

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»  
Факультет енергетики та інформаційних технологій  
Кафедра електротехніки, електромеханіки і електротехнологій

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

### РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ КОМПЛЕКСУ АВТОМАТИКИ ТА ЗАХИСТУ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ У СИСТЕМІ ВИРОБНИЦТВА ОЛІЇ

Виконав:

здобувач вищої освіти денної форми  
навчання освітнього ступеня «Магістр»,  
освітньо-професійної програми  
«Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка» спеціальності 141  
«Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка»

\_\_\_\_\_ Богдан ГРЕЧУХ

Керівник: канд. техн. наук, доцент

\_\_\_\_\_ Ігор ГАРАСІМЧУК

Оцінка захисту:

Національна шкала \_\_\_\_\_

Кількість балів \_\_\_\_\_ Шкала ECTS \_\_\_\_\_

Допускається до захисту:

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

Гарант освітньої програми

«Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка»  
спеціальності 141 «Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка»

кандидат технічних наук, доцент \_\_\_\_\_ Павло ПОТАПСЬКИЙ

м. Кам'янець-Подільський, 2025р.

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра викладена на 76 сторінках, містить 36 ілюстрацій, 16 таблиць та перелік використаних джерел із 23 найменувань.

Метою роботи є підвищення ефективності та екологічності процесу дезодорації соняшникової олії шляхом розробки підсистеми автоматичного керування температурним режимом з використанням сучасних технічних засобів.

У процесі виконання роботи застосовано методи аналітичного дослідження технологічного процесу, метод активного експерименту для ідентифікації об'єкта керування та математичне моделювання у середовищі MATLAB/Simulink; вимірювання параметрів реалізовано на базі датчиків ТЄРА ТЖК-У-1-5-І-І (діапазон  $-40...375$  °С, клас точності 1) та контролера VIPA 214-2BS33.

Отримано адекватну математичну модель об'єкта керування (достовірність 99,99%), розроблено структурну та принципову схеми системи автоматизації, впровадження якої дозволяє стабілізувати температуру олії в межах  $220-230$  °С, ліквідувати жировмісні стоки та суттєво зменшити споживання води, що має значну цінність для модернізації олійно-жирових підприємств.

Результати роботи рекомендовано використовувати при проектуванні нових або реконструкції існуючих цехів рафінації та дезодорації олії для забезпечення автоматизованого контролю технологічних параметрів.

Можливим напрямом продовження досліджень є розширення функціоналу системи для контролю суміжних параметрів (тиску, вакууму) та її повна інтеграція в єдину інформаційну мережу підприємства.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** АВТОМАТИЗАЦІЯ, ДЕЗОДОРАЦІЯ, ТЕМПЕРАТУРНИЙ РЕЖИМ, СОНЯШНИКОВА ОЛІЯ, МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ПРОГРАМОВАНІЙ ЛОГІЧНИЙ КОНТРОЛЕР, ДАТЧИК ТЕМПЕРАТУРИ, SIMULINK, SCADA-СИСТЕМА.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
<b>РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СИТУАЦІЇ В ПРОМИСЛОВОСТІ ТА</b>	
<b>ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ .....</b>	<b>10</b>
1.1. Сектор Промисловості .....	10
1.2 Технологічний цикл .....	17
1.2.1 Короткий опис головного обладнання .....	18
1.2.1.1 Дезодоратор.....	18
1.2.1.2 Збірник для краплеуловлювача з приймачем конденсату.....	19
1.2.1.3 Пароструменевий вакуумний насос (ПВН) .....	20
1.2.1.4 Секція рекуперації тепла та охолодження для дезодорованої олії .....	22
1.2.1.5 Випарний апарат.....	23
1.3 Об'єкт управління .....	25
1.4 Ключові характеристики об'єкта регулювання .....	28
1.4.1 Структура об'єкту управління .....	30
1.4.2 Принцип функціонування об'єкту управління.....	30
<b>РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА АПАРАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ</b>	
<b>УПРАВЛІННЯ.....</b>	<b>32</b>
2.1 Розробка структурної схеми підсистеми управління .....	32
2.2 Підбір елементів апаратної складової системи регулювання.....	34
2.2.1 Визначення первинних вимірювальних пристроїв .....	34
2.2.2 Вибір обладнання для керування.....	38
2.2.3 Підбір електроживлення .....	45

2.3 Розробка структурної схеми системи автоматичного керування.....	47
РОЗДІЛ 3 ПРОЄКТУВАННЯ ОБ'ЄКТУ КЕРУВАННЯ .....	50
3.1 Створення схеми потоків інформації у системі дослідження .....	50
3.2 Складання плану дослідження об'єкта керування .....	51
3.3 Проведення перевірки .....	53
3.4 Формування математичного базису керованого об'єкта за допомогою Simulink .....	59
РОЗДІЛ 4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ.....	62
4.1 Визначення загальної вартості автоматизованої системи управління процесом виробництва олії соняшникової. ....	62
4.1.1 Матеріальні елементи та закуплені складові.....	63
4.1.2 Витрати на загальноцехові потреби. ....	63
4.1.3 Адміністративні витрати. ....	64
4.2.Визначення кошторису системи автоматизації управління процесом виготовлення соняшникової олії .....	65
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	67
5.1 Аналіз шкідливих факторів.....	67
5.2 Заходи щодо електробезпеки .....	69
5.3 Заходи з попередження займань .....	73
ВИСНОВКИ .....	75
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	77

## ВСТУП

Рослинні олії становлять надзвичайно важливий складник раціону харчування. Їхня харчова цінність визначається значною присутністю у складі тригліцеридів, що утворені вищими жирними кислотами, а також наявністю фосфатидів, стеринів та токоферолів.

Виробництво олійних культур з насіння на теренах України є суттєвим сегментом агропромислового комплексу, який поєднує постачальників первинної сировини та заводи з виробництва жирів. По суті, цей сектор зосереджений на випуску соняшникової олії та продуктів на її основі. Серед усіх олійних рослин, що вирощуються в Україні, соняшник посідає абсолютне домінування, складаючи більше дев'яти десятих усього збору, а його частка у загальній посівній площі сягає мінімум однієї десятої.

Насіння соняшнику, будучи вельми ліквідним товаром, тривалий час слугувало основою для комерційних розрахунків у сільськогосподарських підприємствах. Враховуючи це, збільшення посівних площ культури є абсолютно виправданим кроком. Соняшник вважається високоприбутковою культурою, здатність забезпечити рентабельність якої сягає 89 відсотків. Його вирощування меншою мірою залежить від погодних умов, хоча надмірна кількість опадів у літній період неминуче тягне за собою зниження вмісту жиру у насінні. Якщо наприкінці вісімдесятих років минулого сторіччя врожайність цієї культури у нашій країні корелювала з європейськими показниками, то наразі ми відзначаємо щорічне падіння у середньому на сім відсотків. Цьому є дві головні причини: нехтування агротехнічними вимогами та погіршення стану ґрунтів (що є прямим наслідком першого фактору).

Аграрії, працюючи автономно в умовах ринку, нерідко сіють соняшник, ігноруючи будь-які технологічні регламенти. Цю культуру дозволено повертати на те саме поле лише після інтервалу у шість-сім років. Останнім часом якість урожаю соняшнику помітно знизилася. Це значною

мірою пов'язано з фінансовими обмеженнями, які мають агровиробники. Застосування добрив скоротилося багаторазово, і сьогодні врожайність забезпечується практично виключно природним потенціалом ґрунту.

У споживанні рослинних жирів в Україні соняшникова олія посідає перше місце; вона є ключовим продуктом харчування для населення, а також сировиною для виготовлення різноманітної продукції (наприклад, майонезів чи консервованої продукції). Варто підкреслити: дев'ять з десяти громадян України віддають перевагу саме соняшниковій олії. Ще з радянських часів значна частина населення звикла до нерафінованого продукту жовтого, майже помаранчевого відтінку, з характерним ароматом смаженого насіння. Ця традиція закріплена і в українському державному стандарті (ДСТУ), який істотно відрізняється від загальносвітових норм: ключові параметри — кислотне та пероксидне числа — в Україні завищені у кілька разів.

Нині мешканці великих міст частіше обирають рафіновану олію, позбавлену яскравого смаку та аромату. У регіонах з меншою купівельною спроможністю більшої популярності набула нерафінована, тобто неочищена олія, отримана з насіння соняшнику, яку виробляють місцеві підприємства. Пояснення прихильності до нерафінованої олії у провінції цілком очевидне — її цінова доступність.

Основний канал збуту рослинних жирів — це промисловий сектор; друге місце займає роздрібна торгівля, а третє — сектор громадського харчування (готелі, ресторани, кафе). Промислові підприємства використовують значні обсяги соєвого, пальмового, кокосового та ріпакового жирів. Роздрібна мережа переважно пропонує оливкову та соняшкову олії.

Соняшникова олія зберігає статус домінуючого типу жирів на українському ринку, забезпечуючи близько сімдесяти відсотків загального обсягу реалізації; пальмова олія займає другу позицію, охоплюючи приблизно двадцять відсотків сумарних продажів. Усі інші різновиди рослинних олій разом узяті контролюють десятку частину ринку.

Виняткові кліматичні умови України дозволяють успішно культивувати соняшник практично по всій території країни (за винятком Волинської, Львівської та Рівненської областей). Проте, найбільш сприятливою визнається територія степової зони, яка включає АР Крим, Херсонську, Одеську, Запорізьку, Миколаївську, Луганську, Донецьку, Дніпропетровську та Кіровоградську області. Соняшнику необхідна певна кількість сонячних днів протягом року, щоб забезпечити ензиматичний процес формування жирів у насінні.

Українська масложирова індустрія представлена підприємствами, що входять до асоціації "Укроліяпром", а також великими міжнародними холдингами, такими як "Каргілл", "Топфер", "Сантрейд", "КМТ", "Бунге". Усі вони функціонують на базі налагоджених українських переробних потужностей.

#### Актуальність теми

Виробництво олійних культур, зокрема соняшнику, є критично важливим сегментом агропромислового комплексу України, де соняшник займає домінуючу позицію. Соняшникова олія залишається основним продуктом споживання жирів в Україні та важливою експортною сировиною. Проте останнім часом спостерігається зниження якості врожаю та, як наслідок, кінцевого продукту через застарілі технології та виснаження ґрунтів.

Враховуючи, що українські стандарти (ДСТУ) щодо окислення олії відрізняються від світових у бік завищення допустимих норм, а споживачі все частіше обирають рафіновану продукцію, виникає нагальна потреба у модернізації процесів очищення, зокрема дезодорації. Дезодорація є енергоємним процесом, що вимагає точного контролю температурних режимів для забезпечення високої якості та екологічної безпеки. Автоматизація цього процесу дозволяє підвищити пропускну здатність лінії, зменшити споживання води та ліквідувати жировмісні стоки, що робить тему дослідження актуальною з технічної, економічної та екологічної точок зору.

Метою роботи є підвищення ефективності процесу дезодорації соняшникової олії шляхом розробки підсистеми автоматичного управління температурним режимом, що забезпечить відповідність сучасним вимогам економічності та екологічної безпеки.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- Проаналізувати стан олійно-жирової промисловості України та технологічні особливості процесу дезодорації.
- Обґрунтувати вибір технічних засобів автоматизації: датчиків температури, виконавчих механізмів (клапанів, пальників) та програмованого логічного контролера (ПЛК).
- Розробити структурну схему системи автоматичного керування (САК) та схему електричну принципіву.
- Провести ідентифікацію об'єкта керування методом активного експерименту для отримання часових та статичних характеристик.
- Створити математичну модель об'єкта та виконати моделювання системи в середовищі Simulink для перевірки адекватності моделі.
- Виконати техніко-економічне обґрунтування розробки системи та розрахувати її вартість.
- Розробити заходи з охорони праці та техніки безпеки під час експлуатації системи.

Об'єктом досліджень є технологічний процес нагрівання та дезодорації рослинної олії, а саме паровий котел та теплообмінні процеси в дезодораторі, що забезпечують необхідний температурний режим (220–230 °С).

Предметом досліджень є підсистема автоматизованого управління температурою олії в дезодораторі, яка включає сукупність технічних засобів (датчики, ПЛК, виконавчі пристрої) та алгоритмів керування.

Методи досліджень

У роботі використано комплексний підхід, що включає:

- Аналітичний метод — для огляду стану промисловості, технологічних схем та вибору обладнання.
- Метод активного експерименту — для отримання розгінних характеристик об'єкта керування, дослідження реакції на східчастий та імпульсний впливи, а також для накопичення даних при псевдовипадковому впливі.
- Методи математичного моделювання — для побудови передавальної функції об'єкта та перевірки адекватності моделі з використанням програмного середовища MATLAB/Simulink.
- Розрахунковий метод — для визначення енергетичних потреб, вибору кабелів, джерел живлення та економічних показників проекту (собівартості та ціни).

## РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СИТУАЦІЇ В ПРОМИСЛОВОСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

### 1.1. Сектор Промисловості

Виробництво соняшникової рідини є процесом, що не залишає по собі жодних відходів, адже побічні продукти, які утворюються під час вичавлювання, можна знову використати для інших цілей [1]. Після етапу екстракції лишається майже повністю знежирений шрот та олійні залишки, що містяться в розчиннику (місцела). Наприклад, цей шрот змішують та відправляють на ферми великої та дрібної рогатої худоби, де вичавки додають до раціону тварин як поживний компонент. Місцела ж стає сировиною для виготовлення лакофарбових матеріалів (оліфи), що застосовуються у ремонтних роботах. Крім того, макуху можна піддати повторному віджиму, отримуючи фуз — біопаливо для котельних установок.

Розглянемо типовий перелік апаратури, що використовується у схемі періодичного очищення (без стадій гідратації та заморожування). Завдяки унікальним умовам та параметрам нейтралізації, обробці піддається як олія, що пройшла гідратацію, так і негідратована.

Блок виморожування не є обов'язковим для всіх замовників і може бути поставлений як окремий компонент.

Послідовність етапів переробки олій та жирів візуалізована на рис. 1.1.

Гідратація — це процес вилучення фосфоліпідів із рослинних олій, оскільки вони схильні до осідання під час логістики та зберігання.

Нейтралізація — призначена для зв'язування та видалення вільних жирових кислот.

Відбілювання — або адсорбційне рафінування — має на меті знебарвлення олій, тобто вилучення кольорових речовин. Паралельно усуваються фосфоліпіди, білки, а також невелика кількість мила. Це необхідно для отримання світлішого продукту та підготовки до подальшої

обробки.

Дезодорація — полягає у видаленні з олій тих речовин, які надають їй запаху та смаку. Фільтрація — це процес проціджування рослинної олії.

Виморожування – або вінтеризація, полягає у зв'язуванні і виведенні воску та схожих на нього речовин. В результаті олія набуває товарного вигляду, оскільки віск при зберіганні спричиняє помітну каламутність.

Охарактеризуємо функції ключового апаратурного обладнання.

Дезодоратор — застосовується для вилучення з'єднуючих речовин, пестицидів, гербіцидів та жирних кислот.

Нейтралізатор — використовується для здійснення хемосорбційного очищення олії (це комплексний захід з видалення жирних кислот, фосфоровмісних сполук, барвників до 55% та воску до 90%), а також, коли виникає потреба, лужного нейтралізуючого впливу на олію.

Вакуумний відбілювальний апарат — призначений для реалізації процесу холодного освітлення олії, проте може бути задіяний і для гарячого відбілювання, промивання рослинної олії водою та її осушення.

Скрубер — призначений для конденсації пари летких компонентів. Цей прилад виготовляється з кислотостійкої нержавіючої сталі. Він обладнаний змішувачем, який нагрівається за допомогою насиченої водяної пари.

Кристалізатор — використовується для виконання стадії вінтеризації (заморожування) рослинної олії.

Деаератор — призначається для видалення кисню з рослинних олій. Апарат зроблений з нержавіючої сталі.

Підприємства, що спеціалізуються на олійно-жировому виробництві, можуть використовувати лише один із методів (пресування чи екстракцію) або ж застосовувати їх послідовно (рис. 1.2).

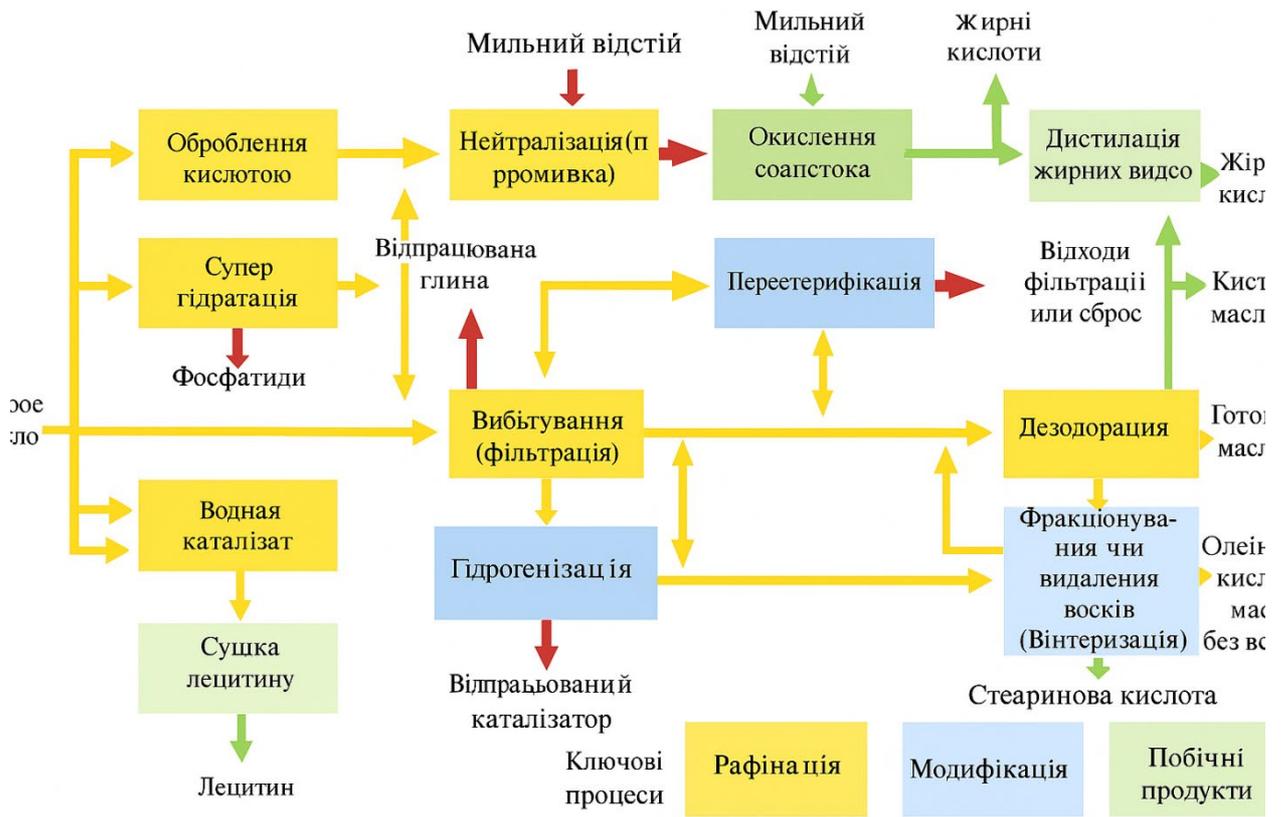


Рисунок 1.1 – Схема процесу виготовлення олії

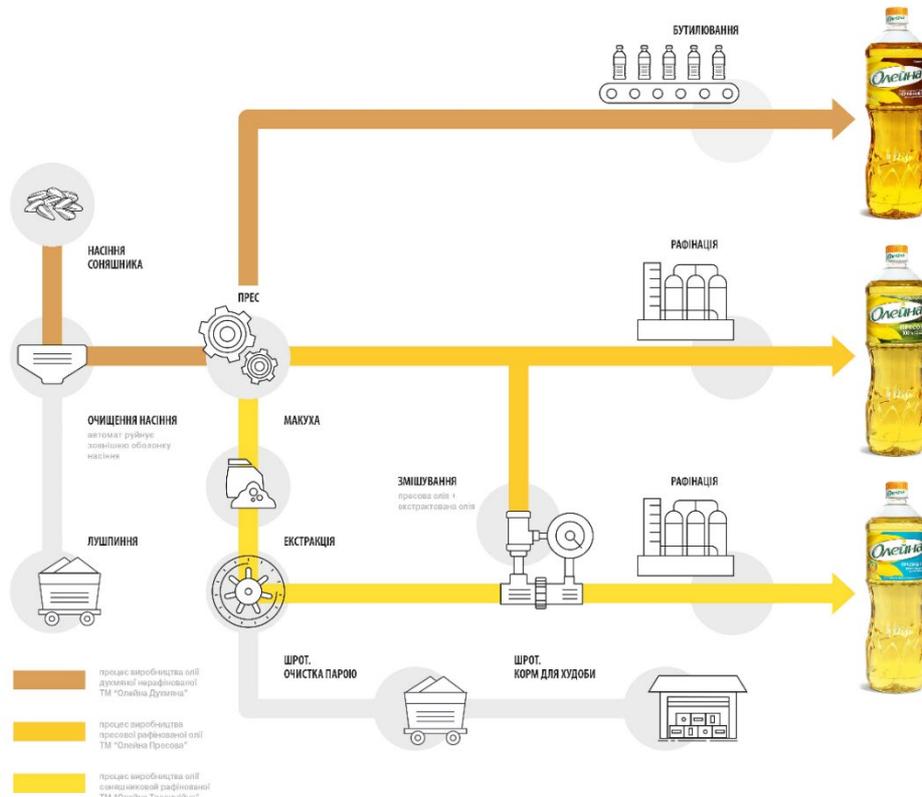


Рисунок 1.2 - Схема технології виробництва рослинної олії

Чи завжди потрібно піддавати кінцевий продукт фінальному очищенню? Зазвичай, олія, що пройшла первинне очищення (етап VI), вже може бути розлита у споживчу тару. Однак такий продукт зветься "неочищеним", адже в ньому зберігаються небажані складові, як-от білкові речовини, жирні кислоти, барвники, фосфоліпіди та воскові субстанції. Таким чином, для поліпшення якісних показників кінцевого товару додаткове фільтрування, тобто процес рафінування, стає бажаним, а час від часу — обов'язковим кроком [2]. Існують такі способи рафінування:

- фізичні методи (наприклад, відокремлення за допомогою центрифуги, методи осадження);
- хімічні методи (обробка лугом, процес гідратації);
- комбіновані (фізико-хімічні) методи (видалення запаху — дезодорація, знебарвлення — відбілювання).

На схемах 1.3 та 1.4 демонструються типові технологічні конфігурації апаратури, що використовуються для фінального очищення та видалення запахів з олій рослинного походження.

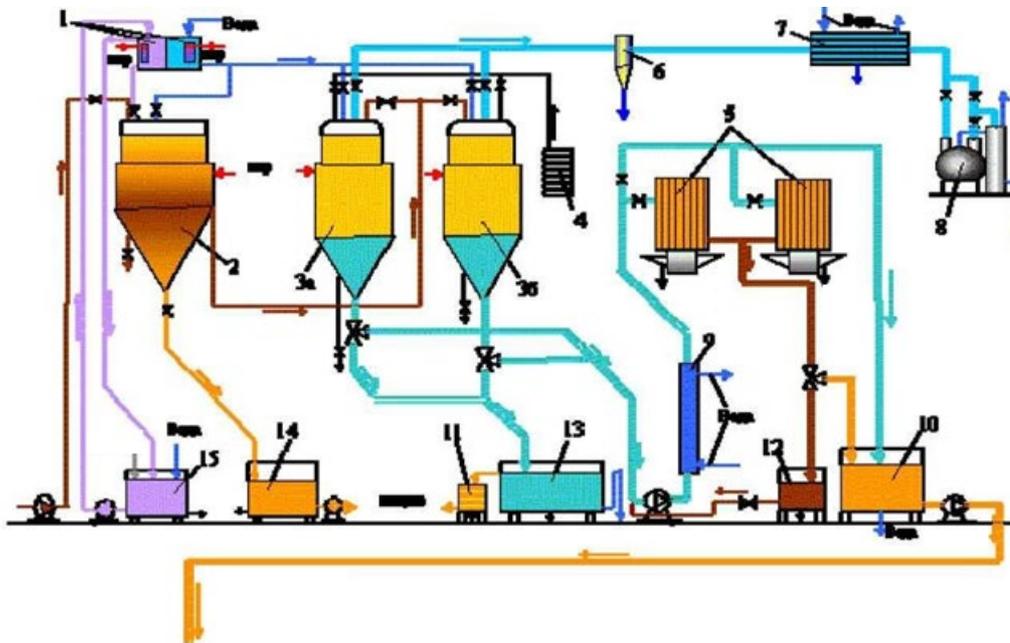


Рисунок 1.3 – Технологічна схема цеху рафінування

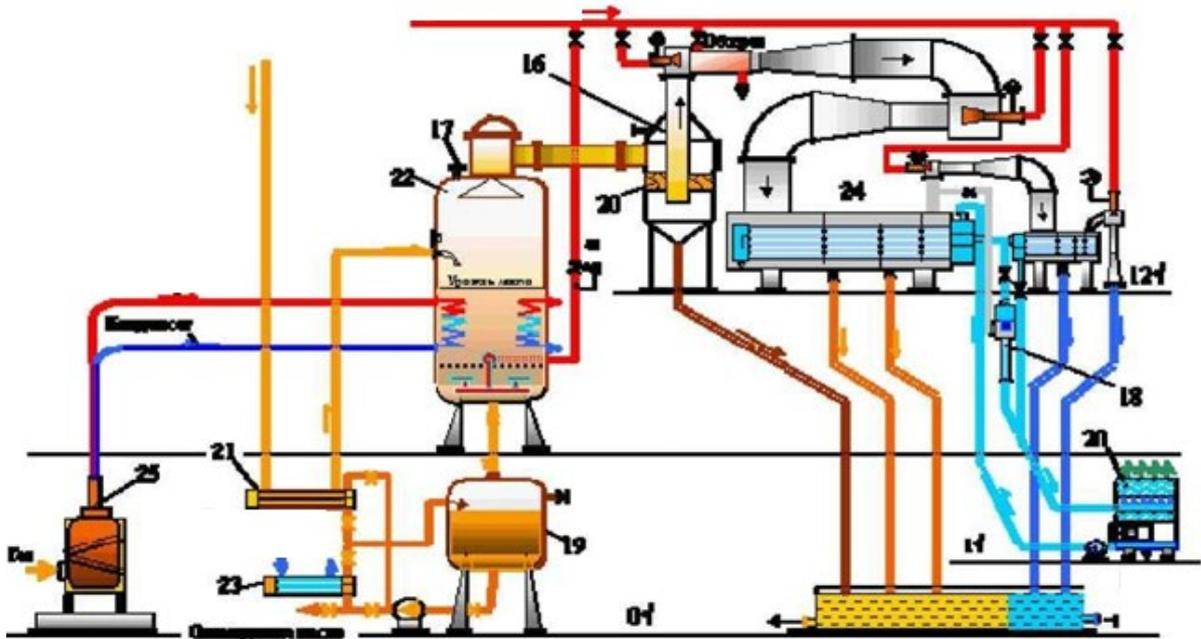


Рисунок 1.4 – Технологічна схема цеху дезодорації

- 1 - ємності для хімікатів, що використовуюються;
- 2 - блок для порційного очищення продукту;
- 3а - пристрій для зневоднення у вакуумі;
- 3б - вакуумна апаратура, призначена для промивки й відбілювання
- 4 - цистерна, наповнена адсорбентом для освітлення (відбілювальною глиною);
- 5 - пресувальний фільтр;
- 6 – система для збору крапель
- 7 - апарат для теплообміну з метою охолодження парів;
- 8 – пусковий водоструминний насос
- 9 - охолоджувальний пристрій;
- 10- бак накопичувальний;
- 11 - резервуар для збору відпрацьованого жиру;
- 12 - апарат для вилучення жиру;
- 13 - посудина із лужним розчином (луг натрію);
- 14 - показник тиску (датчик тиску);
- 15 - градирня (вежа для охолодження води);
- 16 - рекуперативний теплообмінник типу "олія-олія";

17 - апарат для видалення сторонніх запахів (дезодорації); 23 - теплообмінник "олія-вода";

18 - вузол парових ежекторів; 25 - пристрій для генерації пари

Згідно з запропонованою схемою, процес очищення буде здійснюватися у реакторі з періодичною роботою 2, тоді як етапи промивання та видалення вологи з очищеної олії реалізують у вакуумному апараті для сушіння 3а. Процес очищення сорбційним методом (відбілювання) відбувається у вакуумному апараті 3б, спеціально призначеному для промивних та відбілювальних операцій, а згодом — через фільтр-прес 5.

Найважливішим компонентом є блок дезодорації, який оснащений стандартним дезодоратором 22. Вирішальною особливістю цієї конфігурації є інтеграція в даний сегмент спеціалізованого парогенератора, що працює з використанням самопливної рециркуляції робочої рідини — води. Парогенератор 25 як енергоносіє використовує природний газ. Його робочі параметри такі: тиск пари сягає 5,0 мегапаскалів (що відповідає 50 атмосферам), а температура — 264 градуси Цельсія. Робота парогенератора підлягає автоматизованому контролю, що запобігає збоям. Тиск у системі дезодорації постійно утримується на рівні, що не перевищує 0,67 кілопаскаля (це еквівалентно 5,0 мм ртутного стовпчика), завдяки застосуванню багатоступеневого (чотири- або п'ятиступеневого) паро-ежекторного вакуумного насоса (ПЕВН) 24. Цей насос обладнаний двома поверхневими конденсаторами зі спеціальною конструкцією, яка мінімізує обсяг стічних забруднених вод. ПЕВН може бути доповнений стартовим водоструминним ефектором (ВЕ) або водокільцевим насосом (ВКН).

Для зменшення кількості спожитої води передбачається запровадження замкненої системи водопостачання, що базується на використанні високоефективних градирень 20.

Завдяки організації системи охолодження дезодоратора через циркуляцію олії, яка подається на дезодорацію (проходячи через теплообмінник 21), досягається рекуперація теплової енергії у межах 25...30 відсотків.

Щоб зменшити обсяг жировмісних стоків, у перелік апаратури внесено спеціалізовану випарну установку для їх концентрації [3]. В результаті процесу випаровування утворюється концентрат із вмістом жиру до 6 000 міліграмів на літр і конденсат, який може бути направлений для поповнення системи оборотного водопостачання або скинутий у дренажну мережу.

Для функціонування запропонованої системи необхідні виробничі площі таких розмірів:

а) цех для очищення (рафінації): площа 240 квадратних метрів, висота стелі 8 метрів;

б) цех для дезодорації: площа 140 квадратних метрів, висота стелі 8 або 12 метрів.

Потреби в енергоносіях та встановлена потужність електричних двигунів:

а) цех рафінації: максимальне споживання водяної пари під тиском до 0,3 МПа складає 2,0 тонни на годину, потреба у воді для оборотної системи — 30 кубічних метрів на годину, сукупна потужність електродвигунів — 45 кіловат;

б) цех дезодорації: потреба у парі під тиском 1,02 МПа — 1,8...2,0 тонни на годину, потреба у парі під тиском до 0,3 МПа — 0,1 тонни на годину, потреба в оборотній воді — 250 кубічних метрів на годину, потужність електродвигунів — 45 кіловат (без урахування насосних агрегатів системи рециркуляції), потреба у природному газі для парогенератора — 60 норм. кубічних метрів на годину.

Потужність гідравлічних вузлів (насосів) системи оборотного водопостачання становить 60 кіловат. Щодо жировміщаючих стоків та водопровідної води:

а) без використання випарного апарату: обсяг жировмісних стоків — 72 кубічні метри за добу (3 тонни на годину), споживання води з водопроводу, включаючи потреби для поповнення рециркуляційної системи — 144 кубічні метри за добу (6 тонн на годину);

б) із застосуванням випарної установки: обсяг жировмісних стоків — 7,2 кубічних метри, споживання води з водопроводу, включаючи потреби для поповнення рециркуляції — 80 кубічних метрів за добу (3,3 тонни на годину).

## 1.2 Технологічний цикл

У межах даної кваліфікаційної роботи детально досліджується процедура дезодорації олії рослинного походження з максимальною продуктивністю, що не перевищує 30 тонн за добу.

Всебічне вирішення технологічних завдань з отримання дезодорованої рослинної олії, яке задовольняє сучасним вимогам економічності та екологічної безпеки, має забезпечити наступні переваги:

1. Значне збільшення пропускної здатності лінії при збереженні незмінними габаритних розмірів та маси її ключових елементів;
2. Суттєве зменшення обсягів водопровідної води, що використовується;
3. Повна ліквідація формування жировмісних стічних вод.

Ці результати досягатимуться завдяки таким заходам (див. ілюстрацію 1.4):

Наявність проміжного резервуару, який водночас виступає як охолоджувальний вузол для вже дезодорованої олії, що дає можливість звільнити дезодоратор від обробленої порції для завантаження наступної, не чекаючи охолодження попередньої партії;

Інсталяція паро-ежекторного вакуумного насоса з кожухотрубними конденсаторами особливої конструкції, які підтримують циркулюючу воду

системи рециркуляції підприємства у відносно чистому стані, усуваючи необхідність у дорогому очисному оснащенні;

Використання випарного апарату для концентрації жировмісного конденсату, що надходить від паро-ежекторного вакуумного насоса (обсягом не більше 1,5 тонни на годину), а також невеликої кількості води, що забруднюється під час санітарної обробки обладнання тощо [4];

Конденсат, отриманий після стадії випарювання, подається в систему замкнутого водопостачання як рідина для поповнення, забезпечуючи таким чином економію водопровідної води, а незначна фракція висококонцентрованого жирового розчину може бути вигідно реалізована миловарним заводам.

## **1.2.1 Короткий опис головного обладнання**

### **1.2.1.1 Дезодоратор**

У цій комплектації передбачається використання надійної моделі дезодоратора Д-5, чия довговічність була не раз підтверджена [4].

Дезодоратор Д-5 є вертикальним циліндричним апаратом, який має еліптичне днище та кришку. У його центральній частині інтегровані змішувачі для нагрівання олії. У нижній частині дезодоратора розташовано колектор для подачі водяної пари, парові ежектори та перфороване днище (настил).

Як теплоносій у спіралях дезодоратора використовується перегріта водяна пара, що виробляється спеціальним котлом.

Дезодоратор, включно з усіма його вузлами, виготовлено з нержавіючої сталі або титану.

#### **Спеціальний котел (парогенератор)**

Котел моделі Е-1.5-5.0 НГ, розроблений для генерації пари високих температур, монтується нижче рівня дезодоратора на такій висоті, щоб

забезпечити самопливний рух теплоносія. Водяна пара, віддаючи тепло олії через стінки спіралей, переходить у стан конденсату та стікає назад у парогенератор. У контурі, що включає "спіралі - колектори - опускні та підйомні труби - парогенератор", теплоносій перебуває під підвищеним тиском. Ключові технічні характеристики парогенератора:

- номінальна теплова потужність, мегавати – 0,66; продуктивність по парі, тонни/год – 1,5;
- параметри пари: робочий тиск, мегапаскалі - 2.0...4.5, температура, градуси Цельсія – 211...256;
- час виходу парогенератора на робочий режим, хвилини - 45; маса котла з теплоізоляцією, тонни - 3;
- загальний ККД при номінальній потужності: 0,853...0,871.

#### **1.2.1.2 Збірник для краплеуловлювача з приймачем конденсату**

Леткі сполуки, що випаровуються, а також краплі жиру, виводяться з дезодоратора за допомогою пароструминного вакуумного насоса. На своєму шляху вони проходять через циклонний відсаджувач (краплевловлювач), який може мати систему для промивання насадки, наприклад, із застосуванням кілець Рашига. Якщо висота розташування краплевловлювача дозволяє відведення відокремленого жиру самопливом, окрема ємність для збору крапель може не знадобитися. У випадках, коли монтажна висота недостатня, слід передбачити спеціальний резервуар для крапель безпосередньо під відсаджувачем. Цей приймач потребує періодичного вакуумування перед зливом жиру, для чого його порожнина підключається до вакуумної лінії. Краплевловлювачі разом із приймачами зазвичай виготовляють зі звичайної вуглецевої конструкційної сталі марки Ст.3.

### 1.2.1.3 Пароструменевий вакуумний насос (ПВН)

На відміну від ПВН із конденсаторами змішувального типу, цей варіант ПВН оснащується апаратами трубчастого типу (кожухотрубними) особливої конструкції. Хоча експлуатація ПВН з такими конденсаторами дещо дорожча порівняно з апаратами змішувального типу, він має вагому перевагу [5]. Ця перевага полягає в тому, що охолоджувальна вода, яка циркулює в цих конденсаторах, залишається, так би мовити, чистою. Це зумовлено відсутністю прямого контакту між водою та парогазовою сумішшю, що ежектуються з дезодоратора і містить жирові частки.

Конденсація пари з парогазової суміші та одночасне теплообмін з охолоджувальною рідиною у трубчастих конденсаторах відбуваються у різних просторах: пара конденсується у міжтрубному просторі, тоді як нагрівання води відбувається всередині трубок. У результаті, забрудненню піддається лише робочий конденсат пари, що ежектуються, сумарний обсяг якого не перевищує 1,5% від загального потоку охолоджувальної води. Таким чином, замість необхідності очищення спільного обсягу охолоджувальної води та додаткового конденсату (що може перевищувати 150 т/год), як це трапляється у ПВН зі змішувальними конденсаторами, потрібно обробляти лише 1,5–2,0 т/год конденсату. Застосування ПВН зі спеціально розробленими кожухотрубними конденсаторами дає змогу уникнути будівництва дорогого флотажного цеху або ж суттєво знизити його навантаження, якщо такий підрозділ вже функціонує на об'єкті.

Корпуси ежекторів виготовляються зі сталі марки Ст.20, а форсунки – з термостійкого та зносостійкого металопластику. Обечайки конденсаторів робляться зі сталі Ст.3, а трубні пучки – з нержавіючої сталі або сталі Ст.20. Постачання ПВН здійснюється у зборі на спеціальному каркасі разом із паровим колектором.

У Таблиці 1.1 наведено обсяги робочої пари та охолоджувальної води, необхідні для роботи ПВН при різних тисках робочої пари. Базовими

параметрами, використаними для розрахунків, були такі:

кількість послідовних ступенів підвищення тиску – 4;

ежектоване середовище: тиск – 3,0 мм рт. ст. (4,08 кПа), температура – 220° С, потік пари – 110 кг/год, обсяг незгущуваних газів – 15 кг/год;

робоче середовище – водяна пара, температура якої приблизно на 10° С вища за температуру насичення, що встановлюється відповідним тиском; перший конденсатор на шляху ежектованого середовища монтується після електродвигуна другого ступеня;

коефіцієнт конденсації пари у конденсаторах – 95%; максимальна температура води на вході до насоса – 30,0° С;

температурний перепад (дельта Т) на вході в головний конденсатор має становити мінімум 8,0° С, що при тиску ежектованого середовища (3,0 мм рт. ст. або 4,08 кПа) на вході до насоса фактично визначає загальне співвідношення підвищення його тиску у перших двох ступенях насоса  $[(P_c) 2 / (P_n) 1] = 70 / 4,08 = 14,3$ ;

тиск парогазової суміші на виході з насоса – 0,107 МПа.

Таким чином, тиск робочої пари, що подається на ежектор, має незначний вплив на її споживання: зниження тиску пари вдвічі веде до зростання її витрати лише на 23%, що спричиняє відповідне мінімальне збільшення потреби в оборотній воді. Наведені обсяги пари та води розраховані для оптимальних габаритів апарату при кожному значенні робочого тиску пари.

Для оцінки впливу температури робочої пари були проведені розрахунки ПВН для двох значень цієї температури при ідентичному тиску робочої пари (виділено курсивом у таблиці). Як виявилось, підвищення температури пари на 60° С при незмінному тиску (1,02 МПа) призвело до зменшення загальної потреби пари для ПВН на 7 %.

Таблиця 1.1 - Потреба в робочій парі та охолоджувальній воді для ПВН при різних тисках робочої пари

Тиск робочої пари, МПа	Температура робочої пари, °С	Витрата пари, кг/ч			Витрата оборотної води, т/ч
		на перші два ступені	на останні два ступені	сумарний на блок	
1.02	190	1520	400	1920	175
0.92	185	1550	420	1970	178
0.82	180	1580	457	2037	182
0.71	175	1620	484	2104	186
0.61	170	1668	547	2215	192
0.51	165	1730	635	2365	199
1.02	250	1421	367	1788	164

Слід зауважити, що ЕПО (Ежекторне Підвищення Атмосфери) із п'ятьма стадіями підйому тиску є більш економічно вигідними, бо їхнє споживання робочої пари є приблизно на 10–15 % меншим, ніж у ЕПО з чотирма щаблями.

#### 1.2.1.4 Секція рекуперації тепла та охолодження для дезодорованої олії

Олія, що пройшла дезодорацію, самопливом спрямовується до проміжної посудини, яка розміщена нижче дезодоратора і підтримується під вакуумом, подібно до самого дезодоратора [6]. Наявність такої допоміжної ємності дозволяє суттєво наростити пропускну здатність технологічного конвеєра, оскільки обробку свіжої партії олії в дезодораторі можна здійснювати паралельно з охолодженням уже обробленої.

Ця проміжна посудина виготовлена з нержавіючої сталі.

Охолодження олії після дезодорації відбувається у два етапи:

на першому етапі гаряча олія віддає своє тепло холодній рафінованій олії, яка подається на дезодорацію, тобто в апараті відбувається теплова

регенерація;

на другому етапі тепло олії скидається у зовнішнє середовище за допомогою води із системи зворотного водопостачання.

Процес охолодження дезодорованої олії з одночасним підігрівом вихідної олії реалізується у пластинчасто-трубчастому рекуперативному теплообміннику періодичної дії. У ньому гаряча (дезодорована) олія охолоджується з 220 до 150° С, тоді як відхідна олія нагрівається з 80 до 150° С. Цей теплообмінник функціонує в момент одночасного звільнення проміжної посудини від дезодорованої олії та закачування свіжої порції вихідної олії у дезодоратор. Припускається, що відхідною олією для дезодорації є рафінована олія, яка надходить із фільтрпреса та має температуру 80° С.

Регенеративний теплообмінник зроблений з нержавіючої сталі.

Подальше зниження температури дезодорованої олії зі 150° С до 50° С, яке потрібне для збереження її органолептичних властивостей, також виконується у пластинчасто-трубчастому рекуперативному теплообміннику специфічної конструкції періодичної роботи. Його трубний блок може бути титановим, а корпус — зі звичайної сталі марки Ст.3. Застосування титанових трубок унеможливує утворення вапняних відкладень (накипу) на зовнішніх поверхнях трубок, які омиваються оборотною водою.

Охолоджена дезодорована олія перекачується насосом до резервуару для зберігання, де вона перебуває під захистом інертного газу.

### **1.2.1.5 Випарний апарат**

Для концентрації жировмісних стічних вод розроблено випарний апарат, що функціонує у два послідовні етапи [7].

Випаровування рідини з водожирової суміші в апараті досягається шляхом нагрівання цієї суміші сконденсованою водяною парою, яка циркулює по трубках. На першому етапі випаровування (у корпусі)

нагрівальною парою слугує пара з котельні або ТЕС, а на другому — пари, що утворилася на першому етапі.

Завдяки такій схемі, споживання нагрівальної пари із котельні чи ТЕС не перевищує 55 % від загальної кількості пари, що генерується в обох корпусах.

У першому корпусі тиск середовища, що випаровується, є дещо вищим за атмосферний, тоді як у другому тиск підтримується нижчим за атмосферний завдяки роботі вакуумного насоса (водоструминного ежекторного апарату чи водокільцевого насоса). Висококонцентрована водожирова суміш з обох корпусів стікає самопливом під дією гравітації у барометричний бак, причому з другого корпусу злив відбувається за рахунок гідростатичного стовпа рідини (так званий барометричний злив).

Конструкція корпусів є розбірною, що спрощує вилучення трубчастих блоків для їх регулярного очищення від осадів та проведення ремонтних робіт.

Обидва етапи (корпуси) випарного апарату забезпечені високоефективними сепараційними пристроями: вбудованими перфорованими листами, розташованими вище рівня киплячої рідини, та виносом сепараційних елементів жалюзійного або струнного типу, встановленими на трубопроводах для відведення пари з корпусів апарату. Завдяки ефективному відділенню крапель рідини від парового потоку, конденсат пари не забруднюється жиром, який виноситься краплями з корпусів.

Режим роботи випарного апарату може бути або безперервним, або порційним.

Для забезпечення безперервного процесу ущільнення потрібне оснащення апарату системою автоматичного керування.

Ступінь випаровування рідини з водожирової суміші в апараті може сягати 95 %, тобто з кожних 100 кг води 95 кг перетворюється на пару. У результаті концентрація жиру у злитій із апарату водожировій суміші зростає

відносно концентрації жирів у вихідній суміші.

Апаратура для дезодорації потребує таких витрат теплоносіїв:

водяна пара з тиском не менше 1,02–1,43 МПа — 2,0 т/год (для ЕПО — 1,9 т/год, та пари високого тиску для барботажу олії у дезодораторі — 0,1 т/год); водопровідна вода — 8 м<sup>3</sup>/год (для поповнення випаруваної вологи, продувки системи з урахуванням конденсату, отриманого у випарному апараті).

Загальна встановлена потужність електронасосів становить 55 кВт.

### **1.3 Об'єкт управління**

Функцію об'єкта керування виконує паровий котел, який обслуговує лінію дезодорації олії, для якого передбачається створення підсистеми автоматичного контролю температури олії [8].

Паровим котлом називається пристрій, призначений для генерації пари шляхом використання теплової енергії, яка виділяється при спалюванні органічного палива.

Парові котли серії «Е» є вертикально-водотрубними двобарабанными котлами з природною циркуляцією. Вони розраховані на виробництво насиченої водяної пари з робочим тиском 0,8 МПа, яка використовується промисловими, транспортними і сільськогосподарськими підприємствами для технологічних, господарських, опалювальних та інших побутових потреб. Позначення «Е» вказує на котел із природним рухом води. Природна циркуляція формується у замкненому контурі завдяки різниці щільності суміші у спадних та підйомних трубах (мал. 1.5).

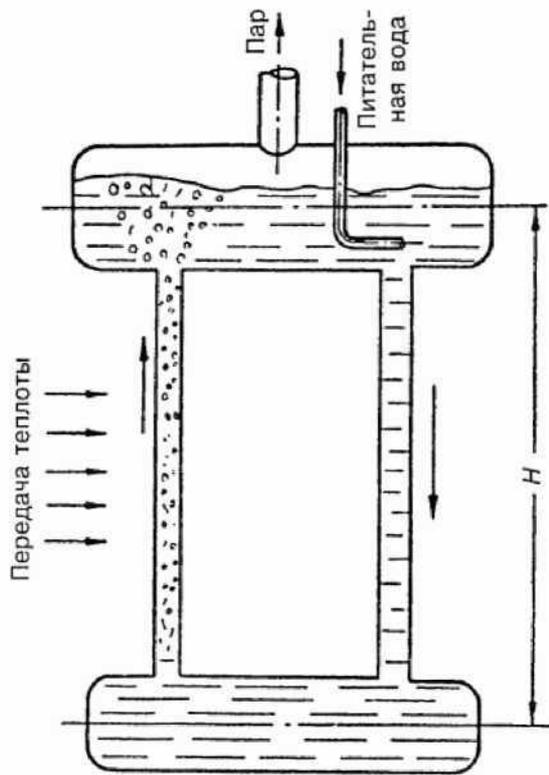


Рисунок 1.5 -Схема природної циркуляції води

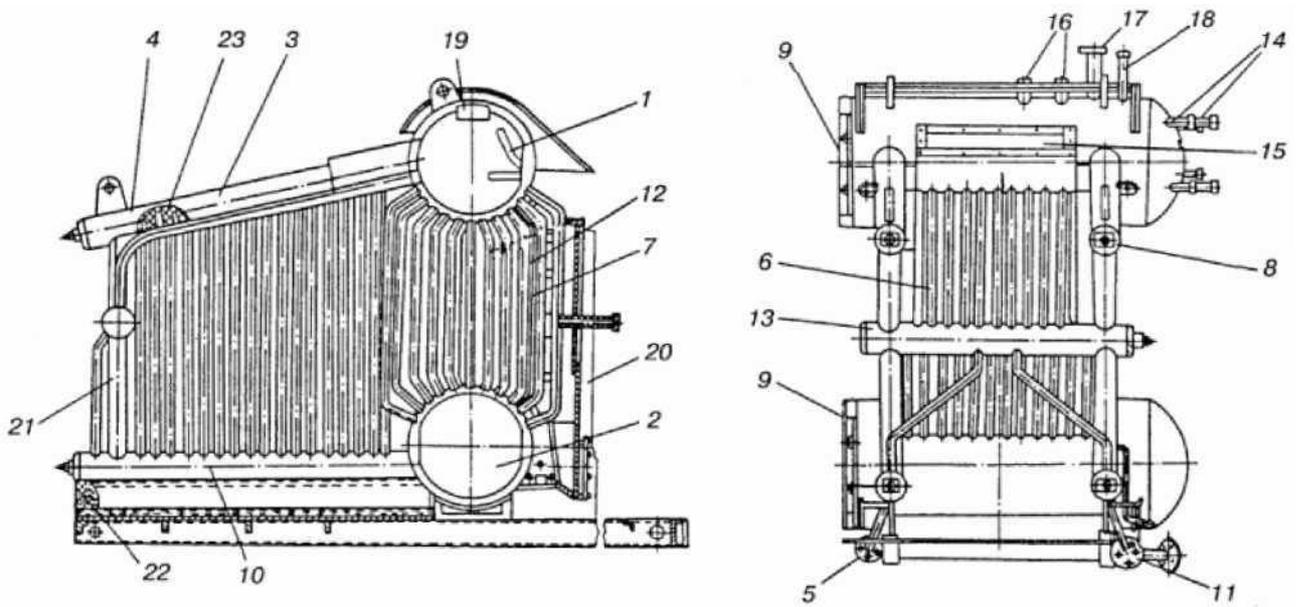


Рис. 1.5 - Паровий котел водотрубного типу, конструкція вертикальна, серії Е (трубопровідне обв'язування)

Усі елементи трубопроводів котла об'єднані у герметичну конструкцію,

де простір топки, призначений для сприйняття випромінювання, утворений звареними екранами, що створюють суцільний бар'єр. Ця влаштована система складається з таких частин (зверніть увагу на ілюстрацію 1.5): верхній барабан (1) та нижній барабан (2), вони розміщені один над одним по вертикалі та з'єднані пакетом труб (7) з діаметром 51 мм, які формують зону конвективного теплообміну; два бічних екрани подачі палива (3), інтегровані у циркуляційний контур через систему колекторів та труби стельового екрану (6), приварені до барабанів, а також через передній поперечний колектор (13), що має з'єднання із колекторами (4) та (10).

Нижні та верхні колектори бокових екранів розташовані на одній осьовій лінії по вертикалі.

Для проведення операцій з чищення та огляду колекторів, на їхніх кінцях встановлено оглядові отвори (8). Доступ до внутрішніх поверхонь барабанів і труб конвективного пакету забезпечується через люки, розташовані на барабанах (9).

Огляд внутрішньої порожнини топки можливий через отвір у передній облицювальній частині, що служить для монтажу перехідного елемента пальникового пристрою (21).

Труби, з яких складається конвективний пучок, розділені перегородками (12), виготовленими з жаростійкої сталі. Ці розділювальні елементи спрямовують рух газового потоку, покращуючи таким чином ефективність теплопередачі.

На нижньому барабані та на нижніх колекторах бічних екранів передбачені патрубки, необхідні для продувки (5 та 11).

На нижній частині верхнього барабана розміщені патрубки для підключення водомірного скла (14).

На верхній частині циліндричної частини верхнього барабана закріплено штуцери, призначені для пружинних запобіжних клапанів (16), головний штуцер для виведення пари (17), трубку для кріплення манометра (18), труби для подачі живильної води (20) та відведення пари для продувки.

Усередині верхнього барабана вбудована система для сепарації пари (19) та труба, що подає живильну воду. Уся система труб закріплена на спільній металевій рамі.

Теплоізоляційний шар сформовано з матів на основі мінеральної вати або подібних ізоляційних матеріалів, які закріплюються на штирях (23), приварених до мембранної системи труб [9]. Передня частина котла (22), аж до рівня поперечного колектора, заповнена вогнетривким бетоном. Зовнішнє облицювання декоративного характеру виконано з тонколистової сталі.

Клапан для запобігання вибуху монтується безпосередньо над камерою згоряння. Відведення відпрацьованих димових газів із котла здійснюється через патрубок (15), який знаходиться на тильній стороні котла.

#### 1.4 Ключові характеристики об'єкта регулювання

Найбільш часто зустрічаються парові котли моделі Е 1,0-0,9 (як показано на рис. 1.6).

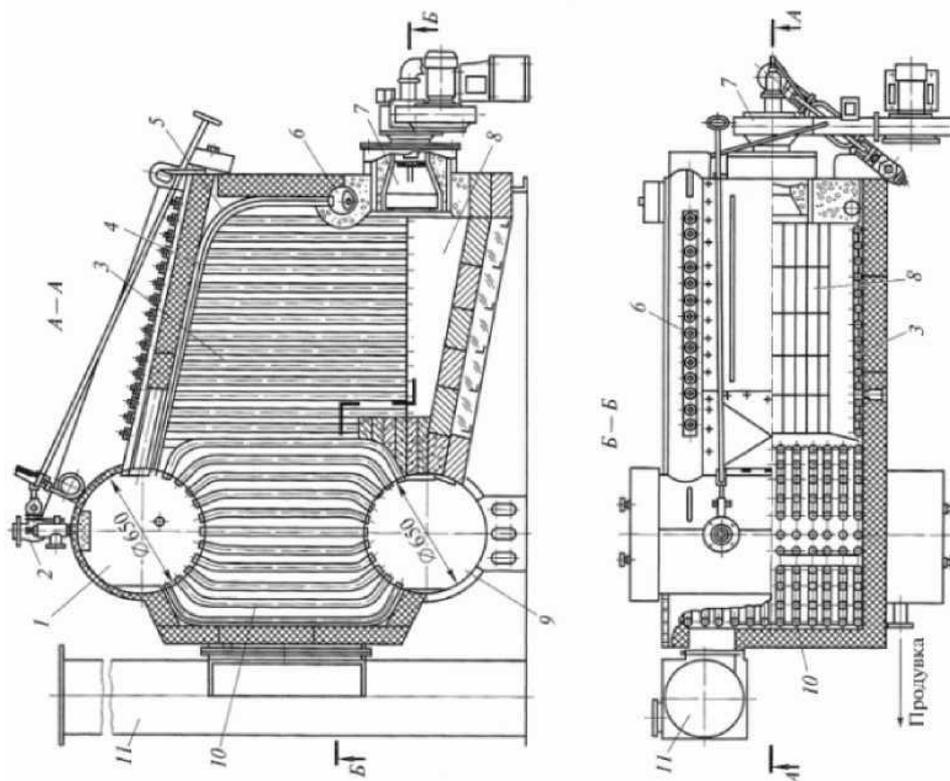


Рис. 1.6 – паровий котел

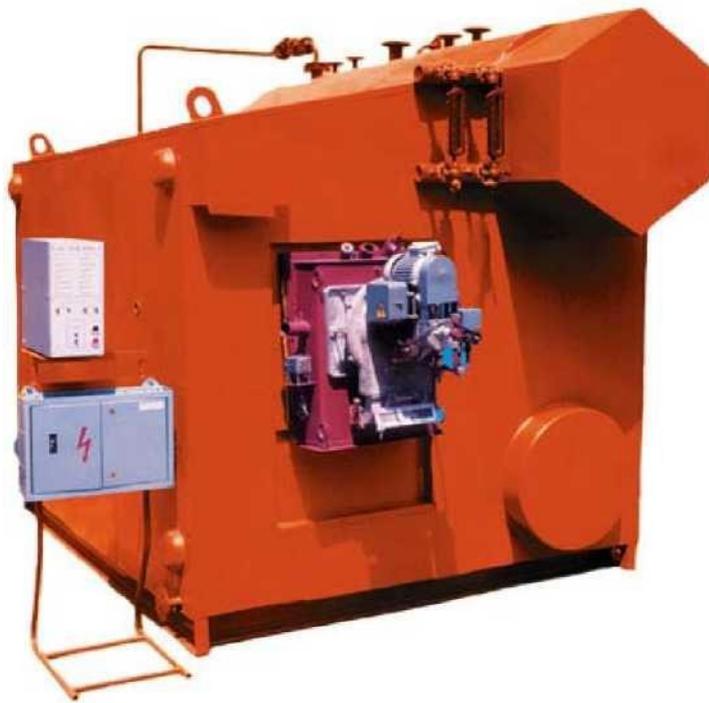


Рис. 1.7 – Газовий котел Е 1,0-0,9 Г-3(Э)

Таблиця 1.2 - Характеристики парового котла типу Е-1,0-0,9

Показник	Е-1,0-0,9 М-	Е-1,0-0,9 Г-3(Э)	Е-1,0-0,9 Р-3(Э)
Номінальна паро-продуктивність т/ч не менше	1,0	1,0	1,0
Робочий тиск пари на виході, МПа (кгс/см <sup>2</sup> ), не більше	0,8 (8,0)	0,8 (8,0)	0,8 (8,0)
Розрахункове паливо	Мазут, нафта	Природний газ	Вугілля
Розрахункова витрата палива, не більше	74,0 кг/ч	83,5 м <sup>3</sup> /ч	147 кг/ч
ККД, % не менше - позиційне регулювання - плавне регулювання	87,5 -	89 91	75 -
Температура поживної води (роз-рахункова), °З	50	50	50
Встановлена електрична потужність, КВт	6,0	6,0	6,0
Вологість насиченої пари, %	3,0	3,0	3,0
Об'єм води в котлу, м <sup>3</sup>	1,1	1,1	1,1
Повна поверхня нагріву, м <sup>2</sup>	31,6	31,6	31,6
Аеродинамічний опір, Па	69	72	119
Розрідження(-) в топці, Па	-30,0	-30,0	-30,0
Температура газів, що йдуть, °	235	230	290
Маса котла, кг не більша	4300	4300	3800
Габарити котла, м не більш	4,2x2, 35x2,9	4,2x2, 35x2,9	4,35x2, 35x2,9

Котли типу Е 1,0-0,9, які відрізняються високою надійністю, економічністю, мірою автоматизації, вони так само можуть експлуатуватися у будь-яких кліматичних умовах, що у поєднанні з мінімальними витратами на пуска- налагоджувальні роботи, простотою і зручністю в експлуатації, забезпечують покупцеві значний економічний ефект від його використання.

Високий технічний рівень котлів забезпечується як сучасними конструкторськими рішеннями, так і прогресивною технологією їх виготовлення.

#### **1.4.1 Структура об'єкту управління**

Система автоматичного управління повинна забезпечувати виконання наступних функцій [10]:

підтримка в заданих межах рівня води в котлу;

захист котла при підвищенні тиску пари вище за допустимий, спуску води нижче нижчого аварійного рівня, короткому замиканні або перевантаженні електродвигунів;

поданню звукової сигналізації при спуску води нижче нижчого аварійного рівня, перевищенні рівня води в котлу вище за верхній аварійний рівень, перевищенні тиску пари;

світлову сигналізацію положення рівня води і наявності напруги в мережі.

#### **1.4.2 Принцип функціонування об'єкту управління**

Виходячи з вимог підсистема що розробляється повинна забезпечувати управління температурою масла і тому відповідає підсистемі автоматизованого управління технологічним обладнанням. До неї входять пристрої збору інформації (датчики температури пара та температури масла), еталони стану обладнання (максимальна температура пару та уставка

температури масла), система автоматичного контролю стану обладнання, програма управління яка повинна реалізувати формування керуючих впливів для підтримки температури масла на заданому рівні, протиаварійний захист, блок переводу до ручного режиму управління та виконавчі пристрої (газовий пальник та клапан подачі пару) [11].

## РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА АПАРАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

### 2.1 Розробка структурної схеми підсистеми управління

В якості об'єкта управління виступає паровий котел ділянки дезодорації олії, для якої виконується розробка підсистеми автоматичного управління температурою олії. Вхідними параметрами об'єкту управління є сигнали управління для газового пальника який формує температур пару, клапан подачі пару. Вихідними параметрами об'єкту управління є температура пару на виході котла та температура масла в дезодораторі.

Виходячи з цього, підсистема управління повинна включати датчики температури масла в дезодораторі, датчик температури пару, газовий пальник, клапан подачі пару, пристрій управління та під'єднання до загальнопромислової мережі (рис. 2.1).

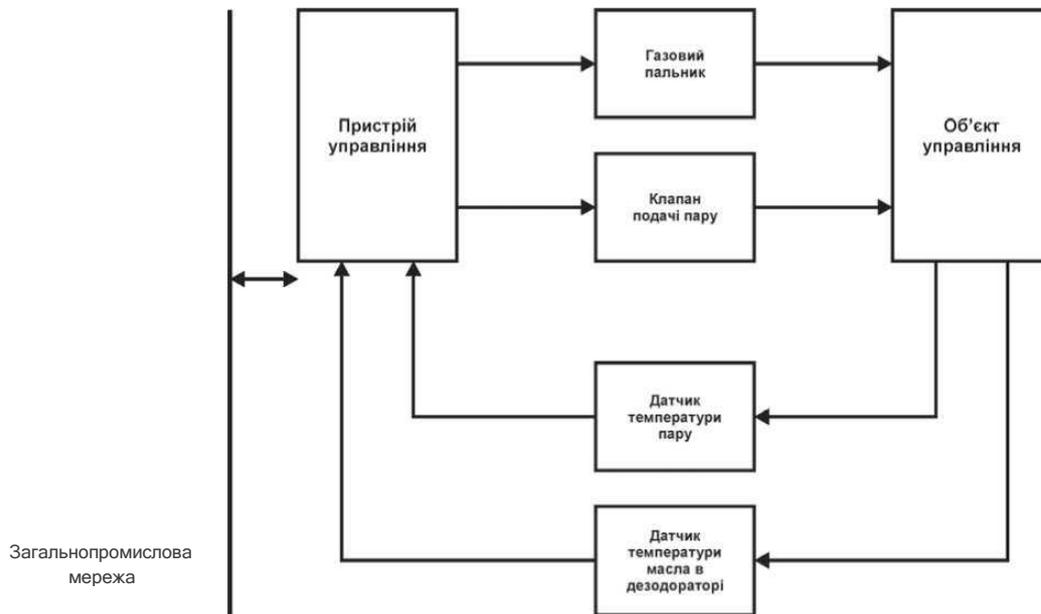


Рисунок 2.1 – Схема структурна

З огляду на визначені цілі, апаратура, що розробляється, повинна гарантувати підтримання температурного стану мастила, що автоматично класифікує її як систему автоматизованого нагляду за виробничими вузлами. До ключових елементів належать сенсори для збору інформації (вимірювачі температури пари та самого мастила), встановлені еталонні робочі показники агрегату (найвища допустима температура пари та цільовий параметр температури мастила), блок логіки для автоматичної діагностики стану вузла, програмне забезпечення для керування, здатне формувати команди для стабілізації температури мастила у межах норми, контури безпеки для запобігання аварійним подіям, модуль для перемикання на ручне оперування та виконавчі пристрої (газовий пальник й паровий вентиль) [12].

Така послідовність циркуляції інформаційних потоків наочно представлена на Схемі 2.2. Подібна архітектура гарантує збереження заданого прогріву мастила та є взаємопов'язаною із загальним комплексом моніторингу зони видалення газів з олії.



Рисунок 2.2 – Структурна схема інформаційних потоків

Отож, згідно з висунутими вимогами, апаратно-програмний комплекс, що проєктується, мусить охоплювати сенсори температури, об'єкт, яким належить керувати, а також вузол керування, який, згідно з приписом, має бути реалізований на базі логічного контролера програмованого типу (ПЛК). Крім того, до складу системи входить газовий пальник та паровий клапан, який виконує регулюючу функцію.

## 2.2 Підбір елементів апаратної складової системи регулювання

### 2.2.1 Визначення первинних вимірювальних пристроїв

Головним завданням системи, що створюється, є підтримання заданого температурного режиму оливи [13]. Встановлений граничний температурний показник для оливи у дезодораторі становить 220–230 °С. Окрім того, сенсор, призначений для вимірювання температури оливи, повинен мати стандартизований струмовий інтерфейс, що забезпечить його зв'язок із програмованим логічним контролером. З огляду на зазначені критерії, для контролю температури оливи був обраний датчик моделі ТЄРА ТЖК-У-1-5-Ж-1-И (див. ілюстрацію 2.3). Цей прилад є термоелектричним перетворювачем, здатним фіксувати температуру у межах від -40 до 375 °С, і він оснащений вбудованим модулем для приведення вихідного сигналу термопару у відповідність до уніфікованого струмового сигналу 4–20 мА. Деталізація технічних характеристик цього сенсора представлена у таблиці 2.1.



Рисунок 2.3 – Датчик ТЄРА ТЖК-У-1-5-Ж-1-И

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики датчика ТЄРА ТЖК-У-1-5-Ж-1-И

Найменування параметра	Значення
Тип	Залізо-Констан
Діапазон вимірюваних температур, °С	-40÷375
Клас допуску	1
Точність, °С	±1.5 / ±0.004t

Найменування параметра	Значення
Діапазон вихідного сигналу, мА	4÷20
Напруга живлення, В	12÷36
Потужність споживання, Вт	1

Пара, що надходить із котла, може мати температурний діапазон від 150 до 300 градусів Цельсія, причому всі інші критерії відповідності встановлюються аналогічно тим, що висувуються до сенсорів температури мастила. З огляду на зазначене, для точного визначення температури пари було обрано термоперетворювач моделі ТЄРА ТЖК-У-1-5-І-1-І.

Базуючись на обраних сенсорах та їхніх індивідуальних технічних характеристиках, було розроблено Таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Вимірювальне апаратура

Назва	Принцип	Тип	Діапа	Точні	Значе	Період	Напруг	Потужн
Темпера	Термоелект	Аналого-		±1.5°C	4÷20	0.1 с	12÷36	1 Вт
Темпера	Термоелект	Аналого-		±1.5°C	4÷20	0.1 с	12÷36	1 Вт

#### Вибір виконавчих пристроїв

В рамках автоматизації парового котла було прийняте рішення виконати заміну пальника потужністю 0,93 МВт без оперативного управління на газовий пальник блочного типу з потужністю 1,0÷1,3 МВт з плавним управлінням від програмованого логічного контролера. Даним вимогам відповідає газовий пальник ГБЛ-1.2-МГ потужністю 1,2 МВт, управління яким реалізується за допомогою інтерфейсу RS-485 згідно з протоколом Modbus RTU (рис. 2.4).

Технічні характеристики пальника наведені в табл. 2.3.



Рисунок 2.4 – Газовий пальник ГБЛ-1.2-МГ

Для впровадження системи, що автоматично контролює подачу пари, за ручний кран необхідно буде монтувати електричний. Цей електричний запірний пристрій повинен зберігати працездатність під робочим тиском, який не опускається нижче 0.8 мегапаскаля, гарантувати об'ємну витрату 1600 літрів щогодини, функціонувати з робочим середовищем до 300 градусів за Цельсієм, а також мати напругу керування +24 Вольт. Електромагнітний клапан моделі Sovna SLPM-20 повністю відповідає поставленим вимогам: його граничний тиск сягає 1.62 МПа, робочий діаметр отвору складає 10 мм, пропускна спроможність дорівнює 5400 л/год, він розрахований на максимальну температуру робочого тіла до +300 °С, а керування ним реалізується через напругу +24 В (зверніть увагу на рис. 2.5). Більш докладні технічні характеристики цієї арматури наведені у Таблиці 2.4.

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики газового пальника ГБЛ-1.2-МГ

Найменування параметра	Значення
Тип	Пропорційний
Номінальна теплова потужність, МВт	1.2
Тиск газу до пальника, кПа	3.5
Тиск повітря до пальника, кПа	1.2
Пускова потужність, МВт	0.38
Номінальні витрати газу, м <sup>3</sup> /г	130.8
Час захисного відключення при запалюванні, с	3
Час захисного відключення при згасанні, с	2
Інтерфейс	RS-485
Протокол	Modbus RTU/ASCII
Напруга живлення, В	~380
Потужність споживання, кВт	1.6



Рисунок 2.5 – Клапан Sovna SLPM-20

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики клапану Covna SLPM-20

Найменування параметра	Значення
Тип	Електромагнітний
Підключення	G3/4
Робочий тиск, МПа	1.62
Умовний прохід, мм	20
Максимальна витрата, л/г	5400
Температура носія, °С	-40÷300
Робоча температура, °С	-50÷120
Керуюча напруга, В	12÷24
Потужність споживання, Вт	20

На основі вибраних виконавчих механізмів та їх технічних характеристик складена табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Виконавчих пристроїв

Назва	Принцип	Тип	Діапазо	Лінійні	Значе	Період	Напру	Потужн
Потужн	Пропорцій	Аналого	0.2÷1.2	Лінійни	RS-485	0,1 с	~380 В	1.6 кВт
Подача	Електромаг	Дискрет	вимк./вк	Неліній	0÷24 В	0,1 с	24 В	20 Вт

### 2.2.2 Вибір обладнання для керування

Беручи до уваги вимоги, що ставляться до апаратури, яка здійснюватиме моніторинг температури мастила, найбільш вдалим рішенням для використання як керуючий компонент є вибір програмованого логічного контролера (ПЛК) від компанії VIPA [15]. Тактова швидкість цього контролера не повинна перевищувати 100 мс, що є запорукою належної реакції на будь-які коливання температурного режиму. Крім того, апаратне забезпечення має володіти щонайменше одним кілобайтом вільного місця

для розміщення та виконання програми керування. У зв'язку з тим, що до контролера планується підключення двох датчиків температури, які передають сигнал у форматі струму 4–20 мА, а також електромагнітного парового клапана з напругою живлення ланцюга керування +24 В, архітектура контролера має бути розбірною (модульною). Це дасть змогу підключити лише необхідні модулі та значно полегшить розширення функціоналу у майбутньому.

Оскільки система контролю температури мастила потребує взаємодії із загальною системою управління ділянки дезодорації олії, ПЛК мусить бути обладнаний інтерфейсом зв'язку RS-485 [16]. Цей інтерфейс також передбачається використовувати для здійснення контролю над газовим пальником.

Усіма переліченими критеріями цілком задовольняє логічний програмований контролер VIPA, модель 214-2BS33. Цей пристрій забезпечує виконання операцій з числами з плаваючою комою зі швидкістю 40 мкс, має пам'ять для програми обсягом 144 Кбайти, оперативну пам'ять 96 Кбайт та інтегрований комунікаційний порт RS-485 (як показано на рис. 2.6). Детальні технічні характеристики контролера наведені у таблиці 2.6.



Рисунок 2.6 – ПЛК VIPA 214-2BS33

Таблиця 2.6 – Технічні характеристики ПЛК VIPA 214-2BS33

Найменування параметра	Значення
Тип	CPU 214SER
Пам'ять, Кбайт	144

Найменування параметра	Значення
Робоча пам'ять, Кбайт	96
Максимальна кількість модулів, штук	32
Час виконання команди над бітом, мкс	0,18
Час виконання команди над байтом, мкс	0,78
Час виконання команди над словом, мкс	1,8
Час виконання команди над двійним словом, мкс	40,0
RS- 485 інтерфейс	Присутній
Напруга живлення, В	24
Споживана потужність, Вт	5

Температурні датчики, призначені для роботи з мастилом та парою, формують вихідний струмовий сигнал, що коливається у межах 4–20 мА. Для підключення цих температурних сенсорів було вирішено залучити модуль аналогового входу VIPA 231-1BD40, який має у своєму арсеналі чотири подібні входи (як це наочно показано на Малюнку 2.7). Конкретні технічні характеристики даного модуля викладено у Таблиці 2.7.



Рисунок 2.7 – Модуль аналогового вводу VIPA 231-1BD40

Таблиця 2.7 – Технічні характеристики модуля аналогового вводу VIPA 231-1BD40

Найменування параметра	Значення
Тип	SM 231, ECO
Кількість каналів	4
Тип каналу	Аналоговий
Діапазон вхідного сигналу, мА	4÷20
Довжина екранованого провідника, м	200
Споживана потужність, Вт	0.6

Схема підключення датчика температури до модуля аналогового вводу наведена на рис. 2.8.

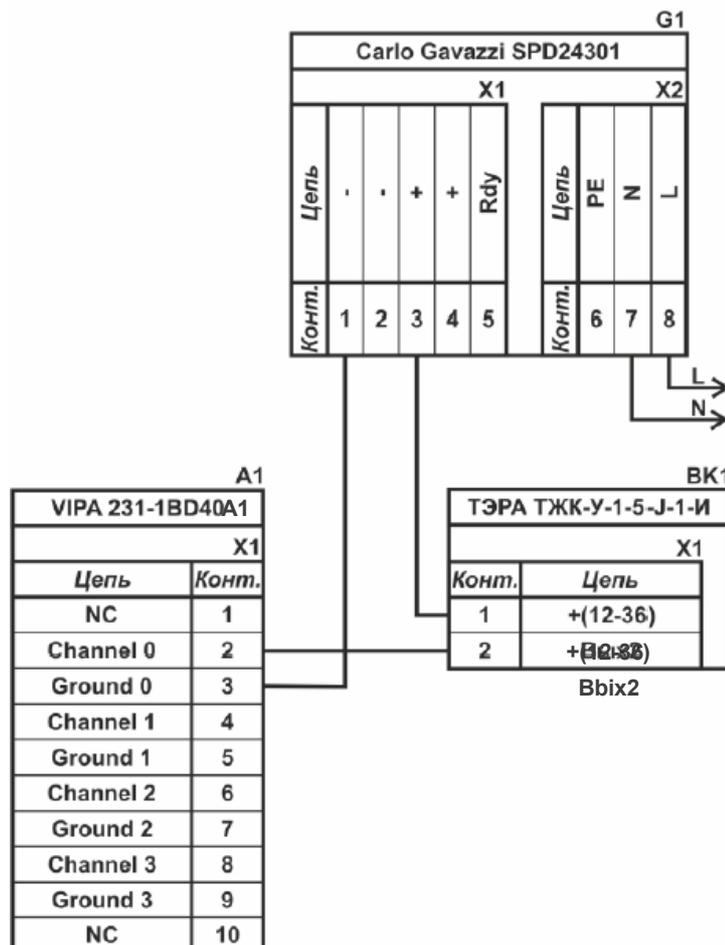


Рисунок 2.8 – Схема підключення датчика температури

Як видно з цієї електричної схеми, апаратне забезпечення містить чотири незалежні роз'єми, кожен з яких розрахований на прийом сигналу живлення. Позитивний вивід джерела напруги необхідно закріпити на позитивному клемі датчика. Сигнальний вихід датчика, який генерує струм, приєднується до одного з портів модуля аналогового входу, а саме: до другого, четвертого, шостого чи восьмого. Негативний полюс (нуль) роз'єму модуля аналогового входу (номери 3, 5, 7 чи 9) контактується із загальною шиною заземлення живлення [17].

Електромагнітний клапан для пари — це компонент з логікою вмикання/вимикання, який активується при подачі сигналу напруги +24 В.



Для інтеграції цього елемента було обрано модуль дискретного вводу типу VIPA 222-1BF00 (зверніться до рис. 2.9). Ключові характеристики цієї апаратури зведені в таблиці 2.8.

Рисунок 2.9 – Модуль дискретного виводу VIPA 222-1BF00

Таблиця 2.8 – Технічні характеристики модуля дискретного виводу VIPA 222- 1BF40

Найменування параметра	Значення
Тип	SM 222
Кількість каналів	8
Тип каналу	Дискретний
Діапазон вихідного сигналу, В	0÷24
Максимальний струм вихідного сигналу, А	1
Довжина екранованого провідника, м	600
Споживана потужність, Вт	2

На ілюстрації 2.10 продемонстровано, яким чином клапан підключається до плати, що керує дискретними виходами. У цій конфігурації плата надає вісім незалежних каналів, кожен з яких розрахований на управління дискретним виконавчим пристроєм з живленням +24 В. Живлення підводиться до контактів 1 та 10 на платі від відповідного джерела. Вихідний термінал плати, маркований як 2-9, має бути приєднаний до входу електромагнітного клапана. "Мінусову" клему (землю) клапана слід підключити до "земльової" клеми джерела живлення.

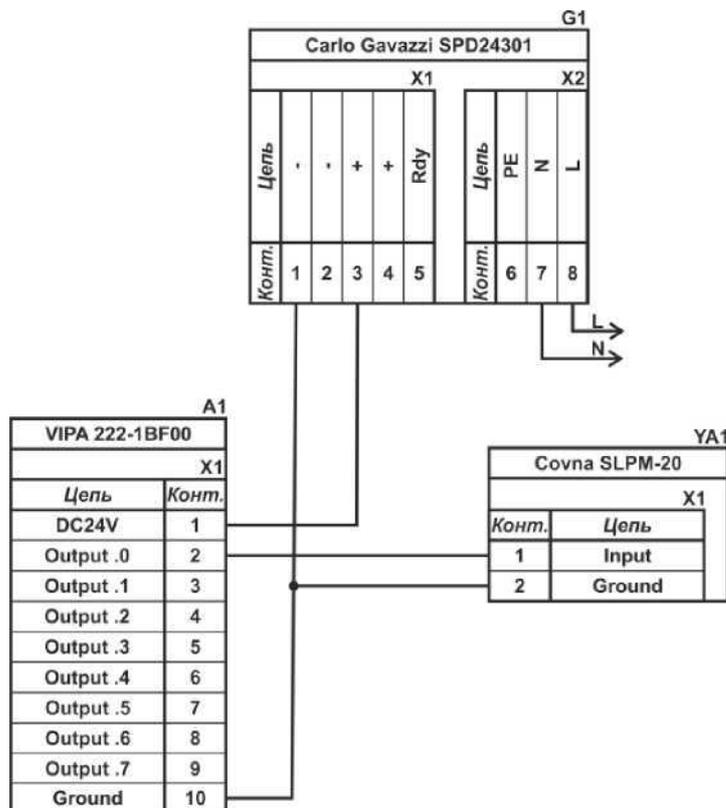


Рисунок 2.10 – Схема

Для зв'язку ПЛК з газовим пальником використовується RS-485 інтерфейс, схема підключення якого наведена на рис. 2.11.

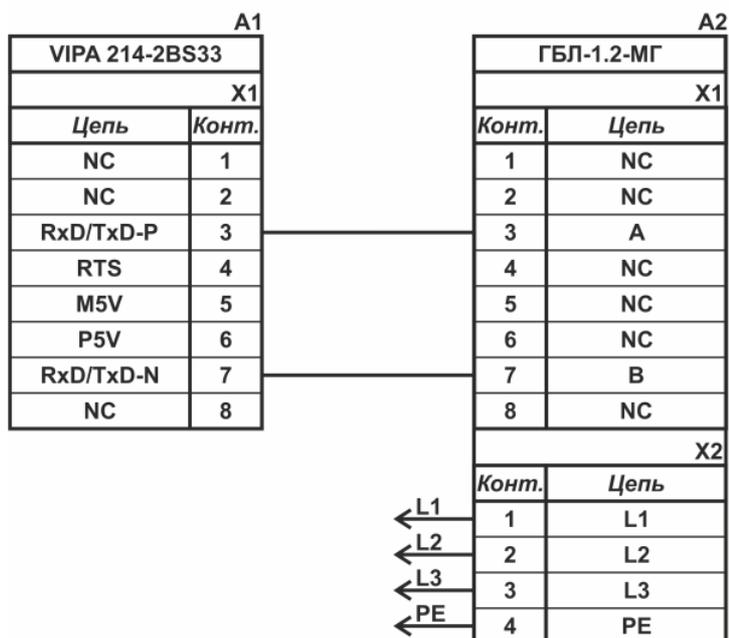
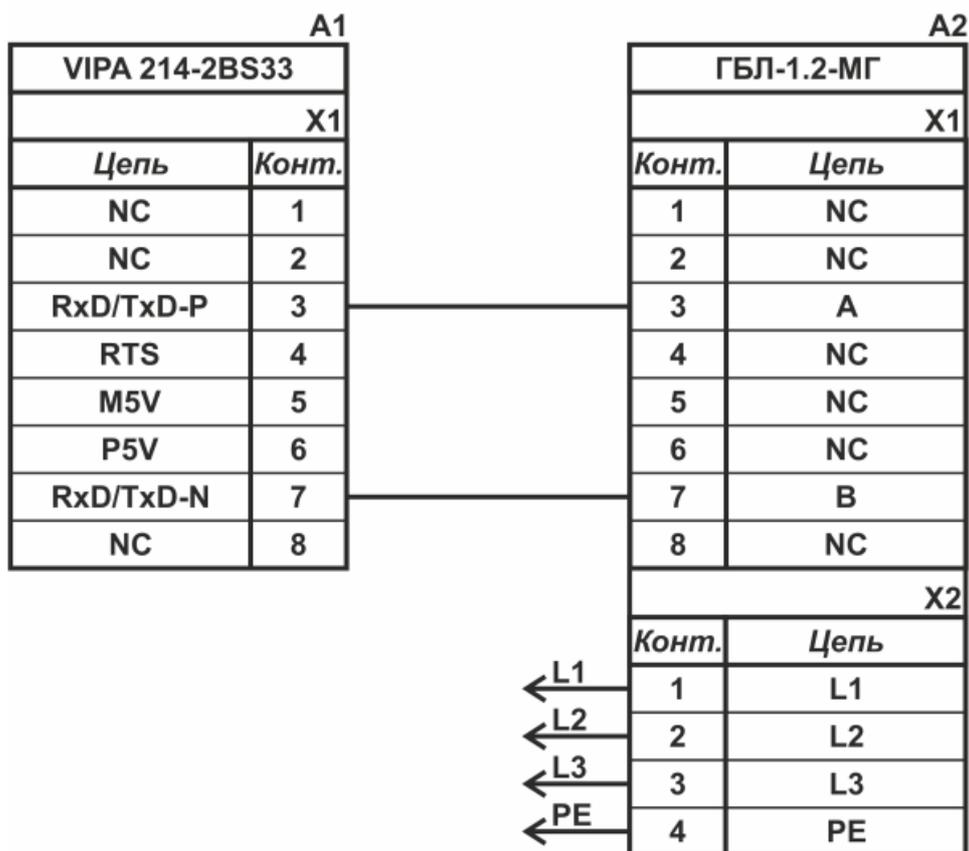


Рисунок 2.11 – Схема підключення газового палія



На підставі обраного ПЛК та його модулів складена табл. 2.9.

Таблиця 2.9 – Пристрій управління та його модулі

Назва	Пристрій	Напруга жив-	Потужність
VIPA 214- 2BS33	Центральний процесорний	24 В	5.00 Вт
	Газовий палій ГБЛ-1.2-МГ	~380 В	1.60 кВт
VIPA 231- 1BD40	Модуль аналогового вводу	24 В	0.60 Вт
	Датчик температури олії ТЄРА	24 В	1.00 Вт
	Датчик температури пари	24 В	1.00 Вт
VIPA 222- 1BF00	Модуль дискретного виводу	24 В	2.00 Вт

Паровий клапан Sovna SLPM-20 24 V 20.00 W

### 2.2.3 Підбір електроживлення

Логічному програмованому контролеру та його апаратному оснащенню необхідне живлення з напругою +24 В. Сумарна енергоспоживна здатність логічного контролера та всіх його складових елементів вираховується так:

$$P = 5.00 + 0.60 + 2.00 = 7.60 \text{ Вт},$$

З огляду на потреби контролера та його модулів щодо електроенергії, було прийнято рішення щодо застосування джерела живлення моделі SPD24301. Його можливості включають подачу напруги +24 В та потужність у 30 Вт (дивіться ілюстрацію 2.12). Деталізація технічних параметрів цього пристрою живлення представлена у таблиці 2.9.



Рисунок 2.12 – Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301

Таблиця 2.10 – Технічні характеристики блока живлення Carlo Gavazzi SPD24301

	Найменування параметра	Значення
	Напруга живлення, В	~85÷~264
	Вихідна напруга, В	24
	Потужність, Вт	30
	Максимальний вихідний струм, А	1,25

Схема, представлена на Малюнку 2.13, ілюструє типовий спосіб підключення логічного програмованого контролера (ЛПК) до електромережі [18].

Грунтовний аналіз обраного обладнання приводить до усвідомлення: зовнішнє джерело живлення мусить бути задіяне для забезпечення функціонування як температурних зондів, так і електромагнітного вентиля, оскільки обом цим компонентам потрібне живлення +24 В. Сукупна потреба в електричній потужності, яку вони генерують, складає:

$$P = 1.00 + 1.00 + 20.00 = 22.00 \text{ Вт.}$$

З огляду на розраховане енергоспоживання датчиків та виконавчого пристрою, було ухвалено рішення застосувати ідентичний блок живлення, що й для самого ЛПК, а саме модель SPD24301, яка видає напругу +24 В і володіє робочим лімітом потужності у 30 Вт.

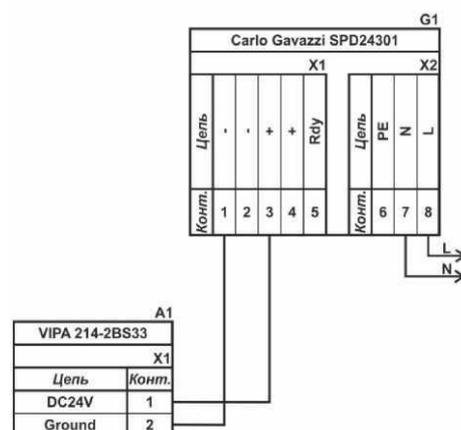


Рис. 2.13 – Схема підключення програмованого логічного пристрою до

мережі живлення

Пальник газовий не потребує окремого джерела живлення, оскільки його приєднують напряму до трифазної електричної мережі з напругою  $\sim 380$  В.

### **2.3 Розробка структурної схеми системи автоматичного керування**

Базуючись на вимогах до системи моніторингу температури олії та обраному переліку обладнання, була створена функціональна схема автоматизації, яку можна побачити на рис. 2.14.

У ролі апарату керування задіяно програмований логічний контролер (UY 5 – VIPA 214-2BS33). Цей ПЛК має зв'язок із контролером вищого ієрархічного рівня (UY 6), який відповідає за керування процесом дезодорації олії; обмін даними між ними реалізовано через інтерфейс RS-485.

Контроль температури пари здійснюється на вихідному патрубку парогенератора за допомогою датчика температури (TE 2-1 – ТЄРА ТЖК-У-1-5-J-1-И). Отримане значення, завдяки вбудованому у сенсор перетворювачу (ТТ 2-2 – ТЄРА ТЖК-У-1-5-J-1-И), перетворюється у стандартний аналоговий сигнал по струму у діапазоні  $4\div 20$  мА.

У випадку, коли температура пари долає позначку  $150$  °С, запірний клапан (NS 3-2 – Совна SLPM- 20) відчиняється, направляючи пару до дезодораційної колони. Завдяки цій парі олія у дезодораторі нагрівається до значень  $220-230$  °С. Температурний режим олії фіксується вимірювальним приладом (TE 4-1 – ТЄРА ТЖК-У-1-5-J-1-И), а його показники через вмонтований перетворювач (ТТ 4-2 – ТЄРА ТЖК-У-1-5-J-1-И) трансформуються у стандартний струмовий сигнал  $4\div 20$  мА.

Грунтуючись на набутих даних щодо температурних показників, програмований логічний контролер (UY 5 – VIPA 214-2BS33) генерує керуючий імпульс, який через інтерфейс RS- 485 скеровується до газового пальника (ТС 1-2 – ГБЛ-1.2-МГ), що забезпечує доведення води до

пароподібного стану.

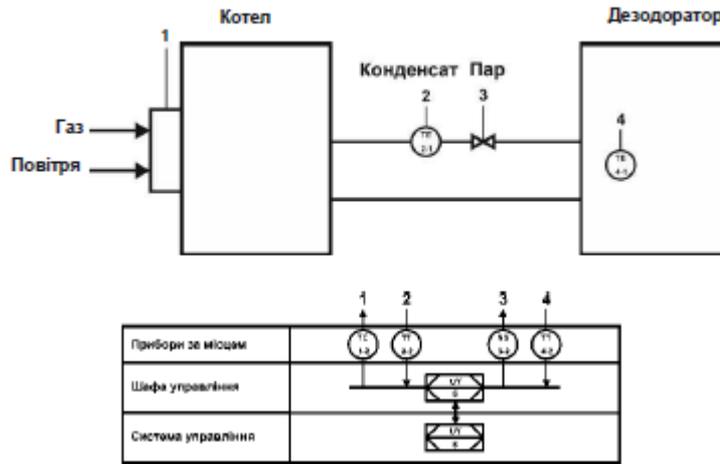


Рис. 2.14 – Структурна схема САК

Розробка схеми електричної принципової

На основі функціональної схеми автоматизації та обраного апаратного забезпечення розроблена схема електрична принципова підсистеми управління температурою олії (рис. 2.15).

В підсистемі використовуються два блока живлення [19]. Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301 (G1) підключено до програмованого логічного контролеру VIPA 214-2BS33 (A1). Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301 (G2) підключено до модулю дискретного виводу VIPA 222-1BF00 (A1 – X5), датчику температури пару ТЄРА ТЖК-У-1-5-J-1-И (BK1) та датчику температури олії ТЄРА ТЖК-У-1-5-J-1-И (BK2).

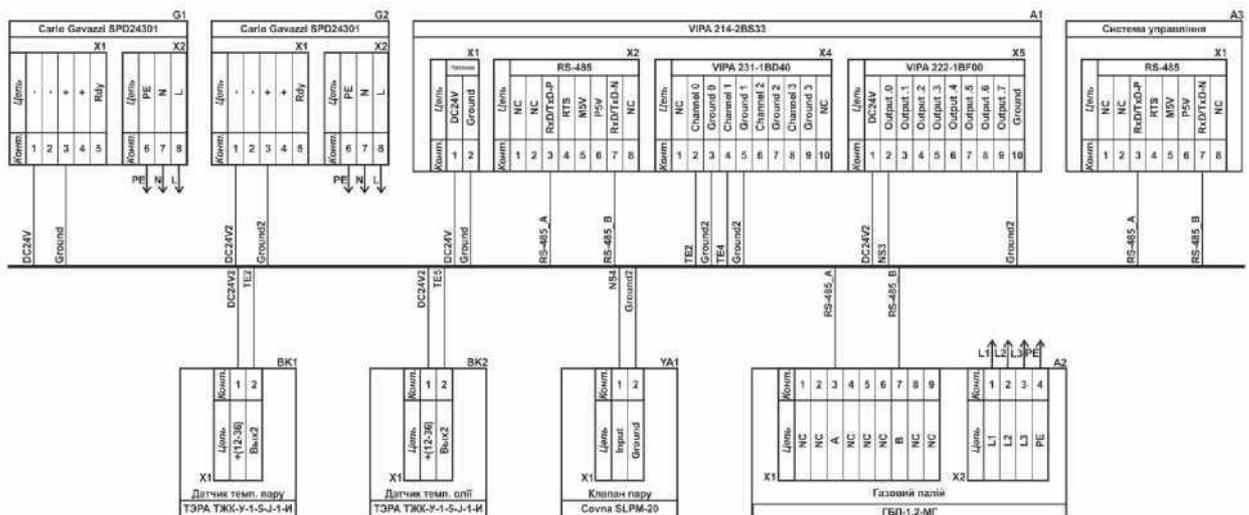


Рис. 2.15 – Схема електрична база для додаткового вузла керування

Комунікаційний зв'язок між програмованим логічним контролером VIPA 214-2BS33 (який має позначення A1) та блоком керування процесом дезодорації (позначеним A3) налагоджується із залученням інформаційного інтерфейсу RS-485 (зв'язок між A1 та X2). Аналогічним чином, взаємодія цього ж самого контролера із газовим пальником типу ГБЛ-1.2-МГ (позначення A2) також організована через інтерфейс RS-485. Живлення газового пальника здійснюється від трифазної електричної мережі.

Визначення термічного стану водяної пари реалізується за допомогою датчика ТСРА ТЖК-У-1-5-І-І (маркування ВК1). Цей датчик підключається до плати аналогових входів контролера VIPA 231-1BD40 (ділянка A1 – X4), конкретно до нульового входу (канал 0). Трансляція даних відбувається за допомогою стандартизованого струмового сигналу, діапазон якого становить від 4 до 20 міліампер.

Контроль температури оливи здійснюється датчиком ТСРА ТЖК-У-1-5-І-І (позначений ВК2). Він монтується до іншого входу (канал 1) того самого модуля аналогового введення VIPA 231-1BD40 (A1 – X4), передаючи відомості як стандартний струмовий імпульс у межах 4–20 мА.

Керування паровим клапаном моделі Sovna SLPM-20 забезпечується виконанням модуля дискретних виходів VIPA 222-1BF00 (A1 – X5). Для приведення клапана у дію (відкриття) необхідно подати на його керуючий термінал напругу +24 В; відсутність цієї напруги призводить до автоматичного повернення клапана у його вихідне (заблоковане) положення.

## РОЗДІЛ 3 ПРОЄКТУВАННЯ ОБ'ЄКТУ КЕРУВАННЯ

### 3.1 Створення схеми потоків інформації у системі дослідження

Основна мета системи дослідження полягає у зборі даних щодо об'єкта, яким здійснюється керування. До ключових функцій цієї системи належить формування чи фіксація імпульсу керування, що надсилається до об'єкта, реєстрація фактичного вихідного параметра об'єкта, відображення зібраної інформації та підготовка цих даних у зручному для подальшої роботи форматі.

Беручи до уваги поставлене завдання та розроблене апаратне забезпечення, контур регулювання теплового режиму нафти охоплює об'єкт керування — паровий котел, який використовується у установці для гідроочищення олій. Вимірювання теплового режиму реалізується за допомогою термодатчика, що працює в діапазоні температур від -40 до 375 °С та генерує електричний сигнал у межах 4–20 мА. Керуючим вузлом є логічний програмований контролер (ЛПК) моделі VIPA 214-2BS33, а для виконання команд задіяно газовий пальник ГБЛ-1.2-МГ (регульована потужність 40–100%), який сполучений з ЛПК через комунікаційний порт RS-485. Візуалізація процесу управління забезпечується комп'ютерною системою з програмним забезпеченням SCADA "zenon". Така побудова системи дає змогу не тільки реалізовувати функції керування, але й проводити аналіз характеристик об'єкта за допомогою спеціалізованих програмних засобів [20]. На підставі вищевикладеного було розроблено графічну схему інформаційних взаємозв'язків у системі дослідження, яку ілюструє мал. 3.1.

Відповідно до цієї структурної схеми, система дослідження здатна генерувати імпульс керування — саме потужність газового пальника (яка може змінюватися у межах "вимкнено" або від 40% до 100% номінальної). Ця потужність забезпечує підігрів пари, яка, у свою чергу, використовується для

попереднього нагрівання оливи у дезодораторі. Тепловий стан оливи фіксується відповідним сенсором у діапазоні температур від  $-40$  до  $350$  °С. ЛПК несе відповідальність за передачу сформованого імпульсу керування до пальника через інтерфейс RS-485, а також за прийом значень температури оливи від сенсора.

Обмін даними між логічним програмованим контролером та персональним комп'ютером, де працює SCADA-система zenon, також організовано із застосуванням інтерфейсу RS-485.

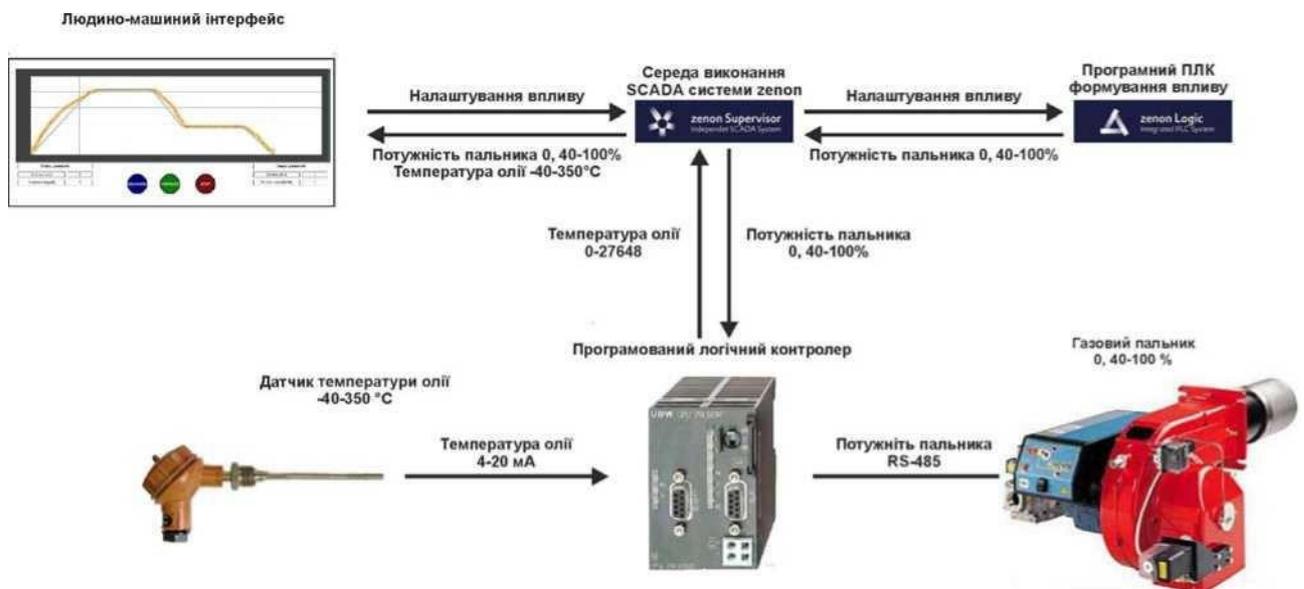


Рис. 3.1 – Схема вузлів апаратури для проведення замірів

Суттєвою особливістю при контролі нагрівання мастила є те, що найменша потужність, яку може розвинути газовий пальник, складає сорок відсотків. Це означає, що документування числових значень варто розпочинати лише тоді, коли олія досягне врівноваженої температури у режимі роботи пальника на зазначених сорока відсотках потужності.

### 3.2 Складання плану дослідження об'єкта керування

Випробувальна апаратура надає можливість формувати різноманітні вхідні імпульси керування та подавати їх на газовий пальник. При цьому сам

об'єкт керування не встановлює жодних обмежень щодо застосовуваного впливу керуючого характеру. Беручи до уваги цю обставину, для вивчення характеристик об'єкта керування доцільно застосовувати метод активного дослідження.

Для визначення параметрів об'єкта керування за допомогою активного випробування необхідно отримати його залежність від часу, вихідні дані, необхідні для побудови стійкої характеристики, реакцію на імпульсну дію, а також контрольні виміри. На підставі цього сплановано наступний порядок дій:

1. Підготувати апаратуру для випробувань до роботи.
2. Отримати залежність від часу.
  - 2.1. Довести об'єкт керування до початкових параметрів, виставивши потужність пальника на 40 %, та зачекати на настання рівноваги.
  - 2.2. Активувати процес фіксації отриманих даних.
  - 2.3. Збільшити потужність пальника до ста відсотків, дочекавшись досягнення усталеного стану.
  - 2.5. Припинити збір даних.
3. Здобути дані для формування сталої характеристики.
  - 3.1. Довести об'єкт керування до початкових умов (потужність пальника 40 %) та очікувати стабілізації режиму.
  - 3.2. Стартанути запис отриманих відомостей.
  - 3.3. Встановити потужність пальника на 55 %, очікуючи на усталення умов.
  - 3.4. Встановити потужність пальника на 70 %, як тільки режим досягне стабільності.
  - 3.5. Встановити потужність пальника на 85 %, дочекавшись врівноваження показників.
  - 3.6. Встановити потужність пальника на сто відсотків, слідуючи за стабілізацією параметрів.
  - 3.7. Припинити реєстрацію.

4. Отримати дані при умові імпульсного втручання.

4.1. Привести об'єкт керування до базових показників (потужність пальника 40 %) та дочекатися стабільності.

4.2. Розпочати реєстрацію показників.

4.3. Встановити потужність пальника на 100 %, дочекавшись усталеного стану.

4.4. Повернути потужність пальника до 40 %, коли режим досягне рівноваги.

4.5. Завершити фіксацію отриманих відомостей.

5. Отримати дані для підтвердження їхньої надійності.

5.1. Довести об'єкт керування до початкових умов (потужність пальника 40 %) та забезпечити його стабільне функціонування.

5.2. Налаштувати вплив псевдовипадковим чином так, що період його зміни буде у десять разів меншим за час, необхідний для перехідного процесу, а амплітуда коливатиметься у межах від сорока до ста відсотків.

5.3. Розпочати збирання інформації.

5.4. Активувати генерацію згенерованого випадкового впливу.

5.5. Здійснювати збір даних протягом інтервалу часу, що еквівалентний п'яти періодам перехідного процесу.

5.6. Припинити фіксацію отриманих значень.

### **3.3 Проведення перевірки**

На першій стадії експериментальних робіт було виконано калібрування випробувальної системи (див. рис. 3.2) таким чином, що керуючий сигнал мав можливість змінюватися у межах від 40 % до 100 %, а показання температури олії – від мінус 40 °С до трьохсот п'ятдесяти °С.

Суттєвою особливістю при контролі нагрівання мастила є те, що найменша потужність, яку може розвинути газовий пальник, складає сорок відсотків. Це означає, що документування числових значень варто

розпочинати лише тоді, коли олія досягне врівноваженої температури у режимі роботи пальника на зазначених сорока відсотках потужності.

Складання плану дослідження об'єкта керування

Випробувальна апаратура надає можливість формувати різноманітні вхідні імпульси керування та подавати їх на газовий пальник. При цьому сам об'єкт керування не встановлює жодних обмежень щодо застосовуваного впливу керуючого характеру. Беручи до уваги цю обставину, для вивчення характеристик об'єкта керування доцільно застосовувати метод активного дослідження.

Для визначення параметрів об'єкта керування за допомогою активного випробування необхідно отримати його залежність від часу, вихідні дані, необхідні для побудови стійкої характеристики, реакцію на імпульсну дію, а також контрольні виміри. На підставі цього сплановано наступний порядок дій:

1. Підготувати апаратуру для випробувань до роботи.
2. Отримати залежність від часу.
  - 2.1. Довести об'єкт керування до початкових параметрів, виставивши потужність пальника на 40 %, та зачекати на настання рівноваги.
  - 2.2. Активувати процес фіксації отриманих даних.
  - 2.3. Збільшити потужність пальника до ста відсотків, дочекавшись досягнення усталеного стану.
  - 2.5. Припинити збір даних.
3. Здобути дані для формування сталої характеристики.
  - 3.1. Довести об'єкт керування до початкових умов (потужність пальника 40 %) та очікувати стабілізації режиму.
  - 3.2. Стартанути запис отриманих відомостей.
  - 3.3. Встановити потужність пальника на 55 %, очікуючи на усталення умов.
  - 3.4. Встановити потужність пальника на 70 %, як тільки режим досягне стабільності.

3.5. Встановити потужність пальника на 85 %, дочекавшись врівноваження показників.

3.6. Встановити потужність пальника на сто відсотків, слідуючи за стабілізацією параметрів.

3.7. Припинити реєстрацію.

4. Отримати дані при умові імпульсного втручання.

4.1. Привести об'єкт керування до базових показників (потужність пальника 40 %) та дочекатися стабільності.

4.2. Розпочати реєстрацію показників.

4.3. Встановити потужність пальника на 100 %, дочекавшись усталеного стану.

4.4. Повернути потужність пальника до 40 %, коли режим досягне рівноваги.

4.5. Завершити фіксацію отриманих відомостей.

5. Отримати дані для підтвердження їхньої надійності.

5.1. Довести об'єкт керування до початкових умов (потужність пальника 40 %) та забезпечити його стабільне функціонування.

5.2. Налаштувати вплив псевдовипадковим чином так, що період його зміни буде у десять разів меншим за час, необхідний для перехідного процесу, а амплітуда коливатиметься у межах від сорока до ста відсотків.

5.3. Розпочати збирання інформації.

5.4. Активувати генерацію згенерованого випадкового впливу.

5.5. Здійснювати збір даних протягом інтервалу часу, що еквівалентний п'яти періодам перехідного процесу.

5.6. Припинити фіксацію отриманих значень.

Проведення перевірки

На першій стадії робіт було виконано калібрування випробувальної системи (див. рис. 3.2) таким чином, що керуючий сигнал мав можливість змінюватися у межах від 40 % до 100 %, а показання температури олії – від мінус 40 °С до трьохсот п'ятдесяти °С.

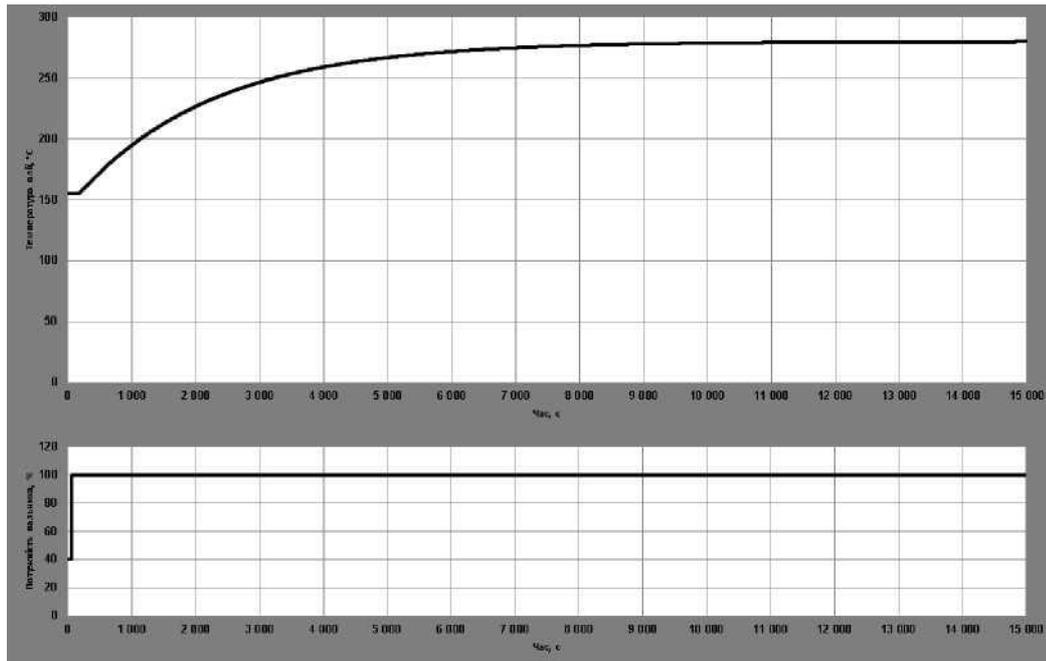


Схема 3.3 – Визначення перехідної (реактивної) залежності

На другому етапі було зафіксовано часову залежність поведінки керованого об'єкта (погляньте на рис. 3.3). Для цього газовий пальник було відкалібровано на потужність у сорок відсотків. Щойно система перейшла у стійкий стан, рівень потужності пальника різко змінили до ста відсотків. Дослідження завершили після того, як фіксовані параметри закріпилися на новому значенні.

Третя стадія була зосереджена на зборі вихідних даних для формування статичної залежності (див. рис. 3.4). Процес розпочали, встановивши газовий пальник на потужність сорок відсотків. Після досягнення рівноважних показників, потужність підняли до п'ятдесяти п'яти відсотків. Потім, після повної стабілізації, рівень потужності підвищили до сімдесяти відсотків. Коли було досягнуто нового стабільного стану, потужність пальника була встановлена на вісімдесят п'ять відсотків. Врешті-решт, після закріплення стійкого режиму, потужність довели до повної (сто відсотків). Випробування припинили, зафіксувавши останній стабільний стан.

Четвертий етап був відведений для накопичення інформації, необхідної для аналізу П-подібного керуючого втручання (рис. 3.5). Газовий пальник спершу працював із потужністю сорок відсотків. Упродовж фази, коли система досягла рівноваги, потужність пальника підвищили до ста відсотків. Цей максимальний рівень потужності підтримувався аж до завершення дослідження, яке припинилося, коли показники залишалися незмінними протягом певного інтервалу часу.

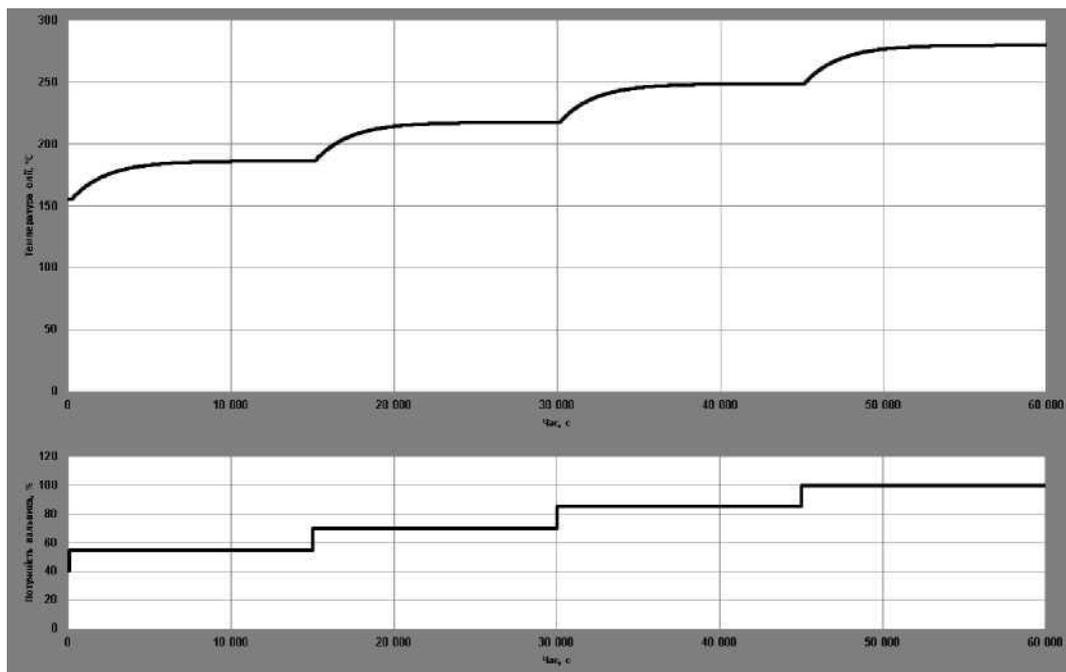


Рисунок 3.4 – Отримання даних для побудови статичної характеристики

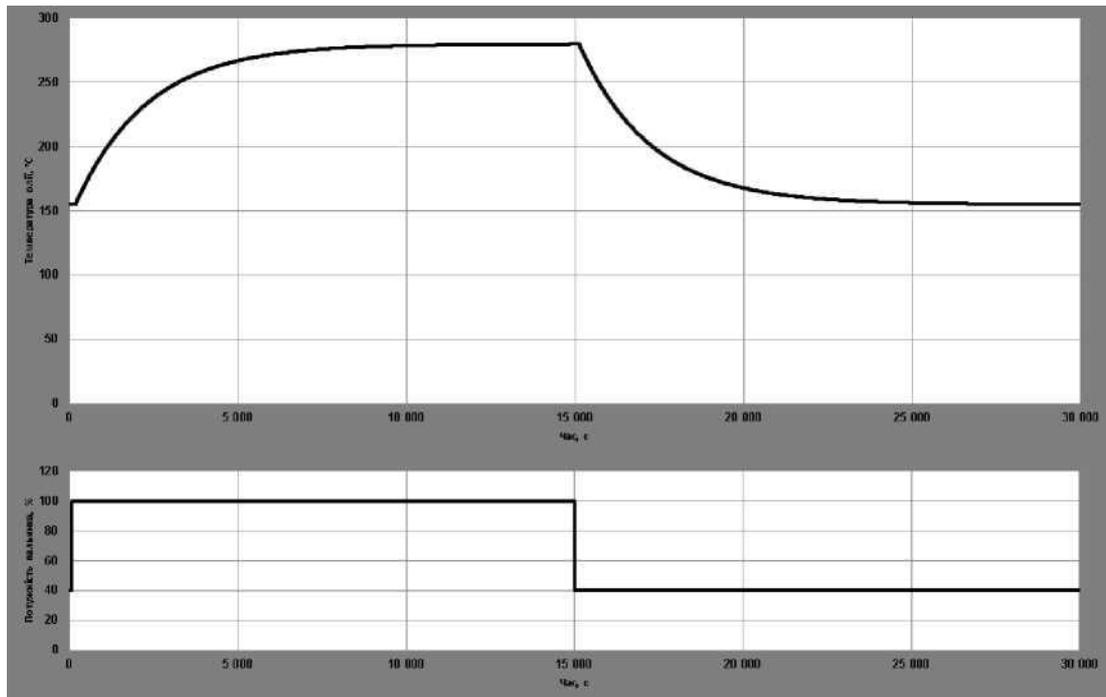


Рисунок 3.5 – Отримання даних при П-образному керуючому впливі

На п'ятому етапі було виконано отримання перевірочних даних (рис. 3.6). Для цього період псевдовипадкового впливу було налаштована на 1 500 секунд. Реєстрація відбувалася на протязі 75 000 секунд.

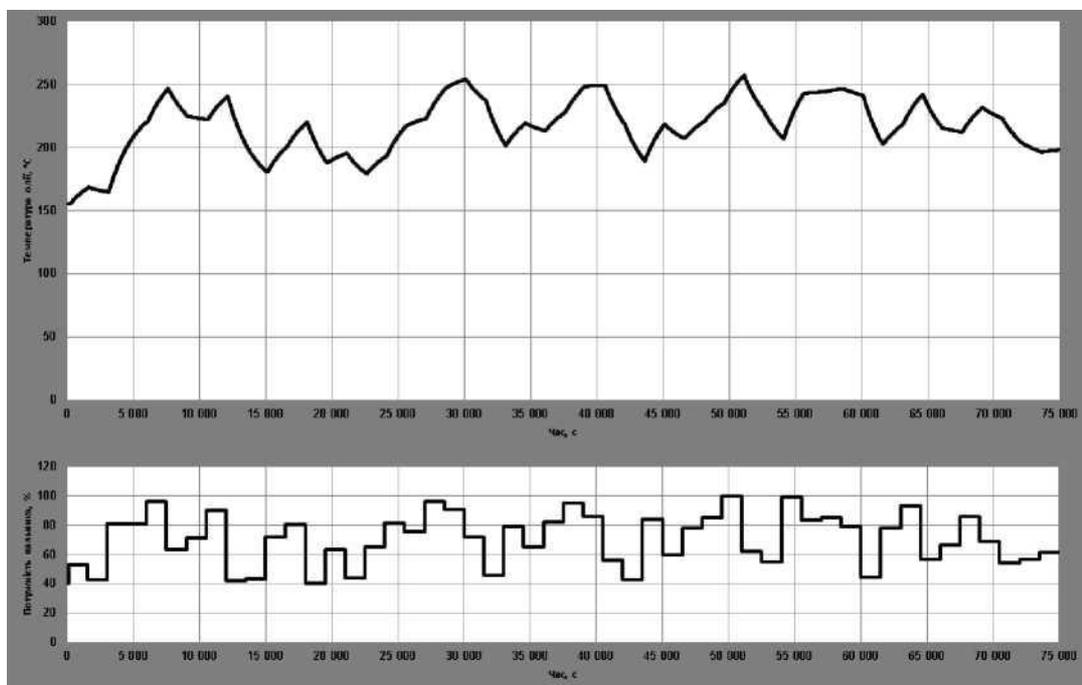


Схема 3.6 – Накопичення відомостей для підтвердження правильності

Після виконання завданих етапів дослідження, було проведено

детальне вивчення керованого об'єкта, що дозволило отримати часові характеристики, дані, потрібні для виведення незмінної залежності, відомості стосовно випадку керуючого впливу у формі літери "П", а також критерії підтвердження адекватності.

### 3.4 Формування математичного базису керованого об'єкта за допомогою Simulink

Опираючись на підсумки процесів ідентифікації, у візуальному середовищі програмного пакета для моделювання Simulink (рисунок 3.13) було збудовано модель зазначеного об'єкта, яка подана як співвідношення передавань.

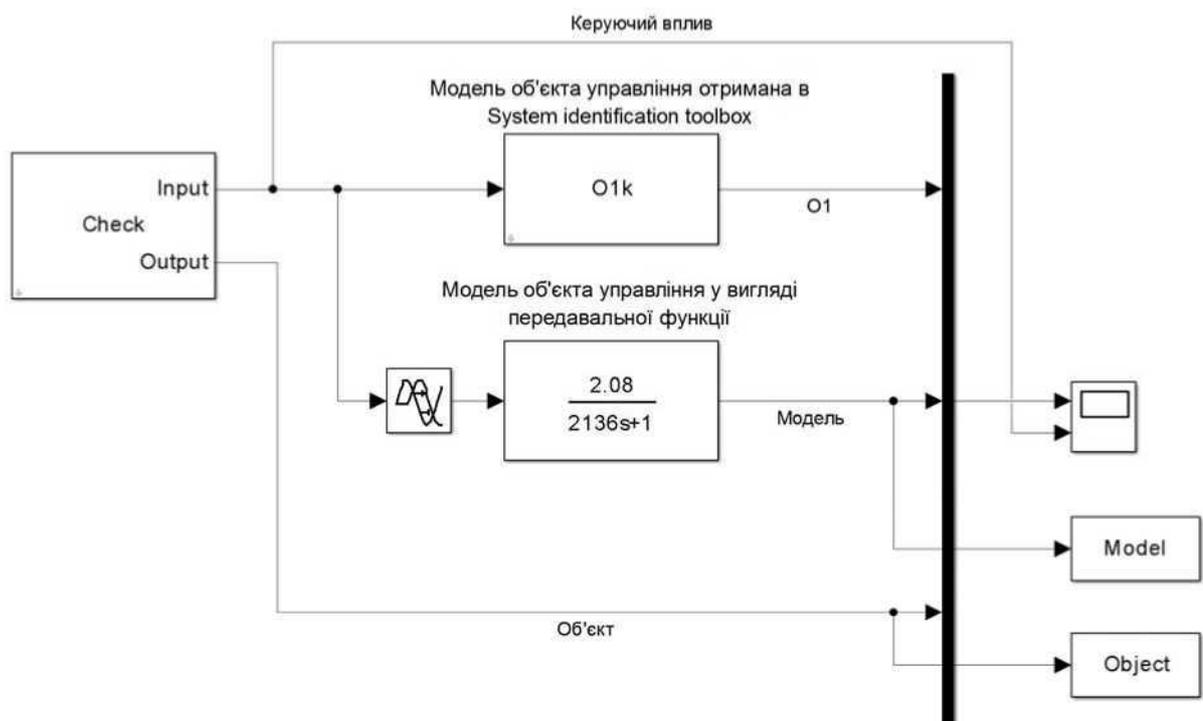


Рисунок 3.13 – Модель об'єкта управління в середовищі Simulink

Малюнок 3.14 демонструє сукупність вислідів моделювання об'єкта, яким керували, використовуючи контрольні вибірки даних.

Передавальна функція, що описує цю модель об'єкта, виявилася

абсолютно такою ж, як та, що була отримана в рамках програмного забезпечення "System identification toolbox". До того ж, результати, отримані під час моделювання, майже повністю корелюють з тими вихідними даними, які ми застосовували для перевірки.

Таким чином, наша розроблена модель, виражена у вигляді передавальної функції, цілком придатна для заміни тієї, яку було виведено на етапі визначення параметрів.

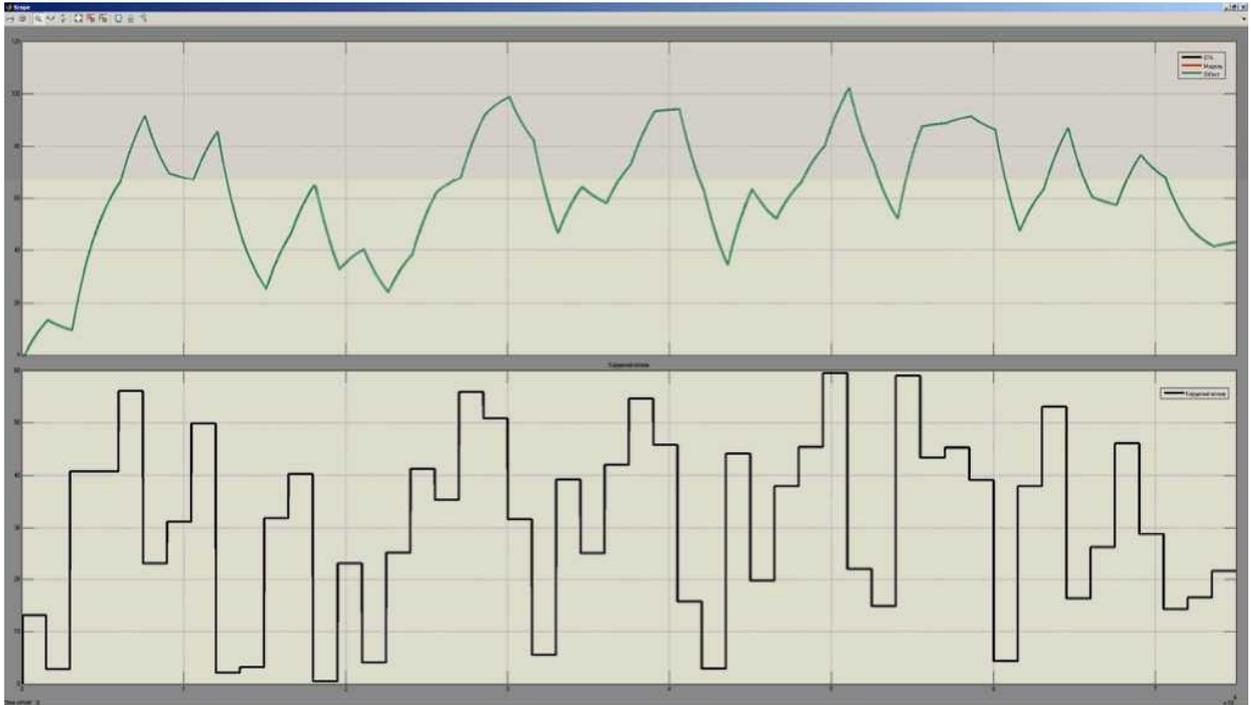


Рисунок 3.14 – Результати моделювання з використання перевірочних

#### Перевірка відповідності моделі дійсності

Проведено аналіз того, наскільки розроблена модель відповідає реальному об'єкту керування, базуючись на даних симуляції та контрольних показниках. Для цієї мети застосовано критерій нормованого середньоквадратичного відхилення:

Цей розрахунок свідчить, що модель узгоджується з фактичним об'єктом із точністю 99.99 %, що засвідчує її належну адекватність та дозволяє використовувати її для подальшого опрацювання та дослідження даного об'єкта.

Остаточний вигляд розробленої моделі об'єкта керування можна знайти на рисунку 3.15, тоді як результати, отримані під час симуляційних обчислень, відображено на рисунку 3.16.



Рисунок 3.15 – Остаточна модель об'єкта управління

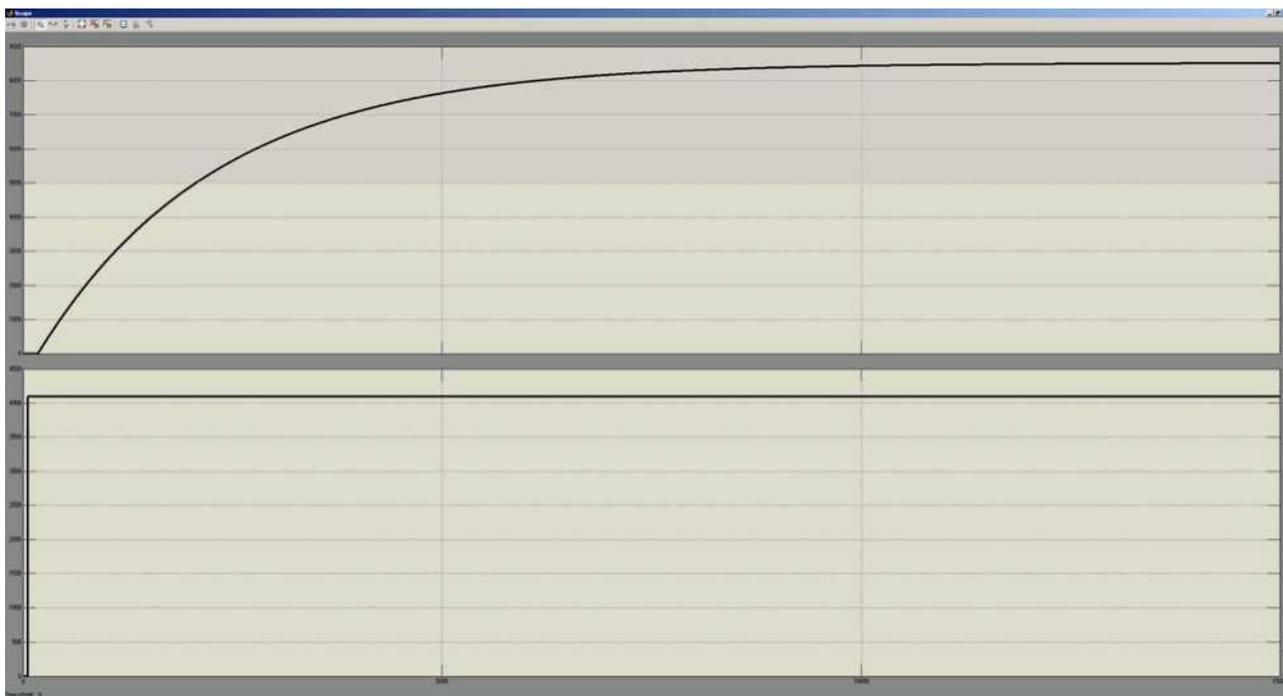


Рисунок 3.16 – Результати моделювання

## РОЗДІЛ 4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

### 4.1 Визначення загальної вартості автоматизованої системи управління процесом виробництва олії соняшникової.

Вартість товару – це грошове відображення нагальних фінансових потреб підприємства, які були витрачені на його створення та подальший продаж. Витрати, що безпосередньо пов'язані із виробничим циклом, формують виробничу собівартість, тоді як сума витрат на виробництво та реалізацію утворює повну собівартість. Методика обчислення вартості продукції за окремими видами витрат зветься калькулюванням. Розрахунок собівартості програмного забезпечення здійснюється відповідно до «Типового положення про планування, облік та калькулювання собівартості продукції (робіт, послуг) у промисловості». /Джерело: Типове положення про планування, облік і калькулювання собівартості продукції. Затверджено КМУ 26 квітня 1996 р. № 473 // Бізнес. - № 32-35/.

Витрати, які супроводжують виготовлення, а потім і збут виробу (як-от системи автоматизованого управління виробництвом соняшникової олії), класифікуються за такими пунктами:

1. Матеріальні елементи та закуплені складові.
2. Основна заробітна плата персоналу.
3. Додаткова винагорода праці персоналу.
4. Внески на соціальне забезпечення.
5. Видатки на обслуговування й експлуатацію обладнання.
6. Загальновиробничі нарахування.
7. Адміністративні витрати.
8. Витрати, пов'язані з реалізацією.

#### 4.1.1 Матеріальні елементи та закуплені складові.

Аналіз цієї групи проводиться на основі відомостей про необхідні матеріали, сировину та вузли, що розраховані на виготовлення однієї одиниці готового продукту.

Таблиця 4.1

Матеріальні елементи та закуплені складові

Найменування	Кількість	Вартість, грн.
програмований логічний контролер VIPA 214-2BS33	1	60000
Провідники	30 м	10000
Сумарна вартість покупних виробів (Сп)		70000

Видатки на основну заробітну плату (ОЗП):  $ОЗП = ЗТ \cdot ССП \cdot КЗП \cdot ККп$   
 $= 5 \cdot 200 \cdot 2 = 2000$  гривень,

де ЗТ – сумарні трудовитрати на виробництво товару (в годинах).  
 Обчислюється на основі експертної оцінки й фактично затраченого часу на створення та налаштування одиниці продукції;

ССП – середньозважена погодинна ставка винагороди для кожного спеціаліста, залученого до випуску, грн./год.;

КЗП – коефіцієнт залучення персоналу (індекс кваліфікації);

ККп – чисельність персоналу, залученого безпосередньо до виробничого процесу.

#### 4.1.2 Витрати на загальноцехові потреби.

Сюди входять витрати, пов'язані з адміністративним забезпеченням цеху, відрядженнями персоналу цеху за службовими завданнями, сумами зносу (амортизації) основних засобів, що використовуються

загальноцеховими службами, та подібні видатки.

Обчислюються у діапазоні 130–250% від суми ОЗП.

$$\text{ЗЦВ} = \text{ОЗП} \times 200\% = 2000 \times 200\% = 4000 \text{ грн}$$

Собівартість виробу на стадії його виробництва.

$$\text{СВВВ} = \text{МЗ} + \text{ОЗП} + \text{ПВЗ} + \text{ВТУ} + \text{ВТР} + \text{ЗЦВ} = 70000 + 2000 + 400 + 885,6 + 2800 + 4000 = 80085,6 \text{ грн}$$

#### 4.1.3 Адміністративні витрати.

Можуть охоплювати:

- видатки, пов'язані із загальним управлінням підприємством;
- витрати на службові поїздки управлінського персоналу компанії;
- витрати на забезпечення заходів щодо протипожежної безпеки та охорони праці;
- аспекти, що стосуються навчання (підготовки) та підвищення кваліфікації кадрів;
- витрати на транспортування співробітників до місць роботи та у зворотному напрямку;
- витрати, спричинені виплатою відсотків за позиками банківських установ, а також відсотків за комерційними та товарними кредитами; витрати, пов'язані з оплатою користування матеріальними активами, наданими в оренду (лізинг);
- витрати за послуги, надані комерційними банками та іншими фінансово-кредитними структурами;
- податкові відрахування.

Визначаються у розмірі 140–200% від ОЗП.

$$\text{АВВ} = \text{ОЗП} \times 180\% = 2000 \times 180\% = 3600 \text{ грн}$$

Витрати на збут (реалізацію) продукції.

Охоплюють видатки, спрямовані на просування товару та його підготовку до продажу. Орієнтовно, ці видатки встановлюються в межах 5–

10% від собівартості виготовлення.

$$ВЗП = СВВВ \times 10\% = 80085,6 \times 10\% = 8008,6 \text{ грн}$$

Повна кошторисна вартість товару.

$$ПКВ = СВВВ + АВВ + ВЗП = 80085,6 + 3600 + 8008,6 = 91694,2 \text{ грн}$$

Розрахунок собівартості продукції оформлюється у вигляді таблиці

Таблиця 4.2 Обчислення кошторисної вартості системи автоматизованого контролю виробничого циклу олії соняшникової

Найменування статей калькуляції	Величина, грн
Матеріали і комплектуючі вироби.	70000
Основна заробітна плата	2000
Додаткова заробітна плата	400
Відрахування на соціальні заходи	885,6
Витрати на утримання й експлуатацію устаткування	2800
Загальновиробничі витрати	4000
Адміністративні витрати	3600
Витрати на збут	8008,6
<b>Повна собівартість продукту</b>	<b>91694,2</b>

#### 4.2.Визначення кошторису системи автоматизації управління процесом виготовлення соняшникової олії

У сучасному ринковому середовищі застосовується низка різних способів формування ціни: підхід, що ґрунтується на сумі витрат та доданій маржі, забезпечення заздалегідь визначеного рівня прибутковості, а також встановлення ціни залежно від рівня попиту [ 5].

Розрахунок оптової ціни для нашого товару буде здійснено за моделлю, що базується на сумі усіх витрат та бажаному рівні прибутку.

$$Ц_{опт} = С + П$$

де С представляє собою повну собівартість розробленого програмного забезпечення, а П — очікувану суму прибутку.

Переваги цього методу полягають у його елементарності та зрозумілості цільової функції ціни, яка полягає у покритті виробничих витрат і гарантуванні прибутку від розробки та подальшого продажу продукту. Недоліком же є те, що ця методика, по суті, не бере до уваги вплив ринкових факторів, зокрема рівня попиту. Тим не менш, у реаліях ринкової системи можуть існувати ситуації, коли для суб'єктів господарювання доцільно застосовувати саме цю методологію: за умов відсутності конкуренції (монопольне становище), при державному регулюванні граничної рентабельності, при виконанні приватних замовлень, а також якщо мова йде про виробництво унікального продукту.

Слід зазначити, що для з'ясування реальної вартості, яка б адекватно відображала поточний стан ринку програмних рішень, є необхідним проведення відповідного маркетингового аналізу.

$$Ц_{розд} = Ц_{опт} \cdot 1,2 = 123787,2 \cdot 1,2 = 148544,6 \text{ грн,}$$

де 20% – це ставка податку на додану вартість.

Резюме. У процесі визначення повної вартості системи автоматизованого управління виготовленням соняшникової олії ми встановили, що вона складає 91694,2 грн.

## РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 5.1 Аналіз шкідливих факторів

У цій кваліфікаційній роботі модифікується процес виробництва рослинної олії. В процесі цього на працівника впливає ряд шкідливих факторів, які перераховані в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 - Шкідливі фактори

Чинник	Обладнання	Нормативний документ
Інтенсивне тепло	обігрівачі, електродвигуни	ГОСТ 12.1.005-88
пил	персональний комп'ютер	ГОСТ 12.1.005-88 ДСанПіН 3.3.2-007-98 ДНАОП 0.03-33.1485
шум	насоси електродвигуни, конвеєри, гідроциклон-шнадепармент, персональний комп'ютер	ДСанПіН 3.3.2-007-98 ДСТУ Б.А.3.2-12:2009 ДНАОП 0.03-33.14-85
Ураження електричним струмом	електродвигуни, персональний комп'ютер, силовий пристрій	ДСТУ Б.А.3.2-12:2009
Зміна температури	обігрівачі, електронасоси	ДСН 3.3.6.042-99

Фактори шкідливості [21:]

Обґрунтування ергономічних приписів до робочого місця з комп'ютерним обладнанням

Параметри простору, де розташовано пункт продажу, наступні:

1. Довжина сягає дванадцяти метрів;
2. Висота дорівнює двом із половиною метрам;
3. Ширина складає шість метрів.

Для створення належних та безпечних умов праці при роботі з персональним комп'ютером необхідно впровадити таку низку заходів:

4. На кожне робоче місце має бути виділено площу мінімум 6,0 м<sup>2</sup>, а об'єм повітря – не менше 20,0 м<sup>3</sup>;
5. Робочі секції мусять мати як природне, так і штучне освітлення.

Джерело денного світла слід розташовувати через світлопроникні отвори, бажано орієнтовані на північ та північний схід, що забезпечить коефіцієнт природної освітленості (КПО) на рівні не менше 1,5%. Віконні прорізи у приміщеннях, де використовуються ВДТ (відеодисплейні термінали), мусять бути обладнані регульованими засобами затінення (наприклад, жалюзі, штори, або зовнішні навіси);

Для внутрішнього оздоблення приміщень з обладнанням слід обирати матеріали, що створюють розсіяне відбиття: коефіцієнт відбиття для стелі має бути в межах 0,7–0,8, а для стін – 0,5–0,6;

Підлогове покриття має бути не блискучим, з коефіцієнтом відбиття від 0,3 до 0,5;

Поверхня підлоги мусить бути рівною, без ковзання та мати антистатичні властивості;

Персонал, що обслуговує, зобов'язаний здійснювати вологе прибирання щоденно, до початку зміни;

У робочому приміщенні обов'язково повинна бути укомплектована медична скринька.

З метою дотримання відповідних санітарних норм були сформульовані такі настанови [1116]: у приміщенні необхідно змонтувати систему кондиціонування для підтримання оптимального мікроклімату (температурний режим, рівень вологості та швидкість руху повітряних потоків);

Штучне освітлення має бути реалізоване через систему, яка забезпечує загальне рівномірне освітлення;

Освітленість робочих площин столів у зоні розміщення робочої документації має досягати 300–500 лк [28]. Якщо загальна система освітлення не дозволяє досягти цих показників, слід застосовувати додаткове локальне освітлення. При цьому, індивідуальні світильники мають бути розташовані так, щоб уникнути появи відблисків на екрані, при цьому освітленість самого дисплея не повинна перевищувати 300 лк; У робочому

просторі та навчальній майстерні монтуються світильники з люмінесцентними лампами типу ЛСО, які встановлюються суцільними рядами збоку від робочих місць (переважно з лівого боку), паралельно лінії погляду користувача.

Основні вправи для зору при роботі з комп'ютерною технікою [16]:

- Розтерти долоні, а потім на кілька хвилин закрити очі, прикривши їх теплими долонями;
- Виконувати точковий масаж пальцями ділянок, розташованих точно над бровами (по центру), і утримувати цей тиск протягом 30 секунд;
- Прикладати тиск на заглиблення, розташовані по обидва боки перенісся (утримувати тиск по 30 секунд на кожній точці);
- Притискати точки, що знаходяться по обидва боки перенісся (час впливу на кожну точку – 30 секунд);
- Знайти точки під очима, на середині вилиць, та притиснути їх вказівними пальцями обох рук;
- Здійснювати рухи поглядом у такій послідовності: прямо – ліворуч – прямо – праворуч – прямо – угору – прямо – униз – прямо, повторивши цей цикл 5 разів, а потім ще 5 разів у зворотному порядку, не роблячи пауз між позиціями;
- Спочатку сфокусувати зір на об'єкті, що знаходиться близько, а потім – на віддаленому об'єкті.

## **5.2 Заходи щодо електробезпеки**

Робоча зона, котра не відповідає встановленим нормам електробезпеки, вважається зоною підвищеного ризику [22].

Для забезпечення належного рівня електробезпеки усі встановлені системи потребують обов'язкового заземлення.

Оскільки електроживленням забезпечується від трифазної мережі, обов'язковим є використання нульового робочого режиму з глухозаземленою

нейтраллю. Найбільш поширеною конфігурацією захисного занулення для установок з номінальною напругою до 1 кВ та вище є TN-C-S (Додаток 5.1). Ця конфігурація вимагає застосування комбінованого провідника PEN, який підключається до нейтрального виводу силового трансформатора, що має зовнішній контур заземлення.

Для гарантування функції захисного відключення необхідно використовувати ПЗВ типу А – пристрій, чутливий до змінного синусоїдального диференціального струму, а також до пульсуючого постійного диференціального струму, який може виникати у фоновому режимі або наростати поступово.

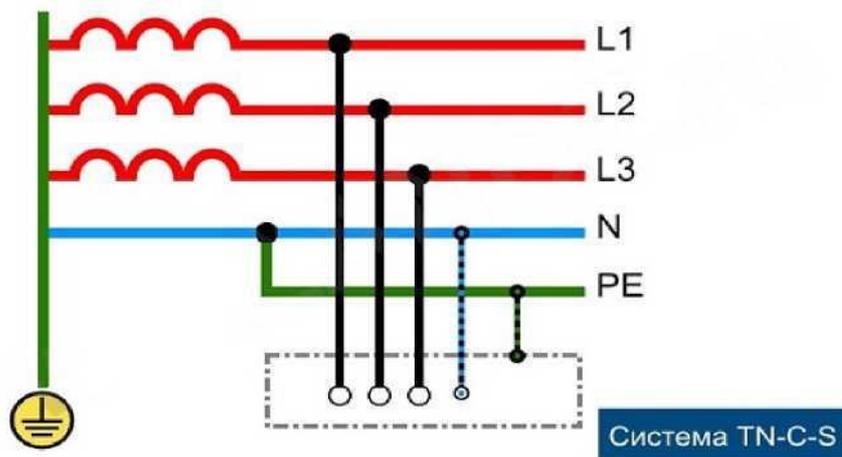


Рисунок 5.1 - Загальний вигляд TN-C-S

Основний резервний вимикач слід інсталиувати там, де його добре видно та зручно діставати, забезпечуючи при цьому повне живлення усіх систем, окрім освітлювальних пристроїв;

Для забезпечення електробезпеки, персонал зобов'язаний дотримуватися таких дій:

- використовувати захисні запобіжники для унеможливлення ситуацій короткого замикання;
- щоденно, до початку зміни, очищувати поверхню монітора від пилу та будь-якого забруднення;
- при роботі з електричними установками обов'язково застосовувати

індивідуальні засоби захисту (гумові рукавиці та інструменти з ізоляцією на руків'ях);

– протягом усього терміну експлуатації необхідно регулярно проводити заплановані профілактичні ремонти та випробування електричної апаратури, приладів та мереж;

– знімати бокову панель корпусу комп'ютера, коли він перебуває у робочому режимі, суворо заборонено.

Заходи щодо регулювання акустичного та температурного середовища.

Звукове забруднення є однією із небезпечних складових, невід'ємною частиною будь-якого виробничого процесу.

Був розроблений комплекс рішень з метою зниження інтенсивності шуму:

Між базою двигуна та його опорою встановлюється віброізолюючий елемент SEG, зроблений з еластомеру на основі термопластів (посилання на Рис. 5.2);

Амплітуду вібрацій поверхонь, які є джерелом шуму (корпуси, кожухи, кришки тощо), слід зменшувати за рахунок затягування кріпильних болтів, що гарантує надійне закріплення;

Щотижня має проводитися планове обслуговування усіх механізмів та агрегатів для забезпечення коректного вирівнювання стиків та належної фіксації;

Стіни приміщення обладнані звукоізоляційним матеріалом Procell, товщина якого складає 10 мм.

Заходи, спрямовані на протидію надмірному нагріванню та високій температурі:

- облаштування як природної, так і примусової вентиляції робочих приміщень;

- якщо в цехах виділяється значна кількість тепла, слід встановити систему для екстреного охолодження;

Procell – це самозагасаючий поліуретан, ефективний для звукопоглинання. Під час виробництва матеріал збагачується специфічними мінеральними добавками; це посилює його характеристики: опірність вогню, стійкість до вологості та впливу бактерій. Діапазон робочої температури цього матеріалу коливається від мінус тридцяти до ста градусів Цельсія.



Рисунок 5.2 - Вібратор SEG

Для підтримки оптимальних кліматичних умов у приміщенні, що йде одразу після сушильного апарату, є необхідність у встановленні кондиціонера на стелю типу CS-A43BTP/CU- A43BBP8 (зверніться до рисунка 5.2 та таблиці 5.2).

Таблиця 5.2 – Характеристики обладнання, призначеного для клімат-контролю

Спліт система	Інша справа, що це не буде працювати.		Розмарин ШхГГ, мм	Продуктивність, м <sup>3</sup> /г	Ревучий шум, дБ	Об'єм приміщення, м <sup>2</sup>
	Охолодження, кВт	це ігровий фургон, кВт				
CS-A43BTP/CU-A43BBP8	12.5	14.0	1600x250x700	1860	48 / 44	До 125 осіб



Рисунок 5.2 - Загальний вигляд стельовий кондиціонер

### 5.3 Заходи з попередження займань

Найбільш типові першоджерела загорянь на робочому місці становлять [23]:

- \* недотримання затвердженої технологічної інструкції — 33%;
- \* технічні несправності електричних пристроїв — 16%;
- \* невідповідна підготовка апаратури до виконання ремонтів — 13%;
- \* залишення займистих обтиральних матеріалів та аналогічних засобів — 10%.

Щоб забезпечити належний рівень протипожежного захисту в комерційній установі, необхідно:

- виділити місця для розміщення порошкових вогнегасників (чотири пристрої ОП-6 ємністю 6,3 л у виробничій зоні);
- суворо виконувати вимоги електробезпеки, згідно з підпунктом 4.2.2;
- імплементувати автоматизований комплекс протипожежного захисту (АКПЗ) для корпусів промислового типу;
- встановити резервний механізм ручного активатора системи для

боротьби з вогнем (це повинно бути передбачено як додатковий варіант на випадок відмови системи димовизначення); створити та вивісити у приміщеннях плани виходу (евакуації) на випадок займання (зверніться до іл. 5.4); проводити планові навчальні тренування та інструктажі для співробітників щодо безпеки при пожежі кожні три місяці;

Розташовувати контейнери, заповнені річковим піском, поруч із стендами, де знаходяться первинні засоби для гасіння вогню.

У разі виникнення вогняної події, слід негайно спрямувати виклик на номер 01 (дозволено не називати точну адресу об'єкта, де сталася пожежа, та своє ім'я), повідомити відділ безпеки та негайно приступати до евакуації з будівлі.

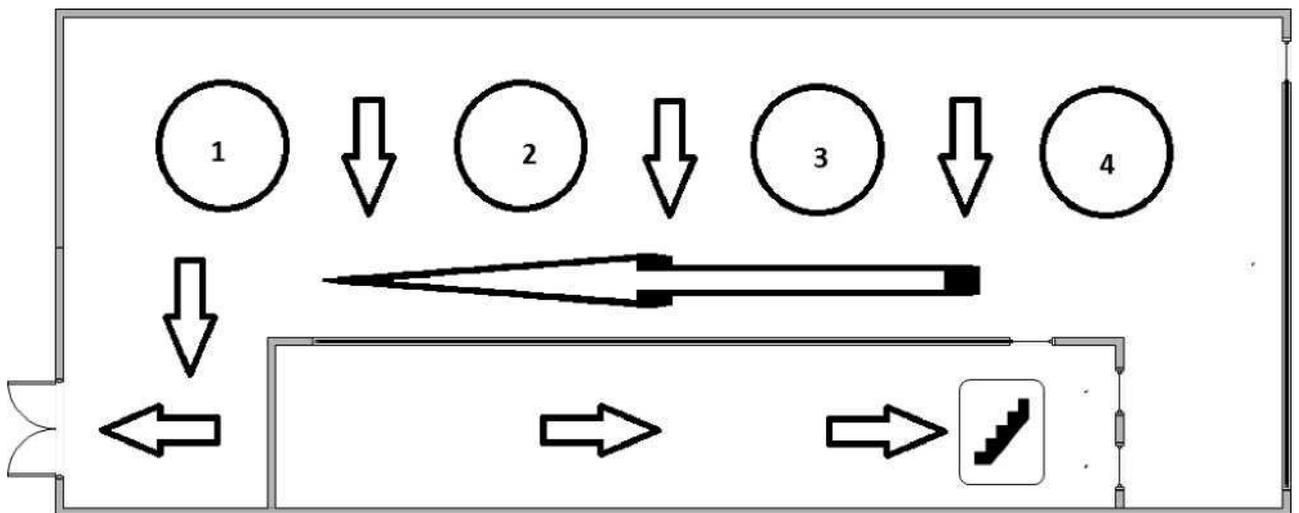


Рисунок 5.4 - План евакуації з цеху на випадок пожежі

## ВИСНОВКИ

У магістерській кваліфікаційній роботі вирішено актуальне науково-прикладне завдання щодо підвищення ефективності процесу дезодорації соняшникової олії шляхом розробки та дослідження підсистеми автоматичного керування температурним режимом. Основні результати роботи полягають у наступному:

1. Проведено аналіз технологічного процесу та стану галузі. Встановлено, що соняшникова олія є домінуючим продуктом на ринку жирів України. Визначено, що процес дезодорації є критичним етапом рафінації, який вимагає точного підтримання температури олії в межах 220–230 °С для видалення летких речовин та забезпечення органолептичних показників.

2. Обґрунтовано та розроблено апаратне забезпечення системи керування.

- В якості керуючого пристрою обрано програмований логічний контролер VIPA 214-2BS33, який забезпечує достатню швидкодію та підтримку інтерфейсу RS-485.

- Для вимірювання технологічних параметрів підібрано датчики температури ТЄРА ТЖК-У-1-5-І-1-І з уніфікованим вихідним сигналом 4–20 мА.

- Обрано виконавчі механізми: електромагнітний клапан Sovpa SLPM-20 для подачі пари та газовий пальник ГБЛ-1.2-МГ з плавним регулюванням потужності по протоколу Modbus RTU.

- Розроблено структурну схему автоматизації та схему електричну принципову підключення всіх компонентів.

3. Виконано ідентифікацію та математичне моделювання об'єкта керування.

- Методом активного експерименту отримано часові характеристики об'єкта (парового котла/нагрівача) при різних типах вхідних впливів (східчастий, імпульсний, псевдовипадковий).

- Перевірка адекватності моделі показала, що розрахункові дані узгоджуються з експериментальними з точністю 99,99%, що підтверджує можливість використання моделі для налаштування контуру регулювання.

4. Реалізовано інформаційну взаємодію. Розроблено схему інформаційних потоків, яка передбачає збір даних з датчиків, обробку їх у ПЛК та передачу керуючих впливів на пальник, а також візуалізацію процесу в SCADA-системі «zenon».

5. Здійснено техніко-економічне обґрунтування. Розраховано повну собівартість розробленої системи автоматизації, яка складає 91 694,2 грн. Це свідчить про економічну доцільність впровадження розробки порівняно з існуючими аналогами або ручним керуванням.

6. Розроблено заходи з охорони праці. Проаналізовано шкідливі виробничі фактори (шум, температура, електробезпека) та запропоновано комплекс інженерних рішень: використання системи заземлення типу TN-C-S, встановлення віброізоляції для двигунів, монтаж систем кондиціонування та забезпечення пожежної безпеки.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Васюра, А. С., & Лисогор, В. М. (2015). Електропостачання підприємств харчової промисловості. Вінниця: ВНТУ.
2. Міністерство енергетики та вугільної промисловості України. (2017). Правила улаштування електроустановок (ПУЕ) (Офіційне видання). Київ: Енергоатом.
3. Павлюченко, А. В. (2020). Дослідження режимів роботи електроприводів пресів олійного виробництва. Науковий вісник Національного університету харчових технологій, 26(4), 88–95.
4. Клименко, Б. В. (2012). Електричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Загальний курс (Навч. посібник). Харків: Точка.
5. Голінько В.І., Фрундін В.Ю. Охорона праці в галузі електротехніки та електромеханіки – Д.: Державний ВНЗ «НГУ», 2019. – 235с.
6. Баланчук Р. Ю. Система автоматичного керування виробництвом соняшникової олії : робота на здобуття кваліфікаційного ступеня магістра : спец. 151 – автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології / наук. кер. О. Ю. Журавльов. Суми : Сумський державний університет, 2024. 87 с..
7. ДСН 3.3.6.042-99 „Державні санітарні норми параметрів мікроклімату” - К.: МОЗ України, 2020.
8. Ralf Joost and Ralf Salomon. “Advantages of fpga-based multiprocessor systems in industrial applications”. In 31st Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON 2005). IEEE-I EON, November 2016.
9. Шидловський, А. К., & Кузнєцов, В. Г. (2008). Підвищення якості енергії в електричних мережах. Київ: Наукова думка.
10. Іванов, В. О., & Король, О. І. (2012). Автоматизація технологічних процесів в олійно-жировій промисловості. Київ: Освіта України.

11. «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості на небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». № 528 - 2020.
12. Nyman, Anthony. Charles Babbage, pioneer of the computer. — Oxford University Press, 2019.
13. Соловей, П. Г. (2021). Система автоматичного керування процесом екстракції олії з використанням елементів нечіткої логіки. Технологічний аудит та резерви виробництва, 3(2/59), 42–50.
14. Пушанко, М. М., & Самойленко, П. Г. (2017). Електрообладнання та автоматизація переробних виробництв АПК. Київ: Ліра-К.
15. Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з N. V. P. R. Durga Prasad, T. Lakshminarayana, et al., “Automatic Control and Management of electrostatic Precipitator”, IEEE Transactions on Industry Applications, pp. 561-567, Vol. 35, No. 3, May/June, 1999.
16. Державна служба України з питань праці. (2019). ДСТУ EN 60079-14:2019. Вибухонебезпечні середовища. Частина 14. Проектування, вибір та монтаж електроустановок. Стандарти України.
17. Андреев, В. А. (2006). Релейний захист і автоматика систем електропостачання (Підручник для ВНЗ). Москва: Вища школа.
18. Копилов, І. М. (2002). Електричні машини. Київ: Вища школа.
19. Randell, Brian. The Origins of Digital Computers: Selected Papers.. — 2019.
20. Ошаєв, В. А. (2010). Технологія і устаткування олійно-жирових підприємств. Київ: НУХТ.
21. Левченко, О. В. (2019). Удосконалення захисту асинхронних двигунів у вологих та запилених середовищах сільськогосподарських виробництв. Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія "Енергетика", 3(78), 115–121.

22. Ладанюк, А. П., Трегуб, В. Г., & Ельперін, І. В. (2007). Автоматизація технологічних процесів і виробництв харчової промисловості (Підручник). Київ: Аграрна освіта.

23. Міністерство аграрної політики та продовольства України. (2008). ДСТУ 5008:2008. Олії рослинні. Методи визначення небезпеки та правила транспортування. Держстандарт.