

Міністерство освіти і науки України  
Національно технічний університет  
«Дніпровська політехніка»

Навчально-науковий  
інститут електроенергетики  
(інститут)  
Факультет інформаційних технологій  
(факультет)

Кафедра інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії  
(повна назва)

## ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА кваліфікаційної роботи ступеня бакалавра

студента Шевченка Владислава Івановича  
(ПІБ)

академічної групи 123-20-2  
(шифр)

спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія  
(код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною програмою 123 Комп'ютерна інженерія  
(офіційна назва)

на тему «Кіберфізична система ділянки дистиляції-ректифікації на лінії з виготовлення спирту класу «Люкс»»  
(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	доц. Ткаченко С.М.			
спеціальної частини	доц. Ткаченко С.М.			
розділів				
розробка апаратної частини	доц. Ткаченко С.М.			
розробка корпоративної мережі	ас. Бешта Л.В.			

Рецензент				
-----------	--	--	--	--

Нормоконтролер	проф. Цвіркун Л.І.			
----------------	--------------------	--	--	--

Дніпро  
2024

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**

завідувач кафедри  
інформаційних технологій  
та комп'ютерної інженерії  
(повна назва)

Гнатушенко В.В.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

“ \_\_\_ ” \_\_\_ 2024 року

**ЗАВДАННЯ**  
на кваліфікаційну роботу  
ступеня бакалавр

студента Шевченка В.І.  
(прізвище та ініціали)

академічної групи 123-20-2  
(шифр)

спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія»

за освітньо-професійною програмою 123 «Комп'ютерна інженерія»  
(офіційна назва)

на тему “Кіберфізична система ділянки дистиляції-ректифікації на лінії з виготовлення спирту класу «Люкс»”

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 23.05.2024 № 469-с

Розділ	Зміст	Термін виконання
Стан питання та постановка завдання	На основі матеріалів виробничих практик, інших науково-технічних джерел конкретизується предмет та мету роботи та виконується постановка завдання	10.05.2024
Розробка апаратної частини	На основі аналізу підприємства формулюються технічні вимоги до кіберфізичної системи системи та розробляється апаратна частина системи	17.05.2024
Розробка корпоративної мережі	Виконується розрахунок налаштувань корпоративної мережі та перевірка роботи системи, розробляються методи та налаштування обладнання для захисту інформації в системі	24.05.2024
Розробка компонента системи	Виконується детальна розробка компонента системи	31.05.2024

Завдання видано \_\_\_\_\_  
(підпис керівника)

доц. Ткаченко С.М.  
(прізвище, ініціали)

Дата видачі 25.01.2024

Дата подання до екзаменаційної комісії 14.06.2024

Прийнято до виконання \_\_\_\_\_

Шевченко В.І.

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: с.89, рис. 37, табл.14, дод.1, джерел 31  
КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА, ДИСТИЛЯЦІЯ-РЕКТИФІКАЦІЯ, СПИРТ  
"ЛЮКС", КІБЕРФІЗИЧНЕ КИРУВАННЯ, МОНІТОРИНГ, БЕЗПЕКА.

**Об'єкт розробки** – кіберфізична система ділянки дистиляції-ректифікації на лінії з виготовлення спирту класу "Люкс".

**Мета роботи** – розробка кіберфізичної системи для інформаційного забезпечення та моніторингу ділянки дистиляції-ректифікації на лінії виробництва спирту класу "Люкс".

Здійснено розробку комп'ютерної мережі з використанням розумних пристроїв таких як датчики температури, тиску, рівня спирту та вологості. Система орієнтована на застосування в промислових виробництвах алкогольної продукції будь-якої країни. Передбачено збір, обробку і аналіз даних для покращення ефективності процесу дистиляції та ректифікації.

Створена кіберфізична система дозволяє здійснювати технічну і програмну модернізацію системи, а також забезпечує виконання наступних функцій:

- автоматизувати основні технологічні операції дистиляції та ректифікації;
- оптимізувати режими роботи обладнання;
- здійснювати безперервний моніторинг ключових параметрів процесу
- своєчасно виявляти та усувати відхилення від регламенту
- забезпечувати високий рівень безпеки виробництва
- накопичувати та аналізувати статистичні дані для вдосконалення технологічного процесу

Розроблена комп'ютерна мережа виконана відповідно до завдання на кваліфікаційну роботу бакалавра.

Робота системи перевірена за допомогою моделі схеми корпоративної мережі із застосуванням програми Cisco Packet Tracer.

Результати перевірки у вигляді таблиць та графіків описані і наведені у пояснювальній записці та додатках.

## ЗМІСТ

Перелік скорочень, умовних познач, одиниць і термінів .....	8
Вступ.....	9
1. Стан питання та постановка завдання .....	10
1.1 Галузь застосування кіберфізична система дистиляції-ректифікації для виробництва спирту класу “Люкс” .....	10
1.2 Характеристика і структура об’єкта впровадження .....	11
1.2.1 Організаційна структура підприємства .....	13
1.3 Стислі відомості про технології збору та передачі інформації для кіберфізичної системи.....	16
1.3.1 Короткі відомості з чого виготовляють спирт класу “Люкс” .....	18
1.3.2 Дистиляція .....	19
1.3.3 Ректифікація .....	20
1.3.4 Переваги та недоліки дистиляції-ректифікації спирту класу “Люкс” .....	20
1.4 Принципи, технічні способи та математичні методи інформаційного забезпечення.....	21
1.4.1 Особливості технології виробництва спирту Люкс .....	21
1.4.2 Етапи виробництва спирту класу “Люкс”, процес дистиляції-ректифікації .....	22
1.4.3 Ректифікаційна колона схема та побудова.....	24
1.5 Аналітичний огляд існуючих способів обробки та передачі інформації .....	26
1.6 Завдання і мета роботи .....	30
1.7 Визначення можливих напрямків рішення та виконання поставлених завдань .....	30
1.8 Обґрунтування вибраного напрямку інженерного рішення .....	32
2. Розробка апаратної частини кіберфізичної системи .....	34
2.1 Технічні вимоги до комп’ютерної системи в цілому .....	34

2.1.1	Вимоги до структури і функціонування системи .....	34
2.1.1.1	Перелік підсистем, їхнє призначення й основні характеристики; .....	34
2.1.1.2	Вимоги до способів зв'язку для інформаційного обміну між компонентами системи .....	36
2.1.1.3	Вимоги до характеристик взаємозв'язків створюваної системи із суміжними системами, вимоги до її сумісності. ....	36
2.1.1.4	Вимоги до режимів функціонування.....	37
2.1.1.5	Вимоги до діагностування.....	37
2.1.1.6	Перспективи розвитку, модернізації системи .....	37
2.1.2	Вимоги до показників призначення.....	38
2.1.3	Вимоги до експлуатації, технічного обслуговування, ремонту і збереженню.....	39
2.1.3.1	Умови і регламент (режим) експлуатації.....	39
2.1.3.2	Вимоги до параметрів мереж енергопостачання .....	39
2.1.3.3	Вимоги до кількості, кваліфікації обслуговуючого персоналу і режимам його роботи .....	40
2.1.4	Вимоги до патентної частини .....	40
2.1.5	Додаткові вимоги .....	41
2.1.5.1	Вимоги до активного обладнання.....	41
2.1.5.2	Вимоги до кабель-каналів.....	41
2.1.5.3	Вимоги до комунікаційного обладнання і його розташування ..	41
2.1.5.4	Вимоги до однорідності.....	41
2.1.5.5	Вимоги до резервування .....	42
2.2	Вимоги до видів забезпечення .....	42
2.2.1	Математичне забезпечення.....	42
2.2.2	Інформаційне забезпечення .....	42
2.2.2.1	Вимоги до інформаційного обміну між компонентами системи	42
2.2.3	Лінгвістичне забезпечення.....	42
2.2.4	Технічне забезпечення.....	43

2.2.5 Організаційне забезпечення.....	43
2.2.5.1 Вимоги до структури і функцій підрозділів .....	43
2.2.5.2 Вимоги до організації функціонування системи і порядку взаємодії персоналу системи і персоналу об'єкту впровадження .....	43
2.2.5.3 Вимоги до захисту від помилкових дій персоналу .....	43
2.2.5.4 Методичне забезпечення .....	44
2.3 Розробка специфікації апаратних засобів.....	44
2.3.1 Аналіз входів і виходів КФС ДДР.....	44
2.4 Вибір і обґрунтування структурної схеми комплексу технічних засобів комп'ютерної системи шляхом узгодження структури з топологічними особливостями об'єкту розробки.....	49
2.5 Розрахунок інтенсивності вихідного трафіку найбільшої локальної мережі підприємства .....	55
3 Розробка корпоративної мережі.....	57
3.1 Розрахунок адресації мережі.....	57
3.2 Розрахунок мережевої адресації пристроїв .....	60
3.3. Налаштування логічної моделі корпоративної мережі .....	62
3.4 Базове налаштування конфігурація пристроїв .....	62
3.5 Налаштування маршрутизаторів .....	64
3.6 Налаштування Інтернету .....	68
3.7 Захист інформації в кіберфізичній системі від несанкціонованого доступу .....	72
3.8 Перевірка роботи комп'ютерної системи .....	76
4 Розробка програмного модуля системи.....	80
4.1 Призначення та сфера застосування.....	80
4.2 Обґрунтування можливих технічних характеристик програми .....	80
4.2.1 Поставлення задач для розробки програми .....	80
4.2.2 Способи та алгоритм роботи програми .....	80
4.2.3 Опис та обґрунтування вхідних та вихідних сигналів.....	81
4.3 Розробка схеми алгоритму роботи дислятора-ректифікатора .....	81

4.3.1	Опис вибору та обґрунтування програмних та технічних засобів ...	82
4.3.2	Загальні відомості розробки .....	83
4.3.2.1	Функціональне призначення програми.....	83
4.3.2.2	Опис логічної структури.....	83
4.3.2.3	Задіяні технічні пристрої або засоби.....	84
4.3.2.4	Виклик програми та її завантаження.....	85
	Висновки .....	86
	Перелік джерел посилань .....	87
	Додаток А.Текст програми кіберфізичної системи керування дистиляцією-ректифікацією.....	90

**ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАК, ОДИНИЦЬ І ТЕРМІНІВ**

ПЛК – програмований логічний контроллер

ТОВ – товариство з обмеженою відповідальністю

ІТ – інформаційні технології

НМІ – Human-machine interface

АРМ – автоматизоване робоче місце.

АРМ ДДР – автоматизоване робоче місце ділянки дистиляції-ректифікації

КФС – кіберфізична система.

ТЗ – технічні засоби.

ПТО – плановане технічне обслуговування.

ПЧ – перетворювач частоти.



## ВСТУП

Кіберфізична система на даний момент є важливою складовою технологічного процесу, яка стрімко розвивається та набирає популярності кожного дня, забезпечуючи підключення будь яких пристроїв і систем для кіберфізичного керування системами та процесами, для полегшення та безпеки людей. У сфері виробництва спирту класу “Люкс” кіберфізична система відіграє важливу роль, вона більш ефективніше спостерігає та контролює процеси виробництва ніж людина. Кіберфізична система має можливість контролювати ті процеси яка людина не в змозі, наприклад передбачити спадок температур в дистиляційній-ректифікаційній колоні, або ж вихід з ладу одного із вимірювальних приладів які розташовані в середині.

В процесі виготовлення спирту класу “Люкс”, одним із ключових процесів є дистиляція-ректифікація спирту де повинно відбуватись послідовність дій, чіткий вимір температур та безперервність роботи, щоб досягти високої якості та чистоти продукту.

У цій кваліфікаційній роботі пропонується розробити кіберфізичну систему, яка матиме можливість забезпечити надійне, чітке та безперервне керування процесом дистиляції-ректифікації. У вступній частині роботи буде розглянуто актуальність теми, основні задачі, які необхідно вирішити, та методи, що будуть використані для досягнення поставленої мети.

Таке представлене рішення дозволить не тільки забезпечити високу якість спиртової продукції а ще й сприятиме розвитку сучасних технологій у харчовій та хімічній промисловості.

## 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

### 1.1 Галузь застосування кіберфізична система дистиляції-ректифікації для виробництва спирту класу “Люкс”

У кваліфікаційній роботі розглянуто галузь застосування кіберфізичної системи дистиляції та ректифікації з виготовлення спирту класу "Люкс", охоплює декілька основних напрямків.

По-перше, це спиртове виробництво, де основним призначенням є очищення та концентрування етилового спирту з бражки до високої міцності (понад 96% об.) для отримання спирту, що відповідає вимогам до класу "Люкс". [1.]

По-друге, технологічні процеси, зокрема дистиляція для розділення спиртовмісної рідини на фракції з різними температурами кипіння, та ректифікація для тонкого очищення спирту шляхом багаторазового випарювання і конденсації. Інтеграція цих процесів в єдину систему дозволяє досягати максимальної чистоти кінцевого продукту.

Третім напрямком є побудова кіберфізичних систем на виробництві, впровадження сучасних засобів інформаційного забезпечення (датчики, контролери, ПЛК) для точного регулювання параметрів процесів та використання інтелектуальних алгоритмів для оптимізації режимів роботи обладнання.

Четвертий аспект стосується ресурсозбереження - система дозволяє максимально ефективно використовувати сировину (бражку) та енергетичні ресурси, знижуючи втрати спирту та енергії в процесі очищення.

І нарешті, важливим є забезпечення високої якості готової продукції, що досягається за рахунок високого ступеня інформаційного забезпечення та контролю параметрів, гарантуючи стабільність та відповідність спирту класу "Люкс" встановленим нормам.

Тому моя мета кваліфікаційної роботи є актуальною, та призначена покращити кіберфізичну систему ділянки дистиляції-ректифікації на лінії з виготовлення спирту класу “Люкс” [1].

## 1.2 Характеристика і структура об'єкта впровадження

Товариство з Обмеженою Відповідальністю “Немирівський лікеро-горілчаний завод” Nemiroff є одним з найбільших виробників алкогольної продукції преміум-класу в Україні.

Історія заводу Nemiroff:

Перша письмова згадка про немирівську горілку датується ще 1752 роком. Немирівський лікеро-горілчаний завод Nemiroff бере свій початок ще з 1872 року, коли він був заснований у місті Немирів, де було відкрито після реконструкції найбільшу на Поділлі винокурню. Саме півтора століття тому сформовано принципи, якими компанія успішно керується й донині: високі вимоги до якості, дотримання старовинних рецептур, постійне удосконалення виробництва та пошук нових граней смаків[2].

До початку ХХ століття виготовленням і продажем спиртних напоїв у Немирові керувала княгиня Марія Щербатова. Їй вдалося розвинути виробництво до таких масштабів, що щодня Немирівський винокурний завод виробляв 5 тис. півлітрових пляшок.

Місцева горілка стала спочатку конкурентним, а потім і експортним товаром. У той час як на державні горілчані заводи поставлявся дешевий спирт з картопляної сировини, завод в Немирові продовжував традиційне виробництво спирту найвищої якості. Цей хід виявився правильним, про що говорить історія успіху місцевої продукції. На всіляких виставках і ярмарках продукція з Немирова незмінно отримувала найвищі оцінки і нагороди.

У 1992 році завод отримав друге дихання під брендом Nemiroff. Напрацьовані поколіннями рецепти заграли по-новому, запущені на надсучасних німецьких виробничих лініях Kronos.

У 1998 вперше в світі на ринок виходить авторська горілка з унікальною рецептурою Nemiroff "Українська медова з перцем", яку було прийнято возити з собою за кордон як національний сувенір.

Незабаром Nemiroff зараховують до світового клубу мільйонерів (Великобританія), в який входять алкогольні бренди, річний обсяг продажів яких

перевищує мільйон кейсів (9-літрових ящиків). У наш час близько 40% всієї експортованої з України горілки - виробництва Nemiroff. Компанія входить у топ-3 постачальників горілки в магазинах безмитної торгівлі Duty Free в світі, а її продукція лише за останні 10 років завоювала понад 60 медалей і нагород[3]. На рисунку 1.1 продемонстровано будівля підприємства Nemiroff.



Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд будівлі ТОВ “Немирівський лікеро-горілочний завод” Nemiroff

Місце знаходження за юридичною адресою: Вінницька обл., Вінницький р-н, м. Немирів, вул. Горького, 31 [4]. На рисунку 1.2 продемонстроване розташування підприємства Nemiroff.

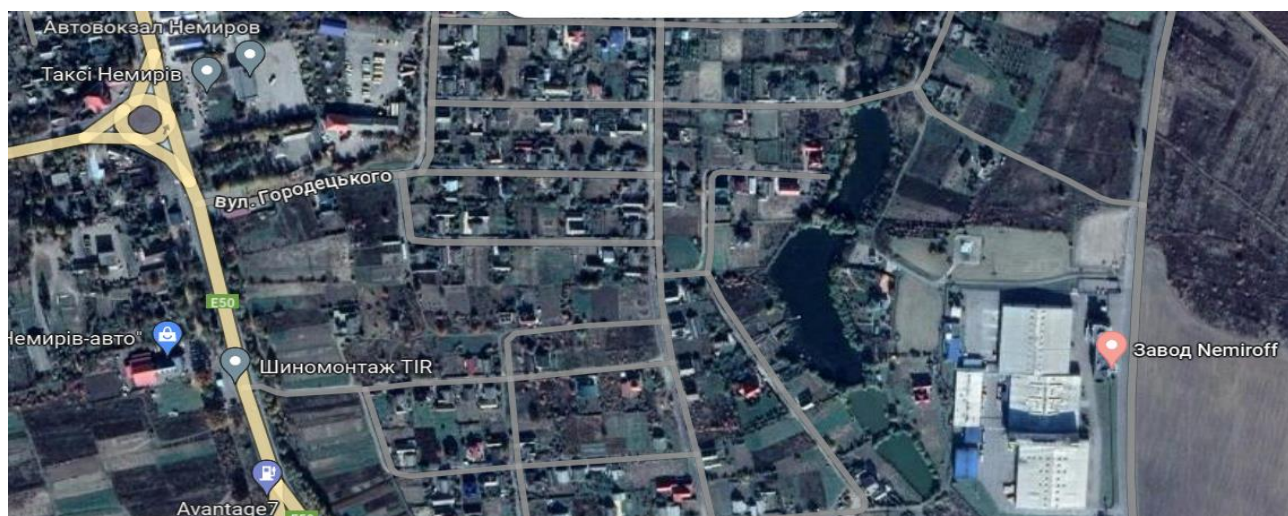


Рисунок 1.2 – Розташування будівлі ТОВ “Немирівський лікеро-горілочний завод” Nemiroff

Об'єкт впровадження – це виробничий комплекс з виготовлення високоякісного спирту класу "Люкс", який включає наступні основні технологічні стадії:

1. Підготовка сировини (зернові культури, Цукровмісні метериали, Допоміжні матеріали)
2. Мелення та затирання сировини
3. Варіння затору
4. Фільтрація затору
5. Бродіння сусла
6. Дистиляція (отримання "сирого" спирту)
7. Ректифікація (очищення та концентрування спирту)
8. Очистка та купажування спирту
9. Розлив та пакування готової продукції

Графічна схема функціональної структури, яка зображена на рисунку 1.3 виробничого комплексу має вигляд:



Рисунок 1.3 – Схема виробничого процесу

Ця схема відображає загальну структуру та технологічні стадії виробничого комплексу з виготовлення спирту [5].

### 1.2.1 Організаційна структура підприємства

Опис відділів на підприємстві та кількість робітників у відділі.

Генеральний директор – 1 особа. Очолює підприємство, визначає загальну стратегію та політику його розвитку.

Заступники директора – 3 особи. А саме:

- заступник з виробництва - відповідає за організацію та ефективність виробничих процесів.
- заступник з економіки та фінансів - керує фінансовими потоками, бюджетуванням, економічним плануванням
- заступник з постачання та збуту - керує закупівлями, логістикою, продажами готової продукції.

Відділ інформаційного забезпечення – 15 осіб. Забезпечує функціонування та розвиток ІТ-інфраструктури підприємства.

Фінансовий відділ – 15 осіб. Ведення бухгалтерського обліку, контроль фінансових операцій, податкова звітність.

Відділ маркетингу та продажів – 17 осіб. Дослідження ринку, просування продукції, укладання договорів, організація збуту.

Відділ логістики – 20 осіб. Планування, організація та контроль постачання сировини, матеріалів, перевезення готової продукції.

Відділ контролю якості та лабораторія – 25 осіб. Здійснюють вхідний та вихідний контроль якості на всіх етапах виробництва.

Виробничий відділ – 38 осіб. Організація, координація і контроль виробничих процесів у бродильному, ректифікаційному та відділенні фінішного очищення.

Відділ підготовки сировини – 33 осіб. Приймання, зберігання, підготовка сировини (зерна, меляси) для виробництва.

Цехи виробництва – 73 осіб. Безпосередньо здійснюють технологічні процеси бродіння, ректифікації, фінішного очищення спирту.

Склад готової продукції – 25 осіб. Приймання, зберігання та відвантаження спирту класу "Люкс" [6].

На рисунку 1.4 зображено схему організаційної структури підприємства.



Рисунок 1.4 – Схема організаційної структури підприємства

### 1.3 Стислі відомості про технології збору та передачі інформації для кіберфізичної системи

На рисунку 1.5 зображено Принципову схему технологічної ділянки дистиляції –ректифікації.

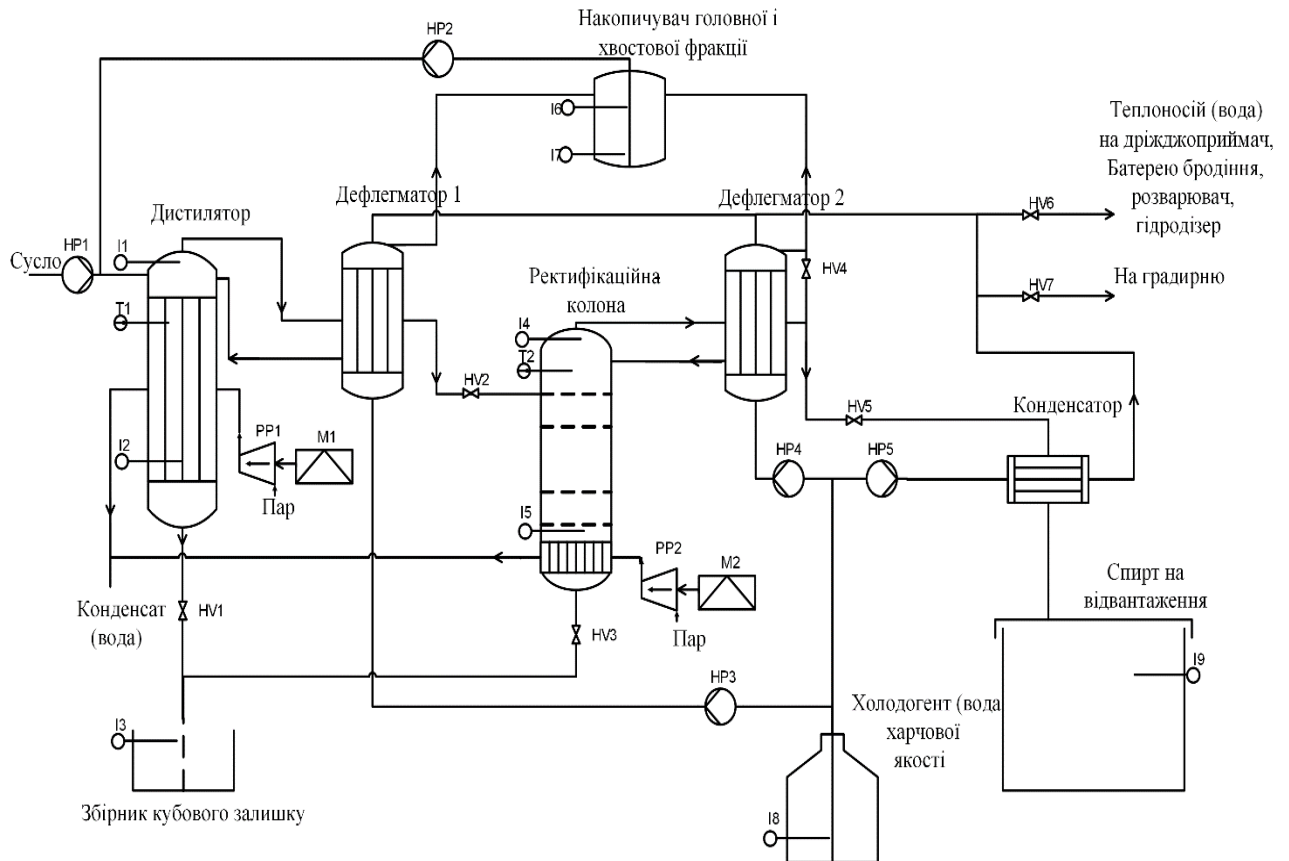


Рисунок 1.5 – Принципова схема технологічної ділянки дистиляції –  
ректифікації

Перелік приладів та опис приладів в структурі дистиляції-ректифікації спирту класу “Люкс”:

- дистилятор – застосовується для випарювання етанолу, первинного розділення фракцій, концентрування етанолу, підготовка до ректифікації;
- дефлегматор 1 – застосовується для конденсації в собі спиртових парів і часткового або повного повернення їх в колону ректифікації з метою збільшення міцності цільового продукту;



- накопичувач – застосовується для окремого накопичування головної та хвостової фракції, для повторного очищення;
- ректифікаційна колона – застосовується для тонкого очищення спирту шляхом багаторазового випарювання і конденсації;
- дефлегматор 2 – додаткове охолодження пари ректифікаційної колонки;
- конденсатор – застосовується для охолодження пари до рідкого стану, тобто спирту;
- збірник кубового залишку – застосовується для збору кінцевого дистиляту;
- холодоагент (вода харчової якості) – система охолодження
- конденсат (вода) – являє собою резервуар куди йде вивід води;
- спирт на відвантаження – являє собою резервуар готового продукту, спирту класу “Люкс”.
- НР (1-5) – насоси. Застосовується для забезпечення циркуляції рідини, пари та охолоджувача по системі;
- І (1-9) – датчики вимірювання рівня рідини. Призначений для вимірювання рівня рідини;
- Т (1-2) – датчик температури. Застосовується для вимірювання температури;
- НV (1-7) – електромагнітний клапан. Застосовується для відкривання, закривання або регулювання потоку рідини;
- М (1-2) – мотор. Застосовується для керування паровими розподільниками.
- РР1 – паровий розподільник. Керує потоком пари та її швидкістю, що піднімається з дистилятора до дефлегматора 1 і ректифікаційної колонки;
- РР2 – паровий розподільник. Керує потоком пари та її швидкістю, що піднімається з ректифікаційної колонки до дефлегматора 2. Допомогає забезпечити додаткове очищення пари перед конденсацією [7].

### 1.3.1 Короткі відомості з чого виготовляють спирт класу “Люкс”

Спирт Люкс є одним з найчистіших і якісних видів спирту, який використовується для виготовлення алкогольних напоїв. Завдяки своїм властивостям і високій якості він займає особливе місце серед лікєро-горілочаних виробів і ідеально підходить для виготовлення високоякісних алкогольних напоїв.

Спирт Люкс можна виготовляти з різноманітної сировини, наприклад, зерна, цукрової тростини та картоплі. Вибір сировини визначається технологічним процесом і країною-виробником.

Зерновий спирт виготовляють із високоякісної пшениці, жита та кукурудзи. Зерна попередньо промивають і подрібнюють в борошно, після чого отриману масу змішують з водою і піддають ферментації (бродінню). Після бродіння проводять процеси дистиляції та очищення, щоб забезпечити високу чистоту продукту.

Спирт, вироблений із цукрової тростини, отримують шляхом ферментації цукрового сиропу, отриманого з тростини. Після бродіння він проходить процес дистиляції та багаторазового очищення (ректифікації) для отримання чистого та високоякісного продукту.

Картопляний спирт виготовляють з картопляного крохмалю, який отримують шляхом попереднього миття і подрібнення картоплі. Крохмаль перетворюється на цукор за допомогою амілолітичних ферментів з подальшим бродінням і дистиляцією. Очищення та ректифікація спирту також забезпечує високу якість і чистоту кінцевого продукту.

Перший етап виробництва спирту «Люкс» передбачає підготовку сировини. Зерно, цукрову тростину чи картоплю миють, подрібнюють, переробляють у крохмаль або цукровий сироп і використовують у подальших процесах бродіння.

Під час бродіння мікроорганізми, наприклад дріжджі, перетворюють цукор і крохмаль на спирт. Залежно від вихідного матеріалу використовуються різні типи дріжджів, що сприяє максимальному виходу спирту.

Після бродіння виходить спиртовий розчин, який піддається процесу дистиляції. Дистиляція дає змогу відокремити спирт від інших компонентів розчину, таких як вода і небажані домішки. У результаті виходить сирий спирт із підвищеною концентрацією етанолу.

Ректифікація - це додатковий етап очищення спирту, який дає змогу досягти високого ступеня чистоти продукту. У процесі ректифікації спирт піддається багаторазовій перегонці, що дає змогу усунути домішки, що залишилися, і отримати спирт високої якості.

Після ректифікації спирт фільтрується для видалення останніх домішок і механічних частинок. Потім спирт стабілізується, обробляється спеціальними добавками і регуляторами смаку. У результаті виходить готовий до використання спирт Люкс [8].

### **1.3.2 Дистиляція**

Дистиляції – це процес, процес, що використовується для вилучення та концентрації спиртних напоїв із сировини, такої як фрукти, зерно або цукрова тростина. Цей метод має давнє коріння і є одним з найбільш поширених способів виробництва алкоголю по всьому світу.

Дистиляція алкоголю може бути одноразовою або багаторазовою, залежно від необхідного ступеня очищення та концентрації продукту. Алкогольні напої можуть бути різноманітними: від самогону та горілки до віскі та текіли. Кожен вид має свої унікальні характеристики, які визначаються сировиною та технологією дистиляції.

Процес дистиляції починається з нагрівання сировини в спеціальному дистиляційному апараті. Під впливом тепла легкі компоненти, такі як алкоголь, випаровуються, в той час як важкі речовини та домішки залишаються в резервуарі. Ці парові компоненти піднімаються вгору, а потім охолоджуються, щоб конденсуватися та перетворитися назад на рідину. Ця концентрована рідина, яка є сутністю вихідної сировини, збирається в спеціальному конденсаторі.

Ключова особливість дистиляції - її здатність до селективного очищення та концентрування бажаних компонентів. Це дозволяє створювати напої з різними характеристиками та якостями. Цей процес вимагає не тільки технічних навичок, але й глибокого розуміння хімічних процесів та смакових уподобань, щоб досягти ідеального результату [9].

### **1.3.3 Ректифікація**

Ректифікація – це наступний крок після дистиляції, спрямований на ще більш ретельне очищення та концентрування алкогольної суміші.

Хоча дистиляція вже видаляє більшість домішок та важких компонентів, ректифікація використовується для додаткового, більш глибокого очищення. Цей процес дозволяє отримати ще більш чистий та концентрований спирт шляхом подальшого розділення та концентрування бажаних компонентів.

Процес ректифікації здійснюється з використанням спеціального обладнання, що включає колону ректифікації. Ця колона має серію пластин, які створюють безліч контактних поверхонь між паром та рідиною, що сприяє додатковому очищенню та поділу компонентів алкогольної суміші.

Однією з ключових переваг ректифікації є можливість отримання абсолютно чистого спирту, який не містить домішок та має нейтральний смак та запах. Це робить його ідеальним для використання як основа для різних алкогольних напоїв, косметики, препаратів побутової хімії, медичних цілях, де чистота і нейтральність відіграють важливу роль у підсумковому продукті. [9]

### **1.3.4 Переваги та недоліки дистиляції-ректифікації спирту класу “Люкс”**

Переваги дистиляції:

- зберігає характерні смакові та ароматичні властивості сировини, створюючи насичені і автентичні профілі напоїв;
- традиційний метод, який може надавати продукту особливу оригінальність;

– забезпечує більшу гнучкість у експериментуванні з різними типами сировини та методами дистиляції.

Переваги ректифікації:

- забезпечує надзвичайно високий ступінь очищення та концентрації спирту, роблячи його ідеальною основою для нейтральних алкогольних напоїв;
- більш передбачуваний та технологічний процес, що спрощує його використання;
- висока ефективність та економічність при великих обсягах.

Недоліки дистиляції:

- отримуваний продукт має нижчу концентрацію та більший вміст небажаних домішок, порівняно з ректифікацією.

Недоліки ректифікації:

- менш гнучка у створенні унікальних смакових профілів, оскільки ефективно видаляє характерні аромати сировини [9].

Згідно схемі, в даному випадку недоліків немає, тому що використовуються послідовно обидва методи дистиляція-ректифікація.

## **1.4 Принципи, технічні способи та математичні методи інформаційного забезпечення**

### **1.4.1 Особливості технології виробництва спирту Люкс**

Однією з ключових особливостей технології виробництва спирту Люкс є багаторазове очищення продукту. Завдяки цьому процесу, спирт проходить через безліч ступенів очищення, що дає змогу усунути небажані домішки й отримати продукт найвищої якості, що відповідає всім вимогам.

У процесі виробництва спирту Люкс використовується сучасне обладнання та передові технології, що дає змогу максимально ефективно очищати спирт і контролювати всі етапи виробництва. Крім того, сучасні технології забезпечують екологічність процесу та мінімізацію негативного впливу на навколишнє середовище.

Особливу увагу в процесі виробництва спирту Люкс приділяють контролю якості продукту на кожному етапі. Завдяки суворому контролю та постійному моніторингу, виробники гарантують стабільно високу якість спирту [8].

Принцип роботи апаратів для відокремлення спирту тобто дистилятор-ректифікатор від інших речовин підкоряється закону фізики, згідно з яким при кипінні двох рідин у їх парах міститься більше парів рідини, температура кипіння якої нижча. Оскільки температура кипіння спирту становить  $78,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а води -  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , то під час кипіння водно-спиртового розчину в парах міститься більше спирту, ніж води. Під час кипіння з браги з вмістом спирту 10% виділяються водно-спиртові пари з вмістом 51,6% спирту. Якщо випарити 1/3 браги і зібрати конденсат, то отримується водно-спиртова рідина міцністю близько 33% [10].

#### **1.4.2 Етапи виробництва спирту класу “Люкс”, процес дистиляції-ректифікації**

##### **1. подача сусла до дистилятора:**

Сусло (початкова рідина для переробки) подається в систему за допомогою насоса НР1. Цей насос забезпечує постійний потік сусла через систему. Перед входом в дистилятор, сусло проходить через датчик рівня та тиску (П1), який вимірює рівень рідини та тиск, температурний датчик (Т1), який контролює температуру на вході в дистилятор.

##### **2. Дистиляція в дистиляторі:**

Сусло надходить у дистилятор, де починається процес нагріву. Паровий розподільник (РР1) забезпечує тепло та швидкість пари, необхідне для випаровування рідини. Теплообмінник (М1) допомагає забезпечити рівномірне нагрівання і циркуляцію пари всередині дистилятора. В результаті нагрівання сусло перетворюється в пару, яка піднімається вгору. Невипарена рідина відводиться через клапан (НВ1) і збирається у збірнику кубового залишку.

##### **3. Часткова конденсація у дефлегматорі 1:**

Пара з дистилятора потрапляє в дефлегматор 1, де відбувається часткова конденсація. У дефлегматорі 1 частина пари охолоджується до стану рідини, що

дозволяє відділити важчі компоненти пари. Конденсована рідина може повертатися до дистиллятора або направлятися далі для подальшої обробки.

#### 4. Ректифікація у колоні:

Частково сконденсована пара надходить у ректифікаційну колону через клапан HV2. Ректифікаційна колона має перегонні тарілки, на яких відбувається багаторазова перегонка пари. Цей процес дозволяє розділити суміш на фракції, що підвищує чистоту продукту. Рівень у колоні контролюється датчиками рівня та тиски (I4 та I5), а температура – датчиком (T2). Паровий розподільник (PP2) та теплообмінник (M2) підтримують процес ректифікації, забезпечуючи необхідне тепло та швидкість циркуляції пари.

#### 5. Дефлегмація у дефлегматорі 2:

Після проходження через ректифікаційну колону, пара надходить у дефлегматор 2 для додаткової часткової конденсації. Дефлегматор 2 допомагає ще більше очистити продукт, відділяючи легші фракції від важчих. Частково конденсована рідина може повертатися в колону або відводитися для подальшої переробки.

#### 6. Конденсація у конденсаторі:

Пара, що виходить з дефлегматора 2, надходить у конденсатор, де відбувається повна конденсація до рідкого стану. Конденсатор охолоджує пару за допомогою харчової води, яка циркулює через систему завдяки насосу HP4. В результаті, пара перетворюється в очищену рідину (спирт). Але якщо спирт не задовільняє умови то за допомогою клапана HV4, то весь спирт повертається на повторний перегін.

#### 7. Накопичення головної і хвостової фракції:

Головні та хвостові фракції, які не придатні для подальшого використання, збираються у спеціальному накопичувачі після дефлегматора 2. Температурні датчики (I6 та I7) контролюють температуру цих фракцій в накопичувачі.

#### 8. Відведення залишкової рідини:

Залишкова рідина з ректифікаційної колони виводиться через клапан HV3 і перекачується насосом НР3 до збірника залишкової рідини. Це забезпечує видалення небажаних залишків з системи.

#### 9. Охолодження:

Система охолоджується водою, яка циркулює через конденсатор та інші частини системи. Потік охолоджувача контролюється клапанами HV5, HV6 та HV7, а також насосом НР4. Вода після конденсатора може бути направлена до градирні для охолодження або до інших систем, таких як дріжджеприймач, батарея бродіння, розварювач, гідродізер для економії енергії та ресурсів.

#### 10. Готовий продукт:

Очищений спирт перекачується до резервуара для зберігання за допомогою клапана HV5. Резервуар оснащений датчиками тиску і рівня (I9), які контролюють параметри зберігання готового продукту.

Таким чином процес виготовлення спирту класу Люкс складається з поетапного нагрівання, випаровування, часткової та повної конденсації, багаторазової перегонки, що дозволяє досягти високої чистоти кінцевого продукту. Контроль параметрів на кожному етапі забезпечує стабільність і якість виробленого спирту [10].

### **1.4.3 Ректифікаційна колона схема та побудова**

Ректифікаційні установки за принципом дії поділяються на періодичні та безперервні. В установках безперервної дії колективна сира суміш надходить в колону і продукти поділу виводяться з неї безперервно. В установках періодичної дії суміш, яку поділяють, завантажують в куб і ректифікацію проводять до одержання продуктів заданого кінцевого складу.

На ТОВ “Немирівський лікєро-горілочний завод” Nemiroff використовуються саме ректифікаційні колони безперервної дії.

Промислові ректифікаційні колони можуть досягати 60м у висоту і 6м в діаметрі. У ректифікаційних колонах в якості контактних пристроїв застосовуються тарілки і насадки. Насадка, що заповнює колону, може



представляти з себе металеві, керамічні, скляні та інші елементи різної форми. Конденсація здійснюється на розвиненій поверхні цих елементів [11].

Ректифікаційна колона безперервної дії складається з верхньої - зміцнюючої частини і нижньої - вичерпної частини.

Колона встановлена на опорі 1 і складається з корпусу 2, закритого знизу днищем 3 і зверху кришкою 4. Корпус колони виготовляють суцільнозварним або зібраним з окремих царг, що сполучаються за допомогою фланців. На корпусі суцільнозварної колони встановлюють люки-лази 7 для огляду, монтажу і ремонту контактних пристроїв. У нижній кубовій частині колони можуть встановлювати напівглуху тарілку 6, яка забезпечує відведення рідини і розподіл потоку пари.

В середині колони на певній відстані один від одного змонтовані контактні пристрої - тарілки 5, число яких в окремих апаратах може бути більше ста. Залежно від організації руху рідини на тарілці розрізняють тарілки з організованим рухом і переливними пристроями і тарілки з неорганізованим рухом рідини без переливних пристроїв.

Залежно від типу контактних елементів розрізняють тарілки на: ковпачкові, сітчасті, клапанні, струменеві, провальні та інші.

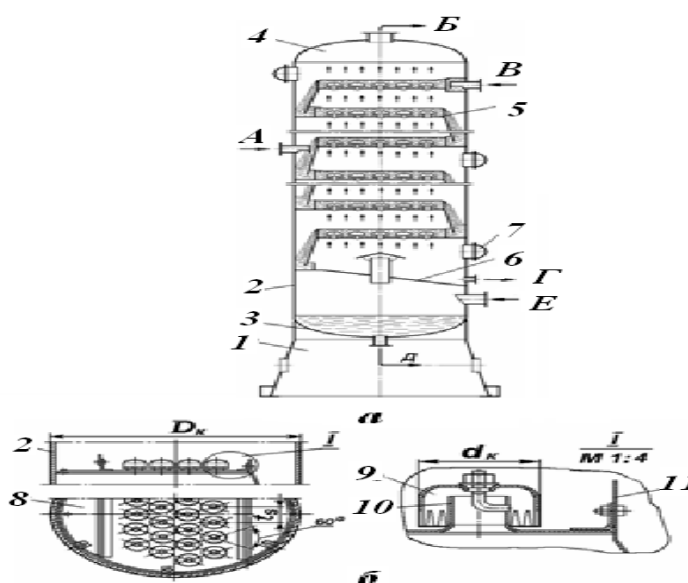


Рисунок 1.6 – Схема ректифікаційної колони з ковпачковими тарілками:  
а - устрій колони; б - устрій тарілки ковпачкової; потоки: А - введення

початкової суміші; Б - відведення пари; В - введення флегми; Г - відведення кубової рідини у випарник; Д - введення пари з випарника; Е - злив рідини; 1 - опора; 2 - корпус колони; 3 - днище; 4 - кришка; 5 - тарілка ковпачкові з сегментним переливом; 6 - тарілка напівглуха; 7 - люк - лаз; 8 - полотно тарілки; 9 - ковпачок капсульний; 10 - паровий патрубок; 11 - переливна планка.

Ковпачкові тарілки з капсульними ковпачками (рисунок 1.6 б) відносяться до давно відомих і широко вживаних контактних пристроїв. Базою тарілки є полотно 8 з тонколистового металу, на якому в певному порядку кріпляться парові патрубки 10, над кожним паровим патрубком встановлюють капсульні ковпачки 9 діаметром 50-150 мм, розміри яких стандартизовані. Нижня кромка ковпачка має прорізи, які при роботі колони затоплені рідиною і забезпечують диспергування та барботаж газу через шар рідини. На тарілках з капсульними ковпачками парові патрубки розміщують в шаховому порядку. Ковпачки затоплені рідиною, рівень якої на тарілці визначається положенням переливної планки 11 [12].

### **1.5 Аналітичний огляд існуючих способів обробки та передачі інформації**

Для контролю та інформативного забезпечення системи ділянки дистиляції-ректифікації на лінії з виготовлення спирту класу “Люкс” використовують, програмовані логічні контролери скорочено (ПЛК). Вони збирають данні з датчиків і виконавчих механізмів, приймають рішення і виконують певні дії з тим чи іншим приладом або датчиком.

Програмований логічний контролер (ПЛК) – електронний пристрій, який використовується для інформаційного забезпечення технологічних процесів таких як, керування конвеєрною лінією, насосами на станціях водопостачання, верстатами з числовим програмним керуванням тощо.

Датчики та прилади які застосовуються для процесу дистиляції-ректифікації:

- терморезисторний датчик РТ-100;
- датчик рівня однорівневий поплавковий;
- електромагнітний клапан-засувка;
- насос;
- контактор;
- індуктивний датчик;
- Modbus RTU

Датчики температури РТ 100 – це чутливі пристрої, які контролюють температуру середовища або поверхні і передають сигнали до системи керування (рисунок 1.7) [13].



Рисунок 1.7 – Терморезисторний датчик РТ 100

Датчики рівня (рисунок 1.8) – це сучасні технічні пристрої, призначені для точного контролю рівня різних рідин, таких як вода, олія, спирт паливо та інші, у різних ємностях та резервуарах. Вони знаходять широке застосування у різних галузях промисловості, включаючи нафтохімічну, харчову, спиртову, медичну, автомобільну та інші (рисунок 1.8) [14].



Рисунок 1.8 – Датчик рівня однорівневий поплавковий

Електромагнітний клапан-засувка – це пристрій, який забезпечує кіберфізичне керування закривання, відкривання або часткове відкривання потоку рідини у вигляді електричного сигналу (рисунок 1.9) [15].



Рисунок 1.9 – Електромагнітний клапан-засувка

Насос – механізм для накачування, перекачування викачування будь-якої рідини (рисунок 1.10) [16].



Рисунок 1.10 – Здвоєний насос

Контактор – це пристрій для керування електричного навантаження, основна ціль керування потоком електричного струму у цілях увімкнення або вимкнення електричного устаткування чи машин (рисунок 1.11) [17].



Рисунок 1.11 – Контактор

Індуктивний датчик – це тип датчика-сенсора, який використовується для виявлення наявності або положення металевих об'єктів без прямого контакту з ними (рисунок 1.12) [18].



Рисунок 1.12 – Індуктивний датчик

Modbus RTU – це промисловий 16-каналний релейний модуль, який контролює обладнання, котрий керується через шину RS485, використовує протокол Modbus RTU (рисунок 1.13) [19].

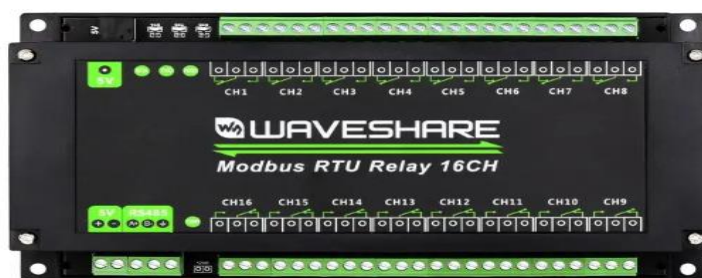


Рисунок 1.13 – Modbus RTU

## **1.6 Завдання і мета роботи**

Мета кваліфікаційної роботи – розробка кіберфізичної системи керування процесом дистиляції-ректифікації на лінії з виготовлення спирту класу “Люкс”.

Щоб досягти мету кваліфікаційної роботи необхідно:

- провести аналіз процесів і методів керування об’єкту впровадження.
- Провести аналіз потенційних входів і виходів для контролю і керування об’єкту впровадження, провести обґрунтування вибору апаратних засобів, і розробити структурну схему комплексу технічних засобів кіберфізичної системи.
- на основі топологічного розміщення і схеми організаційної структури, розробити корпоративну мережу згідно завдання.
- розробити модуль кіберфізичної системи по керуванню ділянки дистиляції-ректифікації на ліній з виготовлення спирту класу “Люкс”.

## **1.7 Визначення можливих напрямків рішення та виконання поставлених завдань**

Є варіант залишити дискретне керування, але якщо його залишити, то є можливість перегріву спиртового розчину або розчин не досягне необхідних температур, це приведе до зайвих витрат. Щоб розв’язати можливі проблеми можна впровадити частотні перетворювачі для парових розподільників, що регулюється за допомогою зміни частоти електричного струму, щоб забезпечити стабілізацію температур завдяки правильному розподіленню пари, дистиляторі та ректифікаційній колонці це дозволить зекономити енергію та ресурси.

Частотний перетворювач – це електронний пристрій який перетворює та вирівнює одно або трифазний струм за допомогою вбудованого випрямляча (рисунок 1.14) [20].



Рисунок 1.14 – Частотний перетворювач

Керувати процесом можна в ручному режимі або ж впровадити ПЛК, ще одним варіантом впровадження є система інтелектуальних реле.

Кіберфізичне керування представляє собою керування процесом які виконуються ПЛК, та датчиків та інших електронних пристроїв. Система автоматично збирає дані, обробляє їх і приймає рішення на основі запрограмованих алгоритмів, забезпечуючи стабільний та ефективний процес виробництва.

Диспетчерське керування представляє собою НМІ панель в якій можна вмикати-вимикати процеси, дивитись на наявність помилок, переводити в ручний режим керування або ж увімкнення кіберфізичного режиму керування.

Ручне керування представляє собою перемикання, увімкнення-вимкнення процесів на кожному обладнанні для дистиляції-ректифікації за допомогою кнопок на кнопкових постах.

Для комфортних умов роботи оператора, йому потрібне приміщення в якому буде організоване: прибирання за графіком, все приладдя для роботи, шафа в якій знаходяться контролери до яких під'єднані прилади та НМІ панель. Оператор потрібен для періодичного спостерігання за обладнанням і за необхідності перевести кіберфізичну систему в режим диспетчерського керування або виконувати ручне керування.

Переваги та недоліки кожного зі способів керування:

1. Ручне керування;

Переваги ручного керування – не потрібне дороге обладнання, можливість швидкого втручання та рішення не передбачуваних ситуацій.

Недоліки ручного керування – наявність кваліфікованого персоналу, ризик безпеки людей, можливість не чітких дій та можливість втрати продуктивності.

## 2. Інтелектуальне реле;

Переваги інтелектуальних реле – це простота використання, вони значно простіші в програмуванні ніж свої аналоги, наприклад ПЛК. До переваг можна ще додати – компактність, низьку ціну та універсальність.

Недоліки інтелектуальних реле – вони призначені для більш простих приладів та їх важко інтегрувати у загальну комп'ютерну систему підприємства так як в них мало точок введення-виведення, обмежена можливість протоколів зв'язку [21].

## 3. ПЛК

Переваги ПЛК – вони можуть працювати в більш суворих умовах, швидкість відгуку, рідше виходять з ладу, програмуються для більшого спектру завдань, є можливість перепрограмування під свої умови використання та головною їх перевагою є можливість запрограмувати безпеку обладнання та працівників.

Недоліки ПЛК – складніші у програмуванні та обслуговуванні, дорогі, обов'язкове правильне програмування, для таких систем потрібна людина яка вміє правильно його програмувати та знає як він працює, головним недоліком є вихід з ладу що несе за собою відключення всіх функцій керування [22].

### **1.8 Обґрунтування вибраного напрямку інженерного рішення**

Для обґрунтування вибраного напрямку інженерного рішення, було зроблено структурно функціональну схему на рисунку 1.15. У цій схемі детально описано весь процес обміну інформацією між приладами та датчиками в системі.



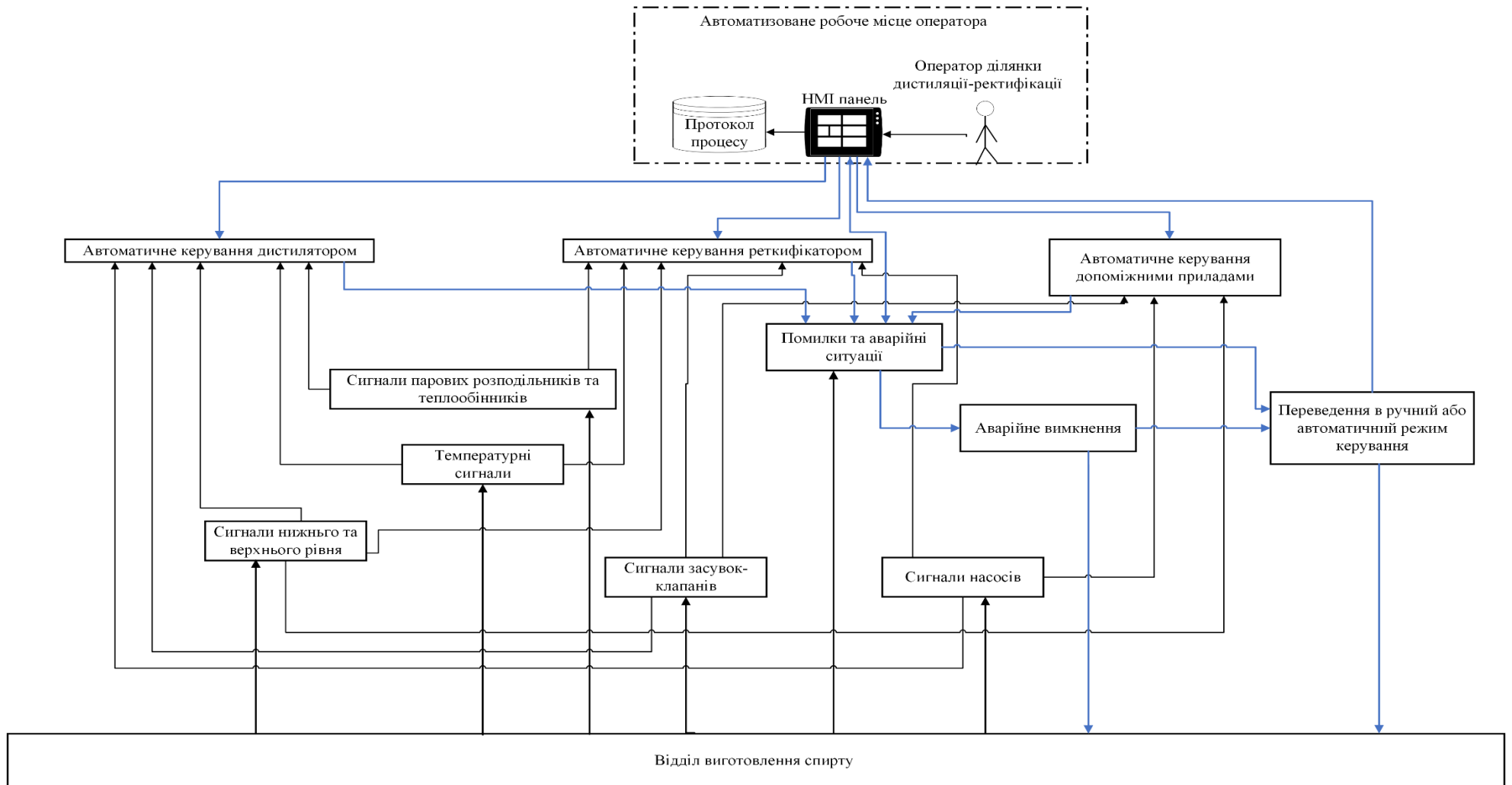


Рисунок 1.15 – Схема функціональної структури

## **2. РОЗРОБКА АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ**

### **2.1 Технічні вимоги до комп'ютерної системи в цілому**

#### **2.1.1 Вимоги до структури і функціонування системи**

Кіберфізична система ділянки дистиляції-ректифікації на лінії з виготовлення спирту класу “Люкс”, далі КФС ДДР, призначена для обробки даних під час ведення технологічного процесу дистиляції-ректифікації на лінії з виготовлення спирту класу “Люкс”.

Система повинна мати ієрархічну структуру розподіленого типу і включати рівні:

- рівень контрольно-вимірювальні прилади і автоматика (КВП і А);
- рівень керування технологічним процесом (операторський рівень).
- рівень ПЛК;

##### **2.1.1.1 Перелік підсистем, їхнє призначення й основні характеристики;**

Перелік підсистем:

- блок автоматизованого робочого місця оператора;
- блок кіберфізичного керування дистилятором;
- блок кіберфізичного керування ректифікатором;
- блок кіберфізичного керування допоміжними приладами;
- блоки обробки сигналів парових розподільників та теплообмінників;
- блок обробки помилок та аварійних ситуацій;
- блок аварійного виключення;
- блок переведення в ручний або кіберфізичний режим керування;
- блок обробки температурних сигналів;
- блок обробки сигналів нижнього та верхнього рівня;
- блок обробки сигналів датчиків тиску;
- блок обробки сигналів засувки-клапанів;
- блок обробки насосних сигналів.

Призначення та характеристика:

1. Блок автоматизованого робочого місця оператора – забезпечує взаємодію оператора з системою дистиляції-ректифікації

2. Блок кіберфізичного керування дистилятором забезпечує кіберфізичне керування дистиляцією.

3. Блок автоматичного керування ректифікацією забезпечує автоматичне керування процесом ректифікації.

4. Блок автоматичного керування допоміжними приладами забезпечує контролювання та автоматичне керування процесами такими як: сигналізація накопичування головної і хвостової фракції, сигналізація збору кубового залишку, спостереження за рівнем ємності холодогента, спирту на відвантаження, відправка води для збереження енергії до градирні та інших приладів, які допомагають при виготовленню спирту. Цей блок надсилає інформацію до ПЛК та передає інформацію до блока помилок та аварійних ситуацій.

5. Блок обробки сигналів парових розподільників та теплообмінників, забезпечує моніторинг і керування процесами розподілу пари. Відповідає за обмін сигналами та станом цих приладів, передає інформацію до автоматизованих блоків.

6. Блок обробки помилок та аварійних ситуацій, виявляє та реагує на помилки та аварійні ситуації що виникають на технологічному обладнанні ділянки. Відповідає за збір помилок та аварійних ситуацій з головних автоматичних процесів. Передається до НМІ та до блока переведення в ручний або автоматичний режим керування.

7. Блок аварійного вимкнення забезпечує виявлення небезпечних умов, аварійне вимкнення, захист обладнання.

8. Блок переведення в ручний або автоматичний режим керування, далі приймає повідомлення про помилку або аварійну ситуацію. Здійснює переключення із автоматичного режиму до ручного режиму або навпаки.

9. Блок обробки температурних сигналів виконує збір даних із усіх температурних датчиків по всій ділянці виробництва. Передає ці данні до усіх автоматичних блоків керування.

10. Блок обробки сигналів нижнього та верхнього рівня, виконує збір даних із датчиків рівня по всій ділянці виробництва. Передає ці данні до усіх автоматичних блоків керування.

11. Блок обробки сигналів засувки-клапанів виконує збір даних про відкриття та закриття засувки-клапанів, що регулюють потоки пару та рідин, по всій ділянці виробництва. Передає ці данні до усіх автоматичних блоків керування.

12. Блок обробки насосних сигналів збирає та оброблює сигнали з насосів на ділянці, контролює їхню роботу, забезпечуючи при цьому рівномірний режим перекачування води. Передає данні до усіх автоматичних блоків керування.

### **2.1.1.2 Вимоги до способів зв'язку для інформаційного обміну між компонентами системи**

Структура та функціонування кіберфізичної системи (КС), на підприємстві мають відповідати певним критеріям для забезпечення ефективності, надійності та безпеки. Основні вимоги до їх структури та функціонування включають:

- повинна бути виконана на промисловому обчислювальному обладнанні, і розміщена на корпусах класу захисту не нижче ніж IP 54;
- способи зв'язку між компонентами визначаються технічними характеристиками КТЗ але не менше ста метрів.

### **2.1.1.3 Вимоги до характеристик взаємозв'язків створюваної системи із суміжними системами, вимоги до її сумісності.**

Кіберфізична система має забезпечувати надійну та швидку передачу даних. Щоб цього досягти потрібно використання високошвидкісних мережевих технологій та оптимізації мережі інфраструктури, не нижчих ніж Fast Ethernet. Має бути відокремлена підмережа від суміжних систем за допомогою роутера

Ethernet. Для підключення налагоджувальника повинно бути передбачено підключення до точки WI-FI.

#### **2.1.1.4 Вимоги до режимів функціонування**

Має виконувати такі режими як автоматичний режим, диспетчерський режим та налагоджувальний режим.

Автоматизований режим – контроль і керування всією ділянкою на виготовленні спирту. Процес здійснюється системою, під наглядом і у результаті прийняття початкових рішень оператором.

Диспетчерський режим – контроль і керування окремим обладнанням здійснюється оператором ручного керування обладнанням ділянки виготовлення спирту з АРМ.

Налагоджувальний режим – здійснюється налагоджувальником системи на стадії впровадження на об'єкті, гарантійного та після гарантійного ремонту, модернізації.

#### **2.1.1.5 Вимоги до діагностування**

Безперервне діагностування справності промислового обчислюваного обладнання.

#### **2.1.1.6 Перспективи розвитку, модернізації системи**

Кіберфізична система дистиляції-ректифікації повинна бути інтегрована в корпоративну мережу підприємства, яка матиме такі вимоги:

- мережа повинна забезпечувати високий рівень захисту від несанкціонованого доступу.

- повинна забезпечити ефективний обмін даними для керування процесом, ресурсами та обміну інформацією між персоналом.

- мережа повинна бути гнучкою, мати можливість для майбутнього розширення та вдосконалення системи.

Розроблена можлива структура комп'ютерної мережі підприємства яка продемонстрована на рисунку 2.1, що складається з 5 підмереж до яких входить:

LAN1 – Підмережа керівників;

LAN2 – Підмережа інформаційного забезпечення;

LAN3 – Підмережа виробничого відділу;

LAN4 – Підмережа контролю якості;

LAN5 – Підмережа операційної діяльності та комерційного розвитку.

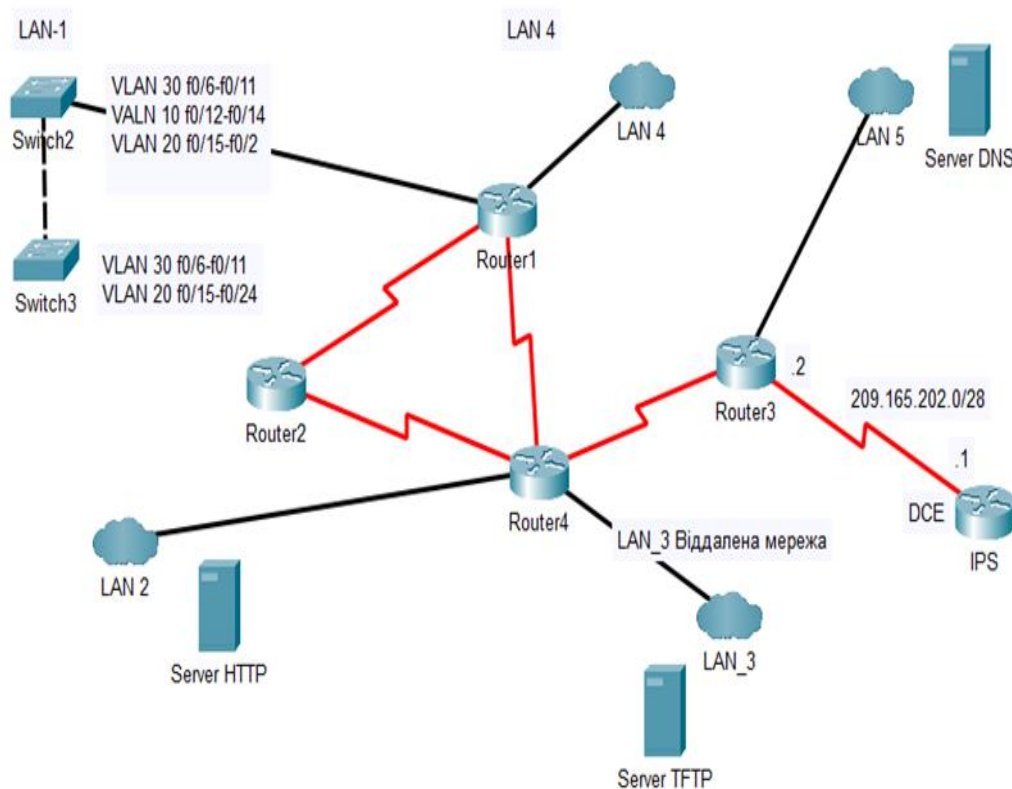


Рисунок 2.1 – Структура комп'ютерної мережі підприємства

### 2.1.2 Вимоги до показників призначення

Показники призначення мають:

- система має забезпечувати контроль точності температур з максимальною погрішністю до 0.5 градуса по Цельсію. діапазон вимірювання від 20 до 150 градусів по Цельсію. такі точності необхідні для підтримки якості та стабільних умов на кожному етапі процесу.

- система має забезпечувати контроль точності тиску в колонах з погрішністю до 0.01 атмосфер. для підтримки точності процесу в колонах.

- система повинна вимірювати рівень рідини з погрешністю 5 сантиметрів. діапазон вимірювання залежить від пристроїв вимірювання, та резервуара в якому вимірюється.

- система повинна забезпечувати швидке реагування на зміни параметрів та їх оновлення не рідше ніж 500 мс.

- має забезпечувати аварійне вимкнення в таких випадках як мінімальний рівень в рідини в ємностях, переповнення рідини, перегрів спирту, несправність системи керування тобто збій, пошкодження трубопроводу.

### **2.1.3 Вимоги до експлуатації, технічного обслуговування, ремонту і збереженню**

#### **2.1.3.1 Умови і регламент (режим) експлуатації**

Система працює постійно протягом усієї доби, окрім випадків планованого технічного обслуговування (ПТО), не рідше чим 1 раз на місяць або у випадку зміни сировини, аварійної ситуації.

Заходи які виконуються при ПТО:

- прибирання робочого місця та дезінфекція. За допомогою дезінфікуючого розчину “Вінсепт”; [23].
- візуальний контроль. Перевірка на наявність пошкоджень, візуальний контроль цілості з’єднань;
- ремонтні роботи по мірі необхідності.

#### **2.1.3.2 Вимоги до параметрів мереж енергопостачання**

До мереж енергопостачання існують такі вимоги:

- частота живлення повинна відповідати 50 Гц, по стандартам України.
- мережа повинна забезпечувати трьох фазне живлення з нейтраллю. Стандартна напруга такого енергопостачання між фазами і нейтраллю 230 В.

Спосіб заземлення:

- T-N-S система. Ця система має окремі провідники нейтралі та захисного заземлення, що забезпечує високий рівень безпеки.[24.]

### **2.1.3.3 Вимоги до кількості, кваліфікації обслуговуючого персоналу і режимам його роботи**

Для ділянки дистиляції-ректифікації необхідно 8 працівників: 4 оператори за спеціальністю хімік-технолог та 4 інженера-системотехніка для технічного обслуговування, які працюють за ковзаючим графіком по 12 годин:

- денна зміна з 07:00 до 19:00;
- нічна зміна з 19:00 до 7:00;
- відсипний день, який розпочинається відразу після нічної зміни;
- вихідний день.

Такий графік створено для того щоб робочий процес йшов безперервно. Переваги такого графіку в тому що, між працівниками рівномірно розподілено навантаження та обсяг роботи, достатньо вільного часу для відновлення, після нічної зміни. Недоліки залежать не від самого графіка, а більш від людей яким важко адаптуватись до нічних змін що може привести до проблем зі сном і погіршення здоров'я.

На посаду оператора дистиляції-ректифікації та техніка відбирають тільки кваліфікований персонал за такими кваліфікаційними умовами:

- професійно-технічна освіта;
- можливість підвищення кваліфікації;
- робочий стаж не менше 2 років.
- досвід роботи з обладнанням для дистиляції-ректифікації.

### **2.1.4 Вимоги до патентної частини**

Апаратне й програмне забезпечення системи повинна забезпечувати на території України та країн до якої експортується.



## **2.1.5 Додаткові вимоги**

### **2.1.5.1 Вимоги до активного обладнання**

Функціонування активного обладнання повинно підтримувати протоколи передачі даних таких як Ethernet та Modbus, інтегруватись та мати сумісність з ПЛК та НМІ панеллю, підтримку інтерфейсів для підключення мережевих маршрутизаторів, комутаторів та серверів.

Кількість портів повинно бути що найменше 24, та їх запас 5 % відсотків для можливого розширення.

### **2.1.5.2 Вимоги до кабель-каналів**

Кабель канали повинні бути виготовлені з негорючого матеріалу ПВХ або металу, мати змінні кришки для зручності монтажу та обслуговування, розміщені уздовж стін щоб знизити ризик випадкового пошкодження та заземленні.

### **2.1.5.3 Вимоги до комунікаційного обладнання і його розташування**

Розташування комунікаційного обладнання повинно бути в приміщенні, що забезпечує оптимальні температурні умови та вологості, достатнє освітлення для обслуговування та захист від забруднення.

Шафи повинні мати клас захисту IP 54, мати достатню кількість Unit, для розміщення обладнання.

Підвід кабелів має здійснюватися за допомогою кабельних лотків, розмір лотків повинен відповідати об'єму кабелів.

Потрібно забезпечити правильне та комфортне розміщення приладів у середині шаф, для запобігання перегріву.

### **2.1.5.4 Вимоги до однорідності**

Монтажні роботи виконуються в середині шаф, кріплення стандарту DIN, комутації виконуються на набірних клемах з монтажем на Din-рейку, мережеві роз'єми обираються виходячи з технічних вимог застосованого обладнання.

### **2.1.5.5 Вимоги до резервування**

Кількість вільних ходів та виходів не менше 5% від загальної кількості, для обміну на рівні КВП і А, та ПЛК.

## **2.2 Вимоги до видів забезпечення**

### **2.2.1 Математичне забезпечення**

Всі функціональні блоки системи мають бути забезпечені дискретними моделями керування а також програмними засобами нормування і масштабування сигналів.

### **2.2.2 Інформаційне забезпечення**

#### **2.2.2.1 Вимоги до інформаційного обміну між компонентами системи**

Данні про стан технологічних компонентів системи повинні оновлюватись не рідше 1 раз на 5 секунд.

#### **2.2.2.2 Вимоги до структури процесу збору, обробки, передачі даних**

Система являє собою комбінацію розподіленої системи і систему розподілення введення-виведення. На рівні зв'язку КВП і А – ПЛК це розподілення введення-виведення на рівні зв'язку, ПЛК оператор – це розподілена система.

#### **2.2.2.3 Вимоги до контролю збереження і відновлення даних**

Протокол процесу має зберігатись технічними засобами системи протягом 4 діб.

### **2.2.3 Лінгвістичне забезпечення**

Інструкції з експлуатації обслуговування системи та інструкція по керівництві оператора мають бути написаними на українській та англійській

мові. Програмне забезпечення повинно бути реалізоване за допомогою середовища TIA Portal.

#### **2.2.4 Технічне забезпечення**

Технічне забезпечення має бути виконане засобами фірми SIEMENS, контролерами SIMATIC S7 1200 , а також HMI панеллю класу Comfort діагоналлю не менше ніж 9 дюймів, і такі прилади як комутатор, контролер, маршрутизатор фірми SIEMENS.

#### **2.2.5 Організаційне забезпечення**

##### **2.2.5.1 Вимоги до структури і функцій підрозділів**

Підрозділ оператора дистиляції-ректифікації має забезпечувати контроль та моніторинг процесу виготовлення спирту класу “Люкс”.

Підрозділ технічного обслуговування має забезпечувати працездатність обладнання, ремонт та обслуговування.

Підрозділ лабораторії контролю якості має забезпечувати аналіз спирту для забезпечення відповідності стандартам.

##### **2.2.5.2 Вимоги до організації функціонування системи і порядку взаємодії персоналу системи і персоналу об'єкту впровадження**

Оператор дистиляції-ректифікації взаємодіє з підрозділом технічного обслуговування при обслуговуванні обладнанні, аварійних ситуацій та оптимізації процесу. Оператор також взаємодіє з підрозділом лабораторії контролю якості при відборі проб на різних етапах процесу для проведення аналізу та тесту, також вони взаємодіють при коригуванні параметрів процесу для підвищення якості.

##### **2.2.5.3 Вимоги до захисту від помилкових дій персоналу**

Час реакції не більше 500 мс протиаварійних контурів захисту.

#### **2.2.5.4 Методичне забезпечення**

Повинна бути інструкції з експлуатації обслуговування системи та інструкція по керівництві оператора.

### **2.3 Розробка специфікації апаратних засобів**

#### **2.3.1 Аналіз входів і виходів КФС ДДР**

Ділянка дистиляції-ректифікації забезпечена великою кількістю виконавчих механізмів та датчиків які допомагають ефективно керувати процесом для них потрібно виконати аналіз входів і виходів.

Щоб визначити входи і виходи для КФС ДДР необхідно провести аналіз і класифікацію кожного із датчиків та механізмів технічного обладнання, виходячи з їх технічних характеристик.

Аналіз входів і виходів проведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Перелік вхідних та вихідних сигналів. КФС ділянки дистиляції-ректифікації

№ п/п.	Найменування інформації (сигнали, дані)	Напр. вх./вих.	Функція	Вигляд	Джерело/ Отримувач	Форма подання (розрядність, точність)		Період вв./вив., сек.
						Зовнішня	Внутрішня	
Дистилятор								
1.	Верхній рівень	Вхід.	Контр.	Норм. замкн.	Датчик рівня ПДУ-1.1	24 В	1 біт	0,5
2.	Нижній рівень	Вхід.	Контр.	Норм. замкн.	Датчик рівня ПДУ-1.1	24 В	1 біт	0,5
3.	Температура сула	Вхід.	Вимір.	Аналог.	Тер. опору	PT-100	13 біт	0,5
Ректифікатор								
4.	Верхній рівень	Вхід.	Контр.	Норм. замкн.	Датчик рівня ПДУ-1.1	24 В	1 біт	0,5
5.	Нижній рівень	Вхід.	Контр.	Норм. замкн.	Датчик рівня ПДУ-1.1	24 В	1 біт	0,5
6.	Температура сула	Вхід.	Вимір.	Аналог.	Тер. опору	PT-100	13 біт	0,5
Збірник кубового залишку								
7.	Верхній рівень	Вхід.	Контр.	Норм. замкн.	Датчик рівня ПДУ-1.1	24 В	1 біт	0,5
Накопичувач головної та хвостової фракції								
8.	Верхній рівень	Вхід.	Контр.	Норм. замкн.	Датчик рівня ПДУ-1.1	24 В	1 біт	0,5
9.	Нижній рівень	Вхід.	Контр.	Норм. замкн.	Датчик рівня ПДУ-1.1	24 В	1 біт	0,5

Продовження таблиці 2.1

№ п/п.	Найменування інформації (сигнали, дані)	Напр. вх./вих.	Функція	Вигляд	Джерело/Отримувач	Форма подання (розрядність, точність)		Період вв./вив., сек.
						Зовнішня	Внутрішня	
Холодогент (вода харчової якості)								
10.	Нижній рівень	Вхід.	Контр.	Норм. замкн.	Датчик рівня ПДУ-1.1	24 В	1 біт	0,5
Ємність спирту на відвантаження								
11.	Верхній рівень	Вхід.	Контр.	Норм. замкн.	Датчик рівня ПДУ-1.1	24 В	1 біт	0,5
Насоси (НР1-НР5)								
12.	Включено	Вхід.	Контр.	Норм. розімкн.	Контактор 3РТ2015 - 1АР01	24 В	1 біт	0,5
13.	Включити	Вихід.	Керув.	Норм. розімкн.	Контактор 3РТ2015 - 1АР01	~ 230 В	1 біт	0,5
Паровий розподільник (РР1-РР2)								
14.	Керування насосом подачі пару	Вхід-вихід	Керув.	Цифровий	ПЧ	Modbus RTU	13 біт	Визнач. швидк. каналу 9600

Продовження таблиці 2.1

№ п/п.	Найменування інформації (сигнали, дані)	Напр. вх./вих.	Функція	Вигляд	Джерело/Отримувач	Форма подання (розрядність, точність)		Період вв./вив., сек.
						Зовнішня	Внутрішня	
Мотор (M1-M2)								
15.	Включено	Вхід	Контр.	Норм. розімкн.	Контактор 3RT2015 - 1AP01	24 В	1 біт	0,2
16.	Включити	Вихід	Керув.	Норм. розімкн.	Контактор 3RT2015 - 1AP01	~ 230 В	1 біт	0,2
Засувки-клапани (HV1-HV7)								
17.	Клапан відкритий	Вхід	Конт.	Норм. відкритий	Індуктивний датчик	24 В	1біт	0,5
18.	Клапан закритий	Вхід	Кер.	Норм. відкритий	Індуктивний датчик	24 В	1біт	0,5

Щоб правильно здійснити вибір елементної бази потрібно провести угруповання вхідних та вихідних сигналів пристроїв таблиця 2.2, які були продемонстровані у таблиці 2.1.

Таблиця 2.2 – Технічна специфікація (коротка)

№ п/п	Пристрій	Опис входу або виходу	Кількість входів або виходів
		Дискретні входи	
		ПДУ-1.1, Контактор ЗРТ2015-1АР01, Індуктивний датчик	
1.	Дистилятор	--	2
2.	Ректифікатор	--	2
3.	Збірник кубового залишку	--	1
4.	Накоп. голов. та хвост фрак.	--	2
5.	Холодогент	--	1
6.	Ємність спирту на відвант.	--	1
7.	Насоси (НР1-НР5)	--	5
8.	Мотор (М1-М2)	--	2
9.	Засувка-клапан (НВ1-НВ7)	--	7
<b>РАЗОМ</b>			<b>23</b>
		Аналогові входи	
		Термометр опору	
10.	Дистилятор	--	1
11.	Ректифікатор	--	1
<b>РАЗОМ</b>			<b>2</b>
		Цифрові входи	
		ПЧ	
12.	Паровий розподільник	--	2
			<b>2</b>
		Дискретні виходи	
		Контактор ЗРТ2	
13.	Насос (НР1-НР5)	--	5
14.	Мотор (М1-М2)	--	2
<b>РАЗОМ</b>			<b>7</b>



## 2.4 Вибір і обґрунтування структурної схеми комплексу технічних засобів комп'ютерної системи шляхом узгодження структури з топологічними особливостями об'єкту розробки.

За даними з таблиці 2.2 потрібно вибрати обладнання, яке повинно мати 23 дискретних входів (DI), 7 дискретних виходів(DO), 2 аналогових входів-виходів (AI-AO) та 1 цифровий вхід (DI).

Програмований контролер серії SIMATIC S7-1200, модель CPU 1215C, є потужним та універсальним контролером для малих і середніх кіберфізичних задач, який продемонстрований на рисунку 2.2. Технічні характеристики наведені в таблиці 2.3 [25].



Рисунок 2.2 – Програмований контролер серії SIMATIC S7-1200, CPU 1215C

Таблиця 2.3 –Технічні характеристики програмованого контролера CPU 1215C

№	Найменування параметру	Кількість входів-виходів	Споживання одного входу-виходу (мА), базове споживання	Загальне споживання (мА)
1	Базове споживання	-	-	200
2	Дискретні входи (DI)	14	3	42
3	Дискретні виходи (DO)	10	20	200
4	Аналогові входи (AI)	2	0,5	1
5	Аналогові виходи (AO)	2	20	40
6	Загальне споживання	-	-	483

Модуль дискретного введення-виводу призначений для розширення можливостей дискретного введення та виведення контролера, дозволяючи підключати більше датчиків та виконавчих пристроїв до кіберфізичної системи [26]. Зображення цього модулю продемонстровано на рисунку 2.3 та наведені технічні характеристики в таблиці 2.4.



Рисунок 2.3 – Модуль дискретного введення-виводу серії SIMATIC S7-1200, SM 1223

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики модуля дискретного введення-виводу SM 1223

№	Найменування параметру	Кількість входів-виходів	Споживання одного входу-виходу (мА), базове споживання	Загальне споживання (мА)
1	Базове споживання	-	-	~50
2	Дискретні входи (DI)	16	3	48
3	Дискретні виходи (DO)	16	20	320
6	Загальне споживання	-	-	418

Модуль аналогового введення SM 1231 призначений для зчитування аналогових сигналів з датчиків температури [27]. Модуль продемонстровано на рисунку 2.4 та наведені технічні характеристики в таблиці 2.5.



Рисунок 2.4 – Модуль аналогового введення серії SIMATIC S7-1200, SM 1231

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики модуля аналогового введення SM 1231

№	Найменування параметру	Кількість входів-виходів	Споживання одного входу-виходу (мА)	Загальне споживання (мА)
1	Базове споживання	-	-	50
4	Аналогові входи (AI)	4	0,5	2
6	Загальне споживання	-	-	52

Комунікаційна системна плата CB 1241 RS485 забезпечує зчитування сигналів з ПЧ який керує паровим розподільником та передавати її до ПЛК. Робоча напруга системної плати становить 24 В, та споживання струму 50 мА [28]. Комунікаційна системна плата продемонстрована на рисунку 2.5.



Рисунок 2.5 – Комунікаційна системна плата серії SIMATIC S7-1200, CB 1241 RS485

НМІ – панель має наступні характеристики:

- 9 дюймовий дисплей;
- підтримує протоколи зв'язку PROFINET (PN) та RS485;
- інтегрується з середовищем TIA Portal;
- має захист IP65;
- споживає 625 мА;
- живиться від однофазної мережі 24 В (рисунок 2.6) [29].



Рисунок 2.6 – Панель оператора KTP900 PN Basic, серія SIMATIC HMI, SIEMENS

Маршрутизатор призначений для передачі та обміну даними між компонентами виробничої мережі, який зображено на рисунку 2.7. Має можливості перетворення адрес (NAT/NAPT), підключення до SINEMA RC, 5-порт. Цей маршрутизатор локальної мережі забезпечує безперебійну інтеграцію з існуючою мережевою інфраструктурою, забезпечуючи при цьому безпечну та ефективну передачу даних [30].



Рисунок 2.7 – Маршрутизатор Siemens 6GK5615-0AA00-2AA2 SIMATIC NET SCALANCE S615

Споживання струму з усіх модулів вийде: 483 мА (CPU 1215C) + 418 (SM 1223) + 52 (SM 1231) + 50 (CB 1241 RS485) + 625 (KTP900 PN Basic) = 1628 мА.

Споживання струму входів і виходів:

- 23 дискретних входів (DI) =  $23 \times 3 \text{ мА} = 69 \text{ мА}$ ;
- 2 аналогових входів (AI) =  $2 \times 0,5 \text{ мА} = 1 \text{ мА}$ ;
- 7 дискретних виходів (DO) =  $7 \times 20 \text{ мА} = 140 \text{ мА}$ .

Підсумок споживання струму всіх виходів і входів: 69 мА (DI) + 1 мА (AI) + 140 мА (DO) = 210 мА.

Загальний підсумок споживання модулів та входів-виходів: 1628 мА + 210 мА = 1318 мА.

Виходячи з підрахунків блок живлення повинен бути з мінімальною потужністю 2 А, при постійних 24В.

Блок живлення, який показано на рисунку 2.8 забезпечує захист підключених пристроїв від можливих перебоїв у мережі. Має стабільну вихідну напругу в розмірі 24 В, номінальний вихідний струм, не більше ніж 2.5 А та вихідну потужність 60 Вт. Має кріплення стандарту DIN [31].



Рисунок 2.8 – Блок живлення SIEMENS 6EP1332-2BA20

Для більшого розуміння використання цих модулів розроблено схему структурного комплексу технічних засобів кіберфізичної системи ділянки дистиляції-ректифікації на рисунку 2.9.

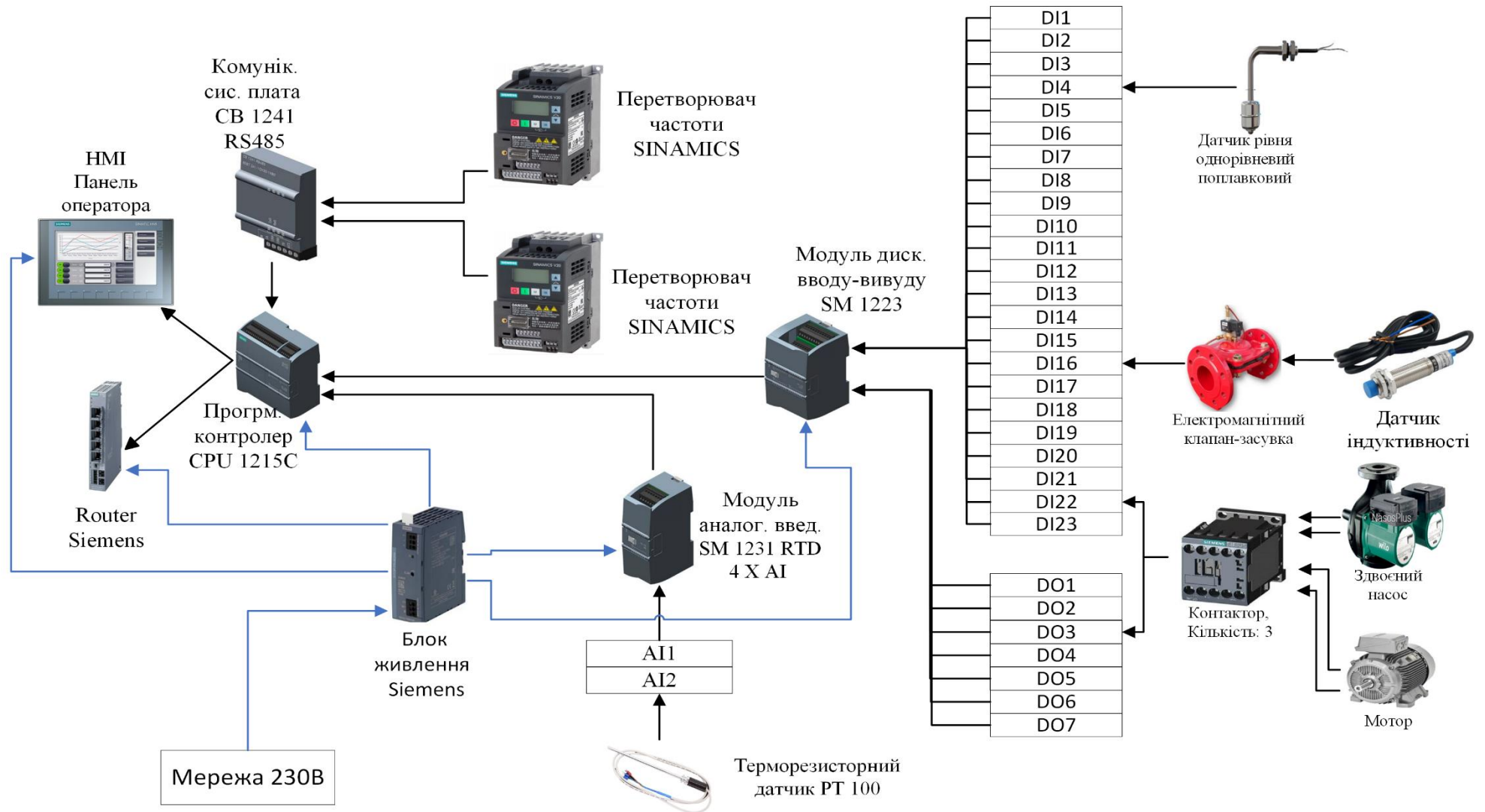


Рисунок 2.9 – Схема структурного комплексу технічних засобів кіберфізичної системи ділянки дистиляції-ректифікації

## 2.5 Розрахунок інтенсивності вихідного трафіку найбільшої локальної мережі підприємства

Для розрахунку інтенсивності трафіку найбільшої локальної мережі підприємства маємо такі данні:

- найбільша підмережа це LAN3, з кількістю вузлів  $N = 91$ ;
- середня інтенсивність трафіку в найбільшій мережі становить:  $\mu = 143$  (кадри/с);
- середня довжина вихідного повідомлення в найбільшій мережі:  $l = 650$  (байт);
- кількість портів в комутаторі:  $n = 24$ ;
- максимальна затримка передачі пакету:  $\leq 6$  мс.

Завдяки цим даним можна розрахувати пропускну здатність мережі на рівні доступу та рівні розподілу.

Пропускна здатність мережі вираховується за цією формулою:

$$P_{p.d} = \mu \times l \times n \times 8 = 143 \times 650 \times 24 \times 8 = 17846400 \text{ біт/с.}$$

де  $P_{p.p}$  – пропускна здатність мережі (біт/с);

$\mu$  – середня інтенсивність трафіку (кадрів/с);

$l$  – середня довжина повідомлення (байт);

$n$  – кількість портів комутатора;

8 – це коефіцієнт перетворення байтів у біти.

1 байт = 8 біт. Тому множник 8 використовується для перетворення довжини повідомлення з байтів у біти, оскільки пропускна здатність мережі вимірюється в бітах за секунду (біт/с).

Після цього можна вирахувати пропускну здатність мережі на рівні розподілу:

$$P_{p.p} = \mu \times l \times N \times 8 = 143 \times 650 \times 91 \times 8 = 67,66 \text{ (Мбіт/с).}$$

Комутатор рівня використовує лінію передачі з пропускнуою здатністю – 1000 Мбіт/с. Тож навантаження на комутатор не повинно перевищувати:

$$\mu_{вих} = 1000 \times 1000000 / (650 \times 8) = 192308 \text{ (пакетів/с)}$$

Так як кожне джерело в найбільшій підмережі буде виробляти 143 (пакетів/с), то потрібно зробити обмеження приєднання до комутатора на рівні розподілу, за такою формулою:

$$N_{дж} = \mu_{вих} / \mu = 192308 / 143 = 1344 \text{ (джерел)}.$$

Цього вистачить для найбільшої мережі яка має (91 вузол).

Тепер потрібно визначити інтенсивність вихідного трафіку для розрахунку коефіцієнта затримки за цією формулою:

$$\lambda = N \times \mu = 91 \times 143 = 13013 \text{ (пакетів/с)}.$$

Отже коефіцієнт затримки на рівні розподілу буде дорівнювати:

$$\rho = \lambda / \mu_{вих} = 13013 / 192308 = 0,06.$$

Тепер можна розрахувати коефіцієнт зайнятості комутатора на рівні розподілу, за цією формулою:

$$r = \rho / (1 - \rho) = 0,06 / (1 - 0,06) = 0,063.$$

При таких розрахунках середня затримка кадру в черзі М/М/1 становитиме:

$$T = 1 / (\mu_{вих} - \lambda) = 1 / (192308 - 13013) = 5,5 \text{ (мкс)}$$

Тепер потрібно розрахувати середню довжину черги пакетів, за такою формулою:

$$L_{черг} = \rho^2 / (1 - \rho) = (0,06)^2 / (1 - 0,06) = 0,0038.$$

Тепер потрібно розрахувати середній час одного пакету у черзі, за формулою:

$$T_{очікування} = L_{черг} / \lambda = 0,0038 / 13013 = 2,92 \text{ (мкс)}.$$

Тепер потрібно розрахувати пропускну здатність за такою формулою:

$$b = \lambda \times l = 13013 \times 650 \times 8 = 67,66 \text{ (Мбіт/с)}$$

Після усіх розрахунків можна зробити висновок, що пропускну здатність лінії з розподілом на 1 Гбіт/с є більш ніж достатньою.



## 3 РОЗРОБКА КОРПОРАТИВНОЇ МЕРЕЖІ

### 3.1 Розрахунок адресації мережі

Для розбиття на мережеві адреси на підмережі було використано метод VLSM (Variable Length Subnet Masking), такий метод дозволяє найбільш ефективно використовувати доступні IP-адреси та пропускну здатність, хороша гнучкість в проектуванні мережі, зменшення адміністративних витрат.

Блок адрес та кількість вузлів, які отримано від замовника виглядає наступним чином (таблиця.3.1):

Таблиця 3.1 – Мінімальна необхідна кількість вузлів для підмереж

Блок адрес	LAN1	LAN2	LAN3	LAN4	LAN5
10.25.136.0/22	32	81	91	78	32

LAN1 відповідає за підмережу керівників;

LAN2 відповідає за підмережу інформаційного забезпечення;

LAN3 відповідає за підмережу виробничого відділу;

LAN4 відповідає за підмережу контролю якості;

LAN5 відповідає за підмережу операційної діяльності та комерційного розвитку.

Необхідно розбити мережу на 5 підмереж. Кількість необхідних хостів, які потрібні для кожної з підмереж продемонстровано в таблиці 3.1.

Вихідна IP-адреса:10.25.136.0/22 має маску підмережі /22, що означає, що ми маємо 10 біт для хостів ( $32 - 22 = 10$ ). Таким чином, у нас є  $2^{10} = 1024$  можливих адрес хостів.

Можем розбити 1024 доступних адрес хостів на 5 підмереж. Для цього потрібно вибрати відповідні блоки адрес, які відповідають вимогам кожної підмережі. Розраховувати потрібно від найбільшої під мережі до найменшої.

Розрахунок та визначення кількості біт, для кожної з LAN.

Кількість хостів визначається за формулою:

$$2^n - 2$$

де n – кількість біт, виділених для хостів у масці підмережі;

Для мережі LAN3 яка має 91 вузол потрібно 126 хостів (з відрахованою ширококомвною та мережевою адресою), за такими вирахуванням:

$$\text{LAN3: } 91 \text{ вузол} - 2^7 - 2 = 126 \text{ хостів (потрібно 7 біт).}$$

Для мережі LAN2 яка має 81 вузол потрібно 126 хостів (з відрахованою ширококомвною та мережевою адресою), за такими вирахуванням:

$$\text{LAN2: } 81 \text{ вузол} - 2^7 - 2 = 126 \text{ хостів (потрібно 7 біт).}$$

Для мережі LAN4 яка має 78 вузлів потрібно 126 хостів (з відрахованою ширококомвною та мережевою адресою), за такими вирахуванням:

$$\text{LAN4: } 78 \text{ вузлів} - 2^7 - 2 = 126 \text{ хостів (потрібно 7 біт).}$$

Для мережі LAN1 яка має 32 вузли потрібно 62 хоста (з відрахованою ширококомвною та мережевою адресою), за такими вирахуванням:

$$\text{LAN1: } 32 \text{ вузла} - 2^6 - 2 = 62 \text{ хоста (потрібно 6 біт).}$$

Для мережі LAN5 яка має 23 вузли потрібно 32 хоста (з відрахованою ширококомвною та мережевою адресою), за такими вирахуванням:

$$\text{LAN5: } 23 \text{ вузла} - 2^5 - 2 = 32 \text{ хоста (потрібно 5 біт).}$$

Але цього буде не достатньо, тому потрібно збільшити до 32 вузлів, таким чином тепер потрібно 62 хоста (з відрахованою ширококомвною та мережевою адресою), за такими вирахуваннями:

$$\text{LAN5: } 32 \text{ вузла} - 2^6 - 2 = 62 \text{ хоста (потрібно 6 біт).}$$

Отже тепер, ми знаєм необхідну кількість бітів для кожної підмережі і можемо розбити IP-адресу 10.25.136.0/22 на підмережі:

Мережа LAN3 має маску підмережі: /25 (так як 32 біт – 7 біт = 25 біт), та діапазон IP-адреси: 10.25.136.1 – 10.25.136.126;

Мережа LAN2 має маску підмережі: /25 (так як 32 біт – 7 біт = 25 біт), та діапазон IP-адреси: 10.25.136.129 – 10.25.136.254;

Мережа LAN4 має маску підмережі: /25 (так як 32 біт – 7 біт = 25 біт), та діапазон IP-адреси: 10.25.137.1 – 10.25.137.126;

Мережа LAN1 має маску підмережі: /26 (так як 32 біт – 6 біт = 26 біт), та діапазон IP-адреси: 10.25.137.129 – 10.25.137.190;

Мережа LAN5 має маску підмережі: /27 (так як 32 біт – 6 біт = 26 біт), та діапазон IP-адреси: 10.25.137.193 – 10.25.137.254.

Розрахована корпоративна мережева адресація наведена у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Розрахунок корпоративної мережі

Назва мережі	Кількість вузлів	Виділений розмір	Адреса	Маска мережі	Діапазон вузлів Початкового-кінцевого
LAN3	91	126	10.25.136.0	/25	10.25.136.1 – 10.25.136.126
LAN2	81	126	10.25.136.128	/25	10.25.136.129 – 10.25.136.254
LAN4	78	126	10.25.137.0	/25	10.25.137.1 – 10.25.137.126
LAN1	32	62	10.25.137.128	/26	10.25.137.129 – 10.25.137.190
LAN5	32	62	10.25.137.192	/26	10.25.137.193 – 10.25.137.254

Завдяки минулим розрахункам та згідно завданню від замовника, потрібно використати блок адрес 10.0.17.0 за маскою /24, для розрахування простору адрес для каналів, що використовуються для зв'язку між маршрутизаторами. Розрахунок потрібно проводити за методом VLSM. Розрахунки продемонстровані у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Схема адресації мережі

Підмережа	Розмір	Виділений розмір	Номер мережі	Маска	Діапазон доступних адрес
WAN1	2	2	10.0.17.0	/30	10.0.17.1-10.0.17.2
WAN2	2	2	10.0.17.4	/30	10.0.17.5-10.0.17.6
WAN3	2	2	10.0.17.8	/30	10.0.17.9-10.0.17.10
WAN4	2	2	10.0.17.12	/30	10.0.17.13-10.0.17.14

## Продовження таблиці 3.3

Підмережа	Розмір	Виділений розмір	Номер мережі	Маска	Діапазон доступних адрес
ISP1	2	2	209.165.202.0	/30	209.165.202.1-209.165.202.2
ISP2	2	2	64.100.13.0	/30	64.100.13.1-64.100.13.2

**3.2 Розрахунок мережевої адресації пристроїв**

Відразу після розрахунків IP- адресації підмержі на підприємстві, можемо привласнити адреси інтерфейсам маршрутизаторів. Розрахунок адрес наведено у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Схема мережевої адресації маршрутизаторам

Пристрій	Інтерфейс	IP-адреса	Маска	Інтерфейс підключеного пристрою
Shevchenko_Router0	Gig0/0	64.100.13.2	255.255.255.252	Gig0/0
	Gig0/1	10.25.136.1	255.255.255.128	Gig0/1
Shevchenko_Router1	Se0/3/0	10.1.17.5	255.255.255.252	Se0/3/0
	Se0/3/1	10.1.17.1	255.255.255.252	Se0/3/0
	Gig0/1	10.25.137.1	255.255.255.128	Gig0/1
	Gig0/2	10.25.137.1	255.255.255.128	Gig0/2
Shevchenko_Router2	Se0/3/0	10.1.17.2	255.255.255.252	Se0/3/1
	Se0/3/1	10.1.17.9	255.255.255.252	Se0/3/1
Shevchenko_Router3	Se0/2/0	10.1.17.14	255.255.255.252	Se0/2/0
	Se0/2/1	209.165.202.2	255.255.255.252	Se0/2/1
	Gig0/1	10.25.137.193	255.255.255.192	Gig0/1
Shevchenko_Router4	Se0/2/0	10.1.17.13	255.255.255.252	Se0/2/0
	Se0/3/0	10.1.17.6	255.255.255.252	Se0/3/0
	Se0/3/1	10.1.17.10	255.255.255.252	Se0/3/1
	Gig0/2	10.25.136.129	255.255.255.128	Gig0/2
ISP	Se0/2/1	209.165.202.1	255.255.255.252	Se0/2/1
	Gig0/0	64.100.13.1	255.255.255.252	Gig0/0
	Gig0/1	209.165.201.1	255.255.255.252	Fa0

Тепер можемо надати IP-адреса серверам за допомогою поставленої умови та формули яку надав замовник, вони отримуватимуть адресу за формулою

перша адреса підмережі + 9 + №\_варіанту. Перша IP-адреса виглядає ост так: 10.25.137.129, тобто до неї потрібно додати 9 та номер варіанту котрий 17, получимо наступний вигляд адреси сервера: 10.25.137.155. Надання IP-адрес серверам продемонстровано у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Схема адресації інтерфейсів серверів

Назва серверу	Назва інтерфейсу	IP-адреса	Маска	Шлюз
Server HTTP	Fa0	10.25.137.155	255.255.255.128	10.25.136.129
Server DNS	Fa0	10.25.137.219	255.255.255.192	10.25.137.193
Server TFTP	Fa0	10.25.136.27	255.255.255.128	10.25.136.1

Далі потрібно виконати розподіл адрес SVI-інтерфейсам на комутаторах, також за умовою замовника адреси повинні починатися с другої можливої адреси у пулі. Надання IP-адрес SVI-інтерфейсам на комутаторах показано на таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Схема адресації SVI-інтерфейсів на комутаторах

Назва Підмережі	Пристрій	Інтерфейс	IP-адреса SVI інтерфейсу	Маска	Шлюз
LAN1	Shevchenko_SW_0	vlan 1	10.25.137.178	255.255.255.240	10.25.137.177
		F0/1	-	-	-
	Shevchenko_SW_1	vlan 1	10.25.137.179	255.255.255.240	10.25.137.177
LAN2	Shevchenko_SW_2	vlan 1	10.25.136.130	255.255.225.128	10.25.136.129
LAN3	Shevchenko_SW_3	vlan 1	10.25.136.2	255.255.225.128	10.25.136.1
LAN4	Shevchenko_SW_4	vlan 1	10.25.137.2	255.255.225.192	10.25.137.1
LAN5	Shevchenko_SW_5	vlan 1	10.25.137.194	255.255.225.128	10.25.137.193

### 3.3. Налаштування логічної моделі корпоративної мережі

На рисунку 3.1 зображено розроблену схему корпоративної мережі підприємства. В якій зроблено з'єднання пристроїв та їх адресація.

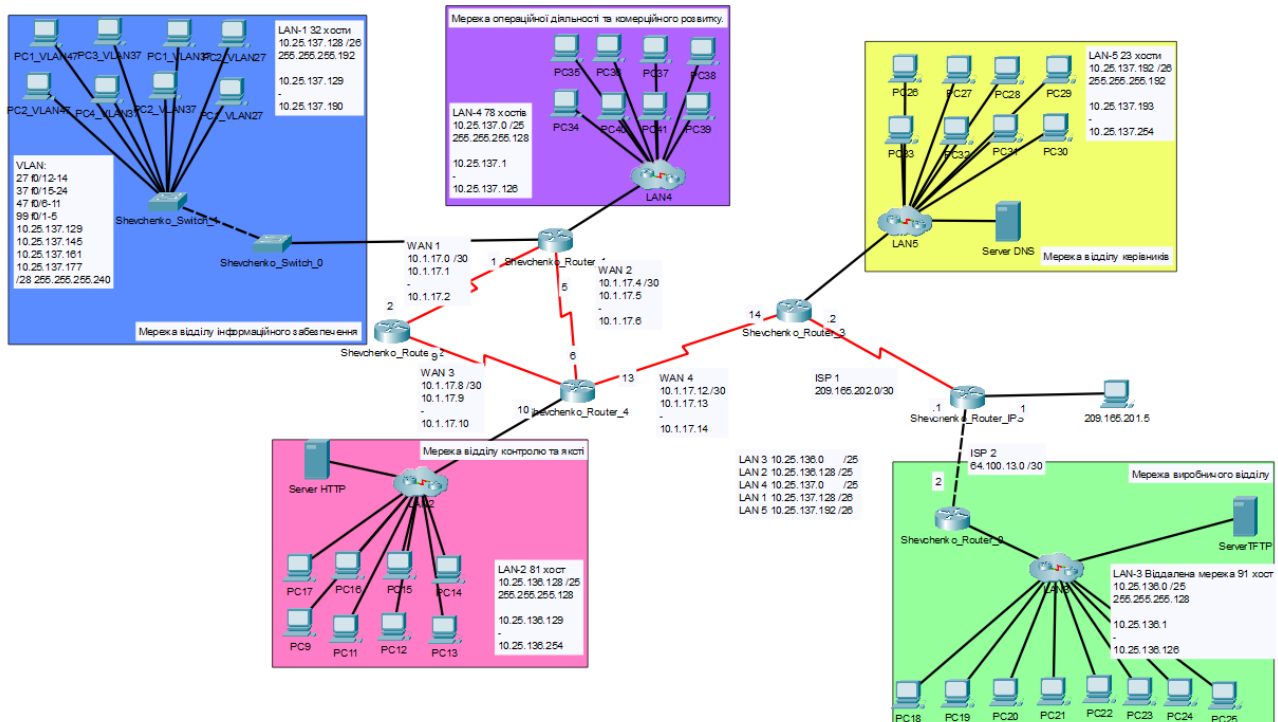


Рисунок 3.1 – Логічна топологія корпоративної мережі підприємства

### 3.4 Базове налаштування конфігурація пристроїв

Для базового налаштування потрібно призначити назву пристроям, назначити паролі для консолі та vty, назначить паролі для привілейного режиму, зашифрувати паролі які зберігаються у відкритому вигляді, розробити банер MOTD, назначити на усіх лініях vty використання протоколу ssh та створити користувача з доменним ім'ям.

Для більшого розуміння процесу опис дій буде проводитись за допомогою режиму маршрутизатора Router\_3 (R3):

Здійснено вхід до привілейного режиму завдяки таким командам:

```
Router_3> enable
```

```
Router_3 # conf t
```

Потрібно зробити зміну імені хостів на всіх пристроях, завдяки команді:

```
Router_3 (config) # hostname Shevchenko_Router_3
```

Ім'я має наступний вигляд:

```
Shevchenko_Router_3(config) #
```

Не обхідно здійснити вхід до конфігураційного режиму:

```
Shevchenko_Router_3 (config) # line console 0
```

Далі потрібно зробити призначення паролів для консольної лінії та vty,

таким чином:

```
Shevchenko_Router_3 (config-line) # password cisco
```

```
// Надання вимог для входу
```

```
Shevchenko_Router_3 (config-line) # login
```

```
// Застосування налаштувань
```

```
Shevchenko_Router_3 (config-line) # line VTY 0 15
```

```
// Встановлення паролю до ліній vty
```

```
Shevchenko_Router_3 (config-line) # password cisco
```

```
Shevchenko_Router_3 (config-line) # login
```

```
// встановлення паролю для входу у привілейний режим користувача
```

```
Shevchenko_Router_3 (config-line) #enable secret class
```

```
// Команда для ввімкнення шифрування паролю
```

```
Shevchenko_Router_3 (config)#service password-encryption
```

Тепер потрібно назначити доменне ім'я, такою командою:

```
Shevchenko_Router_3 (config)#ip domain-name Shevchenko_Router_3
```

Щоб зашифрувати пароль за протоколом RSA, потрібно створити ключ за допомогою команди:

```
Shevchenko_Router_3 (config)#crypto key generates rsa
```

Відразу після введення команди з'явиться запитання на зміну розміру біт в котрім потрібно увести 1024 біт.

```
How many bits in the modulus [512]: 1024
```

Далі потрібно створити локального користувача, з паролем admincisco та номером групи, таким чином:

```
Shevchenko_Router_3 (config) # username 123202_Shevchenko password admincisco
```

Наступним кроком потрібно використати протокол ssh на усіх лініях vty:

```
Shevchenko_Router_3 (config) # line vty 0 15
// команда для обмеження типів вхідних з'єднання тільки для ssh
Shevchenko_Router_3 (config-line) # transport input ssh
Shevchenko_Router_3 (config-line) # login local
```

### 3.5 Налаштування маршрутизаторів

Розпочнімо налаштування адресації пристроїв у мережі. Саме для налаштування потрібно встановити затримку, пропускну спроможність та тактову частоту на Serial-інтерфейсах. Для цього були використані такі команди:

```
// Вхід до інтерфейсу
Shevchenko_Router_3 (config) # int Serial0/2/0
Shevchenko_Router_3 (config-if) # ip add 10.1.17.14 255.255.255.252
// застосування затримки
Shevchenko_Router_3 (config-if) # delay 7500
// Надання пропускну здатності
Shevchenko_Router_3 (config-if) # bandwidth 128
// Умова тактової частоти
Shevchenko_Router_3 (config-if) # clock rate 128000
```

Наступним етапом потрібно впровадити маршрутизацію за допомогою динамічного протоколу OSPF. Такий протокол потрібен для знаходження найкоротшого шляху пакетів. Впровадження повинно проводитись так:

```
// Включення протоколу
Shevchenko_Router_3 (config)# router ospf 17
// Додання мережі та маски до OSPF
Shevchenko_Router_3 (config-router) # network 209.165.202.0 0.0.0.3 area 0
Shevchenko_Router_3 (config-router) # network 10.25.137.192 0.0.0.63 area 0
Shevchenko_Router_3 (config-router) # network 10.1.17.12 0.0.0.3 area 0
```



Відразу після оголошення та активації протоколу, усі маршрутизатори побачать ці мережі та почнуть обмінюватись таблицями маршрутизації, ще це називають: стали “сусідами”.

Оскільки протокол OSPF за замовчуванням поширює повідомлення через певні інтервали часу, необхідно вимкнути це автоматичне поширення та ввімкнути його лише на тих інтерфейсах, які підключені до інших маршрутизаторів. Це здійснюється завдяки наступним командам:

```
// Встановлення пасивного режиму для всіх маршрутизаторів
```

```
Shevchenko_Router_3 (config-router) # passive-interface default
```

```
// команди для винятку інтерфейсів пасивного режиму
```

```
Shevchenko_Router_3 (config-router) # no passive-interface Serial0/2/0
```

```
Shevchenko_Router_3 (config-router) # no passive-interface Serial0/2/1
```

Далі потрібно зробити налаштування для пропускної спроможності маршрутизаторів, таким чином:

```
Shevchenko_Router_3 (config-router) # auto-cost reference-bandwidth 1000
```

Налаштування статичних маршрутів NAT:

```
// Створення пул адрес для NAT
```

```
Shevchenko_Router_3 (config) # ip nat pool Internet 209.165.200.5  
209.165.200.30 netmask 255.255.255.224
```

```
Shevchenko_Router_3 (config) # ip nat inside source list NAT pool Internet
```

```
// Пошук найкращого доступного маршруту
```

```
Shevchenko_Router_3 (config) # ip classless
```

```
// Створення статичних маршрутів за замовчуванням
```

```
Shevchenko_Router_3 (config) # ip route 0.0.0.0 0.0.0.0 209.165.202.1
```

```
Shevchenko_Router_3 (config) # ip route 209.165.201.0 255.255.255.240  
209.165.202.1
```

```
Shevchenko_Router_3 (config) # ip route 10.25.136.0 255.255.255.128  
209.165.202.1
```

Настав, час перейти до налаштування служби AAA (Authentication, Authorization, and Accounting), що забезпечує аутентифікацію, авторизацію та облік.

Щоб налаштувати службу AAA потрібно зробити налаштування на маршрутизаторі та на сервері, на котрім буде активована служба. Як це потрібно робити наведено нижче:

```
// Активування служби AAA
Shevchenko_Router_3 (config) # aaa new-model

// Налаштування аутентифікації для входу в консоль на маршрутизаторі
Shevchenko_Router_3 (config) # aaa authentication login console group radius
local

Shevchenko_Router_3 (config) # line console 0
Shevchenko_Router_3 (config) # login authentication login default local

// Встановлення локальної аутентифікації
Shevchenko_Router_3 (config) # aaa authentication login default local

// Створення користувача з ім'ям "Shevchenko_Router_3" та паролем
"admin123"

Shevchenko_Router_3 (config)# username Shevchenko_Router_3 password
admin123

Shevchenko_Router_3 (config)# line vty 0 15

// Встановлення методу аутентифікації за замовчуванням
Shevchenko_Router_3 (config)# login authentication default
```

Далі потрібно зробити налаштування самого сервера, саме там де було впроваджено службу. Мною було вибрано TFTP сервер для служби AAA.

На риснку 3.2, можемо побачити створені бази даних користувачів у кожного з них є власне ім'я, логін та пароль.

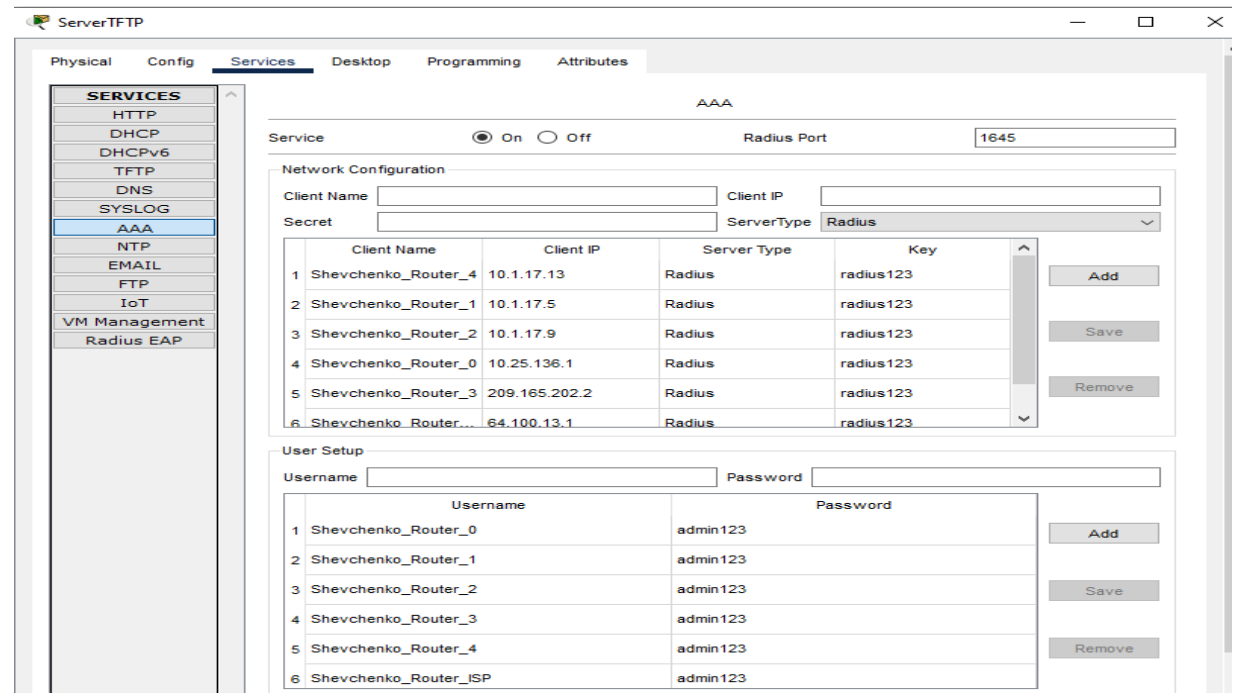


Рисунок 3.2 Налаштування сервера –RADIUS

Наступним кроком є налаштування DHCP протоколу. Налаштування проводиться на маршрутизаторі Shevchenko\_Router\_0, команди мають наступний вигляд:

```
// Створення пулу та перехід у режим конфігурації пулу
Shevchenko_Router_0 (config)# ip dhcp pool poollan3
// Задання адресу мережі для пулу DHCP
Shevchenko_Router_0 (dhcp-config) # network 10.25.136.0 255.255.255.128
// Надання адреси шлюзу за замовчуванням
Shevchenko_Router_0 (dhcp-config) # default-router 10.25.136.1
// Надання IP- адреси DNS-сервера, котру отримують пристрої з цього пулу
Shevchenko_Router_0 (dhcp-config) # dns-server 10.25.137.219
// Вихід з режиму конфігурації DHCP
Shevchenko_Router_0 (dhcp-config) # exit
// Створення діапазону адрес для резервування маршрутизації
```

```
Shevchenko_Router_0 (dhcp-config) # ip dhcp excluded-address 10.25.136.0
10.25.136.10
```

### 3.6 Налаштування Інтернету

Для користування інтернетом потрібно виконати налаштування за технологією динамічного NAT, що розташований на граничному маршрутизаторі мережі, який має назву ISP.

Налаштування буде проводитись на маршрутизаторі Shevchenko\_Router\_3, так як цей пристрій теж є граничним. Щоб налаштувати ISP потрібно використати діапазон пул адрес з 209.165.200.5 - 209.165.200.30 згідно зі завданням.

Для впровадження NAT ми використаємо розширений список доступу, розширений список блокуватиме трафік, який надходить з головної мережі до віддаленої, дозволяючи при цьому весь інший трафік. Впровадження відбувається за допомогою таких команд:

```
// Створення розширеного списку NAT
Shevchenko_Router_3 (config) # ip access-list extended NAT
// Блокування IP-трафіку що передається з підмережі LAN2 до LAN3
Shevchenko_Router_3 (config-ext-nacl) # deny ip 10.25.136.128 0.0.0.127
10.25.136.0 0.0.0.127
// Блокування IP-трафіку що передається з підмережі LAN4 до LAN3
Shevchenko_Router_3 (config-ext-nacl) # deny ip 10.25.137.0 0.0.0.127
10.25.136.0 0.0.0.127
// Блокування IP-трафіку що передається з підмережі LAN1 до LAN3
Shevchenko_Router_3 (config-ext-nacl) # deny ip 10.25.137.128 0.0.0.63
10.25.136.0 0.0.0.127
// Блокування IP-трафіку що передається з підмережі LAN5 до LAN3
Shevchenko_Router_3 (config-ext-nacl) # deny ip 10.25.137.192 0.0.0.63
10.25.136.0 0.0.0.127
// Дозволено IP- трафік з підмережі LAN2, у будь якому напрямленні
```

```
Shevchenko_Router_3 (config-ext-nacl) # permit ip 10.25.136.128 0.0.0.127
any
```

// Дозволено IP- трафік з підмережі LAN4, у будь якого напрямленні

```
Shevchenko_Router_3 (config-ext-nacl) # permit ip 10.25.137.0 0.0.0.127 any
```

// Дозволено IP- трафік з підмережі LAN1, у будь якого напрямленні

```
Shevchenko_Router_3 (config-ext-nacl) # permit ip 10.25.137.128 0.0.0.63 any
```

//Дозволено IP- трафік з підмережі LAN5, у будь якого напрямленні

```
Shevchenko_Router_3 (config-ext-nacl) # permit ip 10.25.137.192 0.0.0.63 any
```

Отже, тепер можемо створити пул Internet, завдяки щойно створеному розширеному списку доступу та списку NAT. Використаємо команду:

// Створення пул NAT з ім'ям "Internet"

```
Shevchenko_Router_3 (config) # ip nat pool Internet 209.165.200.5
209.165.200.30 netmask 255.255.255.224
```

// Використання списку NAT та пул

```
Shevchenko_Router_3 (config) # ip nat inside source list NAT pool Internet
```

Налаштування ролей для інтерфейсів NAT передбачає вказання, чи є кожен конкретний інтерфейс вхідним або вихідним для NAT. Виконується таким чином:

```
Shevchenko_Router_3 (config) # interface Serial0/2/0
```

```
Shevchenko_Router_3 (config) # ip nat inside
```

```
Shevchenko_Router_3 (config) # interface Serial0/2/1
```

```
Shevchenko_Router_3 (config) # ip nat outside
```

```
Shevchenko_Router_3 (config) # interface t Gig0/1
```

```
Shevchenko_Router_3 (config) # ip nat inside
```

Налаштування NAT завершено. Крім маршрутизатора Shevchenko\_Router\_3, є ще один граничний ISP маршрутизатор Shevchenko\_Router\_5. Для його налаштування всі минулі дії потрібно повторити, тільки з іншою адресацією та іншим пулом. Тепер діапазон адрес пула починається з 209.165.200.37 та закінчується 209.165.200.37 209.165.200.62 такою адресою.

Налаштування безпечного з'єднання за допомогою VPN. Щоб здійснити таке з'єднання потрібно знову створити розширений список, в якому потрібно дати дозвіл на трафік з підмереж до віддаленої підмережі.

```
Shevchenko_Router_3 (config) # ip access-list extended VPN1
//LAN2 – LAN3
Shevchenko_Router_3 (config-ext-nacl) # permit ip 10.25.136.128 0.0.0.127
10.25.136.0 0.0.0.127
// LAN4 – LAN3
Shevchenko_Router_3 (config-ext-nacl) # permit ip 10.25.137.0 0.0.0.127
10.25.136.0 0.0.0.127
// LAN1 – LAN3
Shevchenko_Router_3 (config-ext-nacl) # permit ip 10.25.137.128 0.0.0.63
10.25.136.0 0.0.0.127
// LAN5 – LAN3
Shevchenko_Router_3 (config-ext-nacl) # permit ip 10.25.137.192 0.0.0.63
10.25.136.0 0.0.0.127
```

На кожному маршрутизаторі потрібно запустити securityk9, відразу після запуску він продемонструє умови на які потрібно погодитись.

```
// Запуск securityk9
Shevchenko_Router_3 (config) # license boot module c2900 technology-
package securityk9
```

Далі після налаштування та підтвердження доступу, потрібно перезавантажити маршрутизатори.

Тепер налаштуємо VPN підключення, додаємо параметри криптографічної політики ISAKMP 10 і створюємо загальний ключ шифрування VLAD.

```
// Створення ISAKMP за номером 10
Shevchenko_Router_3 (config) # crypto isakmp policy 10
// Встановлення шифрування
Shevchenko_Router_3 (config-isakmp) # encryption aes
// Встановлення попередньо розподіленого ключа
```

```

Shevchenko_Router_3 (config-isakmp) # authentication pre-share
Shevchenko_Router_3 (config-isakmp) # group 2
// Створення ключа з назвою "Shevchenko" для адреси 64.100.13.2
Shevchenko_Router_3 (config-isakmp) # crypto isakmp key shevchenko
address 64.100.13.2
// Команда яка створює набір перетворень, з назвою "VLAD", для
шифрування і хешування
Shevchenko_Router_3 (config) # crypto ipsec transform-set VLAD esp-aes esp-
sha-hmac
// Створення криптографічної мапи
Shevchenko_Router_3 (config) # crypto map MAP 10 ipsec-isakmp
// Додавання опису криптографічної мапи
Shevchenko_Router_3 (config-crypto-map) # description VPN connection to R5
// Надання адреси партнера для VPN-з'єднання
Shevchenko_Router_3 (config-crypto-map) # set peer 64.100.13.2
Shevchenko_Router_3 (config-crypto-map) # set transform-set VLAD
// Встановлення списку доступу з назвою VPN
Shevchenko_Router_3 (config-crypto-map) # match address VPN
// Інтерфейс для налаштування
Shevchenko_Router_3 (config-crypto-map) # interface Serial0/2/1
Shevchenko_Router_3 (config) # crypto map MAP

```

Після завершення налаштувань з'явиться повідомлення про успішне налаштування, яке показано на рисунку 3.3.

```

Shevchenko_Router_3(config)#crypto isakmp policy 10
Shevchenko_Router_3(config-isakmp)#encryption aes
Shevchenko_Router_3(config-isakmp)#authentication pre-share
Shevchenko_Router_3(config-isakmp)#group 2
Shevchenko_Router_3(config-isakmp)#crypto isakmp key shevchenko address 64.100.13.2
A pre-shared key for address mask 64.100.13.2 255.255.255.255 already exists!
Shevchenko_Router_3(config)#crypto ipsec transform-set VLAD esp-aes esp-sha-hmac
Shevchenko_Router_3(config)#crypto map MAP 10 ipsec-isakmp
Shevchenko_Router_3(config-crypto-map)#description VPN connection to R5
Shevchenko_Router_3(config-crypto-map)#set peer 64.100.13.2
Shevchenko_Router_3(config-crypto-map)#set transform-set VLAD
Shevchenko_Router_3(config-crypto-map)#match address VPN
Shevchenko_Router_3(config-crypto-map)#interface Serial0/2/1
Shevchenko_Router_3(config-if)#crypto map MAP
*Jan  3 07:16:26.785: %CRYPTO-6-ISAKMP_ON_OFF: ISAKMP is ON

```

Рисунок – 3.3 Створення загального ключа шифрування "Shevchenko"

### 3.7 Захист інформації в кіберфізичній системі від несанкціонованого доступу

Щоб захистити дані в корпоративній мереже від несанкціонованого доступу потрібно зробити розподіл мережі LAN1 на 4 частини, одна з частин повинна відповідати за призначення інтерфейсів пристроям, вона має назву Management, а інші три частини слугують для користування персоналу, розподіл проводиться за технологією VLAN. У таблиці 3.7 продемонстровано номери та імена груп корпоративної мережі на підприємстві.

Для налаштування захисту спочатку потрібно створити VLAN та привласнити їм ім'я. Демонстрація створення VLAN наведена на прикладі комутатора Shevchenko\_Switch\_0:

```
// Створення VLAN 27
Shevchenko_Switch_0 (config) # vlan 27

// Привласнення імені
Shevchenko_Switch_0 (config-vlan) # name Accounting
Shevchenko_Switch_0 (config-vlan) # vlan 37
Shevchenko_Switch_0 (config-vlan) # name Resources_Department
Shevchenko_Switch_0 (config-vlan) # vlan 47
Shevchenko_Switch_0 (config-vlan) # name Guest
Shevchenko_Switch_0 (config-vlan) # vlan 99
Shevchenko_Switch_0 (config-vlan) # name Management
Shevchenko_Switch_0 (config-vlan) # vlan 100
Shevchenko_Switch_0 (config-vlan) # name Native
```

Результат створених VLAN наведено у таблиці 3.7

Талиця 3.7 – Список мереж VLAN

Номер VLAN	Ім'я VLAN	Примітка
1	Default	Не використовується
27	Accounting	Відділ виробничого процесу
37	Resources Department	Відділ операційної та комерційної діяльності
47	Guest	Відділ контролю якості
99	Management	Для керування пристроями



## Продовження таблиці 3.7

Номер VLAN	Ім'я VLAN	Примітка
100	Native	Власна

Необхідно зробити розрахунок кожної підмережі VLAN за методом VLSM. Виконаний розрахунок наведений у таблиці 3.8

Таблиця 3.8 – Схема адресації мереж VLAN

Назва мережі	Кількість вузлів	Виділений розмір	Адреса	Маска	Діапазон доступних адрес
Accounting	14	16	10.25.137.128	/27	10.25.137.129 – 10.25.137.143
Resources	14	16	10.25.137.144	/27	10.25.137.146 – 10.25.137.158
Guest	14	16	10.25.137.160	/27	10.25.137.161 – 10.25.137.174
Management	14	16	10.25.137.176	/27	10.25.137.161 – 10.25.137.174

Отже тепер можемо перейти до налаштування. Виконаєм привласнення IP-адрес на SVI-інтерфейсі з мережі, як зазначено в таблиці 3.8

// Вибір інтерфейсу

Shevchenko\_Switch\_0 (config) # int vlan 99

// Призначення адреси та маски

Shevchenko\_Switch\_0 (config-if) #

// Призначення шлюзу за замовчуванням

Shevchenko\_Switch\_0 (config-if) #

Увійдем на інтерфейс комутатора для налаштування дозволу портам.

Shevchenko\_Switch\_0 (config) # int g0/1

Shevchenko\_Switch\_0 (config-if) # switchport mode trunk

Shevchenko\_Switch\_0 (config-if) # switchport trunk native vlan 100

Shevchenko\_Switch\_0 (config-if) # switchport trunk allowed vlan 27, 37, 47, 99, 100

Наступним кроком є розподілення інтерфейсів VLAN на комутаторах, потрібно розподілити порти за відповідними VLAN. Розподілення продемонстровано у таблиці 3.9

Таблиця 3.9 – Розподіл портів на комутаторі

Назва підмережі	VLAN	Розподіл портів
VLAN 27	27	f0/12-14
VLAN 37	37	f0/15-24
VLAN 47	47	f0/6-11
VLAN 99	99	-
VLAN 100	100	f0/1-5

Щоб розподілити інтерфейси VLAN необхідно виконати наступні команди:

```
Shevchenko_Switch_0 (config) # int range f0/6-11
Shevchenko_Switch_0 (config-in-range) # switchport mode access
Shevchenko_Switch_0 (config-in-range) # switchport access vlan 47
Shevchenko_Switch_0 (config-in-range) # int range f0/15-24
Shevchenko_Switch_0 (config-in-range) # switchport mode access
Shevchenko_Switch_0 (config-in-range) # switchport access vlan 37
Shevchenko_Switch_0 (config-in-range) # int range f0/12-14
Shevchenko_Switch_0 (config-in-range) # switchport mode access
Shevchenko_Switch_0 (config-in-range) # switchport access vlan 27
Shevchenko_Switch_0 (config-in-range) # int range f0/1-5
Shevchenko_Switch_0 (config-in-range) # switchport mode access
Shevchenko_Switch_0 (config-in-range) # switchport access vlan 100
```

Тепер необхідно налаштувати маршрутизатор “Shevchenko\_Router\_1”, до якого під’єднана мережа VLAN.

```
// Налаштування DHCP-пулів кожного з VLAN
Shevchenko_Router_1 (config) # ip dhcp pool poolvlan27
Shevchenko_Router_1 (dhcp-config) # network 10.25.137.128 255.255.255.240
Shevchenko_Router_1 (dhcp-config) # default-router 10.25.137.1
Shevchenko_Router_1 (dhcp-config) # dns-server 10.25.137.219
```

```

Shevchenko_Router_1 (config) # ip dhcp pool poolvlan37
Shevchenko_Router_1 (dhcp-config) # network 10.25.137.144 255.255.255.240
Shevchenko_Router_1 (dhcp-config) # default-router 10.25.137.145
Shevchenko_Router_1 (dhcp-config) # dns-server 10.25.137.219
Shevchenko_Router_1 (config) # ip dhcp pool poolvlan47
Shevchenko_Router_1 (dhcp-config) # network 10.25.137.160 255.255.255.240
Shevchenko_Router_1 (dhcp-config) # default-router 10.25.137.161
Shevchenko_Router_1 (dhcp-config) # dns-server 10.25.137.219

```

Далі потрібно виключити перші 10 адрес з кожної підмережі VLAN, такими командами:

```

Shevchenko_Router_1 (config) # ip dhcp excluded-address 10.25.137.128
10.25.137.138
Shevchenko_Router_1 (config) # ip dhcp excluded-address 10.25.137.144
10.25.137.154
Shevchenko_Router_1 (config) # ip dhcp excluded-address 10.25.137.160
10.25.137.170

```

Завершено роботу з ДНСР-пулами. Тепер перейдемо до налаштування віртуальних підінтерфейсів в маршрутизаторі “Shevchenko\_Router\_1”.

```

Shevchenko_Router_1 (config) # int g0/1.27
Shevchenko_Router_1 (config-if) # encapsulation dot1Q 27
Shevchenko_Router_1 (config-if) # ip address 10.25.137.129 255.255.255.240
Shevchenko_Router_1 (config-if) # no shutdown
Shevchenko_Router_1 (config) # int g0/1.37
Shevchenko_Router_1 (config-if) # encapsulation dot1Q 37
Shevchenko_Router_1 (config-if) # ip address 10.25.137.145 255.255.255.240
Shevchenko_Router_1 (config-if) # no shutdown
Shevchenko_Router_1 (config) # int g0/1.47
Shevchenko_Router_1 (config-if) # encapsulation dot1Q 47
Shevchenko_Router_1 (config-if) # ip address 10.25.137.161 255.255.255.240
Shevchenko_Router_1 (config-if) # no shutdown

```

```
Shevchenko_Router_1 (config) # int g0/1.99
```

```
Shevchenko_Router_1 (config-if) # encapsulation dot1Q 99
```

```
Shevchenko_Router_1 (config-if) # ip address 10.25.137.177 255.255.255.240
```

```
Shevchenko_Router_1 (config-if) # no shutdown
```

Наостанок потрібно зробити налаштування безпеки порту:

```
Shevchenko_Router_3 (config) # int f0/24
```

```
Shevchenko_Router_3 (config-if) # switchport mode access
```

```
// Обмеження кількості дозволених MAC- адрес на порту
```

```
Shevchenko_Router_3 (config-if) # switchport port-security maximum 2
```

// Налаштування порту для динамічного навчання MAC-адреса та їх збереження конфігурації

```
Shevchenko_Router_3 (config-if) # switchport port-security mac-address sticky
```

// Блокування додаткових MAC-адрес при спробі підключення більше двох пристроїв, при спробі підключення відсилається повідомлення.

```
Shevchenko_Router_3 (config-if) # switchport port-security violation restrict
```

Налаштування завершено.

### 3.8 Перевірка роботи комп'ютерної системи

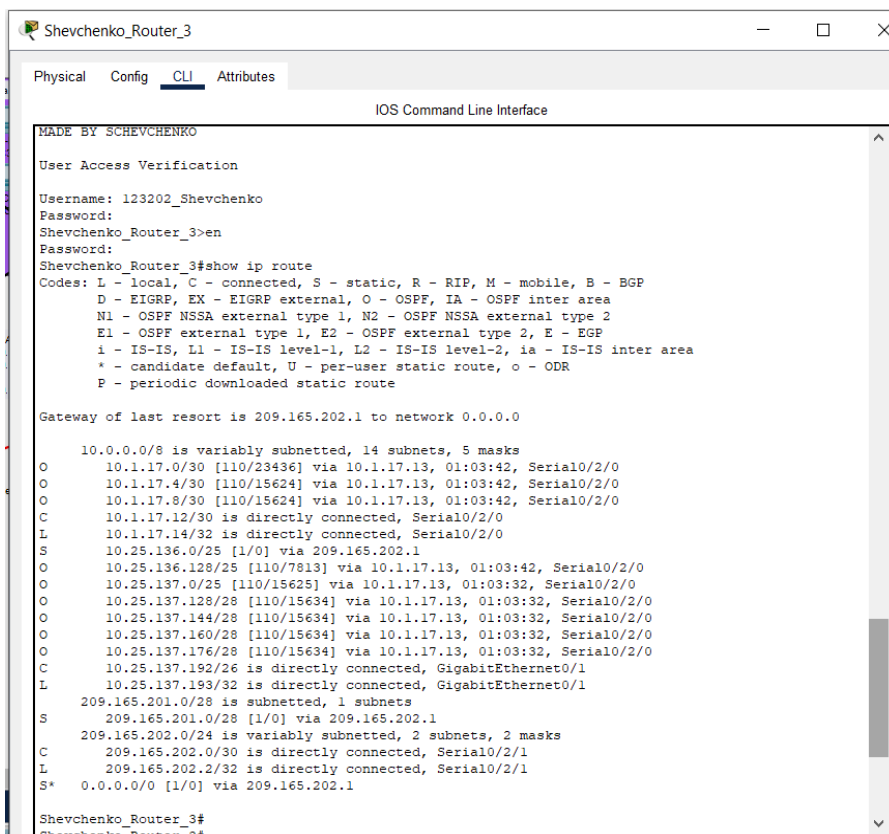
Щоб зробити перевірку сервера AAA потрібно здійснити вхід до консолі за допомогою маршрутизатора та заодно можемо виконати запит з хосту мережі до комп'ютера, що під'єднаний до ISP для перевірки NAT-трансляції. Продемонстровано на рисунку 3.3.

```
MADE BY SCHEVCHENKO
User Access Verification

Username: 123202_Shevchenko
Password:
Shevchenko_Router_3>en
Password:
Shevchenko_Router_3#conf t
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
Shevchenko_Router_3(config)#do show ip nat translation
Pro  Inside global      Inside local      Outside local      Outside global
icmp 209.165.200.6:31    10.25.137.203:31  209.165.201.5:31  209.165.201.5:31
Shevchenko_Router_3(config)#
```

Рисунок 3.3 – Трансляція NAT та перевірка сервера AAA

Тепер перевіримо таблицю маршрутизації на маршрутизаторі Shevchenko\_Router\_3. На рисунку 3.5, можемо побачити що працюють статичні маршрути та роботу протоколу OSPF.



```

Shevchenko_Router_3
Physical Config CLI Attributes
IOS Command Line Interface
MADE BY SCHEVCHENKO
User Access Verification
Username: 123202_Shevchenko
Password:
Shevchenko_Router_3>en
Password:
Shevchenko_Router_3#show ip route
Codes: L - local, C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2, E - EGP
i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, ia - IS-IS inter area
* - candidate default, U - per-user static route, o - ODR
P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is 209.165.202.1 to network 0.0.0.0

10.0.0.0/8 is variably subnetted, 14 subnets, 5 masks
O 10.1.17.0/30 [110/23436] via 10.1.17.13, 01:03:42, Serial0/2/0
O 10.1.17.4/30 [110/15624] via 10.1.17.13, 01:03:42, Serial0/2/0
O 10.1.17.8/30 [110/15624] via 10.1.17.13, 01:03:42, Serial0/2/0
C 10.1.17.12/30 is directly connected, Serial0/2/0
L 10.1.17.14/32 is directly connected, Serial0/2/0
S 10.25.136.0/25 [1/0] via 209.165.202.1
O 10.25.136.128/25 [110/7813] via 10.1.17.13, 01:03:42, Serial0/2/0
O 10.25.137.0/25 [110/15625] via 10.1.17.13, 01:03:32, Serial0/2/0
O 10.25.137.128/28 [110/15634] via 10.1.17.13, 01:03:32, Serial0/2/0
O 10.25.137.144/28 [110/15634] via 10.1.17.13, 01:03:32, Serial0/2/0
O 10.25.137.160/28 [110/15634] via 10.1.17.13, 01:03:32, Serial0/2/0
O 10.25.137.176/28 [110/15634] via 10.1.17.13, 01:03:32, Serial0/2/0
C 10.25.137.192/26 is directly connected, GigabitEthernet0/1
L 10.25.137.193/32 is directly connected, GigabitEthernet0/1
S 209.165.201.0/28 is subnetted, 1 subnets
S 209.165.201.0/28 [1/0] via 209.165.202.1
C 209.165.202.0/30 is directly connected, Serial0/2/1
L 209.165.202.2/32 is directly connected, Serial0/2/1
S* 0.0.0.0/0 [1/0] via 209.165.202.1

Shevchenko_Router_3#
  
```

Рисунок. 3.5 – Таблиця маршрутизації на Shevchenko\_Router\_3.

Перевіримо роботу Інтернету. Завдяки відправці пінга з будь-якого комп'ютера з мережі до ISP, котрий не входить до корпоративної мережі. Результат перевірки наведено на рисунку 3.6

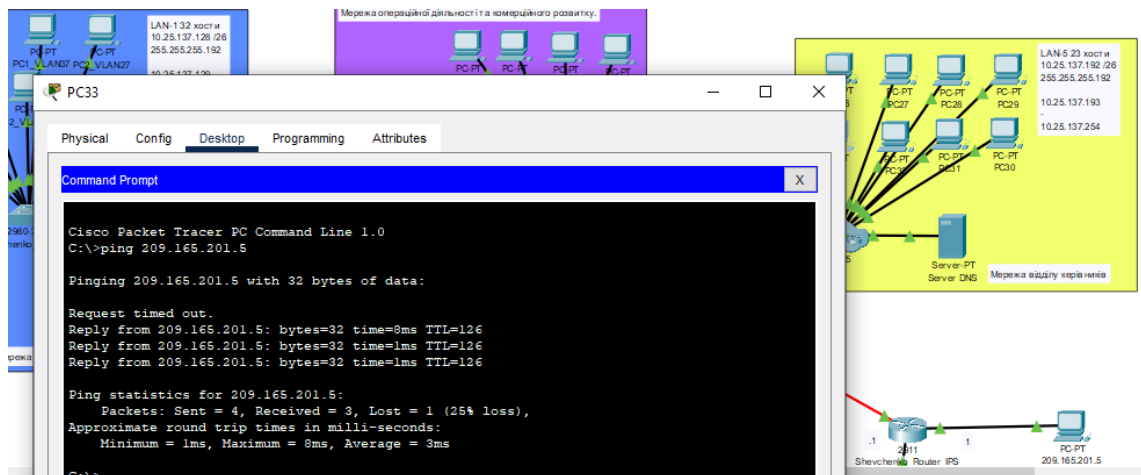


Рисунок 3.6 – Запит з мережі до Інтернету

Виконаємо перевірку протоколів HTTP та DNS. Щоб виконати перевірку потрібно в адресну строку увести адресу 123.dnipro.ua. Результат перевірки наведено у рисунку 3.7

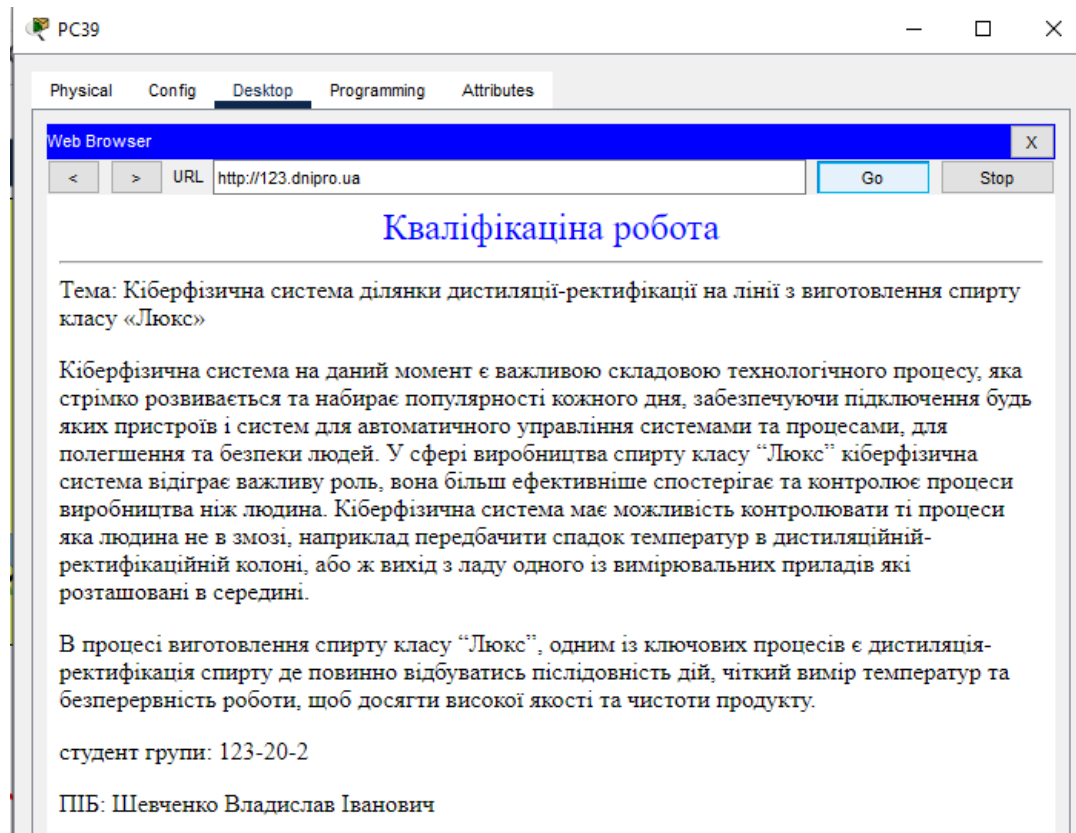


Рисунок 3.7 – Перевірка роботи протоколів HTTP та DNS

На маршрутизаторі Shevchenko\_Router\_3 виконаємо перевірку VPN-з’єднання, за допомогою команди show crypto isakmp sa. Результат перевірки продемонстровано на рисунку 3.8.

```

Username: 123202_Shevchenko
Password:
Shevchenko_Router_3>en
Password:
Shevchenko_Router_3#show crypto?
crypto
Shevchenko_Router_3#show crypto ?
  ipsec  Show IPSEC policy
  isakmp Show ISAKMP
  key    Show long term public keys
  map    Crypto maps
Shevchenko_Router_3#show crypto key ?
  mypubkey Show public keys associated with this router
Shevchenko_Router_3#show crypto isakmp sa
IPv4 Crypto ISAKMP SA
dst          src          state          conn-id slot status
64.100.13.2  209.165.202.2  QM_IDLE       1011    0 ACTIVE

IPv6 Crypto ISAKMP SA

```

Рисунок 3.8– Перевірка роботи VPN-зв’язку

Перевіримо VPN-з'єднання корпоративної мережі з віддаленою за допомогою пінгування. Продемонстровано на рисунку 3.9.

Fire	Last Status	Source	Destination	Type	Color	Time(sec)	Periodic	Num	Edit	Delete
	Successful	PC2_VLAN27	PC19	ICMP		0.000	N	0	(edit)	(delete)
	Successful	PC3_VLAN37	PC19	ICMP		0.000	N	1	(edit)	(delete)
	Successful	PC1_VLAN47	PC19	ICMP		0.000	N	2	(edit)	(delete)

Рисунок 3.9 – Перевірка VPN-з'єднання методом пінгування

Перевірка протоколу DHCP, динамічне отримання адреси для ПК. Продемонстровано на рисунку 3.10.

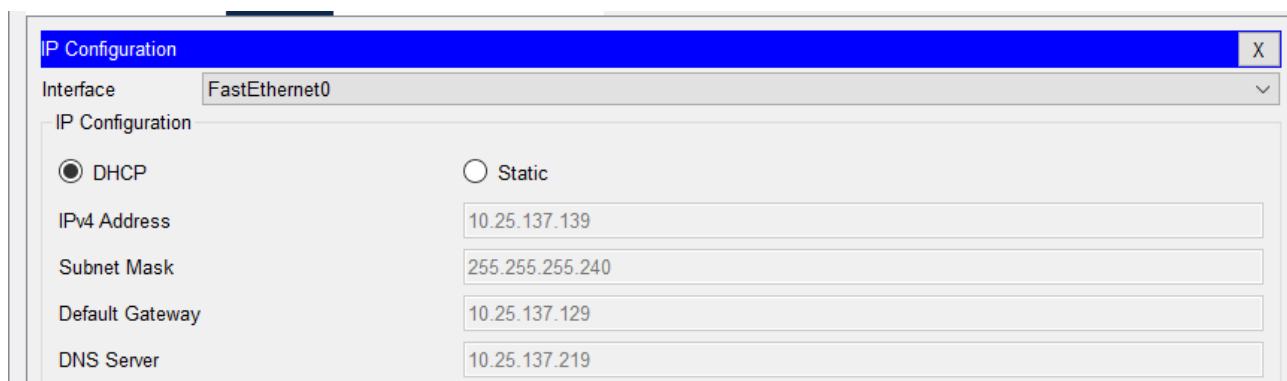


Рисунок 3.10– Перевірка роботи протоколу DHCP

Завершальною перевіркою буде здатність пристроїв із різних VLAN комунікувати один з одним. Для перевірки було використано комп'ютер що знаходиться VLAN 47 та комп'ютер що знаходиться у VLAN27 (рисунок 3.11).

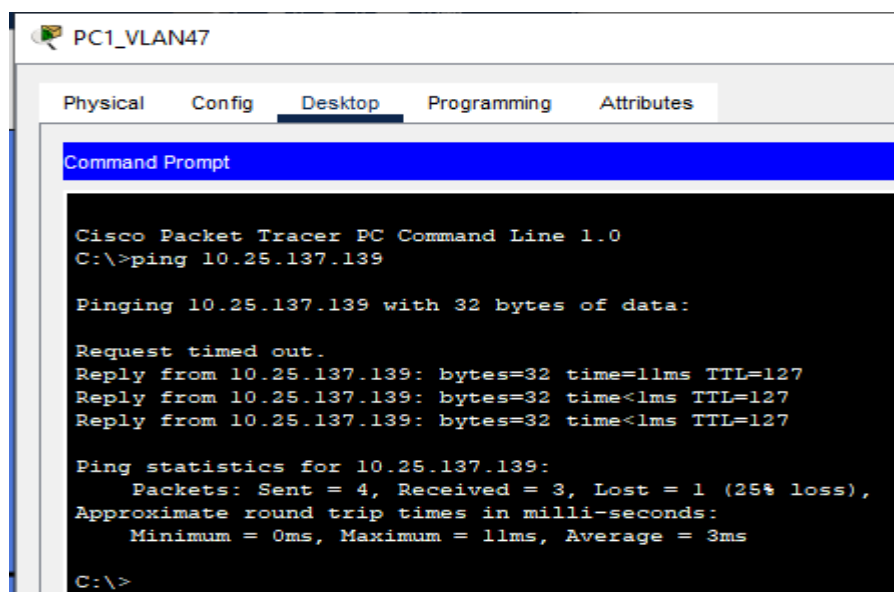


Рисунок 3.11 – Перевірка комунікації VLAN

## **4 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО МОДУЛЯ СИСТЕМИ**

### **4.1 Призначення та сфера застосування**

Програмне забезпечення використовується для контролю температур завдяки сигналам з датчиків та швидкості подачі пару, в дистиляційній-ректифікаційній колоні завдяки паровому розподільнику та ПЧ. Розробка програмного забезпечення включає в себе кіберфізичну систему керування (КФС), для контролю процесу та приладами в реальному часі. Запуск здійснюється з АРМ ДДР або за допомогою ручного режиму, натисканням кнопок на кнопкових постах.

### **4.2 Обґрунтування можливих технічних характеристик програми**

#### **4.2.1 Поставлення задач для розробки програми**

Потрібно написати програму на мові Ladder Logic (схема релейно-контактної логіки), для парового розподільника та використати математичні методи у вигляді схеми алгоритму, що продемонстровано на рисунку 4.1.

#### **4.2.2 Способи та алгоритм роботи програми**

Програма для парового розподільника, котра знаходиться в логічному контролері повинна виконувати такі функції:

- виконувати збір інформації з двох датчиків температури;
- виконувати обробку та перевірку;
- розраховувати керуючий вплив на ПЧ, насосу подачі пари;
- передавати мережі ModBus RTU керуючий вплив на ПЧ.

Програма по керуванню дистиляційною-ректифікаційною колоною, що знаходиться в ПКЛ, повинна виконувати такі функції:

Відгук програми повинен не перевищувати 20 мс, при довжині програми в близько 10 командних блоків.



### 4.2.3 Опис та обґрунтування вхідних та вихідних сигналів

Завдяки даним з таблиць в розділі 2 (Розробка апаратної частини кіберфізичної системи) маємо такі вхідні та вихідні данні для КФС ДДР:

Вхідні данні:

- сигнал термометрів опору;
- відповіді ПЧ, як введеного пристрою на запити ведучого контроллера про стан насосу;

Вихідні данні насос включити:

- звіти ПЧ, як введеного пристрою на після команд ведучого контроллера для керування насосом;

### 4.3 Розробка схеми алгоритму роботи дислятора-ректифікатора

За початок роботи програми відповідає програмний блок Startup [OB100] в якому відбувається ініціалізація порту RS485 для ModBus RTU, виконання функцій MB\_COMM\_LOAD з параметрами EN, REQ, PORT, BAUD, MB\_DB:

- EN – увімкнення функціонального блоку;
- REQ – запит на виконання;
- PORT – порт комунікації;
- BOUD – швидкість передачі даних;
- MB\_DB – база даних для ModBus.

Перевірка статусу ініціалізації (%DB1), якщо статус “DONE”, переходом до програмного блоку Main (OB1), якщо “ERROR”, то повторюєм, поки не перетвориться

Основний цикл виконується програмним блоком Main (OB1) який виконує конвертацію температури (%FC1) та регулювання температури шляхом впливу на ПЧ насосу подачі теплоносія (%FB1), при не спрацюванні ПЧ процес зупиняється.

Наступним виконується зчитування даних з ПЧ (%DB2) за допомогою функції “MB\_MASTER\_DB” та запис до ПЧ %DB4 завдяки функції “MB\_MASTER\_DB\_1”.

Цей процес продемонстровано на рисунку 4.1.

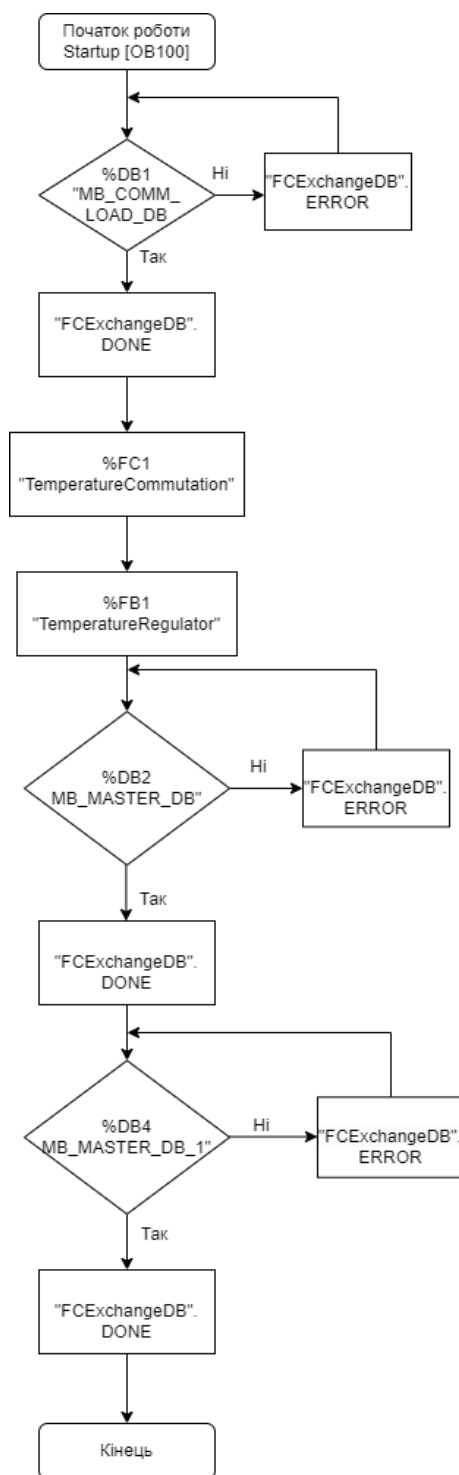


Рисунок 4.1 – Схема алгоритму роботи КФС

#### 4.3.1 Опис вибору та обґрунтування програмних та технічних засобів

Використання модулів та контролерів серії S7-1200. Написано мовою програмування LAD для логічних контролерів PLC SIMATIC. Розроблено в

середовищі Siemens TIA Portal, у версії програми V.14, створеної для операційної системи Windows 10.

### **4.3.2 Загальні відомості розробки**

Щоб встановити програму на контроллер потрібно середовище Siemens TIA Portal версії V.14. Програма встановлюється лише раз, у встановленні програми декілька раз немає сенсу, тому що данні зберігаються в пам'яті контроллера. Щоб використовувати програму потрібен вбудований інтерпретатор S7-1215C. Щоб запустити достатньо включити в мережу.

#### **4.3.2.1 Функціональне призначення програми**

Дана програма самостійно регулює швидкість подачі пари. Реалізує точний вимір температур в дистиляційній-ректифікаційній колоні.

Програма має можливість самостійно виконувати роботу циклу без допомоги АРМ або запустити технологічний цикл КФС.

Програма не має можливості вести загальний протокол процесу.

Програма не керує каналом зв'язку с АРМ ДДР.

#### **4.3.2.2 Опис логічної структури**

Дана програма зберігається в оперативній пам'яті контроллера SIMATIC S7-1215C, в якій використовуються програмні блоки, таблиці тегів Startup[B100], Main [DB1], ModBusExchange [DB123], TemperatureCommutation [FC1], TemperatureRegulator [FB1], TemperatureRegulator\_DB [DB6]

Програмні блоки:

- Startup [OB100];
- Main [OB1];
- ModBusExchange [OB123];
- TemperatureCommutation [FC1];
- TemperatureRegulator [FB1];
- TemperatureRegulator\_DB [DB6].

Таблиця тегів ПЛК з назвою Default tag table та таблиця властивостей FCEXchangeDB [DB3].

Програмний блок Startup [OB100], відповідає за реалізацію керуванням, ініціалізацію порту RS485 для ModBus RTU, перевірку статусу ініціалізації у разі виникнення помилки, спроба повторюється.

Програмний блок Main [OB1], здійснює перетворення сигналів з датчиків температури для подальшої обробки, виконує дії для контролювання та регулювання температури в заданому діапазоні.

Блок ModBusExchange [OB123], відповідає за зчитування даних з пристроїв, які під'єданні через ModBus RTU, також виконує запис даних та відсилає данні до ModBus RTU.

Блоки TemperatureCommutation [FC1], TemperatureRegulator [FB1] та блок TemperatureRegulator\_DB [DB6], виконують зчитування даних з датчиків температури, перетворення даних у необхідний для роботи формат даних та застосовують алгоритми для керування та підтримки необхідної температури.

Таблиця тегів ПЛК тегів виконує такі функціональні призначення як:

- налаштування та використання тегів для ідентифікації різних параметрів системи;
- опис основних параметрів та їх зазначення для забезпечення чіткої роботи системи.

Таблиця властивостей FCEXchangeDB [DB3], виконує зчитування даних та обробку даних з ПЧ.

#### **4.3.2.3 Задіяні технічні пристрої або засоби**

Щоб програма працювала успішно та здійснювалися всі процеси при виготовленні спиртру класу “Люкс”, потрібно: програмований котроллер серії серії SIMATIC S7-1200, CPU 1215C – 1 шт; модуль дискретного введення-виводу SM 1223 – 1 шт; модуль аналогового введення SM 1231 – 1 шт; комунікаційна системна плата CB 1241 RS485 – 1 шт; маршрутизатор Siemens SCALANCE S615

– 1 шт; частотний перетворювач SINAMICS V20 – 2 шт; та останнім буде блок живлення SIEMENS 24В, 2,5 А.

#### **4.3.2.4 Виклик програми та її завантаження**

Запуск програми здійснюється при підключенні контролера Simatic S7–1215C до мережі. При запуску програми спочатку відгружаються данні функціональних блоків та таблиць, в оперативну пам'ять до контролера із НМІ-панелі, де дані зберігаються весь час та під час експлуатації КФС ДДР , передача даних здійснюється завдяки інтерфейсу Ethernet.

## ВИСНОВКИ

Ця робота присвячена розробці кіберфізичної системи ділянки дистиляції-ректифікації на лінії з виготовленням спирту класу «Люкс». Вона призначена для поєднання новітніх технологій кіберфізичної системи з традиційними процесами виробництва спирту класу «Люкс», за для підвищення ефективності та якості продукції.

Система дозволяє точно контролювати параметри процесу, а також здійснювати моніторинг і аналіз даних у режимі реального часу, сприяючи оптимальній роботі системи та мінімізуючи втрати сировини.

Впровадження цієї кіберфізичної системи відкриває нові перспективи для індустрії преміального алкоголю та підвищує надійність і стабільність процесу.

Загальний висновок полягає в тому, що розроблена кіберфізична система є ефективним рішенням для оптимізації процесу дистиляційної RECTИФІКАЦІЇ для виробництва спиртів класу «Люкс».

Згідно до вимог кваліфікаційної роботи, проведення аналізу процесів та методів керування об'єкта провадження, виконано в повному обсязі.

Проведення аналізу потенційних входів і виходів для контролю і керування об'єкта впровадження, проведено обґрунтування вибору апаратних засобів та розробка структурної схеми комплексу технічних засобів кіберфізичної системи, виконано в повному обсязі.

У рамках вимог до кваліфікаційної роботи, на основі топологічного розміщення і схеми організаційної структури, розроблено корпоративну мережу згідно до завдання, у повному обсязі.

Згідно вимог до кваліфікаційної роботи, розроблено модуль кіберфізичної системи по керуванню ділянки дистиляції-ректифікації на лініях з виготовлення спирту класу «Люкс», виконано в повному обсязі.

Достигнута мета кваліфікаційної роботи по розробці кіберфізичної системи керування процесом дистиляції-ректифікації на лінії з виготовлення спирту класу «Люкс».

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. З чого виробляють спирт класу “Люкс” [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <http://opal.net.ua/z-chogo-roblyat-spyrt-lyuks-klasu/>
2. Півтора століття традицій Nemiroff [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://www.nemiroff.vodka/about-us>
3. Nemiroff. Ім'я, що прославило країну, або Історія української горілки [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: [https://lb.ua/economics/2017/09/05/375571\\_nemiroff\\_imya\\_proslavivshee\\_stranu.html](https://lb.ua/economics/2017/09/05/375571_nemiroff_imya_proslavivshee_stranu.html)
4. Юридична адреса Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://www.ua-region.com.ua/30805594>
5. Спиртова та біоетанольна промисловість [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://organika-engineering.com/nashi-zamovniki/industry>
6. Організаційна структура підприємства [Електронний ресурс]– Режим доступу:URL: [https://pidru4niki.com/16070305/ekonomika/organizatsiyna\\_struktura\\_pidpriyemstva](https://pidru4niki.com/16070305/ekonomika/organizatsiyna_struktura_pidpriyemstva)
7. Прилади для дистиляції-ректифікації [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://utc.bio/category/oborudovanye-4/>
8. З чого виготовляють спирт ректифікований Люкс [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://firtka.if.ua/blog/view/z-chogo-vigotovliaiut-spyrt-rektifikovanii-liuks>
9. Дистиляція-ректифікація: вибір методу обробки алкоголю [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://aquagradus.com/uk/distillyaciya-vs-rectifikaciya-vybor-metoda-obrabotki-alkogolya>
10. Перегонка бражки та ректифікація спирту [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://bts.net.ua/ua/news/peregonka-brazhki-i-rectifikatsiya-spirta-ua/>
11. Ректифікаційна колона [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://bts.net.ua/ua/column/column2/>

12. Схема ректифікаційної колони та опис [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL:

[https://elearning.sumdu.edu.ua/free\\_content/lectured:a431440315da9066760766d0c931a08acfc9ca64/latest/316645/index.html](https://elearning.sumdu.edu.ua/free_content/lectured:a431440315da9066760766d0c931a08acfc9ca64/latest/316645/index.html)

13. Датчик температури [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://elemag.dp.ua/ua/p1928093769-pt100-metra-platinovyj.html>

14. Датчик рівня [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://aqteck.com.ua/ua/datchyky/pdu-odnorivnevi-poplavkovi-datchyky>

15. Електромагнітний клапан [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://goodmax.com.ua/uk/ru/product/elektromagnitnyj-klapan-dlya-polivagevax-dn-150-flantsevyj-ge-n150-f-05-10-bar-nc>

16. Насос [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://nasosplus.com.ua/ua/wilo-top-sd-80-20-dm-pn10-tsirkulyatsionnyy-nasos/>

17. Контакттор [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://meanwell.kiev.ua/ua/p9108721-3rt2015-1ap01-kontaktor.html>

18. Індуктивний датчик [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://arduino.ua/prod1426-indyktivnii-datchik-priblijeniya-lj12a3-4-zbx>

19. Waveshare Modbus RTU Relay [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://evo.net.ua/waveshare-modbus-rtu-relay-16ch-24921/>

20. Частотний перетворювач [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: [https://privod.kiev.ua/ua/preobrazovatel\\_chastoty\\_sinamics\\_v20\\_3\\_kv\\_220v\\_6\\_sl3210-5bb23-0uv1](https://privod.kiev.ua/ua/preobrazovatel_chastoty_sinamics_v20_3_kv_220v_6_sl3210-5bb23-0uv1)

21. Які переваги та недоліки інтелектуальне реле [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://www.otomasyonavm.com/en/what-are-the-advantages-and-disadvantages-of-smart-relays>

22. Переваги та недоліки ПЛК [Електронний ресурс] – Режим доступу : URL: <https://automationcommunity.com/advantages-and-disadvantages-of-plc/>

23. Дезінфікуючий засіб [Електронний ресурс] – Режим доступу : URL: <https://agrovet.com.ua/ru/product/vinsept-zhidkost/#:~:text=Вінсепт>



24. Система заземлення [Електронний ресурс] – Режим доступу : URL: <https://energyall.com.ua/sistemy-zazemleniya-tn-s-tn-c-tnc-s-tt-it/>

25. Програмований контролер CPU 1215C [Електронний ресурс] – Режим доступу : URL: <https://eleksun.com.ua/uk/6es7215-1ag40-0xb0-programmiruemyy-kontroller-serii-simatic-s7-1200-cpu-1215c24v-14-di24v-10.html>

26. Модуль дискретного введення-виводу SM 1223 [Електронний ресурс] – Режим доступу : URL: <https://eleksun.com.ua/uk/6es7223-1bl32-0xb0-modul-diskretnogo-vvoda-vyvoda-serii-simatic-s7-1200-sm-1223-16di16do-16di24-v>

27. Модуль аналогового введення SM 1231 [Електронний ресурс] – Режим доступу : URL: <https://eleksun.com.ua/uk/6es7231-5pd32-0xb0-modul-analogovogo-vvoda-serii-simatic-s7-1200-sm-1231-rtd-4-x-ai-rtd-4-kanalnyy>

28. Комунікаційна системна плата CB 1241 RS485 [Електронний ресурс] – Режим доступу : URL: <https://eleksun.com.ua/uk/6es7241-1ch30-1xb0-kommunikacionnaya-sistemnaya-plata-serii-simatic-s7-1200-cb-1241-rs485-vintovoe>

29. Панель оператора KTP900 PN Basic, серія SIMATIC HMI [Електронний ресурс] – Режим доступу : URL: <https://eleksun.com.ua/uk/6av2123-2jb03-0ax0-panel-operatora-ktp900-pn-basic-seriya-simatic-hmi-siemens.html>

30. Маршрутизатор Siemens 6GK5615 [Електронний ресурс] – Режим доступу : URL: <https://iqelectro.com/products/6gk5615-0aa00-2aa2-siemens-lan-router>

31. Блок живлення SIEMENS 24В, 2,5 А 6EP1332-2BA20 [Електронний ресурс] – Режим доступу : URL: <https://meanwell.kiev.ua/ua/p1484880720-6ep3332-7sb00-0ax0.html>

## Додаток А

Текст програми кіберфізичної системи керування дистиляцією-ректифікацією

**Міністерство освіти і науки України**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**“ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”**

**ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ**  
**РОЗРОБКА КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ**  
**ДИСТИЛЯЦІЄЮ-РЕКТИФІКАЦІЄЮ**

Текст програми

804.02070743.24017-01 12 01

Листів

## АНОТАЦІЯ

Дана програма містить в собі данні по розробці кіберфізичної системи керування процесом дистиляції-ректифікації по виробленню спирту класу “Люкс”.

Текст програми написано мовою LAD для ПЛК SIMATIC, відлагодження та застосування в середовищі Siemens TIA Portal V.14.

## ЗМІСТ ДОДАТКІВ

1. Програмний блок Startup [OB100]
2. Програмний блок Main [OB1]
3. Програмний блок ModBusExchange [OB123]
4. Програмний блок TemperatureCommutation [FC1]
5. Програмний блок TemperatureRegulator [FB1]
6. Програмний блок TemperatureRegulator\_DB [DB6]
7. Таблиця ПЛК тегів Default tag table
8. Таблиця властивостей FCExchangeDB [DB3]