

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний економічний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем

Довгалюк Ілля Романович

Автоматизація процесу ректифікації спирту

напрямок підготовки : 151- Автоматизація та комп'ютерно інтегровані технології

Дипломна робота за освітньо-кваліфікаційним рівнем "бакалавр"

Виконав студент групи АКІТ-41
Довгалюк І.Р.

Науковий керівник:
к.т.н., О.М. Заставний

Дипломну роботу допущено до захисту:

" ____ " _____ 20__ р.

Завідувач кафедри

Сегіг А. І.

Тернопіль 2024

Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем
Освітній ступінь "бакалавр"

Спеціальність: 151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Завідувач кафедри СКС

_____ А.І.Сегін
“ ____ ” _____ 2024 р.

З А В Д А Н Н Я

НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Довгалюк Іллі Романовичу

(прізвище, ім'я по-батькові)

1. Тема випускної кваліфікаційної роботи

Автоматизація процесу ректифікації спирту / Automation of the alcohol rectification process керівник
роботи к.т.н., Заставний О.М.

затверджені наказом по університету від "12" грудня 2023 р. №753

2. Строк подання студентом закінченої випускної кваліфікаційної роботи:
10.05.2024р.

3. Вихідні дані до випускної кваліфікаційної роботи:

1. Модель автоматизованого підприємства з ректифікації спирту
2. Технологічна схема процесу ректифікації спирту
3. Програмне забезпечення для системи управління процесом ректифікації спирту

4. Основні питання, які потрібно розробити:

1. Провести аналіз фізико-хімічних основ процесу ректифікації спирту та існуючих технологічних рішень.
2. Дослідити методи та технології ректифікації спирту.
3. Розробити та обґрунтувати структуру, алгоритми та програмне забезпечення автоматизованої системи управління ректифікаційною установкою.
4. Створити проект ректифікаційної установки та провести техніко-економічне обґрунтування з аналізом екологічних аспектів.

5. Перелік графічного матеріалу у роботі:

1. Діаграма фазової рівноваги
2. Схема тарельчастої ректифікаційної колони
3. Схема насадкової ректифікаційної колони

4. Автоматизація спиртзаводу
5. Інструментальна схема системи періодичної дистиляції
6. Графічна візуалізація програми

6. Консультанти розділів випускної кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Заставний О.М.		
2	Заставний О.М.		
3	Заставний О.М.		

7. Дата видачі завдання 20 жовтня 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назви етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Теоретичні та технологічні основи ректифікації спирту	11.2023р. – 12.2023р.	
2	Автоматизація процесів ректифікації спирту	01.2024р. – 02.2024р.	
3	Проектування системи автоматизації ректифікаційної установки	03.2024р. – 04.2024р.	

Студент _____
(підпис)

Довгалюк І.Р.

Керівник роботи _____
(підпис)

к.т.н., доцент Заставний О.М

АНОТАЦІЯ

Довгалюк І. Р. Автоматизація процесів ректифікації спирту. – Рукопис.

Робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» – Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, 2024.

У роботі досліджено теоретичні та технологічні основи процесу ректифікації спирту, проаналізовано існуючі технологічні рішення та обладнання, розглянуто методи та технології ректифікації.

Розроблено модель автоматизованого підприємства з ректифікації спирту, що включає технологічну схему, вибір обладнання та людино-машинний інтерфейс. Проведено техніко-економічне обґрунтування проекту та аналіз його екологічних аспектів.

ABSTRACT

Dovhaliuk I. R. Automation of alcohol rectification processes. – Manuscript.

The research for obtaining the educational degree of "Bachelor" in the specialty 151 "Automation and computer-integrated technologies" – West Ukrainian National University, Ternopil, 2024.

The paper investigates the theoretical and technological foundations of the alcohol rectification process, analyzes existing technological solutions and equipment, and considers methods and technologies of alcohol rectification.

A model of an automated enterprise for alcohol rectification is proposed, including a technological scheme, equipment selection, and human-machine interface development. A feasibility study of the project and an analysis of its environmental aspects are conducted.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. ТЕОРЕТИЧНІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ РЕКТИФІКАЦІЇ СПИРТУ ..	7
1.1. Фізико-хімічні основи процесу ректифікації спирту	7
1.2. Типи ректифікаційних колон та їх конструктивні особливості	10
1.3. Аналіз існуючих технологічних рішень та обладнання	16
1.4. Методи та технології ректифікації спирту	20
1.5. Аналіз вітчизняного та зарубіжного досвіду	28
2. АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ РЕКТИФІКАЦІЇ СПИРТУ	33
2.1. Завдання та принципи автоматизації	34
2.2. Структура автоматизованих систем управління	35
2.3. Вибір та обґрунтування засобів автоматизації	37
2.4. Розробка алгоритмів управління	39
2.5. Програмна реалізація системи управління	44
3. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ РЕКТИФІКАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ	47
3.1. Розробка ректифікаційної установки	47
3.2. Проектування людино-машинного інтерфейсу та програмного забезпечення	53
ВИСНОВКИ	58
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	60
ДОДАТОК А	64
ДОДАТОК Б	74

					ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Довгалюк І.Р.			Огляд елементів візуалізації програми	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевірив.		Заставний О.М.					5	80
Консульт.						ЗУНУ.ФКІТ.АКІТ-41		
Н. Контр.		Заставний О.М.						
Затверд.		Сегін А.І.						

ВСТУП

Ректифікація спирту – це ключовий процес у виробництві високоякісного етанолу, що знаходить широке застосування у харчовій, медичній, фармацевтичній та технічній промисловості. Зростаючий попит на якісний спирт, посилення вимог до його чистоти та безпеки, а також необхідність підвищення ефективності виробництва зумовлюють актуальність досліджень у сфері автоматизації процесів ректифікації. Впровадження сучасних автоматизованих систем управління дозволяє оптимізувати технологічні параметри, зменшити енерговитрати, підвищити продуктивність та якість продукції, а також забезпечити стабільність процесу та безпеку виробництва.

Враховуючи зазначену актуальність, метою даної кваліфікаційної роботи є розробка моделі автоматизованого підприємства з ректифікації спирту, що забезпечує високу ефективність, якість продукції та відповідність сучасним вимогам. Для досягнення цієї мети буде проведено дослідження предмету роботи – процесів ректифікації спирту та їх автоматизації, а об'єктом дослідження стане підприємство з ректифікації спирту.

У роботі будуть виконані такі методи дослідження, як теоретичний аналіз наукової літератури та нормативної документації, моделювання процесів ректифікації спирту та їх автоматизації, проектування ректифікаційних установок та систем автоматизації,

Практичне значення одержаних результатів полягає у можливості використання розробленої моделі автоматизованого підприємства з ректифікації спирту для модернізації існуючих виробництв та проектування нових. Впровадження запропонованих рішень дозволить підвищити ефективність, якість продукції та конкурентоспроможність підприємств.

Напрямки подальшого розвитку досліджень можуть бути спрямовані на вдосконалення методів ректифікації спирту, розробку нових систем автоматизації, оптимізацію енерговитрат та підвищення екологічної безпеки виробництва.

					ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		6

1. ТЕОРЕТИЧНІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ РЕКТИФІКАЦІЇ СПИРТУ

1.1. Фізико-хімічні основи процесу ректифікації спирту

1.1.1. Фазові рівноваги

Ректифікація спирту - це процес розділення рідкої суміші на компоненти або фракції, що відрізняються температурами кипіння, шляхом багаторазового випаровування та конденсації. Він базується на таких фізико-хімічних явищах:

Закон Рауля:

Цей закон стверджує, що парціальний тиск компонента в паровій фазі над ідеальним розчином прямо пропорційний його мольній частці в рідкій фазі та тиску насиченої пари цього компонента при даній температурі. Математично це можна виразити наступним чином:

$$P_i = x_i * P_i^*$$

де:

P_i - парціальний тиск компонента i в паровій фазі

x_i - мольна частка компонента i в рідкій фазі

P_i^* - тиск насиченої пари компонента i при даній температурі

Для реальних розчинів (як суміш спирту та води) закон Рауля виконується лише приблизно, особливо при високих концентраціях. Однак, він є важливим інструментом для розуміння та моделювання процесів ректифікації.

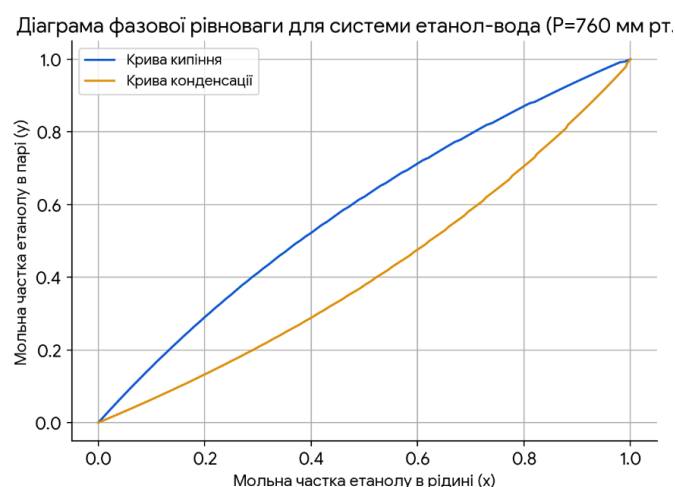


Рисунок 1.1 - Діаграма фазової рівноваги

						Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ	

На рисунку 1.1 представлена діаграма фазової рівноваги для бінарної суміші етанол-вода при тиску 760 мм рт. ст. (стандартний атмосферний тиск). Вона складається з двох кривих:

Крива кипіння (синя): Показує залежність між мольною часткою етанолу в рідині (x) та температурою кипіння суміші.

Крива конденсації (помаранчева): Показує залежність між мольною часткою етанолу в парі (y) та температурою конденсації суміші.

Діаграма фазової рівноваги є ключовим інструментом для проектування та аналізу ректифікаційних колон. Вона дозволяє визначити склад парової та рідкої фаз на кожній тарілці колони та оцінити необхідну кількість тарілок для досягнення заданого ступеня розділення суміші.

1.1.2. Масо- та теплообмін

Масообмін:

Масообмін - це процес переходу компонентів між паровою та рідкою фазами. В ректифікаційній колоні масообмін відбувається на поверхні контактних елементів (тарілок або насадки).

На тарельчастій колоні: Пара барботує через шар рідини на кожній тарілці, що забезпечує інтенсивний контакт між фазами.

На насадочній колоні: Пара проходить через шар насадки, змочений рідиною, що створює велику поверхню контакту.

Інтенсивність масообміну залежить від багатьох факторів, таких як площа поверхні контакту фаз, різниця концентрацій компонентів у фазах, температура, тиск та гідродинамічні умови.

Теплообмін:

Теплообмін - це процес передачі тепла між паровою та рідкою фазами. В ректифікаційній колоні теплообмін відбувається на поверхні контактних елементів, а також через стінки колони.

					ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Конденсація пари: Відбувається у верхній частині колони, де пара охолоджується та перетворюється на рідину. Виділене тепло передається охолоджуючому агенту (воді або повітрю).

Випаровування рідини: Відбувається в нижній частині колони, де рідина нагрівається та перетворюється на пару. Тепло для випаровування зазвичай подається за допомогою водяної пари.

Теплообмін забезпечує необхідний температурний режим у колоні та підтримує процес ректифікації.

1.1.3. Основні закони та рівняння

Рівняння матеріального балансу: Виражає закон збереження маси для кожного компонента суміші. Загальна кількість компонента, що надходить до колони, дорівнює сумі кількості компонента, що виходить з колони у вигляді дистиляту та залишку.

Рівняння теплового балансу: Виражає закон збереження енергії для процесу ректифікації. Загальна кількість тепла, що надходить до колони, дорівнює сумі кількості тепла, що виходить з колони з дистилятом, залишком та втратами тепла в навколишнє середовище.

Рівняння робочої лінії: Це графічне представлення залежності між складом парової та рідкої фаз на різних тарелях або ділянках насадки колони. Робочі лінії будуються на основі рівнянь матеріального та теплового балансу та діаграми фазової рівноваги.

Кількість теоретичних тарілок (КНТ): Це кількість ідеальних контактних ступенів, необхідних для досягнення заданого ступеня розділення суміші. КНТ визначається графічно на діаграмі фазової рівноваги за допомогою методу Маккейба-Тіле.

Коефіцієнт корисної дії тарелі (ККД): Це відношення реальної зміни концентрації компонента на тарілці до теоретичної зміни концентрації,

					ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

розрахованої за рівнянням робочої лінії. ККД враховує неідеальність масообміну на реальній тарілці.

1.2. Типи ректифікаційних колон та їх конструктивні особливості

Ректифікаційні колони є ключовим елементом у процесах розділення рідких сумішей на компоненти з різною леткістю. Вони використовуються в багатьох галузях промисловості, таких як хімічна, нафтопереробна, фармацевтична, харчова та інші.

Існує декілька типів ректифікаційних колон, кожен з яких має свої конструктивні особливості, переваги та недоліки. Вибір оптимального типу колони залежить від конкретних вимог до процесу розділення, таких як склад та властивості суміші, необхідний ступінь розділення, тиск, продуктивність, вартість тощо.

Основні типи ректифікаційних колон:

- Тарельчасті колони: Використовують горизонтальні тарелі (тарілки) для забезпечення контакту між парою та рідиною.
- Насадочні колони: Використовують спеціальну насадку для створення великої поверхні контакту між фазами.
- Спеціальні конструкції: Розроблені для вирішення специфічних проблем розділення або для підвищення ефективності процесу.

1.2.1. Тарельчасті колони

Тарельчасті колони - це тип ректифікаційних колон, що працюють на принципі багаторазового контакту між висхідною парою та низхідною рідиною на горизонтальних тарілках, розташованих одна над одною.

					ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		10



Рисунок 1.2 - Тарельчаста ректифікаційна колона

Процес розділення відбувається наступним чином:

- 1) Барботаж: Пара піднімається вгору по колоні через отвори або патрубки в тарілках.
- 2) Контакт з рідиною: Пара барботує через шар рідини на тарілці, утворюючи піну або емульсію, що забезпечує велику площу контакту між фазами.
- 3) Масообмін: Під час контакту відбувається масообмін: компоненти з вищою леткістю переходять з рідини в пару, а компоненти з нижчою леткістю - з пари в рідину.
- 4) Перетікання рідини: Рідина перетікає з вищої тарілки на нижчу через переливні пристрої.

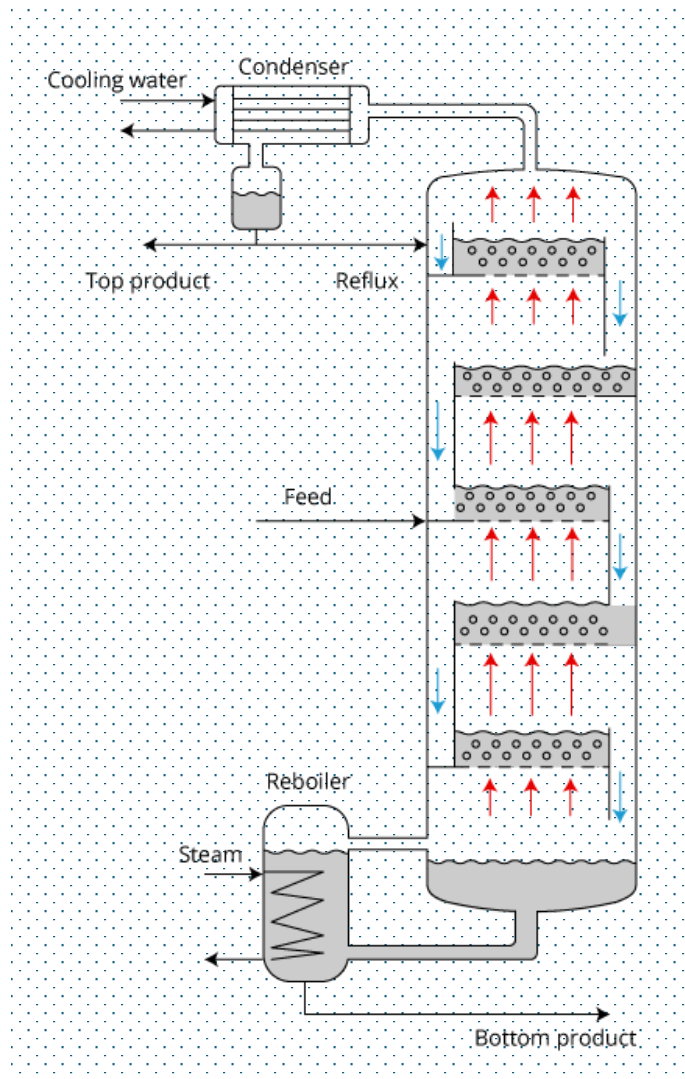


Рисунок 1.3 - Схема тарельчастої ректифікаційної колони

Основним елементом тарельчастої колони є тарілки, які можуть бути різних типів: ситасті (прості та дешеві, але з низькою ефективністю), ковпачкові (забезпечують хороший контакт фаз, але складніші у виготовленні та схильні до забруднення), клапанні (високоєфективні та з низьким гідравлічним опором, але дорогі) та струменеві (високоєфективні та з високою пропускною здатністю, але складні у виготовленні та експлуатації).

Відстань між тарілками зазвичай становить від 200 до 600 мм і залежить від властивостей суміші, тиску в колоні та необхідного ступеня розділення. Переливні пристрої (трубчасті, сегментні або жолобчасті) забезпечують перетікання рідини між тарілками.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ

Арк.

12

Тарельчасті колони мають високу ефективність розділення завдяки великій площі контакту фаз, здатні працювати з високими навантаженнями та відносно прості у конструкції та обслуговуванні. Однак, вони мають високий гідравлічний опір, схильні до забруднення (особливо ковпачкові тарілки) та складні в очищенні, що вимагає зупинки колони та демонтажу тарілок.

1.2.2. Насадкові колони

Насадкові колони відрізняються від тарельчастих тим, що замість дискретних тарілок вони використовують суцільний шар насадки для забезпечення контакту між паром та рідиною.



Рисунок 1.4 - Насадкова ректифікаційна колона

Процес розділення в насадковій колоні відбувається наступним чином:

- 1) Розподіл рідини: Рідина подається у верхню частину колони та рівномірно розподіляється по поверхні насадки за допомогою спеціальних розподільників.
- 2) Контакт з паром: Пара піднімається вгору по колоні, проходячи через канали та пори насадки.

					ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		13

- 3) Масообмін: На поверхні насадки відбувається конденсація пари та випаровування рідини. Компоненти з вищою леткістю переходять з рідини в пару, а компоненти з нижчою леткістю - з пари в рідину.
- 4) Збір рідини: Рідина стікає вниз по насадці та збирається в нижній частині колони.

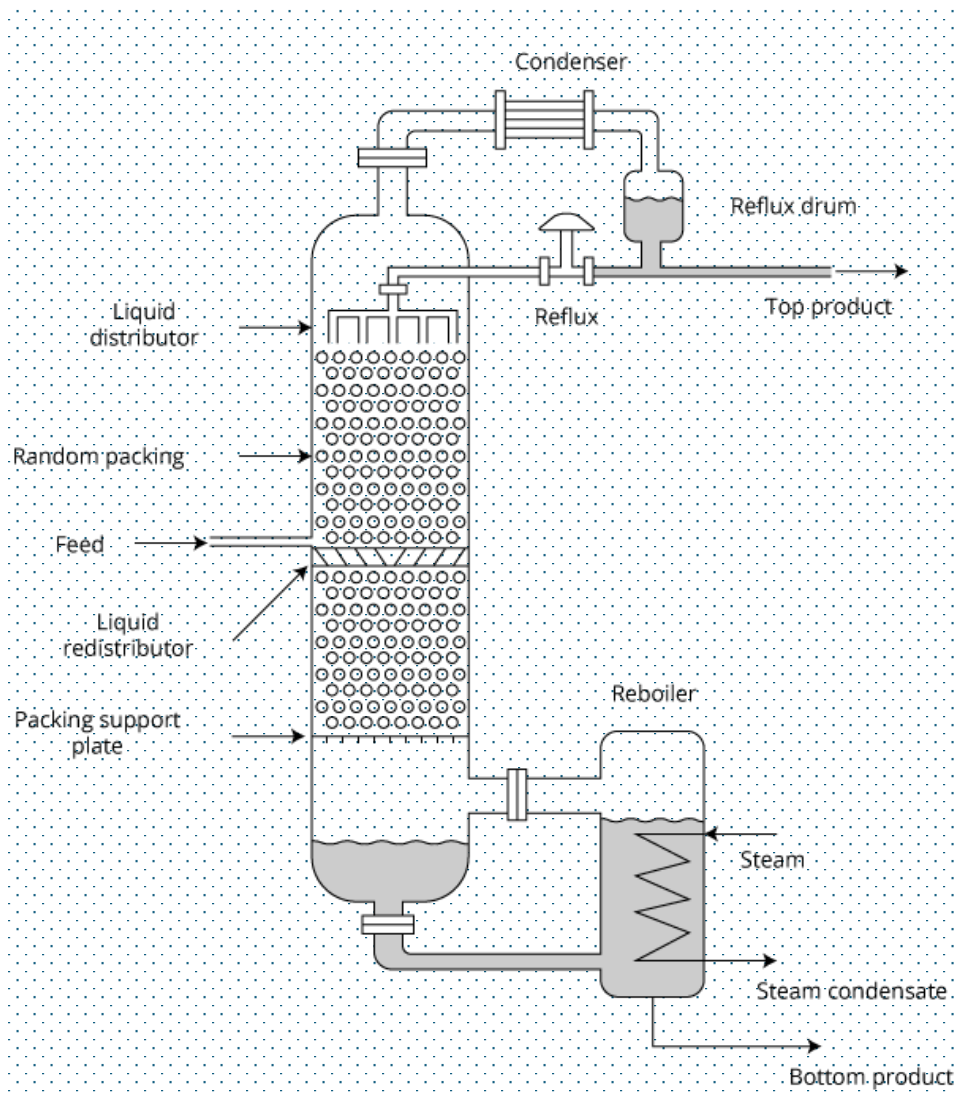


Рисунок 1.5 - Схема насадкової ректифікаційної колони

Основним елементом насадкової колони є насадка, яка може бути нерегулярною (кільця Рашига, сідла Берля, сідла Інталокс тощо) або регулярною (структуровані насадки). Нерегулярні насадки виготовляються з кераміки, металу або пластику, тоді як регулярні насадки з металевої сітки або пластику мають більшу ефективність, але й дорожчі. Висота шару насадки залежить від

властивостей суміші, тиску в колоні та необхідного ступеня розділення і зазвичай становить від 1 до 10 метрів. Розподільники рідини забезпечують рівномірний розподіл рідини по поверхні насадки і можуть бути трубчастими, щілинними або форсунковими.

Насадкові колони мають ряд переваг, включаючи низький гідравлічний опір (що призводить до менших енергетичних витрат), меншу схильність до забруднення та можливість роботи з пінистими та в'язкими сумішами. Однак, вони також мають недоліки, такі як менша ефективність розділення порівняно з тарельчастими колонами (особливо для сумішей з близькими температурами кипіння компонентів), складність розрахунку та проектування, а також більшу вартість, особливо при використанні дорогих регулярних насадок.

1.2.3. Спеціальні конструкції ректифікаційних колон

Спеціальні конструкції ректифікаційних колон розроблені для вирішення специфічних проблем розділення сумішей або для покращення ефективності процесу ректифікації. Ось деякі з них:

- 1) Ротаційно-дисккові колони (РДК) забезпечують контакт між парою та рідиною на поверхні обертових дисків, розташованих на валу всередині колони. Обертання дисків створює тонку плівку рідини, що збільшує площу контакту фаз та інтенсифікує масообмін. Це призводить до високої ефективності розділення, низького гідравлічного опору та можливості роботи з в'язкими та пінистими сумішами. Однак, РДК мають складну конструкцію, високу вартість та обмежену пропускну здатність.
- 2) Колони з пульсуючим потоком використовують спеціальний пристрій (пульсатор) для створення пульсацій потоку пари та рідини. Пульсація потоку збільшує турбулентність, покращує масообмін та запобігає утворенню застійних зон. Це призводить до підвищення ефективності розділення порівняно зі звичайними тарельчастими та насадковими колонами, а також дозволяє працювати з в'язкими та пінистими сумішами та зменшує

					ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		15

забруднення насадки або тарелей. Недоліками є складність конструкції, необхідність додаткового обладнання, підвищене енергоспоживання та обмежений діапазон робочих параметрів.

- 3) Колони з тепловим насосом використовують тепловий насос для підвищення ефективності процесу ректифікації шляхом перенесення тепла з нижньої частини колони у верхню. Це дозволяє значно знизити енергоспоживання та досягти високого ступеня розділення. Однак, такі колони мають складну конструкцію, потребують додаткового обладнання та відрізняються високою вартістю.

Крім перерахованих, існують й інші спеціальні конструкції ректифікаційних колон, такі як колони з вакуумом, колони з ребойлером та конденсатором, колони з додатковими секціями для видалення домішок тощо. Вибір конкретної конструкції залежить від конкретних вимог до процесу розділення.

1.3. Аналіз існуючих технологічних рішень та обладнання

1.3.1. Порівняння різних типів колон

Порівняння різних типів ректифікаційних колон представлено в таблиці 1.

Таблиця 1.1 - Порівняння різних типів колон

Характеристика	Тарельчасті колони	Насадочні колони	Ротаційно-дисккові колони (РДК)	Колони з пульсуючим потоком	Колони з тепловим насосом
1	2	3	4	5	6
Ефективність розділення	Висока	Середня	Дуже висока	Висока	Дуже висока
Гідравлічний опір	Високий	Низький	Низький	Середній	Низький
Пропускна здатність	Висока	Середня	Низька	Середня	Висока
Схильність до забруднення	Висока	Низька	Низька	Низька	Низька

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4	5	6
Вартість	Середня	Низька	Висока	Висока	Висока
Характеристика	Тарельчасті колони	Насадочні колони	Ротаційно-дискові колони (РДК)	Колони з пульсуючим потоком	Колони з тепловим насосом
Застосування	Універсальні	В'язкі, пінисті рідини, чутливі до температур і речовини	Термолабільні, в'язкі рідини, процеси з високими вимогами до чистоти	В'язкі, пінисті рідини, процеси з високими вимогами до чистоти	Процеси з високими вимогами до енергоефективності

Аналіз різних конструкцій ректифікаційних колон виявляє їхні специфічні переваги та недоліки. Тарельчасті колони характеризуються високою ефективністю розділення, здатністю працювати з високими навантаженнями та відносною простотою конструкції, але мають високий гідравлічний опір, схильні до забруднення та складні в очищенні. Насадкові колони вирізняються низьким гідравлічним опором, меншою схильністю до забруднення та можливістю роботи з в'язкими та пінистими сумішами, але мають меншу ефективність розділення та складність розрахунку та проектування. Ротаційно-дискові колони (РДК) забезпечують дуже високу ефективність розділення, низький гідравлічний опір та можливість роботи з в'язкими та термолабільними рідинами, але їх конструкція складна, вартість висока, а пропускна здатність обмежена. Колони з пульсуючим потоком підвищують ефективність розділення, працюють з в'язкими та пінистими рідинами та зменшують забруднення, але мають складну конструкцію, підвищене енергоспоживання та обмежений діапазон робочих параметрів. Колони з тепловим насосом значно знижують енергоспоживання та дозволяють досягти високого ступеня розділення, але їх конструкція складна, а вартість висока.

						Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ

1.3.2. Сучасні тенденції в конструкції обладнання

Сучасні тенденції в конструкції ректифікаційного обладнання спрямовані на покращення ключових аспектів виробництва.

- 1) Підвищення ефективності масообміну досягається шляхом розробки нових типів насадок з покращеними характеристиками, такими як більша питома поверхня, кращий розподіл рідини та пари, менший гідравлічний опір. Застосування структурованих насадок дозволяє досягти високої ефективності розділення при меншій висоті колони, а використання мікроканальних технологій забезпечує інтенсивний масообмін завдяки малим розмірам каналів та високій турбулентності потоку.
- 2) Зниження енергоспоживання є пріоритетним напрямком, що реалізується через застосування теплових насосів для рекуперації тепла, оптимізацію режимів роботи за допомогою сучасних систем автоматизації та моделювання, а також використання енергоефективних матеріалів з низькою теплопровідністю для зменшення втрат тепла.
- 3) Зменшення впливу на навколишнє середовище досягається шляхом використання екологічно чистих матеріалів, що не містять шкідливих речовин, та технологій рециклінгу. Застосування сучасних систем очищення газів та стічних вод дозволяє зменшити викиди шкідливих речовин, а оптимізація процесів ректифікації сприяє зменшенню кількості відходів та викидів.
- 4) Підвищення гнучкості виробництва забезпечується модульною конструкцією, що дозволяє легко змінювати конфігурацію колони та адаптувати її до різних умов. Застосування універсальних насадок, придатних для розділення різних сумішей, також підвищує гнучкість виробництва, як і використання систем автоматизації, що дозволяють швидко переналаштовувати колону на виробництво різних продуктів.

					ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		18

Окрім того, спостерігаються й інші тенденції, такі як застосування штучного інтелекту та машинного навчання для оптимізації процесів, прогнозування стану обладнання та розробки нових конструкцій колон. Використання цифрових двійників ректифікаційних колон дозволяє моделювати та оптимізувати процеси в віртуальному середовищі, що знижує ризики та витрати при впровадженні нових технологій.

1.3.3. Огляд систем автоматизації у ректифікаційній промисловості

Автоматизація процесів ректифікації є ключовим фактором у забезпеченні ефективності, безпеки та стабільності виробництва. Сучасні системи автоматизації здійснюють контроль та управління всіма етапами процесу, від підготовки сировини до отримання готової продукції.

Основні завдання систем автоматизації включають контроль та регулювання параметрів процесу, таких як температура, тиск, витрати потоків та рівні рідини. Це дозволяє підтримувати оптимальні режими роботи, забезпечуючи високу якість продукції та знижуючи енергоспоживання. Крім того, системи автоматизації здійснюють моніторинг стану обладнання, виявляючи несправності та аварійні ситуації, що сприяє запобіганню аварій та забезпеченню безпеки персоналу.

Важливим аспектом є оптимізація процесу шляхом вибору оптимальних режимів роботи на основі математичних моделей та алгоритмів, що підвищує ефективність розділення та знижує витрати. Системи автоматизації також збирають та аналізують дані про параметри процесу, стан обладнання та якість продукції, що дозволяє виявляти закономірності та оптимізувати процес. Дистанційне керування забезпечує можливість керування процесом з віддаленого пункту управління, що підвищує зручність та ефективність роботи операторів.

Системи автоматизації в ректифікаційній промисловості складаються з датчиків, контролерів, виконавчих механізмів, операторського інтерфейсу та

					ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		19

програмного забезпечення. Датчики вимірюють параметри процесу, контролери обробляють дані та формують керуючі сигнали, виконавчі механізми змінюють параметри процесу, операторський інтерфейс забезпечує взаємодію з системою, а програмне забезпечення відповідає за обробку даних, реалізацію алгоритмів управління та візуалізацію інформації.

Сучасні тенденції в автоматизації включають застосування Промислового Інтернету речей (IIoT), хмарних технологій, штучного інтелекту (AI) та машинного навчання (ML), а також розвиток цифрових двійників. Ці технології дозволяють збирати та аналізувати дані в режимі реального часу, зберігати та обробляти великі обсяги даних, розробляти інтелектуальні системи управління та моделювати процеси в віртуальній середовищі.

Впровадження сучасних систем автоматизації має численні переваги, такі як підвищення ефективності та продуктивності, зниження енергоспоживання, підвищення безпеки, покращення якості продукції та зменшення впливу людського фактору. Це є важливим кроком для підвищення конкурентоспроможності підприємств ректифікаційної промисловості.

1.4. Методи та технології ректифікації спирту

1.4.1. Методи та технології ректифікації спирту

Ректифікація спиртових сумішей може здійснюватися двома основними методами: періодичним та безперервним. Кожен з цих методів має свої особливості, переваги та недоліки, що визначають їх застосування у різних виробничих умовах.

Періодична ректифікація - це процес розділення спиртової суміші, при якому вся суміш завантажується в куб ректифікаційної колони на початку процесу. Процес проходить у нестационарному режимі, тобто склад рідини та пари в колоні змінюється з часом.

					ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		20

Ректифікація спиртових сумішей може здійснюватися двома основними методами: періодичним та безперервним. Кожен з цих методів має свої особливості, переваги та недоліки, що визначають їх застосування у різних виробничих умовах.

Періодична ректифікація характеризується завантаженням всієї суміші в куб колони на початку процесу. Процес відбувається в нестационарному режимі, тобто склад рідини та пари в колоні змінюється з часом. Спочатку суміш нагрівається до кипіння, утворюючи пару, яка піднімається вгору по колоні та контактує з низхідною флегмою на тарілках або насадці. Під час контакту відбувається масообмін, в результаті якого суміш розділяється на фракції з різним вмістом спирту. Ці фракції відбираються з різних частин колони в різний час.

Періодична ректифікація використовує простіше та компактніше обладнання, але має нижчу продуктивність через нестационарний режим. Проте, вона відрізняється більшою гнучкістю, оскільки можна змінювати склад суміші та параметри процесу в ході ректифікації. Це дозволяє отримувати спирт вищої чистоти завдяки точному контролю процесу. Застосовується періодична ректифікація у невеликих виробництвах, для отримання спирту особливої чистоти та у дослідних роботах.

Безперервна ректифікація передбачає безперервну подачу вихідної суміші в колону та безперервний відбір готових продуктів. Процес проходить у стаціонарному режимі, тобто склад рідини та пари в колоні залишається постійним з часом. Суміш подається в колону на певну тарілку, нагрівається до кипіння, утворюючи пару, яка піднімається вгору та контактує з низхідною флегмою. Відбувається масообмін, і суміш розділяється на фракції, які відбираються з різних частин колони.

Безперервна ректифікація вимагає складнішого та більшого обладнання, але забезпечує вищу продуктивність завдяки стаціонарному режиму. Проте, вона менш гнучка, оскільки склад суміші та параметри процесу зазвичай фіксовані. Якість продукту зазвичай нижча порівняно з періодичною ректифікацією.

					ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		21

Застосовується безперервна ректифікація у великих виробництвах для масового виробництва спирту.

Вибір між періодичною та безперервною ректифікацією залежить від конкретних потреб виробництва, обсягів сировини, вимог до якості продукту та економічних міркувань.

Періодична та безперервна ректифікація спирту мають свої переваги та недоліки, які необхідно враховувати при виборі методу для конкретного виробництва. Їх порівняння представлено в таблиці 2.

Таблиця 1.2 - Порівняння періодичної та безперервної ректифікації

Критерій	Періодична ректифікація	Безперервна ректифікація
Продуктивність	Нижча, обмежена обсягом куба колони	Вища, можливість переробки великих обсягів сировини
Якість продукту	Вища, можливість отримання спирту високої чистоти	Зазвичай нижча, але достатня для більшості застосувань
Гнучкість	Вища, можливість змінювати склад суміші та параметри процесу в ході ректифікації	Нижча, складніше змінювати параметри процесу в ході ректифікації
Складність обладнання	Простіше, менша кількість апаратів та трубопроводів	Складніше, більша кількість апаратів та трубопроводів, необхідність автоматизації
Енергоспоживання	Вище, через періодичність процесу та необхідність його зупинки для завантаження нової порції сировини	Нижче, за рахунок безперервності процесу та можливості рекуперації тепла
Собівартість продукції	Вища	Нижча
Застосування	Невеликі виробництва, отримання спирту особливої чистоти, дослідні роботи	Великі виробництва, масове виробництво спирту

Порівняння періодичної та безперервної ректифікації виявляє суттєві відмінності у продуктивності, якості продукту, гнучкості, складності обладнання, енергоспоживанні та сферах застосування. Безперервна ректифікація забезпечує значно вищу продуктивність, оскільки процес відбувається безперервно, що робить її ідеальним вибором для великих виробництв. Періодична ректифікація,

з іншого боку, має обмежену продуктивність, але дозволяє отримувати спирт вищої чистоти завдяки точному контролю процесу, що важливо для медичних або харчових цілей. Безперервна ректифікація зазвичай забезпечує нижчу якість продукту, але достатню для більшості промислових застосувань. Періодична ректифікація відрізняється більшою гнучкістю, дозволяючи змінювати параметри процесу в ході ректифікації, тоді як безперервна ректифікація менш гнучка і вимагає переналаштування колони для зміни параметрів. Щодо складності обладнання, періодична ректифікація використовує простіше обладнання, доступне для невеликих виробництв, тоді як безперервна ректифікація потребує складнішого обладнання та автоматизації. Періодична ректифікація характеризується вищим енергоспоживанням та собівартістю продукції, тоді як безперервна ректифікація має нижче енергоспоживання завдяки безперервності процесу та можливості рекуперації тепла. Періодична ректифікація застосовується у невеликих виробництвах, для отримання спирту особливої чистоти та у дослідних роботах, тоді як безперервна ректифікація використовується у великих промислових виробництвах. Вибір між цими методами залежить від конкретних потреб виробництва, обсягів сировини, вимог до якості продукту та економічних міркувань.

1.4.2. Ректифікація з водяною парою

Ректифікація з водяною парою (або парова дистиляція) – це метод розділення рідких сумішей, при якому через суміш пропускають водяну пару. Цей метод використовується для розділення термочутливих речовин, які розкладаються при високих температурах кипіння, а також для сумішей, компоненти яких мають близькі температури кипіння.

Ректифікація з водяною парою має ряд переваг, що роблять її привабливим методом розділення сумішей. По-перше, водяна пара знижує парціальний тиск компонентів суміші, що дозволяє проводити ректифікацію при нижчих температурах, що особливо важливо для термочутливих речовин. По-друге, вона

					ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		23

може покращити розділення компонентів суміші з близькими температурами кипіння, змінюючи їх відносну леткість. По-третє, цей метод може бути більш енергоефективним, оскільки вимагає менше тепла для випаровування суміші. Крім того, нижча температура процесу сприяє зменшенню утворення небажаних побічних продуктів.

Однак, ректифікація з водяною парою має і деякі недоліки. Збільшення об'єму пари, що проходить через колону, може вимагати використання колон більшого діаметру. Також після ректифікації необхідно конденсувати велику кількість водяної пари, що може збільшити енергоспоживання та ускладнити процес. Крім того, цей метод має обмежене застосування, оскільки підходить лише для сумішей, компоненти яких не розчиняються у воді та мають достатню леткість при температурах нижче 100°C.

Ректифікація з водяною парою знаходить широке застосування в різних галузях промисловості. У харчовій промисловості цей метод використовується для отримання ефірних олій, ароматичних речовин та деяких органічних кислот. У парфумерній та косметичній промисловості ректифікація з водяною парою дозволяє виділяти ароматичні компоненти з рослинної сировини. Фармацевтична промисловість застосовує цей метод для отримання деяких лікарських препаратів та біологічно активних речовин. У хімічній промисловості ректифікація з водяною парою використовується для розділення сумішей органічних речовин з близькими температурами кипіння.

Цей метод є ефективним та економічним способом розділення термочутливих та важкорозділюваних сумішей. Він дозволяє отримувати продукти високої якості з мінімальними енергетичними витратами та впливом на навколишнє середовище, що робить його цінним інструментом у багатьох галузях промисловості.

					ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

1.4.3. Екстрактивна та азеотропна ректифікація

Екстрактивна та азеотропна ректифікація є спеціальними методами розділення рідких сумішей, які застосовуються, коли звичайна ректифікація не є ефективною або взагалі неможлива. Це відбувається у випадках, коли компоненти суміші мають дуже близькі температури кипіння або утворюють азеотропні суміші.

Екстрактивна ректифікація базується на додаванні до вихідної суміші третього компонента - екстрагента, який вибірково взаємодіє з одним або декількома компонентами суміші, змінюючи їх відносну леткість. Це полегшує розділення компонентів у ректифікаційній колоні. Екстрагент зазвичай має вищу температуру кипіння, ніж компоненти суміші, тому його можна відокремити від продуктів ректифікації в окремій колоні та повторно використати. Однак, вибір екстрагента є важливим етапом, оскільки він повинен бути хімічно інертним до компонентів суміші, мати вищу температуру кипіння та бути легко відділюваним. Екстрактивна ректифікація є більш складним та потенційно більш енергоємним процесом, ніж звичайна ректифікація.

Азеотропна ректифікація також передбачає додавання третього компонента - азеотропоутворювача, який утворює з одним з компонентів суміші азеотропну суміш з постійною температурою кипіння. Азеотропна суміш та інший компонент вихідної суміші розділяються в ректифікаційній колоні, а азеотропоутворювач може бути відділений від продуктів ректифікації різними методами. Вибір азеотропоутворювача є критичним, оскільки він повинен утворювати азеотропну суміш з певним компонентом, мати відповідну температуру кипіння та бути легко відділюваним. Азеотропна ректифікація також є більш складним та енергоємним процесом, ніж звичайна ректифікація, через необхідність регенерації азеотропоутворювача.

Екстрактивна та азеотропна ректифікація - це два методи, що використовуються у виробництві спирту для отримання безводного етанолу з концентрацією понад 99%.

					ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		25

При екстрактивній ректифікації до водно-спиртової суміші додається екстрагент, наприклад, гліцерин або етиленгліколь. Екстрагент утворює з водою азеотропну суміш з більш високою температурою кипіння, ніж чистий етанол. В результаті етанол виходить з верху колони у вигляді дистилляту, а азеотропна суміш вода-екстрагент виходить з низу. Екстрагент потім регенерується в окремій колоні та повертається в процес.

Азеотропна ректифікація, з іншого боку, передбачає додавання азеотропоутворювача, наприклад, бензолу або циклогексану, до водно-спиртової суміші. Азеотропоутворювач утворює з етанолом азеотропну суміш з більш низькою температурою кипіння, ніж чиста вода. В результаті азеотропна суміш етанол-азеотропоутворювач виходить з верху колони, а вода виходить з низу. Азеотропна суміш потім розділяється на чисті компоненти в окремій колоні.

Вибір між екстрактивною та азеотропною ректифікацією залежить від багатьох факторів, включаючи склад вихідної суміші, доступність та вартість екстрагента або азеотропоутворювача, вимоги до якості продукту, енергетичні витрати та екологічні міркування. Кожен метод має свої переваги та недоліки, тому вибір оптимального методу вимагає ретельного аналізу та врахування всіх факторів.

1.4.4. Інші методи ректифікації

Окрім традиційних методів ректифікації, таких як періодична, безперервна, екстрактивна та азеотропна, існують також інші, менш поширені, але перспективні методи, які знаходять застосування у специфічних галузях промисловості.

Обидва методи, молекулярна та мембранна ректифікація, є відносно новими та перспективними технологіями, які активно розвиваються та вдосконалюються. Вони відкривають нові можливості для розділення складних сумішей та отримання високочистих продуктів.

Молекулярна дистиляція – це метод розділення рідких сумішей, що базується на різниці в довжині вільного пробігу молекул різних компонентів.

					ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		26

Процес відбувається у вакуумі, де молекули випаровуються з поверхні рідини та рухаються до холодної поверхні конденсатора. Оскільки довжина вільного пробігу молекул залежить від їхньої маси, легші молекули долають більшу відстань і конденсуються на конденсаторі, тоді як важчі молекули повертаються в рідину.

Цей метод дозволяє розділяти суміші з дуже близькими температурами кипіння, а також термочутливі речовини, які розкладаються при високих температурах. Молекулярна дистиляція застосовується у фармацевтичній промисловості для отримання високочистих лікарських препаратів, у харчовій промисловості для отримання вітамінів та інших біологічно активних речовин, а також у хімічній промисловості для розділення складних сумішей органічних сполук.

Мембранна ректифікація – це метод розділення рідких сумішей, який використовує спеціальні мембрани, що пропускають пари одних компонентів суміші, затримуючи інші. Процес відбувається при температурах, близьких до температури кипіння суміші, і може бути як періодичним, так і безперервним.

Мембранна ректифікація має ряд переваг порівняно з традиційними методами. Вона дозволяє проводити розділення при нижчих температурах, що особливо важливо для термочутливих речовин. Крім того, цей метод характеризується низьким енергоспоживанням, компактністю обладнання та високою селективністю. Мембранна ректифікація знаходить застосування у виробництві біопалива, очищенні стічних вод, розділенні ізотопів та інших галузях.

					ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

1.5. Аналіз вітчизняного та зарубіжного досвіду

1.5.1. Огляд сучасних тенденцій в автоматизації ректифікації спирту

Автоматизація процесів ректифікації спирту стрімко розвивається, інтегруючи передові технології та підходи для досягнення нових рівнів ефективності, безпеки та якості продукції.

Цифровізація та Інтернет речей (IoT) є однією з ключових тенденцій. Це включає в себе використання різноманітних датчиків (температури, тиску, витрати, рівня, складу) та інтелектуальних пристроїв, які збирають дані в режимі реального часу та передають їх до централізованої системи управління. Хмарні технології забезпечують віддалений доступ до інформації, її аналіз та прийняття рішень на основі актуальних даних. Створення цифрових двійників ректифікаційних колон, які є віртуальними моделями їх фізичних аналогів, дозволяє моделювати та оптимізувати процеси, прогнозувати можливі проблеми та випробувати нові стратегії управління.

Штучний інтелект (ШІ) та машинне навчання (ML) також відіграють важливу роль у сучасній автоматизації. Інтелектуальні системи управління, що базуються на алгоритмах ШІ та ML, аналізують дані, виявляють закономірності та оптимізують процеси ректифікації. ШІ також використовується для прогнозування можливих відмов обладнання та аварійних ситуацій, що дозволяє вжити превентивних заходів. Крім того, алгоритми машинного навчання можуть автоматично налаштовувати параметри процесу для досягнення оптимальних результатів.

Роботизація та автоматизація рутинних операцій є ще одним важливим напрямком розвитку. Використання роботів для виконання рутинних операцій, таких як відбір проб, очищення обладнання та транспортування матеріалів, дозволяє звільнити персонал від монотонної та небезпечної роботи. Впровадження автоматизованих лабораторій з системами аналізу сприяє контролю якості сировини та готової продукції.

					ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		28

Енергоефективність та сталий розвиток також є пріоритетами сучасної автоматизації. Застосування енергоефективних технологій, таких як теплові насоси, рекуперація тепла та використання відновлюваних джерел енергії, дозволяє знизити енергоспоживання та витрати на виробництво. Впровадження систем очищення газів та стічних вод, а також оптимізація процесів для зменшення утворення відходів, сприяють зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище.

Інтеграція з іншими системами є важливим аспектом сучасної автоматизації. Інтеграція з ERP-системами дозволяє об'єднати дані про ректифікацію з іншими бізнес-процесами підприємства, такими як планування, закупівлі та логістика, що підвищує ефективність управління. Інтеграція з MES-системами дає змогу відстежувати виробничі процеси в режимі реального часу та оперативно реагувати на зміни.

Усі ці тенденції свідчать про те, що сучасна автоматизація ректифікації спирту спрямована на створення інтелектуальних, ефективних та екологічних виробництв. Застосування новітніх технологій дозволяє підприємствам підвищувати конкурентоспроможність, знижувати витрати та забезпечувати сталий розвиток.

1.5.2. Патентно-інформаційний пошук

Патентно-інформаційний пошук відіграє важливу роль у дослідженні та розробці нових технологій, зокрема у сфері автоматизації ректифікації спирту. Цей процес дозволяє отримати всебічне уявлення про існуючі патенти та винаходи, оцінити їх потенціал, уникнути дублювання досліджень та визначити перспективні напрямки для подальших інновацій.

Основна мета патентно-інформаційного пошуку полягає в оцінці стану техніки шляхом виявлення існуючих рішень та технологій у галузі автоматизації ректифікації спирту. Аналіз патентів дає змогу виявити недоліки та обмеження існуючих рішень, визначити проблеми, які потребують вирішення, та знайти нові

					ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ідеї для створення більш ефективних та інноваційних рішень. Крім того, патентно-інформаційний пошук є важливим інструментом захисту інтелектуальної власності, оскільки допомагає уникнути порушення прав інтелектуальної власності інших розробників та забезпечити правовий захист власних розробок.

1.5.3. Аналіз досвіду провідних підприємств та наукових досліджень

Досвід провідних підприємств та результати наукових досліджень є цінним джерелом інформації для розвитку та вдосконалення автоматизації ректифікації спирту. Аналіз цього досвіду дозволяє виявити найкращі практики, перспективні технології та напрямки подальших досліджень.

Провідні підприємства спиртової промисловості активно впроваджують сучасні системи автоматизації для підвищення ефективності, якості та безпеки виробництва.

Приклади успішних проектів:

- 1) Siemens AG: Ця глобальна компанія пропонує широкий спектр рішень для автоматизації, включаючи програмне забезпечення SIMATIC PCS 7 та контролери SIMATIC S7, які використовуються для управління ректифікаційними колонами. Siemens також надає послуги з проектування, впровадження та обслуговування систем автоматизації для спиртової промисловості.
- 2) Emerson Electric Co.: Emerson пропонує комплексні рішення для автоматизації процесів, включаючи системи управління DeltaV та програмне забезпечення Plantweb. Ці системи дозволяють контролювати та оптимізувати всі етапи ректифікації спирту, забезпечуючи високу якість продукції та ефективність виробництва.
- 3) Honeywell International Inc.: Honeywell пропонує широкий спектр рішень для автоматизації, включаючи системи управління Experion PKS та контролери Experion C300. Ці системи забезпечують точний контроль

					ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		30

та регулювання параметрів процесу ректифікації, а також моніторинг стану обладнання та попередження аварій.

- 4) Yokogawa Electric Corporation: Yokogawa пропонує системи управління CENTUM VP та ProSafe-RS, які використовуються для автоматизації ректифікаційних колон. Ці системи забезпечують високу надійність, безпеку та ефективність процесу, а також дозволяють інтегрувати дані з різних джерел для прийняття обґрунтованих рішень.
- 5) ABB Ltd.: ABB пропонує системи управління 800xA та Freelance, які використовуються для автоматизації різних процесів, включаючи ректифікацію спирту. Ці системи дозволяють контролювати та оптимізувати процес, забезпечуючи високу якість продукції та зниження енергоспоживання.

Ключові фактори успіху:

- 1) Комплексний підхід: Автоматизація всіх етапів процесу, від підготовки сировини до відвантаження готової продукції.
- 2) Використання сучасних технологій: ПЛК, SCADA-системи, промисловий Інтернет речей (IIoT), хмарні технології, штучний інтелект та машинне навчання.
- 3) Кваліфікований персонал: Наявність кваліфікованих фахівців з автоматизації та інженерів-технологів.
- 4) Постійна модернізація: Постійне вдосконалення та оновлення системи автоматизації з урахуванням нових технологій та вимог ринку.
- 5) Наукові дослідження відіграють важливу роль у розвитку автоматизації ректифікації спирту. Вони спрямовані на розробку нових методів та алгоритмів управління, створення більш ефективних та надійних систем автоматизації, а також на дослідження впливу автоматизації на якість продукції та економічні показники виробництва.

Перспективні напрямки досліджень:

					ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		31

- 1) Розробка інтелектуальних систем управління: Застосування штучного інтелекту та машинного навчання для створення систем, які можуть самостійно навчатися та адаптуватися до змін умов процесу.
- 2) Використання цифрових двійників: Створення цифрових моделей ректифікаційних колон для моделювання та оптимізації процесів, а також для навчання операторів.
- 3) Розробка нових датчиків та аналізаторів: Створення більш точних, надійних та економічних датчиків для вимірювання параметрів процесу та складу продукції.
- 4) Інтеграція різних систем автоматизації: Об'єднання систем управління ректифікацією з іншими системами підприємства (ERP, MES, LIMS) для створення єдиної інформаційної системи управління виробництвом.

					ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		32

2. АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ РЕКТИФІКАЦІЇ СПИРТУ

У сучасній ректифікаційній промисловості автоматизація відіграє ключову роль у забезпеченні ефективності, безпеки та стабільності виробництва спирту. Автоматизовані системи управління дозволяють точно контролювати та регулювати параметри процесу, оптимізувати його хід, підвищувати якість продукції та знижувати витрати. Цей розділ присвячений розгляду основних принципів, методів та переваг автоматизації у ректифікаційній промисловості, а також сучасним тенденціям та перспективам її розвитку.

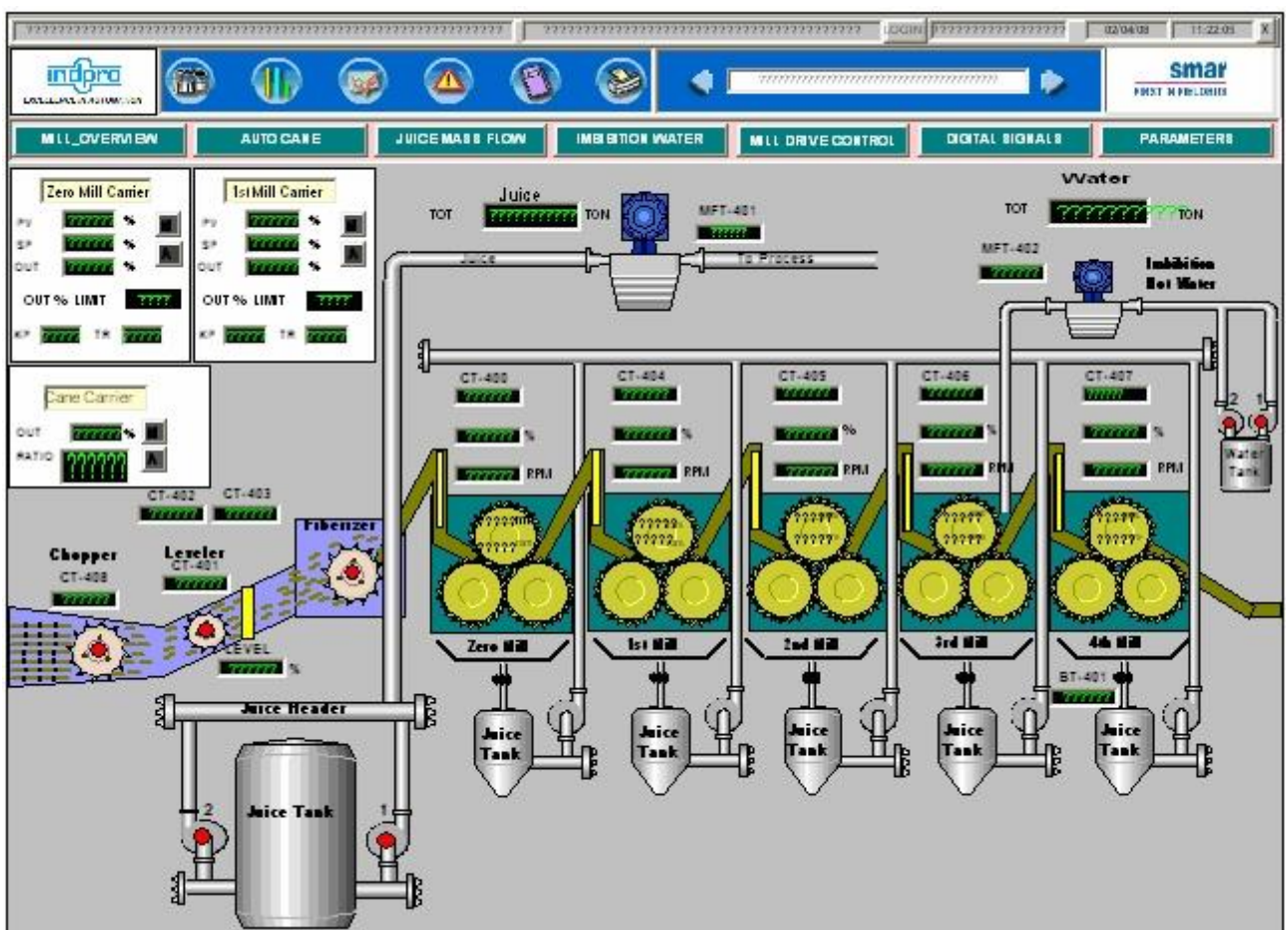


Рисунок 2.1 - Автоатизація спиртзаводу

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ

Арк.

33

2.1. Завдання та принципи автоматизації

Автоматизація процесів ректифікації спирту спрямована на досягнення кількох ключових цілей, які забезпечують ефективність, якість та безпеку виробництва.

2.1.1. Підвищення ефективності

Автоматизація дозволяє оптимізувати параметри процесу, такі як температура, тиск, витрати потоків та інші. Завдяки автоматичним системам контролю та регулювання, підтримуються оптимальні значення цих параметрів, що забезпечує максимальну ефективність розділення спирту та мінімізує енергетичні витрати. Крім того, автоматизація допомагає зменшити втрати спирту та інших компонентів суміші за рахунок точного контролю процесу та своєчасного виявлення відхилень. Це дозволяє збільшити вихід готової продукції та знизити витрати на сировину. Автоматичні системи управління також сприяють підвищенню продуктивності ректифікаційної колони шляхом оптимізації режимів роботи та скорочення часу простоїв. Ще одним важливим аспектом є зниження впливу людського фактору, оскільки автоматизація зменшує ризик помилок оператора, що може призвести до зниження якості продукції або аварійних ситуацій.

2.1.2. Забезпечення якості продукції

Автоматизація відіграє важливу роль у забезпеченні високої якості спирту-ректифікату. Автоматичні системи аналізу контролюють якість вихідної сировини (бражки), виявляючи можливі забруднення або відхилення від норми. Безперервний моніторинг параметрів процесу, таких як температура, тиск та витрати потоків, дозволяє підтримувати стабільність процесу та отримувати продукцію з заданими характеристиками. Автоматичні системи аналізу, наприклад, газові хроматографи, контролюють склад спирту-ректифікату та

					ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		34

інших фракцій, забезпечуючи відповідність продукції вимогам стандартів. У разі відхилення параметрів процесу від норми автоматичні системи можуть вносити корективи в режими роботи колони, що гарантує стабільну якість продукції.

2.1.3. Безпека виробництва

Автоматизація суттєво підвищує рівень безпеки на виробництві. Автоматичні системи контролюють стан обладнання, виявляючи можливі несправності та запобігаючи аваріям. У разі виникнення аварійних ситуацій, наприклад, перевищення допустимих параметрів, автоматичні системи можуть відключати обладнання або переводити його в безпечний режим роботи. Крім того, системи автоматизації можуть обмежувати доступ до небезпечних зон виробництва та контролювати дії персоналу, що мінімізує ризик нещасних випадків. Також вони можуть включати датчики витоку газу, системи пожежогасіння та інші засоби захисту від вибухів та пожеж.

2.2. Структура автоматизованих систем управління

АСУ ректифікацією спирту — це комплекс технічних та програмних засобів, призначених для автоматичного контролю, регулювання та оптимізації процесу ректифікації. Вони забезпечують ефективність, безпеку та високу якість продукції.

2.2.1. Рівні управління

АСУ ректифікацією зазвичай мають ієрархічну структуру, що складається з кількох рівнів управління:

- 1) Нижній рівень (польовий): На цьому рівні знаходяться датчики та виконавчі механізми, які безпосередньо взаємодіють з технологічним процесом. Датчики вимірюють параметри процесу (температуру, тиск,

					ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		35

витрати, рівні тощо), а виконавчі механізми (клапани, насоси, нагрівачі) змінюють ці параметри відповідно до команд з вищих рівнів.

2) Середній рівень (контролерів): На цьому рівні знаходяться програмовані логічні контролери (ПЛК) або промислові комп'ютери, які збирають дані з датчиків, обробляють їх та видають керуючі сигнали на виконавчі механізми. Контролери забезпечують реалізацію алгоритмів автоматичного регулювання та захисту.

3) Верхній рівень (оператора): На цьому рівні знаходиться автоматизоване робоче місце (АРМ) оператора, яке забезпечує візуалізацію процесу, контроль параметрів, архівування даних, формування звітів, а також можливість ручного втручання в процес у разі потреби.

2.2.2. Функції систем

АСУ ректифікацією виконують широкий спектр функцій, що забезпечують ефективне управління та контроль процесом. В першу чергу, вони здійснюють збір даних з різноманітних датчиків, обробляючи, фільтруючи, масштабуючи та перетворюючи їх у цифрову форму для подальшого використання.

Візуалізація є важливою функцією АСУ, оскільки дозволяє оператору бачити графічне відображення параметрів процесу на моніторах у вигляді мнемосхем, графіків та трендів. Це забезпечує наочність та зручність контролю за процесом.

АСУ також відповідають за контроль та регулювання процесу, автоматично підтримуючи задані значення параметрів за допомогою ПІД-регуляторів та інших алгоритмів управління. Це гарантує стабільність процесу та високу якість продукції.

Важливою функцією є сигналізація та аварійний захист. АСУ попереджають оператора про відхилення параметрів від норми та автоматично

					ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		36

відключають обладнання у разі аварійних ситуацій, що забезпечує безпеку виробництва.

АСУ також здатні до оптимізації процесу шляхом вибору оптимальних режимів роботи колони на основі математичних моделей та алгоритмів. Це дозволяє підвищити ефективність процесу та знизити витрати.

Зберігання історії процесу та аналіз даних дозволяють виявляти закономірності та оптимізувати процес у майбутньому. АСУ також забезпечують можливість дистанційного керування процесом, що підвищує зручність та ефективність роботи операторів.

Крім того, АСУ можуть інтегруватися з іншими системами підприємства, такими як ERP, MES, LIMS тощо, що забезпечує комплексний підхід до управління виробництвом та підвищує його ефективність.

2.3. Вибір та обґрунтування засобів автоматизації

Ефективність та надійність автоматизованої системи управління (АСУ) ректифікаційною колоною значною мірою залежить від правильного вибору та обґрунтування засобів автоматизації. У цьому підрозділі буде розглянуто основні компоненти АСУ, критерії їх вибору та особливості застосування в контексті ректифікації спирту.

2.3.1. Датчики

Датчики є первинними елементами АСУ, що забезпечують збір інформації про стан технологічного процесу. Для ректифікації спирту використовуються різноманітні типи датчиків, кожен з яких призначений для вимірювання конкретного параметру:

Температура: Термопари, терморезистори, пірометри. Вибір типу датчика залежить від діапазону температур, точності вимірювання та агресивності середовища.

					ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		37

Тиск: Манометри, датчики абсолютного та диференціального тиску. Критеріями вибору є діапазон тиску, точність, стійкість до вібрацій та корозії.

Витрати: Електромагнітні, кориолісові, ультразвукові витратоміри. Вибір залежить від типу рідини (спирт, вода, бражка), діапазону витрат, точності та наявності твердих частинок у потоці.

Рівень: Поплавкові, ємнісні, радарні, ультразвукові рівнеміри. Вибір залежить від типу рідини, діапазону рівня, наявності піни та вимог до гігієнічності.

Склад: Газові хроматографи, рефрактометри, денситометри. Використовуються для контролю концентрації спирту в різних потоках та фракціях.

При виборі датчиків необхідно враховувати їх точність, діапазон вимірювання, надійність, стійкість до агресивних середовищ та вартість.

2.3.2. Виконавчі механізми

Виконавчі механізми призначені для зміни параметрів процесу відповідно до команд контролера. У ректифікаційних колонах найчастіше використовуються такі типи виконавчих механізмів:

Клапани: Регулюючі клапани використовуються для плавної зміни витрат потоків, відсічні клапани - для повного перекриття потоку, запобіжні клапани - для захисту обладнання від надлишкового тиску.

Насоси: Дозуючі насоси використовуються для точного дозування рідин, відцентрові насоси - для перекачування великих об'ємів рідини, шестеренчасті насоси - для перекачування в'язких рідин.

Нагрівачі: Електричні та парові нагрівачі використовуються для підтримки необхідної температури в колоні.

При виборі виконавчих механізмів необхідно враховувати їх пропускну здатність, швидкість реакції, надійність, стійкість до агресивних середовищ та вартість.

					ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		38

2.3.3. Контролери

Контролери є центральним елементом АСУ, який обробляє дані з датчиків, реалізує алгоритми управління та видає команди на виконавчі механізми. У ректифікації спирту можуть використовуватись такі типи контролерів:

Програмовані логічні контролери (ПЛК): Універсальні контролери, які можна програмувати для виконання різних завдань. Вони відрізняються високою надійністю та гнучкістю.

Мікропроцесорні контролери: Спеціалізовані контролери, призначені для виконання конкретних функцій, таких як регулювання температури або тиску.

Комп'ютери з SCADA-системою: Забезпечують візуалізацію процесу, збір та обробку даних, управління та архівування.

При виборі контролера необхідно враховувати його продуктивність, надійність, функціональність та вартість.

2.3.4. Системи збору та обробки даних

Системи збору та обробки даних (SCADA) дозволяють візуалізувати процес ректифікації, збирати та зберігати дані, аналізувати їх та формувати звіти. Вони є важливим інструментом для моніторингу та оптимізації процесу.

При виборі SCADA-системи необхідно враховувати її функціональність, масштабованість, надійність та вартість.

2.4. Розробка алгоритмів управління

Алгоритми управління є основою для ефективного функціонування автоматизованої системи управління (АСУ) ректифікаційною колоною. Вони забезпечують підтримку стабільних режимів роботи, оптимізацію процесу та досягнення високої якості продукції.

					ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

2.4.1. Алгоритми стабілізації

Алгоритми стабілізації призначені для підтримання заданих значень ключових параметрів процесу ректифікації, таких як температура, тиск, витрати потоків та рівні рідини в колоні. Основні типи алгоритмів стабілізації:

1) ПІД-регулятори(пропорційно-інтегрально-диференціальні):

Найпоширеніший тип регуляторів, який враховує поточне відхилення параметру від заданого значення, накопичену помилку (інтегральна складова) та швидкість зміни помилки (диференціальна складова). ПІД-регулятори забезпечують точне та швидке регулювання параметрів.

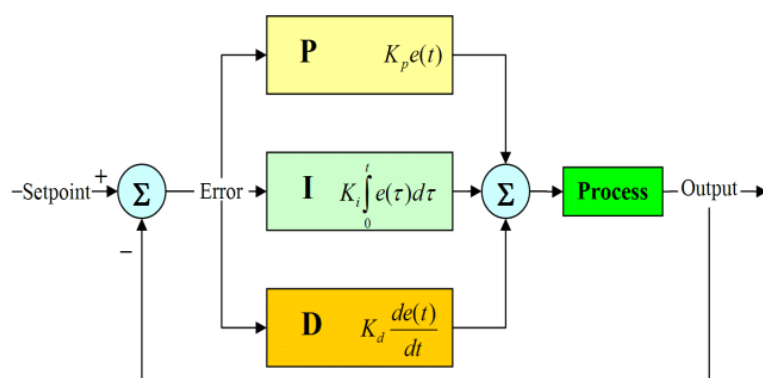


Рисунок 2.2 - Блок-схема PID-регулятора

2) Каскадні регулятори: Система з двох або більше регуляторів, де вихід одного регулятора є заданим значенням для іншого. Каскадні регулятори дозволяють досягти більш точного та стабільного регулювання, особливо у випадку складних систем з взаємопов'язаними параметрами.

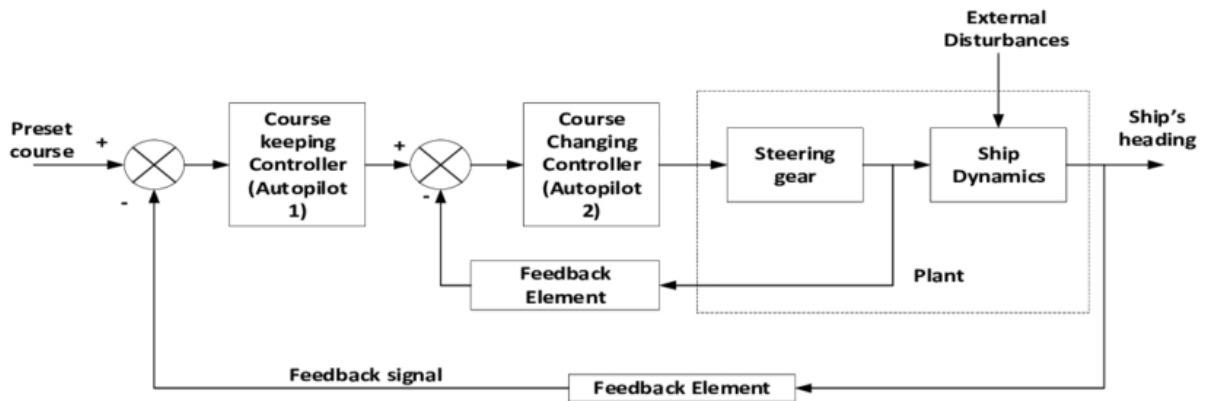


Рисунок 2.3 - Структурна схема каскадної системи управління

- 3) Адаптивні регулятори: Регулятори, які автоматично налаштовують свої параметри залежно від змін умов процесу. Це дозволяє забезпечити ефективне регулювання навіть при значних змінах навантаження або складу сировини.

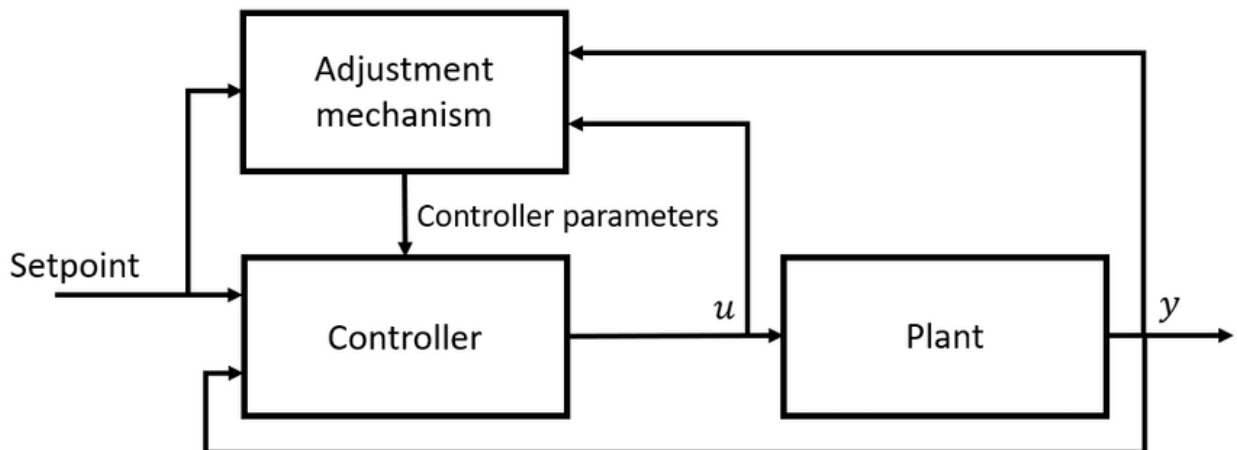


Рисунок 2.4 - Загальна структурна схема адаптивної системи керування

- 4) Прогнозуючі регулятори: Регулятори, які використовують математичні моделі для прогнозування майбутніх значень параметрів процесу та відповідно коригують керуючі впливи. Це дозволяє досягти більш плавного та ефективного регулювання.

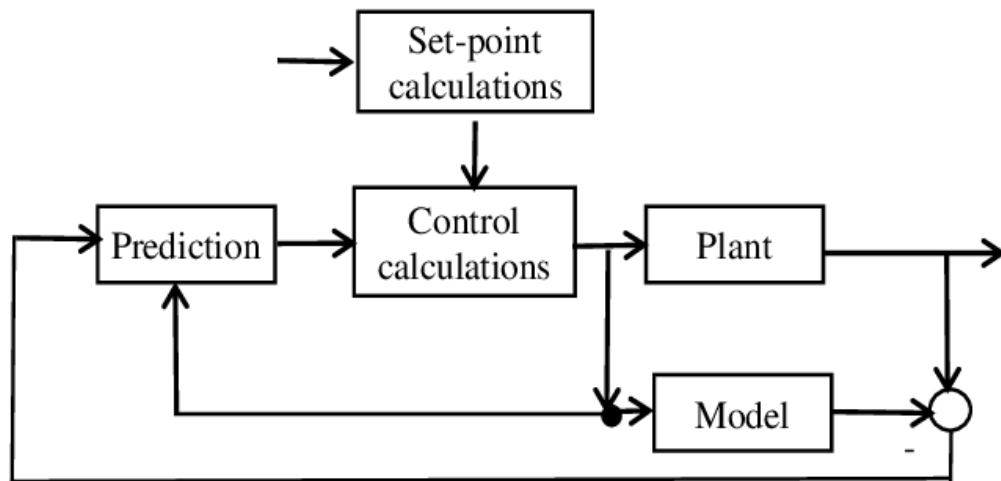


Рисунок 2.5 - Структурна схема модельного прогнозного керування

2.4.2. Алгоритми оптимізації

Алгоритми оптимізації призначені для пошуку оптимальних режимів роботи ректифікаційної колони, які забезпечують максимальну ефективність розділення, мінімальні енергетичні витрати та високу якість продукції. Основні типи алгоритмів оптимізації:

- 1) Екстремальне регулювання: Алгоритм, який шукає екстремум (максимум або мінімум) цільової функції, яка може бути, наприклад, концентрацією спирту в дистилаті або енергетичними витратами.
- 2) Модельне прогнозує управління (MPC): Алгоритм, який використовує математичну модель процесу для прогнозування його поведінки та вибору оптимальної послідовності керуючих впливів. MPC дозволяє враховувати обмеження на параметри процесу та забезпечувати оптимальне управління в широкому діапазоні умов.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

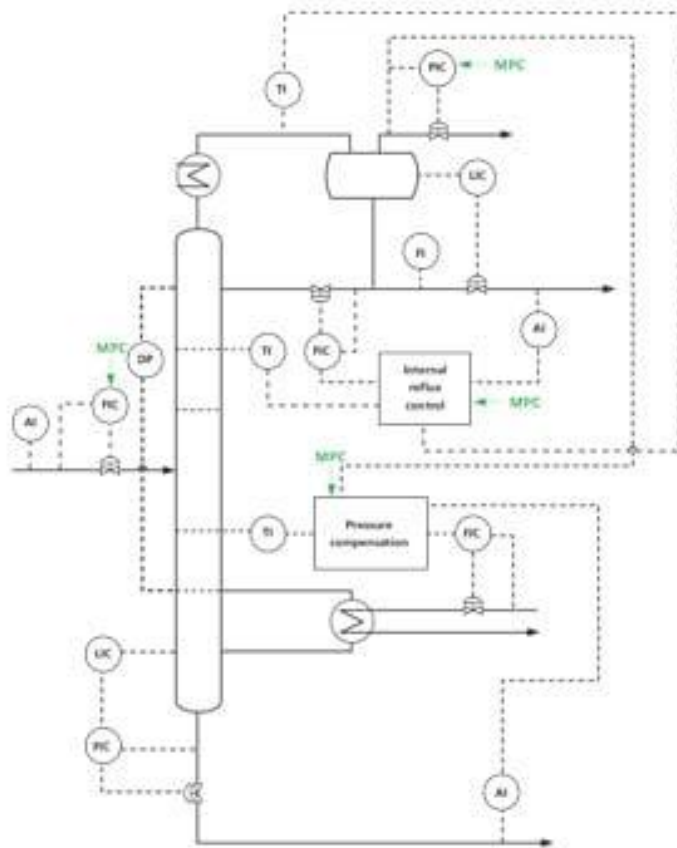


Рисунок 2.6 - Приклад багатоваріантної, моделі прогнозної схеми керування

3) Багатоцільова оптимізація: Алгоритм, який враховує кілька цільових функцій одночасно, наприклад, концентрацію спирту в дистилляті, енергетичні витрати та продуктивність колони.

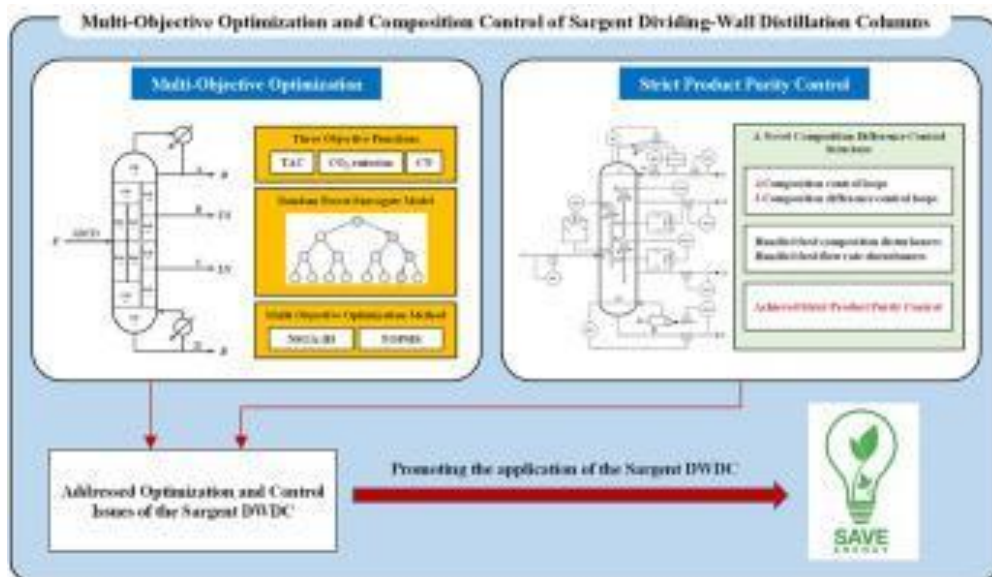


Рисунок 2.7 - Приклад багатоцільової оптимізації

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

4) Методи штучного інтелекту: Нейронні мережі, генетичні алгоритми та інші методи штучного інтелекту можуть бути використані для оптимізації процесу ректифікації. Вони дозволяють враховувати складні залежності між параметрами процесу та знаходити неочевидні рішення.

Вибір алгоритмів управління залежить від багатьох факторів, таких як складність процесу, вимоги до точності та стабільності регулювання, наявність математичної моделі процесу, обчислювальні ресурси тощо. Важливо обрати алгоритми, які забезпечують оптимальне співвідношення між ефективністю, складністю та вартістю реалізації.

2.5. Програмна реалізація системи управління

Програмне забезпечення є невід'ємною складовою автоматизованої системи управління (АСУ) ректифікаційною колоною. Воно забезпечує взаємодію між апаратними компонентами, реалізацію алгоритмів управління та візуалізацію процесу для оператора. У цьому підрозділі буде розглянуто вибір мови програмування, процес розробки програмного забезпечення та етапи його тестування та налагодження.

2.5.1. Вибір мови програмування

Вибір мови програмування для розробки програмного забезпечення АСУ ректифікацією залежить від кількох факторів:

- 1) Вимоги до продуктивності: Для систем реального часу, де швидкість реакції є критично важливою, зазвичай використовуються мови, такі як С або С++.
- 2) Наявність бібліотек та інструментів: Деякі мови програмування мають готові бібліотеки та інструменти для розробки АСУ, що може значно спростити та прискорити процес розробки.
- 3) Кваліфікація розробників: Важливо враховувати досвід та знання розробників, які будуть працювати над проектом.

					ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		44

- 4) Підтримка та супроводження: Мова програмування повинна мати широку спільноту користувачів та розробників, а також доступну документацію та підтримку.

У сучасних АСУ ректифікацією часто використовуються такі мови програмування, як C++, Python, Java, C#. Кожна з них має свої переваги та недоліки. Наприклад, C++ забезпечує високу продуктивність, але вимагає більшої кваліфікації розробників. Python є більш простим у вивченні та використанні, має багато готових бібліотек для наукових обчислень та аналізу даних, але може бути менш ефективним у системах реального часу.

2.5.2. Розробка програмного забезпечення

Процес розробки програмного забезпечення АСУ ректифікацією включає кілька етапів:

- 1) Аналіз вимог: Визначення функціональних та нефункціональних вимог до системи, таких як необхідні алгоритми управління, інтерфейс користувача, продуктивність, надійність тощо.
- 2) Проектування: Розробка архітектури системи, вибір компонентів та технологій, проектування інтерфейсів між компонентами.
- 3) Кодування: Написання програмного коду відповідно до проекту.
- 4) Тестування: Перевірка працездатності та відповідності вимогам програмного забезпечення.
- 5) Впровадження: Встановлення та налаштування програмного забезпечення на обладнанні.
- 6) Супроводження: виправлення помилок, оновлення та покращення програмного забезпечення протягом його життєвого циклу.

2.5.3. Тестування та налагодження

Тестування та налагодження є важливим етапом розробки програмного забезпечення АСУ. Вони дозволяють виявити та виправити помилки, перевірити відповідність вимогам та забезпечити надійну роботу системи.

Види тестування:

					ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		45

- 1) Модульне тестування: Перевірка окремих модулів програмного забезпечення.
- 2) Інтеграційне тестування: Перевірка взаємодії між модулями.
- 3) Системне тестування: Перевірка працездатності всієї системи в цілому.
- 4) Приймально-здавальне тестування: Перевірка відповідності системи вимогам замовника.

Методи налагодження:

- 1) Використання відлагоджувача: Дозволяє покроково виконувати програму, відстежувати значення змінних та виявляти помилки.
- 2) Логування: Запис інформації про роботу програми в лог-файл для подальшого аналізу.
- 3) Моніторинг: Відстеження параметрів процесу та роботи програмного забезпечення в режимі реального часу.

Тестування та налагодження повинні проводитися на всіх етапах розробки програмного забезпечення, починаючи з модульного тестування та закінчуючи приймально-здавальними випробуваннями.

					ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		46

3. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ РЕКТИФІКАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ

3.1. Розробка ректифікаційної установки

3.1.1. Вимоги до ТЗ та технічні характеристики обладнання

Перед початком проектування ратифікаційної установки необхідно сформулювати чітке технічне завдання, яке визначить основні вимоги та параметри майбутньої системи. Нижче наведено детальне технічне завдання, розроблене з урахуванням потреб малого виробництва фруктових спиртів.

1) Вимоги до системи:

- Технічні характеристики:
 - Ректифікаційна колона:
 - Матеріал: Мідь
 - Об'єм: Визначити відповідно до обсягів виробництва
 - Конструкція: Чотири ситчасті тарілки, секція з мідним наповнювачем.
 - Дефлегматор:
 - Тип: З регульованою подачею охолоджуючої води.
 - Підігрівач:
 - Тип: З регульованою подачею теплоносія (наприклад, пара).
 - Система охолодження:
 - Для дефлегматора та холодильника продукту.
- Датчики та контролери:
 - Температурні датчики:
 - Місця встановлення: Куб, кожна тарілка колони, вихід продукту.
 - Тип: РТ100.
 - Витратоміри:

					ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		47

- Місця встановлення: Потік флегми, потік продукту.
- Тип: Коріолісові витратоміри.
- Контролери:
 - Для регулювання подачі теплоносія та охолоджуючої води.
- Програмне забезпечення:
 - Система автоматизації:
 - Для збору даних з датчиків, управління контролерами та ведення журналу процесу.
 - Можливість встановлення та зміни параметрів дистиляції (профілі дистиляції).
 - Інтерфейс користувача для моніторингу та контролю процесу в режимі реального часу.
 - Система аналізу даних:
 - Для аналізу зібраних даних, виявлення тенденцій та оптимізації процесу.

2) Функціональні вимоги

- Автоматизація процесу:
 - Автоматичне регулювання подачі теплоносія для підтримки заданої температури в кубі та на тарілках колони.
 - Автоматичне регулювання подачі охолоджуючої води в дефлегматор для контролю швидкості флегми.
 - Автоматичний контроль об'ємної витрати продукту.
- Профілі дистиляції:
 - Можливість створення та зберігання різних профілів дистиляції з різними параметрами процесу.
 - Можливість вибору та запуску попередньо створеного профілю.
- Моніторинг та контроль:
 - Відображення даних з датчиків у режимі реального часу.

					ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		48

- Можливість ручного коригування параметрів процесу за необхідності.
- Ведення журналу процесу з детальною інформацією про всі параметри.

3) Додаткові вимоги

- Безпека:
 - Система аварійного відключення у разі перевищення допустимих параметрів.
 - Захист від перегріву та надлишкового тиску.
- Енергоефективність:
 - Оптимізація процесу для мінімізації витрат енергії.
- Легкість використання:
 - Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс користувача.
 - Простота обслуговування та чищення.

4) Тестування та валідація

- Тестування функціональності: Перевірка всіх функцій системи відповідно до вимог.
- Тестування продуктивності: Визначення ефективності та продуктивності системи в різних умовах.
- Валідація процесу: Порівняння якості та складу продукту, отриманого на автоматизованій установці, з продуктом, отриманим традиційним способом.

5) Впровадження та навчання

- Встановлення та налаштування: Встановлення системи на виробництві та її налаштування відповідно до конкретних умов.
- Навчання персоналу: Навчання операторів роботі з системою та її обслуговуванню.

					ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		49

3.1.2. Вибір ректифікаційної установки

Виходячи з вимог, визначених у технічному завданні (розділ 3.1.1), та враховуючи необхідність забезпечення високої точності контролю параметрів процесу, стабільності якості продукції та відтворюваності результатів, було обрано наступну схему автоматизованої установки для ректифікації фруктових спиртів.[30]

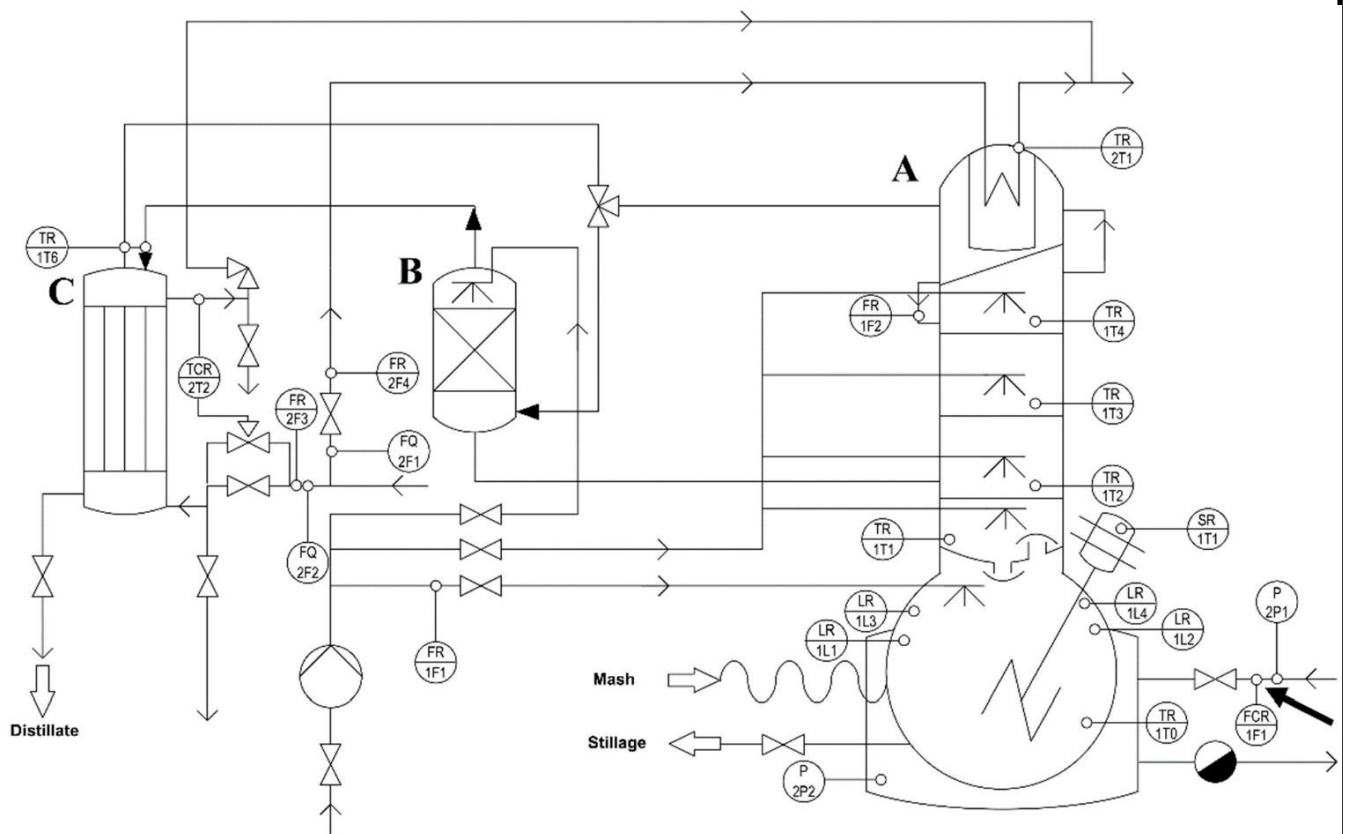


Рисунок 3.1 - Інструментальна схема системи періодичної дистиляції з ректифікаційною колоною (А), мідним насадком (В) і охолоджувачем продукту (С). FCR = регульований клапан для введення теплової енергії, TR = датчики температури, FR = витратоміри, FQ = регулятори витрати охолоджувальної води, LR = датчики рівня піни, P = клапани надлишкового тиску, SR = регулятор швидкості перемішування, TCR = датчик температури охолоджувальної води в охолоджувачі продукту, чорна стрілка вказує на точку регулювання Q1-Q3.

Технологічна схема автоматизованої системи ректифікації фруктових спиртів, представлена на Рисунку 3.1, є результатом детального аналізу існуючих рішень та потреб виробництва. Вона враховує ключові параметри процесу, що

впливають на якість кінцевого продукту, та забезпечує їх ефективний контроль і регулювання.

Куб (перегінний куб) є основним елементом установки, призначеним для нагрівання та випаровування браги (ферментованого фруктового соку). Для забезпечення оптимальних умов процесу, куб виготовлений з міді, що позитивно впливає на органолептичні властивості продукту, та має об'єм 120 л, що відповідає масштабам дослідження та виробництва. Для рівномірного та контрольованого нагрівання браги використовується паровий підігрівач, а для забезпечення однорідності браги та запобігання пригорання встановлена мішалка. Запобіжний клапан забезпечує безпеку процесу, скидаючи надлишковий тиск у разі потреби. Для точного контролю температури в кубі встановлено високоточний температурний датчик РТ100.

Ректифікаційна колона являє собою вертикальну колону, заповнену контактними елементами – трьома ситчастими тарілками та секцією з мідним наповнювачем. Ці елементи забезпечують ефективний масообмін між паром та рідиною, що є основою процесу ректифікації, тобто розділення компонентів браги за їх леткістю. Мідь як матеріал колони сприяє покращенню смакоароматичних характеристик продукту. Для контролю температурного режиму по висоті колони на кожній тарілці встановлені температурні датчики РТ100, а для контролю піноутворення – датчики рівня піни.

Дефлегматор (частковий конденсатор) призначений для часткової конденсації пари, що піднімається з колони, та повернення її у вигляді флегми назад у колону. Цей процес забезпечує зрошення та охолодження контактних елементів, що сприяє кращому розділенню компонентів. Конструкція дефлегматора виконана у вигляді зміювика з міді для ефективного теплообміну. Система регулювання витрати охолоджувальної води (FQ) та температурний датчик РТ100 дозволяють точно контролювати інтенсивність конденсації та температуру. Витратомір Коріоліса встановлений на лінії флегми для точного вимірювання її витрати.

					ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		51

Холодильник продукту (С) забезпечує повну конденсацію пари, що пройшла через дефлегматор, у рідкий дистилат. Як і інші елементи установки, холодильник виготовлений з міді та має конструкцію змійовика. Система охолодження з регульованою витратою (FQ) та витратомір Коріоліса дозволяють контролювати витрату готового продукту, а датчик температури PT100 відстежує температуру охолоджувальної води на вході в холодильник.

Система автоматизації відіграє ключову роль у забезпеченні ефективної та контрольованої роботи установки. Вона складається з програмного забезпечення, що дозволяє налаштовувати параметри процесу, візуалізувати дані та керувати процесом у режимі реального часу, а також контролерів, які регулюють клапани FCR та FQ на основі даних з датчиків.

3.1.3. Розрахунок продуктивності, витрат енергії, розмірів та матеріалів обладнання

Продуктивність ректифікаційної установки визначається обсягом переробленої браги за одиницю часу та залежить від декількох факторів. Об'єм куба установки, що становить 120 л, дозволяє переробляти до 100 л браги за один цикл, враховуючи необхідний запас об'єму для піноутворення. Потужність підігрівача суттєво впливає на швидкість нагрівання браги та інтенсивність випаровування, що, своєю чергою, визначає тривалість процесу дистиляції. Варіювання потужності підігрівача в діапазоні від 43 до 161 Вт/л дозволяє змінювати тривалість процесу від 98 до 141 хвилини відповідно.

На продуктивність установки також впливає ефективність ректифікаційної колони, яка залежить від її конструкції (кількість та тип тарілок, вид насадки), а також від режимів роботи (швидкість подачі браги, флегмове число). Використання колони з трьома ситчастими тарілками та мідним наповнювачем забезпечує високу ефективність розділення. Крім того, швидкість відбору дистилату, яка встановлюється оператором, також впливає на продуктивність та якість продукту.

					ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Витрати енергії на ректифікацію складаються з витрат на нагрівання браги та охолодження парів у дефлегматорі та холодильнику. Основними факторами, що впливають на енергоспоживання, є потужність підігрівача, кількість охолоджувальної води, температурний режим та якість теплоізоляції установки. Вищі температури вимагають більших витрат енергії на нагрівання та охолодження, тоді як хороша теплоізоляція дозволяє знизити втрати тепла та зменшити енергоспоживання.

Розміри обладнання визначаються об'ємом куба та висотою ректифікаційної колони.

З урахуванням вищезазначених факторів, можна очікувати, що продуктивність розроблюваної установки буде на рівні 50-70 л/год абсолютного спирту. Для визначення точних розмірів та вибору матеріалів, а також для оцінки витрат енергії, необхідно провести детальне проектування установки з урахуванням вимог до продуктивності, доступного простору та бюджету.

3.2. Проектування людино-машинного інтерфейсу та програмного забезпечення

3.2.1. Розробка програми керування установкою

Для автоматизації процесу ректифікації фруктових спиртів буде розроблено програмне забезпечення (ПЗ) мовою Structured Text (ST) у середовищі CODESYS. Ця мова програмування широко використовується в промисловій автоматизації завдяки своїй надійності, структурованості та можливості реалізації складних алгоритмів керування. Вихідний код програми наведено у Додатку А.

Програма реалізує наступні функції:

- 1) Ініціалізація: Налаштування початкових параметрів системи, зчитування конфігурації з файлу або бази даних, встановлення початкових значень змінних та параметрів ПІД-регуляторів.

					ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

- 2) Збір даних: Отримання даних з датчиків температури (PT100) на різних рівнях колони та в кубі, витратомірів Коріоліса, датчиків рівня та датчика температури охолоджуючої води.
- 3) Обробка даних: Аналіз отриманих даних, розрахунок похибок регулювання, формування керуючих сигналів для виконавчих механізмів на основі ПД-алгоритмів.
- 4) Керування виконавчими механізмами:
 - Регулювання нагрівання: Увімкнення/вимкнення підігрівача та керування його потужністю за допомогою клапана FCR1F1 для підтримання заданої температури в кубі.
 - Регулювання охолодження: Увімкнення/вимкнення охолодження дефлегматора та холодильника продукту, керування витратою охолоджувальної води за допомогою клапанів FQ2F1 та FQ2F2 для підтримання заданої температури на виході продукту та заданої витрати продукту.
 - Керування перемішуванням: Ручне або автоматичне керування швидкістю мішалки SR1T1 залежно від обраного режиму та поточних умов процесу.
 - Контроль рівня піни та аварійне відключення: Моніторинг рівня піни в колоні та активація клапанів скидання тиску P2P1 та P2P2 у разі перевищення допустимого рівня. Зупинка процесу у разі аварійних ситуацій (перевищення температури, рівня або інших критичних параметрів).
- 5) Ведення журналу: Запис ключових подій та параметрів процесу в журнал з зазначенням часу для подальшого аналізу та оптимізації.

3.2.2. Розробка графічного інтерфейсу користувача (GUI)

Для ефективного моніторингу та контролю процесу ректифікації фруктових спиртів було розроблено та впроваджено інтуїтивно зрозумілий

					ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		54

графічний інтерфейс користувача (GUI) з використанням інструментів візуалізації CODESYS та мови програмування Structured Text (ST).



Рисунок 3.2 - Графічний візуалізація програми

На головному екрані GUI оператор може спостерігати за поточними значеннями температур у різних точках системи, включаючи куб (TR1T1), кожну тарілку колони (TR1T2, TR1T3, TR1T4), дефлегматор (TR1T6), вихід холодильника продукту (TR2T1), нагрівач, затор та охолоджувач. Також відображаються витрати флегми (FR1F2), продукту (FR2F3), теплоносія, пари та охолоджуючої рідини дефлегматора. Рівні рідини в кубі (LR1L1), на третій тарілці колони (LR1L3) та піни також представлені на головному екрані. Додатково, оператор може бачити стан клапанів надлишкового тиску (P2P1, P2P2), швидкість перемішування (SR1T1), поточний профіль ректифікації та режим керування перемішуванням.

Для зручності сприйняття інформації використано цифрові індикатори з великим шрифтом, кольорове кодування (зелений – норма, жовтий – попередження, червоний – аварія) та індикаторні смужки. Крім головного екрану, GUI, передбачається додавання додаткових екранів та вкладок, що дозволяють переглядати графіки зміни параметрів у часі, керувати процесом в ручному та

автоматичному режимі, встановлювати задані значення, переглядати журнал подій, моніторити стан клапанів, калібрувати датчики та аналізувати тренди.

Детальний опис візуалізації та функціоналу GUI, включаючи всі екрани, елементи керування та відображення даних, представлено у Додатку Б.

3.3. Модель автоматизованого підприємства з ректифікації спирту.

3.3.1. Опис моделі

Модель автоматизованого підприємства з ректифікації спирту передбачає інтеграцію сучасних технологій та обладнання для забезпечення ефективного та контрольованого процесу виробництва високоякісних фруктових спиртів. Структура підприємства включає такі основні підрозділи: приймальний пункт сировини, підготовка сировини, ректифікаційний цех, лабораторія та склад готової продукції.

Технологічні процеси на підприємстві складаються з підготовки сировини (мийка, подрібнення фруктів, підготовка браги шляхом ферментації), ректифікації (розділення браги на фракції за допомогою ректифікаційної колони з автоматизованою системою контролю) та контролю якості на всіх етапах виробництва.

Система автоматизації відіграє ключову роль у забезпеченні ефективності та якості процесу. Вона включає датчики для вимірювання параметрів процесу, контролери для автоматичного регулювання та програмне забезпечення для збору та аналізу даних, візуалізації процесу, управління установкою та ведення журналу подій.

3.3.2. Техніко-економічне обґрунтування

Інвестиції у створення автоматизованого підприємства з ректифікації спирту включають витрати на обладнання (ректифікаційна установка, допоміжне обладнання, система автоматизації, лабораторне обладнання), будівництво та монтаж приміщень, а також пусконаладжувальні роботи.

					ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		56

Експлуатаційні витрати включають вартість сировини, енергоносіїв, заробітну плату персоналу, а також витрати на ремонт та обслуговування обладнання. Окупність проекту залежить від багатьох факторів, таких як обсяг виробництва, ціна реалізації продукції та рівень автоматизації, і вимагає детального фінансового аналізу.

3.3.3. Екологічні аспекти

Аналіз впливу на навколишнє середовище включає оцінку викидів в атмосферу (спирт, вуглекислий газ та інші речовини), скидання стічних вод та утворення відходів (відпрацьована брага, залишки фруктів).

Для мінімізації негативного впливу на довкілля пропонуються такі заходи: встановлення систем очищення повітря та стічних вод, використання відпрацьованої браги як добрива або сировини для виробництва біогазу, а також переробка залишків фруктів на корм для тварин або компост. Впровадження цих заходів дозволить забезпечити сталий розвиток підприємства та мінімізувати його вплив на навколишнє середовище.

					ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ВИСНОВКИ

Проведено комплексне дослідження автоматизації процесів ректифікації спирту. Розглянуто фізико-хімічні основи процесу, різні типи ректифікаційних колон та їх конструктивні особливості, а також проведено аналіз існуючих технологічних рішень та обладнання. Детально вивчено методи та технології ректифікації, включаючи періодичну та безперервну ректифікацію, ректифікацію з водяною парою, екстрактивну та азеотропну ректифікацію, а також молекулярну та мембранну дистиляцію.

Особливу увагу приділено автоматизації процесів ректифікації спирту. Визначено основні завдання та принципи автоматизації, розглянуто структуру автоматизованих систем управління, вибір та обґрунтування засобів автоматизації, розробку алгоритмів управління та програмну реалізацію системи управління.

Створено проект ректифікаційної установки, включаючи технічне завдання, розрахунок основних параметрів, розробку технологічної схеми та вибір обладнання. Розроблено модель автоматизованого підприємства з ректифікації спирту, проведено техніко-економічне обґрунтування проекту та аналіз його екологічних аспектів.

Розроблено людино-машинний інтерфейс для системи управління ректифікаційною установкою, який забезпечує зручність та ефективність роботи оператора.

Проаналізовано вітчизняний та зарубіжний досвід у галузі автоматизації ректифікації спирту, включаючи огляд сучасних тенденцій та патентно-інформаційний пошук.

Висновки щодо автоматизації процесів ректифікації спирту:

Автоматизація є ключовим фактором підвищення ефективності та якості ректифікації спирту. Вона дозволяє досягти стабільних режимів роботи, оптимізувати витрати енергії та сировини, зменшити вплив людського фактору та забезпечити високу якість продукції.

					ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Сучасні тенденції в автоматизації ректифікації спирту включають використання цифрових технологій, штучного інтелекту та машинного навчання. Це дозволяє створювати інтелектуальні системи управління, які здатні адаптуватися до змін умов процесу та приймати оптимальні рішення.

Перспективними напрямками розвитку автоматизації є використання цифрових двійників, хмарних технологій та інтеграція з іншими системами підприємства. Це дозволить створити інтегровані системи управління виробництвом, які забезпечать максимальну ефективність та конкурентоспроможність підприємств.

Впровадження автоматизації вимагає значних інвестицій, але окупається за рахунок підвищення ефективності, зниження витрат та покращення якості продукції. Тому автоматизація є необхідним кроком для розвитку спиртової промисловості та підвищення її конкурентоспроможності на світовому ринку.

Ця дипломна робота підтверджує важливість та актуальність автоматизації процесів ректифікації спирту. Отримані результати можуть бути використані для подальшого розвитку та вдосконалення технологій автоматизації в цій галузі.

					ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. The Alcohol Textbook, Sixth Edition / G.M. Walker, C. Abbas, W.M. Ingledew, and C. Pilgrim
2. Vapor Liquid Equilibrium Data Collection (Vol1 Pt8) / J. Gmehling, U. Onken, W. Arlt / Scholium Intl, 1984
3. Perry's Chemical Engineers' Handbook (8th or 9th edition) / Marylee Z. Southard, Don Green / McGraw-Hill Education. English : Mechanical Engineering, 2018 - Розділ 13 (Distillation)
4. Separation Process Principles (3rd edition) / J.D. Seader, Ernest J. Henley, and D. Keith Roper / Wiley, 2010 - Розділ 7 (Distillation).
5. Design and Control of Distillation Systems for Separating Azeotropes / William L. Luyben, I-Lung Chien / National Taiwan University of Science and Technology, 2010
6. РЕКТИФІКАЦІЯ СПИРТУ [Електронний ресурс] / режим доступу - https://yak.koshachek.com/articles/rektifikacija-spirtu.html#google_vignette – Дата доступу 05.02.2024
7. Industry 4.0 in the Food Industry: Opportunities and Challenges [Електронний ресурс]. / Режим доступу - <https://www.mdpi.com/2304-8158/9/11/1570> – Дата доступу 07.02.2024
8. Distillery automation [Електронний ресурс]. / Режим доступу: - <https://www.slideshare.net/AvanceonMEA/distillery-automation> – Дата доступу 08.02.2024
9. Alcohol Industry Automation and Artificial Intelligence Consulting [Електронний ресурс]. / Режим доступу - <https://www.sisinternational.com/solutions/ai-market-research-and-strategy-consulting/alcohol-industry-automation-artificial-intelligence-consulting/> – Дата доступу 08.02.2024
10. Craft Distilling trends 2024 [Електронний ресурс]. / Режим доступу - <https://specificmechanical.com/news/blog/craft-distilling-trends-2024/> 10.02.2024

					ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		60

11. Distillation Control: An Engineering Perspective [Електронний ресурс]. / Режим доступу - <https://www.wiley.com/en-mx/Distillation+Control%3A+An+Engineering+Perspective-p-9781118259696> – Дата доступу 13.02.2024
12. International Society of Automation (ISA) [Електронний ресурс]. / Режим доступу - <https://www.isa.org/> – Дата доступу 14.02.2024
13. rectification still [електронний ресурс] / Режим доступу - <https://www.britannica.com/technology/rectification-still> – Дата доступу 17.02.2024
14. Спосіб отримання ректифікованого спирту [електронний ресурс] / Режим доступу - <https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/02ffa45a-000c-49fca3bd-3e298858b805/content> – Дата доступу 23.02.2024
15. DISTILLATION OF MASH AND RECTIFICATION OF ALCOHOL [електронний ресурс] / Режим доступу - <https://bts.net.ua/eng/news/peregonka-brazhki-irektifikatsiya-spirta-eng/> – Дата доступу 01.03.2024
16. Ректифікаційна колона для отримання спирту: пристрій апарату, види та принципи роботи [електронний ресурс] / Режим доступу - <https://poradnuk.com/recept/rektifikacijna-kolona-dlya-otrimannya-spirtu-pristrijaraparatu-vidi-ta-principi-roboti.html>. – Дата доступу 04.03.2024
17. “Колона ректифікації для отримання спирту: пристрій апарату, види і принципи роботи” [електронний ресурс] / Режим доступу - <https://u.bgrepon.com/domashnij-samogon/2542-kolona-rektifikacii-dljasamogonnogo-aparatu.html>. – Дата доступу 09.03.2024
18. How to design a methanol distillation [Електронний ресурс]. - https://www.linkedin.com/posts/keane-dooley-13b008263_in-part-two-for-my-methanol-synthesis-design-activity-7109997418212941827-Bb_T/ – Дата доступу 13.03.2024
19. Chemical Engineering interview question 04/100 – Answer [Електронний ресурс]. - https://www.linkedin.com/posts/thotasivaji_chemicalengineering-

					ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		61

processdesign-sivajithota-activity-7134170451768975360-SIAR/ – Дата доступу 13.03.2024

20. Ректифікаційні колони: принцип роботи та рейтинг кращих моделей [електронний ресурс] / Режим доступу – <https://imio.com.ua/rektifikacijni-koloniprincip-roboti-ta-rejting-krashhix-modelej/>. – Дата доступу 16.03.2024

21. Система керування процесом ректифікації спирту [електронний ресурс] / Режим доступу - <https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstreamdownload/123456789/81324/1/Dudarenko%20V.O..pdf>. – Дата доступу 18.03.2024

22. Alcohol Industry Automation and Artificial Intelligence Consulting [електронний ресурс] / Режим доступу - <https://www.sisinternational.com/solutions/ai-marketresearch-and-strategy-consulting/alcohol-industry-automation-artificial-intelligenceconsulting/>. – Дата доступу 23.03.2024

23. “Автоматизація процесу керування виробництвом спирту в ректифікаційній колоні” [електронний ресурс] / Режим доступу - <https://cardfile.ontu.edu.ua/handle/123456789/22623>. – Дата доступу 25.03.2024

24. “АСУ ТП РЕКТИФІКАЦІЙНОЇ КОЛОНИ РЕГЕНЕРАЦІЇ СПИРТУ З ПІДРЕГУЛЯТОРАМИ” [електронний ресурс] / Режим доступу - <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2020/mar/21151/amm-2-68-73.pdf>. – Дата доступу 27.03.2027

25. Modeling and Design of Cruise Control System with Feedforward for all Terrian Vehicles [електронний ресурс] / Режим доступу - https://www.researchgate.net/figure/PID-controller-applied-to-the-nonlinear-plant_fig4_271376035 – Дата доступу 30.03.2024

26. Multi-objective optimization and composition control of Sargent dividing-wall distillation columns [електронний ресурс] Режим доступу - / <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652623027956> – Дата доступу 01.04.2024

					ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		62

27. Автоматизація елюційної колони технологічного процесу виготовлення етилового спирту [електронний ресурс] / Режим доступу - https://ir.nmu.org.ua/bitstream/handle/123456789/164293/00_151_19_%d0%93%d0%b0%d0%b2%d1%80%d0%b8%d0%ba_%d0%92_%d0%93_%d0%9f%d0%97.pdf?sequence=1&isAllowed=y. – Дата доступу 05.03.2024
28. Автоматизація ректифікаційного відділення у виробництві етилового спирту [електронний ресурс] / Режим доступу - <https://ela.kpi.ua/items/4c3b7abe-d7f7-41d2-96da-5a34deefadee>. – Дата доступу 06.04.2024
29. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ БРАГОРЕКТИФІКАЦІЙНОГО АПАРАТА [електронний ресурс] / Режим доступу - <http://www.tsatu.edu.ua/ophv/wpcontent/uploads/sites/13/rozrahunok-parametriv-brahorektifikacijnoho-aparata.pdf>. – Дата доступу 08.04.2024
30. Reproducibility of Fruit Spirit Distillation Processes [електронний ресурс] / Режим доступу - https://www.researchgate.net/publication/359464020_Reproducibility_of_Fruit_Spirit_Distillation_Processes. – Дата доступу 15.04.2024

					ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		63

ДОДАТОК А

PROGRAM PLC_PRG

VAR

// Параметри дистиляції

Q1, Q2, Q3: REAL;

DistillationProfile: (A, B, C, D, E, F, G, H);

MashType: (wine, pear, plum); // Вид браги (wine, pear, plum)

// Вхідні сигнали з датчиків

TR1T0, TR1T1, TR1T2, TR1T3, TR1T4, TR1T6, TR2T1, TR_Heater: REAL; (* Датчики температури (PT100) *)

FR1F2, FR2F4, FR2F3, FR1F1: REAL; (* Витратоміри (Coriolis) *)

LR1L1, LR1L2, LR1L3, LR1L4: BOOL; (* Датчики рівня *)

// Вихідні сигнали на виконавчі механізми

FCR1F1: REAL; (* Регульований клапан для введення теплової енергії *)

FQ2F1: REAL; (* Регулятор витрати охолоджувальної води в дефлегматор *)

FQ2F2: REAL; (* Регулятор витрати охолоджувальної води в холодильник *)

P2P1, P2P2: BOOL; (* Клапани надлишкового тиску *)

SR1T1: REAL; (* Регулятор швидкості перемішування *)

// Внутрішні змінні

HeatingOn: BOOL;

CoolingOn: BOOL;

DistillateReady: BOOL;

					<h3 style="margin: 0;">ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ</h3>									
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата										
Розроб.		Довгалюк І.Р.			<div style="font-size: large; font-weight: bold; margin-bottom: 10px;">Код програми</div> <table border="1" style="margin: 0 auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20px;">Літ.</td> <td style="width: 20px;">Арк.</td> <td style="width: 40px;">Акрушів</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"> </td> <td style="text-align: center;">64</td> <td style="text-align: center;">80</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center; font-weight: bold; font-size: large;">ЗУНУ.ФКІТ.АКІТ-41</td> </tr> </table>	Літ.	Арк.	Акрушів		64	80	ЗУНУ.ФКІТ.АКІТ-41		
Літ.	Арк.	Акрушів												
	64	80												
ЗУНУ.ФКІТ.АКІТ-41														
Перевірив.		Заставний О.М.												
Консульт.														
Н. Контр.		Заставний О.М.												
Затверд.		Сегін А.І.												

// Задані точки (setpoints) згідно з вимогами

SetpointTR1T0 : REAL := 90.0; // Початкова температура в кубі

SetpointTR1T1 : REAL := 85.0; // Температура на першій тарілці

SetpointTR1T2 : REAL := 78.0; // Температура на другій тарілці

SetpointTR1T3 : REAL := 75.0; // Температура на третій тарілці

SetpointTR2T1 : REAL := 20.0; // Температура на виході продукту

LevelLimit : REAL := 84.0; // 70% від об'єму куба (120 л)

ProductFlowRateSetpoint : REAL := 10.0; // Задана об'ємна витрата продукту (л/год)

// Коефіцієнти ПІД-регуляторів (початкові значення)

Kp_Heat : REAL := 0.1;

Ki_Heat : REAL := 0.01;

Kp_Cool : REAL := 0.1;

Ki_Cool : REAL := 0.01;

Kp_Flow : REAL := 0.1;

Ki_Flow : REAL := 0.01;

// Змінні для аварійного відключення

EmergencyStop : BOOL;

HighTemperatureAlarm : BOOL;

HighLevelAlarm : BOOL;

LowLevelAlarm : BOOL;

HeaterOverheatAlarm : BOOL;

// Граничні значення для аварійного відключення

MaxTemperature : REAL := 105.0; // Максимально допустима температура в будь-якій точці колони

MaxHeaterTemperature : REAL := 150.0; // Максимально допустима температура нагрівача (°C)

HighLevelLimit : REAL := 90.0; // Граничне значення високого рівня на третій тарілці

MinLevel : REAL := 10.0; // Мінімально допустимий рівень рідини в кубі (л)

					ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		65

```

// Змінні для ведення журналу
// LogMessage : STRING;
// LogTime : TIME;

// Масив для журналу
// LogEntry : ARRAY [0..99] OF STRING;
// CurrentLogIndex : INT := 0;

// Змінні для керування процесом
SystemState: (Stopped, HeatingTo90, HoldingAtQ1, HeatingTo75, IncreasingPower, ConstantFlow,
Stopping, EmergencyStopped);
StartProcess: BOOL;
ProfileSelected: BOOL := FALSE;
StartTime: TIME; // Для відстеження часу нагрівання
InitialPower: REAL := 450.0; // Початкова потужність нагріву (Вт/л)

// Керування перемішуванням
ManualMixingControl : BOOL; // TRUE - ручне керування, FALSE - автоматичне
MixingSpeedSetpoint : REAL; // Задана швидкість перемішування (об/хв)
// Параметри для автоматичного керування перемішуванням (приклад)
Kp_Mixing : REAL := 0.5;
Ki_Mixing : REAL := 0.1;
MixingSpeedMin : REAL := 50.0; // Мінімальна швидкість перемішування (об/хв)
MixingSpeedMax : REAL := 200.0; // Максимальна швидкість перемішування (об/хв)

// Змінні для ПІД-регулятора охолодження продукту
ErrorTemperatureProduct : REAL;
IntegralErrorProduct : REAL;
ValveCoolingProduct : REAL; // Керуючий сигнал для клапана охолодження продукту

// Змінні для ПІД-регулятора витрати охолоджувальної води
ErrorFlowRate : REAL;

```

					ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		66

```

IntegralErrorFlowRate : REAL;

SetpointFlowRate : REAL; // Задана витрата охолоджувальної води

Kp_FlowCool : REAL := 0.1; // Пропорційний коефіцієнт ПІД-регулятора витрати

Ki_FlowCool : REAL := 0.01; // Інтегральний коефіцієнт ПІД-регулятора витрати

    i: INT;

    LogData: ARRAY[1..5, 1..3] OF STRING := ['Event', 'Value', 'Data', 'SelectProfile', 'B', '10.42',
'Start', 'TRUE', '10.44', 'CubeTemp', '90', '10.59', 'tempTE1T3', '75', '11.13'];

END_VAR

```

// Логіка програми

// Вибір профілю дистиляції (A-H) в залежності від типу браги та бажаних параметрів

CASE DistillationProfile OF

A:

```

Q1 := 134.0;

Q2 := 134.0;

Q3 := 46.0;

MashType := wine;

```

B:

```

Q1 := 43.0;

Q2 := 59.0;

Q3 := 121.0;

MashType := wine;

```

C:

```

Q1 := 43.0;

Q2 := 59.0;

Q3 := 161.0;

MashType := wine;

```

D:

```

Q1 := 134.0;

Q2 := 134.0;

Q3 := 46.0;

MashType := pear;

```

					ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		67

E:

Q1 := 43.0;
Q2 := 59.0;
Q3 := 121.0;
MashType := pear;

F:

Q1 := 43.0;
Q2 := 59.0;
Q3 := 161.0;
MashType := pear;

G:

Q1 := 134.0;
Q2 := 134.0;
Q3 := 46.0;
MashType := plum;

H:

Q1 := 43.0;
Q2 := 134.0;
Q3 := 46.0;
MashType := plum;

END_CASE

CASE SystemState OF

Stopped:

IF StartProcess AND ProfileSelected THEN
SystemState := HeatingTo90;
StartTime := TIME(); // Запам'ятовуємо час початку нагрівання
FCR1F1 := InitialPower / 100.0; // Початкова потужність (переведення Вт/л в %)
FQ2F2 := 7.0; // Увімкнути охолодження продукту
SR1T1 := MixingSpeedMin; // Запустити перемішування
END_IF;

HeatingTo90:

					ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		68

IF TR1T0 >= 90.0 THEN // Температура браги досягла 90°C

SystemState := HoldingAtQ1;

FCR1F1 := Q1 / 100.0; // Зниження потужності до Q1

END_IF;

HoldingAtQ1:

IF TR1T3 >= 75.0 THEN // Температура на третій тарілці досягла 75°C

SystemState := HeatingTo75;

FCR1F1 := Q2 / 100.0; // Зміна потужності на Q2

END_IF;

HeatingTo75:

IF FR2F3 > 0.0 THEN // Продукт почав витікати

SystemState := IncreasingPower;

StartTime := TIME(); // Запам'ятовуємо час початку збільшення потужності

END_IF;

IncreasingPower:

// Збільшуємо потужність на Q3 кожну годину

FCR1F1 := LIMIT(0, Q2 + Q3 * TIME_TO_REAL(TIME() - StartTime) / 3600, 100); // Обмеження 0-100%

IF FR2F3 >= ProductFlowRateSetpoint - 0.5 THEN

SystemState := ConstantFlow;

END_IF;

ConstantFlow:

// ПІД-регулювання для підтримки постійної витрати продукту

FQ2F1 := (FR2F3 - ProductFlowRateSetpoint) * Kp_Flow + Ki_Flow;

FQ2F1 := LIMIT(0, FQ2F1, 100);

// Керування охолодженням продукту (ПІД-регулятор)

					ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		69

ErrorTemperatureProduct := SetpointTR2T1 - TR2T1;

IntegralErrorProduct := IntegralErrorProduct + ErrorTemperatureProduct * Ki_Cool;

// Розрахунок керуючого впливу ПІД-регулятора

ValveCoolingProduct := ErrorTemperatureProduct * Kp_Cool + IntegralErrorProduct;

// Обмеження вихідного сигналу (0-100%)

ValveCoolingProduct := LIMIT(0, ValveCoolingProduct, 100);

// Керування витратою охолоджувальної води (FQ2F2) - ПІД-регулятор

ErrorFlowRate := SetpointFlowRate - FQ2F2; // Розрахунок похибки витрати

IntegralErrorFlowRate := IntegralErrorFlowRate + ErrorFlowRate * Ki_FlowCool; //
Інтегрування похибки

// Розрахунок керуючого впливу ПІД-регулятора витрати

FQ2F2 := ErrorFlowRate * Kp_FlowCool + IntegralErrorFlowRate;

// Обмеження вихідного сигналу (0-100%)

FQ2F2 := LIMIT(0, FQ2F2, 100);

// Індикатор роботи охолодження

CoolingOn := ValveCoolingProduct > 0;

Stopping:

// Дії при зупинці

HeatingOn := FALSE; // Вимкнути нагрів

CoolingOn := FALSE; // Вимкнути охолодження дефлегматора

FCR1F1 := 0.0; // Вимкнути подачу теплоносія

FQ2F1 := 0.0; // Вимкнути охолодження дефлегматора

FQ2F2 := 0.0; // Вимкнути охолодження продукту

SR1T1 := 0.0; // Зупинити перемішування

ProfileSelected := FALSE; // Профіль не вибрано після зупинки

					ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		70

SystemState := Stopped; // Повернення до стану зупинки

EmergencyStopped:

// Аварійне зупинення

HeatingOn := FALSE; // Вимкнути нагрів

CoolingOn := FALSE; // Вимкнути охолодження дефлегматора

FCR1F1 := 0.0; // Вимкнути подачу теплоносія

FQ2F1 := 0.0; // Вимкнути охолодження дефлегматора

FQ2F2 := 0.0; // Вимкнути охолодження продукту

SR1T1 := 0.0; // Зупинити перемішування

ProfileSelected := FALSE; // Профіль не вибрано після зупинки

SystemState := Stopped; // Повернення до стану зупинки

END_CASE

// Керування нагріванням (з обмеженням потужності та захистом від перегріву)

HeatingOn := TR1T0 < SetpointTR1T0;

HeaterOverheatAlarm := TR_Heater > MaxHeaterTemperature; // Перевірка перегріву нагрівача

IF HeatingOn AND NOT HeaterOverheatAlarm THEN // Увімкнути нагрів тільки якщо немає перегріву

FCR1F1 := (TR1T0 - SetpointTR1T0) * Kp_Heat + Ki_Heat;

FCR1F1 := LIMIT(0, FCR1F1, Q1); // Обмеження вихідного сигналу (0 - Q1)

ELSE

FCR1F1 := 0; // Вимкнути нагрів

END_IF

// Керування перемішуванням

IF ManualMixingControl THEN

// Ручне керування: швидкість встановлюється оператором через HMI

SR1T1 := MixingSpeedSetpoint;

ELSE

					ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ	Арк.
						71
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

```

// Автоматичне керування (приклад логіки):
// Налаштування швидкості залежно від температури в кубі та рівня рідини
MixingSpeedSetpoint := (TR1T0 - SetpointTR1T0) * Kp_Mixing + Ki_Mixing;
MixingSpeedSetpoint := LIMIT(MixingSpeedMin, MixingSpeedSetpoint, MixingSpeedMax); //
Обмеження швидкості
SR1T1 := MixingSpeedSetpoint;
END_IF

// Керування охолодженням дефлегматора
CoolingOn := TR2T1 > SetpointTR2T1;
FQ2F1 := (TR2T1 - SetpointTR2T1) * Kp_Cool + Ki_Cool;
IF CoolingOn THEN
    FQ2F1 := LIMIT(0, FQ2F1, 100); // Обмеження вихідного сигналу (0-100%)
ELSE
    FQ2F1 := 0; // Вимкнути охолодження
END_IF

// Охолодження продукту (постійна витрата 7 л/хв)
FQ2F2 := 7.0;

// Контроль об'ємної витрати продукту
FQ2F1 := (FR2F3 - ProductFlowRateSetpoint) * Kp_Flow + Ki_Flow; // ПІД-регулювання витрати

// Аварійне відключення
HighTemperatureAlarm := TR1T0 > MaxTemperature OR TR1T1 > MaxTemperature OR TR1T2 >
MaxTemperature OR TR1T3 > MaxTemperature;

EmergencyStop := HighTemperatureAlarm OR LR1L3 OR LR1L1; // Аварійна зупинка при
перевищенні температури або досягненні піною верхнього чи нижнього датчиків рівня

IF EmergencyStop THEN
    // Зупинка нагріву та охолодження
    FCR1F1 := 0;

```

					ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		72


```

FQ2F1 := 0;
FQ2F2 := 0;

// Відкриття клапанів скидання тиску (за потреби)
P2P1 := TRUE;
P2P2 := TRUE;

// Зупинка перемішування
SR1T1 := 0;

SystemState := EmergencyStopped; // Перехід в аварійний стан
END_IF

// Ведення журналу подій (приклад)

//IF LogEnabled THEN // Логування увімкнено?
//IF HighTemperatureAlarm THEN
// LogMessage := 'High temperature alarm!';
// LogTime := TIME();
// ... (запис повідомлення в журнал)
//ELSIF HighLevelAlarm THEN
// LogMessage := 'High level alarm on plate 3!';
// LogTime := TIME();
// ... (запис повідомлення в журнал)
//ELSIF LowLevelAlarm THEN
// LogMessage := 'Low level alarm in reboiler!';
// LogTime := TIME();
// ... (запис повідомлення в журнал)
// END_IF
//END_IF

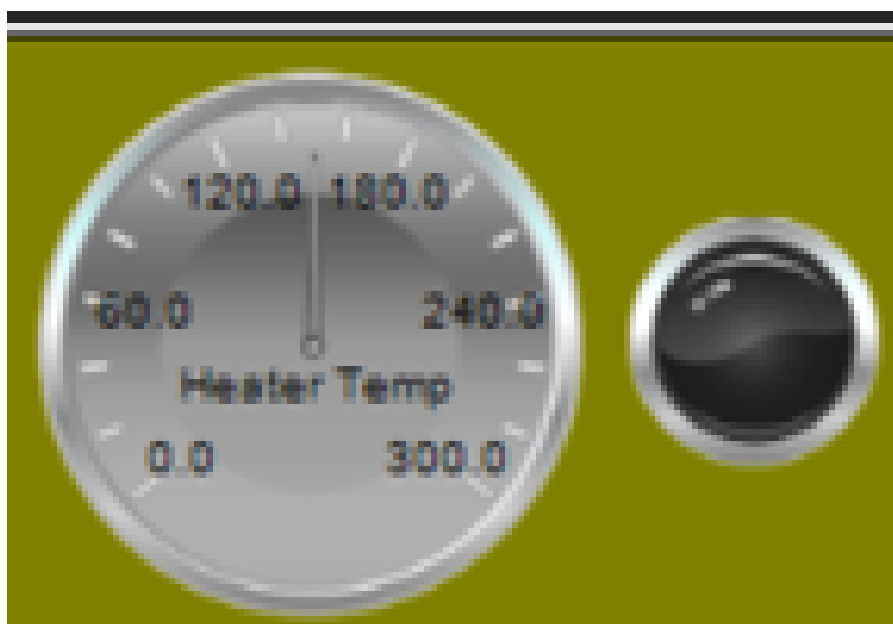
```

					ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		73

1. Візуалізація програми



2. Датчик температури нагрівача TR1T0 та індикатор ввімкнення HeatingOn

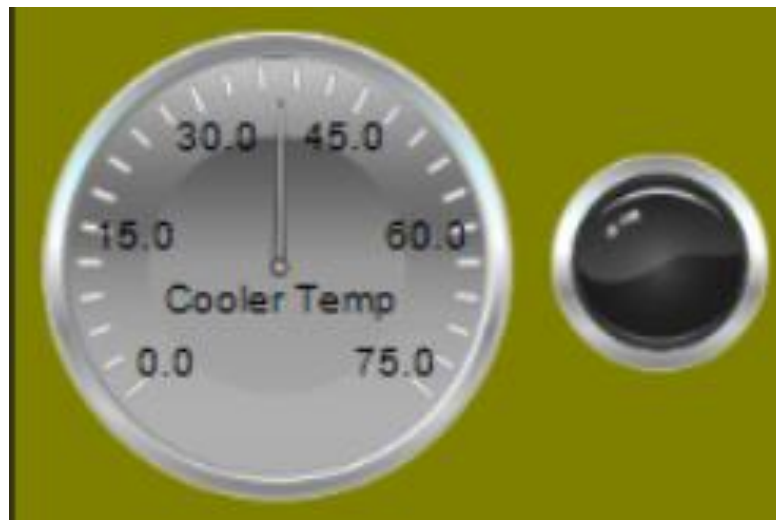


					ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Огляд елементів візуалізації програми					
Розроб.	Довгалоюк І.Р.							Літ.	Арк.	Акрушів
Перевірив.	Заставний О.М.								74	80
Консульт.								ЗУНУ.ФКІТ.АКІТ-41		
Н. Контр.	Заставний О.М.									
Затверд.	Сегін А.І.									

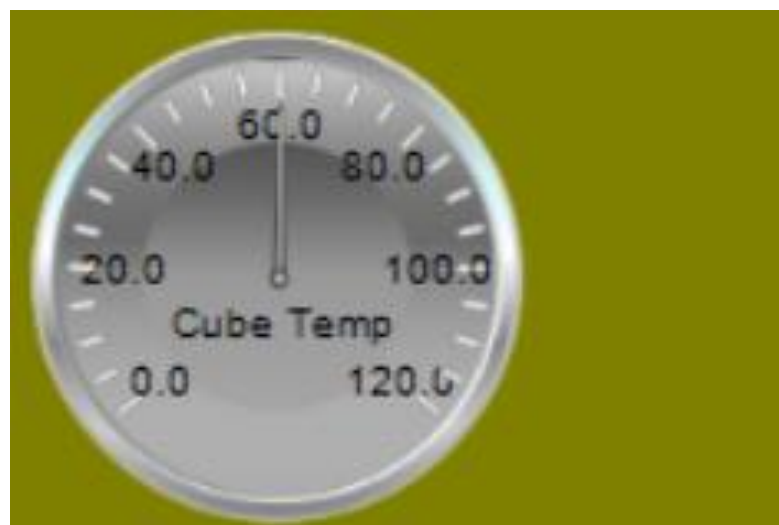
3. Датчик температури насадки TR2T1.



4. Датчик температури охолоджувача TR1T6 та індикатор ввімкнення охолодження CoolingOn



5. Датчик температури в кубі TR1T0



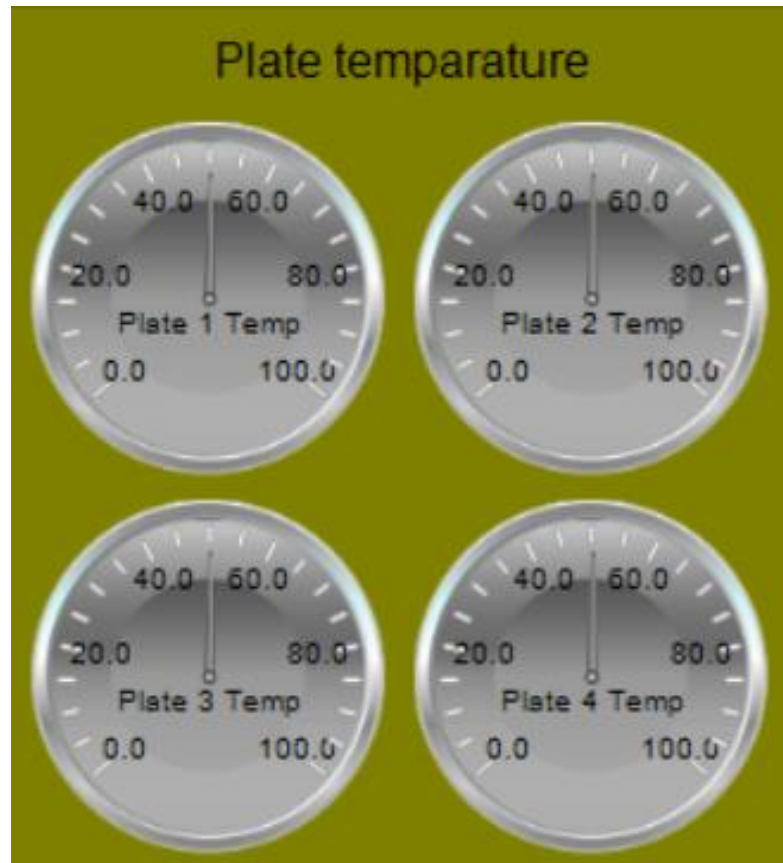
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ

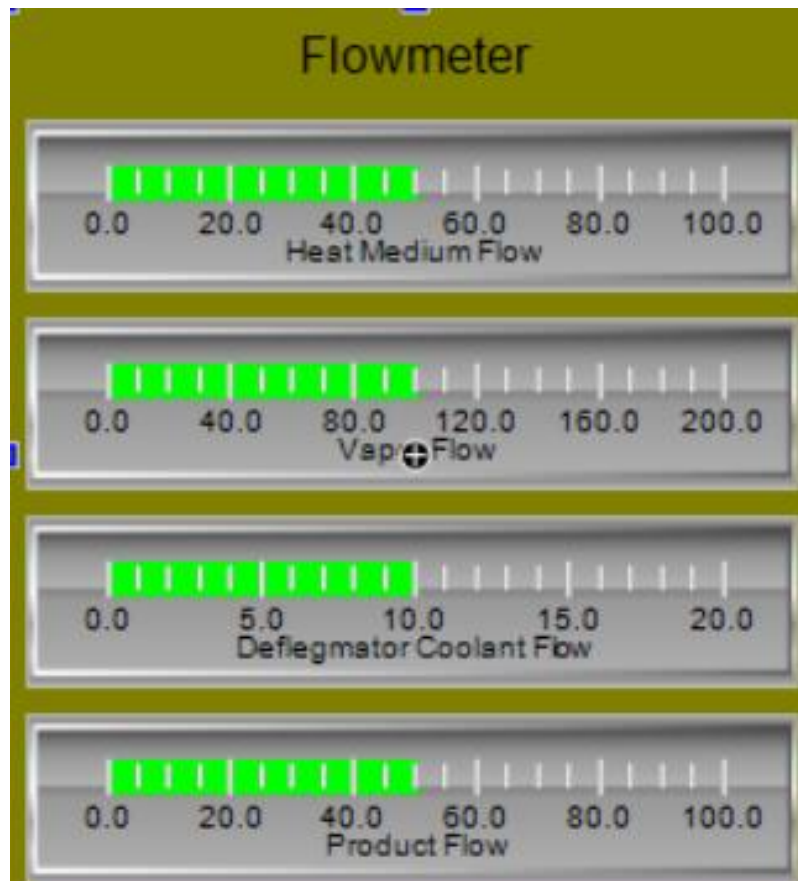
Арк.

75

6. Датчики температури тарілок колони TR1T1-TR1T4



7. Витратоміри FR1F1 – FR1F4



Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

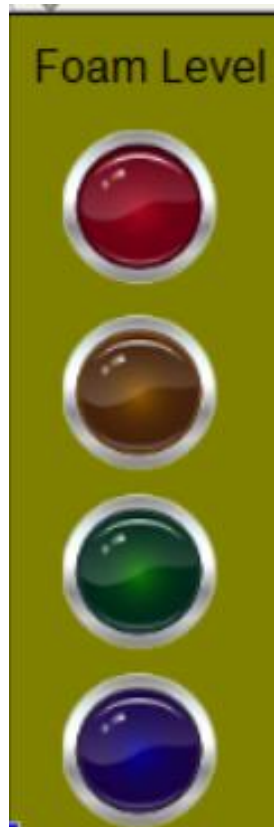
ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ

Арк.

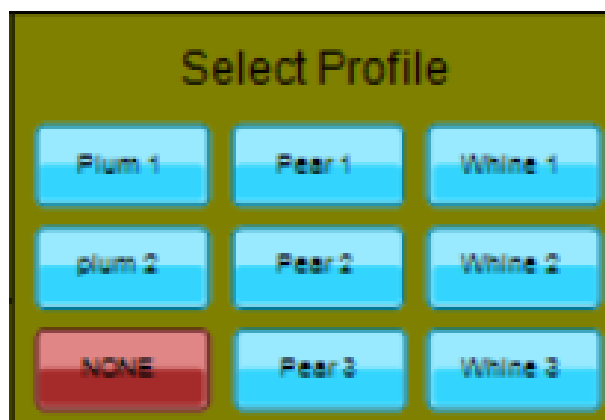
76

					ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		77

8. Індикатори рівня піни LR1L1-LR1L4



9. Вибір профілів дистиляції А-Н



10. Кнопка ввімкнення StartProcess та кнопка та індикатор аварійної зупинки:



10. Керування мішалкою



11. Лог подій

	LC_FRG.LogData[1./INDEX]	PLC_FRG.LogData[2./INDEX]	PLC_FRG.LogData[3./INDEX]	PLC_FRG.LogData[4./INDEX]	LC_FRG.LogData[5./INDEX]
1					
2					
3					

12. Вивід дати та часу



June 2024						
Mo	Tu	We	Th	Fr	Sa	Su
					1	2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ

Арк.

80