

**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

(підпис) Сергій БОЙЧЕНКО
(ім'я, прізвище)

«__» _____ 20__ р.

**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 установки
гідрогенізації»**

Виконала:

студентка IV курсу, групи ОА-11

Самчинська Катерина Петрівна _____

Керівник:

Ст. вик., PhD, без вч. звання,

Жолтайли Софія Юріївна _____

Консультант з Електропостачання:

Доцент, кандидат техн. наук, доцент

Мейта Олександр Вячеславович _____

Консультант з Охорони праці:

Доцент, кандидат техн. наук, доцент

Мітюк Людмила Олексіївна _____

Нормоконтролер:

Доцент, кандидат техн. наук, доцент

Кулаковський Леонід Ярославович _____

Рецензент:

Доцент, кандидат техн. наук, доцент

Белоха Галина Сергіївна _____

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

Студентка _____

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 АЕМК

_____ Сергій БОЙЧЕНКО

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ” _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студентці

Самчинській Катерині Петрівні

1. Тема дипломного проєкту «Електромеханічне обладнання та система автоматизації установок гідрогенізації», науковий керівник Жолтайли Софія Юріївна, PhD, старший викладач кафедри АЕМК, затверджені наказом по університету від «23» травня 2025 р. № 1698-с
2. Термін подання студентом диплому «17» червня 2025 р.
3. Вихідні дані для проєкту: установка гідрогенізації з переробки вторинної сировини на бензинові фракції.
4. Зміст пояснювальної записки:
 - 1) Аналітичний огляд методів утилізації гумових та поліетиленових відходів, та технологічних схем переробки відходів з метою отримання альтернативних паливних фракцій;
 - 2) Електропостачання. Електрична схема електропостачання цеху з переробки відходів гідрогенізацією. Вихідні дані: цех з переробки відходів.
 - 3) Спеціальна частина. Вибір компонентів автоматизації для установки переробки відходів гідрогенізацією. Моделювання системи автоматизації установки переробки відходів гідрогенізацією.
 - 4) Охорона праці при обслуговуванні установки гідрогенізації.
5. Перелік графічного матеріалу: презентація 10-15 слайдів – наочні матеріали за результатами виконання проєкту (технологічні схеми, схема автоматизації

тощо).

6. Консультант розділів проєкту:

Розділ	ПІБ викладача	Підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	Мітюк Л.О.		
Електропостачання	Мейта О.В.		

Дата видачі завдання: «01» травня 2025 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1.	Вибір і затвердження тематики проєкту	01.04.2025 р.	виконано
2.	Аналітичний огляд методів утилізації гумових та поліетиленових відходів та технологічних схем переробки відходів з метою отримання альтернативних палив	До 01.05.2025 р.	виконано
3.	Розрахунок електропостачання цеху	До 16.05.2025 р.	виконано
4.	Вибір компонентів автоматизації для установки переробки відходів гідрогенізацією	До 16.05.2025 р.	виконано
5.	Моделювання системи автоматизації установки переробки відходів гідрогенізацією	До 25.05.2025 р.	виконано
6.	Охорона праці при обслуговуванні установки гідрогенізації	До 30.05.2025 р.	виконано
7.	Оформлення презентації, рецензування	До 03.06.2025 р.	виконано
8.	Представлення матеріалів на кафедрі	04.06.2025 р.	виконано
9.	Попередній захист	11.06.2025 р.	виконано
10.	Подання бакалаврського проєкту разом з пакетом документації до захисту секретарю ЕК	09.06.2025 р.	виконано

Студент

(підпис)

Катерина САМЧИНСЬКА
(ім'я, прізвище)

Керівник проєкту

(підпис)

Софія ЖОЛТАЙЛИ
(ім'я, прізвище)

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення		Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4			Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	ДП ХХХХ. 00.000 ПЗ		Пояснювальна записка	77	
3	A1	ДП ОА11.20.000 СЕ		Схема електропостачання приміщення цеху гідрокрекінгу	1	
4	A1	ДП ОА11.20.000 ТС		Технологічна схема установки гідрогенізації та етапи обробки ТПВ	1	
5	A1	ДП ОА11.20.000 АС		Автоматизація системи гідрокрекінгу	1	
6	A1	ДП ОА11.20.000 МС		Моделювання регулювання співвідношення водня:сировини у реакторі установки гідрогенізації	1	
				ДП ОА-11.20.000 ПЗ		
		ПІБ	Підп.			
Розробн.	Самчинська К.П.			Відомість дипломного проєкту	Лист	Листів
Керівн.	Жолтайли С.Ю.				1	1
Консульт.	Мейта О.В. Мітюк Л.О.				КПП 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 система автоматизації
установок гідрогенізації»**

Київ – 2025 року

РЕФЕРАТ

Дипломний проект на тему: «Електромеханічне обладнання та система автоматизації установок гідрогенізації» : 81 с., 4 розділи, 18 рис., 13 табл., 36 джерел.

Об'єкт дослідження – установка гідрогенізації для переробки пластикових відходів на паливні фракції.

Мета роботи – підібрати електромеханічне обладнання та розробити систему автоматизації для установки гідрогенізації пластикових відходів з метою підвищення ефективності процесу переробки, забезпечення його безпечності та зменшення екологічного впливу.

Методи дослідження – аналітичний огляд літературних джерел і технологічних рішень, інженерні розрахунки електропостачання та електрообладнання, комп'ютерне моделювання автоматизації процесу в середовищі MATLAB Simulink, застосування теорії автоматичного керування для реалізації PID-регулювання співвідношення подачі реагентів.

Ключові слова: гідрогенізація, гідрокрекінг, переробка відходів, електропостачання, автоматизація, ПЛК, PID-регулятор, система керування, воднева технологія, екологічна безпека, пластикова сировина, альтернативне паливо.

Основними результатами є розробка схеми електропостачання підприємства з вибором трансформаторів, кабельних мереж та апаратів захисту; проектування системи автоматизації на базі ПЛК Siemens S7-1200, HMI-панелі Weintek та ПІД-регулятора МІК-121-К7. Запропоновані рішення можуть бути використані для проектування систем керування установками з переробки відходів. Немає жодних патентів, заявок чи публікацій, заснованих на результатах роботи.

ABSTRACT

The diploma project on the topic: "Electromechanical Equipment and Automation System of Hydrogenation Units": 81 pages, 4 chapters, 18 figures, 13 tables, 36 references.

The object of research is a hydrogenation unit for processing plastic waste into fuel fractions.

The aim of the work is to choose electromechanical equipment and develop an automation system for the hydrogenation unit for plastic waste in order to improve the efficiency of the recycling process, ensure its safety, and reduce environmental impact. Research methods include an analytical review of literature sources and technological solutions, engineering calculations of power supply and electrical equipment, computer modeling of the automation process in the MATLAB Simulink environment, and application of automatic control theory for implementing PID regulation of reagent feed ratio.

Keywords: hydrogenation, hydrocracking, waste processing, power supply, automation, PLC, PID controller, control system, hydrogen technology, environmental safety, plastic raw material, alternative fuel.

The main results are the development of a power supply scheme for the enterprise with a selection of transformers, cable networks and protection devices; design of an automation system based on Siemens S7-1200 PLC, Weintek HMI panel and MIK-121-K7 PID controller. The proposed solutions can be used to design control systems for waste treatment plants. There are no patents, applications or publications based on the results of the work.

ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД МЕТОДІВ УТИЛІЗАЦІЇ ГУМОВИХ ТА ПОЛІЕТИЛЕНОВИХ ВІДХОДІВ, ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ З МЕТОЮ ОТРИМАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ПАЛИВНИХ ФРАКЦІЙ 11

1.1 Основні властивості поліетилену та гуми. Вплив ТПВ на довкілля в Україні1

1

1.1.1 Поліетилен та його властивості 11

1.1.2 Гума та її властивості 13

1.1.3 Вплив ТПВ на навколишнє середовище та населення України 15

1.2 Методи утилізації поліетиленових та гумових відходів 16

1.2.1 Класифікація методів утилізації ТПВ 17

1.2.2 Технологічна схема утилізації відходів з допомогою піролізу 19

1.2.3 Технологічна схема утилізації відходів за допомогою гідрокрекінгу 21

Висновок 28

РОЗДІЛ 2. ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ 30

2.1 Характеристика умов проектування та розподілу електроенергії на підприємстві 30

2.2 Розрахунок електричного освітлення 31

2.3 Розрахунок електричних навантажень та вибір трансформаторів 33

2.4 Розрахунок електричних мереж підприємства та вибір типу перерізів провідників 36

2.5 Розрахунок струмів КЗ 40

2.6 Вибір електричних апаратів та уставок їх спрацювання 44

2.6.1 Обираємо роз'єднувачі 45

2.6.2 Обираємо автоматичні вимикачі 46

2.6.3 Вибір пускачів 46

					ДП ОА11.20.000 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЗМІСТ		
Розроб.	Самчинська						
Перевір.	Жолтайли						
Реценз.							
Н. Контр.	Кулаковський						
Затверд.	Бойченко С.В.				Літ. Арк. Акрушів		
						7	82
					НН ІЕЕ, ар. ОА-11		

2.7	Основні енергетичні показники підприємства	48
2.7.1	Визначення річних витрат електроенергії	48
2.7.2	Визначення річних витрат електроенергії	49
2.7.3	Визначення витрат активної та реактивної енергії в лініях.....	50
2.7.4	Визначення середньозваженого значення коефіцієнта потужності та реактивної потужності.....	51
	Висновок	51
	РОЗДІЛ 3. АВТОМАТИЗАЦІЯ УСТАНОВКИ ГІДРОГЕНІЗАЦІЇ	53
3.1	Вибір ПЛК та людино-машинного інтерфейсу (НМІ).....	53
3.2	Опис вузлів установки та засобів контролю	56
3.3	Моделювання регулювання співвідношення рідини у реакторі	60
	Висновок	65
	РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ	66
4.1	Шкідливі та небезпечні чинники на підприємстві.....	66
4.2	Заходи захисту.....	68
4.3	Медичні огляди	70
4.4	Електробезпека установки гідрогенізації.....	72
4.5	Пожежобезпека.....	74
	Висновок	75
	ВИСНОВОК.....	77
	ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	79

ВСТУП

У сучасному світі поліетиленові, гумові та інші полімерні вироби стали невід'ємною частиною повсякденного життя. Їх широке застосування зумовлене як практичними властивостями, так і економічною вигідністю. Однак надмірне використання цих матеріалів створює значні проблеми для довкілля та здоров'я людини. Накопичення відходів призводить до забруднення ґрунтів, водних ресурсів і атмосфери, що вимагає негайного впровадження ефективних рішень для їх утилізації та переробки.

Одним із перспективних шляхів подолання цієї проблеми є розвиток підприємств з переробки відходів, що дозволяє не лише зменшити екологічне навантаження, а й створити додаткові робочі місця. Серед сучасних методів утилізації особливу увагу привертає гідрогенізація (гідрокрекінг) — каталізований процес розщеплення складних органічних сполук у присутності водню при високому тиску та температурі. На відміну від традиційних способів, таких як захоронення, спалювання чи піроліз, гідрогенізація забезпечує високий вихід рідкого палива (до 70 %) із мінімальним впливом на навколишнє середовище. У процесі переробки відходи перетворюються на цінні енергоносії — бензинові, дизельні та газові фракції.

У цьому проєкті розглядається електромеханічне обладнання, яке застосовується на установках гідрогенізації, а також система їх автоматизації, що забезпечує надійність, безпеку та ефективність технологічного процесу.

					ДП ОА11.20.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Самчинська				Вступ	Літ.	Арк.	Акрушіє
Перевір.	Жолтайли						10	82
Реценз.						НН ІЕЕ, гр. ОА-11		
Н. Контр.	Кулаковський							
Затверд.	Бойченко С.В.							

РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД МЕТОДІВ УТИЛІЗАЦІЇ ГУМОВИХ ТА ПОЛІЕТИЛЕНОВИХ ВІДХОДІВ, ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ З МЕТОЮ ОТРИМАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ПАЛИВНИХ ФРАКЦІЙ

1.1 Основні властивості поліетилену та гуми. Вплив ТПВ на довкілля в Україні

Вироби з поліетилену та гуми широко використовуються у повсякденному житті кожної людини, проте не всі знають їх склад та вплив на навколишнє середовище. Відходи, що використовуються в процесі життєдіяльності людини загалом називають твердими побутовими відходами (ТПВ), сюди ж входять і вироби, що виготовляються з поліетилену та гуми.

1.1.1 Поліетилен та його властивості

Поліетилен ($-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$) входить до списку однокомпонентних полімерів, що складаються з молекул етилену. Отримати будь-які види полімерів можливо завдяки реакції полімеризації, тобто шляхом об'єднання мономерів [1]. На рисунку 1.1 розглянуто утворення поліетилену.

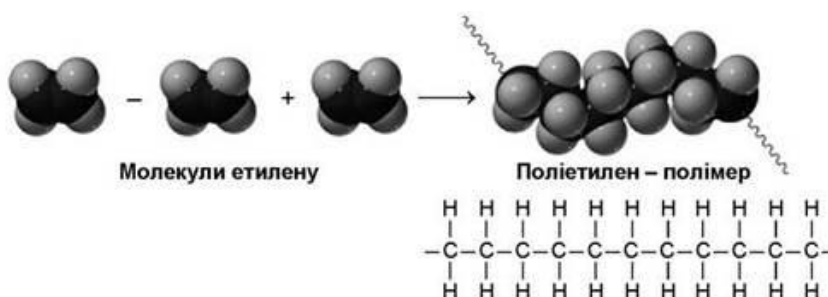


Рисунок 1.1 – Утворення поліетилену [2]

					ДП ОА11.20.000 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Самчинська				Загальна-технічна частина	Літ.	Арк.
Перевір.	Жолтайли						11
Реценз.						Акрушіє	
Н. Контр.	Кулаковський					82	
Затверд.	Бойченко С.В.					НН ІЕЕ, гр. ОА-11	

Процес полімеризації змінює фізичний стан полімерів — від твердого до гнучкого або пластичного — не змінюючи його хімічного складу, що є характерним для термопластів під дією температури або пластифікаторів [1]. Щодо використання пластифікаторів можна зазначити, що завдяки зменшенню взаємодії між молекулами, вони покращують еластичність поліетилену, але при цьому це суттєво впливає на міцність матеріалу, відповідно зменшуючи час експлуатації виробу [3]. Проте використання цього додаткового матеріалу не є необхідним для поліетилену, адже він має високу ступінь еластичності починаючи деформуватися уже при температурах 100...150°C, а деякі і з 60...80°C [1].

Поліетилен має низку характерних властивостей, серед яких можна виокремити наступні: тверда прозора речовина, масляниста на дотик, хімічно інертна, стійка до впливів різних чинників та є термопластичною, тобто має лінійну структуру розміщення атомів у молекулі, що надає можливість легкої повторної переробки виробу [1]. На рисунку 1.2 зображені різновиди термопластичних пластмас.

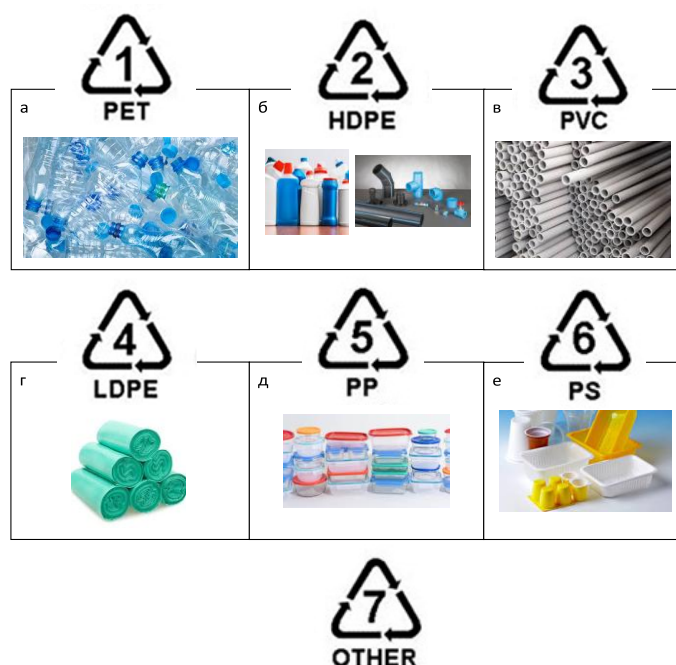


Рисунок 1.2 – Види термопластичних пластмас [4]: поліетилен терефталат (рис. 1.2 а), поліетилен (рис. 1.2 б), полівінілхлорид (рис. 1.2 в), поліетилен

низької щільності (рис. 1.2 г), поліпропілен (рис. 1.2 д), полістирол (рис. 1.2 е), інші види пластмас (рис. 1.2 ж).

Джерело: розроблено автором на основі [5]

Для виготовлення поліетилену використовують зазвичай такі сировини, як нафта, кам'яне вугілля, природний газ, сланці [3]. Тривала експлуатація матеріалу під дією зовнішніх чинників призводить до старіння матеріалу та його утилізації.

1.1.2 Гума та її властивості

Процес виготовлення гуми, придатної для формування виробів, включає приготування гумової суміші та її подальшу вулканізацію. Основою гум є каучук, який поділяється на природний та синтетичний, також до його складу входять додаткові суміші, перелік яких наведено на схемі 1.3.

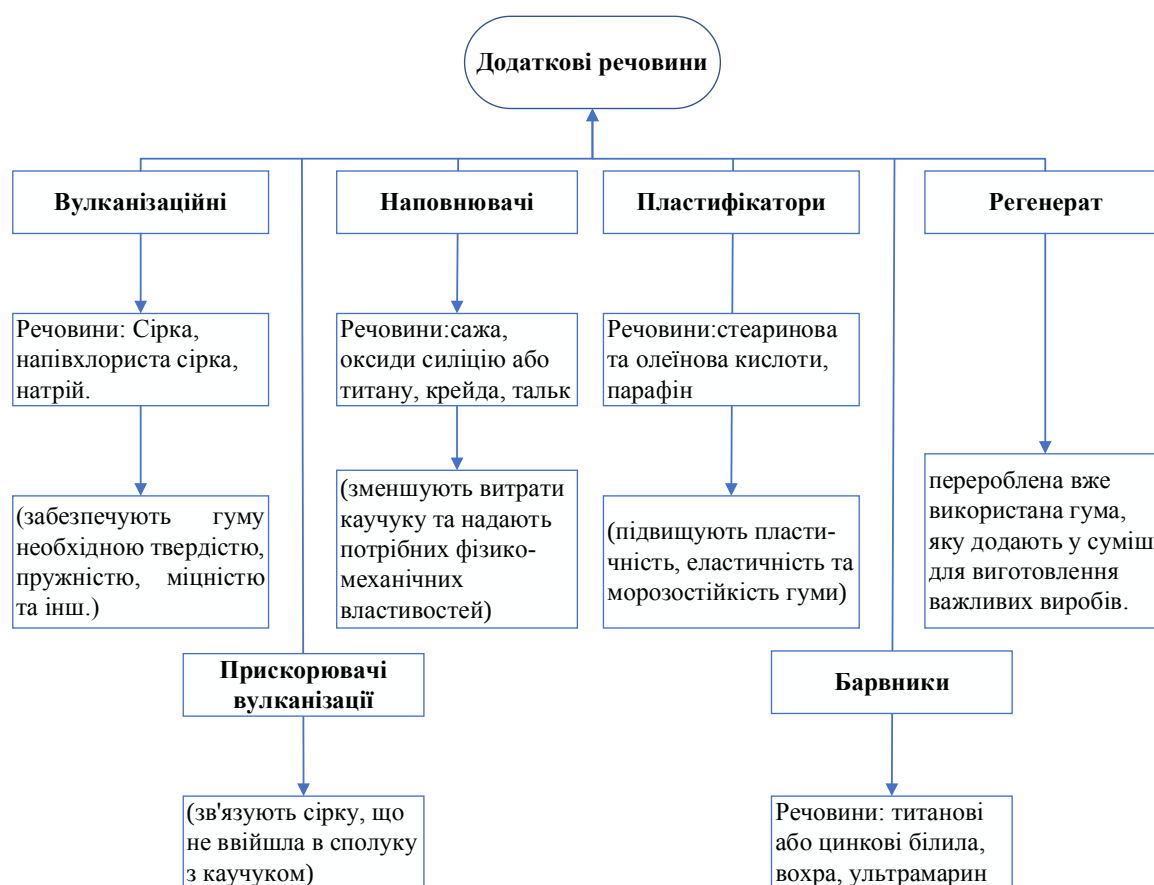


Рисунок 1.3 – Додаткові суміші, що входять до складу гуми

Джерело: розроблено автором на основі [5]

Гумова суміш утворюється за таких умов: спершу каучук подрібнюють на частини, пропускаючи між валками у нагрітому до температури 40...50°C стані та змішують з іншими наповнювачами - у результаті утворюється пластична маса, яка використовуватиметься для виготовлення гумових виробів шляхом їх видавлювання, пресування або ж лиття під тиском. Проте потрібно зважати на те, що при додаванні сірки у суміш її температура не повинна перевищувати 115°C [5].

Основними властивостями гуми є її еластичність, механічна міцність, стійкість до впливів температур та хімічних речовин, газо- та водонепроникність, зносостійкість та хороша ізоляційність [6]. Всі вони визначають незамінність даного складника у випадках, коли потрібно, щоб предмет після дії зовнішніх чинників повертався до своєї початкової форми та при цьому його можна було б використовувати у разі низьких та високих температур, що збільшить його кількість використання у різних галузях, проте беззаперечно це також вплине і на зменшенні довговічності виробу. Поділ гумових матеріалів можна розглянути на рисунку 1.4.

					ДП ОА11.20.000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

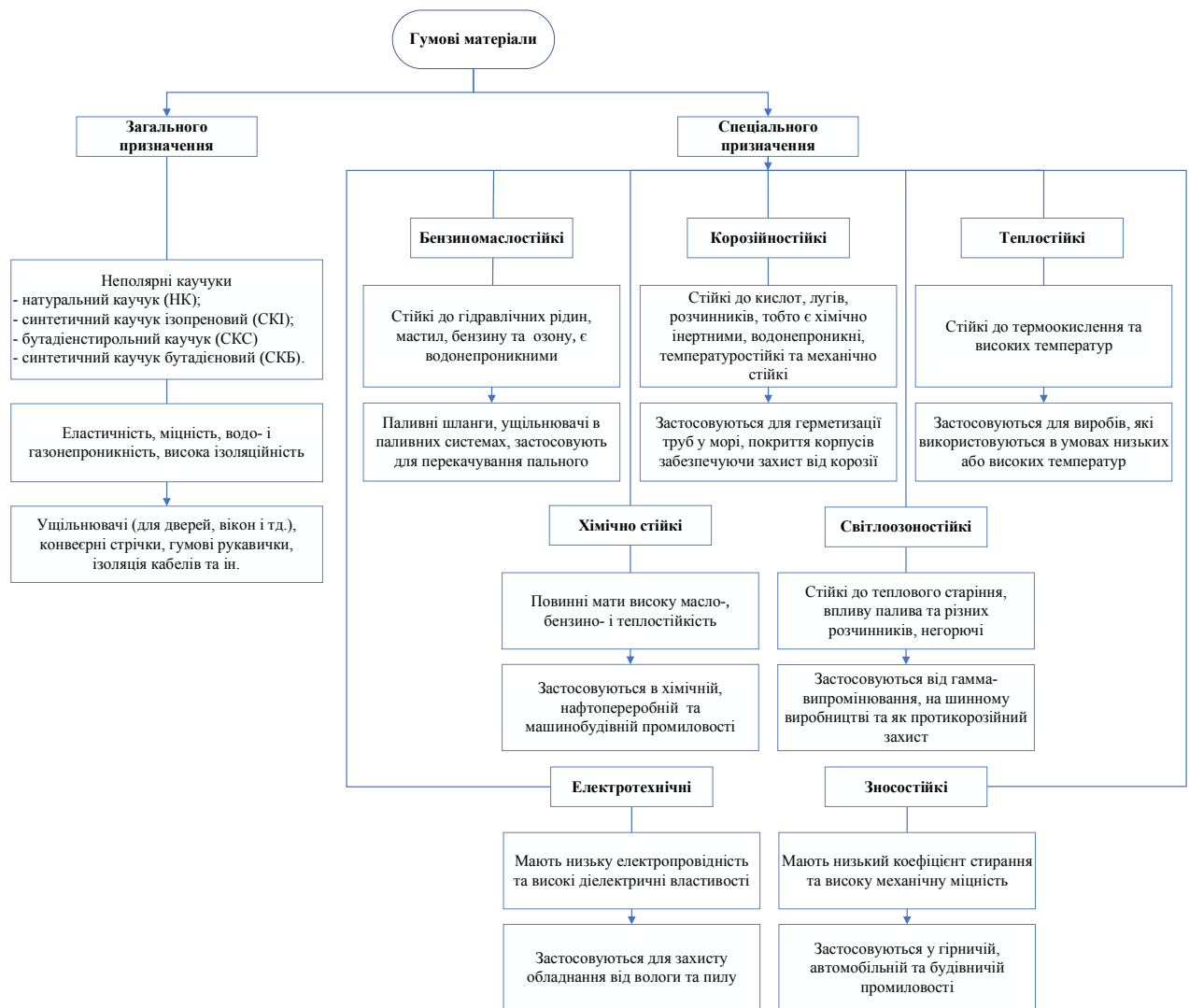


Рисунок 1.4 – Гумові матеріали за їх призначенням [6]

Джерело: розроблено автором на основі [6]

1.1.3 Вплив ТПВ на навколишнє середовище та населення України

В Україні щороку накопичується понад 10 млн. тонн ТПВ, з яких понад 90% захоронюється на полігонах, багато з яких вже переповненні або не відповідають екологічним стандартам. На сьогодні налічується близько 6000 офіційних полігонів, однак існують також тисячі несанкціонованих сміттєзвалищ. Кількість ТПВ збільшується, що негативно позначається на стані навколишнього середовища, а саме накопичення відходів, виділення їх шкідливих речовин в атмосферу, ґрунт та воду, що також шкодить здоров'ю населення.

На місці скупчення відходів утворюються фільтрати, які через недостатню гідроізоляцію, просочують в землю та підземні води такі шкідливі речовини, як: важкі метали, пластик, залишки фарб та ін. Під час виділення даної рідини відчувається неприємний запах, що негативно впливає на буденне життя населення. Також відходи виділяють метан – звалищний газ, що зумовлює посилення проблеми глобального потепління, адже виділяються такі токсичні речовини – діоксини, вуглекислий та чадний газ [7].

Утилізація та повторна переробка матеріалів, покращить не лише екологічну ситуацію, а й соціальну та економічну. Створення підприємств, що будуть займатися відходами, забезпечить населення новими робочими місцями, підвищить рівень життя населення, зменшивши ризики захворювання респіраторними та інфекційними хворобами. Речовини, що підлягають переробці, дозволять заощадити на витратах сировини – отримавши прибуток з цього. Це сприятиме зменшенню забрудненню ґрунтів, водойм і повітря, а також дасть змогу зупинити несанкціоноване захоронення сміття.

У підсумку можна сказати, що відмова від безконтрольного захоронення відходів і перехід до екологічно безпечних методів утилізації дозволить сформувати стійку систему управління відходами, яка сприятиме збереженню природи та покращенню життя для майбутніх поколінь.

1.2 Методи утилізації поліетиленових та гумових відходів

Утилізація твердих побутових відходів (ТПВ) є ключовим елементом екологічної безпеки та сталого розвитку. Щороку у світі утворюються мільйони тонн побутових відходів, значна частина яких не піддається природному розкладу. Тому особливу увагу звертають на методи утилізації, які не лише дозволяють зменшити обсяг сміття, а й вторинно переробити його та отримати якісні матеріали повторно.

					ДП ОА11.20.000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2.1 Класифікація методів утилізації ТПВ

Існує кілька основних методів утилізації ТПВ, які класифікуються залежно від фізико-хімічних принципів обробки, екологічного впливу, кінцевого результату переробки та економічної ефективності.

Основна класифікація включає в себе такі методи:

- **Захоронення** – є найбільш поширеним та легким способом утилізації відходів. Полягає він у тому, що на полігони звозять відходи, які в подальшому підлягають захороненню. Проте це не є екологічно, адже шкідливі сполуки забруднюють навколишнє середовище, що є небезпечно, адже через велике скупчення сміття в його пластах виділяється метан – вибухонебезпечний газ, який при підвищенні до певної температури може почати тління та загорання, що становить небезпеку для природи та людей [8].
- **Механічні методи** – включають в себе фізичну обробку відходів без зміни їх хімічного складу. Сортивання використовується для розподілу відходів залежно від матеріалу з якого було виготовлено виріб, для подальшої утилізації або повторного використання. Водночас потрібно зважати також на те, що даний метод не підходить для переробки всіх відходів, що впливає на вибір подальшого способу їх рециклінгу. Тому сортування підходить лише як один з початкових етапів знешкодження матеріалів [9].
- **Біологічні методи** – використовуються для перетворення органічних речовин у більш прості, завдяки застосуванню мікроорганізмів. Даний метод може відбуватись в аеробних та анаеробних умовах. До аеробного розкладання відноситься компостування, даний процес за участі кисню утворює гумус – цінна складова ґрунту [10]. При анаеробному методі органічні відходи розкладаються без доступу до кисню, утворюючи біогаз. Водночас потрібно враховувати те, що ефективне та безпечне використання біогазу можливе лише за умови накопичення і стабілізації системи, що може тривати до 10 років [8].

					ДП ОА11.20.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Дані методи мають обмежене застосування, адже відбувається переробка лише органічних речовин, що обмежує сферу використання та вимагає попереднього сортування від неорганічних виробів.

- **Термічні методи** – переробка відходів високими температурами. До цих методів відносять: спалювання – полягає у першочерговому сортуванні відходів та їх подальшому спалюванні у печах з температурою близько 700–900°C, що дозволяє скоротити масу відходів у 2-3 рази, усунути неприємні запахи, знищити шкідливі бактерії та утворити тепло чи електроенергію [10]; газифікація – термічна переробка з обмеженим доступом до кисню за температури понад 900°C [8]. Основним продуктом є горючий газ, який може використовуватися, як паливо; піроліз – процес термічного розкладання органічних відходів у середовищі з обмеженою кількістю кисню або за його відсутності. В результаті утворюється піролізний газ, що містить водень, метан та оксид вуглецю, рідкі смоли та твердий вуглецевий залишок. Цей метод застосовується для утилізації пластмас, гуми, та відходів нафтопереробки [10].

Термічні методи утилізації є ефективними для зменшення кількості ТПВ. Проте їх впровадження потребує попереднього сортування відходів, систем очищення викидів та значних грошових вкладень. Оптимальним застосуванням цих процесів є поєднання їх з механічними, біологічними або термічними методами.

- **Хімічні методи** – полягають в зміні хімічної структури відходів за допомогою реагентів, високих температур або тиску. Вони забезпечують глибоке перетворення органіки на нові речовини або паливо. До основних технологій належать: гідроліз – розкладання складних речовин на прості мономері; гідрогенізація (гідрокрекінг) – перетворення органіки у синтетичне паливо за участі водню; деполімеризація – розщеплення полімерів до мономерів для повторного використання [9].

					ДП ОА11.20.000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2.2 Технологічна схема утилізації відходів з допомогою піролізу

Піроліз – це термічний процес розкладання ТПВ за високих температур у середовищі з мінімальним доступом кисню або за його повної відсутності. Існують три види утилізації відходів методом піролізу, зображені на рисунку 1.5.



Рисунок 1.5 – Різновиди піролізу [8].

Технологічні схеми піролізу містять наступні елементи: реактор (піч), який має декілька етапів для отримання паливних фракцій, такі як: висушування; піроліз; спалювання і плавлення; 2–3 клапани, що забезпечують герметичність реактора при завантаженні у нього ТПВ; систему подачі повітря та газу у нижню частину реактора; конденсатор піролізних газів; система видалення шлаку. Розглянути дану схему можна на рисунку 1.6.

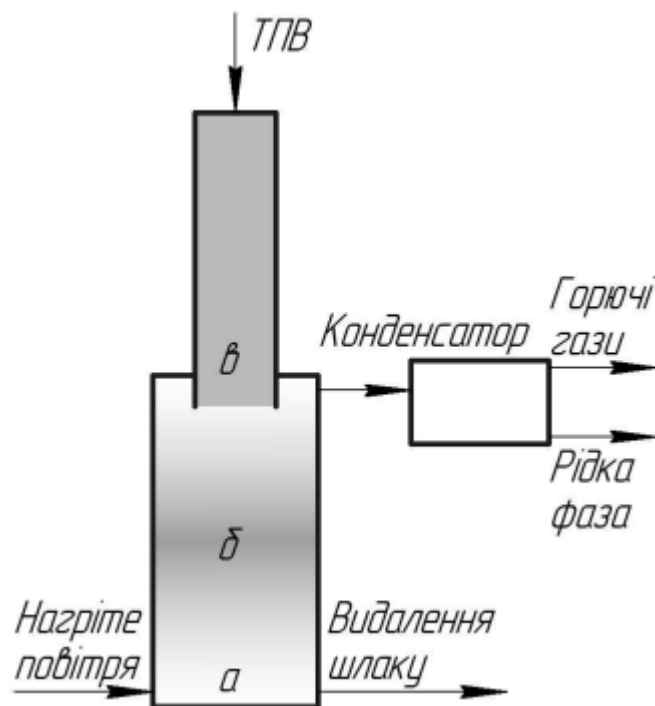


Рисунок 1.6 – Схема обладнання для піролізу ТПВ: а – етап горіння та плавлення; б – етап піролізу; в – етап висушування відходів

Принцип дії цієї установки полягає у завантаженні відходів через шибєрні затвори у верхню частину реактора. Далі гарячі газу з нижньої частини печі потрапляють у верхню на етап висушування. Виділивши з відходів вологу матеріали дістаються до етапу піролізу, де ТПВ розкладаються на горючий газ, який підіймається вгору до етапу висушування та поєднується з парою, звідки дана речовина переміщується в конденсатор, там вона охолоджується і розподіляється на рідку смолу, вологий і горючий газ; вуглець та шлаки, що не розкладаються, тому вони переходять до етапу горіння та плавлення, де перший своєю чергою згорає при температурі 1600°C, а шлак стає рідким, виводиться з системи та може використовуватися в промисловості. Для підтримання температури до нижньої частини реактора, а саме етапу горіння та плавлення подається повітря температурою близько 600–900°C [8].

					ДП ОА11.20.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

1.2.3 Технологічна схема утилізації відходів за допомогою гідрокрекінгу

Гідрокрекінг – це процес, що відбувається за високої температури з використанням каталізатора і водню, під час якого складні органічні сполуки розщеплюються на більш легкі. Даний метод дозволяє переробляти складні молекули у цінні паливні продукти, такі як бензин, дизель і газоподібні фракції.

Принцип дії установки полягає в наступному: сировина спочатку проходить стадію нагрівання у теплообміннику, а потім у печі, після чого надходить у реактор. До реактора подається обмежена кількість холодного воденьвмісного газу, що дозволяє стабілізувати температуру та запобігти надмірному підвищенню в зоні реакції.

Продуктова суміш, яка виходить із реактора, охолоджується за допомогою теплообмінника та холодильників, після чого прямує до сепаратора для розподілу. З верхньої частини сепаратора відбирається циркуляційний воденьвмісний газ, який проходить очищення від сірководню в абсорбері і знову повертається в процес після стиснення компресором, а свіжий ВВГ подається через окремий компресор.

Рідка частина, що була отримана з сепаратора нагрівається у теплообміннику і подається до стабілізаційної колони. З нижньої частини цієї колони відбирається бензинова фракція, яка спрямовується на риформінг, а з верхньої після конденсації продукт потрапляє до сепаратора, де поділяється на газ, що очищується в абсорбері та видаляється з процесу, та рідку частину, яку направляють у фракціонуючу колону, де з верхньої частини отримують вуглеводневі гази, а з нижньої – фракцію ізомеризату [11].

На рисунку 1.7 зображено схему установки гідрокрекінгу бензинової фракції.

					ДП ОА11.20.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

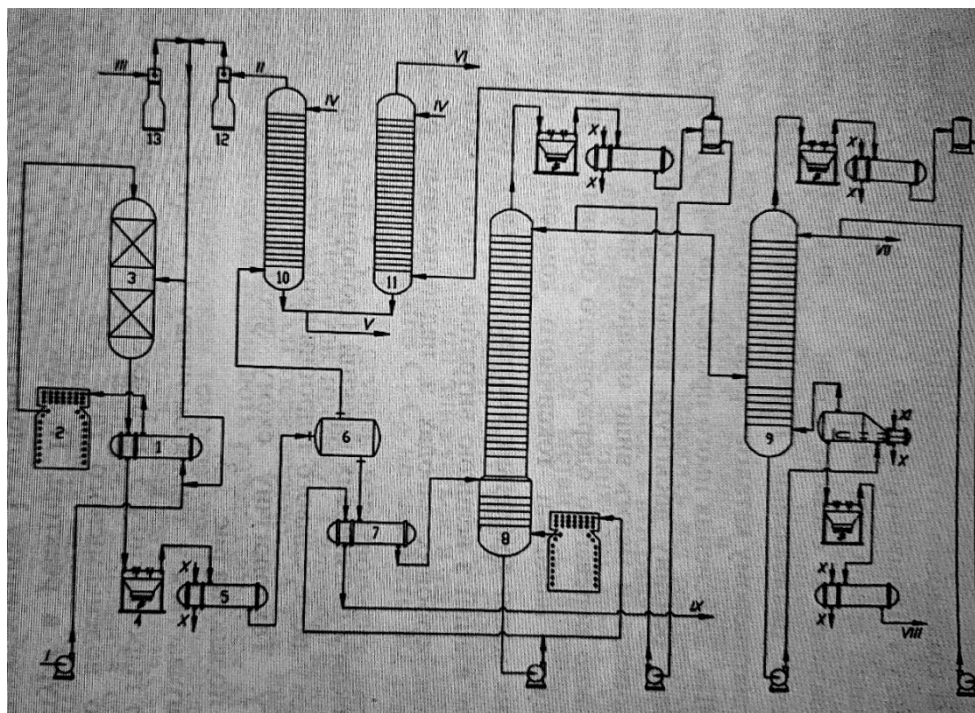


Рисунок 1.7 – Схема установки гідрокрекінгу бензинової фракції: 1 – сировинний теплообмінник; 2 – піч; 3 – реактор; 4, 5 – холодильники; 6 – сепаратор; 7 – підігрівач; 8 – стабілізаційна колона; 9 – фракціонуюча колона; 10 – абсорбційна колона очищення ВВГ; 11 – абсорбційна колона очищення вуглеводневих газів; 12 – компресор подавання циркулюючого ВВГ; 13 – компресор подавання свіжого ВВГ

Потоки: 1 – сировина; II – циркулюючий ВВГ; III – свіжий ВВГ; IV – розчин моноетаноламіну; V – розчин моноетаноламіну на регенерацію; VI – вуглеводневі гази C1-C2; VII – вуглеводневі гази C3-C4; VIII – ізомеризат фракція C5-C6; IX – бензинова фракція на установку риформінгу; X – вода; XI – водяна пара

Отже, гідрокрекінг здатен поглибити перетворення нафтопродуктів, зокрема пластикових відходів та відходів зношених шин після попередньої обробки даних продуктів шляхом піролізу. В результаті можливо отримати якісні фракції, що дозволяють забезпечити країну власним альтернативним паливом, зменшивши імпорт нафтопродуктів з Європи [12] та вирішити проблему високого рівня відходоємності небезпечних відходів [13].

Метою дипломного проєкту є автоматизація установки гідрокрекінгу пластикових відходів для отримання альтернативного палива.

Об'єкт – переробка пластикових відходів для отримання альтернативного палива.

Предмет – гідрокрекінг пластикових відходів.

Завдання:

- 1) здійснити аналітичний огляд методів утилізації гумових та поліетиленових відходів та технологічних схем переробки відходів з метою отримання альтернативних паливних фракцій;
- 2) розрахувати електропостачання цеху з переробки відходів гідрогенізацією;
- 3) здійснити вибір компонентів автоматизації для установки переробки відходів гідрогенізацією та моделювання PID-регулятора співвідношення подачі реагентів до реактору гідрокрекінгу;
- 4) розглянути заходи охорони праці при обслуговуванні установки гідрогенізації.

1.2.3.1 Розрахунок основних параметрів установки гідрокрекінгу поліетиленових відходів

Параметри процесу впливають на результати перетворення сировини, змінюючи, як кількісний, так і якісний склад отриманих продуктів. В нашому випадку такою сировиною є пластикові відходи, які в основному, складаються з: поліетилену (ПЕ) – 36%, поліетилентерефлатату (ПЕТФ) – 26%, полівініл-хлориду (ПВХ) – 16%, поліпропілену (ПП) – 12%, полістиролу (ПС) – 10%. Ці відходи після сортування проходять обробку піролізом, в результаті чого ми отримуємо дистилат бензинових фракцій. Далі ці фракції подаються до цеху де проходять обробку гідрокрекінгу. В результаті чого ми отримуємо якісніші паливні фракції. Після піролізу пластикових відходів теоретично ми можемо отримати в середньому 70% від обсягу палива [14].

Наш завод переробляє 2т пластику в день. Це 250 кг/год при установці перервної роботи (8 годин на добу) та приблизно 83,3 кг/год при безперервній.

					ДП ОА11.20.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Враховуючи вихід з піролізної установки (58%), на вхід цеху гідрокрекінгу надходить:

- при перервній роботі: 145 кг/год
- при безперервній роботі: 48,3 кг/год

Розглянемо параметри процесу, що впливають на глибину перетворення твердих побутових відходів:

- температура – найкращим інтервалом температур для проведення гідрокрекінгу є 300–450°C. При підвищенні температури значно зростає швидкість реакцій розщеплення, що призводить до збільшення виходу легких фракцій і газів. При цьому змінюється склад продуктів: зростає вміст алканів, зменшується частка циклоalkanів та співвідношення ізоalkanів до алканів. Температурне регулювання дозволяє керувати фракційним і хімічним складом кінцевих продуктів [11].

- тиск – вибір даного параметру пов'язаний із температурою, тобто чим вища температура, тим вищим має бути тиск, щоб забезпечити термодинамічну стабільність реакцій. Підвищений тиск не лише покращує глибину гідрування, а й підвищує якість отриманих продуктів та продовжує термін каталізатора. Наприклад, при 5,0 МПа каталізатор працює 3-4 місяці, а при 10,0 МПа – до 6-7 місяців. Також потрібно знати, що при вищому тиску зменшується вміст сірки, азоту та смол, збільшується вихід дизельної фракції та знижується кількість залишку.

Каталізатори для пластикових відходів: Ni-Mo/AlPO₄ або Co-Mo/AlPO₄ (сульфидовані). Каталізатори, які застосовують у гідрокрекінгу для отримання бензинових фракцій, вирізняються високою здатністю до розщеплення важких вуглеводнів, а також ефективністю у процесах гідрування поліциклічних ароматичних сполук. Вони також демонструють хорошу стійкість до деактивації в присутності сполук сірки та азоту.

Для переробки важких фракцій нафти, таких як глибокі дистиляти, вакуумні газойлі чи залишки після каталітичного крекінгу, зазвичай застосовують

					ДП ОА11.20.000 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

каталізатори на базі цеолітів, переважно типу фожазиту. Високою активністю відзначаються катіонно-модифіковані цеоліти типу Y, наприклад, каталізатори із заміщенням Na^+ на рідкісноземельні елементи (РЗЕ) у межах 30–80%, або частково обмінені на H^+ (45–60%) та Mg^{2+} (40–45%).

У разі, коли гідрувальна функція каталізатора забезпечується $\text{Ni}(\text{Co})$ -Mo фазою, до цеоліту типу Y іонно вводять нікель або кобальт. Для посилення розщеплювальної дії можуть додатково застосовуватись галогенування, введення оксидних компонентів або часткове видалення алюмінію з решітки цеоліту (деалюмініування).

Гідрувальні властивості каталізаторів забезпечуються використанням металів платинової групи (в концентрації 0,5–3%), або сульфідних форм нікелю та молібдену ($\text{Ni}(\text{Co})$ 2,5–5%, $\text{Mo}(\text{W})$ 5–15%). В якості носія часто використовують $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, алюмосилікати, оксид кремнію (SiO_2), магнезій (MgO) або алюмінійфосфати (AlPO_4). У деяких випадках додають оксиди важковідновлюваних металів, таких як Ti, Zr, Hf, Th, а також галогени. Зміст цеоліту в таких каталізаторах зазвичай знаходиться в межах 10–90% [11].

- об'ємна швидкість подачі сировини (год^{-1}) – це показник, який відображає, скільки об'єму сировини подається за одну годину на одиницю об'єму реакційної зони або каталізатора в процесі гідрокрекінгу. Є два різні підходи регулювання глибини перетворення сировини: перший полягає в тому, що при підвищенні температури та меншій швидкості подачі сировини, зростає глибина перетворення сировини та контакт з каталізатором проходить довше; другий – навпаки проводиться при меншій температурі та більшій об'ємній швидкості подачі сировини. Проте для установок гідрокрекінгу потрібно обирати мінімальну температуру, щоб уникнути утворення коксування, газоутворення та знижується ресурс каталізатора.

Гідрокрекінг бензинових фракцій зазвичай здійснюється за тиску 2–9 МПа, температурного діапазону 300–390 °C, з об'ємною швидкістю подачі сировини 1–2 год^{-1} і подачею водневмісного газу (вміст водню понад 75%) у кількості 1000–

					ДП ОА11.20.000 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1500 нм³ на м³ сировини. За таких технологічних параметрів утворюється 20–35% ізопарафінів у межах C5–C6 (частково C7), при цьому вихід C4-фракцій становить 12–36%, а газових продуктів C1–C3 — 3–20% (частіше до 15%). Ізо-компонент, отриманий у процесі, має октанове число близько 85–87. Після змішування цього компонента з риформатом у співвідношенні 3:7 отримують товарний бензин, що відповідає марці А-92 [11].

Саме бензинові фракції ми отримуємо після піролізу, з котрих перероблялось поліетилену (ПЕ) – 36%, поліетилентерефлатату (ПЕТФ) – 26%, полівініл-хлориду (ПВХ) – 16%, поліпропілену (ПП) – 12%, полістиролу (ПС) – 10%. Виходячи з кількості подачі сировини до гідрокрекінгу при безперервній роботі 48,3 кг/год та щільності пластикових відходів, можемо приблизно оцінити об'єм реактора. При щільності: поліетилену (ПЕ) 36% – 0,9 кг/м³; поліетилентерефлатату (ПЕТФ) 26% – 1380 кг/м³; полівініл-хлориду (ПВХ) 16% – 1430 кг/м³; поліпропілену (ПП) 12% – 930 кг/м³; полістиролу (ПС) 10% – 25,1 кг/м³.

$$\text{Об'ємна шв. подачі сировини} = \frac{\text{сировина м}^3/\text{год}}{\text{об'єм реактора або каталізатора}}$$

Отже:

$$\begin{aligned} \text{Об'єм реактора або каталізатора} &= \\ &= \frac{\text{сировина м}^3/\text{год}}{\text{об'ємна шв. подачі сировини}} = \frac{\text{сировина м}^3/\text{год}}{1 - 2 \text{ год}^{-1}} \end{aligned}$$

Знайдемо кількість сировини враховуючи щільності та співвідношення у відсотках складу відходів:

$$\text{Сировина} \frac{\text{м}^3}{\text{год}} = \frac{48,3 \text{ кг/год}}{0,9*0,36+1380*0,26+1430*0,16+930*0,12+25,1*0,1} = 0,062 \text{ м}^3/\text{год}$$

					ДП ОА11.20.000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тепер знайдемо об'єм реактора або каталізатора:

$$\text{об'єм реактора або каталізатора} = \frac{0,062 \text{ м}^3/\text{год}}{1 - 2 \text{ год}^{-1}} = 0,031 - 0,062 \text{ м}^3$$

Прийmemo середнє значення об'єму реактора або каталізатора: $0,047 \text{ м}^3$

- витрата водню і кратність циркуляції ВВГ – обсяг споживаного водню у процесі гідрокрекінгу визначається як глибиною перетворення, так і властивостями вихідної сировини. У реакції зазвичай застосовують не чистий водень, а воденьвмісний газ з вмістом водню в межах 60-90 об. %. Його подають у кількості від 500 до 2000 $\text{м}^3/\text{м}^3$ сировини. При цьому, чим легші фракції планується отримати, тим більше водню потрібно для забезпечення стабільності процесу та насичення продуктів [11].

Витрата водню на процес X (у % на сировину):

$$100 \cdot H_C + X = H_{\Pi}(100 + X)$$

де: H_C – концентрація водню в сировині

H_{Π} – концентрація водню в продуктах

Середнє значення концентрації водню в піролізній олії з пластикових відходів різного типу: $H_C = 12\%$.

Бажана концентрація водню в продуктах після гідрогенізації: $H_{\Pi} \approx 14,5\%$

Знайдемо відсоток воденьвмісного газу:

$$100 \cdot 12 + X = 14,5 \cdot (100 + X)$$

$$1200 + X = 1450 + 14,5X$$

$$13,5X = 250$$

$$X = 18,5\%$$

Розрахуємо кількість H_2 в кг:

$$H_2 = 48,3 \cdot 0,185 = 8,94 \text{ кг/год}$$

					ДП ОА11.20.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Врахуємо циркуляційний ВВГ, а саме: подавання ВВГ здійснюється за 1000–1500 м³/м³ сировини; концентрація Н₂ в ВВГ 75 %

Отже, об'єм сировини (та що з Н₂):

$$\begin{aligned}\text{ВВГ} &= (1000 \dots 1500) \cdot \text{Сировина} \frac{\text{м}^3}{\text{год}} = \\ &= (1000 \dots 1500) \cdot 0,062 = 62 \dots 93 \text{ м}^3/\text{год}\end{aligned}$$

Водень у цьому ВВГ:

$$\text{При } 75\% \text{ Н}_2 \rightarrow 46,5\text{--}69,8 \text{ м}^3 \text{ Н}_2/\text{год}$$

Враховуючи густину Н₂ = 0.0899 кг/м³ → 4,18–6.27 кг/год циркуляційного Н₂

Тоді:

Джерело	Витрата Н ₂ (кг/год)
Реакційна потреба (X≈18.5%)	~8.9
Циркуляція ВВГ (75% Н ₂)	~4–7 (але повертається частково)

Тобто потрібно подавати ~9 кг/год свіжого водню, але реально закуповується більше (~10–12 кг/год) через втрати і неідеальне повернення циркуляційного газу.

Висновок

Гідрокрекінг забезпечує вищий вихід бензинових фракцій. Цей процес дає змогу не лише розщеплювати великі молекули, але й насичувати продукти воднем, що мінімізує утворення токсичних залишків і дає змогу гнучко керувати умовами процесу для досягнення бажаного результату.

					ДП ОА11.20.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Поєднання піролізу та гідрокрекінгу є перспективним рішенням для ефективної переробки відходів і розвитку альтернативних палив. Так як останній дозволяє перетворити нестабільну піролізну суміш на придатне до використання паливо – бензин або дизель із покращеними характеристиками.

У рамках цього дипломного проєкту головний акцент зроблено на автоматизації процесу гідрокрекінгу, що дозволяє:

- підтримувати стабільні технологічні умови, а саме: температуру, тиск, об'ємну швидкість подавання сировини, подачу водню і циркуляційність ВВГ;
- знизити втрати ресурсів;
- підвищити безпеку та надійність роботи обладнання;
- керовано впливати на склад отриманих продуктів.

					ДП ОА11.20.000 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2. ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

2.1 Характеристика умов проектування та розподілу електроенергії на підприємстві

Підприємство з переробки пластикових відходів на паливо розташовується у місті Боярка, Фастівський район, Київська область. Живлення здійснюється за другою категорією надійності, через одну кабельну лінію від міської електромережі, за допомогою трансформаторної підстанції, що розміщена на відстані 150 м від головного розподільчого щита (ГРЩ) підприємства. Трансформаторна підстанція живиться від розподільчого пункту 10 кВ. Енергія по підприємству розподіляється за радіальною схемою з одним ГРЩ.

Завод переробляє 2 т. пластику вдень, а це 250 кг/год при установці перервної роботи (8 годин на добу) та приблизно 83,3 кг/год при безперервній роботі. Наш режим роботи полягає у його безперервності, тобто 365 днів на рік.

Режим нейтралі – глухозазамлена, що забезпечує стабільність роботи низьковольтних мереж (0,4 кВ) та відповідає вимогам для виробничих приміщень.

Умови роботи класифікуються, як вибухонебезпечні, так як в процесі використовуються вуглеводневі суміші під тиском. Тому необхідно застосовувати електрообладнання у вибухозахищеному виконанні.

Таблиця 2.1 – Електрообладнання цеху

№ п.п	Електроприймач	К-ть	P _н , кВт	cos φ
Секція №1				
1	Електронагрівач пічі	1	60	1
2	Насоси (рідина, абсорбент)	3	3,5	0,7
	Разом	4	70,5	-

					ДП ОА11.20.000 ПЗ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		Самчинська			Електропостачання	Літ.	Арк.	Акрушів	
Перевір.		Жолтайли						30	82
Реценз.						ІЕЕ, гр. ОА-11			
Н. Контр.		Кулаковський							
Затверд.		Бойченко С.В.							

Продовження таблиці 2.1

Секція №2				
1	Компресори	2	20	0,85
2	Електронагрівач підігрівача	1	45	1
3	Контрольно-вимірювальні прилади	4	0,5	1
4	ПЛК + НМІ	1	2	1
	Разом	8	89	-

2.2 Розрахунок електричного освітлення

Виконаємо розрахунок освітлення – методом коефіцієнта світлового потоку. Приміщення поділимо на 3 кімнати, а саме: перша – сортувальна машина, друга – піроліз, а в третій гідрокрекінг. Схематично можна побачити наш цех на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Схематичне зображення підприємства

Розміри приміщення показані в таблиці 2.2.1.

Таблиця 2.2.1 – Вихідні дані приміщень

Приміщення	Розміри, м	Площа, м ²	Висота підвісу світильників	Колір стелі	Колір стін
Сортувальна машина	6×5	30	2,5	сірий	світлий
Піроліз	8×6	48	2,5	сірий	світлий
Гідрокрекінг	12×6	72	2,5	сірий	світлий

Оберемо тип світильника РВЛ-40М-У5 для всіх кімнат, дані покажемо нижче в таблиці 2.2.2.

Таблиця 2.2.2 – Тип світильника та його світловий потік

Світильник	Виконання	Напруга, В	Потужність, Вт	ККД, %	Світловий потік, лм	Лампа
РВЛ-40М-У5	РВ, 1В	220	40	68	2480	ЛБ4ОЛТБ-40

Розрахуємо показник приміщень за формулою:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)},$$

де А і В – довжина та ширина освітлювального приміщення, м;

h – висота підвісу світильника над робочою поверхнею, м.

- Сортувальна машина

$$i = \frac{6 \cdot 5}{2,5 \cdot (6 + 5)} = 1,09$$

- Піроліз

$$i = \frac{8 \cdot 6}{2,5 \cdot (8 + 6)} = 1,37$$

- Гідрокрекінг

$$i = \frac{12 \cdot 6}{2,5 \cdot (12 + 6)} = 1,6$$

Далі щоб забезпечити необхідну освітленість кімнат, розрахуємо загальний світловий потік:

$$F = \frac{K_3 \cdot E_{min} \cdot S \cdot z}{K_B},$$

де $K_3 = 1,7$ – приймемо такий коефіцієнт запасу для люмінісцентних ламп;

$E_{min} = 50$ лк - мінімальна освітленість, лк, прийmemo зважаючи на те, що передбачена робота з приладами;

S – площа освітлюваного приміщення, м²;

$z = 1,35$ – коефіцієнт нерівномірності освітлення;

K_B – коефіцієнт використання освітлювальних установок.

- Сортивальна машина

$$F = \frac{1,7 \cdot 50 \cdot 30 \cdot 1,35}{0,28} = 12294,64 \text{ лм}$$

- Піроліз

$$F = \frac{1,7 \cdot 50 \cdot 48 \cdot 1,35}{0,40} = 13770 \text{ лм}$$

- Гідрокрекінг

$$F = \frac{1,7 \cdot 50 \cdot 72 \cdot 1,35}{0,45} = 18360 \text{ лм}$$

Визначимо необхідну кількість ламп за формулою:

$$n = \frac{F}{F_{\lambda}}$$

- Сортивальна машина

$$n = \frac{12294,64}{2480} \approx 4,95 = 5 \text{ шт.}$$

- Піроліз

$$n = \frac{13770}{2480} \approx 5,55 = 6 \text{ шт.}$$

- Гідрокрекінг

$$n = \frac{18360}{2480} \approx 7,40 = 8 \text{ шт.}$$

2.3 Розрахунок електричних навантажень та вибір трансформаторів

Застосуємо метод коефіцієнту попиту для розрахунку навантаження групи електроприймачів, зведемо отримані результати до таблиці 2.3.1.

					ДП ОА11.20.000 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.3.1 – Розрахунок електричного навантаження групи електроприймачів

№ п.п	Електроприймач	К-ть	P_n , кВт	$\sum P_n$, кВт	P_p , кВт	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi_p$	Q_p	S_p	K_{Π}
Секція №1										
1	Електронагрівач пічі	1	60	60	54,9	1	0	0	54,9	0,915
2	Насоси (рідина, абсорбент)	3	3,5	10,5	9,61	0,7	1,02	9,804	13,729	0,915
	Разом	4	-	70,5	64,51	-	-	9,804	65,251	-
Секція №2										
1	Компресори	2	20	40	27,72	0,85	0,62	17,179	32,612	0,718
2	Електронагрівач підігрівача	1	45	45	32,31	1	0	0	32,31	0,718
3	Контрольно-вимірювальні прилади	4	0,5	2	1,436	1	0	0	1,436	0,718
4	ПЛК + НМІ	1	2	2	1,436	1	0	0	1,436	0,718
	Разом	8	-	89	62,902	-	-	17,179	65,206	-

Визначимо коефіцієнт попиту для кожної з секцій зважаючи на те, що кількість електроприймачів $p < 20$, використаємо формулу:

$$K_{\Pi} = 0,43 + 0,57 \frac{P_{n \max}}{\sum_{i=1}^n P_{ni}}$$

де: $P_{n \max}$ – номінальна потужність найбільшого в групі електроприймача, кВт;

P_{ni} – номінальна потужність електроприймача, кВт.

- Коефіцієнт попиту для Секції №1

$$K_{\Pi} = 0,43 + 0,57 \frac{60}{70,5} = 0,915$$

- Коефіцієнт попиту для Секції №2

$$K_{\Pi} = 0,43 + 0,57 \frac{45}{89} = 0,718$$

Визначимо розрахункове активне навантаження P_p для кожного електроприймача:

$$P_p = K_{\Pi} \sum_{i=1}^n P_{ni};$$

де: K_{Π} – коефіцієнт попиту;

P_{ni} – номінальна потужність електроприймача, кВт.

- Для електроприймачів Секції №1:

$$P_{p1} = 0,915 \cdot 1 \cdot 60 = 54,9 \text{ кВт}$$

Для інших електроприймачів секції №1 та №2 розраховуємо активне навантаження за цією ж формулою та усі отримані значення заносимо до таблиці 2.3.1.

Визначимо розрахункове реактивне навантаження Q_p для кожного електроприймача:

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi_p;$$

де: P_p – активна розрахункова потужність, кВт;

$\operatorname{tg} \varphi_p$ – розрахункове значення коефіцієнта потужності $\cos \varphi$.

- Для електроприймачів Секції №1:

$$Q_{p1} = 54,9 \cdot \tan(\arccos(1)) = 0 \text{ кВАр}$$

Подальші розрахунки реактивного навантаження для обох секцій заносимо до таблиці 2.3.1.

Визначимо повне розрахункове навантаження S_p збірки

$$S_p = \sqrt{P_{pi}^2 + Q_{pi}^2};$$

					ДП ОА11.20.000 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Для Секції №1:

$$S_{p1} = \sqrt{P_{p1}^2 + Q_{p1}^2} = \sqrt{64,51^2 + 9,804^2} = 65,251 \text{ кВА};$$

- Для Секції №2:

$$S_{p2} = \sqrt{P_{p2}^2 + Q_{p2}^2} = \sqrt{62,902^2 + 17,179^2} = 65,206 \text{ кВА}.$$

За значенням S_p оберемо два трифазних масляних двообмоткових трансформатора ТМ-100/10, винесемо параметри винесені до таблиці 2.3.2.

Таблиця 2.3.2

Тип	$P_{\text{ном}}$	Номінальна напруга, кВ		Витрати P_k , кВт	Напруга КЗ, %
		ВН	НН	кор.зам	
ТМ-100/10	100	6 або 10	0,4	1,97	4,5

2.4 Розрахунок електричних мереж підприємства та вибір типу перерізів провідників

При виборі перетинів проводів і жил кабелів розрахунковий струм навантаження групи електроприймачів визначається так:

$$I_P = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_H},$$

де S_P – розрахункове навантаження групи споживачів, кВА;

U_H – напруга мережі, кВ.

Розрахунковий струм низьковольтних споживачів збірки №1:

$$I_{P1.1} = \frac{S_{P1.1}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{54,9}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 79,24 \text{ А};$$

Аналогічно розраховуємо решту електроприймачів для обох секцій та заносимо дані в табл. 2.4.1.

Таблиця 2.4.1 – Дані параметри для розрахунку ліній

Електроприймач	№ Лінії	Довжина лінії, м	Тип лінії	S_p	$\cos \varphi$	ККД	Розрах. Робочий струм лінії I_p , А
1	2	3	4	5	6	7	8
Споживачі низької напруги 0,4 кВ							
Збірка №1							
Електронагрівач пічі	L1.1	40	КЛ	54,9	1	-	79,24
Насоси (рідина, абсорбент)	L1.2	25	КЛ	13,729	0,7	-	19,816
	L1	25	КЛ	65,251	-	-	94,182
Збірка №2							
Компресори	L2.1	35	КЛ	32,612	0,85	-	47,071
Електронагрівач підігрівача	L2.2	30	КЛ	32,31	1	-	46,636
Контрольно- вимірювальні прилади	L2.3	20	КЛ	1,436	1	-	2,073
ПЛК + НМІ	L2.4	15	КЛ	1,436	1	-	2,073
	L2	25	КЛ	65,206	-	-	94,118

Оберемо перетин провідників за нагрівом, порівнявши розрахунковий струм I_p з довготривалими припустимими струмами навантаження

$$I_p \leq I_{\text{доп}}$$

де I_p – розрахунковий (або робочий) струм i -ї лінії, А;

$I_{\text{доп}}$ – тривало-допустимі струми для стандартного ряду перерізів провідника ліній.

Таблиця 2.4.2 – Вибір перетину провідників за допустимим нагрівом

Лінія	I_p , А	$I_{\text{доп}}$, А	$S_{\text{нагр}}$, мм ²	Марка
L1.1	79,24	90	35	АВВГ 3×35
L1.2	19,816	27	4	АВВГ 3×4
L1	94,182	110	50	АВВГ 3×50
L2.1	47,071	60	16	АВВГ 3×16
L2.2	46,636	60	16	АВВГ 3×16
L2.3	2,073	19	2,5	АВВГ 3×2,5
L2.4	2,073	19	2,5	АВВГ 3×2,5
L2	94,118	110	50	АВВГ 3×50

Проведемо розрахунок втрат напруги в трансформаторі [%] за формулою:

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

де β – коефіцієнт завантаження трансформатора:

- Для Секції №1:

$$\beta_1 = \frac{S_{p1}}{S_{\text{н.т}}} = \frac{65,251}{100} = 0,653$$

- Для Секції №2:

$$\beta_2 = \frac{S_{p2}}{S_{\text{н.т}}} = \frac{65,206}{100} = 0,652$$

Виконаємо обчислення активної складової напруги КЗ трансформатора:

$$U_{a\%} = \frac{\Delta P_K}{10 \cdot S_{H.T.}} = \frac{1970}{10 \cdot 100} = 1,97 \%,$$

де ΔP_K – втрати КЗ трансформатора, Вт;

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

$$\cos\varphi_{TP1} = \frac{\sum P_{p1}}{S_{p1}} = \frac{64,51}{65,251} = 0,988;$$

$$\cos\varphi_{TP2} = \frac{\sum P_{p2}}{S_{p2}} = \frac{62,902}{65,206} = 0,964;$$

Визначаємо реактивну складову напруги КЗ трансформатора [%]

$$U_{p\%} = \sqrt{(U_{k\%})^2 - (U_{a\%})^2} = \sqrt{4,5^2 - 1,97^2} = 4,046 \%;$$

$$\sin\varphi_{TP1} = \sqrt{1 - \cos\varphi_{TP1}^2} = \sqrt{1 - 0,988^2} = 0,154;$$

$$\sin\varphi_{TP2} = \sqrt{1 - \cos\varphi_{TP2}^2} = \sqrt{1 - 0,964^2} = 0,266;$$

$$\begin{aligned} \Delta U_{TP\%1} &= \beta_1 (U_{a\%} \cos\varphi_{TP1} + U_{p\%} \sin\varphi_{TP1}) = \\ &= 0,653(1,97 \cdot 0,988 + 4,046 \cdot 0,154) = 1,678 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta U_{TP\%2} &= \beta_2 (U_{a\%} \cos\varphi_{TP2} + U_{p\%} \sin\varphi_{TP2}) = \\ &= 0,652(1,97 \cdot 0,964 + 4,046 \cdot 0,266) = 1,939 \end{aligned}$$

Отримане значення втрат напруги $\Delta U_{TP\%}$ у [%] переводимо у [В] за наведеною формулою нижче:

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

де K_0 – коефіцієнт зміни напруги в трансформаторі;

U_0 – генераторна напруга мережі, для якої розраховуються втрати напруги.

$$\Delta U_{TP1} = \Delta U_{TP\%1} \cdot K_0 \cdot \frac{U_0}{100} = 1,678 \cdot 1 \cdot \frac{400}{100} = 6,712 \text{ В};$$

$$\Delta U_{TP2} = \Delta U_{TP\%2} \cdot K_0 \cdot \frac{U_0}{100} = 1,939 \cdot 1 \cdot \frac{400}{100} = 7,756 \text{ В}.$$

					ДП ОА11.20.000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок втрат напруги в кабелі проводиться за формулою:

$$\Delta U_{г.к} = \frac{P_H \cdot L_{г.к} \cdot 10^3}{\gamma \cdot S_{г.к} \cdot U_H \cdot \eta_H},$$

де P_H – потужність всіх електроприймачів, що живиться цим кабелем, кВт;

$L_{г.к}$ – довжина кабелю, м;

$\gamma = 32$ – питома провідність для алюмінієвих жил, м/(Ом•мм²);

$S_{г.к}$ – найбільший переріз кабелю з попередніх перевірок, мм²;

U_H – номінальна напруга мережі, для якої розраховуються втрати напруги [В];

$\eta_H = 1$ – ККД електроприймача.

$$\Delta U_{г.к1.1} = \frac{54,9 \cdot 40 \cdot 10^3}{32 \cdot 35 \cdot 400 \cdot 1} = 4,902 \text{ В};$$

Таблиця 2.4.3 – Остаточні розрахунки електричної мережі

№ лінії	Розрахунковий робочий струм I_p , А	За нагрівом		За втратами напруги	Остаточна обрана марка та переріз лінії
		$I_{доп}$, А	$S_{нагр}$, мм ²	Втрати напруги, В	
1	2	3	4	8	10
L1.1	79,24	90	35	4,902	АВВГ 3×35
L1.2	19,816	27	4	4,69	АВВГ 3×4
L2.1	47,071	60	16	4,737	АВВГ 3×16
L2.2	46,636	60	16	4,733	АВВГ 3×16
L2.3	2,073	19	2,5	0,898	АВВГ 3×2,5
L2.4	2,073	19	2,5	0,673	АВВГ 3×2,5
L1	94,182	110	50	2,549	АВВГ 3×50
L2	94,118	110	50	2,547	АВВГ 3×50

2.5 Розрахунок струмів КЗ

Основною метою під час розрахунку струмів короткого замикання є визначення опорів окремих елементів електричної системи.

					ДП ОА11.20.000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

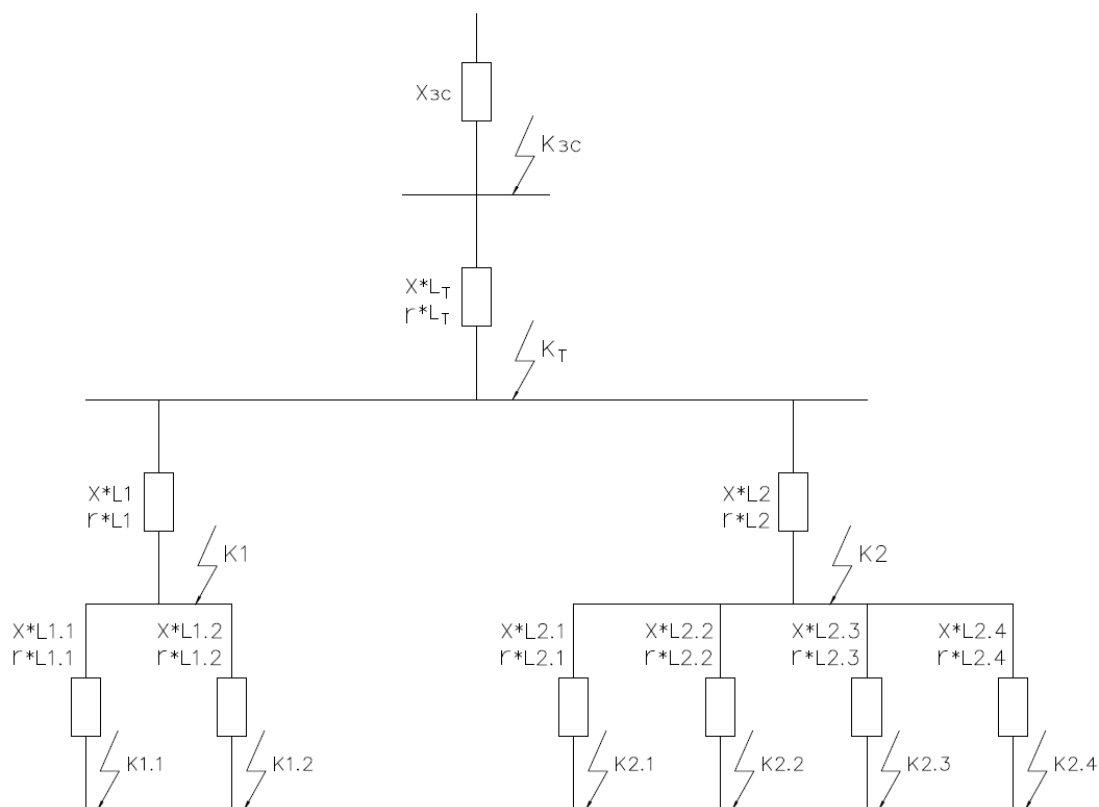


Рисунок 2.5.1 – Схема заміщення для розрахунку точок КЗ

Розрахуємо опори всіх елементів електричної мережі, що входять до складу замкнених контурів короткого замикання та занесемо до таблиці 2.5.1.

Таблиця 2.5.1 – Опори елементів мережі

Елемент мережі	R, Ом	X, Ом
ТМ-100	0,0315	0,0646
L1.1	0,0357	0,128
L1.2	0,195	0,08
L1	0,0156	0,08
L2.1	0,0684	0,112
L2.2	0,0586	0,096
L2.3	0,25	0,064
L2.4	0,1875	0,048
L2	0,0156	0,08

Трансформатор ТМ-100/10 (Точка Кт)

Формула для обчислення номінального струму трансформатора має вигляд:

$$I_{\text{н.т}} = \frac{S_{\text{т}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}},$$

де $S_{\text{т}}$ – номінальна потужність трансформатора, кВА;

$U_{\text{н}}$ – номінальна напруга, В.

$$I_{\text{н.т}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 144,338 \text{ А}$$

Активний опір трансформатора обчислюється за виразом:

$$R_{\text{т}} = \frac{\Delta P_{\text{к}}}{3 \cdot I_{\text{н.т}}^2},$$

де $\Delta P_{\text{к}}$ – втрати КЗ трансформатора, кВт;

$$R_{\text{т}} = \frac{1970}{3 \cdot 144,338^2} = 0,0315 \text{ Ом}$$

Повний опір трансформатора в режимі КЗ визначають за формулою:

$$Z_{\text{т}} = \frac{U_{\text{к}} \cdot U_{\text{сн}}}{100 \cdot \sqrt{3} \cdot I_{\text{н.т}}},$$

де $U_{\text{к}}$ – напруга КЗ трансформатора, %;

$U_{\text{сн}}$ – середня номінальна напруга КЗ, В.

$$Z_{\text{т}} = \frac{4,5 \cdot 400}{100 \cdot \sqrt{3} \cdot 144,338} = 0,0719 \text{ Ом}$$

Визначимо реактивний опір трансформатора КЗ:

$$X_{\text{т}} = \sqrt{Z_{\text{т}}^2 - R_{\text{т}}^2} = \sqrt{0,0719^2 - 0,0315^2} = 0,0646 \text{ Ом}$$

Обчислимо трифазний струм КЗ:

$$I_{\text{кт}}^{(3)} = \frac{U_{\text{сн}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{т}}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,0719} = 3,211 \text{ кА}$$

Двофазний струм КЗ трансформатора:

$$I_{\text{кт}}^{(2)} = \frac{U_{\text{сн}}}{2 \cdot Z_{\text{т}}} = \frac{400}{2 \cdot 0,0719} = 2,781 \text{ кА}$$

					ДП ОА11.20.000 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахуємо значення діючого ударного струму КЗ за формулою:

$$I_y = I_{\text{КТ}}^{(3)} \cdot \sqrt{1 + 2(K_y - 1)^2},$$

де $K_y = 1,2$ – ударний коефіцієнт.

$$I_y = 3,211 \cdot \sqrt{1 + 2(1,2 - 1)^2} = 3,337 \text{ кА}$$

Амплітудне значення ударного струму КЗ:

$$i_{\text{уТ}} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{\text{КТ}}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,2 \cdot 3,211 = 5,449 \text{ кА}$$

Точка К1

Значення активного опору лінії визначають або за довідковими таблицями, або розраховують на основі її перерізу за формулою:

$$R = r_0 \cdot L = \frac{1000}{\gamma \cdot S} \cdot L,$$

де $\gamma = 32$ – питома провідність;

S – площа перерізу;

L – довжина лінії.

$$R_1 = \frac{1}{32 \cdot 50} \cdot 25 = 0,0156 \text{ Ом}$$

Реактивний опір обчислюють за питомим індуктивним опором, використовуючи:

$$X = x_0 \cdot L,$$

де x_0 – питомий індуктивний опір провідника.

$$X_1 = x_0 \cdot L = 0,32 \cdot 0,25 = 0,08 \text{ Ом}$$

Визначимо трифазний струм КЗ за формулою, що наведено нижче:

$$I_{\text{К1}}^{(3)} = \frac{U_{\text{сн}}}{\sqrt{3} \cdot Z_i} = \frac{U_{\text{сн}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{\sum R^2 + \sum X^2}}$$

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(0,0315 + 0,0156)^2 + (0,0646 + 0,08)^2}} = 1,518 \text{ кА}$$

Двофазний струм короткого замикання:

$$I_{K1}^{(2)} = \frac{U_{CH}}{2 \cdot Z_i} = \frac{U_{CH}}{2 \cdot \sqrt{\sum R^2 + \sum X^2}}$$

$$I_{K1}^{(2)} = \frac{400}{2 \cdot \sqrt{(0,0315 + 0,0156)^2 + (0,0646 + 0,08)^2}} = 1,315 \text{ кА}$$

Діюче значення ударного струму:

$$I_{y1} = I_{K1}^{(3)} \cdot \sqrt{1 + 2(K_y - 1)^2} = 1,518 \cdot \sqrt{1 + 2(1,2 - 1)^2} = 1,578 \text{ кА}$$

Амплітудний ударний струм:

$$i_{y1} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{K1}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,2 \cdot 1,518 = 2,576 \text{ кА}$$

Розрахуємо всі інші точки КЗ, як “Точка К1” та занесемо результати до таблиці 2.5.1 та 2.5.2.

Таблиця 2.5.2 – Розрахунок струмів КЗ

Точки КЗ	$U_{CH}, \text{ В}$	R, Ом	X, Ом	Z, Ом	$I_K^{(3)}, \text{ кА}$	$I_K^{(2)}, \text{ кА}$	$i_y, \text{ кА}$	$I_y, \text{ кА}$
КТ1	400	0,0315	0,0646	0,0719	3,211	2,781	5,449	3,337
К1.1		0,0357	0,128	0,285	0,810	0,702	1,375	0,842
К1.2		0,195	0,08	0,33	0,699	0,606	1,186	0,726
К1		0,0156	0,08	0,152	1,518	1,315	2,576	1,578
К2.1		0,0684	0,112	0,281	0,821	0,712	1,393	0,853
К2.2		0,0586	0,096	0,263	0,878	0,76	1,49	0,912
К2.3		0,25	0,064	0,363	0,636	0,551	1,079	0,661
К2.4		0,1875	0,048	0,304	0,759	0,658	1,288	0,789
К2		0,0156	0,08	0,152	1,518	1,315	2,578	1,579
КТ2		0,0315	0,0646	0,0719	3,211	2,781	5,449	3,337

2.6 Вибір електричних апаратів та уставок їх спрацювання

З урахуванням специфіки роботи обладнання гідрокрекінгової установки, включаючи підвищені температури, тиск, а також наявність вибухонебезпечного

					ДП ОА11.20.000 ПЗ				Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					44

середовища, вибір електрообладнання і налаштування захисту мають свої особливості.

Усі використовувані апарати повинні бути підібрані за номінальними струмами і напругами. Також вони мають проходити перевірку на стійкість до дії струмів КЗ. У вибухонебезпечних зонах рекомендується використання електрообладнання у вибухозахищеному виконанні.

Під час добору струмоведучих елементів і апаратури за номінальною напругою необхідно дотримуватися таких вимог:

$$U_{н.а.} \geq U_{н.с.}; U_{м.а.} \geq U_{р.м.}$$

де $U_{н.а.}$, $U_{н.с.}$ – номінальна напруга апарата і мережі ($U_{н.а.} = 0,4$ кВ);

$U_{р.м.}$ – максимально тривала робоча напруга ($U_{р.м.} = U_{н.н} = 0,4$ кВ);

$U_{м.а.} = 1,25 \cdot U_{н.а.}$ – максимально допустима напруга апарата для розрядників.

При виборі апаратів за струмом використаємо формулу наведену нижче:

$$I_{н.а.} \geq I_p;$$

де $I_{н.а.}$ – номінальна напруга вибираємо апарата, А.

2.6.1 Обираємо роз'єднувачі

Роз'єднувачі в установці гідрокрекінгу виконують роль апаратів, що забезпечують безпечне від'єднання обладнання від електромережі, що необхідно під час технічного обслуговування або ліквідацій аварій.

$$U_{н.а.} \geq U_{н.с.} \rightarrow 0,4 \text{ кВ} = 0,4 \text{ кВ};$$

$$U_{м.а.} \geq U_{р.м.} \rightarrow 0,5 \text{ кВ} > 0,4 \text{ кВ};$$

$$U_{м.а.} = 1,25 \cdot U_{н.а.} = 1,25 \cdot 0,4 = 0,5 \text{ кВ}$$

При виборі апаратів за струмом:

					ДП ОА11.20.000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{н.а.} \geq I_p \rightarrow 150 \text{ A} > 94,182 \text{ A};$$

де $I_{н.а.}$ – номінальна напруга вибираємо апарата, ($I_{н.а.} = 150 \text{ A}$).

Обираємо роз'єднувачі типу РЕ 17-74

2.6.2 Обираємо автоматичні вимикачі

Автоматичні вимикачі обираються з урахуванням номінальної напруги мережі U_n , а також розрахункового струму навантаження I_p . Крім того, обов'язковою є перевірка апарата за граничною комутаційною здатністю, тобто максимально допустимим струмом КЗ.

Ці вимоги гарантують, що вимикачі працюватимуть надійно в умовах підвищених навантажень і аварійних режимів.

$$U_{н.а.} \geq U_n \rightarrow 0,4 \text{ кВ} = 0,4 \text{ кВ};$$

$$I_{н.а.} \geq I_p;$$

$$I_B \geq 1,2 \cdot I_{к.з.}^{(3)};$$

$$160 \text{ A} \geq 94,182 \text{ A};$$

$$2,6 \text{ кА} \geq 1,2 \cdot 1,518 = 1,823 \text{ кА};$$

$$160 \text{ A} \geq 94,118 \text{ A}.$$

$$2,6 \text{ кА} \geq 1,2 \cdot 1,518 = 1,823 \text{ кА}.$$

де $I_{н.а.}$, $U_{н.а.}$ – номінальні струми та напруги автомата;

I_B – граничний струм автомата, що вимикається, кА;

$I_{к.з.}^{(3)}$ – струм трифазного КЗ автоматичного вимикача, кА.

На основі отриманих даних оберемо автоматичний вимикач типу АЗ714Б.

2.6.3 Вибір пускачів

Для електроприводів, що працюють у складі гідрокрекінгової установки, пускачі підбирають відповідно за номінальною напругою мережі U_n , номінальним струмом керованого двигуна I_p , а також потужністю P_p . Пускач має гарантувати

					ДП ОА11.20.000 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

стабільне увімкнення та вимкнення електродвигуна, відповідати умовам експлуатації, а також бути оснащеним захистом від перевантаження.

$$U_{\text{н.п.}} = U_{\text{н}} \rightarrow 0,4 \text{ кВ} = 0,4 \text{ кВ};$$

$$I_{\text{н.п.}} \geq I_{\text{р}};$$

$$P_{\text{т.ж.}} \geq P_{\text{р}};$$

$$125 \text{ А} \geq 79,24 \text{ А};$$

$$65 \text{ кВт} \geq 54,9 \text{ кВт};$$

$$32 \text{ А} \geq 19,816 \text{ А};$$

$$16 \text{ кВт} \geq 13,729 \text{ кВт};$$

$$80 \text{ А} \geq 47,071 \text{ А};$$

$$39 \text{ кВт} \geq 32,612 \text{ кВт};$$

$$80 \text{ А} \geq 46,636 \text{ А};$$

$$39 \text{ кВт} \geq 32,31 \text{ кВт};$$

$$25 \text{ А} \geq 2,073 \text{ А};$$

$$13 \text{ кВт} \geq 1,436 \text{ кВт};$$

$$25 \text{ А} \geq 2,073 \text{ А}.$$

$$13 \text{ кВт} \geq 1,436 \text{ кВт}.$$

де $I_{\text{н.п.}}$, $U_{\text{н.п.}}$ – номінальний струм і напруга пускача;

$P_{\text{т.ж.}}$ – максимальна потужність керованого пускачем двигуна залежно від j-ї категорії застосування контактора;

$I_{\text{р}}$, $P_{\text{р}}$ – номінальний струм та потужність двигуна, А; кВт.

Обираємо пускачі типу ПВИ-125Б, ПВИ-32, ПВИ-80МР(Ш) та ПВИ-23Б.

					ДП ОА11.20.000 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.6 – Електричні апарати

Місце встановлення	I_p , А	I_n , А	$I_{к.з.}^{(3)}$, кА	$I_{к.з.}^{(2)}$, кА	I_B , кА	$P_{m.j}$, кВт	$I_{уст}$, А	$K_{ч}$	Тип прийнятого апарата
Роз'єднувачі									
QS1-6	94,182	150	1,518	1,315	-	-	-	-	РЕ 17-74
Автоматичні вимикачі									
QF4	94,182	160	1,518	1,315	2,6	-	-	-	А3714Б
QF5	94,118	160	1,518	1,315	2,6	-	-	-	А3714Б
Пускачі									
КМ1	79,24	125	0,810	0,702	-	65	-	-	ПВИ-125Б
КМ2	19,816	32	0,699	0,606	-	16	-	-	ПВИ-32
КМ3	47,071	80	0,821	0,712	-	39	-	-	ПВИ-80МР(Ш)
КМ4	46,636	80	0,878	0,76	-	39	-	-	ПВИ-80МР(Ш)
КМ5	2,073	25	0,636	0,551	-	13	-	-	ПВИ-23Б
КМ6	2,073	25	0,759	0,658	-	13	-	-	ПВИ-23Б

2.7 Основні енергетичні показники підприємства

2.7.1 Визначення річних витрат електроенергії

Розрахуємо річні витрати електроенергії методом середньозмінного навантаження.

Знаючи показник середньозмінного навантаження, можливо розрахувати загальний обсяг електроенергії, витраченої протягом року.

$$W_p = P_{зм} \cdot t_{зм} \cdot N_{зм} \cdot K_p \cdot \alpha,$$

$$V_p = Q_{зм} \cdot t_{зм} \cdot N_{зм} \cdot \alpha,$$

де $P_{зм}$ – середньозмінне активне навантаження, кВт;

					ДП ОА11.20.000 ПЗ				Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					48

Q_{3M} – середньозмінне реактивне навантаження, квар;

t_{3M} – тривалість зміни, год.;

N_{3M} – річна кількість робочих змін;

$K_P = 1,05$ – коефіцієнт енерговитрат, пов'язаний із проведенням ремонтних робіт;

$\alpha = 0,7$ – коефіцієнт змінності з енерговикористання.

Річне споживання активної енергії:

$$W_p = 127,412 \cdot 8 \cdot 3 \cdot 365 \cdot 1,05 \cdot 0,7 = 820354 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Річне споживання реактивної енергії:

$$V_p = 26,983 \cdot 8 \cdot 3 \cdot 365 \cdot 0,7 = 165459 \text{ квар} \cdot \text{год}$$

2.7.2 Визначення річних втрат електроенергії

Обчислимо річні втрати активної та реактивної енергії у трансформаторі За формулами наведеними нижче:

$$\Delta W_{TP} = \Delta P_X \cdot T_P + \beta^2 \cdot \Delta P_K \cdot \tau,$$

$$\Delta V_{TP} = \Delta Q_\mu \cdot T_P + \beta^2 \cdot \Delta Q_K \cdot \tau,$$

$$\Delta Q_\mu = (I_X\%) \cdot S_{H.T.}/100,$$

$$\Delta Q_K = (U_K\%) \cdot S_{H.T.}/100,$$

де ΔP_X , $I_X\%$ – втрати потужності та струм холостого ходу трансформатора;

ΔP_K , $U_K\%$ – витрати потужності та напруги КЗ трансформатора;

$$\beta = \frac{S_{\text{макс}}}{S_{\text{ном}}} = \frac{130,457}{100} = 1,3046 \text{ – коефіцієнт навантаження трансформатора;}$$

T_P – час роботи трансформатора за рік;

τ – час максимальних втрат, можемо розрахувати за формулою:

$$\tau = (0,124 + (12 \cdot 365) \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760 = 2766,79 \text{ год}$$

де $T_M = 4380$ – кількість годин на максимальному навантаженні, год.

Втрати активної енергії у трансформаторі:

$$\Delta W_{TP} = 0,33 \cdot 8760 + 1,3046^2 \cdot 1,97 \cdot 2766,79 = 12168 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Втрати реактивної енергії у трансформаторі:

$$\Delta V_{TP} = 2,6 \cdot 8760 + 1,3046^2 \cdot 4,5 \cdot 2766,79 = 43966 \text{ квар} \cdot \text{год}$$

					ДП ОА11.20.000 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Реактивна потужність у режимі холостого ходу:

$$\Delta Q_{\mu} = 2,6 \cdot \frac{100}{100} = 2,6 \text{ квар}$$

Реактивна потужність у режимі короткого замикання:

$$\Delta Q_K = 4,5 \cdot 100/100 = 4,5 \text{ квар}$$

2.7.3 Визначення витрат активної та реактивної енергії в лініях

$$\Delta W_L = 3 \cdot I_{p.l.}^2 \cdot R_L \cdot \tau \cdot 10^{-3}$$

$$\Delta V_L = 3 \cdot I_{p.l.}^2 \cdot X_L \cdot \tau \cdot 10^{-3}$$

де $I_{p.l.}$, R_L , X_L – розрахунковий струм, активний і реактивний.

Лінія L1

$$\Delta W_{L_{L1}} = 3 \cdot 94,182^2 \cdot 0,0156 \cdot 2766,79 \cdot 10^{-3} = 1148,57 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$\Delta V_{L_{L1}} = 3 \cdot 94,182^2 \cdot 0,08 \cdot 2766,79 \cdot 10^{-3} = 5890,12 \text{ квар} \cdot \text{год}$$

Витрати для наступних ліній розраховуємо так само та занесемо до таблиці 2.7.3.1.

Лінія	ΔW_{TP} , кВт · год	ΔV_{TP} , квар · год
L1	1148,57	5890,12
L2	1147,01	5882,11
L1.1	1860,61	6671,08
L1.2	635,57	260,75
L2.1	1257,94	2059,79
L2.2	1057,88	1733,05
L2.3	8,92	2,28
L2.4	6,69	1,712
КТ	5447,15	11170,98
Разом	12570,3	33671,8

Зведемо усі отримані дані в таблицю 2.7.3.2

Таблиця 2.7.3.2 – Річні витрати й витрати електроенергії

Група електро споживачів	W_p , кВт · год	V_p , квар · год	ΔW_{TP} , кВт · год	ΔV_{TP} , квар · год	ΔW_L , кВт · год	ΔV_L , квар · год
	820354	165459	12168	143966	12570,3	33671,8
Сумарно	$W_{\text{заг}}$	845092,3 кВт · год				
	$V_{\text{заг}}$	343096,8 квар · год				

2.7.4 Визначення середньозваженого значення коефіцієнта потужності та реактивної потужності

Визначимо коефіцієнт потужності за наведеною нижче формулою:

$$\cos \varphi_{\text{сзв}} = \frac{\sum_1^n W_p}{\sqrt{(\sum_1^n W_p)^2 + (\sum_1^n V_p)^2}} = \frac{845092,3}{\sqrt{(845092,3)^2 + (343096,8)^2}} = 0,9266$$

де $\sum_1^n W_p = 820354 + 12168 + 12570,3 = 845092,3$ кВт · год

$\sum_1^n V_p = 165459 + 143966 + 33671,8 = 343096,8$ квар · год

Коефіцієнт реактивної потужності:

$$\tan \varphi = \frac{\sum_1^n V_p}{\sum_1^n W_p} = \frac{343096,8}{845092,3} = 0,406$$

Використане джерело для розділу електропостачання: [15].

Висновок

Проведені розрахунки електропостачання підприємства з переробки пластикових відходів дозволили оцінити ефективність та надійність системи енергозабезпечення.

Розраховані значення струмів короткого замикання в контрольних точках не перевищують допустимих для обраних електроапаратів. Наприклад, у точці трансформатора КТ1 трифазний струм КЗ становить 3,211 кА, а ударний — 5,449

кА, що нижче граничної комутаційної здатності автоматичних вимикачів. Це гарантує надійність їх спрацювання у разі аварії.

Проведений добір перетинів кабелів з урахуванням втрат напруги та допустимого нагріву підтверджує, що електрична мережа підприємства має достатній запас по струму, а втрати напруги не перевищують нормативних значень. Це гарантує стабільну та безпечну роботу споживачів, у тому числі в умовах вибухонебезпечного середовища гідрокрекінгу.

Вибір автоматичних вимикачів, пускачів і роз'єднувачів виконано з урахуванням номінальних струмів, напруг. Застосовані апарати типу АЗ714Б, ПВИ-125Б, ПВИ-80МР(Ш), РЕ 17-74 відповідають вимогам стандартів і забезпечують захист від перевантаження та коротких замикань.

Річне споживання активної електроенергії становить 845092,3 кВт·год, а реактивної – 343096,8 квар·год. 0,92663 Показник реактивної потужності $\cos \varphi$ становить 0,926, проте на підприємстві реалізована централізована компенсація.

Обране обладнання, схема живлення та заходи захисту повністю відповідають технічним і нормативним вимогам, забезпечують надійність та безперебійність електропостачання та можливість подальшого розвитку системи живлення при зростанні технологічних навантажень.

					ДП ОА11.20.000 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3. АВТОМАТИЗАЦІЯ УСТАНОВКИ ГІДРОГЕНІЗАЦІЇ

Для автоматизованого контролю використовуватиметься обладнання, що керуватиме процесами установки і забезпечить її стабільну роботу в межах допустимих технологічних норм. Обладнання, що буде використане для керування параметрами містить програмовані логічні контролери (ПЛК), датчики тиску, й температури, витратоміри, керовані клапани, частотні перетворювачі, панелі операторського інтерфейсу (HMI) та ПІД-регулятор МІК-121-К7 (реалізація водень:сировина).

3.1 Вибір ПЛК та людино-машинного інтерфейсу (HMI)

Основними компонентами для реалізації функцій автоматизованого керування та моніторингу параметрів процесу гідрогенізації є – програмований логічний контролер Siemens SIMATIC S7-1200 та панель оператора Weintek MT8070iE.

- **SIMATIC S7-1200, CPU (6ES7214-1AG40-0XB0)** від компанії Siemens – це компактний, модульний контролер, який забезпечує високу надійність, зручне програмування в середовищі TIA Portal та широкі комунікаційні можливості. Підходить для задач автоматизації середньої складності.

					ДП ОА11.20.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Самчинська			Автоматизація	Літ.	Арк.	Акрушіє
Перевір.		Жолтайли					53	82
Реценз.								
Н. Контр.		Кулаковський						
Затверд.		Бойченко С.В.				НН ІЕЕ, гр. ОА-11		



Рисунок 3.1 – SIMATIC S7-1200, CPU

Технічні характеристики:

Модель: CPU 1214C DC/DC/DC (6ES7214-1AG40-0XB0);

Номінальний постійний струму: 24 В;

Номінальний змінний струм: 120 В, 230 В;

Споживання струму: 500 мА;

Пам'ять програми: 100 КБ;

Дискретні входи: 14 цифрових входів;

Дискретні виходи: 10 цифрових виходів (24 В DC транзисторні);

Аналогові входи: 2 аналогових входи (0–10 В, 4–20 мА);

Аналогові виходи: 0 (можна додати через модуль розширення);

Комунікаційні обміни: IndustrialEthernet / PROFINET;

Підтримка PID-регуляторів: Є (вбудовані функції в бібліотеках TIA Portal);

Можливість розширення: до 8 модулів вводу/виводу, до 3 комунікаційних;

Розміри: 110 × 100 × 75 мм [16];

- **Weintek MT8070iE** – це 7-дюймова HMI-панель, розроблена для промислового використання з метою візуалізації та локального управління технологічними процесами.

					ДП ОА11.20.000 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.2 – Weintek MT8070iE

Технічні характеристики:

Модель: Weintek MT8070iE;

Діагональ екрану: 7" (дюймів);

Тип дисплею: LED, 800 x 480, 4-провідний резистивний;

Пам'ять: постійної – 128 МБ, оперативної – 128 МБ;

Порти входу/виводу: 1 x USB 2.0, COM1 (RS232/RS485/RS422), COM3 (RS485), 1 x Ethernet (RJ45);

Підтримка протоколів: Modbus RTU/TCP, Siemens S7 та ін.;

Живлення: споживана напруга – $24 \pm 20\%$ VDC, потужність – 350 мА при 24VDC;

Ступінь захисту: IP65;

Розміри (Ш×В×Г): 200,3 x 146,3 x 34 мм;

Програмне забезпечення: EasyBuilder Pro [17].

- За необхідності до ПЛК можна додатково підключити систему SCADA через Ethernet-інтерфейс за допомогою таких протоколів, як Modbus TCP або PROFINET. Така система забезпечує дистанційне керування об'єктом, моніторинг технологічних процесів, а також збір та збереження даних. Серед найбільш популярних програмних платформ SCADA належать: Siemens WinCC, Ignition, TRACE MODE, InduSoft.

					ДП ОА11.20.000 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2 Опис вузлів установки та засобів контролю

Процес гідрогенізації піролізних фракцій, отриманих із пластикових відходів, потребує впровадження автоматизованої системи керування для точного дотримання технологічних параметрів, таких як температура, тиск, об'ємна швидкість подання сировини, рівень рідин та витрати реагентів.

Основні параметри процесу гідрогенізації, які необхідно дотримуватися:

- Тиск: 2-9 МПа;
- Температура: 300-390 °С;
- Об'ємна швидкість подавання сировини: 1-2 год⁻¹;
- Кратність циркуляції воденьовмісного газу (концентрація Н₂>75%): 1000-1500 нм³/м³ сировини;
- Подача свіжого водню: близько 9 кг/год (фактично 10–12 кг/год з урахуванням втрат);
- Швидкість подачі сировини до реактору: 0,062 м³/год.

Безперервний режим роботи вимагає стабільного контролю параметрів і безпечної експлуатації. Автоматизація реалізується через ПЛК, ПІД-регулятори, НМІ-панель та контрольно-вимірювальні прилади.

Розглянемо установку гідрогенізації, зображену на рисунку 1.7 розділу 1, а також контрольно-вимірювальні прилади, що застосовуються для моніторингу та регулювання параметрів технологічного процесу.

Процес гідрогенізації розпочинається з того, що піролізна рідина подається у сировинний теплообмінник, де здійснюється попереднє нагрівання сировини. Для цього використовується тепло гарячих фракцій, які виходять з реактора, що дозволяє знизити енергоспоживання установки. Щоб контролювати ефективність теплообміну на вході та виході теплообмінника встановлюються датчики температури типу WIKA TR10-A.

					ДП ОА11.20.000 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Технічні характеристики WKA TR10-A:

Тип сенсора: Pt100 (клас точності A за EN 60751);

Діапазон вимірювання: -100...+450 °C (Class A);

Сигнал на вході: 4-20 мА (аналоговий);

Вимірювальна вставка: гнучкий кабель з мінеральною ізоляцією в металевій оболонці;

Розташування сенсору: а наконечнику вимірювальної вставки;

Монтаж: у гільзу з пружинною посадкою DIN 43735

Підключення: 1×3-провідне [18]

Дані надходять у ПЛК, який формує сигнал для попереднього регулювання температурного балансу та виявленню відхилень від заданого параметру. Після цього сировина поступає у піч, де відбувається її доведення до робочої температури 300–390 °C. Контроль температури у печі реалізовано за допомогою термопар типу ТХА, сигнал з якої також подається у ПЛК.

Основні характеристики термоперетворювач ТХА, типу К:

Матеріали: хромель та алюмель (NiCr-Ni);

Діаметр: 6 мм;

Тип сигналу: 4-20 мА;

Діапазон температур: -100 до +1200 °C;

Ізоляція: внутрішній ізоляційний шар — склотканина, зовнішній — металеве екранування.

Середовище застосування: окислювальні й інертні атмосфери [19].

Після проходження етапу попереднього підігріву піролізу сировина надходить у реактор, де відбувається основний процес гідрогенізації. У цій зоні рідина вступає у контакт із воднем у присутності каталізатора, що сприяє хімічній взаємодії та насиченню вуглеводнів. Процес протікає при підвищених температурах і тисках — у межах 300–390 °C та 2–9 МПа відповідно.

					ДП ОА11.20.000 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Температурний режим у реакторі контролюється WİKA TR10-A. Така конструкція забезпечує високу стійкість до вібрацій та температурних перевантажень і дозволяє виконувати вимірювання в агресивному середовищі при температурах до +450 °С. Контроль тиску реалізується за допомогою електронного сенсора WİKA S-20. Встановлений у верхній частині реактора, він передає інформацію до ПЛК, де параметр обробляється для забезпечення безпечної експлуатації.

Основні характеристики сенсора тиску WİKA S-20:

Діапазон вимірювання: 0...1600 бар;

Робоча температура: -30...+100 °С;

Сигнал на виході: 4-20 мА;

Живлення: 8...35 В DC;

Матеріал корпусу: нержавіюча сталь 316L;

Захист корпусу: IP67 / IP68;

Точність: ≤ 0.25 % повної шкали [20];

Особлива увага приділяється контролю подачі водню. Для цього використовується масовий витратомір Siemens SITRANS FCS200.

Основні характеристики витратоміра Siemens SITRANS FCS200:

Діапазон масової витрати: до 500 кг/хв (залежить від моделі);

Точність: ± 0.5 % від значення;

Робочий тиск: до 350 бар (DN10/DN15), 214 бар (DN25);

Температурний діапазон: -40 ... +125 °С;

Клас захисту корпусу: IP66 / IP67 [21].

На підставі сигналу витрати ПЛК формує керуючий вплив на електроприводний регулювальний клапан, що дозволяє автоматизовано дозувати водень у реактор залежно від потреб технології.

					ДП ОА11.20.000 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Характеристики регулювального клапана Samson 3241-1:

Номінальний діаметр: DN 15 до 300;

Робоча температура: $-196 \dots +450$ °C із ізолюючою вставкою;

Сигнал на виході: 4-20 мА;

Номінальний тиск: PN 10 - 40, class 125 - 300;

Матеріал корпусу: нержавіюча сталь A351 CF8M / F316 [22].

Після реакції гідрогенізації речовина спрямовується в теплообмінник, де температура знижується до безпечного рівня перед сепарацією. Це необхідно для стабільності фракцій і захисту обладнання від перегріву. Охолодження відбувається у трубчастому теплообміннику через теплообмін із технічною водою чи циркуляційною рідиною. У разі перевищення граничного значення, система подає аварійний сигнал і блокує потік до сепаратора, щоб уникнути пошкоджень. Попередження відображається на HMI, а подія архівується.

Після охолодження продукти реакції надходять до сепаратора, де розділяються на газову та рідку фази. Це дозволяє підготувати суміш до подальшого очищення та стабілізації. Сепаратор працює при тиску до 9 МПа та температури до 200 °C, тому потребує постійного контролю ключових параметрів. Рівень рідини контролюється безконтактним ультразвуковим датчиком VEGA VEGAPULS 64:

Технічні характеристики VEGA VEGAPULS 64:

Діапазон вимірювання – відстань: 30 метрів;

Температура процесу: $-196 \dots 200$ °C;

Тиск процесу: $-1 \dots 25$ бар;

Температура навколишнього середовища: $-40 \dots 80$ °C [23].

З верхньої частини сепаратора відбирається циркуляційний ВВГ, який спрямовується на очищення в абсорбер, після чого він знову подається в процес.

					ДП ОА11.20.000 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Крім того, свіжа порція ВВГ надходить із сусіднього компресора продовжуючи процес. Для ефективної роботи необхідно до компресора встановити датчик тиску та частотний перетворювач Danfoss VLT HVAC Drive FC-102, який би забезпечив плавний пуск, регулювання швидкості обертання та захист від перенавантажень.

Далі рідка фаза з сепаратора подається до стабілізаційної колони попередньо нагрівши речовину в теплообміннику, там відбувається розподілення на легкі і важкі фракції, для подальшої переробки та використання. Для ефективної роботи необхідно підтримувати задані режими температури й тиску в колонах. Аналогічні процеси спостерігаються під час подачі продукту зі стабілізаційної колони до фракціонуючої. У результаті у верхній частині фракціонуючої колони виділяється фракція С3–С4, а в нижній — С5–С6.

3.3 Моделювання регулювання співвідношення рідини у реакторі

Щоб забезпечити стабільний технологічний процес гідрокрекінгу необхідно дотримуватися встановленого співвідношення між витратами водню та сировини. Це суттєво впливатиме на якість кінцевого продукту, ефективність гідрування та забезпечення безпечних умов роботи установки.

Для здійснення регулювання застосовано мікропроцесорний регулятор МІК-121-К7, який дозволяє задавати значення коефіцієнтів пропорційності, інтегрування та диференціювання відповідно до вимог технологічного процесу.

Принцип роботи МІК-121-К7:

Регулятор використовується для того, щоб безперервно вимірювати фактичне співвідношення витрат водню:сировини за допомогою аналогового входу, підключеного до витратомірів чи інших вимірювальних приладів. Далі отриманий сигнал порівнюється з заданим значенням, що дозволяє визначити величину між фактичним і заданим співвідношенням. Так при виявленні похибки регулятор виконує обчислення за ПІД-алгоритмом, що дозволяє швидко та точно формувати керуючий вплив для компенсації відхилення — у вигляді вихідного

					ДП ОА11.20.000 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сигналу, який подається на виконавчий механізм, наприклад, електропривод регулюючого клапана подачі свіжого водню. Крім цього, регулятор реалізує такі функції, як: обмеження вихідного сигналу для запобігання аваріям; подача сигналів тривоги при значних відхиленнях від заданого режиму; збереження даних параметрів для аналізу обладнання [24].

Переваги використання регулятора МІК-121-К7:

- Забезпечення високої точності контролю співвідношення завдяки цифровій обробці сигналів;
- Можливість індивідуального налаштування параметрів ПІД-регулятора відповідно до характеристик технологічного процесу;
- Вбудований інтерфейс для зручного підключення до автоматизованих систем керування та моніторингу;
- Можливість реалізації функцій аварійного блокування і подачі сигналів тривоги у разі відхилення від заданих умов;
- Висока надійність та стійкість до впливу підвищених температур і вібрацій, що характерно для промислових умов експлуатації [24].

Створимо модель регулювання співвідношення водня:сировини у реакторі установки гідрогенізації завдяки середовищу MATLAB Simulink.

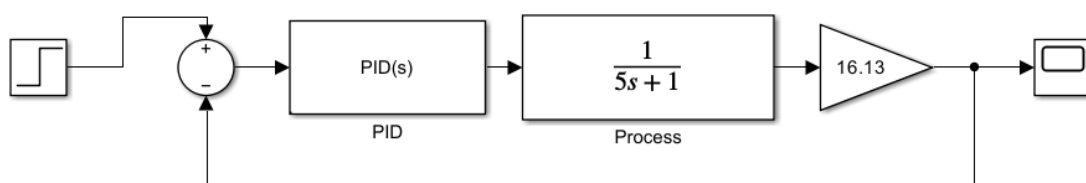


Рисунок 3.3 – Модель регулювання співвідношення водня:сировини у реакторі установки гідрогенізації

Спершу визначимо, яке співвідношення рідини повинне підтримуватися на вході в реактор, тобто у зоні змішування:

					ДП ОА11.20.000 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$R = \frac{F_{H_2}}{Q_{\text{сировини}}} = \frac{9}{0,062} \approx 145 \text{ кг/м}^3$$

де $F_{H_2} = 9 \text{ кг/год}$ – початкова подача свіжого водню;

$Q_{\text{сировини}} = 0,062 \text{ м}^3/\text{год}$ – витрати сировини (піролізне паливо).

Занесемо його у блок Step:

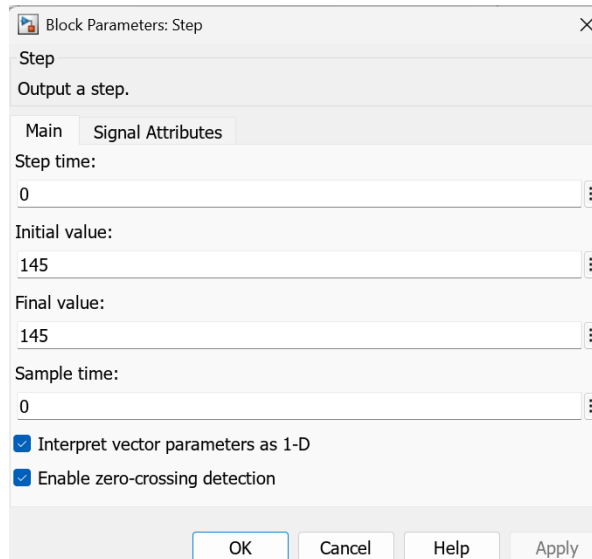


Рисунок 3.4 – Розрахована уставка співвідношення

Дані на перший вхід “+” блока **Sum** подамо сигнал уставки, а другий “-” – фактичне співвідношення. Після чого блок обчислює похибку та передає її значення на вхід ПД-регулятора, той у свою чергу використовує цю похибку для обчислення керуючого сигналу (подачі свіжого H_2), щоб зменшити відхилення й наблизити фактичне співвідношення до уставки.

Визначимо параметри, що впливатимуть на поведінку регулятора:

- **Пропорційна (P)** – негайно реагує на величину похибки. Якщо похибка велика — подача H_2 збільшується.
- **Інтегральна (I)** – накопичує похибку у часі та усуває залишкове відхилення (ліквідує статичну похибку).
- **Диференціальна (D)** – реагує на зміну похибки (передбачає тренд), допомагає запобігти перерегулюванню й коливанням;

- **Коефіцієнт фільтрування (N)** – зменшує чутливість похідної до шумів у сигналі похибки.

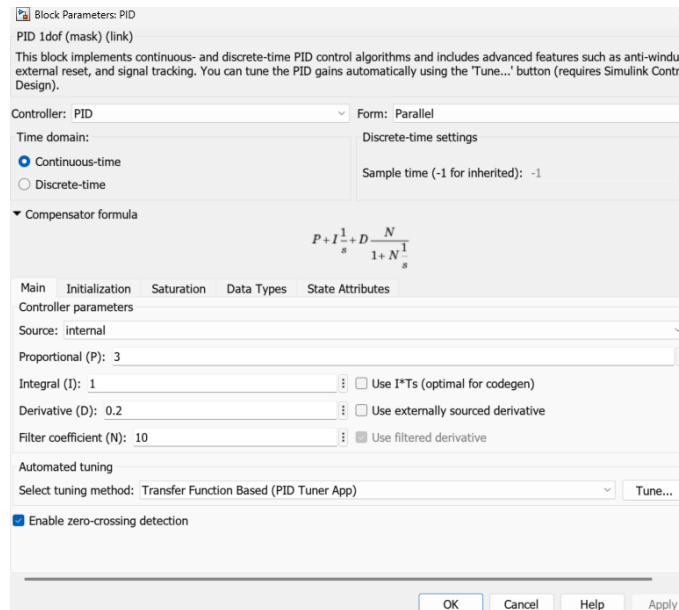


Рисунок 3.5 – Блок параметру ПІД-регулятора

Після цього сигнал з блоку ПІД-регулятора іде на модель об'єкта (Transfer Fcn), яка враховує інерцію клапана й системи подачі. Даний блок моделює динаміку подачі H_2 через систему і вказує на те, що зміна подачі водню відбувається не миттєво, а із затримкою 5 с.

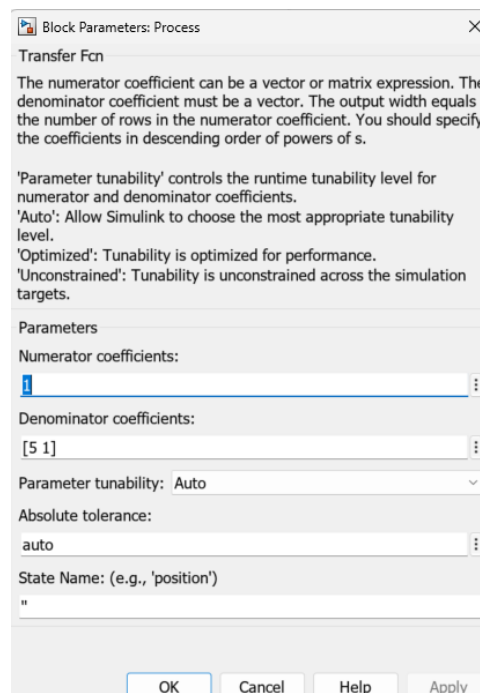


Рисунок 3.6 – Блок параметру Transfer Fcn (Process)

Подача свіжого H_2 передається на блок Gain, де рахується фактичне співвідношення рідини, та в подальшому йде на зворотній зв'язок де порівнюється з уставкою.

$$R_{\text{факт.}} = F_{H_2} \times \frac{1}{Q_{\text{сировини}}} = 16,13$$

Після розрахунку співвідношення регулювання вже відбувається за цим співвідношенням, тому сама витрата H_2 у контурі регулювання більше не використовується окремо, а фізично подається в реактор.

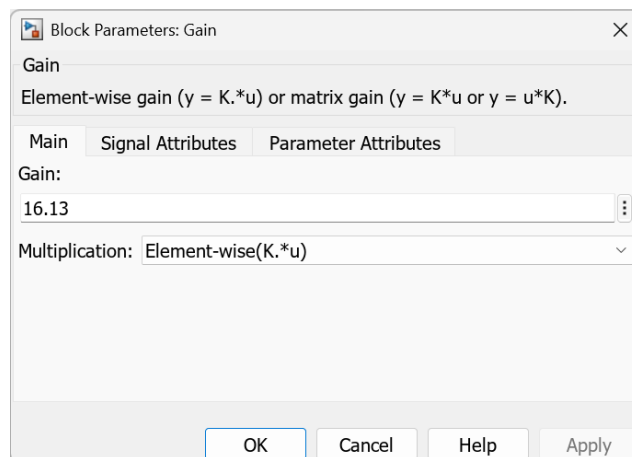


Рисунок 3.7 – Блок параметру Gain

Далі значення співвідношення водню до сировини передається безпосередньо на вхід Scope.

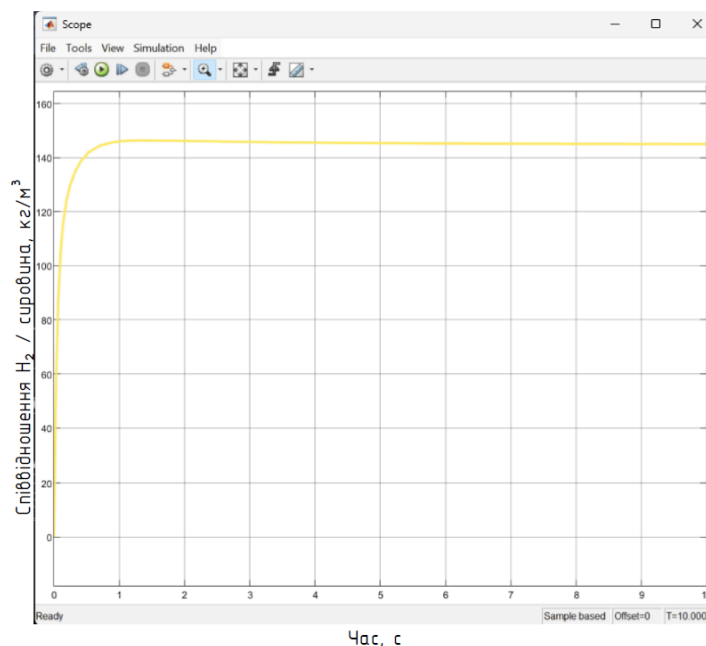


Рисунок 3.8 – Блок параметру Scope

					ДП ОА11.20.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

Блок Score відображає графік зміни фактичного співвідношення в часі, що дозволяє побачити наближення його до уставки 145 кг/м^3 у перехідному процесі.

Висновок

У розділі розглянуто модель автоматизації процесу регулювання співвідношення водню до сировини у реакторі установки гідрогенізації. Для забезпечення точного контролю та стабільної роботи системи застосовано регулятор МІК-121-К7, який реалізує обчислення керуючого впливу за алгоритмом ПІД-регулятора для підтримання заданого співвідношення. В моделі враховано інерційність системи подачі водню, вплив збурень і затримок, а також реалізовано візуалізацію динаміки процесу на Score. Використання сучасного обладнання та програмного забезпечення забезпечує надійність, високу точність і безпечну експлуатацію установки.

					ДП ОА11.20.000 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Шкідливі та небезпечні чинники на підприємстві

Установка гідрогенізації використовується для перетворення ТПВ хімічним шляхом, тому вона належить до категорії виробничих об'єктів із підвищеним рівнем небезпеки. Зважаючи на це необхідно суворо дотримуватися норм охорони праці для гарантування безпечних умов роботи та збереження життя і здоров'я працівників.

Під час роботи на підприємстві, де розташована установка гідрогенізації, працівники постійно перебувають під впливом різноманітних шкідливих і небезпечних факторів, до них відносяться:

- фізичні – це фактори, які впливають фізично на організм та можуть призводити до зниження працездатності, захворювань.

Підвищена температура повітря та поверхонь – впливає на виробниче приміщення, яке містить обладнання, а саме: реактори, печі, теплообмінники, що працюють за високих температур, тому під час роботи вони виділяють тепло нагріваючи не лише саме обладнання, а й повітря, температура якого може сягати 30-35°C. Згідно ДСН 3.3.6.042-99 для фізичної роботи середньої важкості (категорії Пб), а саме її робочої зони, визначаються оптимальні та допустимі мікрокліматичні умови. Зважаючи на характер роботи та технологічні особливості, для установки гідрогенізації використовуються допустимі мікрокліматичні умови, які в холодний період року допускають температуру повітря на постійних робочих місцях до 21°C, а при непостійних – до 23°C, в теплий період – 27°C та 29°C відповідно. Температура зовнішніх поверхонь технологічного обладнання та внутрішніх приміщень не повинна перевищувати межі допустимих більш ніж на 3°C [25]. Недотримання температурних норм може

					ДП ОА11.20.000 ПЗ			
					Охорона праці			
Розроб.	Самчинська							
Перевір.	Мітюк							
Реценз.								
Н. Контр.	Кулаковський							
Затверд.	Бойченко С.В.							
						Літ.	Арк.	Аркушів
							66	82
						НН ІЕЕ, гр. ОА-11		

спричинити ризики отримання термічних опіків, зневоднення, втрати свідомості та подальшої госпіталізації.

Виробничий шум – може виникнути під час роботи компресорів, вентиляторів холодильника, трубопроводів сепаратора та ін.. Згідно з ДСН 3.3.6.037-99 шумові коливання можуть бути широкосмуговими, тональними, мати постійний або непостійний характер. Допустимий шум для виробничих приміщень, де виконується робота середньої важкості не повинен перевищувати 80 дБА. При імпульсному та постійному шумі значенні допустима межа, яка є граничною знижується на 5дБА [26]. Надмірний шум в процесі роботи на виробництві може негативно позначитися на нервово-психічному стані працівника, викликаючи втому, роздратованість та порушення слуху.

Вібрація – під час роботи на підприємстві установка створює механічні коливання на обладнання. Згідно ДСН 3.3.6.039-99 типи вібрацій поділяються на загальну та локальну. Загальна вібрація взаємодіє з тілом людини, через поверхню на яку діють коливання. Локальна вібрація впливає на тіло людини безпосередньою під час виконання роботи руками. Допустиме значення при 8 годинному робочому графіку загальної вібрації не повинно перевищувати $0,63 \text{ м/с}^2$, локальної – $2,8 \text{ м/с}^2$ [27]. При тривалому впливі обох типів вібрації можливе порушення координації, кровообігу в пальцях, біль у зап'ястях, зниження продуктивності праці та концентрації уваги.

Підвищений тиск – процес гідрогенізації здійснюється під високим тиском, який становить 2-9 МПа, що становить близько 20-90 атмосфер та значно перевищує нормальний атмосферний тиск в $0,101 \text{ МПа}$. Такий рівень тиску необхідний для хімічних перетворень сировини, проте дані чинники надалі створюють небезпечні умови праці. У разі розгерметизації обладнання можливий подальший викид назовні токсичних або вибухонебезпечних речовин, таких як: водень, каталізатори, суміш вуглеводнів та травмування працівників уламками установки [28].

					ДП ОА11.20.000 ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- хімічні фактори – це шкідливі речовини, що є складовою або продуктами технологічного процесу та можуть бути присутніми у повітрі робочої зони у вигляді газів, парів і аерозолів. У процесі гідрогенізації для перетворення піролізної олії в цінні паливні фракції застосовуються висока температура, тиск і каталізатори за присутності водню. При цьому речовини, що будуть використовуватися можуть шкідливо впливати на здоров'я працівників. Згідно з Наказом МОЗ №1192 від 09.07.2024 р., речовини, що притаманні для процесу гідрогенізації мають встановлену їх граничнодопустиму концентрацію, а саме: для водню – 20 мг/м³, сірководень становить 10 мг/м³, каталізатори (нікель – 4 мг/м³, молібден – 0,05 мг/м³) [29]. Дані речовини при потраплянні у повітря можуть бути дуже небезпечними, адже не лише отруюють організм працівників, а ще й є вибухонебезпечними при взаємодії повітря з воднем.

4.2 Заходи захисту

Щоб забезпечити захист від небезпечних фізичних та хімічних чинників працівників, які працюють на підприємстві, що передбачає наявність установки гідрогенізації, потрібно дотримуватися таких заходів безпеки, як:

- Налаштування надійної системи вентиляції, що буде підтримувати стабільний повітрообмін у зонах можливого накопичення вибухонебезпечних та токсичних речовин, наприклад: водень, сірководень каталізатори, бензол. Система повинна забезпечити видалення зазначених домішок з повітряного середовища та утримувати рівень їх концентрації нижче гранично допустимих. Згідно ДБН В.2.5-67:2013, у виробничих приміщеннях доцільно використовувати два типи вентиляції, а саме: загальнообмінну та місцеву витяжну. Загальнообмінна вентиляція забезпечує оновлення повітря в усьому приміщенні, тоді як місцева витяжна видалляє токсичні речовини безпосередньо в місцях їх виділення – над технологічними отворами, реакторами, фланцями та ін. [30]. При роботі з воднем місцева вентиляція повинна мати окрему витяжну лінію і бути обладнаною вентилятором. Крім того, перед викидом повітря з високим вмістом токсичних компонентів в атмосферу, їх слід попередньо очистити за допомогою фільтрів

					ДП ОА11.20.000 ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

тонкого очищення або абсорбційних чи каталітичних установок, що забезпечують відповідність екологічним нормам.

- Ізоляція нагрітих поверхонь здійснюється з метою забезпечення безпеки персоналу, щоб запобігти отриманню термічних опіків, що можуть виникнути при контакті з гарячим обладнанням. Окрім цього, термоізоляція сприяє зниженню температури повітря в робочому приміщенні, зменшує теплові втрати та підвищує енергоефективність технологічного процесу. У зв'язку з використанням установки гідрогенізації, до матеріалів висуваються вимоги, що повинні виконувати умови теплоізоляції. При їх виборі потрібно враховувати високотемпературне середовище, у якому працює значна частина обладнання, а саме 300-450°C. Ізоляційні матеріали мають бути не горючими та характеризуватися низькою теплопровідністю, щоб забезпечити надійний захист і ефективність теплоізоляції. Наприклад, доцільним використанням є силікатної вати, яка витримує до 600°C, та може застосовуватися для обгортки трубопроводів. Як зовнішнє покриття може використовуватися алюмінієва фольга, яка відбиватиме теплове випромінювання і забезпечить герметичність ізоляційного шару. Також гарним варіантом є використання мінеральної вати, що забезпечує не лише ефективний тепловий бар'єр, але й високий рівень пожежної безпеки для промислових об'єктів [31].

- Індивідуальні засоби захисту (ІЗЗ) призначені для того, щоб убезпечити працівника від небезпечних факторів, що можуть вплинути на його життя та здоров'я. В умовах експлуатації установки гідрогенізації використання ІЗЗ є обов'язковими, адже саме вони дозволяють мінімізувати ризик травмувань та впливу токсичних та вибухонебезпечних речовин. До основних засобів індивідуального захисту включають: захисний одяг, який повинен бути вогне- та хімічностійким для захисту шкіри від опіків і шкідливих речовин; засоби захисту дихання – респіратори, протигази, маски для роботи в умовах токсичних або вибухонебезпечних газів; захист очей і обличчя – окуляри або щитки від хімічних бризок і механічних ушкоджень; захисне взуття повинно бути з нековзкою підошвою; захист від шуму – навушники або беруші для зниження впливу шуму.

					ДП ОА11.20.000 ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Інструктажі з охорони праці повинні проводитися, щоб запобігти можливі виробничі ризики та підготувати працівників до дій у разі виникнення надзвичайних ситуацій, які можуть виникнути у виробничому процесі. Згідно НПАОП 0.00-4.12-05 існує декілька видів інструктажів: вступний; первинний; повторний; позаплановий; цільовий. Відомість про проведення інструктажу повинна заноситься до журналу [32].

- Автоматизація процесу є важливою складовою забезпечення безпеки працівників та стабільної роботи виробництва. Технічна реалізація системи відбувається з використанням програмованих логічних контролерів (PLC), які дають змогу підключати сенсори для контролю тиску, температури, витрати та концентрації газів. Дані параметри можна відслідковувати дистанційно, а керування процесами відображається візуально за допомогою SCADA-інтерфейсів. Завдяки такому підходу можна швидко виявляти навіть незначні відхилення від норми, що знижує ризик виникнення аварійних ситуацій, пов'язаних з витоком вибухонебезпечних і токсичних речовин.

4.3 Медичні огляди

Умови праці на установці гідрогенізації пов'язані з впливом шкідливих і небезпечних виробничих факторів. Серед них контакт із хімічними речовинами, такими як водень, сірководень, бензол, а також каталізатори, що містять нікель і молібден. Крім того, працівники зазнають дії високих температур, підвищеного рівня шуму та психофізіологічного навантаження. З огляду на ці фактори, персонал, який виконує роботи на зазначеному об'єкті, обов'язково повинен проходити медичні огляди відповідно до вимог Наказу МОЗ № 246 від 21.05.2007 [33].

Види медичних оглядів:

- Попередній медогляд, який проводиться перед прийняттям на роботу, тобто до вступу на посаду. Це потрібно для того, щоб оцінити стан здоров'я працівника та визначити, чи може він виконувати професійні обов'язки без ризику для здоров'я в умовах впливу шкідливих і небезпечних факторів виробництва.

					ДП ОА11.20.000 ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Обстеження включає лабораторні аналізи та консультації спеціалістів (терапевт, отоларинголог, дерматолог, невролог, психіатр, а за потреби токсиколог).

- Періодичний медогляд здійснюється вже під час перебування на посаді щорічно або відповідно до затвердженого графіка. Є обов'язковим для працівників, які мають контакт із токсичними та шкідливими речовинами. Під час огляду оцінюється функціональний стан органів дихання, печінки, шкіри, слухового та зорового аналізаторів, нервової системи. Результати огляду вносяться в медичну картку та фіксуються в обліковій документації підприємства.

- Позачерговий огляд проводиться у разі виникнення аварій, підозри на профзахворювання, отруєння, втрати свідомості або за направленням лікаря. Полягає у своєчасному виявленні можливих порушень стану здоров'я, пов'язаних із впливом виробничих факторів.

Організація медичних оглядів роботодавцем:

Роботодавець повинен відповідати за організацію медичних оглядів працівників, які працюють у шкідливих або небезпечних умовах. Зокрема:

- Проводити аналіз умов праці з урахуванням шкідливих факторів, щоб визначити, хто має проходити медичні огляди, та передає ці дані до відповідних служб охорони здоров'я.

- Інформувати письмово працівника під час працевлаштування про безпеки на робочому місці та пов'язані з ними пільги. Заборонено допускати до роботи осіб, яким вона протипоказана за станом здоров'я.

- Узгоджувати графік оглядів із медичними установами, забезпечувати явку працівників та контроль за дотриманням термінів проходження.

- Може відсторонити від роботи тих, хто не пройшов медогляд або має негативний медичний висновок та має право дисциплінарно впливати на працівників, які відмовляються проходити огляд.

- Забезпечувати проведення оздоровчих заходів згідно з Заключним актом, усувати причини профзахворювань.

					ДП ОА11.20.000 ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Організувати позаплановий медогляд за власною ініціативою або заявою працівника у разі погіршення здоров'я.

4.4 Електробезпека установки гідрогенізації

Експлуатація установки гідрогенізації відбувається за умов високого тиску і температури, з використанням горючих та токсичних речовин таких як водень, сірководень і вуглеводні. За такої ситуації електробезпека набуває особливої актуальності, адже будь-які збої в роботі електрообладнання можуть стати причиною пожежі, вибуху чи ураження працівників струмом. Впровадження технічних і організаційних заходів з електробезпеки є невід'ємною частиною комплексної системи охорони праці на виробництві.

Основні заходи електробезпеки:

- Вибухозахищене виконання електрообладнання – зважаючи на те, що в процесі роботи установки гідрогенізації використовуються такі речовини, як водень, вуглеводні та сірководень, які здатні утворювати вибухонебезпечні суміші, особливу увагу слід приділити вибору електрообладнання. Воно повинно мати спеціальне вибухозахищене конструктивне виконання, яке виключає появу іскріння, перегріву, або інших джерел займання, що можуть призвести до аварійної ситуації. Щоб обрати обладнання у вибухозахищеному виконанні необхідно керуватися вимогами ПУЕ (Наказ №272 від 21.06.2001), згідно з якими обладнання повинно мати відповідне маркування, що підтверджує його відповідність вимогам вибухозахисту [34]. На рисунку 4.1 розглянемо послідовність його заповнення.

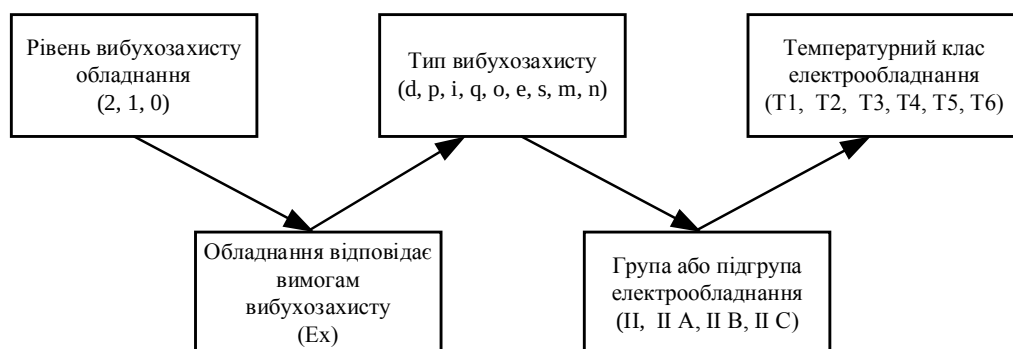


Рисунок 4.1 – Послідовність маркування вибухозахисту обладнання

					ДП ОА11.20.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

- Система заземлення та занулення – повинна застосовуватися, щоб уникнути ураження працівників електричним струмом при пошкодженні ізоляції або інших аварійних режимах. Заземлення – це з'єднання струмопровідних частин, що не перебувають під напругою, із заземлювальним пристроєм для зниження напруги дотику та перенапруг в разі аварійних ситуацій. Для мереж з глухозаземленою нейтраллю доцільно застосовувати системи заземлення TN-S або TN-C-S. Потрібно зважати на те, що у вибухонебезпечних середовищах об'єднання нульового робочого провідника (N) із захисним (PE) забороняється. Перехід від системи TN-C, де ці функції суміщено, до TN-S можливий лише поза межами вибухонебезпечної зони, із обов'язковим підключенням захисного провідника до системи зрівнювання потенціалів. Основні вимоги до заземлювального пристрою передбачають, що опір розтікання струму не повинен перевищувати 4 Ом у разі використання пристрою захисного відключення (ПЗВ). Для особливо небезпечних зон, за наявності технічної можливості, цей показник має бути не вищим за 0,5 Ом. Усі металеві частини електрообладнання, які можуть опинитися під напругою через пошкодження ізоляції, повинні бути надійно заземлені. Перевірку цілісності та справності заземлювальних ланцюгів слід проводити не рідше одного разу на шість місяців [34].

- Захисне автоматичне відключення спрацьовує при виявленні струму витоку або КЗ і миттєво вимикає живлення за допомогою автомата або ПЗВ. Пристрої захисного відключення особливо важливі у колах, до яких мають доступ працівники. Згідно з вимогами ПУЕ, у цих колах необхідно встановлювати пристрої з диференційним струмом спрацювання не більше 30 мА. Вони реагують на витік струму на землю або через тіло людини та вимикають живлення менш ніж за 0,2 секунди, що значно знижує ризик тяжких електротравм. Доповненням до ПЗВ виступають автоматичні вимикачі, які підбираються з урахуванням номінального навантаження, типу відключення (В, С або D) — залежно від характеристик пускових струмів обладнання, а також відключної здатності, що повинна відповідати або перевищувати очікуваний струм короткого замикання. Вони забезпечують тепловий та електромагнітний захист кабелів і обладнання.

					ДП ОА11.20.000 ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, узгоджене використання ПЗВ та автоматичних вимикачів дозволяє забезпечити надійний і багаторівневий захист електроустановок, що особливо актуально в умовах підвищеної небезпеки, як-от на установках гідрогенізації [34].

4.5 Пожежобезпека

Пожежна безпека є невід'ємною складовою системи охорони праці на об'єктах з підвищеним рівнем ризику. В установках гідрогенізації, де у виробничому процесі використовуються легкозаймисті, вибухонебезпечні та токсичні речовини, зокрема водень, сірководень і вуглеводні, питанням пожежної безпеки приділяється вагома увага. Враховуючи високу ймовірність виникнення займання чи вибуху у разі аварійної ситуації, підприємство повинно бути обладнане повноцінною системою пожежного захисту.

Зважаючи на специфіку технологічного процесу, першим кроком у забезпеченні протипожежного захисту є визначення категорії вибухопожежонебезпеки об'єкта. Відповідно до положень ДБН В.1.1-7:2016, технологічна установка належить до категорії А вибухопожежонебезпеки, оскільки працює з речовинами, що утворюють вибухонебезпечні суміші. Об'єкти даної категорії повинні виконувати вимоги, за яких будуть використовуватися вибухозахищене обладнання, аварійна вентиляція, встановлена система вибухового розвантаження та розроблятимуться конструктивні рішення, що будуть здатні локалізувати вибух або зменшення його наслідків. Ці заходи мають на меті забезпечити максимальний рівень безпеки для персоналу та об'єкта в цілому [35].

Ще однією умовою безпечної роботи на підприємстві, де розміщена установка гідрогенізації є наявність засобів пожежогасіння та плану евакуації. Так відповідно до норм НАПБ А.01.001-2014 та ДБН В.1.1-7:2016 у небезпечних зонах обов'язково мають бути розміщені легкодоступні, технічно справні та сертифіковані пристрої для гасіння пожеж, а саме: вуглекислотні вогнегасники, які

					ДП ОА11.20.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

застосовуються для ліквідації загорянь легкозаймистих рідин і електроустановок поблизу обладнання; ящики з піском і лопати для засипання джерела загоряння, особливо при витокі горючих рідин; розміщенні відра та резервуари з технічною водою дозволені лише в зонах, де відсутній водень, щоб уникнути небезпечної реакції. Усі засоби повинні бути промарковані, мати інструкції з використання, перебувати у справному стані та проходити регулярний технічний огляд. У разі пожежі або аварійної ситуації на підприємстві повинен бути чітко сформований план евакуації відповідно до нормативних вимог. Можна зазначити, що обов'язково необхідно мати: розміщені евакуаційні плани на кожному поверсі, поблизу проходів і в цехах на видимих місцях; світлові чи флуоресцентні покажчики напрямків виходу, які повинні працювати як від основного, так і від резервного джерела живлення; інформаційні стенди з інструкціями дій у разі пожежі мають бути встановлені біля входів і у зонах загального користування; усі шляхи евакуації повинні бути вільними, освітленими, мати достатню ширину та забезпечувати евакуацію людей за нормативний час не більше 2 хвилин для об'єктів категорії А. Наявність і належне функціонування цих засобів є критично важливими для запобігання людським втратам і мінімізації наслідків надзвичайних подій [35], [36].

Обов'язково необхідно також проводити професійну підготовку працівникам з питань пожежної безпеки, котра буде спрямована на підвищення реакції у разі надзвичайних ситуацій. При цьому працівники повинні будуть проходити щорічне навчання та інструктажі.

Висновок

Забезпечення охорони праці на установці гідрогенізації є ключовим чинником безпечної та ефективної експлуатації обладнання в умовах підвищеної небезпеки. У процесі аналізу визначено основні шкідливі та небезпечні виробничі фактори, розроблено заходи технічного, організаційного та індивідуального захисту, зокрема у сферах електро- та пожежобезпеки, вентиляції, автоматизації, контролю небезпечних речовин.

					ДП ОА11.20.000 ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дотримання вимог чинного законодавства України, санітарних норм, ПУЕ, ДБН і НАПБ забезпечує зниження виробничих ризиків, охорону здоров'я персоналу та запобігання аваріям. Застосування системи навчання працівників, вибухозахищеного обладнання та заходів контролю дає змогу ефективно реалізувати принципи безпечної роботи на об'єкті.

					ДП ОА11.20.000 ПЗ	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У дипломному проекті комплексно розглянуто технологічні, енергетичні й безпекові аспекти роботи установки з переробки пластикових відходів.

У першому розділі виконано аналітичний огляд методів утилізації гумових і поліетиленових відходів. Розглянуто сучасні технологічні схеми, серед яких гідрогенізація визначена як одна з найбільш перспективних завдяки високій продуктивності та мінімальному впливу на довкілля. Описано переваги поєднання процесів піролізу та гідрогенізації для отримання якісних паливних фракцій з пластикових та гумових відходів.

У другому розділі розроблено систему електропостачання підприємства з урахуванням вибухонебезпечних умов роботи. Виконано повний розрахунок електричних навантажень, обрано тип і потужність трансформаторів, розраховано перерізи провідників та струми короткого замикання. Забезпечено відповідність проекту нормативним вимогам щодо втрат напруги, надійності та безпеки електропостачання.

У третьому розділі розглянуто систему автоматизації установки гідрогенізації. Обрано електромеханічне обладнання та програмно-технічні засоби автоматизації, зокрема програмований логічний контролер Siemens S7-1200, HMI-панель Weintek та ПІД-регулятор МІК-121-К7. Створено модель регулювання співвідношення витрат водню та сировини в MATLAB Simulink, що дозволило дослідити динаміку процесу й підібрати параметри регулятора для забезпечення стабільної роботи установки.

У четвертому розділі визначено шкідливі та небезпечні чинники виробничого процесу, розроблено заходи технічного та організаційного захисту працівників. Акцентовано увагу на вибухозахисному виконанні електрообладнання, системах вентиляції, пожежогасінні та обов'язковому

					ДП ОА11.20.000 ПЗ	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використанні індивідуальних засобів захисту. Надано рекомендації щодо організації медичних оглядів та проведення інструктажів з охорони праці.

Таким чином, було доведено ефективність застосування сучасного електромеханічного обладнання й автоматизованих систем управління для підвищення надійності, енергоефективності та безпеки процесу гідрогенізації пластикових відходів. Отримані результати можуть бути використані для практичної реалізації системи на підприємствах переробної промисловості.

					ДП ОА11.20.000 ПЗ	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Власенко А. М. Матеріалознавство та технологія металів: підручник для здобувачів професійної (професійно-технічної) освіти /А. М. Власенко. Київ: Літера ЛТД, 2019. 224 с.
2. Хімія: підруч. для 9 кл. загальноосвіт. навч. закл. / Г.А. Лашевська, А.А. Лашевська. – Київ : Генеза, 2017. 264 с.
3. Гапонова О. П. Інженерне матеріалознавство: навчальний посібник / О. П. Гапонова, Т. П. Говорун. Суми: Сумський державний університет, 2024. 403 с.
4. Типи пластику, які використовують у пакувальних матеріалах. URL: <https://7promeniv.com.ua/vidkhody/vtorresursy/198-plastyk/1854-vydy-plastyku-markuvannia> (дата звернення: 05.05.2025).
5. Інженерне матеріалознавство: Підручник / О.М. Дубовий, Ю.О. Казимиренко, Н.Ю. Лебедева, С.М. Самохін. – Миколаїв: НУК, 2009. 444 с.
6. Матеріалознавство : навч. посіб. / В.І. Бузило, В.П. Сердюк, А.В. Яворський, О.А. Гайдай / М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». Дніпро : НТУ «ДП», 2021. 243 с .
7. Хазова Н., Мітюшкіна Х.С. Вплив твердих побутових відходів на навколишнє середовище. *"ПРИРОДНИЧІ ТА ГУМАНІТАРНІ НАУКИ. АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ"*: зб. матеріалів X Всеукраїнської студентської науково - технічної конференції. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет ім. І.Пулюя (м. Тернопіль, 25-26 квітня 2017р.), 2017.- Т. 2. С.257-258. URL: https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/123456789/20648/1/zbirnyk_2017_tom2.pdf (дата звернення: 05.06.2025).
8. Шилович Т.Б. Утилізація упакувань. Навчальний посібник з навчальної дисципліни. Київ : Вид-во КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 51 с.
9. Айрапетян Т. С. Технології переробки та утилізації відходів : конспект лекцій для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та

					ДП ОА11.20.000 ПЗ	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

водні технології) / Т. С. Айрапетян, С. М. Епоян ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. 116 с.

10. Н.Г.Вітер., Кавун Е.М. «Утилізація та поводження з відходами». Наукова брошура для організації лабораторно-практичних та семінарських занять студентів агрономічного факультету денної та заочної форми навчання з спеціальності 7.04010601 «Екологія та охорона навколишнього середовища». Вінницький національний аграрний університет, 2015. 180 с.

11. Мачинський Остап. Гідрокрекінг: монографія / Остап Мачинський, Петро Топільницький; М-во освіти і науки, молоді та спорту України, Нац. ун-т «Львів. політехніка». Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2011. 348 с.

12. Україна за півроку наростила імпорту пального у 12 разів. *UKRAЇНСЬКА ENERGETИКА*, 2 вересня 2022. URL: <https://ua-energy.org/uk/posts/ukraine-za-pivroku-narostyla-import-palnoho-v-12-raziv> (дата звернення: 12.05.2025).

13. Цілі сталого розвитку. Україна 2021: моніторинговий звіт. Державна служба статистики України. 2021.

URL:https://ukrstat.gov.ua/csr_prezent/2020/ukr/st_rozv/publ/SDGs%20Ukraine%202021%20Monitoring%20Report%20ukr.pdf (дата звернення: 12.05.2025).

14. Бойченко, С., Жолтайли, С., Шкільнюк, І., Куберський, І., & Левандовський, І. (2024). Аналіз потенціалу отримання композиційного моторного палива з відходів пластику та поліетилену та відходів зношених шин в Україні. Системні дослідження в енергетиці, (4 (80), 41-55. URL: <https://doi.org/10.15407/srenergy2024.04.041> (дата звернення: 12.05.2025).

15. Рябенко І. С., Мейта О. В. Проектування електропостачання та електрообладнання машин і установок геотехнічних виробництв: Навчальний посібник для курсового та дипломного проектування. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 244 с.

16. Центральний процесор Siemens SIMATIC S7-1200. *ToncityService*: веб-сайт. URL: <https://topcity.com.ua/shop/simatic-s7-1200/158133> (дата звернення: 09.06.2025).

					ДП ОА11.20.000 ПЗ	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

17. Панель оператора Weintek MT8070iE. *WEINTEK*: веб-сайт. URL: <http://www.weintek.com.ua/content/mt8070ie-%D0%BF%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D0%BB%D1%8C-%D0%BE%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B0-7-weintek> (дата звернення: 09.06.2025).
18. Вимірювальна вставка для термометра опору. Модель TR10-A. *CELMET*: веб-сайт. URL: https://celmet.com.ua/files/WIKA_TR10-A_tekh_dokumentacija.pdf (дата звернення: 10.06.2025).
19. Термопара К-типу (ТХА). *GEEKMATIK*: веб-сайт. URL: https://geekmatic.in.ua/termopara_k_type_100mm_3m (дата звернення: 10.06.2025).
20. Датчик тиску WIKA S-20. *WIKA*: веб-сайт. URL: https://www.wika.com/en/en/s_20.WIKA (дата звернення: 10.06.2025).
21. Витратомір Siemens SITRANS FCS200. *SIEMENS*: веб-сайт. URL: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/574/109770574/att_995360/v1/Coriolis-Sensors-FI01_us_kap03-flow.pdf (дата звернення: 11.06.2025).
22. Регульований клапан Samson 3241-1. *ARASVAN*: веб-сайт. URL: <https://arasvan.com/assets/images/Vanalar/samson/3421.pdf> (дата звернення: 11.06.2025).
23. VEGA VEGAPULS 64. Радарний датчик для безперервного вимірювання рівня рідин. *VEGA*: веб-сайт. URL: <https://www.vega.com/en/products/product-catalog/level/radar/vegapuls-64> (дата звернення: 11.06.2025).
24. МІК-121-К7. Універсальний мікропроцесорний ПІД-регулятор. *MICROL*: веб-сайт. URL: https://www.microl.ua/index.php?page=shop.product_details&flypage=garden_flypage.tpl&product_id=372&category_id=43&option=com_virtuemart&Itemid=71 (дата звернення: 13.06.2025).
25. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042-99: затв. постановою Головного державного санітарного лікаря України від 01.12.1999 р. № 42.

					ДП ОА11.20.000 ПЗ	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

26. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми допустимих рівнів шуму на робочих місцях : затв. постановою Головного державного санітарного лікаря України від 01.12.1999 № 37.
27. ДСН 3.3.6.039-99 Санітарні норми виробничого освітлення : затв. постановою Головного державного санітарного лікаря України від 01.12.1999 № 39.
28. Наказ Міністерства соціальної політики України від 27.03.2018 № 433 Про затвердження Правил охорони праці під час експлуатації електроустановок споживачів.
29. Наказ Міністерства економіки України від 02.04.2024 № 1107 Про затвердження Технічного регламенту систем електрозабезпечення.
30. ДБН В.2.5-23:2010 Проектування електроустановок житлових і громадських будівель.
31. ДБН В.2.5-28:2006 Природне і штучне освітлення.
32. Наказ Держнаглядохоронпраці України від 01.03.2005 № 31 Про затвердження Правил охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями.
33. Наказ Міністерства праці та соціальної політики України від 03.08.2007 № 208 Про затвердження Правил охорони праці під час роботи з обладнанням, що працює під тиском.
34. ДСН 3.3.6.027-01 Державні санітарні норми і правила захисту працівників від впливу хімічних речовин: затв. постановою Головного державного санітарного лікаря України від 29.12.2001 № 27.
35. ДБН В.2.5-24:2006 Електрообладнання будівель.
36. Наказ Міністерства соціальної політики України від 30.03.2015 № 252 Про затвердження Мінімальних вимог безпеки і захисту здоров'я працівників під час використання обладнання на робочих місцях.

					ДП ОА11.20.000 ПЗ	Арк.
						82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		