1	

				ДП ОА11.06.000 ПЗ		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Буштрук Є.В.			Відомість дипломного проєкту	Лист	Листів
Керівн.	Мейта О.В.					
Консульт.	Мейта О.В. Мітюк Л.О.				КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. АЕМК Гр. ОА-11	
Н/контр.	Кулаковський Л.Я.					
Зав.каф.	Бойченко С.В.					

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Електромеханічне обладнання та автоматизація
системи вентиляції цеху екструзії полімерних відходів»**

Київ – 2025 року

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 94 сторінки, 30 рисунків, 26 таблиць та 22 посилання.

В цеху екструзії на підприємстві з переробки полімерних відходів вентиляційна система відіграє ключову роль у забезпеченні безпечного технологічного процесу та стабільної роботи обладнання. Накопичення шкідливих речовин призводить до погіршення умов праці, зниження продуктивності обладнання та підвищення ризику виникнення аварійних ситуацій.

В ході цієї роботи було проведено аналіз існуючого обладнання системи вентиляції цеху екструзії та розрахунок нового вентиляційного обладнання, запропонованого для впровадження. На основі отриманих результатів проведено модернізацію системи яка полягає у використанні асинхронного двигуна з перетворювачем частоти, встановленні рекуператора та застосуванні сучасних пристроїв для моніторингу параметрів мікроклімату.

В результаті створено автоматизовану систему керування роботою вентиляції цеху та розроблено алгоритм її роботи, що забезпечує регулювання параметрів системи в залежності від зовнішніх та внутрішніх умов.

Мета: підвищення енергоефективності роботи системи вентиляції цеху екструзії полімерних відходів за рахунок проведення модернізації та автоматизації вентиляційного обладнання.

Об'єкт дослідження: процеси повітрообміну та теплообміну в промислових цехах.

Предмет дослідження: система вентиляції цеху екструзії.

Ключові слова: ВЕНТИЛЯЦІЙНА СИСТЕМА, ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ, РЕКУПЕРАТОР, ПОВІТРООБМІН.

					ДП ОА11.06.000 ПЗ	
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

ABSTRACT

The explanatory note contains: 94 pages, 30 figures, 26 tables, and 22 references.

In the extrusion workshop at a polymer waste recycling plant, the ventilation system plays a key role in ensuring a safe technological process and the stable operation of the equipment. The accumulation of harmful substances leads to the deterioration of working conditions, reduced equipment performance, and an increased risk of emergency situations.

During this work, an analysis of the existing ventilation equipment in the extrusion workshop was carried out, along with calculations for new ventilation equipment proposed for implementation. Based on the results obtained, the system was modernized, including the use of an asynchronous motor with a frequency converter, the installation of a heat recovery unit (recuperator), and the application of modern devices for monitoring microclimate parameters.

As a result, an automated control system for the workshop ventilation was created, and an algorithm for its operation was developed, enabling regulation of the system's parameters based on both external and internal conditions.

Objective: to improve the energy efficiency of the ventilation system in the polymer waste extrusion workshop through the modernization and automation of the ventilation equipment.

Object of research: air exchange and heat exchange processes in industrial workshops.

Subject of research: the ventilation system of the extrusion workshop.

Keywords: VENTILATION SYSTEM, FREQUENCY CONVERTER, RECUPERATOR, AIR EXCHANGE.

					ДП ОА11.06.000 ПЗ	
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	6
ВСТУП.....	7
1. ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА.....	9
1.1 Аналітичний огляд підприємства.....	9
1.2 Структура підприємства.....	10
1.3 Технологічний процес	12
1.4 Характеристика об'єкту проектування	15
Висновки до 1 розділу	17
2. ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	18
2.1 Розрахунок освітлення.....	18
2.2 Розрахунок електричних навантажень.....	20
2.3 Розрахунок електричних мереж.....	24
2.3.1 Розрахунок струмів навантаження групи електроприймачів.....	24
2.3.2 Вибір перетину провідників і жил кабелів за нагрівом	25
2.3.3 Вибір ліній мережі за умови механічної міцності.....	26
2.3.4 Розрахунок електричної мережі за допустимими втратами напруги	26
2.4 Розрахунок струмів КЗ	29
2.4.1 Розрахунок струмів КЗ в мережах напругою до 1000 В.....	30
2.5 Вибір електричних апаратів	36
Висновки до 2 розділу	38
3. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....	39
3.1 Аналіз літературних джерел для виявлення проблематики	39
3.2 Розрахунок систем вентиляції	42
3.3.1 Визначення розрахункових параметрів внутрішнього повітря	42
3.3.2 Розрахунок повітрообігу.....	45
3.3 Огляд обладнання в системі вентиляції.....	47
3.4 Розрахунок та вибір обладнання	50
3.4.1 Вибір вентилятора.....	51
3.4.2 Вибір електродвигуна.....	52

					ДП ОА11.06.000 ПЗ	
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

3.4.3	Вибір перетворювача частоти.....	54
3.5	Додаткові елементи електромеханічної системи вентиляції.....	69
3.5.1	Вибір рекуператора.....	57
3.5.2	Вибір датчиків тиску	59
3.5.3	Вибір датчиків температури	61
3.5.4	Вибір датчиків вологості.....	63
3.6	Моделювання системи ПЧ-АД в системі MATLAB	64
3.6.1	Розрахунок параметрів системи ПЧ-АД.....	64
3.6.2	Результати моделювання.....	65
3.7	Економічне обґрунтування.....	69
3.7.1	Економічне обґрунтування встановлення рекуператора	69
3.7.2	Економічне обґрунтування застосування ПЧ	70
3.8	Автоматизована система керування цеховою вентиляцією	72
3.8.1	Структура автоматизованої системи вентиляції цеху екструзії.....	72
3.8.1	Опис системи керування Ignition HMI/SCADA.....	73
3.8.1	Керування системою вентиляції цеху екструзії за допомогою Ignition SCADA Software.....	76
	Висновки до 3 розділу	80
4.	ОХОРОНА ПРАЦІ	81
4.1	Аналіз умов праці.....	81
4.1.1	Засоби індивідуального захисту працівників	82
4.2	Мікроклімат	83
4.3	Освітлення.....	85
4.4	Рівень шуму та вібрації.....	85
4.5	Електробезпека	86
4.6	Пожежна безпека.....	88
	Висновки до 4 розділу	90
	ВИСНОВОК.....	91
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	93

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОСИЛАНЬ

АД – асинхронний двигун

АС – змінний струм

ВН – висока напруга

ЕП – електричні приймачі

ЕС – постійний струм

ЗІЗ – засоби індивідуального захисту

КЗ – коротке замикання

ККД – коефіцієнт корисної дії

КЛ – кабельна лінія

НН – низька напруга

ПЗ – програмне забезпечення

ПІ – пропорційний інтегральний

ПЧ – перетворювач частоти

VOC – volatile organic compounds (леткі органічні речовини)

PLC – programmable logic controller (програмний логічний контролер)

					ДП ОА11.06.000 ПЗ	
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

ВСТУП

Полімерні матеріали широко використовується в усіх сферах нашого життя, однак полімерні відходи розкладаються століттями виділяючи токсичні речовини, які потрапляють у ґрунти і води, в організми тварин та людей. Саме тому потрібно впроваджувати їх переробку, щоб знизити негативний вплив на довкілля та людину. Важливою складовою технологічного процесу при переробці полімерних відходів є вентиляція на підприємстві, тому що вона допомагає підтримувати безпечні умови праці, захищати здоров'я людей, а також має потенціал збереження енергоресурсів.

Тема дипломного проєкту — «Електромеханічне обладнання та автоматизація системи вентиляції цеху екструзії полімерних відходів», яка є надзвичайно важливою з огляду на екологічні, технічні та виробничі вимоги. У роботі розглядаються питання вибору та застосування ефективних пристроїв та технологій, сучасних засобів автоматизації з метою забезпечення вимог до якості повітря у виробничих приміщеннях та зменшення енерговитрат на функціонування системи вентиляції промислового цеху.

Об'єкт дослідження: процеси повітрообміну та теплообміну в промислових цехах.

Предмет дослідження: система вентиляції цеху екструзії.

Мета: підвищення енергоефективності роботи системи вентиляції цеху екструзії полімерних відходів за рахунок проведення модернізації та автоматизації вентиляційного обладнання.

Для досягнення поставленої мети в роботі розв'язуються **задачі:**

Аналіз літературних та інтернет-джерел за темою роботи.

Розрахунок та вибір вентиляційного обладнання, яке буде встановлено в ході модернізації.

Розроблення системи електропостачання цеху екструзії.

					ДП ОА11.06.000 ПЗ						
Зм	Арк.	№ докум.		Дата							
Розроб.		Буштрук Є.В.			Вступ			Лім.	Лист	Листів	
Перевір.		Мейта О.В.								7	
Реценз.											
Н. Контр.		Кулаковський Л.Я.						КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. АЕМК гр.ОА-11			
Затверд.		Бойченко С.В.									

Розроблення системи автоматичного керування приводом вентилятора з перетворювачем частоти та моделювання її роботи в програмі MATLAB.

Економічна оцінка запропонованого інженерного рішення.

Актуальність дослідження. Модернізація системи вентиляції цеху екструзії на підприємстві з переробки полімерних відходів обумовлена зростаючими вимогами до енергоефективності та екологічної безпеки виробництва. У процесі екструзії полімерів виділяються леткі органічні сполуки та надлишкове тепло, що потребує ефективного видалення для забезпечення безпечних умов праці. Недостатня або застаріла вентиляція призводить до перегріву обладнання, зниження його ресурсу, а також погіршення якості продукції. Впровадження сучасних автоматизованих систем вентиляції дозволяє забезпечити стабільність мікроклімату, знизити енергоспоживання та підвищити загальну ефективність технологічного процесу.

					ДП ОА11.06.000 ПЗ	
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

1. ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Аналітичний огляд підприємства

Підприємство з переробки полімерних відходів розташоване в промисловій зоні міста Фастів, що забезпечує зручну логістичну доступність до сировинних ресурсів, транспортних шляхів та споживачів готової продукції. Основною спеціалізацією підприємства є механіко-температурна переробка полімерних матеріалів, зокрема поліетилену низької та високої щільності, поліпропілену та інших термопластів.

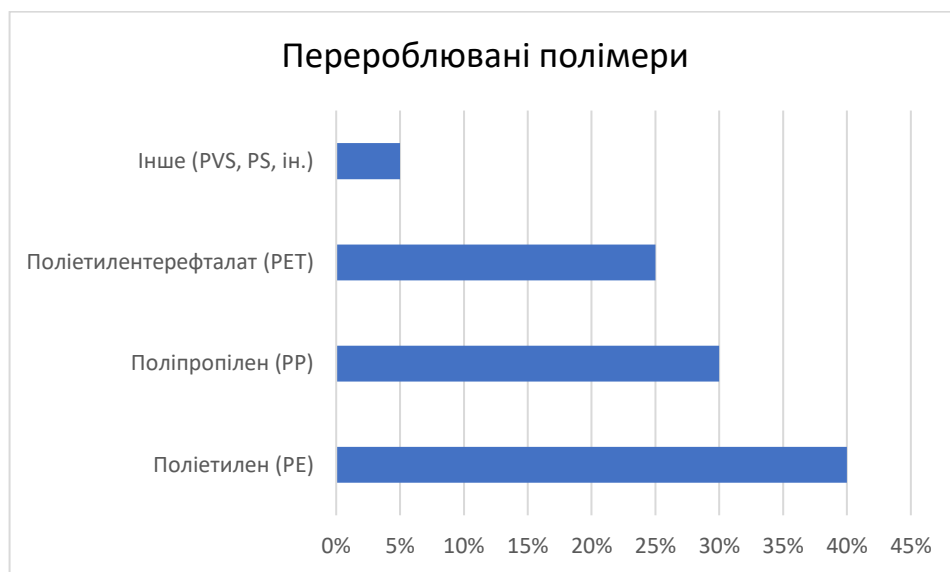


Рисунок 1.1 – Основні типи перероблюваних полімерів

Проектна річна продуктивність підприємства становить 20 000 тонн вторинного пластику, що відповідає середньому завантаженню обладнання при режимі роботи в три зміни, 7 днів на тиждень з урахуванням ремонтних та профілактичних зупинок. Розрахунковий термін експлуатації підприємства становить не менше 25 років при належному технічному обслуговуванні та модернізації обладнання.

Управлінська структура підприємства включає адміністративний, виробничо-технологічний, логістичний, інженерно-технічні та екологічний

					ДП ОА11.06.000 ПЗ		
Зм	Арк.	№ докум.		Дата			
Розроб.		Бушtruk С.В..			Загально-технічна частина		
Перевір.		Мейта О.В.					
Реценз.							
Н. Контр.		Кулаковський Л.Я.					
Затверд.		Бойченко С.В.					
					Літ.	Лист	Листів
						9	
					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. АЕМК гр.ОА-11		

підрозділи, які забезпечують ефективне функціонування усіх етапів виробничого процесу. Керівництво здійснюється директором підприємства, заступниками з технічних, виробничих і комерційних питань та відповідними керівниками цехів і відділів.

Основні виробничі процеси здійснюються на основі автоматизованих ліній подрібнення, миття, сушіння, екструзії та гранулювання, які функціонують у безперервному режимі. Організація робіт базується на принципах безпеки праці, енергоефективності та дотримання екологічних стандартів.

До ключових техніко-економічних показників діяльності підприємства належать:

- обсяг переробки сировини — 20 000 тонн/рік;
- вихід готової продукції — близько 18 400 тонн/рік (коефіцієнт виходу — 92%);
- середня кількість персоналу — 85 осіб;
- коефіцієнт завантаження обладнання — понад 0,85;
- рентабельність виробництва — 18–22% (за базовими економічними умовами).

Підприємство має перспективи розширення за рахунок впровадження нових технологій, освоєння нових видів продукції та модернізації обладнання.

1.2 Структура підприємства

Організаційна структура підприємства сформована з урахуванням специфіки безперервного виробництва та потреби в чіткій взаємодії між відділами. Загальна чисельність персоналу на даний момент складає 85 осіб.

Адміністративно-управлінський відділ підприємства (10 осіб) виконує функції стратегічного управління, координації, планування, контролю й забезпечення ефективної роботи всіх структурних підрозділів. До цього підрозділу входить:

- директор, який керує діяльністю підприємства, визначає стратегію розвитку і представляє підприємство в зовнішніх відносинах;

					ДП ОА11.06.000 ПЗ	
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

- головний інженер, який відповідає за безпеку технологічного процесу, організовує технічне обслуговування, контролює роботу та забезпечує ефективне функціонування безперервного виробничого циклу;
- головний бухгалтер, який веде бухгалтерський облік підприємства та складає фінансову звітність;
- економіст;
- менеджер із постачання;
- менеджер зі збуту;
- юрисконсультант;
- інженер з охорони праці, контролює дотримання норм технічної безпеки, проводить інструктажі працівників, організовує розслідування нещасних випадків, розробляє заходи щодо зниження виробничих ризиків.
- HR-менеджер.

Виробничий відділ включає працівників (55 осіб), які безпосередньо обслуговують технологічну лінію, що складається з п'яти основних етапів: подрібнення, миття, сушіння, екструзії та гранулювання.

Таблиця 1.1 – Розподіл персоналу в виробничому відділі

Підрозділ	Функції	Кількість
Приймання та сортування	Завантаження, контроль якості, сортування полімерних відходів	5
Подрібнення	Обслуговування дробарок (шредерів), транспортування	4
Миття та сушіння	Контроль мийного і сушильного обладнання	5
Екструзія	Плавлення та фільтрація полімеру	24
Гранулювання	Формування та охолодження гранул	6
Ремонтно-механічна служба	Слюсарі, електрики, наладчики	4
Лабораторія якості	Контроль характеристик вхідної сировини та готової продукції	2
Складське господарство	Зберігання сировини та готової продукції	3

Відділ логістики (10 осіб) виконує ключові функції, пов'язані з переміщенням, зберіганням, обліком і організацією транспортування сировини та готової продукції. Це важливий підрозділ, який забезпечує безперервність виробничого процесу та своєчасне виконання замовлень. До складу цього відділу входять 4 водія, 3 оператора навантажувача та 3 кладовщика.

Допоміжний відділ (10 осіб) виконує обслуговуючі, підтримувальні та забезпечувальні функції, які не є частиною основного виробництва, але без яких підприємство не зможе працювати безперервно, безпечно та ефективно. До складу цього відділу входять 4 охоронця, 2 прибиральники, 2 технічні працівники, 1 головний енергетик та системний адміністратор.

1.3 Технологічний процес

Технологічний процес з переробки полімерних відходів має 5 основних етапів, кожен з яких критично важливий для забезпечення якості кінцевого продукту – полімерного грануляту, придатного для вторинного використання.

Початковий етап передбачає механічне подрібнення відсортованих полімерних відходів у роторних дробарках або шредерах. Залежно від типу полімеру, фракція подрібнення становить від 10 до 20 мм.

Подрібнений пластик надходить у митні баки з системами турбулентного змішування, де відбувається видалення органічних та неорганічних забруднень, залишків етикеток, ґрунту та побутових речовин. Для покращення ефективності очищення застосовуються також флотаційні системи, що дозволяють відокремити важкі частки та полімери з різною щільністю.

Очищений полімер транспортується до відцентрових сушарок та термокамер для зниження вологості матеріалу до оптимального.

Сушений матеріал надходить до цеху екструзії, де він обробляється на трьох екструдерах загальною встановленою потужністю 150 кВт (по 50 кВт кожен). Екструзійний процес здійснюється у температурному діапазоні 160–180 °С (в залежності від типу полімеру). Основними функціональними вузлами екструдера є:

					ДП ОА11.06.000 ПЗ	12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- бункер подачі з дозатором;
- шнековий механізм з регульованим обертанням;
- зони терморегуляції з інтелектуальним контролем температури;
- система фільтрації розплаву (механічна або автоматична з ротаційним фільтром);
- формувальна головка.

У результаті екструзії формується однорідний розплав, який далі надходить у систему гранулювання.

Розплавлений полімер проходить через формувальні насадки, утворюючи ниткоподібну масу, яка охолоджується у водяній ванні або повітряному охолоджувачі. Далі матеріал транспортується до різального механізму, де розрізається на гранули стандартного розміру. Гранули сушаться, просіваються для видалення пилу та нестандартних фракцій, після чого надходять у бункери для зберігання або упаковки.

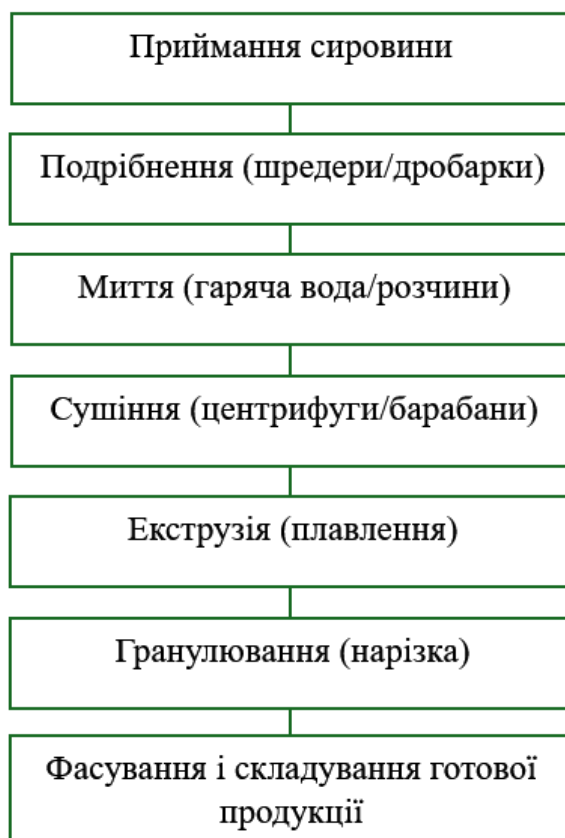


Рисунок 1.2 – Технологічна схема виготовлення полімерних гранул

Забезпечення ефективної вентиляції на підприємствах з переробки полімерних відходів є критично необхідним для підтримання безпечних умов праці, захисту здоров'я працівників, дотримання екологічних стандартів, а також для стабілізації технологічних процесів.

Перш за все вентиляція видаляє шкідливі пари та гази. У процесі термічної обробки полімерних матеріалів, утворюються токсичні продукти деструкції, такі як формальдегід, стирол, діоксини та вінілхлорид. Накопичення цих речовин у робочій зоні може призвести до гострих та хронічних уражень органів дихання, шкірних покривів, слизових оболонок очей, а також створювати загрозу для довкілля. Системи вентиляції сприяють оперативному видаленню токсичних викидів, мінімізуючи ризики для здоров'я працівників.

Вентиляція допомагає знизити ризик пожеж на підприємстві. Полімерні матеріали є високогорючими, і за наявності високих температур та недостатньої вентиляції можливе накопичення легкозаймистих газів. Ефективна система вентиляції забезпечує постійне видалення горючих випарів, підтримуючи безпечні концентрації газоподібних речовин у повітрі виробничих приміщень.

Вентиляція забезпечує захист здоров'я працівників. Тривалий контакт із парами полімерів та дрібнодисперсним пилом без належної вентиляції спричиняє розвиток професійних захворювань, серед яких: хронічні обструктивні захворювання легень, алергічні реакції, головний біль та запаморочення. Вентиляційні системи забезпечують безперервну циркуляцію повітря, знижуючи концентрацію шкідливих домішок і підтримуючи належний мікроклімат у робочій зоні.

Вентиляція допомагає забезпечувати якість виробничих процесів. Температурна стабільність у процесах екструзії та сушіння пластика має вирішальне значення для отримання продукції високої якості. Забруднення повітря та його перегрів у виробничих приміщеннях можуть викликати коливання технологічних параметрів, що призводить до погіршення фізико-механічних властивостей готової продукції. Системи вентиляції сприяють підтриманню

Бортові укриття, розташовані безпосередньо над екструдерами, забезпечують локалізацію утворених парів і газів у зоні їхнього первинного виникнення, що сприяє підвищенню ефективності локальної вентиляції та мінімізації забруднення робочої зони. Транспортування забрудненого повітря від бортових укриттів здійснюється через мережу трубопроводів із нержавіючої сталі марки AISI 304. Використовуються трубопроводи з внутрішніми діаметрами Ø150 мм та Ø250 мм, що забезпечує необхідну пропускну здатність і стійкість до агресивного середовища.

Початковий етап очищення забезпечує лабіринтний фільтр з нержавіючої сталі, який видаляє середньодисперсні аерозольні краплі та частинки шляхом багаторазової зміни напрямку потоку повітря, що сприяє ефективному осадженню домішок. Подальше очищення забезпечує сітка з нержавіючої сталі, яка здійснює грубу механічну фільтрацію великих твердих частинок і полімерного пилу, зменшуючи навантаження на наступні ступені очищення.

Основним виконавчим механізмом системи вентиляції є витяжний вентилятор ROSENBERG UNO-ME 102-630-4DFU потужністю 8,0 кВт з трифазним приводом. Основне тонке очищення здійснюється за допомогою електростатичного фільтра. Очищене повітря викидається у зовнішнє середовище через вертикальний трубопровід, встановлений вище рівня покрівлі виробничого корпусу, що відповідає екологічним вимогам щодо розсіювання викидів у атмосферу.

Етапи очищення повітря:

- захоплення забрудненого повітря зони екструдера через локальні витяжки;
- механічне очищення у лабіринтному фільтрі;
- груба фільтрація механічних домішок за допомогою сітки;
- тонке очищення дрібнодисперсних частинок у електростатичному фільтрі;
- транспортування та викид очищеного повітря у зовнішнє середовище.

					ДП ОА11.06.000 ПЗ	
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16



Рисунок 1.4 – Етапи очищення повітря

Висновки до 1 розділу

Вірне функціонування системи вентиляції є важливим для забезпечення надійного та безпечного функціонування цеху екструзії, оскільки ця технологія пов'язана з виділенням значної кількості летких органічних сполук та тепла.

Обладнання, що складає систему вентиляції передбачає вентиляційну установку з системою фільтрів модернізація якої дозволить забезпечити економію електричної енергії та дотримання санітарно-гігієнічних норм до виробничого середовища.

2. ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Досліджуваний об'єкт – цех екструзії промислового підприємства з переробки полімерних відходів. Електропостачання цеху реалізовано за радіальною схемою, що забезпечує централізований розподіл електроенергії до споживачів. Виробничий процес організовано у безперервному режимі – у три зміни, сім днів на тиждень, з урахуванням регламентних ремонтних і профілактичних зупинок обладнання. Через відсутність резервних вентиляційних установок тривалість щорічної роботи основного обладнання становить 8040 годин на рік.

Відповідно до положень державних будівельних норм ДБН В.2.5-23:2010, об'єкт належить до II категорії електропостачання. Це обумовлено тим, що переривання подачі електроенергії призводить до значного зниження обсягів виробництва та масового недовипуску продукції, що прямо впливає на економічні показники діяльності підприємства.

2.1 Розрахунок освітлення

Освітлення виробничих об'єктів, складських приміщень, житлових будинків та технологічних зон є важливою частиною процесу їх проєктування. Нормативні вимоги до організації освітлення регламентуються державними будівельними нормами України [2].

Освітлення виробничого приміщення, а саме цеху екструзії на підприємстві з переробки полімерних матеріалів, відіграє ключову роль у забезпеченні безпечних і ефективних умов праці. Високоточні технологічні процеси, характерні для екструзії, вимагають належного рівня освітленості для своєчасного виявлення дефектів продукції, контролю параметрів обладнання та мінімізації помилок оператора. Крім того, якісне освітлення сприяє зниженню рівня виробничого травматизму, зменшенню зорового навантаження на персонал і підвищенню

					ДП ОА11.06.000 ПЗ				
Зм	Арк.	№ докум.		Дата	Електропостачання				
Розроб.		Буштрук Є.В.							
Перевір.		Мейта О.В.							
Реценз.									
Н. Контр.		Кулаковський Л.Я.							
Затверд.		Бойченко С.В.							
					Лім.		Лист	Листів	
							18		
					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. АЕМК гр.ОА-11				

загальної продуктивності праці.

Розрахунок освітлення проводиться методом коефіцієнта використання світлового потоку, метод враховує не лише потік, що надходить на робочу поверхню безпосередньо від світильника, а й потік, який відбивається від стін та стелі, завдяки введенню коефіцієнта використання освітлювальної установки. Вхідні дані для розрахунку:

- довжина приміщення – 35 м;
- ширина приміщення – 20 м;
- висота підвісу світильника над робочою поверхнею – 6 м;
- колір стін – світлий;
- колір стелі – сірий.

Обираємо тип світильника – промисловий Delux High Bay4; максимальна потужність $P = 100$ Вт; напруга мережі $U = 175-265$ В; ККД – 95%; $\cos\varphi = 0,9$; світловий потік $\Phi_{\text{л}} = 15000$ лм.

Визначаємо показник приміщення:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{35 \cdot 20}{6 \cdot (35 + 20)} = 2,121,$$

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

Розраховуємо площу приміщення:

$$S = A \cdot B = 35 \cdot 20 = 700 \text{ м}^2.$$

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

$$E_{\text{min}} = 150 \text{ лк.}$$

Коефіцієнт використання знаходимо з довідкової літератури, використовуючи показник приміщення $i = 2,121$ для сірого кольору стелі та світлого кольору стін:

$$K_{\text{в}} = 0,45.$$

Розраховуємо загальний світловий потік, потрібний для забезпечення необхідної освітленості:

					ДП ОА11.06.000 ПЗ	
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

$$F = \frac{K_3 \cdot E_{min} \cdot S \cdot z}{K_B} = \frac{1,5 \cdot 150 \cdot 700 \cdot 1,3}{0,45} = 455 \cdot 10^3 \text{ лм},$$

де: K_3 – коефіцієнт запасу, який враховує старіння ламп та заповишеність 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 $z = 1,3 \dots 1,4$.

Визначаємо потрібну кількість світильників:

$$N_{св} = \frac{F}{F_{л}} = \frac{455 \cdot 10^3}{15000} = 30 \text{ шт.}$$

Розміщення світильників здійснюється за прямокутною сіткою у вигляді 5 паралельних рядів по ширині приміщення з 6 світильниками в кожному ряду. З урахуванням крайових відступів по 1 м, відстань між 6 світильниками по довжині становить 6,6 м, а по ширині 4,5 м. Така схема монтажу світильників дає змогу рівномірно охопити всю площу та забезпечити необхідну рівномірність освітлення.

2.2 Розрахунок електричних навантажень

Розрахунок електричних навантажень проводиться методом коефіцієнта попиту. Вхідні дані: номінальна напруга споживачів P_n , кількість споживачів n , коефіцієнт потужності $\cos\varphi$.

					ДП ОА11.06.000 ПЗ	
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Таблиця 2.1 – Розрахункові параметри споживачів низької напруги

№	Споживач	Р _н , кВт	n	cosφ
Збірка №1 (Збірка 0,4 кВ)				
1	Екструдер №1	50	1	0,75
2	Витяжний вентилятор №1	8	1	0,65
3	Електростатичний фільтр №1	0,1	1	0,9
4	Екструдер №2	50	1	0,75
5	Витяжний вентилятор №2	8	1	0,65
6	Електростатичний фільтр №2	0,1	1	0,9
7	Екструдер №3	50	1	0,75
8	Витяжний вентилятор №3	8	1	0,65
9	Електростатичний фільтр №3	0,1	1	0,9
10	Світильник	0,1	30	0,8

За формулою (2.2.1) визначимо коефіцієнт попиту для виробничих цехів підприємств, коли кількість споживачів в групі $n < 20$.

$$K_{\Pi} = 0,43 + 0,57 \frac{P_{H \max}}{\sum_{i=1}^n P_{Hi}} \quad (2.2.1)$$

$$K_{\Pi} = 0,43 + 0,57 \frac{P_{H \max}}{\sum_{i=1}^n P_{Hi}} = 0,43 + 0,57 \frac{50}{177,3} = 0,6,$$

де $P_{H \max}$ – номінальна потужність найбільшого в групі електроприймачів, кВт.

За формулою (2.2.2) визначимо розрахункове активне навантаження для кожного споживача.

$$P_{pi} = K_{\Pi i} \cdot P_{Hi} \cdot n_i \quad (2.2.2)$$

$$P_{p1} = K_{\Pi} \cdot P_{H1} \cdot n_1 = 0,6 \cdot 50 \cdot 1 = 30 \text{ кВт};$$

Аналогічно для споживачів (№2 – №10).

Сумарне активне навантаження дорівнює:

$$P_p = \sum_{i=1}^n P_p = 30 + 4,8 + 0,06 + 30 + 4,8 + 0,06 + 30 + 4,8 + 0,06 + 1,8 = 106,38 \text{ кВт.}$$

За формулою (2.2.3) знаходимо коефіцієнт реактивної потужності кожного споживача:

$$tg\varphi_i = \frac{\sqrt{1 - \cos\varphi_i^2}}{\cos\varphi_i} \quad (2.2.3)$$

$$tg\varphi_1 = \frac{\sqrt{1 - \cos\varphi_1^2}}{\cos\varphi_1} = \frac{\sqrt{1 - 0,75^2}}{0,75} = 0,882.$$

Аналогічно для споживачів (№2 – №10).

За формулою (2.2.4) знаходимо розрахункове реактивне навантаження для кожного електроприймача.

$$Q_{pi} = P_{pi} \cdot tg\varphi_i \quad (2.2.4)$$

$$Q_{p1} = P_{p1} \cdot tg\varphi_1 = 30 \cdot 0,882 = 26,458 \text{ кВар.}$$

Аналогічно для споживачів (№2 – №10).

Сумарне реактивне навантаження дорівнює:

$$Q_p = \sum_{i=1}^n Q_p = 26,458 + 5,612 + 0,029 + 26,458 + 5,612 + 0,029 + 26,458 + 5,612 + 0,029 + 1,35 = 97,645 \text{ кВар.}$$

За формулою (2.2.5) знаходимо повне розрахункове навантаження для кожного електроприймача.

$$S_{pi} = \sqrt{P_{pi}^2 + Q_{pi}^2} \quad (2.2.5)$$

$$S_{p1} = \sqrt{P_{p1}^2 + Q_{p1}^2} = \sqrt{30^2 + 26,458^2} = 40 \text{ кВар.}$$

Аналогічно для споживачів (№2 – №10).

Сумарна повна розрахункова потужність дорівнює:

					ДП ОА11.06.000 ПЗ	
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

$$S_p = \sum_{i=1}^n S_p = 40 + 7,385 + 0,067 + 40 + 7,385 + 0,067 + 40 + 7,385 + \\ + 0,067 + 2,25 = 144,4 \text{ кВА.}$$

Таблиця 2.2 – Розрахунок електричних навантажень

Вхідні дані					Результати розрахунків				
№	Споживач	P _н , кВт	n	cosφ	K _п	tgφ	P _p , кВт	Q _p , кВар	S _p , кВА
Збірка №1 (Збірка 0,4 кВ)									
1	Екструдер №1	50	1	0,75	0,6	0,882	30	26,458	40
2	Витяжний вентилятор №1	8	1	0,65		1,169	4,8	5,612	7,385
3	Електростатичний фільтр №1	0,1	1	0,9		0,484	0,06	0,029	0,067
4	Екструдер №2	50	1	0,75		0,882	30	26,458	40
5	Витяжний вентилятор №2	8	1	0,65		1,169	4,8	5,612	7,385
6	Електростатичний фільтр №2	0,1	1	0,9		0,484	0,06	0,029	0,067
7	Екструдер №3	50	1	0,75		0,882	30	26,458	40
8	Витяжний вентилятор №3	8	1	0,65		1,169	4,8	5,612	7,385
9	Електростатичний фільтр №3	0,1	1	0,9		0,484	0,06	0,029	0,067
10	Світильник	0,1	30	0,8		0,75	1,8	1,35	2,25
							106,38	97,645	144,4

Обираємо трансформатор Т1, Т2 згідно заданої потужності, враховуючи що трансформатор може працювати при навантаженні до 30% більше номінального, $U_{\text{номВН}} = 10 \text{ кВ}$, а $U_{\text{номНН}} = 0,4 \text{ кВ}$.

Таблиця 2.3 – Параметри трансформатора Т1, Т2

Тип	Номінальна потужність $S_{ном}$, кВА	Номінальні напруги, кВ		Втрати потужності КЗ, кВт	Напруга КЗ, %
		ВН	НН		
ТМ-160/10	160	10	0,4	2,65	4,5

За формулами (2.2.6 – 2.2.7) розраховуємо втрати активної та реактивної потужності в трансформаторах Т1, Т2:

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot S_{ном.Т} = 0,02 \cdot 160 = 3,2 \text{ кВт}; \quad (2.2.6)$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot S_{ном.Т3,4} = 0,1 \cdot 160 = 16 \text{ кВАр}. \quad (2.2.7)$$

2.3 Розрахунок електричних мереж

2.3.1 Розрахунок струмів навантаження групи електроприймачів

За формулою (2.3.1) визначаємо розрахунковий струм двигуна по його номінальній потужності.

$$I_p = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \eta_H \cdot \cos \varphi_H}, \quad (2.3.1)$$

$$I_{p1} = I_{p4} = I_{p7} = \frac{P_{H1}}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \eta_{H1} \cdot \cos \varphi_{H1}} = \frac{50}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,82 \cdot 0,75} = 117,348 \text{ А};$$

$$I_{p2} = I_{p5} = I_{p8} = \frac{P_{H2}}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \eta_{H2} \cdot \cos \varphi_{H2}} = \frac{8}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,85 \cdot 0,65} = 20,9 \text{ А};$$

де η_H – ККД двигуна при номінальному навантаженні; $\cos \varphi_H$ – номінальний коефіцієнт потужності.

За формулою (2.3.2) визначаємо розрахунковий струм однофазних споживачів.

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (2.3.2)$$

$$I_{p3} = I_{p6} = I_{p9} = \frac{S_{p3}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{0,067}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 0,096 \text{ А};$$

$$I_{p10} = \frac{S_{p10}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{2,25}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 3,248 \text{ А.}$$

Таблиця 2.4 – Вхідні дані для розрахунку електричних мереж

№	Споживач	Довжина лінії, м	Тип лінії	Потужність, що передається лінією	cosφ	Розрахунковий робочий струм лінії I _p , А
Збірка №1 (Збірка 0,4 кВ)						
1	Екструдер №1	35	КЛ	30	0,75	117,348
2	Витяжний вентилятор №1	35	КЛ	4,8	0,65	20,9
3	Електростатичний фільтр №1	35	КЛ	0,06	0,9	0,096
4	Екструдер №2	35	КЛ	30	0,75	117,348
5	Витяжний вентилятор №2	35	КЛ	4,8	0,65	20,9
6	Електростатичний фільтр №2	35	КЛ	0,06	0,9	0,096
7	Екструдер №3	35	КЛ	30	0,75	117,348
8	Витяжний вентилятор №3	35	КЛ	4,8	0,65	20,9
9	Електростатичний фільтр №3	35	КЛ	0,06	0,9	0,096
10	Світильник	35	КЛ	1,8	0,8	3,248

2.3.2 Вибір перетину провідників і жил кабелів за нагрівом

Вибір перерізу провідників та жил кабелів за умовами нагріву в нормальному тривалому режимі експлуатації ґрунтується на порівнянні розрахункового струму окремої лінії з допустимим струмом, при якому відповідно до вимог ПУЕ передбачено використання стандартизованих значень перерізів провідників та кабельних жил за таких умов:

$$I_{pi} \leq I_{\text{доп}}, \quad (2.3.3)$$

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

Для прокладання в землі обрано чотирижильні кабелі з алюмінієвими жилами, ізольовані пластмасою, у оболонці з ПВХ.

$$L_1: I_{p1} = 117,348 \text{ А}; I_{\text{доп}1} = 136 \text{ А}; S_{\text{нагр}1} = 50 \text{ мм}^2; \text{АВВГ } 4 \times 50;$$

$L_2: I_{P2} = 20,9 \text{ A}; I_{\text{доп}2} = 22 \text{ A}; S_{\text{нагр}2} = 2,5 \text{ мм}^2; \text{АВВГ } 4 \times 2,5;$
 $L_3: I_{P3} = 0,096 \text{ A}; I_{\text{доп}3} = 22 \text{ A}; S_{\text{нагр}3} = 2,5 \text{ мм}^2; \text{АВВГ } 4 \times 2,5;$
 $L_4: I_{P4} = 117,348 \text{ A}; I_{\text{доп}4} = 136 \text{ A}; S_{\text{нагр}4} = 50 \text{ мм}^2; \text{АВВГ } 4 \times 50;$
 $L_5: I_{P5} = 20,9 \text{ A}; I_{\text{доп}5} = 22 \text{ A}; S_{\text{нагр}5} = 2,5 \text{ мм}^2; \text{АВВГ } 4 \times 2,5;$
 $L_6: I_{P6} = 0,096 \text{ A}; I_{\text{доп}6} = 22 \text{ A}; S_{\text{нагр}6} = 2,5 \text{ мм}^2; \text{АВВГ } 4 \times 2,5;$
 $L_7: I_{P7} = 117,348 \text{ A}; I_{\text{доп}7} = 136 \text{ A}; S_{\text{нагр}7} = 50 \text{ мм}^2; \text{АВВГ } 4 \times 50;$
 $L_8: I_{P8} = 20,9 \text{ A}; I_{\text{доп}8} = 22 \text{ A}; S_{\text{нагр}8} = 2,5 \text{ мм}^2; \text{АВВГ } 4 \times 2,5;$
 $L_9: I_{P9} = 0,096 \text{ A}; I_{\text{доп}9} = 22 \text{ A}; S_{\text{нагр}9} = 2,5 \text{ мм}^2; \text{АВВГ } 4 \times 2,5;$
 $L_{10}: I_{P10} = 3,248 \text{ A}; I_{\text{доп}10} = 22 \text{ A}; S_{\text{нагр}10} = 2,5 \text{ мм}^2; \text{АВВГ } 4 \times 2,5.$

2.3.3 Вибір ліній мережі за умови механічної міцності

Згідно ПУЕ [3] мінімальні допустимі перерізи проводів та жил за умови механічної міцності кабельних ліній для силових та освітлювальних мереж: алюміній: $S_{\text{мех}} = 2,5 \text{ мм}^2$.

2.3.4 Розрахунок електричної мережі за допустимими втратами напруги

Обраний переріз провідника повинен гарантувати належний рівень напруги на стороні споживача, тому електричні мережі підлягають перевірці на допустимі втрати напруги.

Ділянка мережі низької напруги складається з трансформатора та кабелів, які з'єднують трансформатор та електроприймач. Для електроприймачів напругою до 1 кВ втрати напруги вимірюються у вольтах. Величину втрат напруги приймають 39 В (для мережі $U_n = 380 \text{ В}$):

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

Проведемо розрахунок втрат напруги в трансформаторі за формулою (2.3.5):

$$\Delta U_{TR\%} = \beta (U_{a\%} \cos \varphi_{TR} + U_{p\%} \sin \varphi_{TR}), \quad (2.3.5)$$

де β – коефіцієнт завантаження трансформатора; $U_{a\%}$ - активна складова напруги КЗ трансформатора, %; $\cos \varphi_{TR}$ – коефіцієнт потужності трансформатора;

					ДП ОА11.06.000 ПЗ	26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$U_{p\%}$ - реактивна складова напруги КЗ трансформатора, %.

Знайдемо коефіцієнт завантаження трансформатора за формулою (2.3.6):

$$\beta = \frac{S_P}{S_{H.T}} = \frac{144,4}{160} = 0,9 \quad (2.3.6)$$

де S_P – розрахункове навантаження трансформатора, кВА; $S_{H.T}$ – номінальна потужність трансформатора, кВА.

Обчислюємо активну складову напруги трансформатора за формулою (2.3.7):

$$U_{a\%} = \frac{\Delta P_K}{10 \cdot S_{H.T}} = \frac{2650}{10 \cdot 160} = 1,66 \%, \quad (2.3.7)$$

де ΔP_K – втрати КЗ трансформатора, Вт.

Знаходимо реактивну складову напруги трансформатора за формулою (2.3.8):

$$U_{p\%} = \sqrt{U_{K\%}^2 - U_{a\%}^2} = \sqrt{4,5^2 - 1,66^2} = 4,18 \%, \quad (2.3.8)$$

де $U_{K\%}$ - напруга КЗ трансформатора, %.

Розраховуємо коефіцієнт потужності трансформатора за формулою (2.3.9):

$$\cos\varphi_{TP} = \frac{P_P}{S_P} = \frac{106,38}{144,4} = 0,737. \quad (2.3.9)$$

$\sin\varphi_{TP}$ обчислюємо на основі відомого значення $\cos\varphi_{TP}$ за формулою (2.3.10):

$$\sin\varphi_{TP} = \sqrt{1 - \cos\varphi_{TP}} = \sqrt{1 - 0,737} = 0,513. \quad (2.3.10)$$

Тоді розрахунок втрат напруги у трансформаторі ТМ-160/10 дорівнює:

$$\begin{aligned} \Delta U_{TP\%} &= \beta(U_{a\%}\cos\varphi_{TP} + U_{p\%}\sin\varphi_{TP}) = \\ &= 0,9(1,66 \cdot 0,737 + 4,18 \cdot 0,513) = 3,04 \%. \end{aligned}$$

Отримане значення втрат напруги переводимо у [В] за формулою (2.3.11):

$$\Delta U_{TP} = \Delta U_{TP\%} \cdot K_0 \cdot \frac{U_0}{100} = 3,04 \cdot 1 \cdot \frac{400}{100} = 12,155 \text{ В}, \quad (2.3.11)$$

де $K_0 = 1$ – коефіцієнт зміни напруги в трансформаторі; U_0 – генераторна напруга мережі, для якої розраховуються втрати напруги, В.

Допустимі напруги в кабелі знаходимо за формулою (2.3.12):

					ДП ОА11.06.000 ПЗ	27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta U_{\text{МК}} = \Delta U_{\text{доп}} - \Delta U_{\text{ТР}} = 39 - 12,155 = 26,845 \text{ В.} \quad (2.3.12)$$

Проведемо розрахунок втрат напруги в кабелі за формулою (2.3.13):

$$\Delta U_{\text{Г.К.}} = \frac{P_H \cdot L_{\text{Г.К.}} \cdot 10^3}{\gamma \cdot S_{\text{Г.К.}} \cdot U_H \cdot \eta_H}; \quad (2.3.13)$$

$$\Delta U_{\text{Г.К.1}} = \frac{P_{H1} \cdot L_{\text{Г.К.}} \cdot 10^3}{\gamma \cdot S_{\text{Г.К.}} \cdot U_H \cdot \eta_H} = \frac{50 \cdot 35 \cdot 10^3}{32 \cdot 50 \cdot 400 \cdot 1} = 2,734 \text{ В,}$$

де P_H – потужність всіх електроприймачі, що живиться цим кабелем, кВт; $L_{\text{Г.К.}}$ – довжина кабелю, м; $\gamma = 32 \text{ [м/(Ом} \cdot \text{мм}^2)]$ – питома провідність кабелю; $S_{\text{Г.К.}}$ – переріз кабелю, мм²; U_H – номінальна напруга мережі, для якої розраховуються втрати напруги, В; η_H – ККД електроприймача.

Аналогічно для споживачів (№2 – №10).

Таблиця 2.5 – Остаточний вибір перерізів кабелів

№ лінії	Розрахунковий струм I_p , А	За нагрівом		Мех. міцність $S_{\text{мех}}$, мм ²	За втратами напруги		Остаточна обрана марка сталі
		Ідоп, А	Снагр, мм ²		Втрати напруги, В	Свт.н. мм ²	
1	117,348	136	50	2,5	2,734	70	АВВГ 4х70
2	20,9	22	2,5	2,5	8,75	10	АВВГ 4х10
3	0,096	22	2,5	2,5	0,109	2,5	АВВГ 4х2,5
4	117,348	136	50	2,5	2,734	70	АВВГ 4х70
5	20,9	22	2,5	2,5	8,75	10	АВВГ 4х10
6	0,096	22	2,5	2,5	0,109	2,5	АВВГ 4х2,5
7	117,348	136	50	2,5	2,734	70	АВВГ 4х70
8	20,9	22	2,5	2,5	8,75	10	АВВГ 4х10
9	0,096	22	2,5	2,5	0,109	2,5	АВВГ 4х2,5
10	3,248	22	2,5	2,5	3,281	2,5	АВВГ 4х2,5

За формулою (2.3.14) здійснюємо перевірку на прикладі електроприймача з найбільшими втратами напруги в кабелі:

					ДП ОА11.06.000 ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			28

$$\Delta U = \Delta U_{г.к.} + \Delta U_{TP} = 8,75 + 12,155 = 20,905 < 39В \quad (2.3.14)$$

Якщо кабель електроприймача з найбільшими втратами відповідає вимогам, то для всіх електроприймачів із меншими втратами ці вимоги також будуть виконані.

2.4 Розрахунок струмів КЗ

Коротке замикання (КЗ) є одним із найнебезпечніших аварійних режимів в електроенергетичних системах. У момент виникнення КЗ в електричних колах спостерігається різке зростання струму, що багаторазово перевищує номінальні значення, допустимі для нормальної експлуатації обладнання. За характером пошкодження короткі замикання класифікуються на однофазні, двофазні та трифазні, причому останні супроводжуються найбільшими струмами.

Розрахунок струмів короткого замикання є обов'язковим етапом при проектуванні електроустановок, зокрема для вибору силового та комутаційного обладнання, а також налаштування релейного захисту. При цьому за розрахунковий струм зазвичай приймається струм трифазного КЗ, оскільки він створює найгірші умови для електроустановки.

До основних причин виникнення КЗ належать пошкодження або старіння ізоляції, потрапляння вологи, механічні ушкодження провідників чи апаратури. Короткі замикання можуть бути стійкими або нестійкими, залежно від здатності мережі продовжувати роботу після усунення аварії.

Наслідки КЗ включають значне зниження напруги в окремих ділянках мережі, що може призвести до припинення роботи електроприймачів. Крім того, під час замикання виникають електричні дуги, які викликають термічне й механічне ушкодження струмопровідних частин, апаратури та ізоляційних матеріалів. Перегрів провідників, спричинений надструмами, несе загрозу руйнування ізоляції, що в окремих випадках може призвести до займання.

Для запобігання розвитку аварійної ситуації в мережах застосовуються автоматичні вимикачі та системи релейного захисту, здатні реагувати на перевищення граничних параметрів. Одним із головних завдань захисту є швидке

					ДП ОА11.06.000 ПЗ	29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відключення ушкодженої ділянки з мінімальною витримкою часу, що дозволяє зменшити зону впливу аварії та уникнути серйозних пошкоджень.

З метою подальшого аналізу побудуємо розрахункову схему заміщення (рис 2.1). Схема базується на структурі електропостачання промислового об'єкта та містить усі характерні точки, в яких виконуватиметься розрахунок струмів короткого замикання.

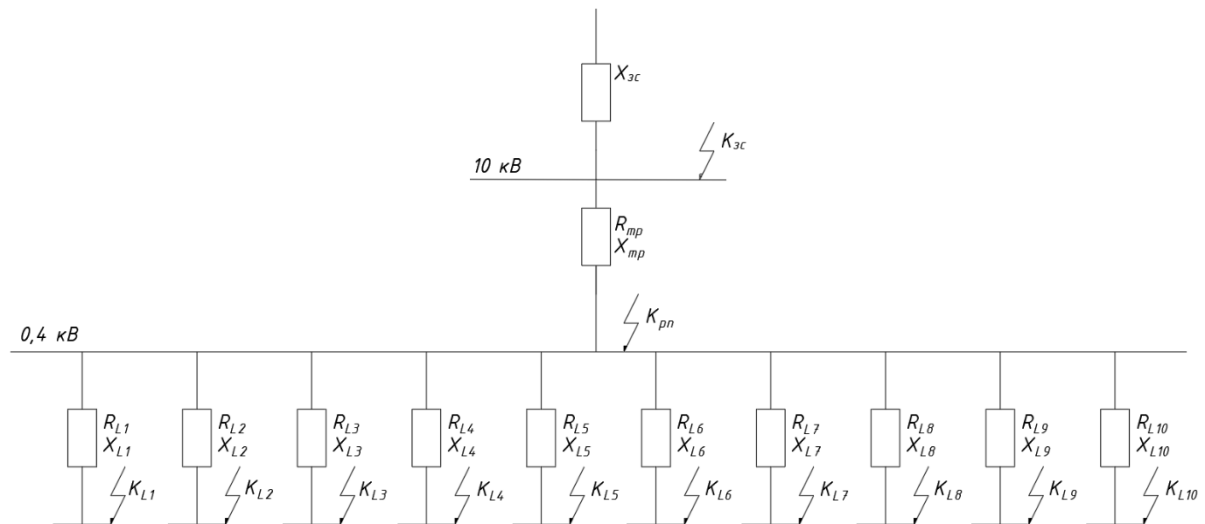


Рисунок 2.1 – Розрахункова схема заміщення

2.4.1 Розрахунок струмів КЗ в мережах напругою до 1000 В

При розрахунку струмів КЗ визначаються наступні величини:

I'' - діюче значення початкового зверхперехідного струму для вибору уставки для вибору уставок спрацювання швидкодіючого захисту;

I_{∞} - усталений струм КЗ для перевірки на термічну стійкість електричних апаратів та кабелів;

i_y - миттєве значення ударного струму КЗ для перевірки електричних апаратів на динамічну стійкість;

I_y - найбільше діюче значення повного струму КЗ для перевірки електричних апаратів на динамічну стійкість на протязі першого періоду КЗ;

I_1 - діюче значення повного струму КЗ для довільного моменту часу для вибору t вимикачів за відмикаючим струмом;

S_t - потужність КЗ для довільного моменту часу для перевірки вимикача за відключаючою ним потужністю [4].

Особливістю розрахунку струмів КЗ в мережах напругою до 1000 В є необхідність врахування опору всіх елементів схеми та врахування активної і реактивної складової опору [4].

Величина активного опору лінії визначається в залежності від перерізу за формулою (2.4.1):

$$R = r_0 \cdot L = \frac{1000}{\gamma \cdot S} \cdot L \quad (2.4.1)$$

Величина реактивного опору лінії визначається за питомим опором за формулою (2.4.2):

$$X = x_0 \cdot L \quad (2.4.2)$$

Питомий індуктивний опір лінії для кабельних ЛЕП напругою до 1 кВ дорівнює 0,07 Ом/км; до 10 кВ – 0,08 Ом/км.

Трифазний струм КЗ розраховується за формулою (2.4.3):

$$I_K^{(3)} = \frac{U_{\text{ср}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(\sum r)^2 + (\sum x)^2}}, \quad (2.4.3)$$

де $U_{\text{ср}}$ – середня номінальна напруга ступені КЗ, В; $\sum r, \sum x$ – сума активних та реактивних опорів до точки КЗ, включаючи трансформатор та опір зовнішньої системи, мОм.

За формулою (2.4.4) розрахуємо опір зовнішньої системи приведений до напруги споживачів 0,4 кВт:

$$X_{\text{зс}} = \frac{U_{\text{с.н.}}^2}{S_K^{(3)}} = \frac{400^2}{40 \cdot 10^6} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}, \quad (2.4.4)$$

де $U_{\text{с.н.}}^2$ – середня номінальна напруга ступені (1200, 690, 400 В); $S_K^{(3)}$ – потужність трифазного короткого замикання на шинах.

Опір трансформатора:

$$R_{\text{ТР}} = \frac{\Delta P_K}{3 \cdot I_{\text{н.т.}}^2}; \quad (2.4.5)$$

$$Z_{TP} = \frac{U_K \cdot U_{CH}}{100 \cdot \sqrt{3} \cdot I_{HT}}; \quad (2.4.6)$$

$$X_{TP} = \sqrt{Z_{TP}^2 - R_{TP}^2}, \quad (2.4.7)$$

де ΔP_K – втрати КЗ трансформатора, Вт; I_{HT} – номінальний струм вторинної обмотки трансформатора, А; U_K – напруга короткого замикання трансформатора, %.

За формулою (2.4.8) визначимо номінальний струм вторинної обмотки трансформатора:

$$I_{HT} = \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{160}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 230,94 \text{ А}; \quad (2.4.8)$$

$$R_{TP} = \frac{\Delta P_K}{\sqrt{3} \cdot I_{HT}^2} = \frac{2650}{\sqrt{3} \cdot 230,94^2} = 0,029 \text{ Ом};$$

$$Z_{TP} = \frac{U_K \cdot U_{CH}}{100 \cdot \sqrt{3} \cdot I_{HT}} = \frac{4,5 \cdot 400}{100 \cdot \sqrt{3} \cdot 230,94} = 0,045 \text{ Ом};$$

$$X_{TP} = \sqrt{Z_{TP}^2 - R_{TP}^2} = \sqrt{0,045^2 - 0,0017^2} = 0,042 \text{ Ом}.$$

Активний опір кабельних ліній розраховуємо за формулою (2.4.1):

$$R_1 = \frac{1000}{\gamma \cdot S_1} \cdot L = \frac{1000}{32 \cdot 70} \cdot 0,035 = 0,022 \text{ Ом}.$$

Аналогічно для ліній (L2 – L10).

Реактивний опір кабельних ліній розраховуємо за формулою (2.4.2):

$$X_1 = x_0 \cdot L = 0,07 \cdot 0,035 = 0,0025 \text{ Ом}.$$

Аналогічно для ліній (L2 – L10).

Таблиця 2.6 – Опори елементів мережі

Елемент мережі	R, Ом	X, Ом
Джерело живлення	0	0,004
Трансформатори ТМ-160/10	0,029	0,035
L ₁	0,016	0,0025
L ₂	0,109	0,0025
L ₃	0,438	0,0025
L ₄	0,016	0,0025
L ₅	0,109	0,0025
L ₆	0,438	0,0025
L ₇	0,016	0,0025
L ₈	0,109	0,0025
L ₉	0,438	0,0025
L ₁₀	0,438	0,0025

За схемою заміщення (рис. 2.1) розраховуємо сумарний опір кожної точки КЗ.

Точка $K_{зс}$: Опір складається з реактивного опору зовнішньої системи $X_{зс}$:

$$K_{зс} = X_{зс} = 0,004 \text{ Ом.}$$

Точка $K_{рп}$: Опір складається з реактивного опору зовнішньої системи $X_{зс}$ та опорів трансформатора ТМ-160/10:

$$\sum R_{K_{рп}} = R_{тр} = 0,029 \text{ Ом;}$$

$$\sum X_{K_{рп}} = X_{зс} + X_{тр} = 0,004 + 0,035 = 0,039 \text{ Ом;}$$

$$Z_{K_{рп}} = \sqrt{(\sum R_{K_{рп}})^2 + (\sum X_{K_{рп}})^2} = \sqrt{(0,0017)^2 + (0,046)^2} = 0,048 \text{ Ом.}$$

Точка К1: Опір складається з реактивного опору зовнішньої системи $X_{зс}$, опорів трансформатора ТМ-160/10 та лінії:

$$\sum R_{K1} = R_{тр} + R_{L1} = 0,029 + 0,016 = 0,044 \text{ Ом;}$$

$$\sum X_{K1} = X_{зс} + X_{тр} + X_{L1} = 0,004 + 0,035 + 0,0025 = 0,041 \text{ Ом;}$$

$$Z_{K1} = \sqrt{(\sum R_{K1})^2 + (\sum X_{K1})^2} = \sqrt{(0,044)^2 + (0,041)^2} = 0,06 \text{ Ом.}$$

Аналогічно для ліній (L2 – L10) розраховуємо точки K2 – K10.

Таблиця 2.7 – Опори до точок КЗ

Точка	$\sum R_k$	$\sum X_k$	Z_k
Кзс	0	0,004	0,004
Крп	0,029	0,039	0,048
К1	0,044	0,041	0,06
К2	0,138	0,041	0,144
К3	0,466	0,041	0,468
К4	0,044	0,041	0,06
К5	0,138	0,041	0,144
К6	0,466	0,041	0,468
К7	0,044	0,041	0,06
К8	0,138	0,041	0,144
К9	0,466	0,041	0,468
К10	0,466	0,041	0,468

Розрахунок струмів КЗ:

1) діюче значення струму трифазного КЗ для кожної точки знаходимо за формулою (2.4.9):

$$I_{Ki}^3 = \frac{U_{CH}}{\sqrt{3} \cdot Z_{Ki}}; \quad (2.4.9)$$

$$I_{Krp}^3 = \frac{U_{CH}}{\sqrt{3} \cdot Z_{Krp}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,048} = 4,796 \text{ кА};$$

$$I_{K1}^3 = \frac{U_{CH}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K1}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,06} = 3,818 \text{ кА.}$$

Аналогічно точці К1 розраховуємо струм трифазного КЗ для точок К2 – К10.

2) струм двофазного КЗ розраховуємо за формулою (2.4.10):

$$I_{Ki}^2 = \frac{U_{CH}}{2 \cdot Z_{Ki}}; \quad (2.4.10)$$

$$I_{Krp}^2 = \frac{U_{CH}}{2 \cdot Z_{Krp}} = \frac{400}{2 \cdot 0,048} = 4,154 \text{ кА};$$

$$I_{K1}^2 = \frac{U_{CH}}{2 \cdot Z_{K1}} = \frac{400}{2 \cdot 0,06} = 3,307 \text{ кА.}$$

Аналогічно точці К1 розраховуємо струм двофазного КЗ для точок К2 – К10.

3) миттєве значення ударного струму КЗ через півперіод (0,01 с) після виникнення КЗ знаходимо за формулою (2.4.11):

$$i_{yi} = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{ki}^3 + 6,5 \cdot \sum I_n, \quad (2.4.11)$$

де k_y – ударний коефіцієнт; $k_y = 1,2 \dots 1,3$ при короткому замиканні на шинах підстанції, $k_y = 1,8$ при короткому замиканні зі сторони високої напруги, $k_y = 1$ при короткому замиканні у віддаленій точці; $\sum I_n$ – сума номінальних струмів асинхронних двигунів потужністю понад 100 кВА.

$$i_{yKpp} = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{Kpp}^3 = \sqrt{2} \cdot 1,3 \cdot 4,796 = 8,818 \text{ кА};$$

$$i_{yK1} = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{K1}^3 = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 3,818 = 5,4 \text{ кА}.$$

Аналогічно точці К1 розраховуємо миттєве значення ударного струму КЗ для точок К2 – К10.

4) діюче значення повного струму КЗ розраховуємо за формулою (2.4.12):

$$I_{yi} = I_{ki}^{(3)} \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (k_y - 1)^2}; \quad (2.4.12)$$

$$I_{yKpp} = I_{Kpp}^{(3)} \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (k_y - 1)^2} = 4,796 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,3 - 1)^2} = 5,21 \text{ кА};$$

$$I_{yK1} = I_{K1}^{(3)} \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (k_y - 1)^2} = 3,818 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1 - 1)^2} = 3,818 \text{ кА}.$$

Аналогічно точці К1 розраховуємо значення повного струму КЗ для точок К2 – К10.

Діючі значення надперехідного струму КЗ (I''), усталеного (I_∞) та струму трифазного КЗ ($I_k^{(3)}$) можна однаковими. Це пояснюється тим, що розрахунок короткого замикання виконується для максимально несприятливих умов, за яких передбачається необмежена потужність джерела живлення та відсутність зниження напруги в мережі в момент короткого замикання.

Таблиця 2.8 – Розрахунок струмів КЗ

Точка КЗ	U _{сн} , В	R, Ом	X, Ом	Z, Ом	I_k^3 , кА	I_k^2 , кА	i_y , кА	I_y , кА
Крп	400	0,029	0,039	0,048	4,796	4,154	8,818	5,13
К1	400	0,044	0,041	0,06	3,818	3,307	5,4	3,818
К2	400	0,138	0,041	0,144	1,603	1,388	2,267	1,603
К3	400	0,466	0,041	0,468	0,493	0,427	0,697	0,493
К4	400	0,044	0,041	0,06	3,818	3,307	5,4	3,818
К5	400	0,138	0,041	0,144	1,603	1,388	2,267	1,603
К6	400	0,466	0,041	0,468	0,493	0,427	0,697	0,493
К7	400	0,044	0,041	0,06	3,818	3,307	5,4	3,818
К8	400	0,138	0,041	0,144	1,603	1,388	2,267	1,603
К9	400	0,466	0,041	0,468	0,493	0,427	0,697	0,493
К10	400	0,466	0,041	0,468	0,493	0,427	0,697	0,493

2.5 Вибір електричних апаратів

Загальні критерії вибору електричних апаратів:

1. Номінальна напруга електричного апарата ($U_{\text{ном.ап}}$) повинна бути не меншою за напругу мережі (U_M), в якій він експлуатується:

$$U_{\text{ном.ап}} \geq U_M.$$

2. Номінальний струм електричного апарата ($I_{\text{ном.ап.}}$), має бути не меншим за робочий чи розрахунковий струм навантаження (I_p):

$$I_{\text{ном.ап}} \geq I_p.$$

3. Граничне миттєве значення струму динамічної стійкості апарата ($I_{\text{д.с.}}$), повинно перевищувати або дорівнювати миттєвому значенню ударного струму КЗ (i_y) у точці схеми встановлення апарата:

$$I_{\text{д.с.}} \geq i_y.$$

4. Добуток квадрата струму термічної стійкості апарата ($I_{\text{т.с.}}^2$, кА) та відповідного часу дії ($t_{\text{т.с.}}$), повинен бути не меншим за добуток квадрата діючого

					ДП ОА11.06.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				36

значення усталеного струму КЗ (I_{∞}^2) і приведенного часу дії КЗ ($t_{пр}$):

$$I_{\text{T.C.}}^2 \cdot t_{\text{T.C.}} \geq I_{\infty}^2 \cdot t_{\text{IP.}}$$

5. Струм вимикання апарата повинен бути не меншим за розрахунковий струм рівним трифазного короткого замикання:

$$I_{\text{ВМ}} \geq I_k^{(3)}.$$

Таблиця 2.9 – Електричні апарати

Місце встановлення	Позначення на схемі	За номінальною напругою $U_{ном.ап} > U_m$		За номінальним струмом $I_{ном.ап} > I_p$		За струмом вмикання $I_{вим} > I_{ki}^3$		Заєл.-дин. стійкістю $i_{д.с.} > i_y$		За термічною стійкістю $I_{т.с.}^2 \cdot t_{т.с} > I_{\infty}^2 \cdot t_{пр}$		Тип прийнятого апарата
		$U_{ном.ап}$, кВ	U_m , кВ	$I_{ном.ап}$, А	I_p , А	$I_{вим}$, кА	кА	$i_{д.с.}$, кА	i_y , кА	$I_{т.с.}^2 \cdot t_{т.с}$ кА ² с	$I_{\infty}^2 \cdot t_{пр}$ кА ² с	
Роз'єднувачі												
Ввід 10 кВТ	QS1	10	10	630	320	-	-	31,5	15,2	12,5 ^{2*} 0,25	3,2 ^{2*} 0,25	РВЗ-10/630 УХЛ2
Автоматичні вимикачі												
L1	QF1	0,4	0,4	125	117,348	25	3,818	-	-	-	-	ВА-89-32
L2	QF2	0,4	0,4	25	20,9	4,5	1,603	-	-	-	-	ВА-47-29
L3	QF3	0,4	0,4	1	0,096	4,5	0,493	-	-	-	-	ВА-47-29
L4	QF4	0,4	0,4	125	117,348	25	3,818	-	-	-	-	ВА-89-32
L5	QF5	0,4	0,4	25	20,9	4,5	1,603	-	-	-	-	ВА-47-29
L6	QF6	0,4	0,4	1	0,096	4,5	0,493	-	-	-	-	ВА-47-29
L7	QF7	0,4	0,4	125	117,348	25	3,818	-	-	-	-	ВА-89-32
L8	QF8	0,4	0,4	25	20,9	4,5	1,603	-	-	-	-	ВА-47-29
L9	QF9	0,4	0,4	1	0,096	4,5	0,493	-	-	-	-	ВА-47-29
L10	QF10	0,4	0,4	4	3,248	4,5	0,493	-	-	-	-	ВА-47-29
Магнітні пускачі												
L1	KM1	0,4	0,4	125	117,348	8,3	3,818	-	-	-	-	ПМЛ-663216
L2	KM2	0,4	0,4	25	20,9	2,9	1,603	-	-	-	-	ПМЛ-263202
L4	KM4	0,4	0,4	125	117,348	8,3	3,818	-	-	-	-	ПМЛ-663216
L5	KM5	0,4	0,4	25	20,9	2,9	1,603	-	-	-	-	ПМЛ-263202
L7	KM7	0,4	0,4	125	117,348	8,3	3,818	-	-	-	-	ПМЛ-663216
L8	KM8	0,4	0,4	25	20,9	2,9	1,603	-	-	-	-	ПМЛ-263202

Висновки до 2 розділу

Для забезпечення надійного електропостачання цеху екструзії на основі повного розрахункового навантаження $S = 144,4$ кВА розроблена двотрансформаторна схема електропостачання з використанням трансформаторів ТМ-160/10, яка забезпечить живлення екструдерів з системою вентиляції та освітлення для всіх режимів роботи.

Електрична мережа цеху виконана кабелем АВВГ з урахуванням технологічних умов та розрахункових навантажень.

Пускова та захисна апаратура (роз'єднувач РВЗ, автоматичні вимикачі серії ВА-47 та магнітні пускачі серії ПМЛ) була обрана на основі розрахункових струмів в номінальному режимі та режимі КЗ і забезпечить надійну роботу в нормальних та аварійних режимах.

					ДП ОА11.06.000 ПЗ	
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

3. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Аналіз літературних джерел для виявлення проблематики

У сучасних умовах інтенсивного розвитку промисловості важливим завданням стає ефективна організація систем вентиляції на підприємствах. Вентиляційні системи відіграють вирішальну роль у формуванні сприятливого мікроклімату, збереженні здоров'я працівників, підвищенні енергоефективності та зниженні негативного впливу на довкілля. Багато наявних вентиляційних систем є застарілими й не відповідають сучасним вимогам щодо енергозбереження та автоматизації.

На теперішній час можна виділити декілька основних шляхів удосконалення систем промислової вентиляції:

- встановлення рекуператорів;
- встановлення частотних перетворювачів;
- застосування енергоефективних двигунів та заміна АС-двигунів на ЕС-двигуни;
- використання сучасних фільтраційних систем [5].

Встановлення рекуператорів. Головне завдання такого апарату полягає у поверненні теплової енергії, втраченої через систему вентиляції [5]. Рекуператор тепла має подвійні стінки з розмежувачами, що мають високу теплопровідність. Вони перешкоджають змішанню теплих і холодних мас, які рухаються паралельно чи перехресно. Однак через розмежувачі потік повітря, забраний з вулиці, охолоджується або прогрівається масами, що виходять з приміщення, до потрібної температури. Таким чином відбувається повернення енергії для повторної експлуатації [5].

Переваги. По-перше, це сприяє енергозбереженню — сучасні пристрої здатні повертати до 85% теплової енергії взимку та охолодження влітку. Крім того, встановлення рекуператорів дозволяє суттєво зменшити витрати на опалення та

					ДП ОА11.06.000 ПЗ						
Зм	Арк.	№ докум.		Дата							
Розроб.		Бушtruk Є.В.			Спеціальна частина			Літ.	Лист	Листів	
Перевір.		Мейта О.В.								39	
Реценз.								КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. АЕМК гр.ОА-11			
Н. Контр.		Кулаковський Л.Я.									
Затверд.		Бойченко С.В.									

кондиціювання повітря. Найважливіше — такі системи підтримують автоматизацію процесів, що мінімізує потребу в постійному втручанні з боку персоналу.

Автоматизація системи промислової вентиляції з рекуператорами за допомогою датчиків. Така система може бути автоматизована за допомогою датчиків температури, вологості, присутності та датчиками VOC. Наприклад, датчик температури буде вимірювати температуру приливної, витяжної або зовнішнього повітря. Датчик вологості контролювати вологість повітря в приміщенні та якщо вологість надмірна рекуператор збільшить об'єм повітрообміну. Датчик VOC буде визначати забруднення в повітрі та якщо рівень перевищує норму рекуператори будуть збільшувати приплив свіжого повітря. Датчик присутності виявлятиме людей в приміщенні і за відсутності людей система перейде в режим енергозбереження.

Недоліки. Рекуператор має високу вартість та його складно інтегрувати в існуючу систему.

Встановлення частотних перетворювачів. Частотний перетворювач регулює частоту та напругу подачі струму до електродвигуна вентилятора.

Переваги. Частотний перетворювач дає змогу плавно змінювати швидкість обертання вентилятора, що дозволяє регулювати продуктивність вентиляції відповідно до фактичних потреб. Такий спосіб керування є енергоефективним, оскільки забезпечує зниження обертів вентилятора в періоди низького навантаження, особливо тоді, коли немає потреби у постійній роботі на повній потужності. Інвертор ПЧ також забезпечує м'який запуск електродвигуна, що зменшує механічне навантаження на обладнання і знижує пусковий струм. Завдяки ПЧ можна точно контролювати швидкість вентилятора, що сприяє зменшенню рівня шуму та продовженню терміну служби агрегатів завдяки м'якому старту й адаптивному режиму роботи. Крім того, сучасні частотні перетворювачі легко інтегруються з автоматизованими системами управління [5].

Недоліки. Частотні перетворювачі є дорогим обладнанням, проте зазвичай їх вартість окупається протягом двох років завдяки значній економії електроенергії.

					ДП ОА11.06.000 ПЗ	
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Варто враховувати, що не всі електродвигуни сумісні з ПЧ, тому на окремих підприємствах може виникнути потреба в їхній заміні або модернізації. Крім того, використання частотних перетворювачів передбачає додаткові витрати на технічне обслуговування.

Сучасні фільтраційні системи. Такі системи очищення повітря використовують високоефективні фільтри для затримки пилу, токсичних газів, шкідливих мікрочастинок, запахів та легких органічних сполук. Для правильної фільтрації вентиляційної системи промислового цеху потрібно три види фільтрів: для попереднього захисту, для основної фільтрації та для хімічного очищення [5].

Переваги. Якісне очищення повітря. Комплексний підхід із застосуванням трьох типів фільтрів (попередній, основний та хімічний) дозволяє забезпечити багаторівневий захист і ефективне очищення на різних етапах. Сучасні фільтраційні систему підвищують безпеку працівників, знижуючи рівень забруднень у робочому середовищі. Сприяє підтриманню стабільного мікроклімату на підприємстві та захисту обладнання від забруднень.

Недоліки. Висока вартість впровадження та обслуговування таких систем, особливо через необхідність регулярної заміни або очищення фільтрів.

Системи з ЕС-двигунами. ЕС-двигуни мають вбудований контролер, що забезпечує плавне й точне регулювання швидкості. Постійні магніти в роторі взаємодіють із магнітним полем статора, яке змінюється залежно від поданого струму. Контролер автоматично подає струм потрібної полярності, реагуючи на сигнали 4–20 мА або 0–10 В. Це дозволяє двигуну обертатися з точно заданою швидкістю при мінімальних енерговитратах [5].

Переваги ЕС-вентилятора. Перш за все, вони сприяють зниженню споживання електроенергії завдяки своїй високій енергоефективності. Завдяки великому коефіцієнту корисної дії ЕС-вентилятори мінімізують теплові втрати. Крім того, термін служби ЕС-вентилятора значно довший завдяки відсутності швидкозношуваних компонентів.

Недоліки. ЕС-вентилятори мають значно вищу ціну порівняно з АС-аналогами, навіть при однакових технічних характеристиках. Ще одним недоліком

					ДП ОА11.06.000 ПЗ	41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

є складність ремонту: через вбудовану електроніку відновлення часто буває неможливим або економічно недоцільним, тому у разі поломки вентилятор зазвичай замінюють повністю.

Проаналізувавши попередні 4 методи удосконалення промислової вентиляції, було обрано наступних два:

- встановлення рекуператорів в локальну систему від екструдера, тому що під час переробки полімерних матеріалів екструдери виділяють багато тепла, яке в подальшому можна застосовувати для зменшення витрат на обігрів цеху;
- встановлення ПЧ на асинхронний двигун вентилятора, для налагодження правильної роботи останнього, продовження його терміну служби, зменшення шуму та вібрації.

3.2 Розрахунок системи вентиляції

3.2.1 Визначення розрахункових параметрів внутрішнього повітря

У виробничому цеху екструзії з переробки полімерних матеріалів мікрокліматичні параметри — температура внутрішнього повітря, відносна вологість та швидкість його руху — повинні відповідати вимогам чинного нормативного документа України ДБН В.2.5-67:2013.

Таблиця 3.1 – Параметри внутрішнього повітря цеху екструзії

Період року	Температура, °C		Відносна вологість, %		Швидкість вітру, м/с	
	Дійсна	Допустима	Дійсна	Допустима	Дійсна	Допустима
Теплий	22	18-25	55	40-60	0,3	0,2-0,3
Холодний	18	17-23	57	40-60	0,2	0,1-0,2

Дійсні значення температури, відносної вологості та швидкості вітру в цеху екструзії полімерних відходів були взяті на підприємстві під час проходження практики.

Проектування ефективної системи вентиляції виробничих приміщень є ключовим етапом забезпечення належного мікроклімату, санітарно-гігієнічних умов праці та дотримання нормативних вимог. Далі буде виконано розрахунок

основних параметрів вентиляції екструзійного цеху підприємства з переробки полімерних відходів, що включає визначення надлишків тепла, вологості та концентрацій вуглекислого газу, які надходять у повітряне середовище приміщення. Розрахунки виконано з урахуванням технологічного навантаження, кількості персоналу, потужності обладнання та кліматичних умов.

Визначення надлишків тепла

Визначення надлишків тепла влітку розраховується за формулою (3.2.1), а взимку за формулою (3.2.2):

$$\Delta Q_{\text{тпр}} = Q_{\text{люд}} + Q_{\text{с.рад.}} + Q_{\text{осв.}}; \quad (3.2.1)$$

$$\Delta Q_{\text{хпр}} = Q_{\text{люд}} + Q_{\text{осв.}} - Q_{\text{огр.}}, \quad (3.2.2)$$

де $Q_{\text{люд}}$ – тепло, поступаюче від людей, Вт; $Q_{\text{с.рад.}}$ – тепло, поступаюче від сонячної радіації, Вт; $Q_{\text{осв.}}$ – тепло, поступаюче від джерел світла, Вт; $Q_{\text{огр.}}$ – тепловтрати, поступаючі через огорожувальні конструкції (стіни, дах, вікна), Вт.

За формулою (3.2.3) знайдемо тепло, поступаюче від людей:

$$Q_{\text{люд}} = n \cdot q = 55 \cdot 24 = 1320 \text{ Вт}, \quad (3.2.3)$$

де n – кількість людей в цеху, люд; q – тепловиділення від однієї людини, Вт/люд.

За формулою (3.2.4) знайдемо тепло, поступаюче від джерел світла:

$$Q_{\text{осв.}} = E \cdot F \cdot q_{\text{осв.}} \cdot \eta = 350 \cdot (35 \cdot 20) \cdot 0,067 \cdot 0,9 = 14774 \text{ Вт}, \quad (3.2.4)$$

де E – освітленість цеху (для цеху екструзії $E = 350$ лк); F – площа підлоги, м²; $q_{\text{осв.}}$ – питомі тепловиділення ($q_{\text{осв.}} = 0,067$ Вт/м²); η – частина тепла, що надходить в приміщення ($\eta = 1$).

Для теплого періоду розрахуємо тепло, поступаюче від сонячної радіації за формулою (2.3.5):

$$Q_{\text{с.рад.}} = Q_{\text{скл.}} + Q_{\text{покр.}}, \quad (3.2.5)$$

де $Q_{\text{скл.}}$ – тепло, поступаюче через скління, Вт; $Q_{\text{покр.}}$ – тепло, поступаюче через покриття, Вт.

Знаходимо тепло, поступаюче через покриття за формулою (3.2.6):

$$Q_{\text{с.рад.}}^{\text{покр.}} = F \cdot q_n = 8 \cdot (35 \cdot 20) = 5600 \text{ Вт}, \quad (3.2.6)$$

					ДП ОА11.06.000 ПЗ	
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

де F – площа покриття цеху, м^2 ; q_n – тепловий потік ($q_n = 8 \text{ Вт/м}^2$).

Розраховуємо тепло, поступаюче через скління за формулою (3.2.7):

$$Q_{\text{с.рад.}}^{\text{скл.}} = F_{\text{ск.}} \cdot q_{\text{ск.}}, \quad (3.2.7)$$

де $F_{\text{ск.}}$ – площа скління, м^2 ; $q_{\text{ск.}}$ – тепловий потік через скління, (для енергоефективного скління $q_{\text{ск.}} = 39 \text{ Вт/м}^2$).

Площу скління знайдемо за формулою (3.2.8)

$$F_{\text{ск.}} = N \cdot S_{\text{в}} = 10 \cdot (1,5 \cdot 2) = 30 \text{ м}^2, \quad (3.2.8)$$

де N – кількість вікон в цеху екструзії, шт; $S_{\text{в}}$ – площа одного вікна, м^2 .

Тепло, поступаюче через скління розраховуємо за формулою (3.2.7):

$$Q_{\text{с.рад.}}^{\text{скл.}} = F_{\text{ск.}} \cdot q_{\text{ск.}} = 30 \cdot 39 = 1170 \text{ Вт.}$$

Тепло, що надходить від сонячної радіації за формулою (3.2.5) дорівнює:

$$Q_{\text{с.рад.}} = Q_{\text{с.рад.}}^{\text{скл.}} + Q_{\text{с.рад.}}^{\text{покр.}} = 1170 + 5600 = 6770 \text{ Вт.}$$

Для холодного періоду розрахуємо тепловтрати, поступаючі через огорожувальні конструкції за формулою (2.3.9):

$$Q_{\text{огр}} = q_0 \cdot V \cdot \Delta t \cdot k_i = 0,39 \cdot (35 \cdot 20 \cdot 6) \cdot (22 - 18) \cdot 1,05 = 6880 \text{ м}^2, \quad (3.2.9)$$

де q_0 – питома тепла характеристика цеху ($q_0 = 0,39 \text{ Вт/м}^3$); V – об'єм цеху, м^3 ; k_i – коефіцієнт зовнішньої температури ($k_i = 1,05$); Δt – різниця температур, $^{\circ}\text{C}$.

За формулою (3.2.1) визначимо надлишки тепла в теплий період року:

$$\Delta Q_{\text{тпр}} = Q_{\text{люд}} + Q_{\text{с.рад.}} + Q_{\text{осв.}} = 1320 + 6770 + 14774 = 22864 \text{ Вт.}$$

За формулою (3.2.2) визначимо надлишки тепла в холодний період року:

$$\Delta Q_{\text{хпр}} = Q_{\text{люд}} + Q_{\text{осв.}} - Q_{\text{огр.}} = 1320 + 14774 - 6880 = 9214 \text{ Вт.}$$

Визначення надлишкового надходження вологи

Надходження вологи у виробниче середовище відбувається внаслідок фізіологічних процесів організму людини, зокрема через дихання та випаровування з поверхні шкіри. Окрім цього, джерелами вологи можуть бути відкриті вільні поверхні вологих матеріалів, технологічні процеси з використанням рідин або хімічні реакції, що супроводжуються утворенням парів.

					ДП ОА11.06.000 ПЗ	44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Кількість вологи, що надходить до повітряного середовища приміщення від персоналу, розраховується за формулою (3.2.10):

$$W_{\text{тпр(хпр)}} = w_{\text{тпр(хпр)}} \cdot n, \quad (3.2.10)$$

де w – виділення вологи одним працівником, г/год; n – кількість працівників, люд.

$$W_{\text{тпр}} = w_{\text{тпр}} \cdot n = 48 \cdot 24 = 1152 \text{ г/год} = 1,152 \text{ кг/год};$$

$$W_{\text{хпр}} = w_{\text{хпр}} \cdot n = 40 \cdot 24 = 960 \text{ г/год} = 0,96 \text{ кг/год}.$$

Надходження вуглекислого газу

Кількість вуглекислого газу, що виділяється людиною під час дихання, є важливим параметром при розрахунку необхідного повітрообміну в приміщеннях, особливо у виробничих цехах або інших місцях з великою кількістю людей. Кількість виділення CO_2 залежить від інтенсивності праці та розраховується за допомогою табличних даних.

Проведемо розрахунок виділення CO_2 від одного працівника (3.2.11):

$$G_{\text{тпр(хпр)}}^{CO_2} = g_{CO_2} \cdot n = 23 \cdot 24 = 40,8 \text{ л/год}, \quad (3.2.11)$$

g_{CO_2} – виділення CO_2 від одного працівника, л/год; n – кількість працівників, люд.

Таблиця 3.2 – Результати розрахунку основних параметрів вентиляції

Період року	Надходження тепла, Вт					Надходження вологи, кг/год	Надходження CO_2 , л/год
	від люд.	від дж. св.	від сон. рад.	тепловтр.	всього		
Теплий	1320	14774	6770	-	22864	1,152	40,8
Холодний			-	6880	9214	0,96	

3.2.2 Розрахунок повітрообміну

У даному підрозділі проведено комплексний розрахунок повітрообміну для екструзійного цеху підприємства з переробки полімерів, згідно двох ключових критеріїв: згідно з кількістю присутніх працівників, а також для компенсації надлишкового тепловиділення від обладнання, людей та інших внутрішніх джерел.

Розрахунки виконано на основі чинних нормативів (ДБН В.2.5-67:2013), з урахуванням об'ємно-планувальних характеристик приміщення, теплонавантаження від технологічного устаткування (екструдерів), кількості персоналу та показників теплопередачі. Здійснене порівняння отриманих результатів дозволяє визначити найбільш критичний фактор, що визначає потребу у вентиляційному повітрі, та обґрунтувати проектне значення повітрообміну.

Розрахуємо повітрообмін відповідно до кількості людей за формулою (3.2.12):

$$L_{\text{кл}} = L_{\text{н}} \cdot n = 45 \cdot 24 = 1080 \text{ м}^3/\text{год}, \quad (3.2.12)$$

де $L_{\text{н}}$ – норма повітря на одного працівника (при легкій фізичній праці $L_{\text{н}} = 45, \text{ м}^3/\text{год} \cdot \text{люд}$); n – кількість працівників, люд.

Повітрообмін для видалення надлишкового тепла знайдемо за формулою (3.2.13):

$$L_{\text{нт}} = \frac{Q_{\text{тепл}}}{\rho \cdot C_p \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{п}})}, \quad (3.2.13)$$

де Q – кількість тепла, що виділяється від екструдерів, кВт; ρ – густина повітря ($\rho = 1,205 \text{ кг}/\text{м}^3$); C_p – питома теплоємність повітря ($C_p = 1,005 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$); $t_{\text{в}}$ – температура повітря, що виділяється, °С; $t_{\text{п}}$ – температура свіжого (припливного) повітря, °С.

Кількість тепла, що виділяється від екструдерів розраховуємо за формулою (3.2.14):

$$Q_{\text{тепл}} = 0,3 \cdot N \cdot P_{\text{е}} = 0,3 \cdot 3 \cdot 50 = 45 \text{ кВт}, \quad (3.2.14)$$

де $P_{\text{е}}$ – потужність одного екструдера, кВт; N – кількість екструдерів, шт.

Знаходимо повітрообмін для видалення надлишкового тепла за формулою (3.2.14):

$$L_{\text{нт}} = \frac{Q_{\text{тепл}}}{\rho \cdot C_p \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{п}})} = \frac{45}{1,205 \cdot 1,005 \cdot (27 - 22)} = 7432 \text{ м}^3/\text{год}$$

Таблиця 3.3 – Результати розрахунку повітрообміну

Повітрообмін, м ³ /год	
для видалення надлишків тепла	відповідно до кількості людей
7432	1080

3.3 Огляд обладнання в системі вентиляції

Електростатичний фільтр

Електростатичний фільтр TRION T4002 – це високоефективний збирач забруднень, розроблений для видалення до 95% пилу, диму від виробництва поліетилену, гуми та пластику, рідких аерозолів та інших забруднюючих частинок із повітря, що проходить через модель [7].



Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд електростатичного фільтра TRION T4002

Електростатичний фільтр розроблений для встановлення в каналній системі вентиляції або перед нею, де рух повітря забезпечується іншими зовнішніми джерелами. Фільтр встановлюється перед вентилятором.

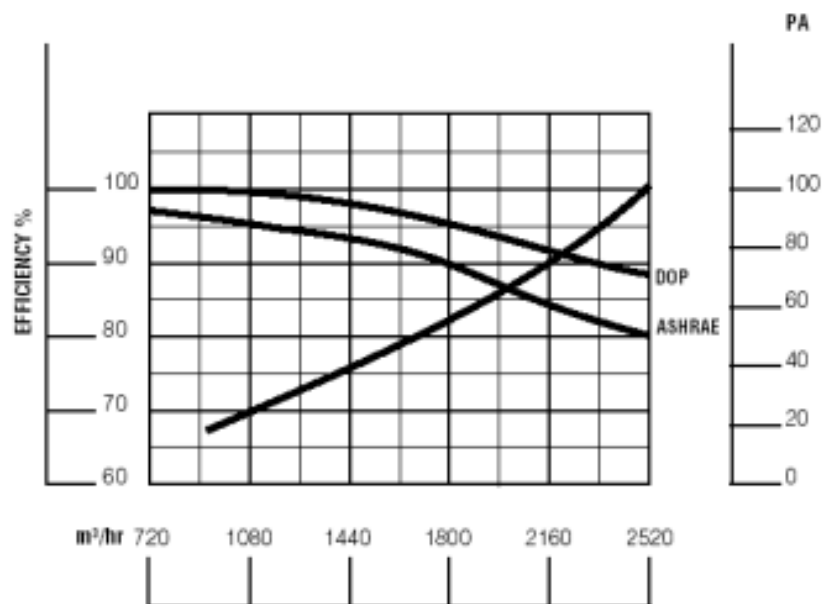


Рисунок 3.2 – Повітряний потік і ефективність однієї електростатичної комірки

У даній моделі процес очищення повітря базується на принципі електростатичного осадження. Спочатку повітря проходить через алюмінієвий сітчастий передфільтр, який виконує функцію затримання великих забруднюючих часток. Далі повітря подається в основний фільтрувальний модуль "Forever Filter", де створюється інтенсивне електричне поле. В іонізаційній секції частинки набувають електричного заряду, після чого спрямовуються до колекторної зони, що складається з паралельних алюмінієвих пластин із чергуванням позитивного та негативного зарядів. Заряджені частинки відштовхуються від пластин з однаковим зарядом і притягуються до пластин протилежного заряду, що забезпечує їх ефективне осадження. Відстань між пластинами становить 8 мм. Ця конструкція дозволяє ефективно вловлювати частинки розміром до 0,01 мікрона. Після проходження через фільтраційні секції очищене повітря виводиться з установки [7].

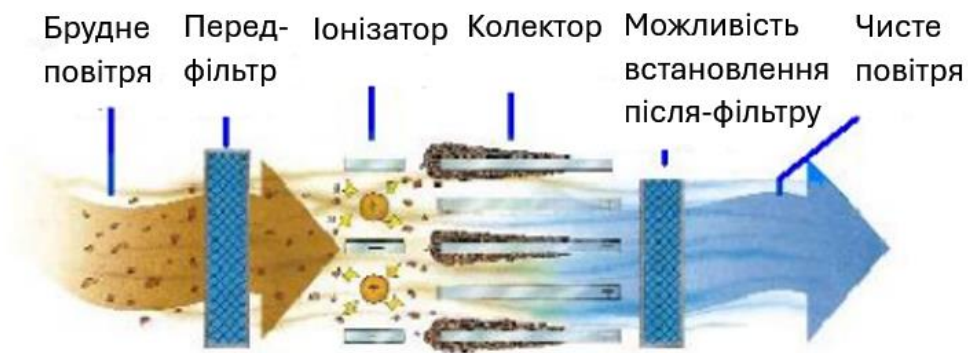


Рисунок 3.3 – Процес очищення повітря фільтром TRION T4002

Датчики тиску

Датчики тиску використовуються для вимірювання перепаду тиску на фільтрувальних елементах витяжної системи, таких як електростатичний фільтр TRION T4002 та лабіринтний фільтр. Принцип їх роботи полягає у визначенні різниці тиску між двома точками потоку повітря.

В нормальних умовах, коли фільтр чистий, перепад тиску є невеликим. В міру накопичення забруднень на фільтрі, опір потоку збільшується, що призводить до зростання перепаду тиску. Датчик повинен фіксувати це збільшення і передавати сигнал на систему управління.

Датчик тиску на витяжному вентиляторі контролює правильність роботи та виявляє зниження продуктивності вентилятора. Датчик вимірює різницю тиску між входом і виходом вентилятора. Вентилятор створює перепад тиску за рахунок додавання енергії до потоку повітря. Якщо вентилятор працює нормально, перепад тиску буде стабільним і відповідатиме розрахунковим характеристикам. Якщо датчик фіксує зменшення перепаду тиску, то можливі зупинка вентилятора або обертові проблеми. Збільшення перепаду тиску – засмічення фільтрів, повітроводів або інші гідравлічні опори в системі.

Датчик встановлений в кінці системи вимірює тиск і передає його у вигляді сигналу. На основі цих даних можна своєчасно виявляти зростання гідравлічного опору та визначати реальний стан усієї витяжної системи.

Проте датчики в системі застарілі і допускають похибки в роботі, тому у розділі 3.6 буде здійснена заміна старих датчиків на нові для автоматизації та підвищення надійності системи.

Вентилятор ROSENBERG UNO-ME 102-630-4DFU

В локальній системі вентиляції від екструдера встановлений вентилятор надійного німецького бренда ROSENBERG, він простий в керуванні, збалансований за продуктивністю та розмірами, сумісний з існуючою системою.

Технічні характеристики вентилятора ROSENBERG UNO-ME 102-630-4DFU:

- Потужність 8 кВт;
- Продуктивність 20450 м³/год;
- Температура переміщуваного середовища 80°C;
- Частота обертання 1460;
- Рівень шуму 96 дБ;
- Клас захисту IP54.

Вентилятор ROSENBERG UNO-ME 102-630-4DFU має високі показники шуму та помірну продуктивність по відношенню до своєї потужності, тому в пункті 3.4.1 буде здійснена його заміна.

3.4 Розрахунок та вибір обладнання

3.4.1 Вибір вентилятора

Розглядаючи технічні характеристики вентилятора ROSENBERG UNO-ME 102-630-4DFU можна відмітити високу потужність для даної системи вентиляції, що призводить до збільшеного енергоспоживання, невисокий ККД у порівнянні з іншими вентиляторами, велика частота обертання, що призводить до більшого зношування, шуму та вібрацій.

В якості заміни був обраний вентилятор ВЦ 4-75 №10. Зробимо порівняльну характеристику вентиляторів ROSENBERG UNO-ME 102-630-4DFU та ВЦ 4-75 №10 (табл. 3.4) для того щоб обґрунтувати заміну вентиляторів.

					ДП ОА11.06.000 ПЗ	
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Таблиця 3.4 – Порівняльна характеристика вентиляторів

Параметр	Rosenberg UNO ME 102-630-4 D FU	ВЦ 4-75 №10
Потужність двигуна, кВт	8	7,5
Напруга живлення	380 В, трифазна	380 В, трифазна
Продуктивність, м ³ /год	20 450	24 100
Температура переміщуваного середовища, °С	80	80
Тиск, Па	до 1350	до 1590
ККД, %	70 - 75	85
Рівень шуму, дБ	96	68
Клас захисту	IP54	IP55

Порівнюючи два вентилятор, можна дійти висновку що вентилятор ВЦ 4-75 №10 має велику кількість переваг:

- більшу енергоефективність: потужність вентилятора менша на 0,5 кВт, але ККД вищий, що призводить до значної економії енергії при тривалій експлуатації;
- більшу продуктивність: другий вентилятор пропускає на 3650 м³ більше повітря за одну годину, що дозволяє забезпечити кращу вентиляцію та використовувати вентилятор на меншій потужності;
- менший рівень шуму: рівень шуму значно зменшується, що важливо для персоналу, який працює поблизу обладнання;
- більшу довговічність: через нижчу частоту обертання стає менший знос підшипників, а отже довший ресурс вентилятора;
- більший клас захисту: IP55 забезпечує кращий захист у складному середовищі, а в нашій системі багато парів пластику.

Отже, вибрати вентилятор **ВЦ 4-75 №10** буде правильним рішенням, оскільки він економічніший, продуктивніший, тихіший та довговічніший.



Рисунок 3.4 – Загальний вигляд вентилятора

Тепер потрібно обрати електродвигун для вентилятора ВЦ 4-75 №10, для цього доцільно розрахувати потужність електродвигуна. Основні параметри для розрахунку потужності електродвигуна Q (виробничу спроможність вентилятора) та H (тиск повітря) в системі локальної вентиляції від екструдерів я взяла на підприємстві під час проходження практики.

3.4.2 Вибір електродвигуна

Розрахунок потужності електродвигуна за формулою (3.4.1):

$$P_{\text{дв}} = K_3 \cdot \frac{Q \cdot H}{\eta_v \cdot \eta_n} = 1,1 \cdot \frac{12\,500 \cdot 1350}{3600 \cdot 0,9 \cdot 0,8} = 7,161 \text{ кВт}, \quad (3.4.1)$$

де Q – виробнича спроможність вентилятора, $\text{м}^3/\text{с}$; H – тиск повітря, Па; η_v – ККД вентилятора ($\eta_v = 0,9$); η_n – коефіцієнт передачі ($\eta_n = 0,8$); K_3 – коефіцієнт запасу ($K_3 = 1,1$).

Вибираємо трифазний асинхронний двигун **AIP160S8** з номінальною потужністю 7,5 кВт.

Таблиця 3.5 – Паспортні дані двигуна AIP160S8

Двигун AIP 160 S8	
Потужність, кВт	7,5
Частота обертання умовна, об/хв	750
Частота обертання фактична, об/хв	720
Напруга, В	380
Сила струму, А	17,8
Коефіцієнт потужності	0,75
Співвідношення крутних моментів $M_{п}/M_{н}$	1,9
Співвідношення моментів сили, $M_{тах}/M_{н}$	2
Співвідношення струмів $I_{п}/I_{н}$	6
Момент інерції, $кг \cdot м^2$	0,08



Рисунок 3.5 – Зовнішній вигляд двигуна AIP160S8

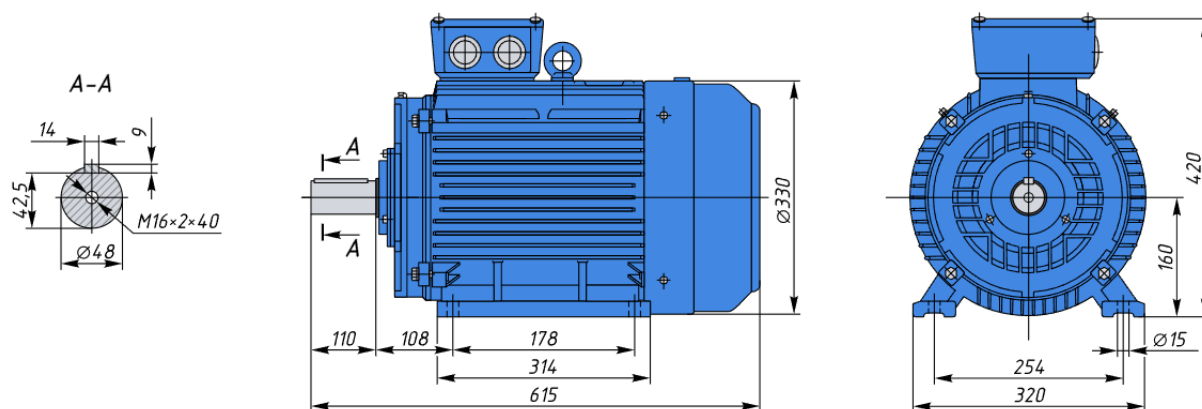


Рисунок 3.6 – Габаритні розміри двигуна AIP160S8

					ДП ОА11.06.000 ПЗ	53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.4.3 Вибір перетворювача частоти

Електричні асинхронні двигуни функціонують на основі явища електромагнітної індукції, при якому виникнення електрорушійної сили в обмотках ротора зумовлюється змінним магнітним полем статора. Частота обертання ротора при цьому визначається частотою живлення, що подається на статор, а також кількістю пар полюсів обмотки.

Для ефективного регулювання частоти обертання вала асинхронного електродвигуна застосовується перетворювач частоти (ПЧ). Цей пристрій здійснює зміну частоти та амплітуди напруги живлення, що надходить на двигун, дозволяючи точно контролювати його динамічні та статичні режими роботи.

У стандартних умовах електричні мережі постійно підтримують фіксовані значення частоти та напруги. Така стабільність обмежує можливості варіативного управління характеристиками електроприводу. Перетворювачі частоти долають це обмеження, забезпечуючи гнучке керування швидкістю обертання, моментом і напрямком руху.

Застосування ПЧ дозволяє підвищити енергоефективність приводу, знизити пускові струми, покращити динамічну стабільність системи та забезпечити адаптацію до змінних навантажень, що особливо важливо в промислових системах.

За потужністю двигуна обираємо перетворювач частоти **Altivar Machine ATV320B** від виробника **Schneider Electric**.

Таблиця 3.6 – Технічні характеристики ПЧ ATV320B

Перетворювач частоти ATV320B	
Потужність двигуна, кВт	7,5
Номинальний вхідний струм, А	17
Номинальна напруга живлення, В	380
Ступінь захисту	IP20

Перетворювачі частоти серії Altivar Machine ATV320B розроблені з метою оптимізації технічних характеристик машин, підвищення їх продуктивності та зниження експлуатаційних витрат.

Altivar Machine ATV320В забезпечує ефективне керування як асинхронними, так і синхронними електродвигунами, задовольняючи потреби як у базових, так і в складних конфігураціях автоматизованих систем. Серед ключових функціональних особливостей є:

- підтримка широкого спектру інтерфейсів промислової комунікації;
- максимальна продуктивність і надійність;
- підвищена стійкість до впливу агресивних середовищ;
- надійна експлуатація;
- зниження вартості володіння та експлуатації;
- компактні конструктивні рішення;
- мінімізація потреби у додатковому обладнанні;
- захист електроніки (згідно стандарту IEC 60721-3-3) [13].



Рисунок 3.7 – Зовнішній вигляд ПЧ ATV320В

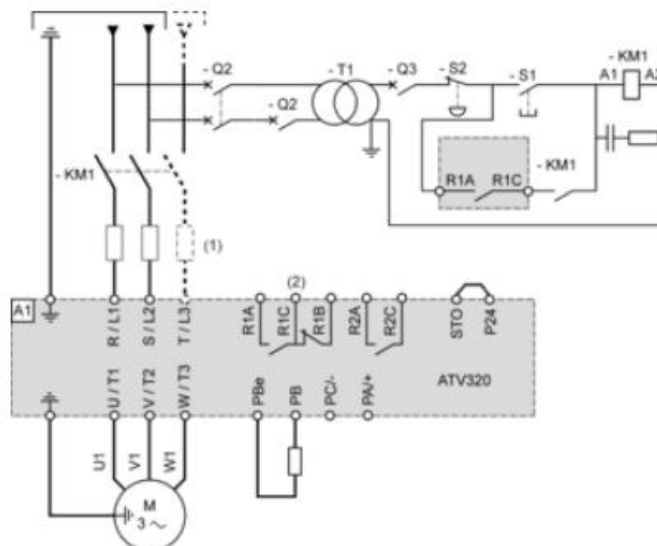


Рисунок 3.8 – Схема підключення ПЧ ATV320В

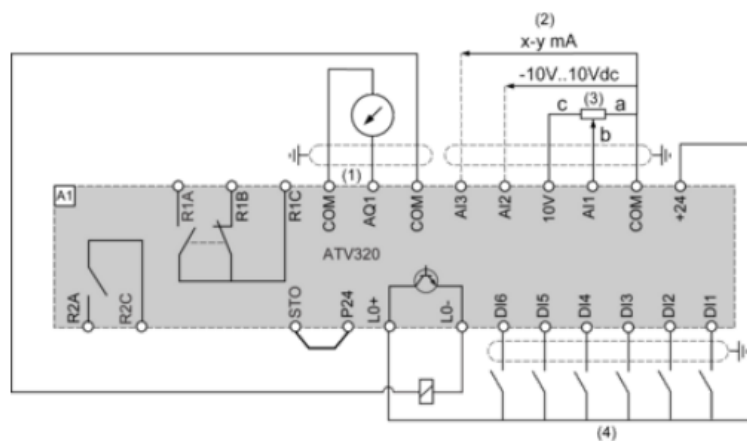


Рисунок 3.9 – Схема підключення блоку керування

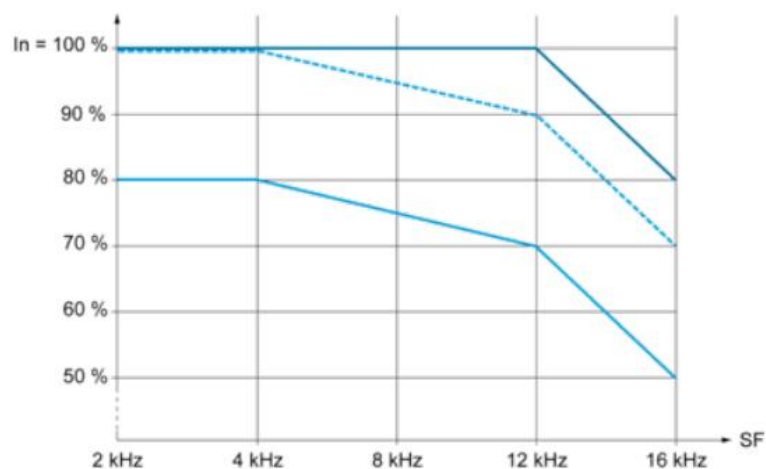


Рисунок 3.10 – Крива продуктивності

3.5 Додаткові елементи електромеханічної системи вентиляції

3.5.1 Вибір рекуператора

Для того щоб встановити рекуператор у локальну систему вентиляції від екструдера потрібно врахувати як технічні параметри системи, так і умови експлуатації.

Параметри системи, які потрібно врахувати:

- температура повітря на виході: вона може досягати 80°C, що є в межах стандартних робочих температур;
- продуктивність системи: вентилятор має продуктивність до 24 100 м³/год, тому рекуператор розраховується за такою саме продуктивністю, щоб його ефективність була високою та не створювався високий опір;
- тип повітря: попередньо очищене повітря, за допомогою електростатичного та лабіринтного фільтрів.

Таблиця 3.7 – Параметри для рекуператора

Параметр	Значення
Витрата повітря, м ³ /год	24100
Температура повітря, °C	65
Температура зовнішня, °C	5
Різниця температур, °C	60
ККД рекуператора	70%
Теплоємність повітря, кДж/(кг · К)	1,005
Густина повітря, кг/м ³	1,2

Розрахуємо кількість тепла, що повинна бути рекуперована за допомогою формули (3.7.1):

$$Q_p = V \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta T \cdot \eta, \quad (3.7.1)$$

де V – витрата повітря, м³/с; ρ – густина повітря, кг/м³; c_p – теплоємність повітря кДж/(кг · К); ΔT – різниця температур, °C; η – ККД рекуператора.

$$Q_p = \frac{24100}{3600} \cdot 1,2 \cdot 1,005 \cdot 60 \cdot 0,7 = 338,9 \text{ кВт.}$$

За розрахунковими даними був обраний рекуператор **Vents ПР 1000х500**.
Встановити його потрібно між вентилятором та виходом у димохід.

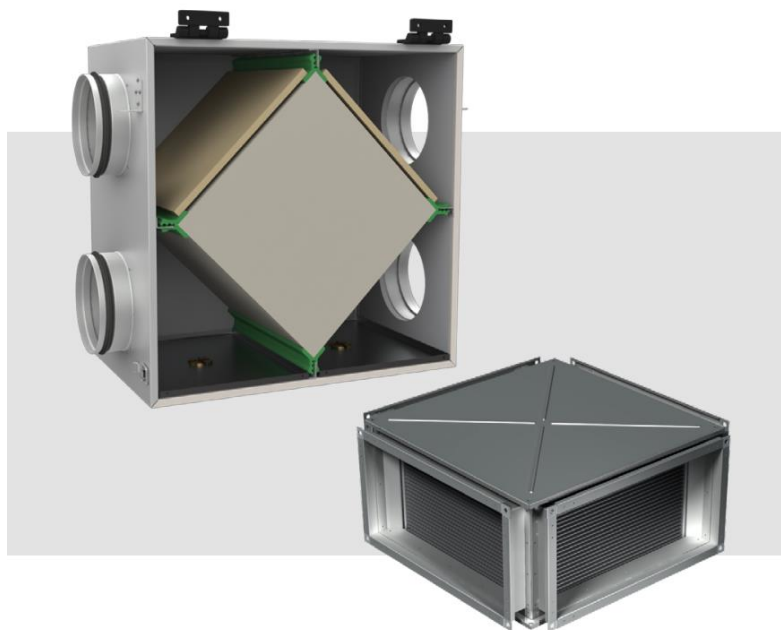


Рисунок 3.11 – Зовнішній вигляд рекуператора Vents ПР 1000х500

Будова. Виріб складається з теплообмінної вставки (набору пластин) і корпусу. Зібрані по черзі між собою пластини утворюють єдиний стек із повітряними каналами. Поздовжні канали в пластинах розміщені паралельно один одному, якими не змішуючись переміщуються повітряні потоки [9].

Принцип дії. Забруднене повітря з приміщення надходить у виріб і видаляється на вулицю. Чисте повітря з вулиці проходить через виріб і подається в приміщення. У виробі відбувається обмін тепловою енергією теплого (охолодженого) забрудненого повітря, що надходить із кімнати, і чистого холодного (теплого) повітря, що надходить із вулиці. Рекуперація мінімізує втрати теплової енергії та експлуатаційні витрати на обігрів приміщень у холодний період року або на охолодження приміщень у теплий період. Потоки припливного і витяжного повітря рухаються за принципом протитечії — один назустріч іншому. Теплова енергія передається через тонкі стінки пластин [9].

Такий рекуператор дозволить економити електроенергію в системі, тобто повертати до 70% тепла з відпрацьованого повітря, створить стабільний мікроклімат у цеху, покращить екологічні показники та підвищить загальну ефективність вентиляції.

3.5.2 Вибір датчиків тиску

В системі вже встановлені датчики тиску AMS 5612 проте вони застарілі і потребують заміни.

Перш за все, в датчиках тиску AMS 5612 немає зворотнього зв'язку, тобто неможливо точно відстежити тиск або перепад в реальному часі. Вони складні в діагностиці, у разі несправності або відхилення показників потрібно ручне втручання, тому що на них відсутня індикація чи сигналізація. В датчиках тиску AMS 5612 низька точність і дрейф показань, саме тому помилкові сигнали ведуть до неправильної роботи: перевитраті енергії або перегріву. Також такі датчики вже несумісні з сучасними контролерами.

Заміна датчиків тиску на більш нові **Danfoss DST P140**.

Таблиця 3.8 - Основні параметри датчика тиску Danfoss DST P140

Параметр	Значення
Точність	$\pm 0,5 \%$
Час відгуку	$< 2 \text{ мс}$
Діапазон вимірювання	$\pm 1000 \text{ Па}$
Захист від КЗ	4-20 мА
Міцність	$> 10 \text{ міл.циклів}$
Захист	IP67
Температура	$-40 +125^{\circ}\text{C}$



Рисунок 3.12 – Зовнішній вигляд датчика тиску Danfoss DST P140

Заміна датчиків тиску підвищить точність та стабільність вимірювань. Датчики Danfoss DST P140 відзначаються високою метрологічною точністю та стабільністю вимірювань завдяки використанню кремнієвої технології на базі сенсора, що дозволяє точніше реєструвати перепади тиску в системі вентиляції. Датчики тиску DST P140 працюють у великому температурному діапазоні і витримують вібраційні та агресивні умови виробництва, що дуже важливо в умовах роботи екструдера полімерних відходів, де температура повітря може змінюватися. Нові сенсори підтримують функції самодіагностики і можуть попереджати про відхилення або збої, що допомагає при технічному обслуговуванні.

					ДП ОА11.06.000 ПЗ	
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

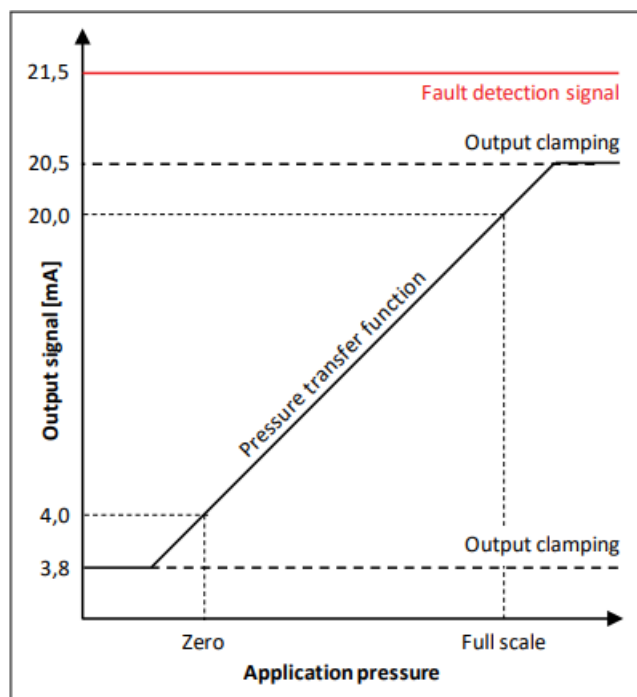


Рисунок 3.13 – Графік виводу і діагностики

3.5.3 Вибір датчиків температури

Для того щоб модернізувати існуючу систему вентиляції від екструдера потрібно встановити два датчики температури. Один датчик температури **Siemens QAE2120.010** одразу за екструдером, щоб розуміти повітря з якою температурою заходить у систему. Другий датчик **Siemens QAE2120.010** потрібно встановити, щоб розуміти чи коректно працює рекуператор та загальна система вентиляції.

Таблиця 3.9 – Параметри датчика температури Siemens QAE2120.010

Параметр	Значення
Діапазон вимірів	-30...-125°C
Точність	0,03%
Тип	Pt1000
Клас захисту	IP65



Рисунок 3.14 – Вигляд датчика температури Siemens QAE2120.010

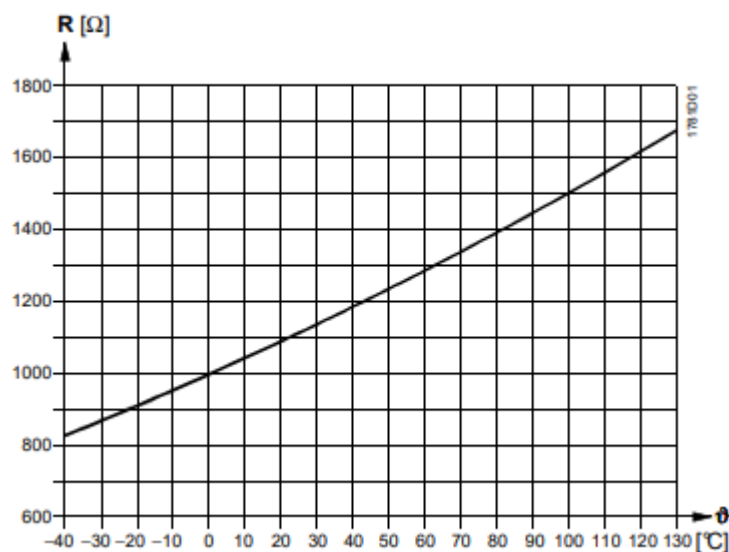


Рисунок 3.15 – Робоча характеристика датчика температури Siemens QAE2120.010

Переваги встановлення датчиків температури:

- Автоматичне регулювання вентиляцією: витяжна система буде змінювати потужність залежно від температури;
- Захист обладнання від перегріву: якщо температура перевищує допустиму, то спрацьовує аварійна зупинка;
- Можливість автоматизації: можна оптимізувати режими екструдера та вентиляції контролюючи теплове навантаження;
- Підвищення ефективності рекуператора: можливість налаштування системи для зменшення втрат;
- Можливість інтеграції в системи автоматизації.

3.5.4 Вибір датчиків вологості

Під час роботи екструдера, особливо при обробці полімерів, у повітрі накопичується волога. Підвищений рівень вологості призводить до зниження ефективності охолодження та теплообміну, сприяє запиленню та конденсації у вентиляльних каналах, може навіть викликати корозію у системах вентиляції, тому доцільно встановити датчики вологості.

Для локальної системи вентиляції від екструдера потрібно встановити один датчик вологості **Siemens QFM2171** одразу після екструдера, для контролю вологості гарячого повітря, а другий датчик вологості **Siemens QFM2171** на виході з системи рекуперації для контролю ефективності вентиляції.

Таблиця 3.10 – Параметри датчика вологості Siemens QFM2171

Параметр	Значення
Діапазон вимірів	0...100%
Точність	±2%
Інтерфейс	аналоговий
Клас захисту	IP65



Рисунок 3.16 – Загальний вигляд датчика вологості Siemens QFM2171

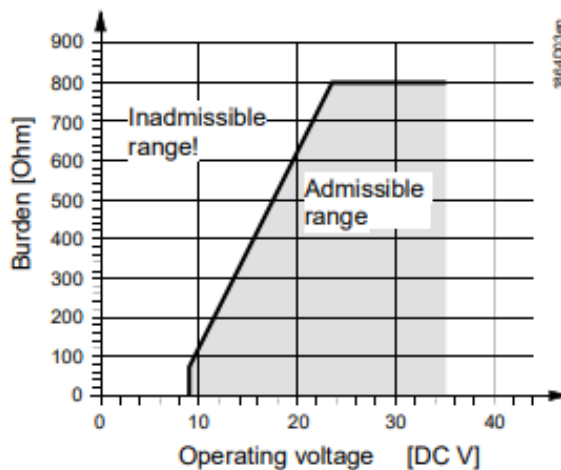


Рисунок 3.17 – Діаграма навантаження датчика вологості Siemens QFM2171

3.6 Моделювання системи ПЧ-АД в системі MATLAB

3.6.1 Розрахунок параметрів системи ПЧ-АД

Знайдемо повний момент інерції за формулою (3.6.1):

$$J = J_{\text{мех.пр}} + J_{\text{пр}}. \quad (3.6.1)$$

Для цього визначимо $J_{\text{мех}}$ з виразу $\frac{J_{\text{мех}}}{J_{\text{дв}}} = 1,5$:

$$J_{\text{мех.пр}} = 1,5 \cdot J_{\text{дв}} = 1,5 \cdot 0,008 = 0,016 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Повний момент інерції системи знаходимо за формулою (3.6.1):

$$J = J_{\text{мех.пр}} + J_{\text{пр}} = 0,016 + 0,008 = 0,024 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Номінальне значення кутової швидкості обертання визначимо за формулою (3.6.2):

$$\omega_{\text{ном}} = 0,105 \cdot n_{\text{ном}} = 0,105 \cdot 720 = 75,6 \frac{\text{рад}}{\text{с}}. \quad (3.6.2)$$

Номінальну кутову синхронну швидкість обертання розрахуємо за формулою (3.6.3):

$$\omega_0 = 0,105 \cdot n_0 = 0,105 \cdot 750 = 78,75 \frac{\text{рад}}{\text{с}}. \quad (3.6.3)$$

Конструктивний коефіцієнт двигуна $K_m = 2,6$.

За формулою (3.6.4) знаходимо повний опір двигуна:

$$R_e = R_1 + R'_2 = 0,2 + 0,08 = 0,28 \text{ Ом}. \quad (3.6.4)$$

Індуктивність двигуна розрахуємо за формулою (3.6.5):

$$L_e = \frac{X1 + X2'}{314} = \frac{0,5 + 0,079}{314} = 0,0018 \text{ Гн.} \quad (3.6.5)$$

Знаходимо еквівалентну сталу часу за формулою (3.6.6):

$$T_e = \frac{L_e}{R_e} = \frac{0,0018}{0,28} = 0,0064 \text{ с.} \quad (3.6.6)$$

Коефіцієнт передачі за формулою (3.6.7) дорівнює:

$$K_w = \frac{10}{w_{\text{ном}}} = \frac{10}{75,6} = 0,132. \quad (3.6.7)$$

Коефіцієнт передатної функції ПЧ за формулою (3.6.8) дорівнює:

$$K_{tp} = \frac{K_{cx} \cdot U_H}{10} = \frac{1,35 \cdot 400}{10} = 54. \quad (3.6.8)$$

Параметри ПІ-регулятора струму в системі знаходимо за формулами (3.6.9-3.6.10):

$$T_1 = T_e = 0,0064 \text{ с;} \quad (3.6.9)$$

$$T_2 = \frac{a_c \cdot T_\mu \cdot K_{tp} \cdot K_w}{R_e} = \frac{1 \cdot 0,01 \cdot 54 \cdot 0,132}{0,28} = 0,255 \text{ с.} \quad (3.6.10)$$

Номінальний момент двигуна дорівнює $M_H = 4,05$.

Знайдемо загальний коефіцієнт передачі за струмом за формулою (3.6.11):

$$K_i = \frac{10 \cdot K_m}{M_H} = \frac{10 \cdot 2,6}{4,05} = 6,42. \quad (3.6.11)$$

Параметр задатчика інтенсивності 1-ого порядку дорівнює $K_1 = 1,644$.

Параметр ПІ-регулятора швидкості розраховуємо за формулою (3.6.12):

$$K_{ar} = \frac{K_i \cdot J}{a_{ш} \cdot a_c \cdot T_\mu \cdot K_w} = \frac{6,42 \cdot 0,02}{1 \cdot 1 \cdot 0,01 \cdot 0,132} = 97,273. \quad (3.6.12)$$

Коефіцієнт навантаження дорівнює $K_m = 0,0002 [10]$.

3.6.2 Результати моделювання

Моделюємо установку в середовищі MATLAB та досліджуємо основні стадії роботи (табл 3.7). Можна відокремити 3 основні режими роботи вентилятора, за якими і будуть в подальшому слідувати стадії:

1. Робота на 100% (максимальний режим). Максимальна продуктивність вентилятора доцільна у випадках, коли відбувається активне екструдювання з максимальним навантаженням на установку, а також у надзвичайних ситуаціях, наприклад при перегріві обладнання, задимленні або перевищенні концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони. У цьому режимі забезпечується інтенсивне видалення забрудненого повітря та охолодження критичних елементів системи.

2. Робота на 80% (нормальний режим). Цей режим використовується під час стабільної роботи екструдера, коли процес екструдювання відбувається без надмірного тепловиділення або інтенсивного виділення летких компонентів. Робота вентилятора на 80% забезпечує ефективну локальну вентиляцію без зайвого споживання електроенергії, зберігаючи при цьому комфортні умови в зоні обслуговування.

3. Робота на 20% (режим простою або очікування). Робота вентилятора на мінімальній потужності доцільна в періоди між активними циклами роботи екструдера або під час технологічних пауз. У цьому режимі підтримується базовий рівень повітрообміну, що запобігає накопиченню залишкових випарів і забезпечує готовність системи до відновлення повноцінної роботи.

Таблиця 3.11 – Основні стадії роботи установки

№	Стадія	Умови
1	пуск	увімкнення системи
2	розгін до 100%	при температурі $> 70^{\circ}\text{C}$ або при вологості $> 70\%$
3	робота на 100%	робота при високій температурі/вологості
4	сповільнення на 20%	температура знижується з 70°C до 25°C , вологість – з 70% до 50%
5	робота на 80%	робота при середній температурі/вологості
6	сповільнення ще на 60%	при температурі $< 25^{\circ}\text{C}$ і при вологості $< 50\%$
7	робота на 20%	робота при низькій температурі/вологості
8	розгін до 100%	при температурі $> 70^{\circ}\text{C}$ або при вологості $> 70\%$
9	робота на 100%	робота при високій температурі/вологості
10	зупинка	аварійна ситуація або завершення роботи

J	0.0200
K1	1.6440
Kar	97.2730
Ki	6.4200
Km	2.6000
Ktp	54
Kv	2.0000e-04
Kw	0.1320
Re	0.2800
T1	0.0064
T2	0.2550
Te	0.0064
Tm	1.0000e-03

Рисунок 3.18 – Розрахунки заведені в m-файл середовища MATLAB

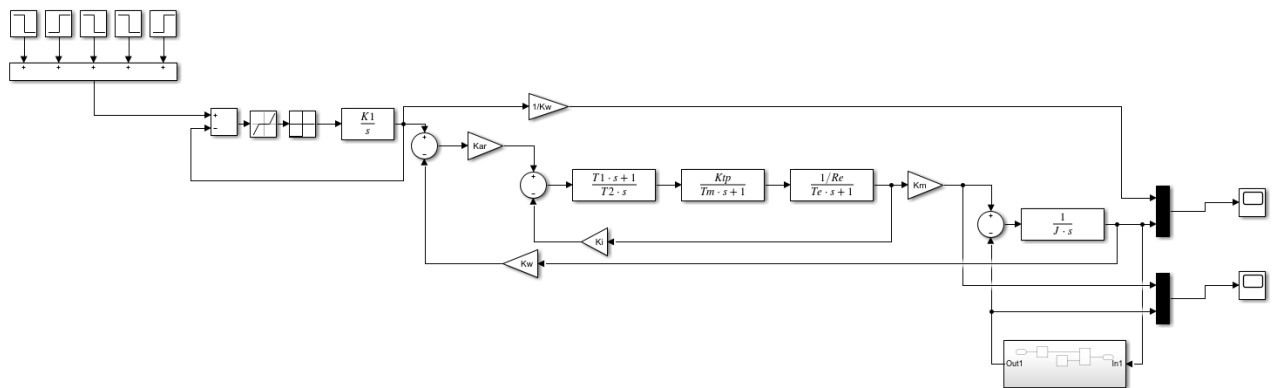


Рисунок 3.19 – Модель схеми ПЧ-АД вентиляторної установки

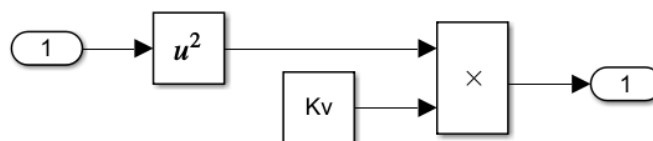


Рисунок 3.20 – Параметри підсистеми

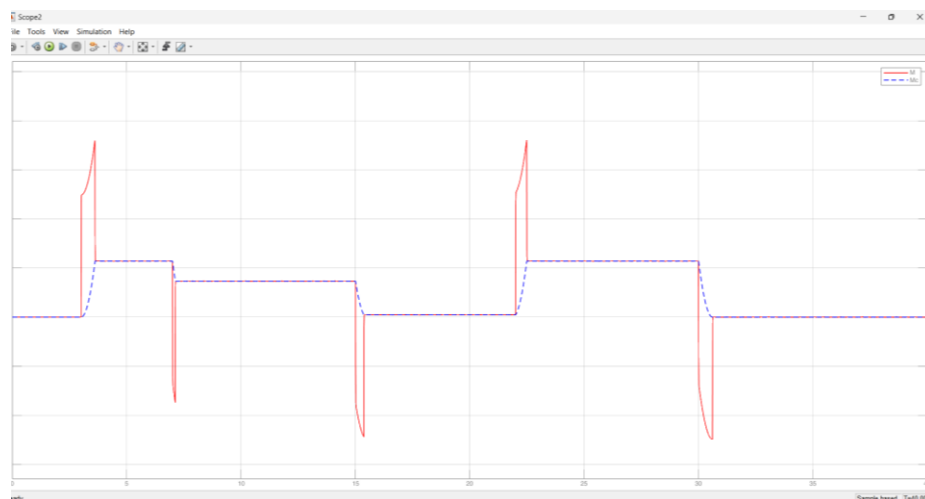


Рисунок 3.21 – Графік перехідних процесів по моменту на валу двигуна і статичному моменту (Нм)

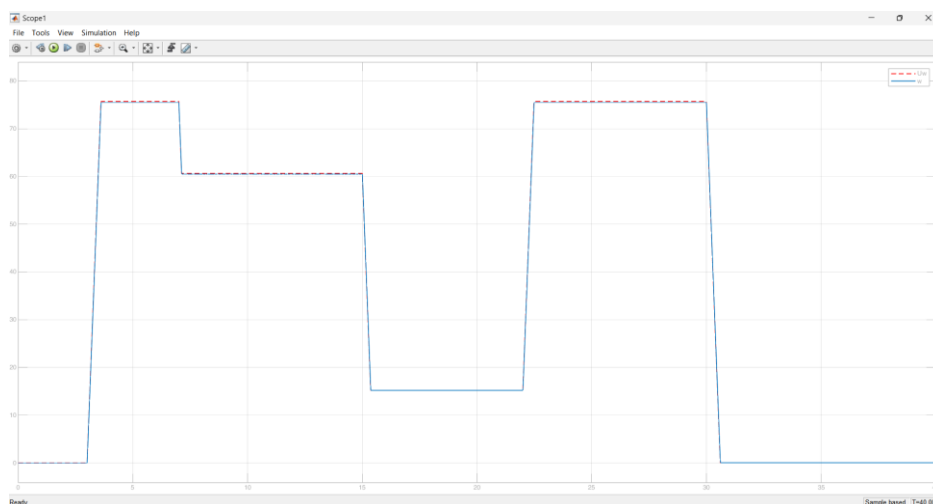


Рисунок 3.22 – Графік перехідних процесів по швидкості (рад/с)

На основі аналізу графіків можна зробити такі висновки: запуск і зупинка системи за швидкістю відбуваються плавно відповідно до заданій швидкості. За моментом спостерігаються незначні пульсації. У періоди пуску та гальмування фіксуються помітні сплески динамічного моменту, однак вони не перевищують допустимих значень. Отже, установка ефективно реалізує заданий алгоритм як у сталих режимах роботи, так і під час перехідних процесів

3.7 Економічне обґрунтування

3.7.1 Економічне обґрунтування встановлення рекуператора

В умовах цеху екструзії, де від технологічного обладнання (екструдерів) у повітря потрапляє значна кількість теплової енергії, встановлення пластинчастого рекуператора типу VENTS ПР 1000×500 дозволяє частково повернути це тепло в систему припливного повітря, тим самим зменшуючи витрати на підігрів свіжого повітря в холодний період року.

Для розрахунку окупності рекуператора, потрібно врахувати, що тривалість опалювального періоду в Україні 160-180 днів, або 4000-4300 годин у рік, для більш точно розрахунку обираємо менше значення. Вартість загального тарифу з 1 січня 2025 року становить 686,23 грн/МВт · год, що затверджено постановою НКРЕКП №2200 від 19.12.2024. Враховуємо також вартість рекуператора VENTS ПР 1000×500, яка становить 92000 грн. Загальні параметри рекуператора беремо з таблиці (3.7).

Таблиця 3.12 – Параметри для розрахунку окупності рекуператора

Параметр	Значення
Витрата повітря, м ³ /год	24100
Температура повітря, °С	65
Температура зовнішня, °С	5
Різниця температур, °С	60
ККД рекуператора	70%
Теплоємність повітря, кДж/(кг · К)	1,005
Густина повітря, кг/м ³	1,2
Час роботи за рік, год/рік	4000
Вартість електроенергії, грн/кВт · год	0,686
Вартість рекуператора, грн	92000

Розрахуємо кількість тепла, що повинна бути рекуперована за допомогою формули (3.7.1):

$$Q_p = \frac{V \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta T \cdot \eta \cdot t}{3600^2} = \frac{24100 \cdot 1,2 \cdot 1,005 \cdot 60 \cdot 0,7 \cdot 4000}{3600^2} \quad (3.7.1)$$

$$= 376,763 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік},$$

де V – витрата повітря, $\text{м}^3/\text{с}$; ρ – густина повітря, $\text{кг}/\text{м}^3$; c_p – теплоємність повітря $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$; ΔT – різниця температур, $^{\circ}\text{C}$; η – ККД рекуператора; t – час роботи системи за рік, год.

Щорічну економію електроенергії можна розрахувати за формулою (3.7.2):

$$E = Q_p \cdot B_e = 376763 \cdot 0,686 = 259,6 \text{ тис. грн/рік}, \quad (3.7.2)$$

де B_e – вартість електроенергії, $\text{грн}/\text{кВт} \cdot \text{год}$.

Строк окупності рекуператора розраховуємо за формулою (3.7.3):

$$E = \frac{B_p}{E} = \frac{92000}{259600} = 0,354 \text{ рік}, \quad (3.7.3)$$

де B_p – вартість рекуператора, грн.

Таким чином, 0,354 року це 4,3 місяці, тобто можемо зробити висновок, що рекуператор повністю себе окупить за 1 опалювальний сезон.

3.7.2 Економічне обґрунтування застосування ПЧ

У системі локальної вентиляції від екструдера, яка працює на основі центробіжного вентилятора типу ВЦ 4-75 №10, встановлено асинхронний електродвигун типу АІР160S8. Вентилятор функціонує в постійному режимі, незалежно від фактичного навантаження або потреби в повітрообміні, що призводить до перевитрати електроенергії. Для регулювання частоти обертання вентилятора запропоновано впровадження перетворювача частоти Altivar Machine ATV320В від компанії Schneider Electric, який забезпечує плавне регулювання швидкості обертання, функції енергозбереження, а також м'який пуск і зупинку двигуна.

Для розрахунку окупності ПЧ потрібно враховувати дані наведені у таблиці 7.2.

					ДП ОА11.06.000 ПЗ	
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

Таблиця 3.13 – Параметри для розрахунку окупності ПЧ

Параметр	Значення
Потужність вентилятора, кВт	7,5
Частота обертання, об/хв	750
Час роботи за рік, год/рік	8040
Вартість електроенергії, грн/кВт · год	0,686
Вартість ПЧ, грн	18000

Після встановлення ПЧ вентилятор починає працювати на 80% від номінальної частоти обертання без втрати ефективності.

Зменшену потужність вентилятора можна розрахувати за формулою (3.7.4):

$$P_{зм} = P_n \cdot 0,8 = 7,5 \cdot 0,8 = 6 \text{ кВт}, \quad (3.7.4)$$

де P_n – номінальна потужність вентилятора, кВт.

Розрахувати кількість зекономленої електроенергії за рік можна за допомогою формули (3.7.5):

$$W = t \cdot (P_n - P_{зм}) = 8040 \cdot (7,5 - 6) = 12060 \text{ кВт} \cdot \text{год}. \quad (3.7.5)$$

Щорічну економію електроенергії за допомогою встановлення ПЧ можна розрахувати за формулою (3.7.6):

$$E = W \cdot B_e = 12060 \cdot 0,686 = 8273,16 \text{ грн/рік}, \quad (3.7.6)$$

де B_e – вартість електроенергії, грн/кВт · год.

Строк окупності встановлення ПЧ розраховуємо за формулою (3.7.7):

$$E = \frac{B_{пч}}{E} = \frac{18000}{8273,16} = 2,1 \text{ рік}, \quad (3.7.7)$$

де B_p – вартість перетворювача частоти, грн.

Отже, можна зробити висновок, що встановлення перетворювача частоти на асинхронний двигун вентилятора окупиться через 2 роки, при умові зниження частоти обертання на 20% та при щоденній роботі системи. Це гарний показник, враховуючи, що головна мета встановлення ПЧ це зменшення зносу двигуна, регулювання вентилятора під власні потреби, зниження шуму та вібрацій.

3.8 Автоматизована система керування цеховою вентиляцією

3.8.1 Структура автоматизованої системи вентиляції цеху екструзії

Система автоматизованого контролю в цеху екструзії складається з датчиків температури, вологості та тиску, частотного перетворювача для регулювання швидкості регулювання вентилятора.

На основі контрольованих параметрів мікроклімату — температури повітря, відносної вологості та надлишкового тиску — реалізується триступенева логіка режимів роботи приводу вентилятора: простій, нормальна продуктивність та максимальна продуктивність. Швидкість обертання вентилятора задається за допомогою сигналу керування до частотного перетворювача у вигляді відсоткового значення. Приклад надходження сигналу до контролера з датчика температури, якщо температура в системі буде від 25°C до 70°C - нормальний режим вентилятора, від 70°C до 90°C максимальний, всі інші випадки це режим простою.

З метою забезпечення безпечної експлуатації системи, впроваджено алгоритм аварійного вимкнення вентилятора у разі перевищення критичного порогу тиску. Для реалізації функції автоматичного відновлення роботи після аварії використовується таймер на відлік затримки часу тривалістю 10 секунд.

В подальшому ключові змінні вихідного інтерфейсу інтегрують в SCADA-систему – Ignition, за допомогою стандартних протоколів промислового обміну даними — Modbus TCP.

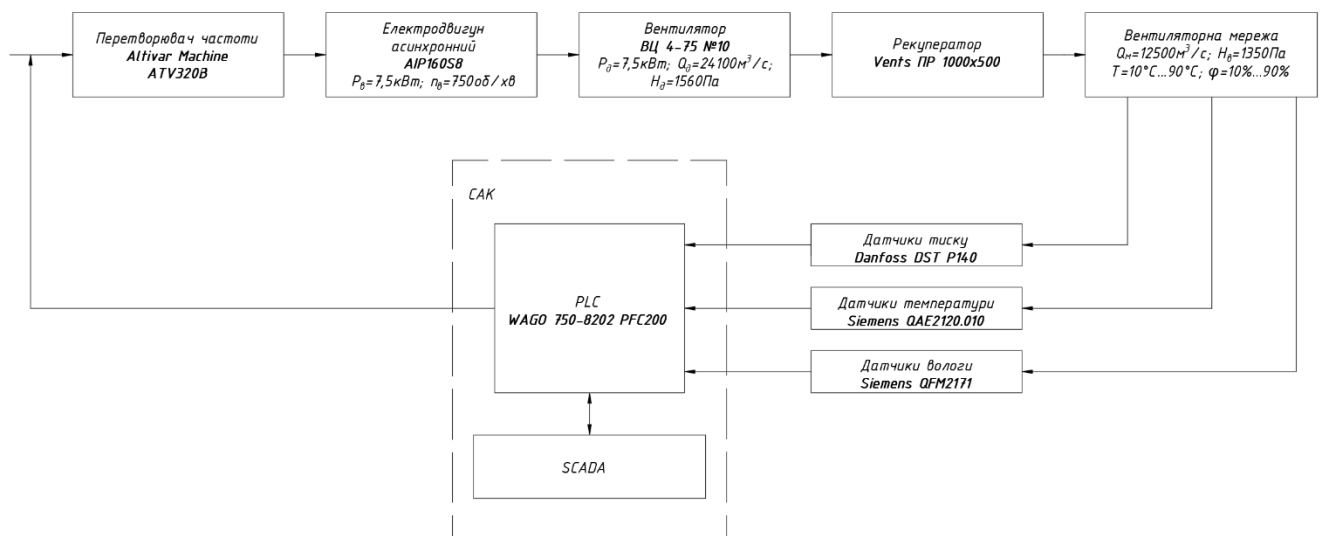


Рисунок 3.23 – Блок-схема системи керування цеховою вентиляцією

3.8.2 Опис системи керування Ignition HMI/SCADA

Ignition HMI/SCADA Software — це сучасна програмно-апаратна платформа класу SCADA/HMI, розроблена компанією Inductive Automation. Вона є модульним та гнучким середовищем, орієнтованим на реалізацію автоматизованих систем керування технологічними процесами на підприємствах різних галузей промисловості [14].

Основними принципами побудови цієї системи є:

- відкрита архітектура (підтримка стандартів OPC UA, MQTT, SQL, Modbus TCP/RTU, BACnet тощо),
- веб-орієнтована інтеграція (HTML5/JavaScript),
- незалежність від платформ (Windows, Linux, macOS),
- безлімітна масштабованість (кількість тегів, користувачів, вузлів не обмежена ліцензією),
- централізоване розгортання.

До переваг впровадження Ignition у вентиляційні системи можна віднести гнучкість, масштабованість, веб-доступ, енергоефективність та надійність.

Інтеграція нових пристроїв

У рамках модернізації вентиляційної системи екструзійного цеху було передбачено інтеграцію нових елементів: датчиків тиску, температури, вологості, частотного перетворювача (VFD) та системи рекуперації тепла.

Підключення здійснюється за такими принципами:

- Датчики температури, тиску та вологості програмуються в контролер або безпосередньо з сервером Ignition Gateway через стандартизовані протоколи обміну даними.
- Частотний перетворювач підтримує двосторонній обмін інформацією з SCADA, що дозволяє здійснювати не тільки дистанційне керування, але й моніторинг параметрів його роботи.
- Рекуператор теплоти, обладнаний виконавчими механізмами взаємодії з системою керування через PLC-контролер, з можливістю інтеграції в загальну SCADA-структуру.

					ДП ОА11.06.000 ПЗ	
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

Таким чином, всі фізичні сигнали — як аналогові, так і дискретні — надходять до програмованого логічного контролера (PLC), який виконує функцію посередника між польовим рівнем і SCADA-системою на базі Ignition.

Візуалізація технологічного процесу у HMI-інтерфейсі

Використання середовища Ignition Designer дозволяє реалізувати повноцінний операторський HMI-інтерфейс з динамічною графікою, що відображає:

- Повітряні потоки в системі та схематичну роботу рекуператора;
- Температуру і вологість повітря до та після проходження через рекуператор;
- Стан і технічні параметри частотного перетворювача, зокрема: частоту, напругу, струм, оберти, споживану потужність та коди аварій;
- Поточні значення тиску в контрольних точках повітропроводу з нових цифрових датчиків;
- Графіки трендів ключових параметрів у реальному часі: температури, вологості, тиску, частоти обертання;
- Інформаційні повідомлення та тривоги, включаючи: збої в роботі пристроїв, вихід параметрів за уставки, втрату зв'язку з сенсорами або приводами.

Завдяки модульному підходу, панель керування може бути легко адаптована під конкретні потреби інженера.

Реалізація керування в реальному часі

Окрім функцій моніторингу, SCADA-система Ignition забезпечує активне керування всією вентиляційною підсистемою цеху:

- Керування частотою обертання вентилятора через VFD, в ручному або автоматичному режимі;
- Автоматичне регулювання швидкості вентиляції на основі: значень тиску в ключових вузлах; температури витяжного повітря; сигналів від датчиків вологості;

- Керування роботою заслінок рекуператора в залежності від температурного градієнта між припливним і витяжним повітрям, що забезпечує енергоефективний тепловий баланс;

- Аварійне відпрацювання сценаріїв у разі критичних значень температури, втрати зв'язку з пристроями або механічних збоїв — із переходом у захищений режим роботи.

Управлінська логіка може бути реалізована як на рівні контролера (PLC), так і безпосередньо у скриптах Ignition за допомогою мови Python.

Аналітика, історія даних і звітність

SCADA-платформа підтримує збір, зберігання та обробку історичних даних:

- Архівування параметрів: температура, вологість, тиск, стан частотного перетворювача;

- Побудова часових графіків та трендів для добового, тижневого чи місячного періоду;

- Автоматична генерація звітів, включаючи: кількість і тип аварійних ситуацій; тривалість зупинок або перевищень уставок; оцінку ефективності теплоутилізації в рекуператорі шляхом порівняння температур до і після проходження повітря.

Завдяки цьому забезпечується прозорий контроль технологічного процесу та можливість підвищення загальної ефективності виробництва.

Віддалений доступ і мобільність

Модуль Ignition Perspective забезпечує повноцінний веб-доступ до HMI-інтерфейсу через стандартні браузері (без встановлення додаткового ПЗ):

- Користувачі можуть здійснювати моніторинг, керування, перегляд аварій та графіків з планшетів, смартфонів, ноутбуків;

- Підтримуються адаптивні інтерфейси, що автоматично змінюють вигляд під роздільну здатність пристрою;

- Система дозволяє реагувати на події у реальному часі, незалежно від фізичного місця розташування оператора.

Це особливо актуально в умовах безперервного виробництва та високих вимог до оперативного реагування на технологічні відхилення.

Отже, реалізація комплексної інтеграції нових пристроїв у систему автоматизації на основі Ignition SCADA дозволяє досягти високого рівня керованості, надійності та енергоефективності вентиляційного процесу в екструзійному цеху.

3.8.3 Керування системою вентиляції цеху екструзії за допомогою Ignition SCADA Software

Для керування модернізованою системою вентиляції цеху екструзії за допомогою Ignition HMI/SCADA Software встановлено програмований логічний контролер (PLC).

Вимоги до PLC:

- можливість підключення до нього датчиків температури, тиску та вологості;
- можливість легкого керування перетворювачем частоти;
- можливість реалізації трирежимного керування;
- можливість інтеграції з SCADA-системою Ignition для візуалізації, архівування, дистанційного доступу.

За попередніми вимогами було обрано контролер WAGO 750-8202 PFC200 – потужний, універсальний програмований логічний контролер, призначений для промислових систем.

Таблиця 3.14 – Основні параметри PLC WAGO 750-8202 PFC200

Зв'язок	Modbus TCP; Ethernet; Modbus RTU; RS-232 serial interface; RS-485 interface; EtherNet/IP-Adapter (Slave); MQTT
Протоколи	DHCP; DNS; NTP; FTP; FTPS; SNMP; HTTP; HTTPS; SSH
Область застосування	загальнопромисловий
Вид	модульний
Тип керування	автоматичне
Кількість модулів введення-виводу	64
Температура середовища	-40...85°C
Вологість повітря	95%
Ступінь забруднення	2 per IEC 61131-2



Рисунок 3.23 – Зовнішній вигляд PLC WAGO 750-8202 PFC200

Для встановленого PLC розроблено алгоритм та програму керування системою вентиляції цеху екструзії. Програмований логічний контролер буде брати дані з датчиків тиску, температури та вологості та за допомогою перетворювача частоти вибирати потрібний режим роботи вентилятора (максимальний, нормальний або режим простою). Блок-схема алгоритму роботи представлена на рис. 3.24. Програмування буде реалізовано мовою структурованого тексту (Structured Text, ST) (Рис. 3.25).

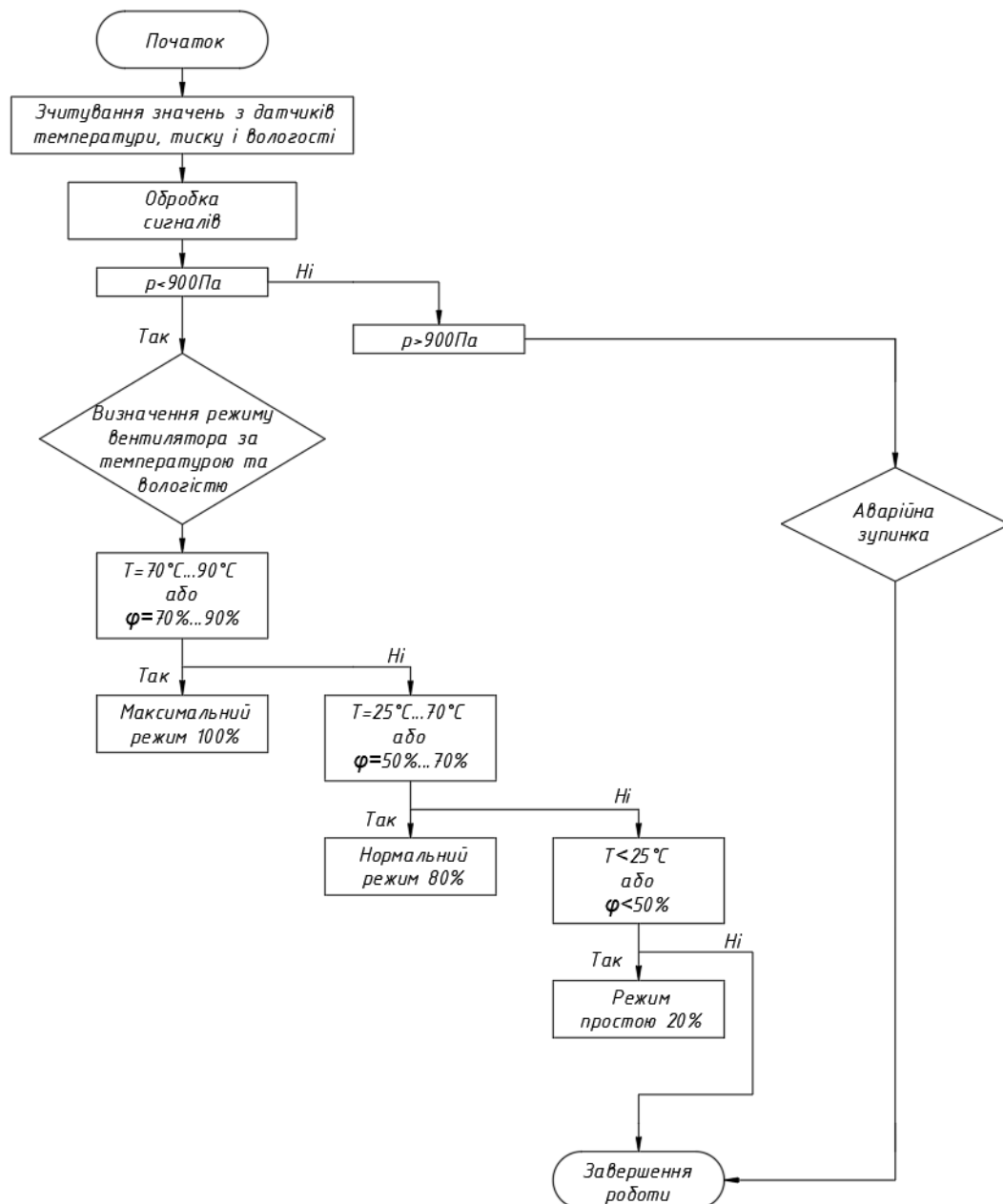


Рисунок 3.24 – Блок-схема алгоритму роботи автоматизованої системи вентиляції

```

=== Вхідні дані з аналогових датчиків ===
VAR_INPUT
    TempSensor : INT;    // Датчик температури (0-10 В -> 0-100 °C)
    HumSensor   : INT;    // Датчик вологості (0-10 В -> 0-100 %)
    PressSensor : INT;    // Датчик тиску (0-10 В -> 0-1000 Па)
END_VAR

// === Вихідні сигнали ===
VAR_OUTPUT
    VFD_SpeedSet : INT;    // Встановлення швидкості вентилятора (0-100 %)
    Alarm        : BOOL;   // Аварійний сигнал
END_VAR

// === Внутрішні змінні ===
VAR
    Temp      : REAL;
    Hum       : REAL;
    Press     : REAL;
    Mode      : INT;       // 0 - очікування, 1 - нормальний, 2 - максимальний
    TimerRun  : TON;
    Timeout   : TIME := T#10s;
END_VAR

// === Обробка аналогових сигналів ===
Temp := TempSensor * 0.1;    // масштабування 0-100
Hum  := HumSensor * 0.1;
Press := PressSensor * 0.1;

// === Визначення режиму роботи ===
IF Temp > 70.0 OR Hum > 90.0 THEN
    Mode := 2; // Максимальний режим
ELSIF Temp > 25.0 OR Hum > 70.0 THEN
    Mode := 1; // Нормальний режим
ELSE
    Mode := 0; // Очікування
END_IF

// === Встановлення швидкості вентилятора ===
CASE Mode OF
    0: VFD_SpeedSet := 0;    // Вимкнено
    1: VFD_SpeedSet := 80;   // Нормальна швидкість
    2: VFD_SpeedSet := 100;  // Максимальна швидкість
END_CASE

// === Аварійне відключення при перевищенні тиску ===
IF Press > 900.0 THEN
    Alarm := TRUE;
    VFD_SpeedSet := 0;
ELSE
    Alarm := FALSE;
END_IF

// === Таймер запуску після аварії ===
IF Alarm THEN
    TimerRun(IN := TRUE, PT := Timeout);
ELSE
    TimerRun(IN := FALSE);
END_IF

IF TimerRun.Q THEN
    // Автоматичне відновлення після 10 секунд
    Alarm := FALSE;
END_IF

```

Рисунок 3.25 – Приклад запрограмованого PLC

Висновки до 3 розділу

Шляхами модернізації систем цехової вентиляції є впровадження систем з керованим приводом, застосування ефективних систем фільтрації та встановлення рекуператорів.

Обраний на основі потрібного тиску $H = 1350$ Па та потрібної продуктивності $Q = 12500$ м³/с вентилятор **ВЦ 4-75 №10** з двигуном **AIP160S8** забезпечить задані режими роботи. Для утилізації тепла обрано рекуператор **Vents ПР 1000x500**. Обрано перетворювач частоти **Altivar Machine ATV320B** для регулювання параметрів роботи приводу вентиляційної установки, який забезпечує необхідну швидкість обертання та тиск в мережі й обраний ПЛК **WAGO 750-8202 PFC200**, для реалізації заданої послідовності переключень у відповідності до режиму роботи.

За розрахованими параметрами виконане моделювання схеми з ПЧ-АД та визначено три основні режими керування вентилятором: максимальний, нормальний та очікування. За результатами моделювання видно, що установка реалізує алгоритм, як у сталих режимах роботи, так і під час перехідних процесів.

Розроблено структуру автоматичного регулювання системи вентиляції цеху екструзії, обрано систему керування **Ignition SCADA Software** та за допомогою PLC реалізовано алгоритм, що забезпечує регулювання продуктивності вентиляторної установки в залежності від температури, тиску, вологості в системі.

Проведено економічну оцінку модернізації, яка вказує на те, що встановлення регульованого приводу окупиться за 2 роки, встановлення рекуператора окупиться за 1 опалувальний сезон.

					ДП ОА11.06.000 ПЗ	
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Аналіз умов праці

Робітники працюють в цеху екструзії на підприємстві з переробки полімерних відходів. Цех довжиною 35 м, шириною 20 м, висотою 6 м. Основне обладнання цеху: три повністю автоматизовані екструдери загальною потужністю 150 кВт та три локальні системи вентиляції потужністю 24 кВт, обладнання управління та автоматизації, розподільчий щиток та автоматика.

Основна робота працівників заключається:

- в контролі роботи екструдерів на моніторах;
- в контролі роботи локальної вентиляції від екструдерів;
- своєчасній перевірці цілісності вентиляторної установки, сіток жиरोуловлювача та іншого обладнання;
- перевірці станів забруднення електростатичного фільтру TRION 4002 та лабіринтного фільтра.

Таблиця 4.1 – Потенційно небезпечні фактори в цеху екструзії

Фактор	Потенційний ризик
Обертові частини (вентилятор: 750 об/хв)	Механічні травми
Електрична частина ($U = 400 \text{ В}$; $I = 17,8 \text{ А}$; $f = 50 \text{ Гц}$)	Ураження електричним струмом
Шум (68 дБА)	Приглухуватість

Розглядаючи таблицю 4.1 можна дійти висновку, що на підприємстві існує ризик отримання механічних травм через обертові частини вентилятора. Обертові частини вентиляторів – робочі колеса, передають механічну енергію з високим моментом інерції. Вони становлять небезпеку у разі втрати цілісності захисних кожухів або порушення регламенту обслуговування. У випадках втручання персоналу у зону дії вентилятора можливе захоплення одягу або частин тіла, що

					ДП ОА11.06.000				
Зм	Арк.	№ докум.		Дата	Охорона праці				
Розроб.		Буштрук Є.В.							
Перевір.		Мітюк Л.О.							
Реценз.									
Н. Контр.		Кулаковський Л.Я.							
Затверд.		Бойченко С.В.							
					Лім.		Лист	Листів	
							81		
					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. АЕМК гр.ОА-11				

може призвести до травматизму кінцівок, розривів шкіри, переломів та ампутацій. При обслуговуванні приладів та механізмів персонал повинен дотримуватись правил безпеки, які визначені наступними документами: ДСТУ EN ISO 12100:2020 «Безпечність машин. Загальні принципи проєктування»; «Правила охорони праці під час експлуатації вентиляційних систем».

Система живлення вентилятора функціонує від трифазної мережі з напругою 400 В, що класифікується як небезпечна для життя. За сили струму 17,8 А виникає ризик електротравм 2–3 ступеня, зокрема при дотику до струмопровідних частин або у разі пробою ізоляції. Це може викликати судоми, зупинку серця, опіки або вторинні травми внаслідок падіння та удару. Для запобігання таких ситуацій потрібно дотримуватись вимог наступних документів: Правила улаштування електроустановок (ПУЕ); ДСТУ EN 60204-1:2015 «Безпечність машин. Електрообладнання машин».

Рівень шуму в межах 68 дБА вважається допустимим згідно з ДСН 3.3.6.037-99 для 8-годинного робочого дня, але при довготривалому впливі, особливо у випадку накладання декількох джерел шуму (вентилятор, екструдер, подача сировини), може спричинити стійке зниження слуху, головні болі, порушення сну.

4.1.1 Засоби індивідуального захисту працівників

З метою забезпечення охорони праці та мінімізації ризиків професійного травматизму під час нормального робочого процесу, виконання електромонтажних робіт або очищення вентиляційного обладнання в цеху екструзії, працівникам обов'язково видаються засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) відповідно до характеру виконуваних робіт та ступеня потенційної небезпеки:

- Спеціальний одяг (робочий комбінезон) — забезпечує захист шкірних покривів від забруднень, термічного впливу та можливих механічних ушкоджень. Обов'язковий для всіх категорій робіт.

- Захисна каска — запобігає травмам голови в разі падіння предметів або при контакті з конструкційними елементами в умовах обмеженого простору. Обов'язкова для всіх категорій робіт.

					ДП ОА11.06.000 ПЗ	82
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Захисні окуляри — обов'язкові для захисту очей від пилу, дрібних частинок, а також можливих хімічних чи термічних подразників під час очищення або монтажу. Обов'язкові для всіх категорій робіт.

- Протишумові вкладиші (беруші) — застосовуються з метою захисту органів слуху від впливу високого рівня виробничого шуму. Обов'язкові для всіх категорій робіт.

- Захисні рукавиці загального призначення — використовуються для захисту рук від механічних пошкоджень при виконанні загальновиробничих операцій. Обов'язкові для всіх категорій робіт.

- Діелектричні рукавиці — обов'язкові для виконання електромонтажних робіт на електроустановках до 1000 В, забезпечуючи захист від ураження електричним струмом. Застосовуються для електромонтажних робіт.

- Діелектричне взуття (чоботи) — додатковий засіб електрозахисту, що запобігає замиканню на землю та підвищує безпеку при роботах в умовах електронебезпеки. Застосовуються для електромонтажних робіт.

- Гумові рукавиці — застосовуються під час очищення вентиляційних систем для запобігання контакту з агресивними або брудними речовинами. Здебільшого застосовуються для очисних робіт.

- Захисна маска або респіратор — використовується при роботах, пов'язаних із запиленістю повітря або можливим вивільненням шкідливих аерозолів, зокрема при очищенні вентиляційного обладнання. Здебільшого застосовуються для очисних робіт.

Надання та використання зазначених засобів індивідуального захисту є обов'язковою умовою допуску працівника до виконання відповідних видів робіт.

4.2 Мікроклімат

Параметри мікроклімату у цеху екструзії на виробництві з переробки полімерних матеріалів повинні відповідати допустимим величинам згідно ДСН 3.3.6.042-99.

					ДП ОА11.06.000 ПЗ	
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

В свою чергу, оптимальні мікрокліматичні умови – поєднання параметрів мікроклімату, які при тривалому та систематичному впливі на людину забезпечують зберігання нормального теплового стану організму без активізації механізмів терморегуляції. Вони забезпечують відчуття теплового комфорту та створюють передумови для високого рівня працездатності [17].

Параметри мікроклімату в цеху екструзії для робітників наведені в таблиці 4.2 (фактичні показники були взяті на підприємстві під час проходження практики).

В таблиці враховано:

- дати вимірювання;
- характеристика робочого місця – постійне;
- енерговитрати організму – 151-200 ккал/год;
- категорія робіт – середньої важкості Па;
- період року – теплий та холодний.

Таблиця 4.2 – Мікроклімат в цеху екструзії

Дата	Температура, °С			Відносна вологість, %			Швидкість руху, м/с		
	Факт.	Оптим.	Доп.	Факт.	Оптим.	Доп.	Факт.	Оптим.	Доп.
Холодний період року									
15.11	20	19-21	23-17	64	60-40	75	0,3	0,2	0,3
30.12	20			55			0,3		
15.02	19			59			0,2		
Теплий період року									
30.04	21	21-23	27-18	62	60-40	65	0,2	0,3	0,4-0,2
15.06	23			54			0,3		
30.08	23			58			0,4		

З таблиці 4.2 можна зробити висновок, що мікроклімат, а саме такі показники як температура, відносна вологість та швидкість руху в цеху екструзії на підприємстві з переробки полімерних відходів повністю відповідають нормованим величинам, як в теплий період року, так і в холодний.

4.3 Освітлення

Основні вимоги для освітлення, які повинні дотримуватись зазначені в документі ДБН В.2.5-28:2018.

На робочому місці працівників освітлення комбіноване: штучне та природне. Бічним являється природне освітлення. Тип штучного освітлення: промисловий світильник Delux High Bay4; кількість – 30 шт. Розрахунки щодо вибору промислового світильника та визначення кількості наведені в пункті 2.1. Норми освітленості робочого місця для працівників виконуються.

4.4 Рівень шуму та вібрації

До основних джерел шуму в цеху екструзії відносяться: три вентилятора ВЦ 4-75 №10; три електродвигуна AIP160S8; три екструдери та трансформаторна підстанція. Через це рівень шуму на робочому місці дорівнює 68 дБА. Рівень вважається допустимим згідно з ДСН 3.3.6.037-99, проте при довготривалому впливі може спричиняти ризики.

Для зниження шуму можна задіяти такі методи:

- замінити обладнання на малошумне;
- вибирати двигун з плавним пуском; балансуванням обертів та гумовими амортизаторами;
- зменшувати ударний шум під час запуску обладнання, через встановлення перетворювачів частоти;
- встановити звукоізолюючі вставки навколо екструдерів та вентиляторів, які будуть поглинати шум та вібрації;
- встановити поглинаючі панелі на стінах та стелі.

Виконувати зміни потрібно згідно з ДБН В.1.1-31:2013.

Відповідно до ДСН 3.3.6.039-99 вібрація не впливає на роботу працівників.

					ДП ОА11.06.000 ПЗ	
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

4.5 Електробезпека

Все електрообладнання, яке є в цеху екструзії наведено в табл. 2.1. Рівень вищої лінійної напруги становить 400 В, а фазної – 230 В. Двигуни змінного струму – основні споживачі електроенергії з частотою 50 Гц.

Основними документами в розділі електробезпеки виступають НПАОП 40.1-1.21-98 та ПУЕ-2018.

Обслуговування електродвигунів змінного струму

Під час експлуатації електродвигунів, що працюють у мережі з заземленою нейтраллю при напрузі 0,4 кВ, основну небезпеку становить можливість ураження електричним струмом. Зокрема, критичними є такі сценарії: однофазний дотик до струмопровідних частин у штатному або аварійному режимах; двофазний дотик до елементів мережі; контакт з фазним та нульовим провідниками. Для кількісної оцінки рівня електробезпеки необхідно виконати розрахунок струмів, що можуть протікати через тіло людини в кожному з наведених випадків.

Струм, що проходить через тіло людини при однофазному дотику до мережі 400 В із заземленою нейтраллю розраховується за формулою (4.1):

$$I_{1\phi} = \frac{U_{\phi}}{R_{\text{л}}} = \frac{0,23}{1,5} = 0,15 \text{ А}, \quad (4.1)$$

де $R_{\text{л}}$ – опір тіла людини при однофазному дотику, кОм; U_{ϕ} – фазна напруга мережі, кВ.

Струм, що проходить через тіло людини при двофазному дотику до мережі 400 В із заземленою нейтраллю розраховується за формулою (4.2):

$$I_{1\phi} = \frac{U_{\text{л}}}{R_{\text{л}}} = \frac{0,4}{1} = 0,4 \text{ А}, \quad (4.2)$$

де $R_{\text{л}}$ – опір тіла людини при двофазному дотику, кОм; $U_{\text{л}}$ – лінійна напруга мережі, кВ.

З цих двох рівнянь можна дійти висновку, що для людини найбільший струм (0,4 А) буде при дотику до двох фаз мережі з напругою 0,4 кВ.

Забезпечення електробезпеки під час експлуатації електродвигунів у нормальному режимі роботи досягається комплексом технічних заходів захисту. До основних з них належать:

- надійна ізоляція струмопровідних частин, що запобігає можливості прямого контакту з ними;
- конструктивне унеможливлення доступу до струмоведучих елементів шляхом їх розміщення в закритих або обмежено доступних зонах;
- застосування блокувальних пристроїв, які автоматично вимикають живлення або перешкоджають доступу до небезпечних частин при відкриванні кожуха чи знятті захисних кришок.

Додатково можуть використовуватись попереджувальні знаки, контроль ізоляційного опору, а також система заземлення і вирівнювання потенціалів.

Під час виконання робіт, не пов'язаних із безпосереднім контактом зі струмопровідними або обертовими частинами електродвигуна, з метою запобігання випадковому вмиканню, необхідно зупинити електродвигун та розмістити на пусковому пристрої попереджувальну табличку «Не вмикати».

У разі проведення робіт безпосередньо з електродвигуном, що працює під напругою до 1000 В, обов'язковим є попереднє зняття напруги з установки та виконання заходів захисту, зокрема, заземлення струмопровідних жил кабелю. Зазначені дії спрямовані на недопущення ураження електричним струмом та забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу.

До самостійного виконання монтажних робіт на електроустановках з напругою до 1000 В допускаються лише особи, які мають відповідну професійну підготовку та кваліфікацію не нижче III групи з електробезпеки.

Під час проведення технічного обслуговування або ремонтних робіт на струмопровідних частинах електрообладнання, що перебуває під напругою, необхідно суворо дотримуватись встановлених вимог безпеки. Зокрема:

1. Необхідно використовувати виключно справні, сухі та чисті засоби індивідуального захисту з відповідними електроізоляційними властивостями (діелектричні рукавички, калоші, чоботи, ізоляційні килимки тощо).

2. Ізолювальні інструменти (наприклад, ізолювальні штанги та стрижні) слід утримувати виключно за ручки-захоплення, не виходячи за межі обмежувального кільця, що визначає безпечну зону тримання.

3. Розміщення та використання ізоляційних засобів має виключати можливість утворення небезпечного перекриття по поверхні між струмопровідними частинами різних фаз або між фазами та землею, що може призвести до електричного пробоя.

4.6 Пожежна безпека

Цех екструзії на підприємстві з переробки полімерних відходів належить до об'єктів із підвищеним ризиком виникнення пожежі, що обумовлено наявністю горючих матеріалів (полімерної сировини та пилу), високотемпературного обладнання та електроустановок, категорія Б.

Відповідно до ДСТУ EN ISO 12100 та НПАОП 40.1-1.32-01, приміщення цеху екструзії класифікується як пожежонебезпечне за такими критеріями:

- використання горючих полімерів (поліетилен, поліпропілен, тощо);
- утворення легкозаймистих газів і пилу при термічній обробці;
- робота обладнання з високими температурами;
- наявність електроустановок із споживанням понад 8 кВт.

До основних джерел пожежної небезпеки належать: нагрівальні зони екструдера – джерела відкритого тепла та перегріву; електродвигуни та вентилятори – можливість короткого замикання або іскроутворення; полімерний пил – здатний до спалахування при утворенні аерозольних сумішей.

Технічні протипожежні заходи:

1. Усі електроустановки повинні відповідати класу захисту не нижче IP54.
2. Встановлення теплових датчиків контролю температури у нагрівальних зонах та на двигунах.
3. Використання вентиляторів та кабелів, сертифікованих для роботи в пожежонебезпечному середовищі.

					ДП ОА11.06.000 ПЗ	88
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Забезпечення витяжної вентиляції для відведення парів та перегрітих газів.

5. Організація локалізованих кожухів з вогнестійких матеріалів навколо екструзійної зони.

У цеху обов'язкове розміщення протипожежних засобів: вогнегасників порошкових (мінімум 1 на 20 м² площі, відстань між вогнегасниками - 15м); форм для гасіння пожежі; систем автоматичного сповіщення про пожежу (димові датчики); спринклерної системи автоматизованого поливу; плану евакуації.

Дотримання вимог пожежної безпеки на підприємстві є обов'язком для кожного працівника, тоді як відповідальність за організаційне забезпечення цих заходів покладається на уповноважених посадових осіб. Згідно з чинними нормативно-правовими актами [22], вони зобов'язані не рідше одного разу на півроку проводити інструктажі з пожежної безпеки, незалежно від професійного стажу та кваліфікації персоналу. Також до їх обов'язків входить регулярна перевірка наявності та справності первинних засобів пожежогасіння відповідно до вимог внутрішніх регламентів та національних стандартів.

Вимоги щодо дій персоналу у разі пожежі викладені в посадових інструкціях та положеннях, які регламентують діяльність відповідних підрозділів підприємства:

1. У випадку незначного загоряння електрообладнання та активації пожежної сигналізації, працівник зобов'язаний, попередньо вдягнувши захисне спорядження зі спеціального щита, самостійно ліквідувати осередок загоряння за допомогою вогнегасника. Електроживлення у такому випадку відключається автоматично.

2. У разі масштабного загоряння, що призведе до активації пожежної сигналізації, працівники повинні негайно та організовано евакуюватися відповідно до затвердженого плану евакуації. Відповідальна особа, закріплена за цехом, зобов'язана оперативно викликати пожежну службу за номером «101». Автоматизована система пожежогасіння активується після виявлення загоряння сенсорами пожежної безпеки.

					ДП ОА11.06.000 ПЗ	
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		89

Висновки до 4 розділу

В результаті аналізу умов праці робітників в цеху екструзії на підприємстві з переробки полімерних відходів можна дійти наступних висновків:

- параметри мікроклімату у виробничих приміщеннях: температура повітря, його відносна вологість та швидкість руху, протягом календарного року тримаються в межах допустимих норм. Проте з метою створення більш комфортних та енергоефективних умов праці доцільним є проведення модернізації систем кондиціонування повітря.

- система освітлення відповідає чинним нормативам за параметрами яскравості, рівномірності освітлення та енергозбереження, тому рекомендацій щодо їхньої заміни не потребується.

- рівень шуму перебуває у межах допустимого. Проте для зниження впливу залишкового шумового навантаження на працівників доцільно встановити звукоізолюючі вставки навколо обладнання.

- вимоги електробезпеки на підприємстві виконуються в повному обсязі, відповідна технічна документація підтримується в актуальному стані.

- стан системи пожежної безпеки повністю відповідає вимогам нормативних документів. Підприємство оснащене всіма необхідними первинними засобами пожежогасіння, автоматичними системами виявлення та сповіщення про пожежу, а також затвердженою схемою евакуації персоналу. Регулярно проводяться інструктажі та навчання з питань пожежної безпеки.

					ДП ОА11.06.000 ПЗ	
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		90

ВИСНОВОК

Проведений аналіз літературних та інтернет-джерел дозволив встановити, що шляхами модернізації цехових вентиляційних систем є встановлення рекуператорів, частотних перетворювачів, сучасних фільтраційних систем або систем з ЕС-двигунами. Проаналізувавши методи удосконалення систем промислової вентиляції було вирішено зупинись на двох встановленні ПЧ та встановленні рекуператора.

У відповідності до робочих умов системи вентиляції цеху обрано вентиляційне обладнання вентилятор **ВЦ 4-75 №10** з двигуном **AIP160S8**, що дозволить провести модернізацію системи за рахунок застосування регульованого приводу за системою ПЧ-АД. Встановлення рекуператора **Vents ПР 1000x500** дозволить підвищити енергоефективність системи за рахунок використання теплової енергії, яка втрачається у вентиляції.

Розроблена система електропостачання цеху екструзії, яка забезпечує надійне електропостачання і захист у відповідності до вимог для споживачів II категорії за надійністю.

Для розрахованого двигуна було обрано перетворювач частоти **Altivar Machine ATV320B**, який дозволить керувати двигуном в трьох режимах роботи: максимальному, нормальному та режимі простою. Моделювання роботи системи з ПЧ-АД було здійснено в середовищі MATLAB. Змодельовані перехідні характеристики системи вказують на сталу роботу в пускових та номінальних режимах.

Розроблена система автоматичного керування приводом вентилятора з використанням датчиків тиску **Danfoss DST P140**, датчиків температури **Siemens QAE2120.010**, датчиків вологості **Siemens QFM2171** за допомогою PLC **WAGO 750-8202 PFC200** регулює роботу вентилятора у відповідності до змін умов роботи з економією електричної енергії 12060 кВт·годин на рік у порівнянні з попереднім варіантом.

					ДП ОА11.06.000 ПЗ	
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		91

Термін окупності запропонованої модернізації для привода складає 2 роки, а встановлення рекуператора окупається за 1 опалювальний сезон, а, що являється гарним показником.

Запропонована модернізована система вентиляції цеху відповідає нормам з охорони праці, пожежної безпеки та електробезпеки на підприємстві з переробки полімерних відходів та дозволить покращити умови праці.

					ДП ОА11.06.000 ПЗ	
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		92

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.2.5-23:2010 «Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення».
2. ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення».
3. Правила улаштування електроустановок, розділ 1, глава 1.3 «Вибір провідників за нагрівом».
4. Проектування електропостачання та електрообладнання машин і установок геотехнічних виробництв: Навчальний посібник для курсового та дипломного проектування [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», спеціалізації «Електромеханічні та мехатронні системи енергоємних виробництв» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: І. С. Рябенко, О. В. Мейта. – Електронні текстові дані (1 файл: X,XX Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 244 с.
5. Матеріали XIX Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Проблеми та перспективи розвитку сучасної науки в країнах Євразії» // Збірник наукових праць. – Переяслав, 2025 р. – 73 с.
6. ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування».
7. Електростатичний фільтр: <https://www.trioniaq.com/>.
8. ДСТУ EN IEC 60721-3-3:2022 «Класифікація умов навколишнього середовища. Частина 3-3. Класифікація груп параметрів навколишнього середовища та їх суворості. Стаціонарне використання в місцях, захищених від погодних умов».
9. Рекуператор: <https://vents-shop.com.ua/rekuperator-vents-pr-1000-500/?srsltid=AfmBOoqDLALLi7JsVIJBC2qTiPa6wvzzxbz7qpMWy31Rs9LwalW0lIF> п.
10. Автоматизований електропривод машин та установок: конспект лекцій [Електронний ресурс]: навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавр за освітньою програмою «Інжиніринг інтелектуальних електротехнічних та мехатронних комплексів» / О.В. Чермалих, О.В. Данілін, А.В. Босак, Л.В. Торопова; КПІ ім. Ігоря

					ДП ОА11.06.000 ПЗ	93
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 24,3 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 61 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/41535>

11. Постанова від 19.12.2024 №2200. Про встановлення тарифу на послуги з передачі електричної енергії НЕК «УКРЕНЕРГО» на 2025 рік.

12. Автоматизована система керування технологічними процесами: <https://inductiveautomation.com/>.

13. ДСТУ EN ISO 12100:2020 «Безпечність машин. Загальні принципи проектування. Оцінювання ризиків та зменшення ризиків».

14. «Правила охорони праці під час експлуатації вентиляційних систем».

15. ДСТУ EN 60204-1:2015 «Безпечність машин. Електрообладнання машин. Частина 1. Загальні вимоги».

16. ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку».

17. ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень».

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

19. ДСН 3.3.6.039-99 «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації».

20. НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів».

21. НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок».

22. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою».

					ДП ОА11.06.000 ПЗ	
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		94