

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

Навчально-науковий інститут електроенергетики
(інститут)

Електротехнічний факультет
(факультет)

Кафедра кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем
(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеню бакалавра

студента Тищенко Нікіта Павлович

(П.І.Б.)

академічної групи 151-19-1

(шифр)

спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною програмою 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(офіційна назва)

на тему Автоматизація дефлегматора технологічного процесу виготовлення етилового спирту

(назва за наказом ректора)

Консультанти	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинг.	інституційною	
Керівник кваліфікаційної роботи	ст. викл. Надточий В.В.			
Провідний консультант	ст. викл. Надточий В.В.			
Розробка апаратного забезпечення системи керування	доц. Соснін К.В.			
Визначення моделі об'єкта керування	ст.викл. Бойко О.О.			
Економічна частина	ст. викл. Яремчук І.О.			
Охорона праці	проф. Чеберячко Ю.І.			
Рецензент				
Нормоконтролер	ас. Воскобойник Є.К.			

Дніпро
2023

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри
кіберфізичних та інформаційно-
вимірювальних систем
(повна назва)

Бубліков А.В.
(підпис) (прізвище, ініціали)

« _____ » _____ 2023 року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеня бакалавр

студенту Тищенко Н.П.
(прізвище та ініціали)

академічної групи 151-19-1
(шифр)

спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

за освітньо-професійною програмою 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(офіційна назва)

на тему Автоматизація дефлегматора технологічного процесу виготовлення етилового спирту затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» № 328-с від 08.05.2023 р.

Розділ	Зміст	Термін виконання
Стан питання та постановка завдання	Вступ. Опис технологічного процесу для об'єкта автоматизації. Огляд існуючих систем автоматизації. Стан питання. Вибір напрямку створення автоматизованої системи.	01.05.2023
Розробка апаратного забезпечення системи керування	Обрання датчиків, виконавчих пристроїв та пристрою керування, розробка структурних схем, функціональної схеми автоматизації та принципової схеми електричної.	10.05.2023
Визначення моделі об'єкта керування	Виконання експерименту. Обробка результатів експерименту. Створення моделі об'єкта керування. Перевірка отриманої моделі на адекватність.	15.05.2023
Економічна частина	Економічне обґрунтування доцільності витрат на створення системи керування.	25.05.2023
Охорона праці	Розробка організаційно-технічних заходів, щодо реалізації правил безпеки при експлуатації системи.	31.05.2023

Завдання видано

_____ (підпис керівника)

ст. викл. Надточий В.В.
(прізвище, ініціали)

Дата видачі

01.05.2023

Дата подання до екзаменаційної комісії

10.06.2023

Прийнято до виконання

_____ (підпис студента)

Тищенко Н.П.
(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 94 стор., 46 рис., 21 табл., 2 дод.

Об'єкт розробки – система автоматичного керування дефлегматором технологічного процесу виготовлення етилового спирту на Гнідавському біоетанольному заводі.

Об'єкт дослідження – технологічний апарат дефлегматор RFC-100 ST для еспураційної колони BTS 1600-32.

Предмет дослідження – модель дефлегматору RFC-100 ST.

Мета роботи – розробка моделі об'єкта керування для регульованої температури пари на виході дефлегматора в залежності від продуктивності охолоджуючої води. При цьому інші вхідні і вихідні параметри мають бути не змінними і знаходитись у номінальному стані.

Виходячи з отриманих результатів можливо зробити висновок, що розроблена модель відповідає об'єкту керування, та може бути використана для подальшої розробки підсистеми керування. Подальше вдосконалення моделі можливе у рамках більш детального аналізу впливів збурення, та модифікації програмного коду з метою підвищення швидкодії. Отримана модель може бути використана для розробки програмного забезпечення підсистеми керування.

Розглянуто техніко-економічного обґрунтування ефективності результатів розробки і впровадження автоматизованої системи керування дефлегматором технологічного процесу виготовлення етилового спирту.

Проведено аналіз небезпечних і шкідливих виробничих чинників, розроблено інженерно-технічні заходи по охороні праці, розглянуті протипожежні заходи.

СПИРТ ЕТИЛОВИЙ, ДЕФЛЕГМАТОР, ОХОЛОДЖЕННЯ, СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, ДАТЧИК, ВИКОНАВЧИЙ ПРИСТРІЙ, ДОСЛІДНИЦЬКА СИСТЕМА, ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ

ЗМІСТ

Вступ	7
1 Стан питання та постановка завдання	8
1.1 Галузь промисловості	8
1.1.1 Загальні відомості	8
1.2 Етанол	11
1.3 Виробництво біоетанолу в Україні	13
1.2 Технології виробництва біоетанолу	16
1.2.1 Технологічна схема браго-ректифікаційної установки безперервної дії	16
1.2.2 Дефлегматор	18
1.3 Об'єкт керування	20
1.3.1 Загальні відомості	20
1.3.2 Характеристика об'єкта керування	21
1.3.3 Структура об'єкту керування	22
1.3.4 Принцип функціонування об'єкту керування	23
1.4 Структурна схема об'єкту керування	24
1.5 Формулювання задачі дослідження	25
1.6 Висновки за розділом	26
2 Розробка апаратного забезпечення системи керування	28
2.1 Розробка структурної схеми підсистеми керування	28
2.2 Вибір апаратного забезпечення підсистеми керування	30
2.2.1 Вибір датчиків	30
2.2.2 Вибір виконавчих пристроїв	33
2.2.3 Вибір пристроїв керування	35
2.2.4 Вибір джерел живлення	41
2.3 Розробка функціональної схеми автоматизації	43
2.4 Розробка схеми електричної принципової	45
2.5 Висновки за розділом	48
3 Визначення моделі об'єкта керування	49

	5
3.1 Загальні відомості	49
3.2 Розробка структурної схеми інформаційних потоків дослідницької системи	50
3.3 Розробка методики дослідження об'єкта керування	51
3.4 Виконання експерименту	53
3.5 Обробка результатів експерименту	56
3.5.1 Підготовка даних	56
3.5.2 Структурна ідентифікація	58
3.5.3 Параметрична ідентифікація	61
3.5.4 Розробка моделі об'єкта керування в Simulink	64
3.5.5 Перевірка моделі на адекватність	66
3.6 Розробка схеми моделі засувки	67
3.7 Остаточна комплексна модель об'єкту керування	68
3.8 Висновки за розділом	69
4 Економічна частина	71
4.1 Техніко-економічне обґрунтування впровадження системи керування	71
4.2 Розрахунок капітальних витрат пов'язаних з впровадженням системи керування	71
4.3 Розрахунок капітальних витрат на програмне забезпечення	72
4.3.1 Розрахунок часу на розробку програмного забезпечення	72
4.3.2 Розрахунок витрат на розробку програмного забезпечення	75
4.4 Розрахунок експлуатаційних витрат	76
4.4.1 Амортизація основних фондів	76
4.4.2 Розрахунок фонду заробітної плати	77
4.4.3 Відрахування на соціальні заходи	78
4.4.4 Розрахунок витрат на технічне обслуговування та ремонт	78
4.4.5 Витрати на електроенергію	78
4.4.6 Інші витрати	79
4.5 Висновки за розділом	79
5 Охорона праці	80
5.1 Характеристика об'єкту та умови його експлуатації	80

	6
5.2 Інженерно-технічні заходи з охорони праці	82
5.3 Розрахунок освітлення	84
5.4 Профілактичні заходи з охорони праці	86
5.5 Висновки за розділом	88
Висновки	89
Перелік посилань	92
Додаток А	95
Додаток Б	96
Відгуки консультантів кваліфікаційної роботи	97
Відгук	99
Рецензія	101

ВСТУП

Етанол зараз вважається біопаливом, і навіть якщо лише близько 3 % від загального світового транспорту використовує цю альтернативу, майбутнє є досить перспективним.

Етанол виробляється з біомаси в основному в процесі ферментації, використовуючи в якості сировини глюкозу, отриману з цукрів (цукрова тростина, цукрові буряки і патока), крохмалю (кукурудза, пшениця, зерно) або целюлози (лісові продукти). У такому вигляді він є поновлюваним. Етаноловим паливом є етиловий спирт, однотипний спирт, що міститься в алкогольних напоях.

Етанол є дуже важливим елементом для різних галузей промисловості і його використовують як розчинник для багатьох речовин. Саме через широкий спектр застосування, таких як парфуми, фарби, лак та вибухові речовини, очікується, що ринок етанолу зростатиме дуже вражаючими темпами в найближчі роки. Він також знаходить своє застосування в таких напоях, як пиво і вино, і саме головне набуває популярності як альтернатива бензиновому паливу. Автомобільна промисловість є видатним кінцевим споживачем етанолу протягом останніх років.

Створення життєздатної альтернативи та відновлюваного джерела палива вимагає серйозних інновацій та капіталу з використання сучасних технологій та систем автоматизації [1].

Для вдалого розв'язання проблеми керування технологічним обладнанням треба використати особливий підхід до загальної стратегії керування обладнанням, розглянути основи дистиляції, принаймні, звертаючи увагу на практичні аспекти. Проектування задовільної системи керування дистиляцією передбачає набагато більше, ніж теорія або математика. Треба мати певне уявлення про те, що являють собою ефективні конфігурації та механізми обладнання, а також враховувати певну оцінку обмежень з продуктивності обладнання, вміти враховувати побічні ефекти, які схильні заважати хорошій системі керування. Для цього треба детально розглянути типове технологічне обладнання, схеми керування, проблеми та шляхи їх вирішення.

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

1.1 Галузь промисловості

1.1.1 Загальні відомості

За даними World Energy Balances, викопне паливо забезпечувало близько 81 % загального постачання первинної енергії в 2019 році, а відновлювані джерела енергії забезпечували майже 14 %. Хоча занепокоєння щодо виснаження запасів нафти призвело до досліджень заміників палива на основі гідро-, вітро- та сонячної енергії спрямованої на великомасштабне виробництво електроенергії. Транспортна галузь має найбільшу потребу в нафтовій основі, на які припадає приблизно 60 % загального попиту, причому автомобільні перевезення становлять більшість [2].

Крім того, вчені досліджують альтернативні паливні ресурси у відповідь на зростання цін на викопне паливо, згубні викиди парникових газів та різноманітність виробництва енергії. Традиційна транспортна інфраструктура продовжує залишатися основним джерелом забруднення, впливаючи на загальні викиди парникових газів і їх вплив на здоров'я людини. Хоча було виявлено, що повністю електричні транспортні засоби зменшують забруднюючі речовини, їх надзвичайно висока вартість та ненадійність виробництва енергії означають, що вони не є короткостроковим рішенням. Це призвело до пошуку альтернативних видів палива та мастильних матеріалів, включаючи низьковуглецеве та нульове вуглецеве паливо [2].

Сонячна енергія, як альтернативне джерело енергії, як і раніше може використовуватися різними способами. Сонячні промені використовуються рослинами для фотосинтезу, що перетворює їх в накопичену енергію в хімічних зв'язках всередині рослинної тканини, яка може бути перетворена в паливо за допомогою різних термо-хімічних процесів. Незважаючи на те, що електрифікація парку легкових автомобілів збільшується – електромобілі і гібридні електромобілі, важливо зосередитися на розробці передових методів спалювання і подальшої обробки, як коротко- так і середньострокового плану. У цьому сценарії біопаливо

(паливо з низьким / нульовим рівнем викидів вуглецю), вироблене з відновлюваних джерел, вважається найбільш життєздатною альтернативою за короткостроковим сценарієм для заміни звичайного палива в двигунах і все ще є і буде необхідним для більш чистої мобільності.

Промислова революція призвела до виробництва пари та водної енергії, і з тих пір джерела енергії змінювалися, щоб задовольнити кожну зростаючу потребу людини. У 1900 році Рудольф Дизель, перший конструктор двигунів дизельного циклу, в якості палива для свого прототипу використовував рослинне масло. Його метою було підвищення ефективності та зниження вартості та розмірів двигунів у порівнянні з великими паровими машинами, щоб менші підприємства могли дозволити собі техніку. Також було висловлено припущення, що використання рослинної олії значно допоможе сільськогосподарським зусиллям країн. Багато країн, такі як Бразилія і США, диверсифікували виробництво біопалива. Наприклад, після нафтової кризи 1970-х років, Бразилія розгорнула етанолове паливо з цукрової тростини. Однак вигоди почали згасати через збільшення витрат на етанолове паливо в 1989 році.

За останні кілька десятиліть спостерігається збільшення глобального потепління та зміни клімату, викликані викопним паливом, зокрема рідким паливом на нафтовій основі, природним газом та вугіллям. Це зробило біопаливо, отримане з рослинних олій, перспективним альтернативним паливом. Через нафтовий ресурс, здоров'я людей та вплив викопного палива на навколишнє середовище багато науковців досліджують використання овочів для виробництва альтернативних видів палива, як правило, їстівних овочів. Більшість досліджень було проведено на основі використання палива в дизельних двигунах без будь-яких модифікацій. Багато дослідників спробували переглянути важливі дослідження процесів виробництва біодизеля, фізичних та хімічних властивостей, а також їх характеристик та характеристик викидів як палива двигуна із запалюванням від стиснення.

Серед альтернатив алкогольне паливо як низьковуглецеве паливо володіє певними вигідними властивостями, які дають їм потенціал для зниження

забруднюючих речовин і викидів CO_2 від двигунів внутрішнього згорання. Однак спирти також мають деякі обмеження у своєму застосуванні, такі як змішуваність та нижча теплота згорання, ніж звичайне паливо.

Алкогольне паливо знову стає популярним ключовим словом для використання чистого палива як засобу пом'якшення глобальних змін клімату та задоволення потреб менш використовуваних місцевих джерел енергії. Сировиною може бути біомаса, водорості, зернові культури та інше. Дуже важливо використовувати локально доступну, недостатньо використовувану сировину для місцевої енергетичної безпеки та розподіленої енергетичної інфраструктури. Спирти як низьковуглецеві палива, такі як метанол, етанол, пропанол і бутанол, є найбільш поширеними спиртами для автомобільного застосування.

Дослідження впливу спиртів на двигуни внутрішнього згорання є рідкісними і здебільшого обмежуються двигунами іскрового запалювання. Незважаючи на те, що спирти мають високу летючість, низьку в'язкість та високий вміст кисню можуть покращити спалювання та викиди, деякі недоліки, такі як висока теплота трансформації пароутворення, низькі показники нагріву, викликають меншу частку застосувань у двигунах із запалюванням стисненням (дизельні двигуни).

Етанол ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) є прозорою, безбарвною рідиною з виразним запахом. Він має більш високу октанову номенклатуру, ніж бензин, що робить його ідеальним для комбінування в якості рідкого палива. Етанол має менше енергії на об'єм, ніж бензин, тоді як денатурований етанол (98 %) має приблизно на 30 % менше енергії на об'єм, ніж бензин. Оскільки етанол включає кисень, використання його в якості бензинового доповнення знижує викиди чадного газу до 25 % [2].

Він також розчинний різних розчинниках, має більш високий тиск пари, ніж бензин, і має 35 % вміст кисню. Етанол має обмежений період напіврозпаду в поверхневих водах і підземних водоносних горизонтах, значно знижуючи ризик забруднення. Крім того, навіть коли він розлитий, вплив на навколишнє середовище незначний. Оскільки етанол швидко розчиняється в природному середовищі, біодеградація відбувається швидко в ґрунті, підземних і поверхневих водах, з прогнозованим періодом напіврозпаду від декількох годин до десяти днів.

1.2 Етанол

Етанол виготовляється або з використанням вугілля та сингазу біомаси, або синтезуючи його з етилену на нафтовій основі. Також його можна отримати шляхом бродіння солодких речовин. З іншого боку, біоетанол виробляється шляхом ферментації регенеративної біомаси або за допомогою процедур перегонки та очищення. США та Бразилія є світовими лідерами з виробництва біоетанолу, що відповідає приблизно 85 % світового виробництва у 2021 році [2].

На рис. 1.1 показано загальний процес виробництва біоетанолу.

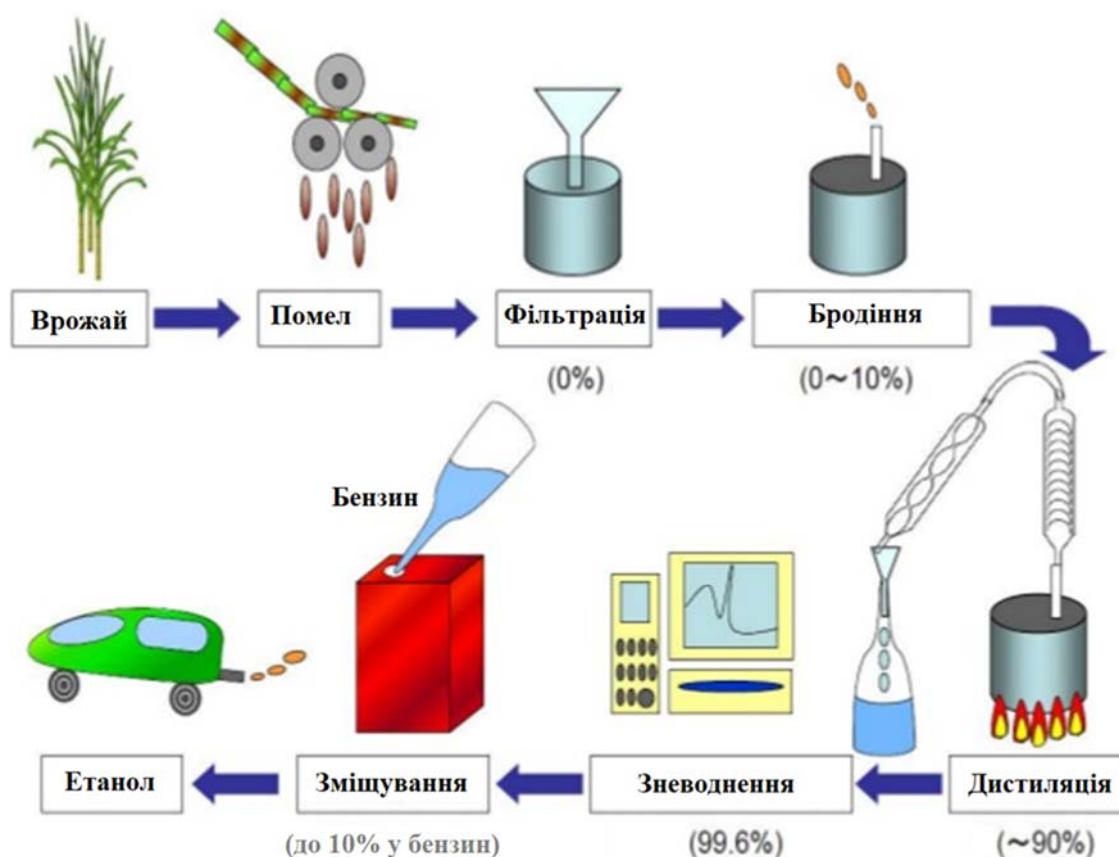


Рисунок 1.1 - Загальний процес виробництва біоетанолу

Основною сировиною, яка використовується для виробництва біоетанолу, є кукурудза в США і цукрова тростина в Бразилії.

Попередня обробка передбачає перетворення біомаси в спиртове паливо. Першим кроком до підготовки є зменшення розміру та уніфікація щільності / розміру (помел). Часто в якості попередньої обробки використовується пара, гаряча вода або незначна карбонізація. В основному, оцукрювання (гідроліз) - це

процес розщеплення целюлози / геміцелюлози для отримання цукрів, таких як глюкоза та ксилоза. Виходячи з коефіцієнта концентрації та коефіцієнта адсорбції компонентів ферментів, три різні ферменти целюлози виконують загальний гідроліз. При бродінні цукор і крохмаль перетворюються мікроорганізмами в етанол.

Концентрація та очищення етанолу, отриманого шляхом перегонки, називається дистиляцією та ректифікацією. Далі здійснюють зневоднення (дегідратацію), та зміщують з бензином. Останнім технологічним кроком є сушіння (на рис. 1.1 не показано) сільськогосподарських відходів, які часто містять високу концентрацію лужних металів (калію та натрію) та інших неорганічних елементів, таких як кальцій, магній, а в окремих випадках хлор та сірка. При перетворенні цих відходів на спиртове паливо за допомогою термічних методів лужні металеві компоненти діють для подачі слабоплавких солей, викликаючи засмічення та інші труднощі, пов'язані з золою. Навпаки, підхід до бродіння може зменшити ймовірність проблем з золою, що може бути бажаним компонентом виробничого процесу.

Рисове лушпиння, зокрема, містить понад 90 % золи, а рисова солома містить майже 30 % кремнезему, хоча це залежить від запасу рису, клімату та географічного контексту. Ці неорганічні матеріали діють як бар'єр для процесу термічного перетворення, і ферментація часто є кращою технікою для перетворення цього палива з біомаси. Для постачання етанолу в якості сировини першого покоління використовується крохмаль і вуглеводи. У 2013 році близько 90 % біоетанолу було створено з крохмалю і вуглеводів.

Основні сільськогосподарські культури включають кукурудзу, зерно та маніок. Недоліками є деградація навколишнього середовища під час вирощування сільськогосподарських культур та виробництва етанолу, а також експлуатація життєва-важливих харчових ресурсів як виробництва палива. Як наслідок, значні сільськогосподарські країни, такі як США, Бразилія та Китай, в даний час є основними виробниками біопалива, включаючи спиртове паливо. У США 95 % етанолу отримують з крохмалю. Оскільки виробництво біоетанолу з зернової

сировини нещодавно було обмежено, виробництво біоетанолу другого покоління з біомаси на основі зерна зараз набуває постійно зростаючого значення.

1.3 Виробництво біоетанолу в Україні

Біоетанол швидко стає життєздатною альтернативою бензину, 2022 рік показав, що в Україні, незважаючи на тотальне лобювання імпортерів російських нафтопродуктів, сформувалася ефективна галузь енергонезалежності з лаконічною назвою - «біоетанолісти». На момент повної відсутності палива саме біоетанолі заводи дозволили десяткам тисяч українців втекти від окупантів. До 2022 року потужності з виробництва біоетанолу в Україні вже становлять 381 000 т на рік. Серед них потужності, розташовані на відстані понад 200 км від зони бойових дій, становлять 282 тис. Відповідне обладнання вже встановлено у 22 сільськогосподарських підприємствах, і ця цифра вражає.



Рисунок 1.2 – Типовий вигляд біоетанольного заводу

Згідно з опитуванням, проведеним Українською асоціацією виробників біоетанолу, виробництво склало близько 80 тис. т у 2019 році, у 2020 році – 73 тис. т, у 2021 році – 77 тис. т. Біоетанолі заводи включені в систему локальних кластерів переробки буряка і кукурудзи і органічно доповнюють екосистему створення високої доданої вартості: поле → цукровий завод → біоетанольний завод → біоетанольна заправна станція плюс виробництво.

Об'єми експорту біоетанолу до країн ЄС наведено у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 - Експорт біоетанолу до країн ЄС

Використання квоти на експорт до ЄС спирту етилового (CN2207 та CN2208) в 2019-2022 рр. (т) (за даними митної системи TARIC)					
Рік	Квота	Експорт	Середн. в міс	Приріст %	Залишок квоти
2019	70 800	6 083	507	4%	64 717
2020	85 400	24 786	2 066	307%	60 614
2021	100 000	27 518	2 293	11%	72 482

Як бачимо, динаміка вражає: у 2020 році ми навчилися відкривати «євродвері» і почали стрімко нарощувати експорт. Обмежуючими факторами є внутрішні регуляторні правила в країнах ЄС, які мають технічний протекціоністський характер, різниця в розмірах залізниць (українська залізниця ширша за європейську). Загальна безмитна квота на експорт біоетанолу до ЄС склала 100 тис. т. Це чи не єдина «аграрна» квота, яка ніколи не була використана повною мірою. Однак динаміка 2022 року призвела до обнадійливих цифр, що експорт збільшиться до 60 тис. т, оскільки тільки в січні було експортовано майже 5 тис. т - більше, ніж за весь 2018 рік. Наразі квота тимчасово вилучена.

Військова агресія зруйнувала логістичні маршрути, розроблені для експорту біоетанолу через порти країн Балтії. Експортери шукають можливості відновити експорт, працюючи з імпортерами палива, заповнюючи порожні ємності танкерів, коли ті відправляють їх назад в країни ЄС.

Внутрішнє споживання біоетанолу, за оцінками «Української асоціації виробників біоетанолу» показано на рис. 1.3.

Цифри 2022 року не оголошуються зі зрозумілих причин, але вони позитивно високі. Цікаво, що в результаті війни споживачами етанолу стали не тільки «бензиновики», а й базові хімічні компанії і нафтогазові компанії. Ситуація в законодавстві не на користь його біоенергетичної незалежності – скасувавши акцизи на пальне, законодавці випадково або навмисно наполягали на зниженні акцизів на все, крім біопалива. Парадокс, але минулого року Україна була єдиною країною у світі, де акциз на екологічно чисте паливо був вищим за традиційний податок. Восени помилку виправили, але довоєнні пільги не відновили.

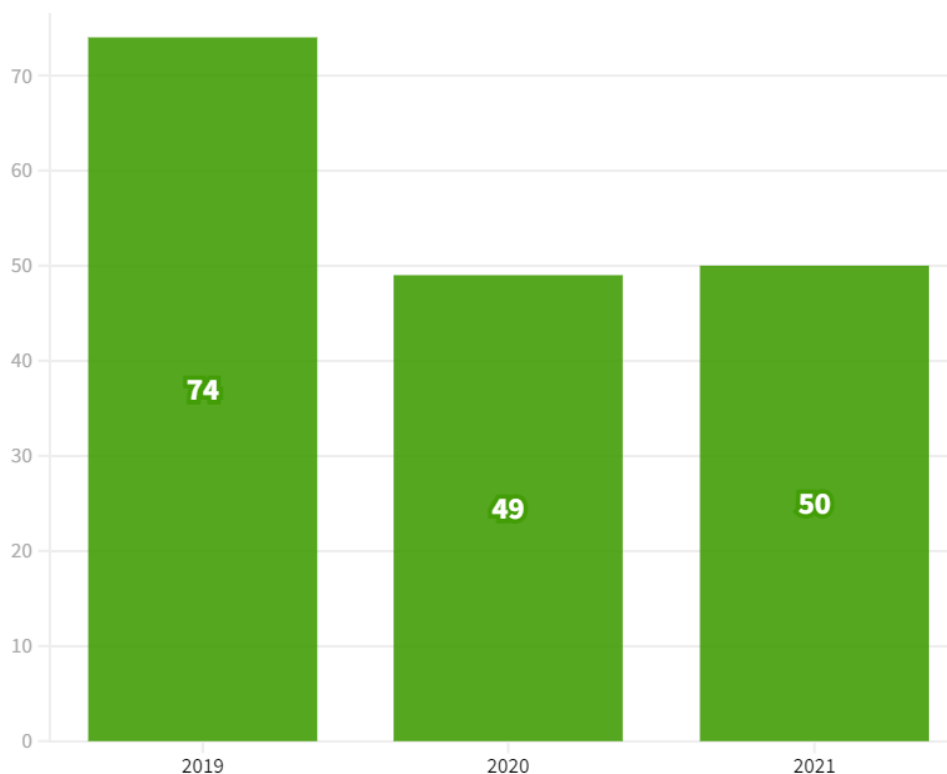


Рисунок 1.3 - Внутрішнє споживання біоетанолу, тис. т

Основний збиток нашим інвесторам завдає інституційна надбудова контролерів, які зобов'язані контролювати виробництво на всіх технологічних стадіях. Кожен випуск продукції та виробництва можливий лише за згодою інспекторів акцизного складу, що створює величезні корупційні та інституційні ризики. Важливим елементом розвитку біоетанолу стала демонополізація та приватизація спиртової галузі, яка наразі триває. Вплив темних сил, які підштовхнули до неможливого регулювання при будь-якому уряді, швидко нівелюється з появою нових бенефіціарних власників.

Військова агресія змусила державу переглянути роль і місце біоетанолу в системі національної енергетичної безпеки. Ведеться інтенсивна робота щодо завершення дерегуляції та впровадження стимулів для впровадження. В даний час нафтові компанії та агрохолдинги проводять інтенсивне дослідження можливостей створення власних заводів для комплексної переробки сільськогосподарської сировини, одним з елементів якого є біоетанол.

2023 рік обіцяє запуск як мінімум чотирьох нових або відбудованих заводів [3].

1.2 Технології виробництва біоетанолу

1.2.1 Технологічна схема браго-ректифікаційної установки безперервної дії

Особливістю брагоректифікаційної установки безперервної дії є в епюрації бражки (сусла) і обігріві ректифікаційної колони епюрованими водно-спиртовими парами бражної колони. Процес епюрації бражки є загальновідомим технологічним прийомом брагоректифікації і заснований на виділенні домішок, супутніх етанолу, безпосередньо з бражки тобто з середовища слабких водно-спиртових розчинів, в яких їх відносна летючість вище летючості етилового спирту.

При відборі 60...80 % спирту, що міститься в вихідній суміші ректифікаційної колони, практично всі домішки, за винятком ефірних масел, переходять в дистилят спиртової суміші. Це дозволяє використовувати інші 20...40% етанолу у вигляді чистих парів водяного спирту для нагріву епюраційної колони. Крім того, паровий потік, введений в стовп епюраційної, витрачається на нагрівання не тільки спирту, що міститься в вихідній спиртовій суміші, але і спирту, що надходить в колону з бражним суслем, тобто питома витрата пари на процес епюрації за цією схемою дії в 1,2...1,6 рази вище, ніж за схемою прямого підігріву гострою парою.

Цей технологічний процес сприяє виробництву очищеного і, отже, ректифікованого спирту високої якості. Для регулювання величини відбору спирту, який надходить з паровим потоком в підігрівач бражки, на трубопроводі водно-спиртових парів перед підігрівачем бражки і піноловушкою встановлюють дві шиберні засувки, одна з яких, розташована на трубопроводі епюрованих водно-спиртових парів, повинна бути в процесі роботи установки відкрита повністю, а друга, розташована перед підігрівачем бражки, відкрита на 8...10 оборотів.

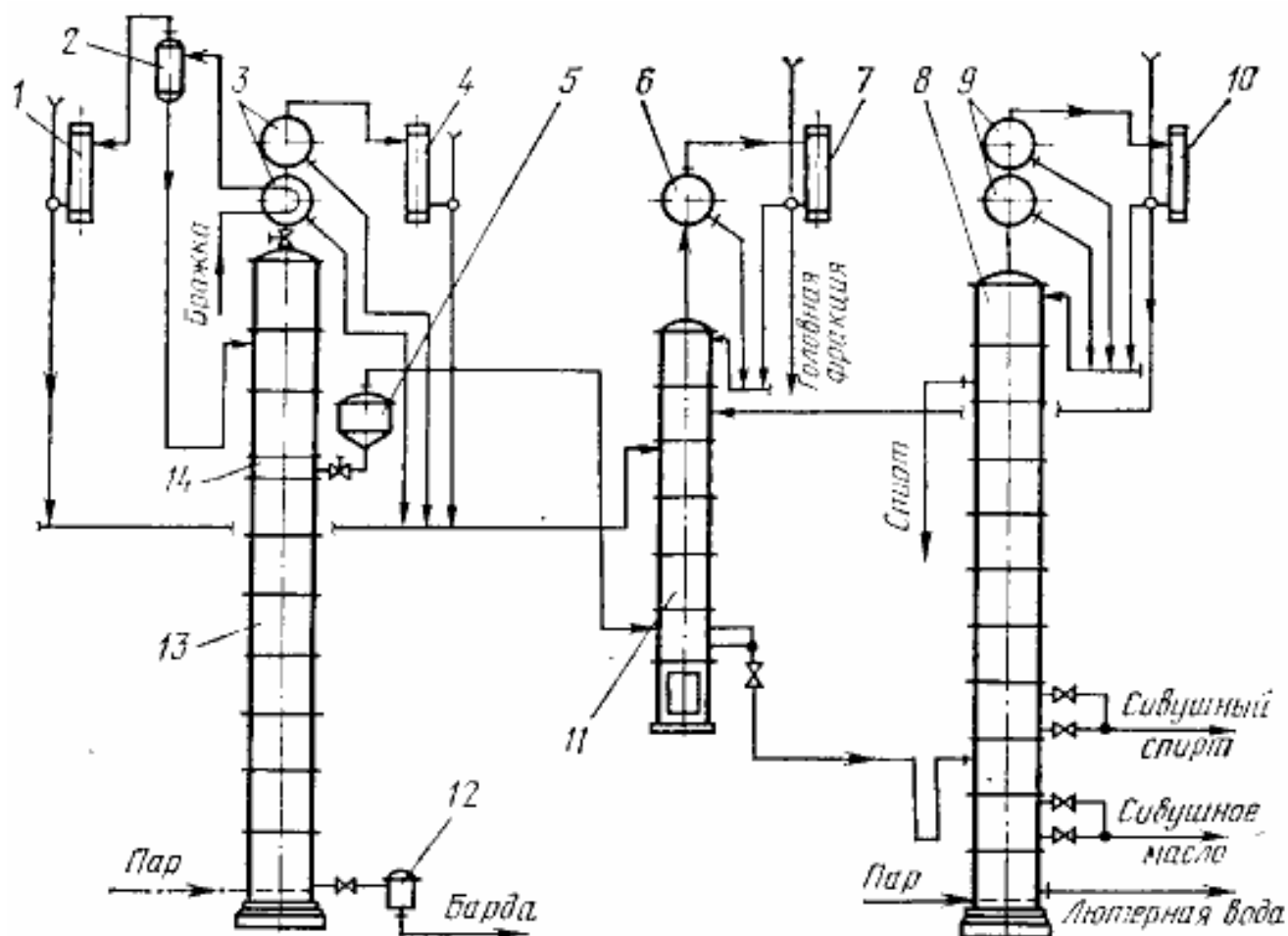


Рисунок 1.4 – Брагоректифікаційна установки безперервної дії:

1 – конденсатор CO_2 ; 2 – сепаратор бражки; 3 – підігрівач бражки; 4, 7, 10 – дефлегматори - конденсатори відповідно бражної, елюваційної і ректифікаційної колон; 5 – піноловушка; 6, 9 – дефлегматори відповідно елюваційної і ректифікаційної колон; 8, 11, 13 – ректифікаційна, елюваційна і бражна колони; 12 – бардовідвідник; 14 – циліндрична обичайка

В установках продуктивністю 30 000 і 60 000 л/добу, що мають 32 тарілки, для елювації бражки використовуються існуючі тарілки колони і колона дооснащується тільки піноуловлювальною царгою і розмежувальною циліндричною обичайкою з патрубком для відводу елювованих парів.

При установці царг для елювації бражки зливні стакани нижньої царги повинні бути нарощено на висоту нижче розташованої обичайки з зануренням їх в рідку фазу верхньої тарілки виварної частини бражної колони. При обігріві елюваційної колони елювованими водно-спиртовими парами бражної колони гостра пара в елюваційну колону не подається.

Робота установки здійснюється наступним чином. Бражка, нагріта в підігрівачі водно-спиртовими парами, які надходять з бражної колони, до $70 \dots 75^\circ\text{C}$,

направляється в сепаратор, звільняється в ньому від діоксиду вуглецю і надходить на верхню тарілку епюраційної частини бражної колони. Виділені при епюрації бражки водно-спиртові пари з домішками етилового спирту послідовно проходять через бражні і водяну секції підігрівача бражки і конденсатор бражної колони, де вони конденсуються і спільно з дистилятом з конденсатора CO₂ через збірний колектор бражного дистиляту надходять на тарілку живлення епюраційної колони.

Бражка, звільнена при епюрації від основної маси домішок спирту, з епюраційної частини бражної колони переходить в виварну її частину, на тарілках якої з неї повністю відганяється спирт. Епюровані водно-спиртові пари з циліндричної обичайки, розташованої над верхньою тарілкою виварної частини бражної колони, через піно-ловушку надходять в виварну камеру епюраційної колони. Відведення барди здійснюється через бардо-регулятор.

З епюраційної колони спиртові пари, що містять головні домішки (ефірні масла), надходять в дефлегматор і конденсатор. Погони з дефлегматора і частково з конденсатора у вигляді флегми повертаються на верхню тарілку колони. Відбір головної фракції проводиться з конденсатора.

Доочищення спирту від домішок, що надійшли в ректифікаційну колону з епюрованими водно-спиртовими парами, відбувається в ректифікаційній колоні, яка має розвинену зону пастеризації, що досягається установкою над гребінкою відбору спирту 1...2 5...8-тарілчастих царг. Відбір ректифікованого спирту при цьому відбувається з 14...16-ї (рахуючи зверху) тарілок колони. В іншому робота ректифікаційної колони і установки в цілому аналогічна роботі класичній браго-ректифікаційної установки непрямої дії.

1.2.2 Дефлегматор

Дефлегматор - конденсатор епюраційної колони призначений для очищення спирту від зайвих домішок. Мета його застосування - звільнити спирт від супутніх домішок і в кінцевому випадку отримати спирт стандартної концентрації. Домішки що відбираються повинні бути максимально сконцентровані і звільнені від етилового спирту. В цьому випадку втрати спирту з відходами будуть мінімальні.

Зазвичай завдяки застосуванню дефлегматору епюраційної колони відбирають до 5 % ефіро-альдегідної фракції. Вихід ректифікованого спирту при переробці біомаси складає біля 96 %. При цьому незначна частка домішок-ефірів, альдегідів та вищих спиртів залишається в ректифікованому спирті. Подача флегми на верхню тарілку колони забезпечує в колоні сталість складу фаз, що взаємодіють на контактних елементах верхньої колони.

При перетіканні сконденсованої флегми дефлегматора з тарілки на тарілку епюраційної колони зверху вниз відбувається збіднення рідини низько-киплячим компонентом і збагачення високо-киплячим компонентом, який і подається у дефлегматор. Не сконденсовані пари, що являють собою шкідливі домішки видаляються з дефлегматора на наступний технологічний об'єкт для їх конденсації і виведення з технологічного процесу отримання спирту.

У нижній кубовій частині епюраційної колони колони відбувається процес вилучення (відгону) низько-киплячого компонента (епюрату) в наступний технологічний апарат – ректифікаційну колону.

Цей процес проходить за рахунок тепломасообміну між потоками стікаючої рідини і пари, що утворюється у нижній частині колони при випаровуванні рідини та піднімається вгору (рис. 1.5). Випаровування частини кубової рідини відбувається у виносному кип'ятильнику - випарнику 4 у результаті подачі в нього додаткового гарячого теплоносія з парагенератора. Пари спиртового розчину, що утворилися, подаються під нижню тарілку відгінної частини колони, контактують з рідиною, що стікає зверху, при цьому рідина кипить на тарілці та створює висхідний потік пари відповідної концентрації при температурі кипіння рідини на тарілці.

Отже, епюраційна колона являє собою тепло-масо-обмінний апарат, у якому по висоті колони знизу вгору на тарілках знижується температура кипіння рідини від максимальної в кубовій частині до мінімальної на верхній тарілці концентраційної колони. В нижній частині у колони температура практично дорівнює температурі кипіння парів низько-летючих компонентів при відповідному тиску в колоні, на верхній тарілці колони температура практично

дорівнює температурі кипіння летких компонентів - домішок. На кожній тарілці колони встановлюється відповідна концентрація компонентів у рідині та відповідна температура кипіння рідини.

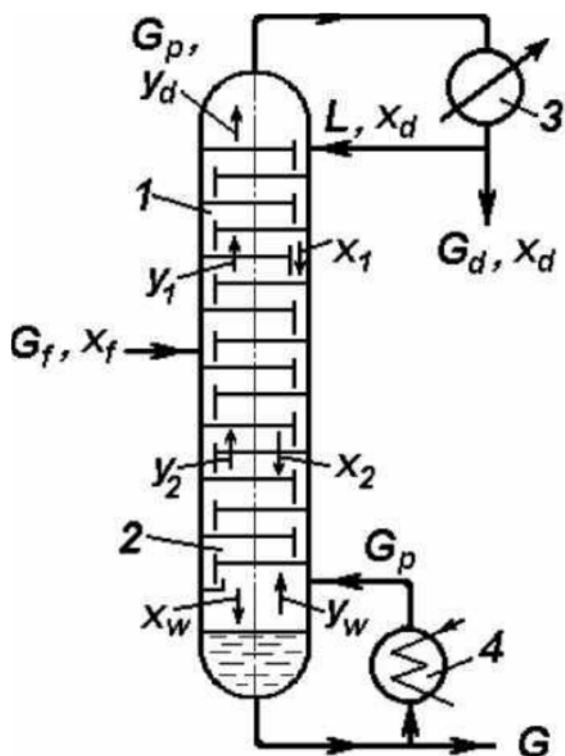


Рисунок 1.5 - Схема роботи епюраційної колони:

1- верхня (концентраційна) частина колони; 2 - нижня (відгінна) частина колони; 3 – дефлегматор-конденсатор; 4 - кип'ятильник-випарник

Епюраційна колона безперервної дії звичайно складається із двох частин: верхньої – зміцнювальної 1 (концентраційної) і нижньої – вичерпної 2 (відгінної).

1.3 Об'єкт керування

1.3.1 Загальні відомості

У кваліфікаційній роботі, в якості об'єкту керування, обрано технологічний апарат дефлегматор RFC-100 ST для епюраційної колони BTS 1600-32, яка використовується на Гнідавському біоетанольному заводі. Дефлегматор - це пристрій, призначений для часткової конденсації багатокомпонентного потоку парів спирту [4]. У промисловому контексті описуваний пристрій не є основною одиницею в технологічному циклі заводу.

Дефлегматор це по суті кожухотрубний теплообмінник, який застосовується в харчовій промисловості, застосовується як теплообмінник спирту, теплообмінник

пива, теплообмінник рослинної олії, теплообмінник цукру, теплообмінник молочних продуктів, теплообмінник металургії, теплообмінник суднобудування, теплообмінник двигуна судна, теплообмінник нафти, теплообмінник крекінгу, теплообмінник мережевий, теплообмінник хімічної підготовки води, теплообмінник комунального теплопостачання, теплообмінник сула, теплообмінник браги, рекуперативний теплообмінник, рекуперативний теплообмінник сула, рекуперативний теплообмінник барди.

Призначений для часткового або повного охолодження (конденсації) парів колон (ректифікаційної, епіюраційної, зміцнюючої, розгінної тощо) з отриманням погону (головної фракції етилового спирту, не пастеризованого спирту тощо).

1.3.2 Характеристика об'єкта керування

На рис. 1.6 представлено дефлегматорі який є надсадною складовою для епіюраційної колони.

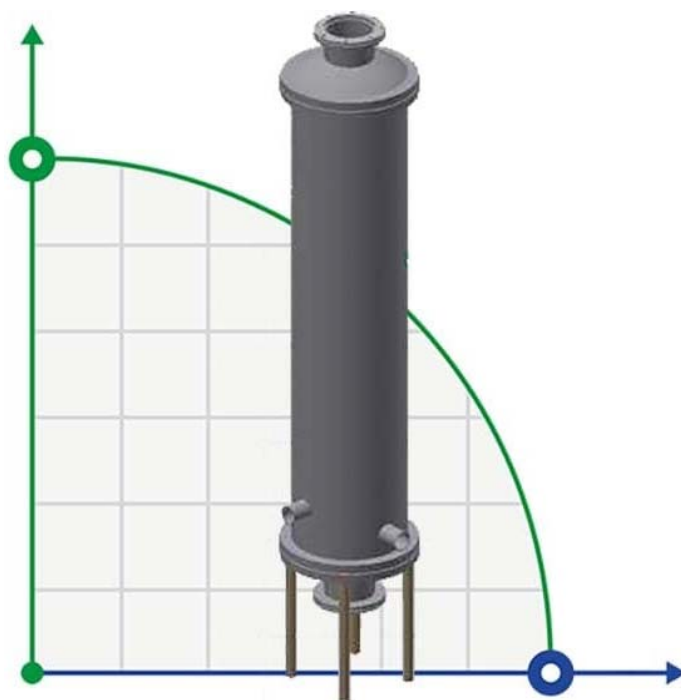


Рисунок 1.6 – Конструкція дефлегматора RFC-100 ST

В табл. 1.2 представлені технічні показники дефлегматора RFC-100 ST, а в табл. 1.3 – епіюраційної колони BTS 1600-32.

Таблиця 1.2 – Технічні показники дефлегматора RFC-100 ST

Модель дефлегматора	Площа теплообміну, м ²	Температура вихідних парів, °С	Робочий тиск, МПа		Габаритні розміри, не більше		Маса дефлегматора, кг, не більше
			Трубний простір	Міжтрубний простір	Діаметр, мм	Висота, мм	
RFC-3,6 ST	3,6	менш 76	0,03	0,03	390	1780	140
RFC-7,2 ST	7,2				485	1780	280
RFC-12,5 ST	12,5				585	2280	470
RFC-16 ST	16				585	2280	600
RFC-20 ST	20				635	2320	750
RFC-25 ST	25				685	2320	930
RFC-50 ST	50				935	3500	1900
RFC-63 ST	63				1035	3500	2390
RFC-100 ST	100				1235	3500	2860

Таблиця 1.2 – Технічні параметри еспораційної колони BTS 1600-32

Параметр	Значення
Виробник	BTS Engineering
Модель	BTS 1600-32
Матеріал	AISI 304
Номинальна температура парів (уверху), С	80..86
Продуктивність, л/год	1600...4 160
Вода артезіанська, м ³ / л	0,001...0,002
Витрата електроенергії, кВт/літр	0,05...0,1
Витрата гострої пари, кг/л	1,25...2,0 (6 бар)
Витрата органічного палива, нм ³ /л	0,1...0,15 (на прикладі природного газу)
Витрата оборотної води, м ³ / л	0,1 (на виході з градирні 20 °С)
Кількість тарілок, шт.	32
Тип тарілок	сітчасті
Діаметр, мм	1 600
Відстань між тарілками, мм	500
Тип обігріву / охолодження	ізолюваний, паром
Робочий тиск	вакуум, атмосферний тиск, надлишковий тиск
Застосування	спирт, сирець, еспорат, етанол

1.3.3 Структура об'єкту керування

У дефлегматорі який є складовою еспораційної колони потік парів тече вертикально вгору, а конденсат (конденсована пара) під впливом сили тяжіння стікає назад вниз.

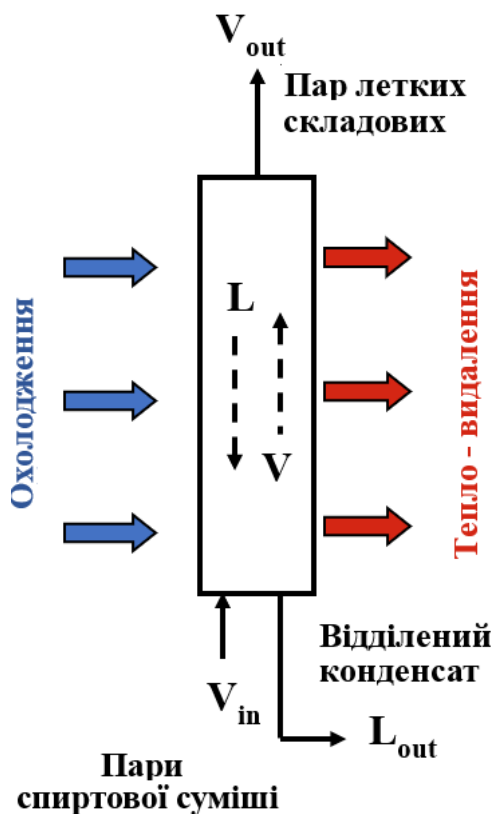


Рисунок 1.7 – Принцип роботи дефлегматора

Потік парів і конденсат таким чином рухаються зустрічно і знаходяться в безпосередньому контакті один з одним. Крім теплообміну між потоком пари і охолоджуючої середовищем, маса передається між висхідним паром і падаючим конденсатом. Пари, що виходять з пристрою, концентруються в більш летючих компонентах (ефірні масла), в той час як спирт з багатшими і менш летючими компонентами - в конденсаті, що стікає з дефлегматора знов у епіюраційну колону.

1.3.4 Принцип функціонування об'єкту керування

Якщо верхній дефлегматор (конденсатор) використовується в безперервній дистиляції протитечії в промислових умовах, він часто призначений для прийому багатоконпонентної пари, яка тече вертикально вгору і конденсується лише частково. Конденсат утворює відлив рідини до епіюраційної колони і видаляє пари з більш летючими компонентами. Дефлегматор не є ключовою технологічною одиницею, а є лише частиною епіюраційної колони. Досить рідкісне слово «дефлегматор» замінюють виразом «конденсатор зворотного повернення» або

менш інформативна - «частковий конденсатор», «рефлюкс-конденсатор» або , «фракціонуючий конденсатор».

На відміну від цього, конкретний випадок, коли важливість дефлегматора як тепло-масо-обмінного пристрою зрозуміла (слово, таким чином, використовується без суперечок), полягає в поділі газового потоку, який містить значну частку за обсягом легких компонентів (ефірні масла). Важкий компонент етиловий спирт, сивушні масла відділяється від легких компонентів в дефлегматорі, а багатий конденсат передається в апарат для виділення будь-яких високо-летких залишків спирту.

Більш ранній метод підвищення концентрації спирту передбачав фракціонування всього потоку при подачі в звичайній адіабатичній ректифікаційної колонці. Впровадження дефлегматора у складі епюраційної колони, що становить етап попереднього поділу, призвело до величезної економії витрат на електроенергію. Значна частина тепла, що відводиться в дефлегматорі, передається теплоносію при більш високій температурі, ніж це було можливо, коли фракціонування проводилося цілком в звичайній ректифікаційній колоні.

1.4 Структурна схема об'єкту керування

У дефлегматорі потік парів тече вертикально вгору, а конденсат (конденсована пара) під впливом сили тяжіння стікає назад вниз. Потік парів і конденсату напряму залежить від ступеню охолодження водою у сорочці дефлегматора. Потік парів і конденсату рухаються зустрічно і знаходяться в безпосередньому контакті один з одним. Крім теплообміну між потоком пари і охолоджуючої середовищем, маса передається між висхідним паром і падаючим конденсатом. Пари, що виходять з пристрою, концентруються в більш летючих компонентах (ефірні масла) з номінальним значенням і нижче 76 °С (температура кипіння етилового спирту за звичайних умов), в той час як спирт з багатшими і менш летючими компонентами стікає з дефлегматора знов у епюраційну колону.

Продуктивність епюраційної колони BTS 1600-32 складає 1 600...4 160 л/год, витрата оборотної води становить 0,1 м³/л (при 20 °С) на 1 л

епюратору. Таким чином витрати води для охолодження дефлегматора становитимуть 16 000...41 600 л/год (4,44...11,55 л/с або 16,0...41,6 м³/год).

Структурна схема об'єкту керування представлена на рис. 1.8.

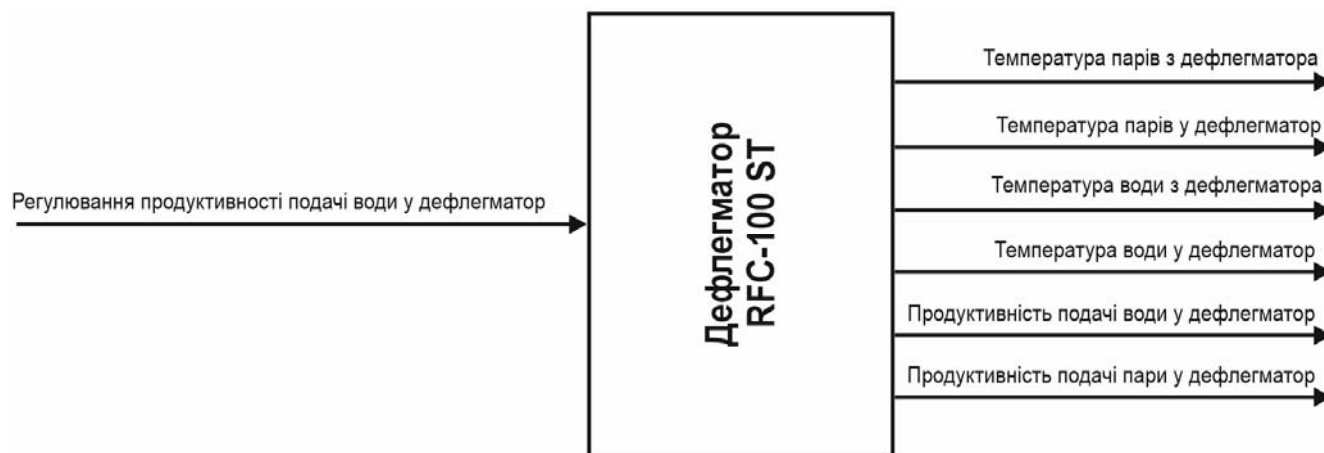


Рисунок 1.8 – Структурна схема об'єкту керування - дефлегматора RFC-100 ST

Номінальні значення температура пари на виході дефлегматора підтримують завдяки регулюванню продуктивності подачі охолоджуючої води.

Якість регулювання температури на виході дефлегматора також залежить від температури та кількості парів на вході в дефлегматор, що визначається технологічним режимом роботи епюраційної колони BTS 1600-32, температури води на вході і виході дефлегматора. Тому ці параметри треба теж контролювати і враховувати при формуванні керуючого впливу – продуктивності подачі води у дефлегматор.

1.5 Формулювання задачі дослідження

Система керування дефлегматором RFC-100 ST має підтримувати задану температуру пари на виході дефлегматора. Основними каналами керування є канали:

- «продуктивність подачі води на вході – температура пари»;
- «продуктивність подачі пари на вході – температура пари»;
- «температура подачі пари на вході – температура пари»;

Основними збурючими факторами є:

- температура води на вході;

– температура пари на вході.

Обрано варіант розробки система керування дефлегматором RFC-100 ST за одним основних каналів керування - «продуктивність подачі води на вході – температура пари».

Система керування дефлегматором RFC-100 ST відповідати вимогам технологічного процесу, наведеного раніше при його огляді і обов'язково має бути виконана за допомогою стандартних компонентів, які мають відповідні сертифікати відповідності.

1.6 Висновки за розділом

Об'єктом керування виступає дефлегматором RFC-100 ST, який використовується у діючому технологічному процесі на Гнідавському біоетанольному заводу (м. Луцьк) у складі епюраційної колони BTS 1600-32.

Автоматизація дефлегматора включає в себе автоматичне керування, дистанційне керування, технологічний захист, тепловий контроль, технологічні блокування і сигналізацію. Експлуатація дефлегматора RFC-100 ST повинна забезпечувати надійну і ефективну стабілізацію температури пари на виході і безпечні умови праці для персоналу. Для виконання цих вимог експлуатація повинна здійснюватися в суворій відповідності з законами, правилами, стандартами і директивами.

Автоматизація роботи дефлегматора RFC-100 ST повинна здійснюватися за такими основним параметром - підтримка постійної температури пари на виході дефлегматора.

Для підвищення ефективності роботи технологічного обладнання треба модернізувати систему керування. Таким чином є гостра потреба у математичних моделях об'єктів технологічного обладнання, працюючого у допустимих технологічних межах, які у наступному мають бути використані при синтезі нової системи керування технологічним обладнанням.

Головною метою роботи є розробка моделі об'єкта керування - дефлегматором RFC-100 ST для регульованої температури пару на виході, в

залежності від продуктивності подачі води. При цьому інші вхідні і вихідні параметри мають бути не змінними і знаходитись у номінальному стані.

Сучасна система керування дозволить контролювати процес виробництва і отримати кінцевий продукт з заданими характеристиками.

Також ця система керування матиме можливість фіксації та збереження параметрів роботи всього технологічного обладнання.

2 РОЗРОБКА АПАРАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

2.1 Розробка структурної схеми підсистеми керування

У кваліфікаційній роботі, в якості об'єкту керування, обрано технологічний апарат дефлегматор RFC-100 ST для епіюраційної колони BTS 1600-32, яка використовується на Гнідавському біоетанольному заводі.

Дефлегматор - це пристрій, призначений для часткової конденсації багатокомпонентного потоку парів спирту.

До складу структури системи керування входять наступні сигнали.

Вхідні сигнали:

- температура парів з дефлегматора: аналоговий, 0...100 °С;
- температура парів у дефлегматор: аналоговий, 0...100 °С;
- температура води з дефлегматора: аналоговий, 0...100 °С;
- температура води у дефлегматорі: аналоговий, 0...100 °С;
- продуктивність подачі води: аналоговий, 4,44...11,55 л/с;
- продуктивність подачі пари : аналоговий, 0,6...1,5 кг/с.

Вихідні сигнали керування:

- продуктивність подачі води: пропорційний, 0...15 л/с.

У дефлегматорі потік парів тече вертикально вгору, а конденсат (конденсована пара) під впливом сили тяжіння стікає назад вниз. Потік парів і конденсату на пряму залежить від ступеню охолодження водою у сорочці дефлегматора. Потік парів і конденсату рухаються зустрічно і знаходяться в безпосередньому контакті один з одним. Крім теплообміну між потоком пари і охолоджуючої середовищем, маса передається між висхідним паром і падаючим конденсатом. Пари, що виходять з пристрою, концентруються в більш летючих компонентах (ефірні масла) з номінальним значенням і нижче 76 °С (температура кипіння етилового спирту за звичайних умов), в той час як спирт з багатшими і менш летючими компонентами стікає з дефлегматора знов у епіюраційну колону.

Система керування дефлегматором RFC-100 ST має підтримувати задану температуру пари на виході дефлегматора. Основними каналами керування є канали:

- «продуктивність подачі води на вході – температура пари»;
- «продуктивність подачі пари на вході – температура пари»;
- «температура подачі пари на вході – температура пари»;

Основними збурючим факторами є:

- температура води на вході;
- температура пари на вході.

Призначення відповідних датчиків и виконавчих пристроїв описано у попередньому розділі.

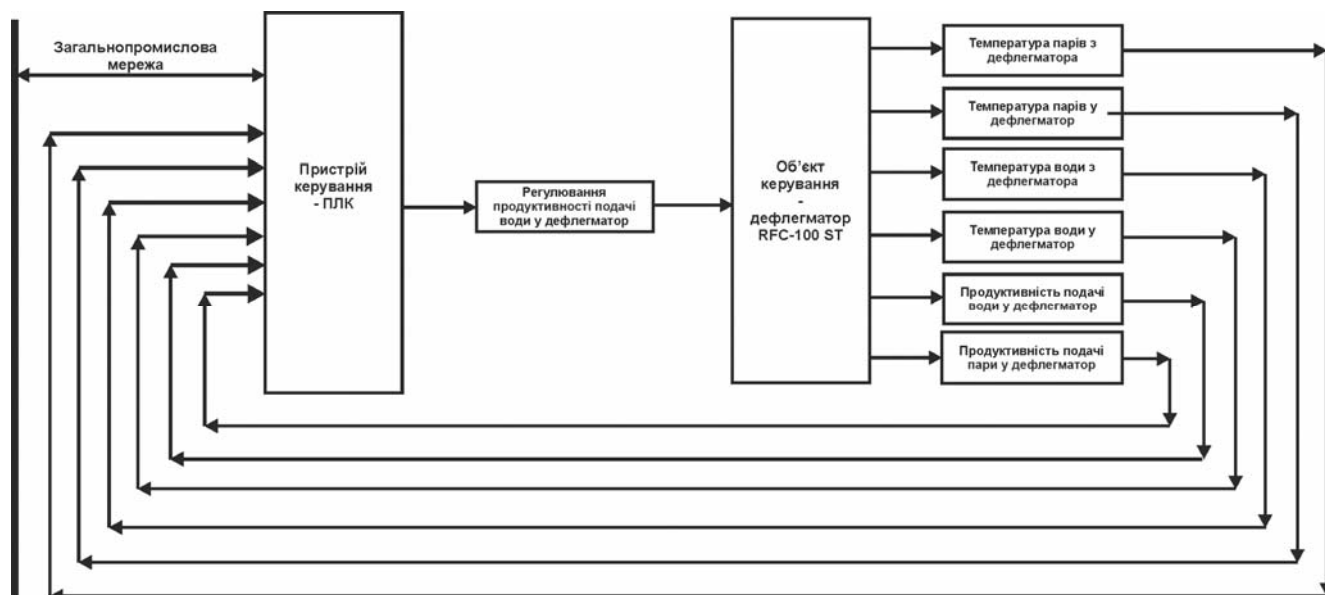


Рисунок 2.1 – Структурна схема системи керування

Вибір пристроїв автоматизації для побудови системи керування необхідно робити на основі серійних засобів автоматизації.

Якщо є можливість, то необхідно вибирати з пристроїв, вироблених в Україні, або які вже поставляються в Україну.

Вибір приладів буде проводитися відповідно до необхідного діапазону вимірювань.

2.2 Вибір апаратного забезпечення підсистеми керування

Датчики слід обирати відповідно до переліку вхідних сигналів, параметри яких треба вимірювати у розширеному діапазоні можливих змін.

2.2.1 Вибір датчиків

Для вимірювання температури спиртового розчину і води на вході та виході дефлегматора треба чотири аналогових датчика з діапазоном вимірювання 0...100 °С.

Розглянемо сімейство вимірювальних перетворювачів температури фірми SIEMENS, яке представлено перетворювачами SITRANS T, термоперетворювачами опору і термопарами для якісного вимірювання температури в будь-яких, навіть самих екстремальних, умовах. Датчики застосовуються в хімічній, фармацевтичній, харчовій, енергетичній та інших галузях промисловості.



Рисунок 2.2 – Датчик температури SITRANS T TW

Існують варіанти термометрів з цифровою індикацією показань. Також доступні вибухозахищене виконання датчиків. Використаємо перетворювач SITRANS T серії: TW – універсальний перетворювач з виходом 4...20 мА + HART, з можливістю перепрограмування за допомогою персонального комп'ютеру (ПК) [5].

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики датчику температури SITRANS T TW

№	Найменування параметра	Значення
1	Тип	SITRANS T TW
2	Номинальний діапазон вимірювання, °C	0...+200
3	Принцип вимірювання	Cu25 ... Cu1000
4	Точність, °C	0,1
5	Вихідний сигнал, мА	4...20
6	Напруга живлення, В	12...30
7	Потужність споживання, Вт	2
8	Температура експлуатації, °C	-25...+85
9	Матеріал корпусу	сталь 1.4571/316Ti
10	Різьба	G1/2B зовнішня і G1/8B внутрішня

За технічними параметрами нам слід вимірювати наступні продуктивність подачі води та пари у дефлегматор.

Для вимірювання витрати розглянемо сімейство витратомірів SIEMENS SITRANS F X [6]. Вихровий витратомір SITRANS F X призначений для вимірювання об'ємної і масової витрати пари, газу, струмопровідних і непровідних рідин за допомогою єдиного приладу з можливістю компенсації температури і тиску. Основні переваги: 2-х провідна схема підключення; вимірювання як об'ємних, так і масових витрат пари, газу і струмопровідних і непровідних рідин навіть при коливаннях температури і тиску; вбудований датчик температури; вбудований датчик тиску (опція); можливість виконання пристрою двома перетворювачами.

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики вихровий витратомір SITRANS F X

№	Найменування параметра	Значення
1	Тип	SITRANS F X
2	Номинальний діапазон вимірювання, °C	Пара 0...15, кг/с; Рідина 0...15 л/с
3	Принцип вимірювання	Вихровий витратомір
4	Точність, %	0,025
5	Вихідний сигнал, мА	4...20
6	Напруга живлення, В	14...36
7	Потужність споживання, Вт	2
8	Температура експлуатації, °C	-25...+85
9	Температура вихрового потоку, °C	-25...+240
10	Номинальний тиск, бар	1...100
11	Матеріал корпусу	Сталь 1.4404/316L
12	З'єднання	Фланець DN 15 ... 300



Рисунок 2.3 – Вихровий витратомір SITRANS F X

Ступінь відкриття засувок будемо контролювати за допомогою енкодера E40H 012 2000 2 N 24 з 2 000 імпульсами на обороті і напругою живлення 24 В (рис. 2.4) які будуть змонтований на кожну з засувок [15].



Рисунок 2.4 – Енкодер E40H-012-2000-2-N-24

В табл. 2.3 наводяться технічні характеристики енкодера.

Таблиця 2.3 - Технічні характеристики енкодера E40H-012-2000-2-N-24

№	Найменування параметру	Значення
1	Тип з'єднання	Прохідний отвір
2	Діаметр отвору, мм	12
3	Чутливість, імп. / об	2 000
4	вихідні фази	A, B
5	Тип виходу	NPN
6	Напруга живлення, В	12...24

На підставі обраних датчиків та їх технічних характеристик складена табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Датчики

№	Назва параметру	Принцип дії	Тип	Діапазон зміння	Точність	Значення виходу	Період оновлення	Напруга живлення	Потужність споживання, Вт
1	Температура парів з дефлегматора	Cu25 ... Cu10 00	Аналоговий	0...200 °C	±0,01 °C	4...20 мА	0,1 с	12...30 В	2
2	Температура парів у дефлегматор	Cu25 ... Cu10 00	Аналоговий	0...200 °C	±0,01 °C	4...20 мА	0,1 с	12...30 В	2
3	Температура води з дефлегматора	Cu25 ... Cu10 00	Аналоговий	0...200 °C	±0,01 °C	4...20 мА	0,1 с	12...30 В	2
4	Температура води у дефлегматор	Cu25 ... Cu10 00	Аналоговий	0...200 °C	±0,01 °C	4...20 мА	0,1 с	12...30 В	2
5	Продуктивність подачі води у дефлегматор	Вихровий витратомір	Аналоговий	0...15 кг/с	±0.025 %	4...20 мА	0,1 с	14...36 В	2
6	продуктивність подачі пари у дефлегматор	Вихровий витратомір	Аналоговий	0...1,5 л/с	±0.025 %	4...20 мА	0,1 с	14...36 В	2

2.2.2 Вибір виконавчих пристроїв

Для керування продуктивністю подачі води у дефлегматор будемо використовувати засувку клинову ЗКЛ 15-80-01 з електроприводом, яка представлена на рис. 2.5, а технічні параметри у табл. 2.5 [7].

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики засувки клинової ЗКЛ 15-80-01

Найменування параметра	Значення
Тип	клиновий
Напруга живлення, В	~220 В
Потужність, кВт	0,25 кВт
Діаметр, Ду	80
Час відкриття закриття, с	30



Рисунок 2.5 – Засувка клинова ЗКЛ 15-80-01

Керування електродвигуном засувки клинової ЗКЛ 15-80-01 (~220 В/ 0,25 кВт) - продуктивності подачі води, будемо здійснювати за допомогою однофазного твердотільного реле змінного струму Jotta SSR 60DA, 220 В змінного струму, з керуванням 0...24 В постійної напруги, яке будемо використовувати у дискретному режимі керування [8].



Рисунок 2.6 – Твердотільне реле SSR-240A50 (1x~220 В, 0...24 В)

Таблиця 2.6 – Технічні характеристики твердотільне SSR-240A50

Найменування параметра	Значення
Тип	NBR
Напруга навантаження, В	~280 В
Струм навантаження, А	0...50
Напруга керування, В	0...24
Струм керування, мА	0...20

На підставі наведеного вище для виконавчих пристроїв, та їх технічних характеристик складена табл. 2.7.

Таблиця 2.7 – Виконавчих пристроїв

№	Назва параметру	Принцип дії	Тип	Діапазон змінення	Лінійність	Значення входу	Період оновлення	Напруга живлення	Потужність споживання
1	Продуктивність подачі води (відкриття)	Час відкриття 30 с	Дискретний	0...100 %	Лінійний	24 В	0,1 с	24 В	1 Вт
2	Продуктивність подачі води (закриття)	Час відкриття 30 с	Дискретний	0...100 %	Лінійний	24 В	0,1 с	24 В	1 Вт

2.2.3 Вибір пристроїв керування

В якості пристрою керування, обрано програмований логічний контролер компанії VIPA. Цикл роботи контролера 100 мс, контролер має 1 кбайт вільної робочої пам'яті для реалізації програми керування. Контролер має модульну структуру, яка забезпечує підключення обраного обладнання і має легке розширення подальшого функціоналу.

До контролеру повинні бути підключені шість аналогових датчиків з типом вихідного сигналу 4...20 мА:

- температура парів з дефлегматора;
- температура парів у дефлегматор;
- температура води з дефлегматора;
- температура води у дефлегматор;
- продуктивність подачі води у дефлегматор;
- продуктивність подачі пари у дефлегматор.

До контролеру також мають бути підключені два дискретних виконавчих пристроїв з типом входу керування 0; 24 В (1 Вт):

- засувка подачі води, відкриття, керування за часом;
- засувка подачі води, закриття, керування за часом.

Система керування керує роботою дефлегматора RFC-100 ST, який входить до складу епюраційної колони BTS 1600-32.

Система повинна інтегруватися у загально-заводську автоматизовану систему керування технологічним обладнанням (АСК ТП) з виготовлення біоетанолу то у контролера має бути інтерфейс RS-485.

Наведеним вимогам відповідає програмований логічний контролер VIPA 214-2BS33. Контролер має час арифметичної операції над речовим числом 40 мкс, об'єм пам'яті програм 144 кбайт, об'єм робочої пам'яті 96 кбайт та інтерфейс RS-485 (рис. 2.7). Технічні характеристики контролеру наведені в табл. 2.8.



Рисунок 2.7 – Програмований логічний контролер VIPA 214-2BS33

Таблиця 2.8 – Технічні характеристики програмованого логічного контролеру VIPA 214-2BS33

№	Найменування параметра	Значення
1	Тип	CPU 214SER
2	Пам'ять, кбайт	144
3	Робоча пам'ять, кбайт	96
4	Максимальна кількість модулів, штук	32
5	Час виконання команди над бітом, мкс	0,18
6	Час виконання команди над байтом, мкс	0,78
7	Час виконання команди над словом, мкс	1,8
8	Час виконання команди над двійним словом, мкс	40,0
9	RS-485 інтерфейс	Присутній
10	Напруга живлення, В	24
11	Споживана потужність, Вт	5

Для підключення усіх шести аналогових датчиків, які мають стандартний струмовий сигнал 4...20 мА, обрано два модулі аналогового вводу VIPA 231-1BD40, кожний з яких має по чотири аналогових входів (рис. 2.8). Технічні характеристики модуля наведені в табл. 2.9.



Рисунок 2.8 – Модуль аналогового вводу VIPA 231-1BD40

Таблиця 2.9 – Технічні характеристики модуля аналогового вводу VIPA 231-1BD40

№	Найменування параметра	Значення
1	Тип	SM 231, ESO
2	Кількість каналів	4
3	Тип каналу	Аналоговий
4	Діапазон вхідного сигналу, мА	4...20
5	Довжина екранованого провідника, м	200
6	Споживана потужність, Вт	0.6

Приклад схема підключення датчика з типом вихідного сигналу 4...20 мА до модуля аналогового вводу наведена на рис. 2.9.

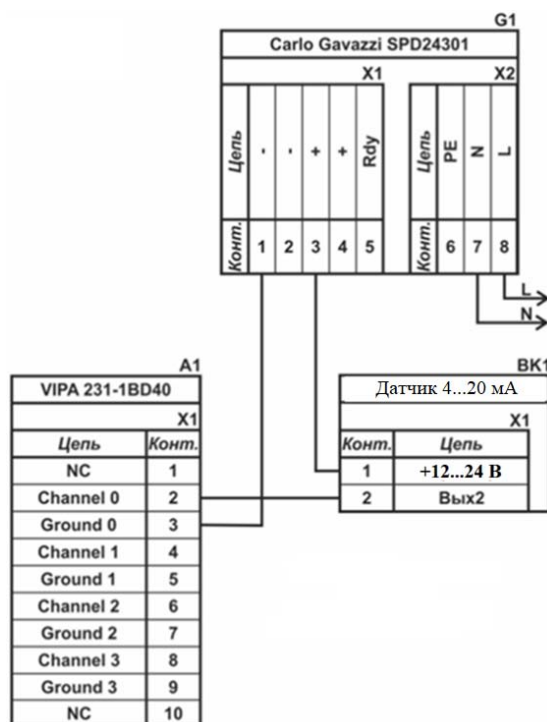


Рисунок 2.9 – Схема підключення датчика з типом вихідного сигналу 4...20 мА

До контролеру повинні бути підключені два дискретних каналів керування клинковою засувкою (тип виходу 0, +24 В), тому для підключення цих пристроїв

обрано модуль дискретного вводу VIPA 222-1BF00, який має по вісім незалежних каналів керування (рис. 2.10). Технічні характеристики модуля наведені в табл. 2.10.



Рисунок 2.10 – Модуль дискретного виводу VIPA 222-1BF00

Таблиця 2.10 – Технічні характеристики модуля дискретного виводу VIPA 222-1BF40

№	Найменування параметра	Значення
1	Тип	SM 222
2	Кількість каналів	8
3	Тип каналу	Дискретний
4	Діапазон вихідного сигналу, В	0...24
5	Максимальний струм вихідного сигналу, А	1
6	Довжина екранованого провідника, м	600
7	Споживана потужність, Вт	2

Схема підключення до модуля дискретного виводу наведена на рис. 2.11.

Відповідно до схеми підключення модуль має вісім незалежних каналів, кожний з яких може бути використаний для керування дискретним виконавчим пристроєм з напругою +24 В. Блок живлення підключено до 1 та 10 входів модуля. Для прикладу показана схема підключення умовного ланцюга 1 (одного з двох). Відповідний вихід модуля 2 підключено до входу пристрою узгодження (Ланцюг 1). Земляний вихід пристрою узгодження підключено до земляного входу блока живлення. Аналогічно підключено інші ланцюги пристроїв узгодження навантаження, але до відповідних до виходів цього модуля.

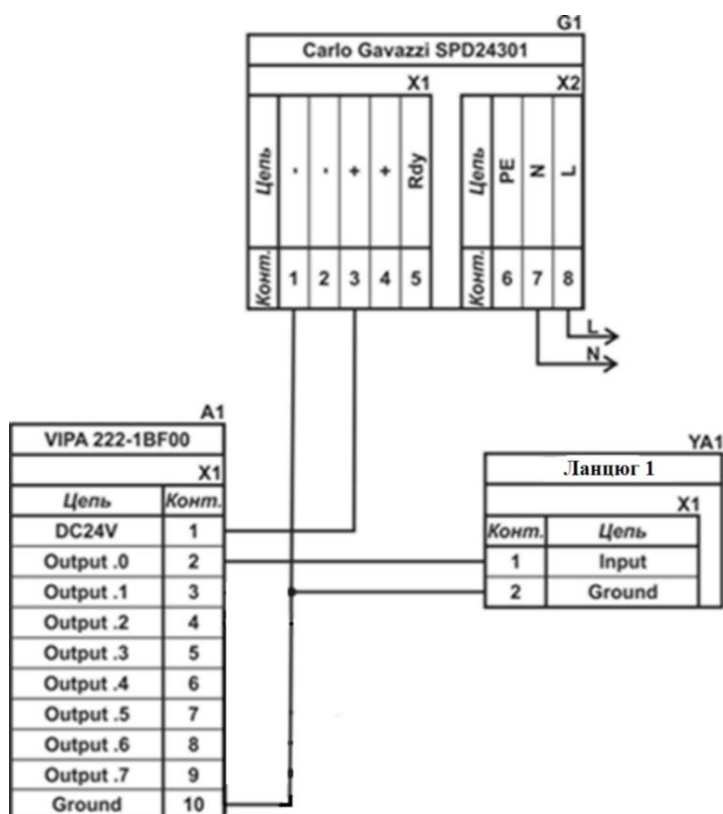


Рисунок 2.11 – Схема підключення дискретних пристроїв узгодження

Датчики контролю положення засувки за допомогою енкодерів E40H-012-2000-2-N-24 обрано функціональний модуль лічильника VIPA 250-1BA00 (рис. 2.12). Технічні характеристики модулю наведені в табл. 2.11.



Рисунок 2.12 – Функціональний модуль 250-1BS00

Таблиця 2.11 – Технічні характеристики функціонального модуля 250-1BS00

Найменування параметра	Значення
Тип	FM 250S
Кількість каналів	2/4
Розрядність лічильника, біт	32/16
Довжина екранованого провідника, м	600
Споживана потужність, Вт	2.5

Згідно з технічною документацією модуль має два або чотири лічильні канали. В якості лічильників будуть використовуватися 32 бітні регістри тому у цьому режимі він має два канали. До входів модуля підключені виходи енкодера А, В та Z, що забезпечує отримання програмованим логічним контролером від лічильника кількості імпульсів енкодера, при цьому лічильник автоматично визначає напрям обертання енкодера.

Схема підключення датчика до функціонального модуля VIPA 250-1BS00 наведена на рис. 2.13.

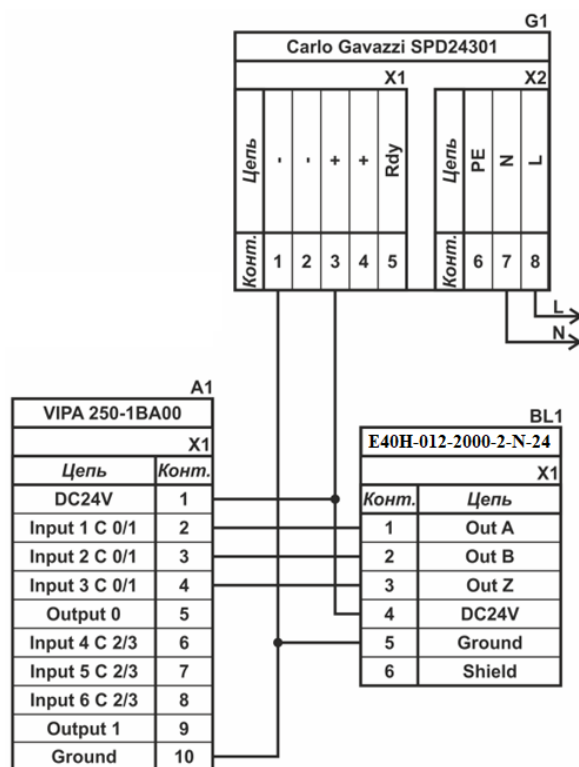


Рисунок 2.13 – Схема підключення датчика положення засувки

Згідно з вимогами до підсистеми керування, в якості котрого виступає програмований логічний контролер, та пультом оператора, в якості якого виступає персональний комп'ютер, повинна бути організована мережа за допомогою інтерфейсу RS-485. Обраний програмований логічний контролер VIPA 214-2BS33 має інтерфейс RS-485. Схема підключення персонального комп'ютеру до програмованого логічного контролеру наведена на рис. 2.14.

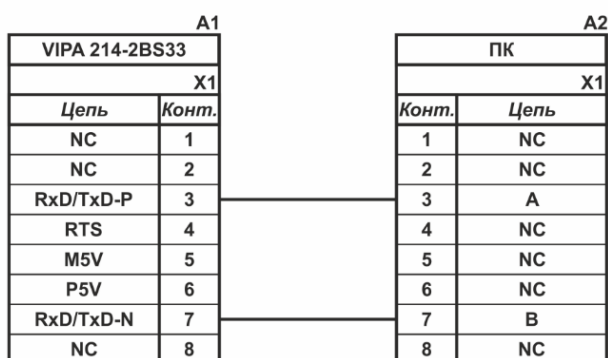


Рисунок 2.14 – Схема підключення по інтерфейсу RS-485

На підставі обраного програмованого логічного контролера та його модулів складена табл. 2.12.

Таблиця 2.12 – Пристрій керування та його модулі

№	Назва модуля	Пристрій	Напр уга живлення	Потужність споживання
1	VIPA 214-2BS33	Центральний процесорний модуль	24 В	5,0 Вт
		Зв'язок з АСК ТП		
2	VIPA 231-1BD40	Модуль аналогового вводу 1	24 В	0,6 Вт
		Температура парів з дефлегматора	24 В	1,0 Вт
		Температура парів у дефлегматор	24 В	1,0 Вт
		Температура води з дефлегматора	24 В	1,0 Вт
3	VIPA 231-1BD40	Модуль аналогового вводу 2	24 В	0,6 Вт
		Температура води у дефлегматор	24 В	1,0 Вт
		Продуктивність подачі води у дефлегматор	24 В	1,0 Вт
		Продуктивність подачі пари у дефлегматор	24 В	1,0 Вт
4	VIPA 250-1BS00	Функціональний модуль 1	24 В	2,5 Вт
		Енкодер засувки подачі води	24 В	2,0 Вт
5	VIPA 222-1BF00	Модуль дискретного виводу 1	24 В	2,0 Вт
		Засувка продуктивності води (відкриття)	24 В	1,0 Вт
		Засувка продуктивності води (закриття)	24 В	1,0 Вт

2.2.4 Вибір джерел живлення

Програмований логічний контролер та його модулі мають напругу живлення +24 В. Загальна потужність споживання програмованого логічного контролера та його модулів:

$$P = 5,0 + 2 * 0,6 + 1 * 2,5 + 1 * 2,0 = 10,7 \text{ Вт.} \quad (2.1)$$

Виходячи з потужності споживання контролеру та його модулів у якості джерела живлення обрано блок живлення SPD24301 з вихідною напругою +24 В та потужністю 30 Вт (рис. 2.15), параметри блока живлення наведені в табл. 2.13.



Рисунок 2.15 – Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301

Таблиця 2.13 – Технічні характеристики блока живлення Carlo Gavazzi SPD24301

№	Найменування параметра	Значення
1	Напруга живлення, В	~85...~264
2	Вихідна напруга, В	24
3	Потужність, Вт	30
4	Максимальний вихідний струм, А	1,25

Схему підключення програмованого логічного контролера до блока живлення наведена на рис. 2.16.

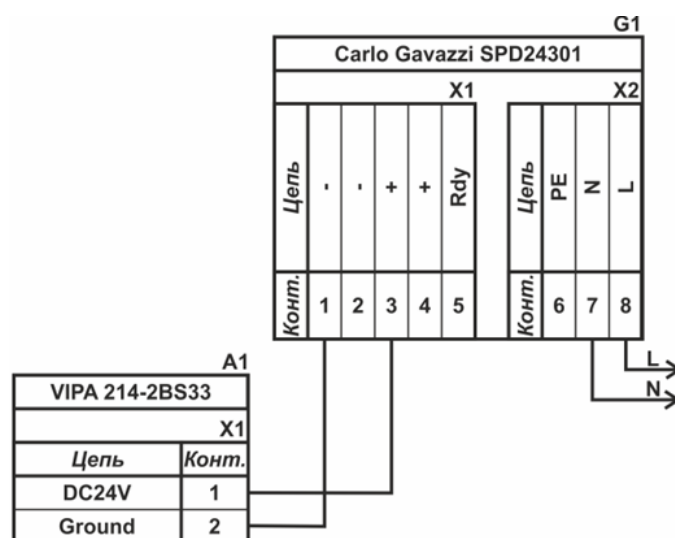


Рисунок 2.16 – Схема підключення програмованого логічного до блока живлення

Виконавши аналіз обраного обладнання можливо зробити вивід, що зовнішній блок живлення потрібен для семи датчиків та трьох однофазних твердотільних реле, які мають напругу живлення +24 В та потужність споживання:

$$P = 6 * 1,0 + 1 * 2,0 + 1 * 2,0 = 10,7 \text{ Вт.} \quad (2.2)$$

Виходячи з потужності споживання датчиків та виконавчого пристрою у якості джерела живлення обрано блок живлення, такий самий як і для програмованого логічного контролера SPD24301 з вихідною напругою +24 В та потужністю 30 Вт.

2.3 Розробка функціональної схеми автоматизації

Виходячи з вимог до системи керування дефлегматором RFC-100 ST розроблена функціональна схема автоматизації, яка наведена на рис. 2.17.

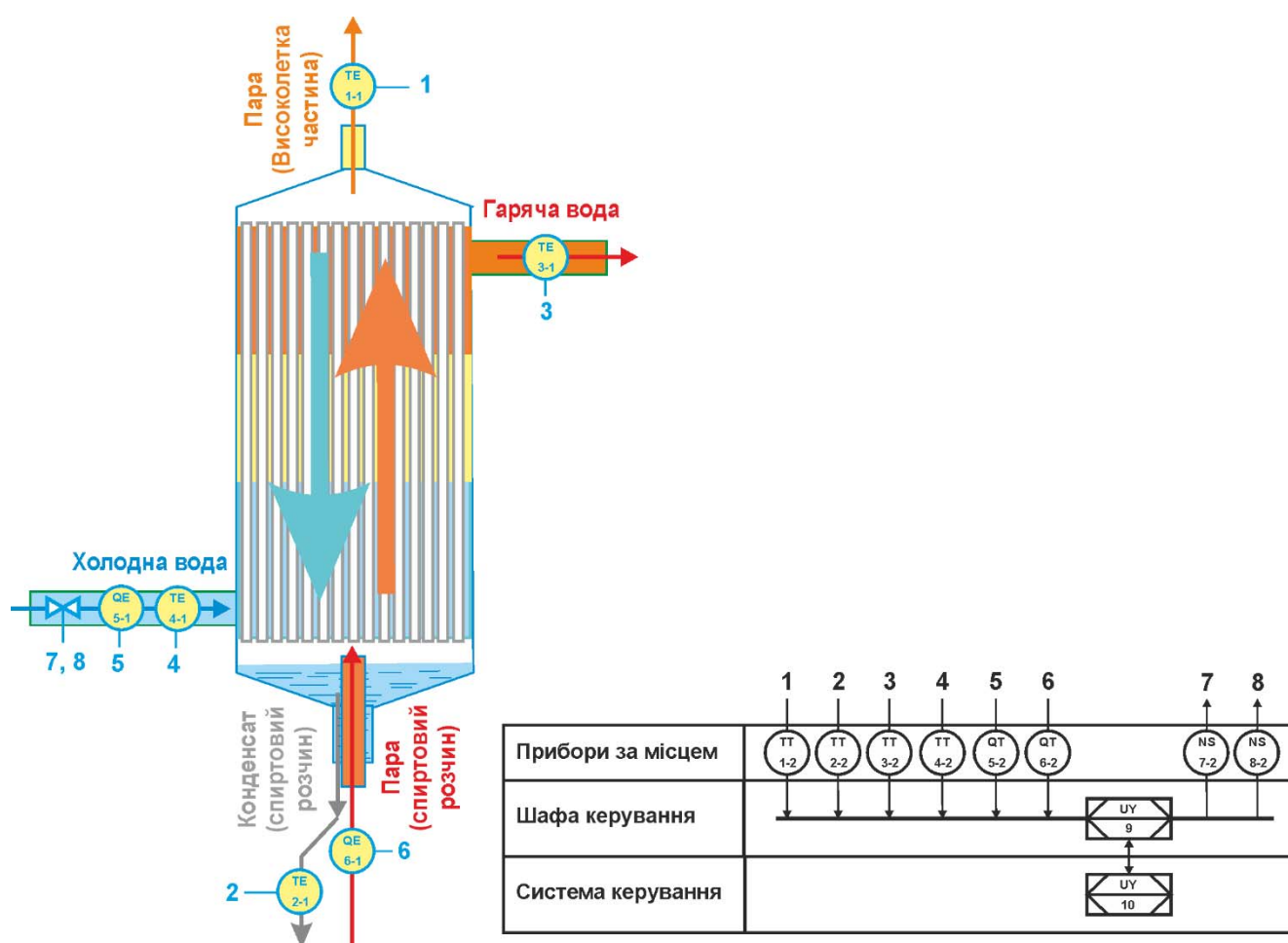


Рисунок 2.17 – Функціональна схема автоматизації системи керування дефлегматором RFC-100 ST

У якості пристрою керування технологічним процесом використовується програмований логічний контролер (UY 9) – VIPA 214-2BS33. Програмований логічний контролер в складі підсистеми керування підключено до АСУ ТП, за що

відповідає контролер більш високого рівня (UY 10), зв'язок між ними реалізовано за допомогою інтерфейсу RS-485.

Температура високо-леткої частини пари з дефлегматора вимірюється у верхній частині апарату за допомогою датчика температури (TE 1-1 – SITRANS T TW), виміряне значення за допомогою вбудованого до датчика перетворювача (ТТ 1-2 - SITRANS T TW) трансформується в стандартний сигнал 4...20 мА.

Температура конденсату спиртового розчину з дефлегматора вимірюється у нижній частині апарату за допомогою датчика температури (TE 2-1 – SITRANS T TW), виміряне значення за допомогою вбудованого до датчика перетворювача (ТТ 2-2 - SITRANS T TW) трансформується в стандартний сигнал 4...20 мА.

Температура охолоджуючої води яка виходить з дефлегматора вимірюється у верхній частині теплообміннику за допомогою датчика температури (TE 3-1 – SITRANS T TW), виміряне значення за допомогою вбудованого до датчика перетворювача (ТТ 3-2 - SITRANS T TW) трансформується в стандартний сигнал 4...20 мА.

Температура охолоджуючої води яка входить у дефлегматора вимірюється у нижній частині теплообміннику за допомогою датчика температури (TE 4-1 – SITRANS T TW), виміряне значення за допомогою вбудованого до датчика перетворювача (ТТ 4-2 - SITRANS T TW) трансформується в стандартний сигнал 4...20 мА.

Продуктивність подачі охолоджуючої води у дефлегматор вимірюється за допомогою датчику витрат, встановленого на водопроводі (TE 5-1 – SITRANS F X), виміряне значення за допомогою вбудованого до датчика перетворювача (ТТ 5-2 – SITRANS F X) трансформується в стандартний сигнал 4...20 мА.

Продуктивність подачі пари у дефлегматор вимірюється за допомогою датчику витрат, встановленого на паропроводі (TE 6-1 – SITRANS F X), виміряне

значення за допомогою вбудованого до датчика перетворювача (ТТ 6-2 – SITRANS F X) трансформується в стандартний сигнал 4...20 мА.

Регулювання продуктивності подачі охолоджуючої води у дефлегматор здійснюються засувка клиновою ЗКЛ 15-80-01 з реверсивним керуванням за допомогою дискретних модулів твердотільних реле (NS 7-2 - SSR-240A50) та (NS 8-2 - SSR-240A50).

Ступінь відкриття / закриття засувки подачі води контролюється енкодером (GE10-1 E40H 012 2000 2 N 24) спеціалізованим перетворювачем (GT10-2 E40H 012 2000 2 N 24).

На підставі отриманих первинних значень з відповідних датчиків програмований логічний контролер (UY 9 – VIPA 214-2BS33) за допомогою виконавчих пристроїв формує керуючі впливи по підтримці заданого режиму роботи дефлегматором RFC-100 ST.

2.4 Розробка схеми електричної принципової

На основі функціональної схеми автоматизації та обраного апаратного забезпечення розроблена схема електрична принципова системи керування дефлегматором RFC-100 ST (рис. 2.18).

В системі керування використовуються два блока живлення. 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), к усім семи датчикам (BK1...BK7).

Усі шість аналогових датчиків мають уніфікований сигнал 4...20 мА і підключені до модулів аналогового вводу VIPA 231-1BD40 (A1 – X3) до каналів 0, 1, 3 та VIPA 231-1BD40 (A1 – X4) до каналів 0, 1, 3,.

Керування засувкою подачі води здійснюється за принципом дискретного реверсивного керуванням за допомогою твердотільних реле (YA1, YA2) типу SSR-240A50 які підключені до дискретного модуля VIPA 231-1BF40 (A1 – X6) до

каналів 0, 1. Ступінь відкриття / закриття засувки контролюється енкодерами ВК8...ВК9 за допомогою спеціалізованого модуля А1 – Х7 типу VIPA 250-1BA00.

Зв'язок між програмованим логічним контролером VIPA 214-2BS33 (А1) та АСК ТП верхнього рівня (А2) реалізовано за допомогою інтерфейсу RS-485.

2.5 Висновки за розділом

У кваліфікаційній роботі, в якості об'єкту керування, обрано технологічний апарат дефлегматор RFC-100 ST для епіюраційної колони BTS 1600-32, яка використовується на Гнідавському біоетанольному заводі.

Для синтезу системи керування дефлегматор RFC-100 ST обрано необхідні програмно-апаратні засоби автоматизації, розроблена функціональна схема автоматизації, розроблена схема принципова системи керування, складено перелік елементів до схеми електричної принципової (додаток Б).

3 ВИЗНАЧЕННЯ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

3.1 Загальні відомості

У кваліфікаційній роботі, в якості об'єкту керування, обрано технологічний апарат дефлегматор RFC-100 ST для епюраційної колони BTS 1600-32.

Дефлегматор - це пристрій, призначений для часткової конденсації багатокомпонентного потоку парів спирту.

У дефлегматорі потік парів, який поступає з епюраційної колони, тече вертикально вгору, а конденсат (конденсована пара) під впливом сили тяжіння стікає назад вниз у епюраційну колону. Потік парів і конденсату напряму залежить від ступеню охолодження водою у сорочці дефлегматора кожухо-трубного теплообмінника. Потік парів і конденсату рухаються зустрічно і знаходяться в безпосередньому контакті один з одним. Крім теплообміну між потоком пари і охолоджуючої середовищем, теплота передається між висхідним паром і падаючим конденсатом. Пари, що виходять з пристрою, концентруються в більш летючих компонентах (ефірні масла), з номінальним значенням температури, яка є нижчою за 76 °С - температури кипіння етилового спирту за звичайних умов, в той час як спирт з багатшими і менш летючими компонентами стікає з дефлегматора вниз, знов у епюраційну колону.

Система керування дефлегматором RFC-100 ST має підтримувати задану температуру пари на виході дефлегматора.

Обрано канал керування «продуктивність подачі води – температура пари», основними збурючими факторами є температура спиртових парів з епюраційної колони, поступаючих в дефлегматор, та температура охолоджуючої води на вході у дефлегматор.

За попереднім аналізом, в залежності від параметрів технологічного процесу, продуктивність епюраційної колони BTS 1600-32 складає 0,6...1,5 кг/с спиртової пари з температурою 80..86 °С, а витрата оборотної охолоджуючої води становить 4,4...11,5 л/с (при її температурі у 20 °С та температура стабілізації 76±2 °С).

3.2 Розробка структурної схеми інформаційних потоків дослідницької системи

Система дослідження призначена для збору інформації про об'єкт керування, її основними функціями є формування і реєстрування керуючого впливу, що подається на об'єкт керування, реєстрування його дійсного значення на виході об'єкта керування, візуалізація отриманих даних та надання їх у зручному для подальшої обробки вигляді.

Для отримання математичної моделі об'єкту керування, за обраним каналом керування, треба провести комплексні заходи по дослідженню поведінки об'єкту керування під впливом ряду стандартних вхідних впливів.

Візуалізація процесу керування у дослідницькій системі відбувається за допомогою персонального комп'ютера зі SCADA системою zenon. Така система дозволяє, крім функцій керування, виконувати функції дослідження об'єкта - для чого достатньо використати дослідницьке програмне забезпечення. Виходячи з цього розроблена структурна схема системи керування наведена на рис. 3.1.

Згідно зі структурною схемою, система дослідження має формувати керуючий вплив, в якості якого виступає продуктивність подачі охолоджуючої води з розширеним діапазоном зміни у 3,0...15,0 л/с, за рахунок чого виконуються необхідні зміни значення температури спиртових парів, виходжуючих з дефлегматора - розширений з запасом діапазон температури пари становитиме 90...70 °С.

Контроль положення засувки здійснюється за допомогою енкодера – E40H 012 2000 2 N 24, який механічно зв'язаний з віссю засувки і формує 2000 імпульсів на один оберт.

Зв'язок між програмованим логічним контролером та персональним комп'ютером зі SCADA системою zenon реалізується за допомогою інтерфейсу RS-485.

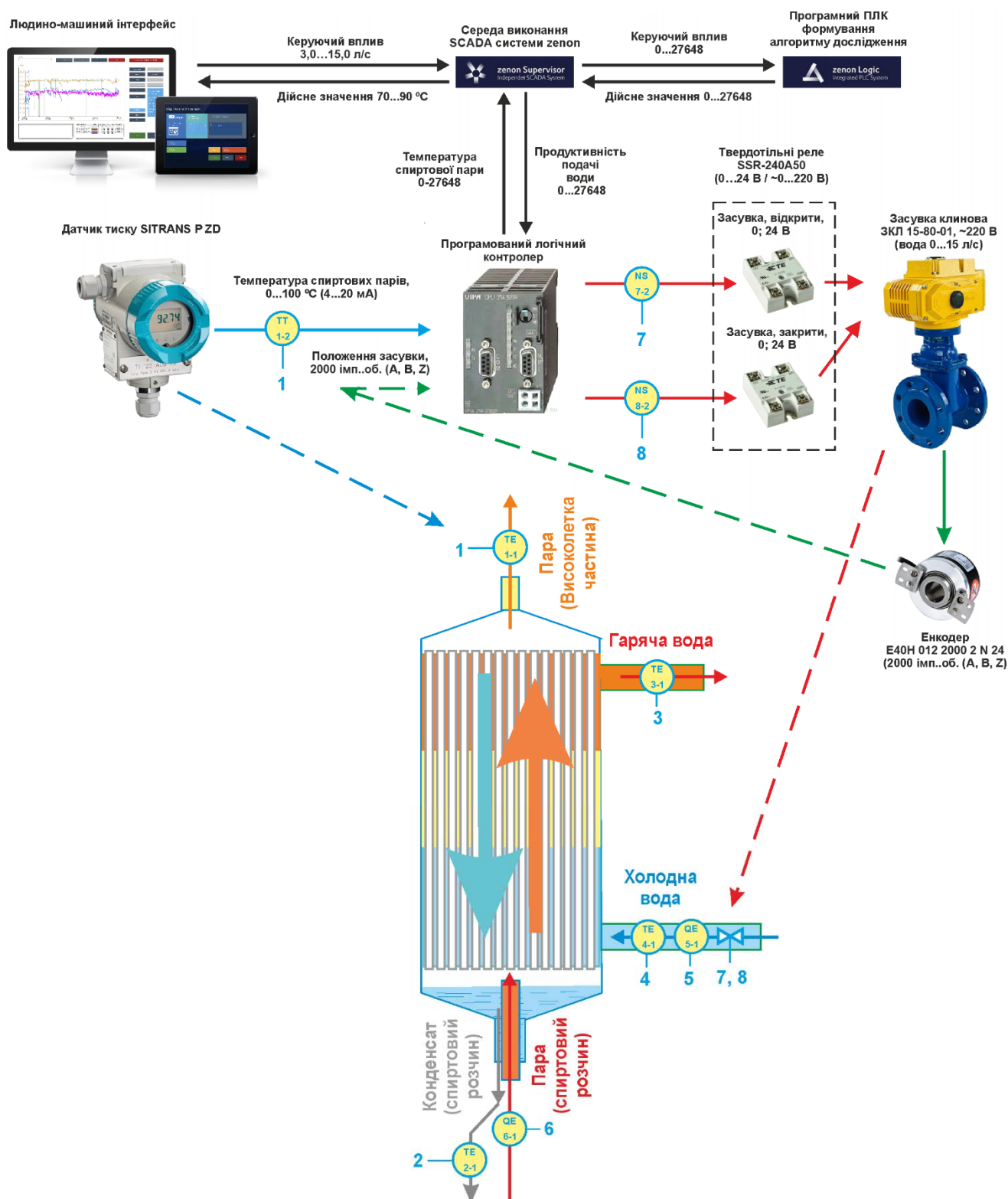


Рисунок 3.1 – Структурна схема інформаційних потоків дослідницької системи

3.3 Розробка методики дослідження об'єкта керування

Система дослідження дозволяє формування різноманітних керуючих впливів для подання їх через систему керування на об'єкт керування. При цьому об'єкт

керування не накладає ні яких обмежень на керуючий вплив. Виходячи з цього об'єкт керування можливо дослідити за допомогою метода активного експерименту.

З метою виконання ідентифікації об'єкта керування, використовуючи метод активного експерименту, необхідно отримати його динамічну характеристику, данні для побудови статичної характеристики, характеристику при П-образному керуючому впливі, та перевірочні данні. Виходячи з цього і складено наступний план експерименту:

1. Налаштувати систему дослідження.

2. Отримати динамічну характеристику.

2.1. Привести об'єкт керування до початкових умов, дочекатися досягнення усталеного режиму дійсного значення.

2.2. Запустити процес реєстрування.

2.3. Задати максимальну амплітуду керуючого впливу (100 %), дочекатися досягнення усталеного режиму дійсного значення.

2.5. Зупинити процес реєстрації.

3. Отримання даних за для побудови статичної характеристики.

3.1. Привести об'єкт керування до початкових умов (дивись п. 2.1).

3.2. Розбити весь діапазон керуючого впливу на 5...10 рівних частин. Далі запустити процес реєстрування та поетапно подавати ці значення керуючого впливу на об'єкт керування, поетапно дочекавшись усталеного режиму дійсного значення фіксувати його.

3.3. Зупинити процес реєстрації.

4. Отримання даних при П-образному впливі.

4.1 Привести об'єкт керування до початкових умов (дивись п. 2.1).

4.2 Запустити процес реєстрування.

4.3. Задати керуючий вплив на рівні 100 %, обов'язково дочекатися досягнення усталеного режиму дійсного значення, зафіксувати його.

4.4. Задати керуючий вплив на рівні 0 %, обов'язково дочекатися досягнення усталеного режиму дійсного значення, зафіксувати його.

4.5. Зупинити процес реєстрації.

5. Отримання перевірочних даних.

5.1. Привести об'єкт керування до початкових умов (дивись п. 2.1).

5.2. Налаштувати псевдовипадковий вплив таким чином, щоб період зміни впливу був бажано у 5...10 разів менший за час перехідного процесу, а амплітуда керуючого впливу змінювалася дискретно (бажано випадково) в діапазоні 0...100 %.

5.3. Запустити процес реєстрування.

5.4. Запустити формування псевдовипадкового впливу.

5.5. Виконувати реєстрацію бажано на протязі часу не менш ніж за 5...10 інтервалів часу перехідного процесу плюс час затримки.

5.6. Зупинити процес реєстрації.

3.4 Виконання експерименту

На першому етапі проведення експерименту виконано налаштування системи дослідження таким чином, що керуючий вплив – продуктивність подачі води буде змінюватися дискретно з мінімального можливого значення до максимального, а відповідне дійсне значення – температура пари, під впливом керуючого значення з часом буде теж змінюватися з максимального значення до мінімального.

На другому етапі було виконано отримання динамічної характеристики об'єкта керування (рис. 3.4).

Враховуючи той факт, що за технічними параметрами, подача води лінійна регулюється у межах 3,0...15,0 л/с, то враховуючі постійну складову керуючого сигналу у 3,0...15,0 л/с, реальний діапазон регулювання складатиме 0...12 л/с (0...100 %).

На початку експерименту було встановлено керуючий сигнал на рівні 0 л/с (0 %), а після досягнення усталеного режиму – температури пари приблизно 90 °С, керуючий сигнал було встановлено на рівні 12 л/с (100 %) і після досягнення усталеного режиму – температура пари приблизно 70 °С, експеримент було закінчено.

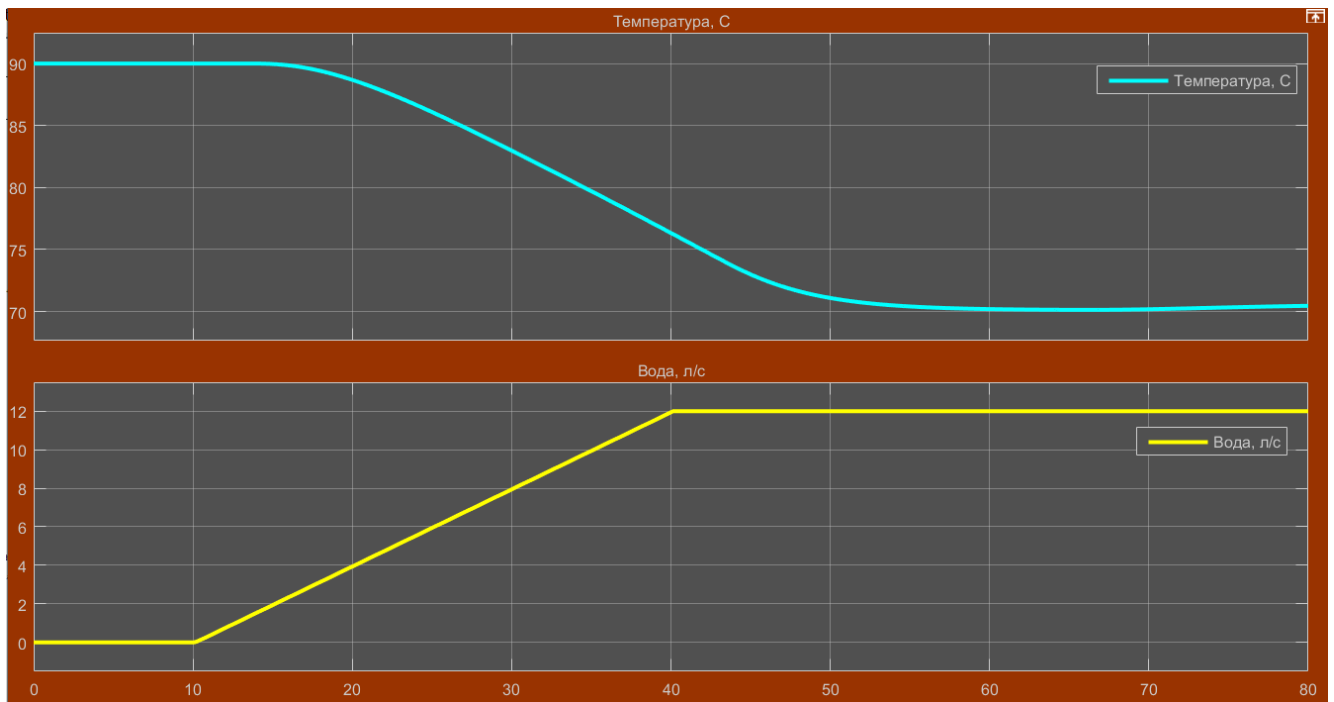


Рисунок 3.4 – Отримання динамічної характеристики

На третьому етапі було виконано отримання даних для побудови статичної характеристики (рис. 3.5).

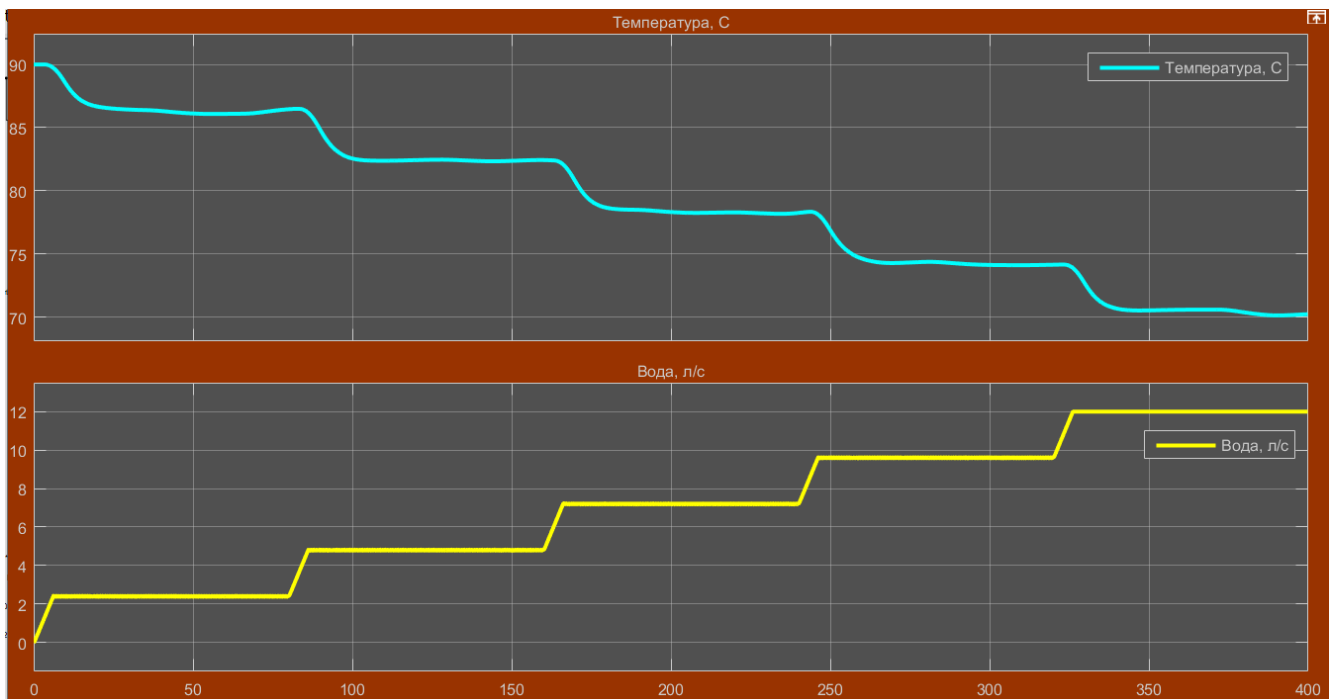


Рисунок 3.5 – Отримання даних для побудови статичної характеристики

Для цього було встановлено керуючий сигнал на рівні 2,4 л/с (20%), після досягнення усталеного режиму для дійсного значення, було зафіксована його величина.

Далі було встановлено керуючий сигнал на рівні 4,8 л/с (40 %), після досягнення усталеного режиму для дійсного значення, було зафіксована його величина.

Далі було встановлено керуючий сигнал на рівні 7,2 л/с (60 %), після досягнення усталеного режиму для дійсного значення, було зафіксована його величина.

Далі було встановлено керуючий сигнал на рівні 9,6 л/с (80 %), після досягнення усталеного режиму для дійсного значення, було зафіксована його величина.

Далі було встановлено керуючий сигнал на рівні 12,0 л/с (100 %), після досягнення усталеного режиму для дійсного значення, було зафіксована його величина.

Після цього експеримент було закінчено.

На четвертому етапі було виконано отримання даних П-образному керуючому впливі (рис. 3.6).

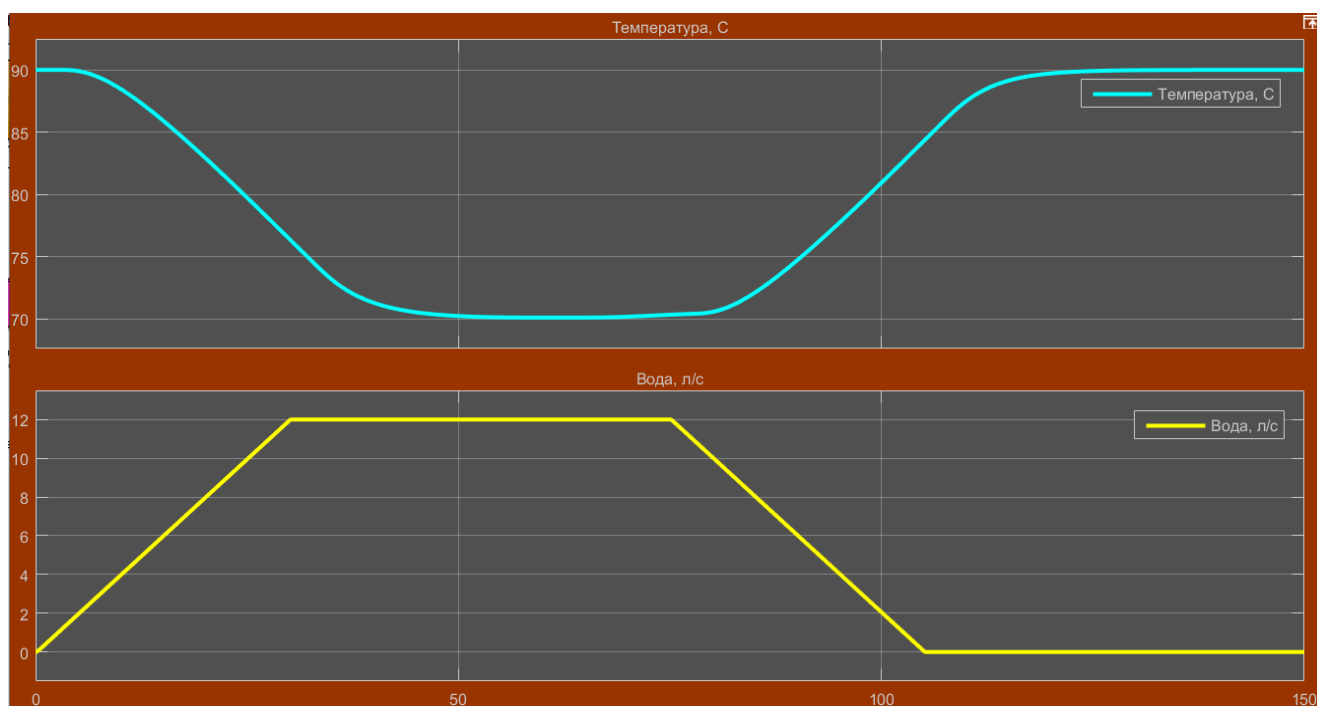


Рисунок 3.6 – Отримання даних при П-образному керуючому впливі

Для цього було встановлено керуючий вплив на рівні 0 л/с (0 %), після досягнення усталеного режиму для дійсного значення, було зафіксована його величина, після досягнення усталеного режиму дійсного значення було

встановлено керуючий вплив на рівні на рівні 12,0 л/с (100 %), а після досягнення усталеного режиму було встановлено керуючий вплив на рівні 0 л/с (0 %), після досягнення усталеного режиму експеримент було закінчено.

На п'ятому етапі було виконано отримання перевірочних даних (рис. 3.5).

Для цього керуючий вплив було налаштовано на випадкову послідовність в діапазоні 0...12 л/с (0...100 %), з інтервалом зміни близько 5,2 с (з попереднього аналізу рис. 3.4 маємо - перехідний процес близько 5...10 с, затримка 2...5 с, відкриття засувки 20...40 с, а сама реєстрація відбувалася на протязі 1 500 с.

У результаті виконання плану експерименту проведено всеосяжне дослідження об'єкта керування та отримані динамічна характеристика, дані для побудови статичної характеристики, дані при П-образному керуючому впливі та перевірочні дані.

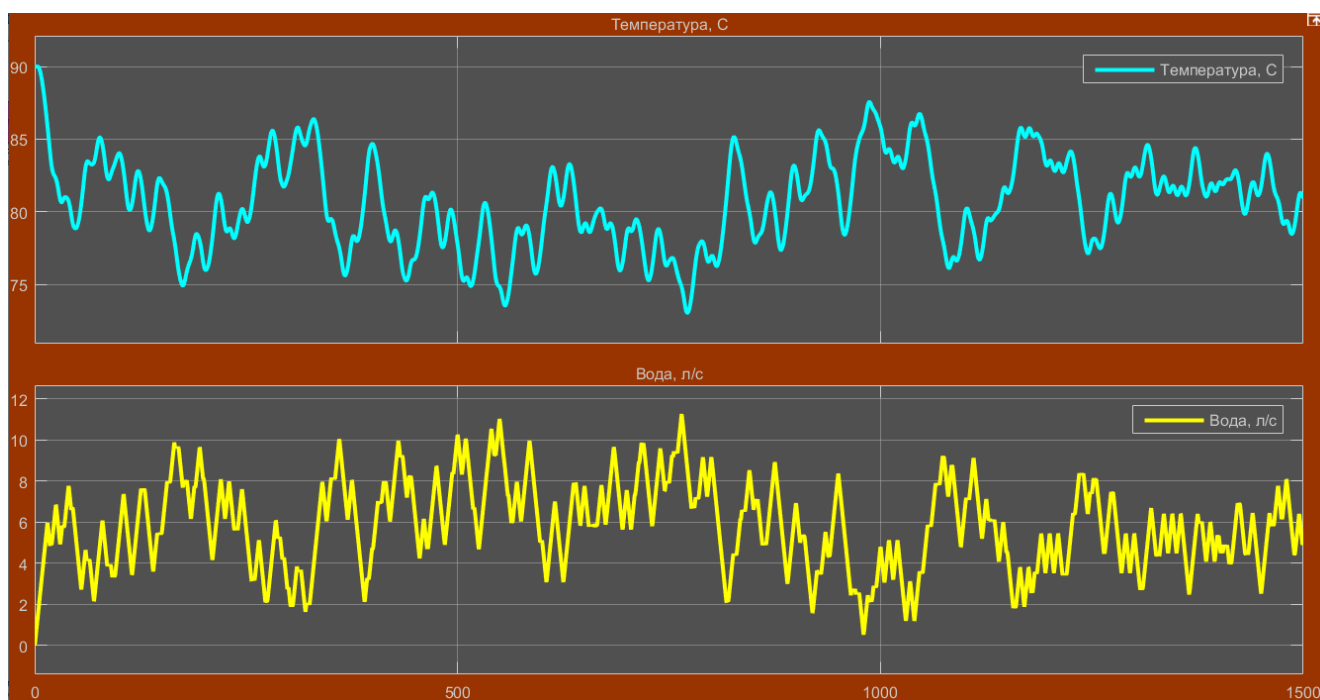
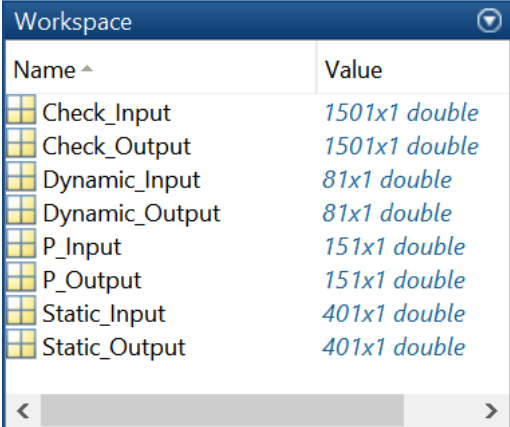


Рисунок 3.7 – Отримання перевірочних даних

3.5 Обробка результатів експерименту

3.5.1 Підготовка даних

Дані отримані в SCADA системі zenon було імпортовано до математичного пакета MATLAB з метою подальшої обробки (рис. 3.8).



Name ^	Value
Check_Input	1501x1 double
Check_Output	1501x1 double
Dynamic_Input	81x1 double
Dynamic_Output	81x1 double
P_Input	151x1 double
P_Output	151x1 double
Static_Input	401x1 double
Static_Output	401x1 double

Рисунок 3.8 – Імпортовані данні

Змінні які відповідають даним динамічної характеристики “Dynamic_Input”, “Dynamic_Output”, даним для побудови статичної характеристики “Static_Input”, “Static_Output”, даним отриманим при П-образному керуючому впливі “P_Input”, “P_Output”, перевірочним даним “Check_Input”, “Check_Output”. Суфікс “_Input” позначає керуючий вплив, а суфікс “_Output” дійсне значення.

Для спрощення подальшого аналізу дані були конвертовані до об’єктів типу “iddata”. Та з отриманих даних була видалена статична складова.

На рис. 3.9 та рис. 3.10 показані результати моделювання з видалення статичної складової для динамічної, статичної, П-образної та перевірочної характеристик.

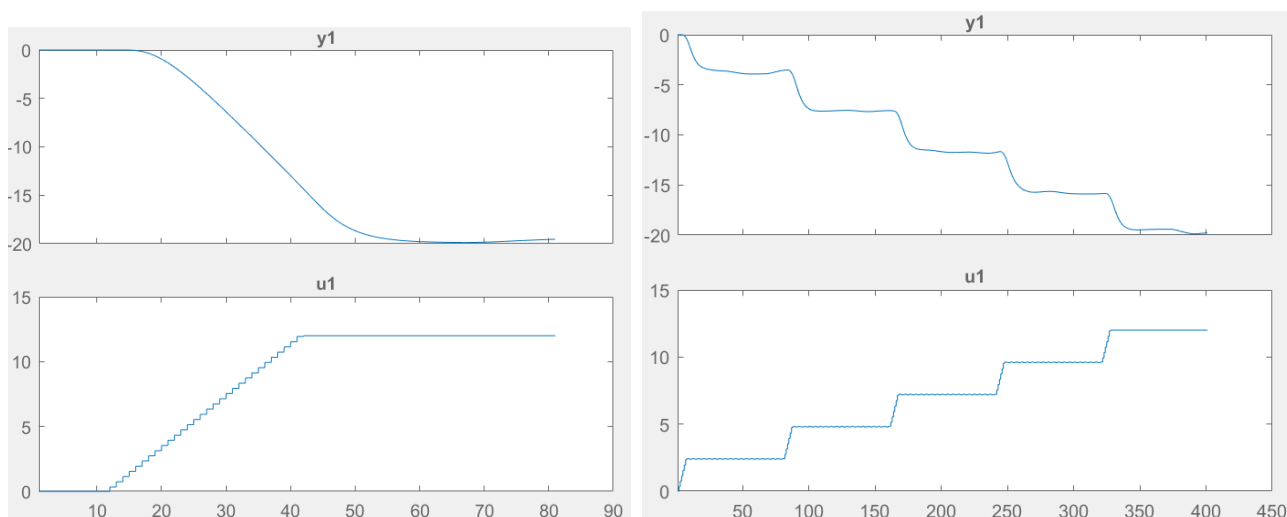


Рисунок 3.9 – Динамічна і статична характеристики з видаленими статичними складовими

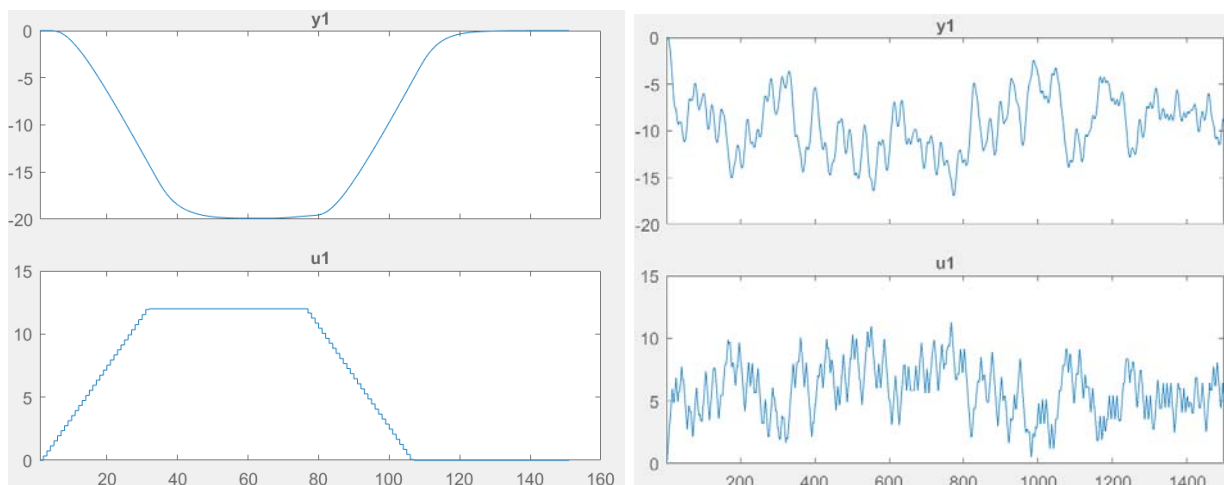


Рисунок 3.10 – П-образна та перевірна характеристики з видаленими статичними складовими

3.5.2 Структурна ідентифікація

З метою оцінки структури моделі об'єкта керування проаналізуємо динамічну характеристику об'єкта керування (рис. 3.11).

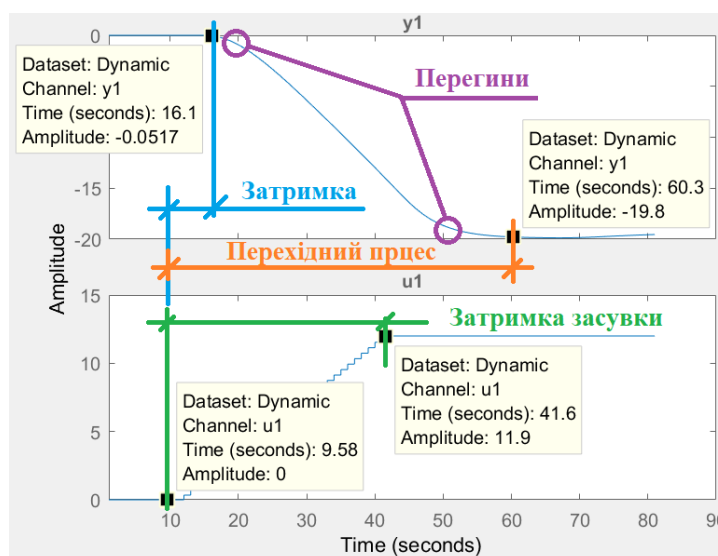


Рисунок 3.11 – Аналіз динамічної характеристики

Після подачі керуючого впливу дійсно значне змінюється з незначним запізненням, виходячи з цього можливо зробити висновок, що об'єкт володіє запізненням - приблизно десь 3...5 с. Це може бути пов'язано з інерційністю датчика температури.

Крім того на динамічній характеристиці відсутня інерція, характер перехідного процесу монотонний, а кількість перегинів дорівнює двом. На підставі

цього можливо зробити висновок, що модель об'єкта керування може бути представлена у вигляді аперіодичної ланки другого порядку з запізненням.

Коефіцієнт посилення $K \approx -20,0 / 12 = -1,7$.

Час перехідного процесу близька 30...50 с, а постійна часу 5...10 с.

Проаналізуємо об'єкт керування на лінійність для цього побудуємо його статичну характеристику (рис. 3.12).

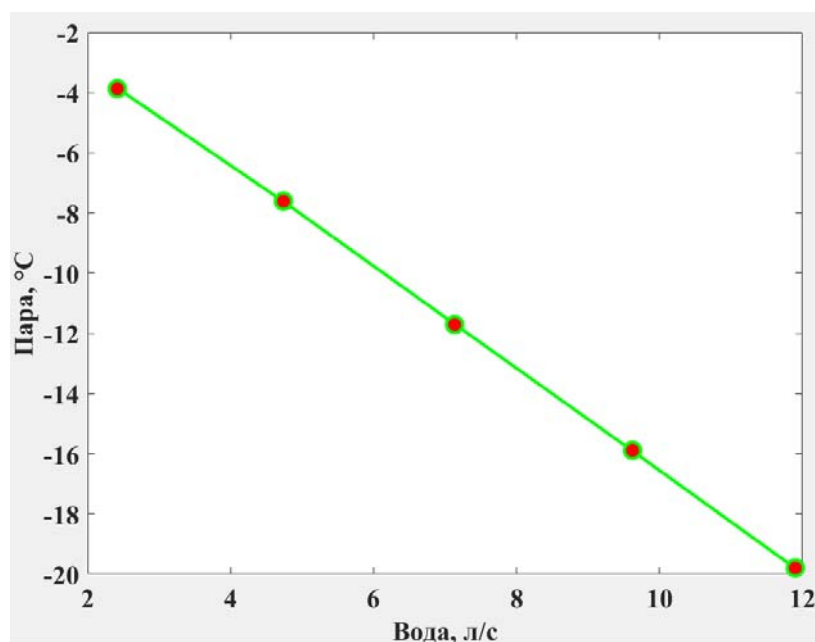
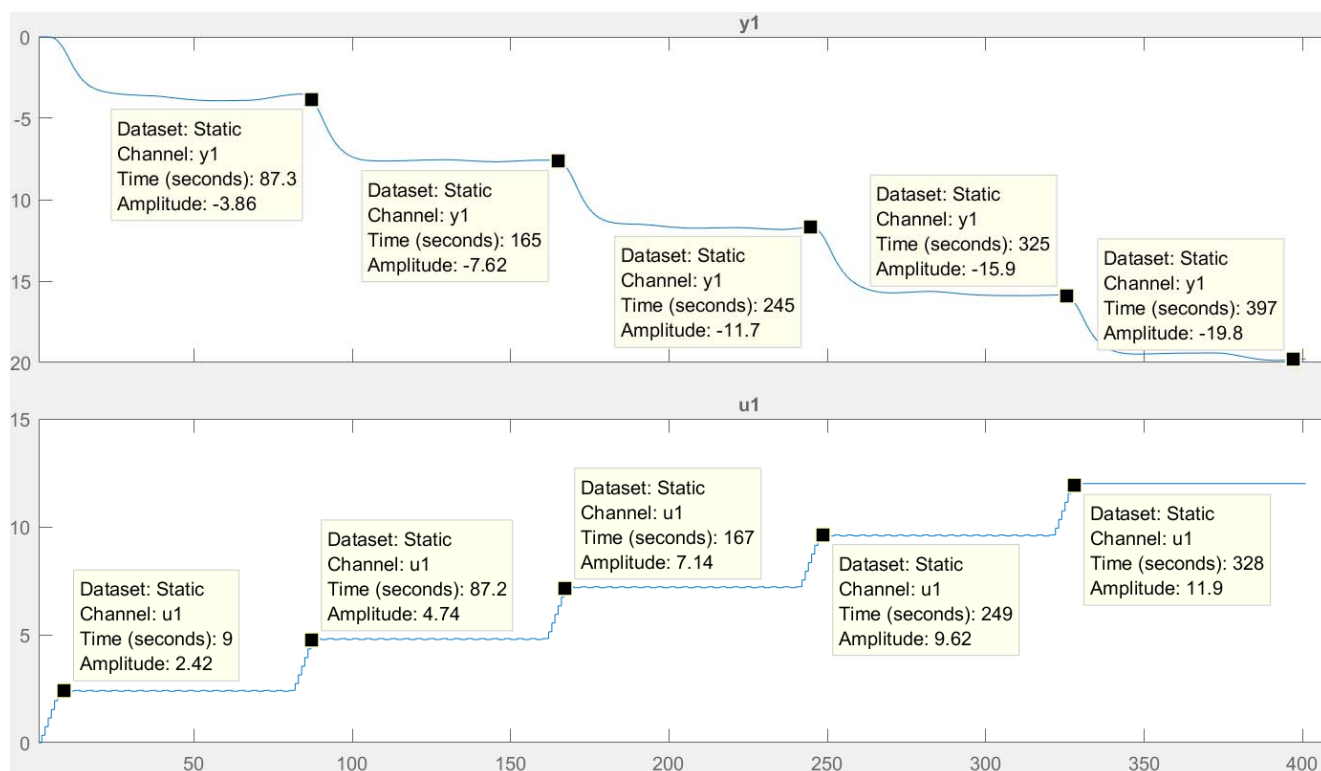


Рисунок 3.12 – Статична характеристика

Для перевірки статичної характеристики на лінійність розраховано коефіцієнти посилення для усіх точок крім нульових:

Static Gain =
 -1.5950 -1.6076 -1.6387 -1.6528 -1.6639
Максимальне відхилення коефіцієнту підсилення: 4.31 %

За статичною характеристикою та отриманими коефіцієнтами посилення об'єкт керування є лінійним в усьому досліджуваному діапазоні керуючих впливів та для його опису можуть бути використані лінійні моделі, так як відхилення коефіцієнту посилення у всьому діапазоні менше ніж величина технічної похибки 10 %.

Проаналізуємо характеристику отриману при П-образному керуючому впливі (рис. 3.10). Збільшення керуючого впливу з 0 л/с (0 %) до 12 л/с (100 %) приводить до відповідного зменшення дійсного значення, а зменшення керуючого впливу з 12 л/с (100 %) до 0 л/с (0 %) приводить до відповідного збільшення дійсного значення. На підставі цього можливо зробити висновок, що об'єкт не володіє інтегруючими властивостями і є об'єктом з самовирівнюванням.

З метою аналізу симетричності об'єкта керування його характеристика отримана при П-образному впливі була поділена на ділянки підйому та спаду (рис. 3.13).

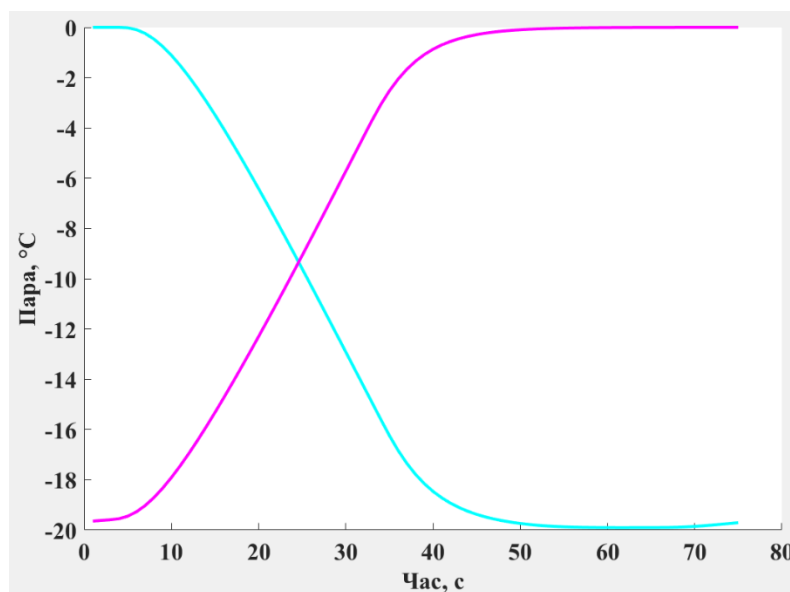


Рисунок 3.13 – Аналіз симетричності характеристика при П-образному керуючому впливі

Порівняння ділянок підйому та спаду виконувалася через порівняння стандартних середнє квадратичних відхилень:

Порівняння ділянок підйому та спаду: 3.61 %

За отриманою П-характеристикою при аналізі симетричності середнє квадратичнє відхилення менше ніж величина технічної похибки 10 %. Тобто можна стверджувати, що час перехідного процесу, форма та стандартнє середнє квадратичні відхилення ділянок підйому та спаду співпадають, таким чином об'єкт керування є симетричним та може бути представлений однією лінійною моделлю.

За результатами структурної ідентифікації встановлено, що об'єкт керування є лінійним, симетричним, має два дійсні від'ємні домінуючі корені та ланку чистого запізнення. На підставі цього об'єкт керування може бути описано аперіодичною ланкою другого, або більш високого порядку с запізненням:

$$W(s) = \frac{k \cdot e^{-\tau s}}{(T_1 s + 1) \cdot (T_2 s + 1)}, \quad (3.1)$$

де $W(s)$ – передавальна функція моделі об'єкта керування; s – оператор диференціювання; k – коефіцієнт посилення; τ – час запізнення, с; T_1, T_2 – постійні часу, с.

3.5.3 Параметрична ідентифікація

Параметрична ідентифікація виконувалася у програмному забезпеченні System Identification Toolbox яке входить до складу математичного пакета MATLAB та запускається командою `ident`.

До програмного забезпечення System Identification Toolbox (рис. 3.14) імпортувалися підготовлені дані без статичної складової – «Dynamic». Дані динамічної характеристики використовувалися для розрахунку параметрів моделі об'єкта керування, а перевірочні дані «Check», для оцінки відповідності отриманої моделі до об'єкта керування.

Для визначення параметрів моделі об'єкта керування використано метод «Process Models». Налаштування параметрів ідентифікації наведено на рис. 3.15.

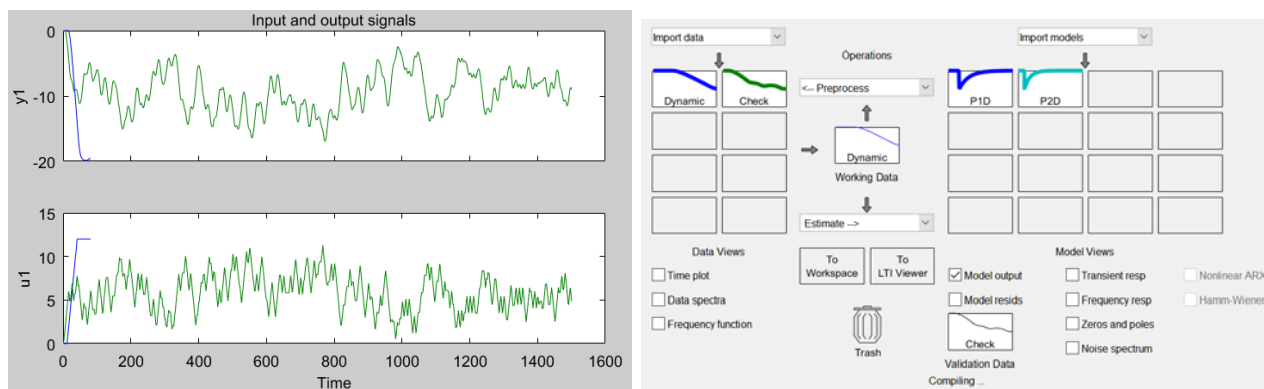


Рисунок 3.14 – Налаштування System Identification Toolbox

Перевірка результатів розрахунків наведена на рис. 3.15 та в табл. 3.1.

Розрахунок параметрів виконувався за методом Process Models для аперіодичних ланок першого та другого порядку з запізненням (рис. 3.14).

Параметри ідентифікації за методом Process Models P1D:

$$G(s) = \frac{K_p}{1+T_{p1}s} * \exp(-T_d*s)$$

$$K_p = -1.6496 \pm 0.0014199$$

$$T_{p1} = 4.0864 \pm 0.10408$$

$$T_d = 4.636 \pm 0.088546$$

Fit to estimation data: 99.05%

FPE: 0.00676, MSE: 0.006277

Параметри ідентифікації за методом Process Models P2D:

$$G(s) = \frac{K_p}{(1+T_{p1}s)(1+T_{p2}s)} * \exp(-T_d*s)$$

$$K_p = -1.6496 \pm 42316$$

$$T_{p1} = 4.0863 \pm 1.1267e+05$$

$$T_{p2} = 0.00648 \pm 2.6509e+10$$

$$T_d = 4.63 \pm 2.6551e+10$$

Fit to estimation data: 99.05%

FPE: 0.007281, MSE: 0.006277

За допомогою «Model output» показана відповідність отриманих моделей P1D та P2D до перевірючих даних отриманих на об'єкті керування Check наведена на рис. 3.15 та представлена у табл. 3.1.

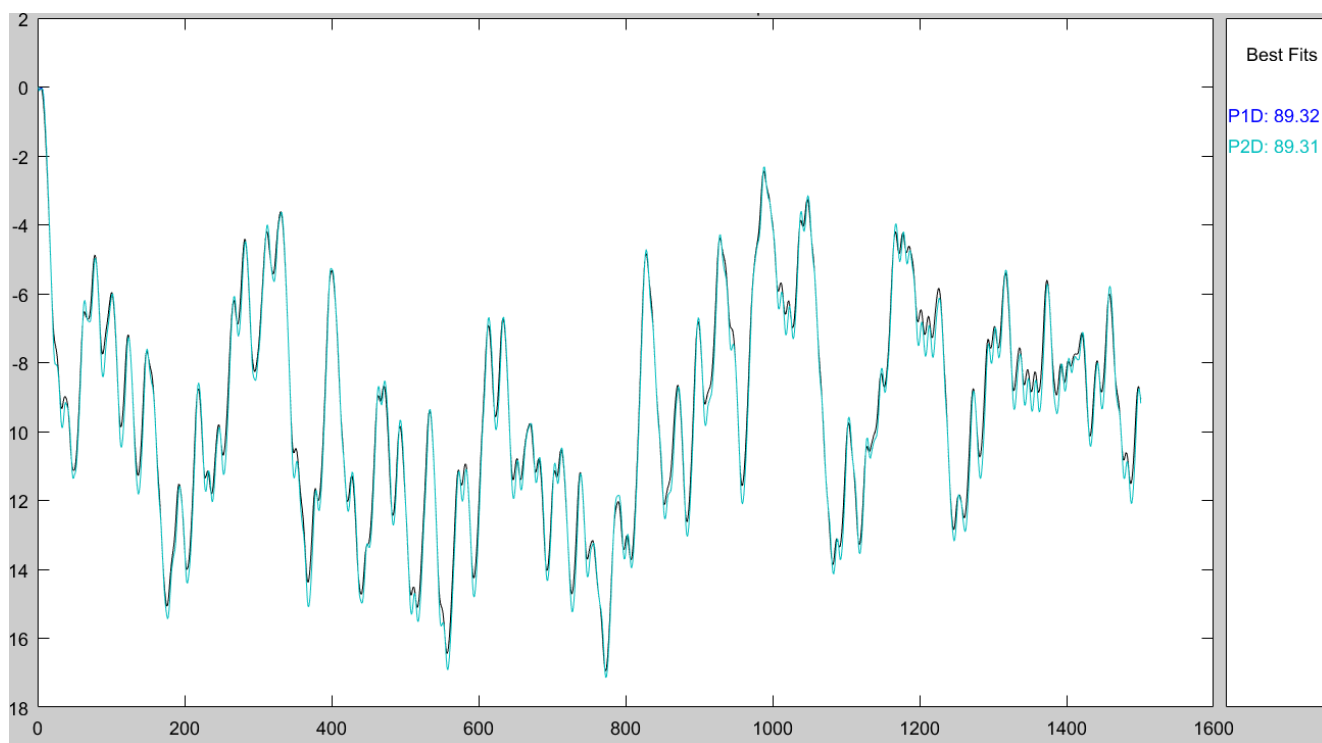


Рисунок 3.15 – Перевірка результатів розрахунків

Таблиця 3.1 – Відповідність отриманих моделей до перевірочних даних об'єкта керування

Назва параметру	P1D	P2D
k	-1,6496	-1,6496
T_1, c	4,0864	4,0863
T_2, c	-	0,00648
τ	4,636	4,63
НСКП, %	99,05	99,05
ПОП	0,00676	0,007281
СКП	0,006277	0,006277
НСКП, %	89,32	89,31

Аналіз відмінностей між оцінками моделей P1D – першого порядку з затримкою та P2D – другого порядку з затримкою по динамічній характеристиці показав, що за нормалізованим середньоквадратичним похибкам (НСКП), моделі P1D та P2D мають однакові показники (99.05 %), помилка остаточного передбачення (ПОП) для P2D у $0,007281 / 0,00676 \approx 1,1$ разів більша ніж у P1D.

Головним показником, який впливає на остаточний вибір між цими моделями є розбіжність у відповідності за перевірочними даними, найкращий показник має найпростіша модель P1D з показником НСКП відповідності за перевірочними даними у 89,32 %.

Виходячи з усього, що наведено вище можна стверджувати, що обрана модель PID має достатню відповідність до перевірочних даних, яка значно більше ніж граничне неприпустиме значення у 80 %.

Для аналізу результатів параметричної перевірки для обраної моделі першого порядку з затримкою можна звернути увагу на наступне, що при попередньому випадку, при структурній ідентифікації за динамічною характеристикою (рис. 3.8) отримані наступні параметри: коефіцієнт посилення -1,7, час перехідного процесу 30... 50 с, постійна часу 5...10 с, затримка 3...5 с. А у нашому випадку для отриманої моделі першого порядку коефіцієнт посилення дорівнює -1,65, постійна часу становить 4,1 с, а затримка 4,6 с, що додатково підтверджує правильність результатів і що об'єкту керування дійсно краще всього відповідає обрана модель PID - аперіодична ланка першого порядку з запізненням.

За результатами параметричної ідентифікації отримана модель у вигляді передавальної функції, яка відповідає об'єкту керування за перевірочними даними на 89,32 %:

$$W(s) = \frac{-1,65 \cdot e^{-4,6s}}{4,1s + 1}. \quad (3.2)$$

3.5.4 Розробка моделі об'єкта керування в Simulink

Використовуючи передавальну функцію (3.2) у графічному середовищі імітаційного моделювання Simulink математичного пакету MATLAB розроблена модель отримання даних для перевірки на адекватність (рис. 3.16).

При налаштуванні час моделювання задано 1 500 с, що дорівнює кількості перевірочних даних, блоки запису перевірочних даних та результатів моделювання до змінних Object і Model відповідно, крок запису задано 1 с, що відповідає первинним даним.

На виході додано статичний зсув характеристики дійсного значення, який корегує вихідну характеристику відповідно до реальних даних, отриманих з об'єкту керування: продуктивність подачі води вході моделі об'єкта керування

становить 0...12 л/с (0...100 %), а температура пари на виході моделі об'єкту керування: 90...70 °С (дійсне значення).

$$W(s) = \frac{-1,65 \cdot e^{-4,6s}}{4,1s + 1}$$



Рисунок 3.16 – Модель об'єкту керування (дефлегматор RFC-100 ST)

На рис. 3.16 показана модель отримання даних для перевірки на адекватність. На вихід моделі P1D доданий статичний зсув дійсного значення, який відповідає за початкове значення дійсного сигналу – максимальна температура пари 90 °С при початковому керуючому впливі 0 л/с (0 %), а фактична мінімальна продуктивність подачі води при цьому становить 3 л/с.

Порівняння відбувається з чистими перевірочними даними над якими не виконувалися дії які б могли їх «скомпрометувати».

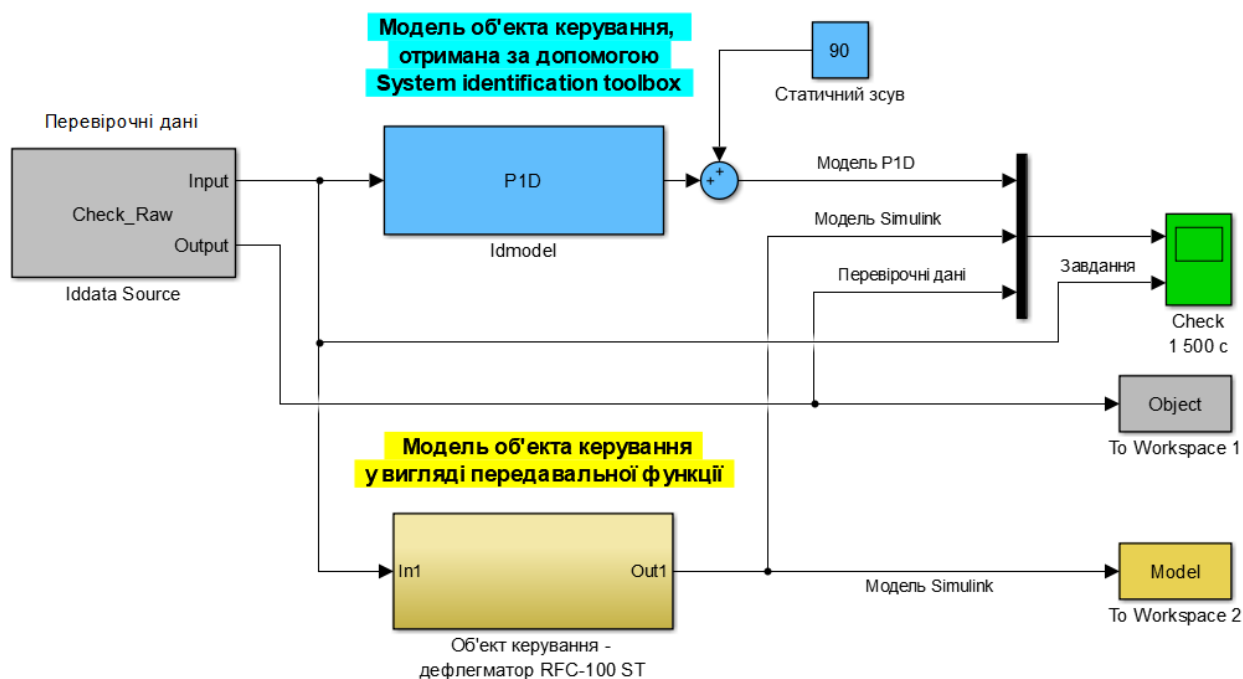


Рисунок 3.16 – Модель отримання даних для перевірки на адекватність

За результатами моделювання бачимо, що дійсні значення отримані на виході моделі System Identification Toolbox (сигнал – «Модель P2D») та моделі розробленій на базі передавальної функції (сигнал – «Модель Simulink») співпадають з перевірочними даними (рис. 3.17).

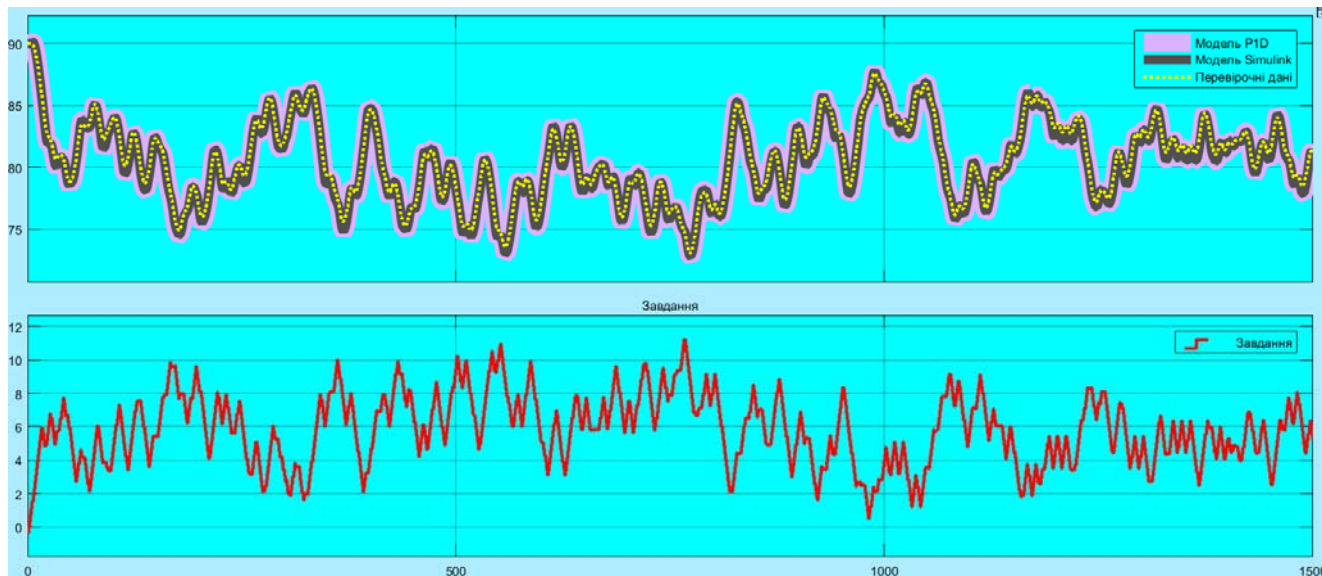


Рисунок 3.17 - Результат отримання даних для перевірки на адекватність

Наступним етапом є перевірка моделі на адекватність.

3.5.5 Перевірка моделі на адекватність

При перевірці на відповідність її значення у більшості випадків результат має бути вище 80 %, при перевірці на адекватність коефіцієнт кореляції повинен бути вище 0,8, а довірчий інтервал відповідати 0,9. У деяких випадках ці значення можуть бути змінені.

Перевірка на адекватність виконувалася за допомогою скрипту GetAdequacy.m, який реалізує відповідний розрахунок перевірки на адекватність.

Результат виконання статистичного аналізу (виклику функції):

Перевірка моделі об'єкта керування на адекватність v1.0

Коефіцієнт кореляції: 0.997

Статистичний критерій Фішера: 226455.850

Критичне значення статистики Фішера: 2.709

Статистичний критерій Фішера більший критичного значення, модель є адекватною до об'єкта керування.

Використовуючи скрипт GetAdequacy.m встановлено, що між перевірочними даними та результатами моделювання присутній дуже високий зв'язок, коефіцієнт

кореляції 1,0. Статистичний критерій Фішера 226 456 більший критичного значення 2,709, тобто модель є адекватною до об'єкта керування.

Враховуючи аналіз технологічного процесу, структури об'єкта керування, характеристик отриманих за результатами експериментів, результатів структурної та параметричної ідентифікації та перевірки на адекватність зроблено висновок, що розроблена модель є адекватною до об'єкта керування - дефлегматор RFC-100 ST та може бути використана у подальшому при синтезі системи керування в умовах досліджуваного технологічного процесу.

3.6 Розробка схеми моделі засувки

Програмований логічний контролер виконує керування величиною витрат гострої пари за допомогою електричної клинової засувки ЗКЛ 15-80-01, тому треба розробити схему моделі засувки і систему керування до неї, яка має підтримувати задану продуктивність подачі води до дефлегматора RFC-100 ST.

З технічних параметрів засувки ЗКЛ 15-80-01 відомо, що час повного відкриття її складає 30 с, а постійна часу електроприводу становить 0,15 с. Відповідно з цією інформацією складена схема засувки, яка представлена блоком інтегрування та аперіодичною ланкою першого порядку (рис. 3.18).

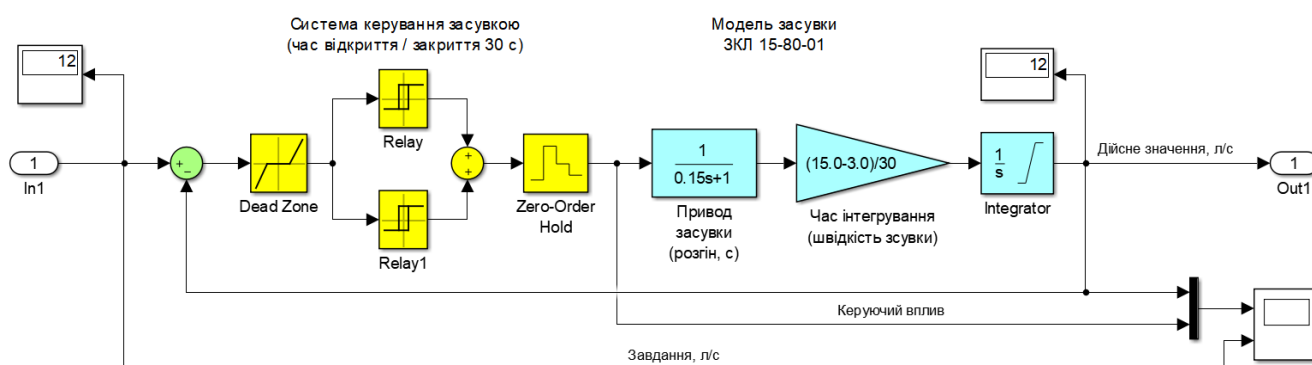


Рисунок 3.18 – Модель засувки електричної клинової ЗКЛ 15-80-01

Контроль положення засувки здійснюється за допомогою енкодери – E40H 012 2000 2 N 24, який механічна зв'язаний з віссю засувки і формує 2 000 імпульсів на один оберт – завдяки йому визначається помилка керування положенням засувки для системи керування.

Система керування засувкою представлена блоком з зоною нечутливості (0,1 %) та двома релейними блоками - реверсивними дискретними сигналами, відповідно на відкриття та закриття засувки.

Графік роботи моделі засувки представлено на рис. 3.19.

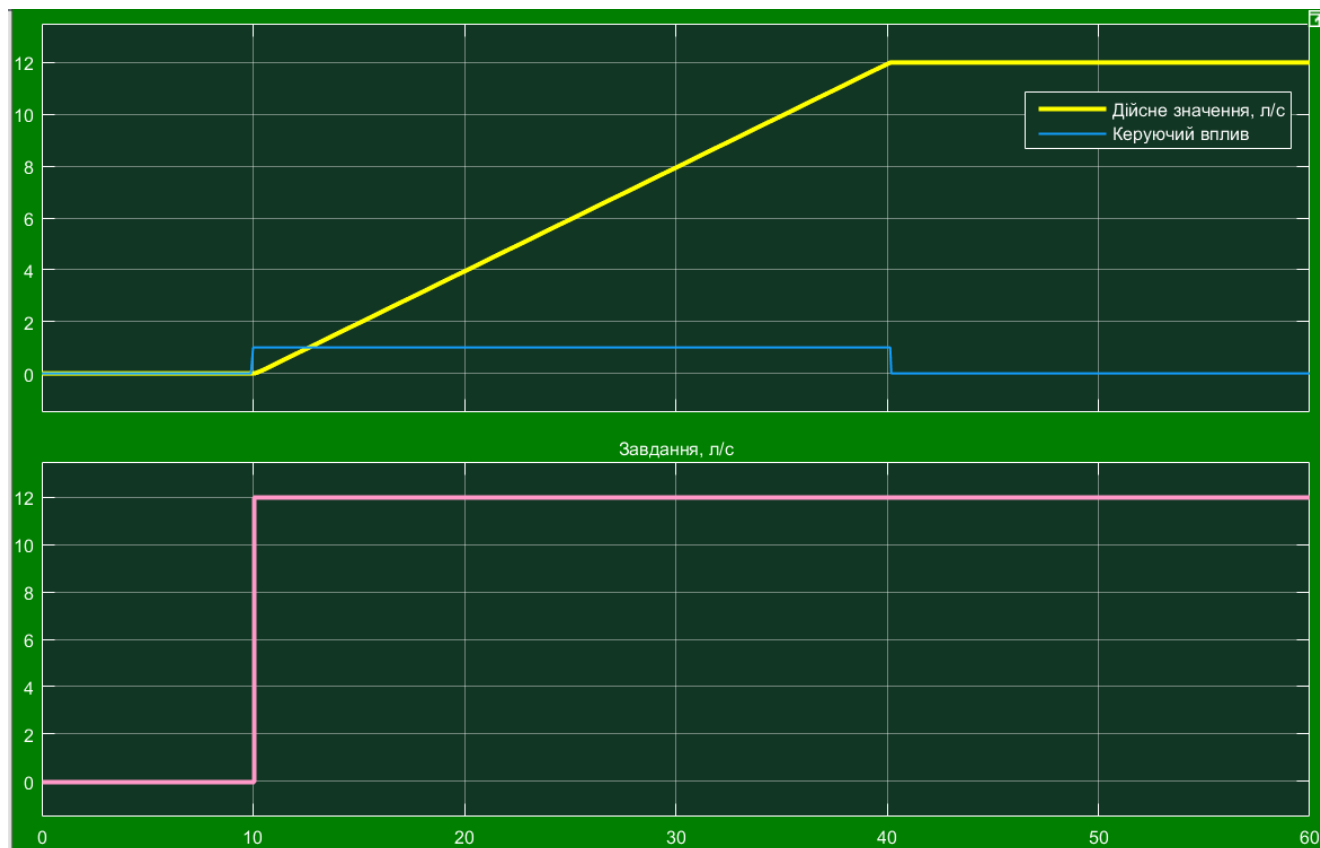


Рисунок 3.19 – Моделювання засувки електричної клинної ЗКЛ 15-80-01

3.7 Остаточна комплексна модель об'єкту керування

Остаточна комплексна модель технологічного апарату у графічному середовищі імітаційного моделювання Simulink наведена на рис. 3.20, яка складається з моделі засувки електричної клинної ЗКЛ 15-80-01 (рис. 3.18) та моделі дефлегматора RFC-100 ST (рис. 3.16).

Динамічні характеристики для остаточної комплексної моделі технологічного апарату керування наведено на рис. 3.21.

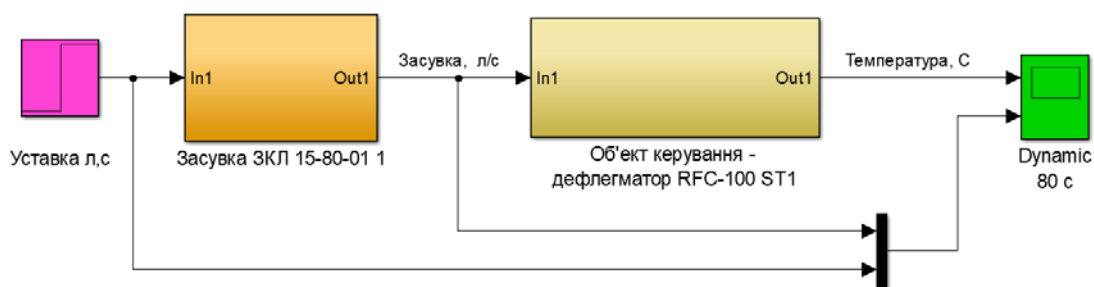


Рисунок 3.20 - Остаточна комплексна модель об'єкта керування

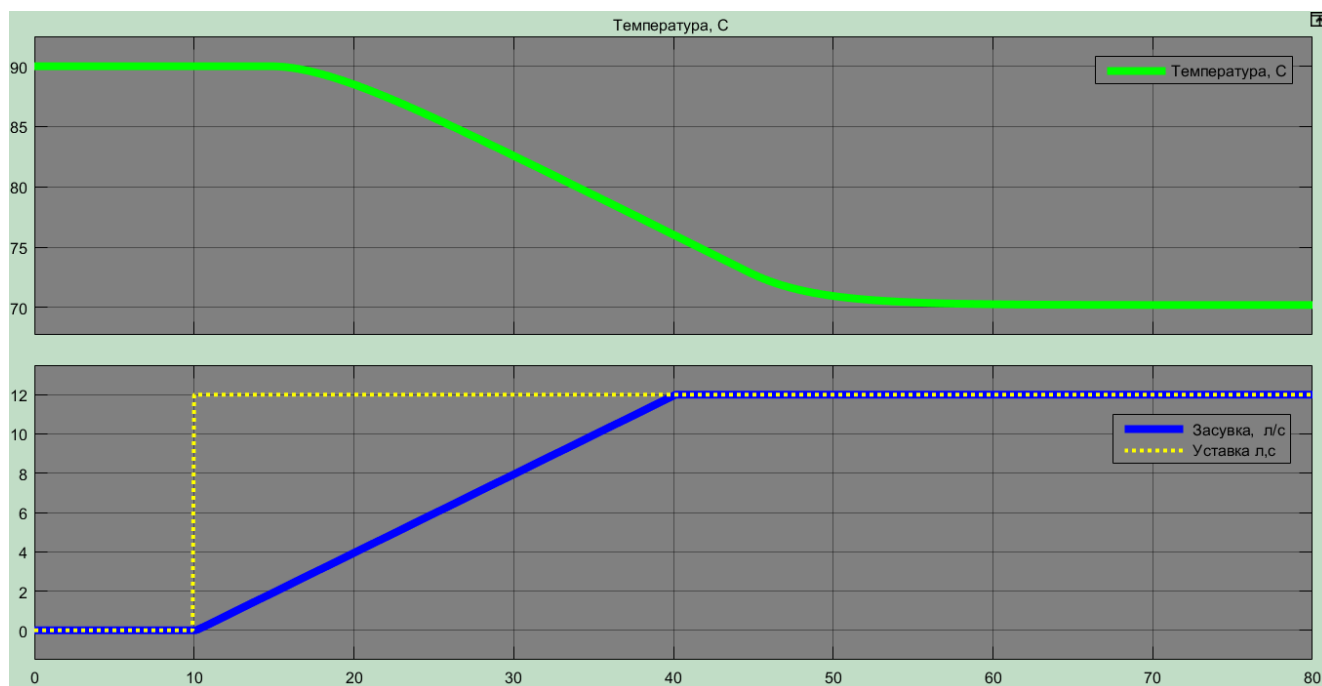


Рисунок 3.21 - Динамічна характеристика остаточної комплексної моделі об'єкта керування

3.8 Висновки за розділом

При виконанні структурної ідентифікації, яка проведена на підставі експериментальних даних отриманих на об'єкті керування (динамічної характеристики, даних для побудови статичної характеристики, даних отриманих при П-образному керуючому впливі) встановлено, що структурно модель об'єкта керування може бути представлена як аперіодична ланка першого порядку з запізненням.

За результатами параметричної ідентифікації встановлено, що структура моделі об'єкта керування краще всього відповідає аперіодичній ланці першого

порядку з запізненням з наступними розрахованими параметрами: коефіцієнт посилення -1,65, постійна часу 4,1 с а затримка 4,6 с.

Комплексна перевірка на адекватність моделі до об'єкта керування за перевірочними даними об'єкта керування показала високу відповідність у 89,3 %, сильний кореляційний зв'язок 1,0 та статистичний критерій Фішера 226 456 значно більшу критичного значення 2,709. Велике значення статичного критерію адекватності Фішера обумовлено великою кількістю вибірових даних та одиничним значенням коефіцієнта кореляції.

Остаточна комплексна модель технологічного апарату, який є об'єктом керування складається з моделі засувки електричної клинної ЗКЛ 15-80-01 та моделі самого дефлегматора RFC-100 ST.

Враховуючи аналіз технологічного процесу, структури об'єкта керування, характеристик отриманих за результатами експериментів, результатів структурної та параметричної ідентифікації та статистичного аналізу комплексна модель є адекватною до фізичного технологічного апарату з технологічного процесу виробництва етилового спирту.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Техніко-економічне обґрунтування впровадження системи керування

У кваліфікаційній роботі, в якості об'єкту керування, обрано технологічний апарат дефлегматор RFC-100 ST для еспюраційної колони BTS 1600-32.

Дефлегматор - це пристрій, призначений для часткової конденсації багатокомпонентного потоку парів спирту.

Система керування дефлегматором RFC-100 ST має підтримувати задану температуру пари на виході дефлегматора. Обрано канал керування «продуктивність подачі води – температура пари», основними збурючими факторами є температура спиртових парів з еспюраційної колони, поступаючих в дефлегматор, та температура охолоджуючої води на вході у дефлегматор.

Система керування наступні переваги:

- значне підвищення швидкості та інформативності керування підприємством;
- підвищення надійності і безпеки роботи технологічного обладнання;
- підвищення безпеки праці для обслуговуючого персоналу;
- обміну інформації з іншими автоматичними керуючими системами виробничого процесу.

4.2 Розрахунок капітальних витрат пов'язаних з впровадженням системи керування

Розрахуємо капітальні витрати:

$$K_{ПКВ} = C_{ОБ} + D_{ТР} + M_{МН} + K_{ПЗ}, \quad (4.1)$$

де $K_{ПКВ}$ – проектні капітальні витрати, грн.; $C_{ОБ}$ – вартість основного (та допоміжного) обладнання, грн.; $D_{ТР}$ – транспортні (та заготівельні) витрати, грн.; $M_{МН}$ – витрати на монтаж (і налагодження) системи, грн.; $K_{ПЗ}$ – витрати на розробку програмного забезпечення, грн.

Вартість основного та допоміжного обладнання наведена в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Зведення капітальних витрат C_{OB} [9, 10]

№	Найменування	Одиниці виміру	Кіль-кість	Вартість (грн.)	Сума (грн.)
1	Модуль ПЛК VIPA 214-2BS33	од.	1	32 774,40	32 774,40
2	Модуль аналогового вводу VIPA 231-1BD40	од.	2	24 149,30	48 298,60
3	Модуль дискретного виводу VIPA 222-1BF00	од.	1	16 740,30	16 740,30
4	Модуль функціональний 250-1BS00	од.	1	23 710,50	23 710,50
5	Система керування на базі ПК	од.	1	42 335,80	42 335,80
6	Датчик витрати SITRANS F X	од.	2	47 570,00	95 140,00
7	Датчик температури SITRANS T TW	од.	4	42 298,76	169 195,04
8	Енкодер E40H 012 2000 2 N 24	од.	1	23 871,00	23 871,00
9	Реле твердотільне SSR-240A50	од.	2	1 276,00	2 552,00
10	Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301	од.	2	2 200,00	4 400,00
11	Шафа монтажна	од.	1	4 000,00	4 000,00
12	Монтажні дроти	м	280	8,50	2 380,00
13	Мережний кабель	м	500	22,00	11 000,00
14	Засувка клинова ЗКЛ 15-80-01	од.	1	22 000,00	22 000,00
15	Програмне забезпечення	разом	1	80 000,00	80 000,00
	Разом				578 397,64

Вартість основного та допоміжного обладнання складає $C_{OB} = 578\,397,64$ грн.

Витрати на транспортно-заготівельні і складські роботи визначаються в залежності від вартості і складають 8 % від загальної вартості:

$$D_{TP} = C_{OB} \cdot 0,08. \quad (4.2)$$

Витрати на транспортно-заготівельні і складські роботи складають:

$$D_{TP} = 578\,397,64 \cdot 0,08 = 46\,271,82 \text{ (грн.)}.$$

Вартість монтажна-налагоджувальних робіт приймаються на рівні 7 % від вартості обладнання:

$$M_{MH} = C_{OB} \cdot 0,07. \quad (4.3)$$

Витрати на монтажна-налагоджувальні роботи складають:

$$M_{MH} = 578\,397,64 \cdot 0,07 = 40\,487,84 \text{ (грн.)}.$$

4.3 Розрахунок капітальних витрат на програмне забезпечення

4.3.1 Розрахунок часу на розробку програмного забезпечення

Трудомісткість розробки програмного забезпечення (ПЗ) розраховується як:

$$t = t_o + t_u + t_a + t_n + t_{OT} + t_g. \quad (4.4)$$

де t – трудомісткість розробки програмного забезпечення (люд.-год.); t_o – витрати праці на підготовку і опис поставленого завдання (люд.-год.); t_u – витрати праці на дослідження алгоритму керування (люд.-год.); t_a – витрати праці на розробку схеми алгоритму (люд.-год.); t_n – витрати праці на програмування по готовій схемі алгоритму (люд.-год.); t_h – витрати праці на налаштування програмного забезпечення (люд.-год.); t_g – витрати праці на підготовку документації по завданню (люд.-год.).

Складові витрат праці визначаються на підставі умовної кількості оброблюваних операторів у програмному забезпеченні:

$$Q = q \cdot c \cdot (1 + p), \quad (4.5)$$

де Q – умовна кількість операторів в програмному забезпеченні; q – кількість операторів у програмному забезпеченні (виходячи з програмного забезпечення, як правило розробленого на мові Structured Text типове значення має діапазон 400...550, приймаємо $q = 415$); c – коефіцієнт складності програми (приймаємо $c = 1,6$); p – коефіцієнт корекції програми в процесі її обробки (приймаємо $p = 0,4$).

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$Q = 415 * 1,6 * (1 + 0,4) \approx 927$$

Витрати праці на підготовку і опис завдання в кваліфікаційній роботі складають $t_o = 64$ (люд. – год.).

Витрати праці на вивчення опису завдання визначаються з урахуванням уточнення опису та кваліфікації програміста як:

$$t_u = \frac{Q \cdot B}{(75 \dots 85) \cdot k}, \quad (4.6)$$

де B – коефіцієнт збільшення витрат праці (1,2...2,0, приймаємо $B = 1,7$); k – коефіцієнт кваліфікації програміста (1,0...4,0, приймаємо $k = 1,4$).

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_u = 927 * 1,7 / (82 * 1,4) \approx 14 \text{ (люд. – год.)}.$$

Витрати на розробку алгоритму керування визначаються як:

$$t_a = \frac{Q}{(20 \dots 25) \cdot k}. \quad (4.7)$$

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_a = 927 / (22 * 1,4) \approx 31 \text{ (люд. –год.)}.$$

Витрати праці на складання програми по готовій схемі алгоритму визначаються як:

$$t_n = \frac{Q}{(22 \dots 25) \cdot k}. \quad (4.8)$$

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_n = 927 / (22 * 1,4) \approx 31 \text{ (люд. –год.)}.$$

Витрати праці на налаштування програми розраховуються як:

$$t_h = \frac{Q}{(4 \dots 5) \cdot k}. \quad (4.9)$$

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_h = 927 / (4,5 * 1,4) \approx 148 \text{ (люд. –год.)}.$$

Витрати праці на підготовку документації по завданню визначаються як:

$$t_g = t_{др} + t_{до}, \quad (4.10)$$

де $t_{др}$ – трудомісткість підготовки матеріалів до написання;
 $t_{до}$ – трудомісткість редагування, друку та оформлення документації.

Трудомісткість підготовки матеріалів до написання визначається як:

$$t_{др} = \frac{Q}{(15 \dots 20) \cdot k}. \quad (4.11)$$

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_{др} = 927 / (17 * 1,4) \approx 39 \text{ (люд. –год.)}.$$

Трудомісткість редагування, друку та оформлення документації визначається як:

$$t_{до} = 0,75 \cdot t_{др}. \quad (5.12)$$

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_{до} = 0,75 * 39 = 30 \text{ (люд. –год.)}.$$

Для розробленого програмного забезпечення витрати праці на підготовку документації по завданню:

$$t_g = 39 + 30 = 69 \text{ (люд. – год.)}$$

Таким чином трудомісткість розробки програмного забезпечення становить:

$$t = 64 + 14 + 31 + 31 + 148 + 69 = 357 \text{ (люд. – год.)}$$

4.3.2 Розрахунок витрат на розробку програмного забезпечення

Витрати на розробку ПЗ визначаються як:

$$K_{ПЗ} = Z_{ЗП} + Z_{МІ}, \text{ грн.} \quad (4.13)$$

де $Z_{ЗП}$ – витрати на заробітну плату розробника ПЗ, грн.; $Z_{МІ}$ – вартість машинного часу, необхідного для налаштування ПЗ, грн.

Заробітна плата розробника програмного забезпечення визначається як:

$$Z_{ЗП} = t \cdot C_{ПР}, \text{ грн.}, \quad (4.14)$$

де t – час розробки ПЗ, год; $C_{ПР}$ – середня годинна тарифна ставка розробника програмного забезпечення (приймаємо $C_{ПР} = 150$ грн./год.).

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$Z_{ЗП} = 357 \cdot 150 = 53\,550,00 \text{ грн.},$$

Вартість машинного часу, необхідного для налаштування програми визначається як:

$$Z_{МІ} = t_n \cdot C_{МЧ}, \text{ грн.}, \quad (4.15)$$

де t_n – час налаштування ПЗ, год; $C_{МЧ}$ – вартість машинного часу (приймаємо $C_{МЧ} = 20,5$ грн./год.).

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$Z_{МІ} = 31 \cdot 20,5 = 635,50 \text{ грн.}$$

Витрати на розробку програмного забезпечення системи керування становлять:

$$K_{ПЗ} = 53\,550,00 + 635,50 = 54\,185,50 \text{ грн.}$$

Очікувана тривалість розробки програмного забезпечення:

$$T = \frac{t}{B_k \cdot F_p}, \quad (4.16)$$

де T – тривалість розробки програмного забезпечення (міс.); B_k – кількість розробників (приймаємо $B_k = 1$); F_p – місячний фонд робочого часу ($F_p = 176$ (год./міс.)).

$$T = 355 / (1 * 176) = 1,86 \approx 2,0 \text{ (міс.)}.$$

Таким чином проектні капітальні витрати:

$$K_{ПКВ} = 578\,397,64 + 46\,271,82 + 40\,487,84 + 54\,185,50 \approx \\ \approx 719\,342,80 \text{ грн.}$$

4.4 Розрахунок експлуатаційних витрат

Річні експлуатаційні витрати розраховуються як:

$$C_e = C_a + C_3 + C_c + C_{PO} + C_{ee} + C_{\text{ІНШ}}, \quad (4.17)$$

де C_e – річні поточні витрати, пов'язані із застосуванням системи керування, грн.; C_a – амортизація основних фондів, грн.; C_3 – заробітна плата обслуговуючого персоналу, грн.; C_c – відрахування на соціальні заходи, грн.; C_{PO} – витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт обладнання, грн.; C_{ee} – вартість електроенергії, грн.; $C_{\text{ІНШ}}$ – інші витрати, грн.

Визначимо експлуатаційні витрати при впровадженні системи керування.

4.4.1 Амортизація основних фондів

Залежно від групи, до якої віднесено той, чи інший об'єкт основних засобів, встановлено мінімально-допустимі строки їх амортизації.

Обладнання, розробленої в кваліфікаційній роботі системи керування, належить до 4 групи (машини та обладнання). Передбачуваний термін експлуатації системи становить 5 років. При використанні методу прискореного зменшення залишкової вартості норма амортизації визначається як:

$$H_a = \frac{2}{T} \cdot 100 \%, \quad (4.18)$$

де H_a – норма амортизації, %; T – термін корисного використання об'єкта, років.

Амортизація основних фондів визначається як:

$$C_a = \frac{ПВ \cdot H_a}{100 \%}, \quad (4.19)$$

де C_a – річна амортизація основних фондів, грн.; ПВ – первинна вартість (ПВ = $K_{ПКВ}$), грн.

Отже, норма амортизації для проекрованої системи керування складає:

$$H_a = \frac{2}{5} \cdot 100 \% = 40 \%$$

Сума амортизації для проекрованої і базової системи становить:

$$C_a = 719\,342,80 \cdot 40 / 100 = 287\,737,12 \text{ грн.}$$

4.4.2 Розрахунок фонду заробітної плати

Номінальний річний фонд робочого часу одного працівника:

$$T_{НР} = (T_K - T_{ВС} - T_B) \cdot T_3, \quad (4.20)$$

де $T_{НР}$ – номінальний річний фонд робочого часу одного працівника, год.; T_K – календарний фонд робочого часу, днів ($T_K = 365$); $T_{ВС}$ – вихідні дні та свята, днів ($T_{ВС} = 114$); T_B – відпустка, днів ($T_B = 21$); T_3 – тривалість зміни, год ($T_3 = 8$).

Таким чином, річний фонд робочого часу працівника складе:

$$T_{НР} = (365 - 114 - 21) \cdot 8 = 1\,840 \text{ год.}$$

У процесі керування задіяний 1 оператор людино-машинного інтерфейсу на зміну, 1 інженер-технолог та 1 наладчик електроустаткування на добу. Процес безперервний – 3 зміни на добу. Розрахунок річного фонду заробітної плати здійснюється у відповідності з формою, наведеною в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Розрахунок заробітної плати персоналу

№ п/п	Найменування професії робітників	Число працюючих, чол.	Годинна тарифна ставка, грн./год.	Номінальний річний фонд	Пряма заробітна плата, грн.	Додаткова заробітна плата (8%), грн.	Доплати (7%), грн.	Всього заробітна плата, грн.
1	Оператор НМІ	3	115	1 840	634 800,00	50 784,00	44 436,00	730 020,00
2	Інженер-технолог	1	135	1 840	248 400,00	19 872,00	17 388,00	285 660,00
3	Наладчик	1	105	1 840	193 200,00	15 456,00	13 524,00	222 180,00
Разом								1 237 860,00

Заробітна плата персоналу проектної системи керування

$$C_3 = 1\,237\,860,00 \text{ грн.}$$

4.4.3 Відрахування на соціальні заходи

Відрахування на соціальні заходи визначаються як:

$$C_c = 0,22 \cdot C_3, \text{ грн.} \quad (4.21)$$

Відповідно до цього відрахування становлять:

$$C_c = 0,22 * 1\,237\,860,00 = 272\,329,2 \text{ грн.}$$

4.4.4 Розрахунок витрат на технічне обслуговування та ремонт

Витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт обладнання та мережі приймаємо на рівні 5 % від величини капітальних витрат:

$$C_{PO} = 0,05 \cdot K_{KB} \cdot (K_{ПКВ}) \quad (4.22)$$

Відповідно до цього витрати становлять:

$$C_{PO} = 0,05 * 719\,342,80 = 35\,967,14 \text{ грн.}$$

4.4.5 Витрати на електроенергію

Вартість електроенергії, споживаної системою керування, розробленої у проекті:

$$C_{ee} = K_e \cdot K_{РД} \cdot T_3 \cdot T_e, \quad (4.23)$$

де K_e – кількість електроенергії, спожите проектною системою керування (приймаємо $K_e = 0,82$ (кВт · год.)); T_3 – кількість часу роботи за сутки ($T_3 = 24$ (год.)); $K_{РД}$ – кількість робочих днів у році ($K_{РД} = 365$ (день)); T_e – тариф на електроенергію для підприємств (для користувачів електроенергії 2 класу тариф складає 2,86 грн. · кВт без ПДВ, з урахуванням ПДВ тариф $T_e = 2,86 * 1,2 = 3,432$ (грн.)).

Таким чином вартість електроенергії становить:

$$C_{ee} = 0,82 * 365 * 24 * 3,432 = 24\,652,75 \text{ грн.}$$

4.4.6 Інші витрати

Інші витрати з експлуатації об'єкта проектування включають витрати з охорони праці, на спецодяг та інше згідно практики, ці витрати визначаються в розмірі 4 % від річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу:

$$C_{\text{ІНШ}} = 0,04 \cdot C_3. \quad (4.24)$$

Таким чином інші витрати становлять:

$$C_{\text{ІНШ}} = 0,04 * 1\,237\,860,00 = 49\,514,40 \text{ грн.}$$

Річні експлуатаційні витрати становлять (табл. 4.4):

$$C = 287\,737,12 + 1\,237\,860,00 + 272\,329,2 + 35\,967,14 + 24\,652,75 \\ + 49\,514,40 = 1\,908\,060,61 \text{ грн.}$$

Таблиця 4.4 – Експлуатаційні витрати

№ п/п	Назва показника	Проектний варіант, грн.
1	Амортизація	287 737,12
2	Фонд заробітної плати	1 237 860,00
3	Відрахування на соціальні виплати	272 329,2
4	Ремонт та технічне обслуговування	35 967,14
5	Електроенергія	24 652,75
6	Інше	49 514,40
7	Загалом	1 908 060,61

4.5 Висновки за розділом

При впровадженні проекрованої системи капітальні витрати складають 0,72 млн. грн., час розробки ПЗ становитиме два місяці.

Річні експлуатаційні витрати, пов'язані з впровадженням системи становитимуть трохи менше 1,9 млн. грн.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Характеристика об'єкту та умови його експлуатації

Служба охорони праці створена для виконання правових, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних, соціально-економічних і лікувально-профілактичних заходів, спрямованих на запобігання нещасним випадкам, професійним захворюванням і аваріям в процесі праці.

Для реалізації перелічених вище цілей служба охорони праці вирішує такі завдання:

- 1) Здійснює контроль за безпекою устаткування, приміщень;
- 2) Забезпечує працюючих засобами індивідуального та колективного захисту;
- 3) Забезпечує професійну підготовку і підвищення кваліфікації працівників із питань охорони праці, веде пропаганду безпечних методів праці;
- 4) Забезпечує оптимальні режими праці і відпочинку працюючих;
- 5) Вимагає професійного добору виконавців для визначених видів робіт.

Система управління охороною праці спілки (СУОП) включає службу охорони праці та керівництво підприємства, і керується у своїй діяльності законодавством України про охорону праці, міжгалузевими і галузевими нормативними актами з охорони праці [17].

Основними функціями управління охороною праці, що розробляє і втілює служба охорони праці, є:

- 1) Створення ефективної системи управління (СУОП), яка б сприяла удосконаленню діяльності підприємства і кожної посадової особи;
- 2) Здійснення оперативна-методичного керівництва роботою з охорони праці;
- 3) Розробка заходів по забезпеченню норм безпеки, гігієни праці, а також підготовка розділу «Охорона праці» колективного договору;
- 4) Розробка змісту та методики проведення інструктажу з питань охорони праці;

- 5) Забезпечення працюючих правилами, стандартами, нормами, положеннями, інструкціями іншими нормативними актами;
- 6) Проведення паспортизації робочих місць щодо відповідності їх вимогам безпеки;
- 7) Здійснення оперативного та поточного контролю за станом охорони праці в компанії;
- 8) Участь у підготовці та складанні статистичних з питань охорони праці;
- 9) Розробка перспективних та поточних планів роботи щодо створення безпечних та нешкідливих умов праці;
- 10) Планування та контроль витрат коштів на охорону праці;
- 11) Пропаганда та агітація безпечних і нешкідливих умов праці шляхом проведення консультацій, конкурсів, бесід, лекцій, наочної агітації та методичної роботи;
- 12) Організація навчання, підвищення кваліфікації та перевірки знань з питань охорони праці посадових осіб;
- 13) Участь у роботі комісії з питань охорони праці, допомога в опрацюванні необхідних матеріалів та реалізації її рекомендації;
- 14) Забезпечення працюючих м'якими засобами та засобами гігієни;
- 15) Контроль за дотриманням вимог трудового законодавства щодо використання праці неповнолітніх, інвалідів та жінок;
- 16) Контроль за дотриманням чинного законодавства, виконанням посадових інструкцій, проведенням інструктажів на робочому місці, виконанням наказів, розпоряджень.

Для виконання перелічених вище функцій служба охорони праці має відповідну інформаційну базу, засоби зв'язку, сучасну оргтехніку, комп'ютерне забезпечення.

В сучасному світі комп'ютерна техніка широко застосовується у всіх областях діяльності людини. При роботі з комп'ютером людина піддається впливу ряду небезпечних і шкідливих виробничих факторів: електромагнітних полів

(діапазон радіочастот: ВЧ, УВЧ і СВЧ), інфрачервоного й іонізуючого випромінювання, шуму й вібрації, статичної електрики тощо [11].

5.2 Інженерно-технічні заходи з охорони праці

Робота з комп'ютером характеризується значною розумовою напругою та нервово-емоційним навантаженням операторів, високою напруженістю зорової роботи й великим навантаженням на м'язи рук при роботі із клавіатурою ЕОМ. Велике значення має раціональна конструкція й розташування елементів робочого місця.

У процесі роботи з комп'ютером необхідно дотримувати правильний режим праці й відпочинку. У протилежному випадку в персоналі відзначаються значна напруга зорового апарата із проявом скарг на незадоволеність роботою, головні болі, дратівливість, порушення сну, втому й хворобливі відчуття в очах, у попереку, в області шиї й рук [12].

Дослідження проводилося в приміщенні призначеного для оператора управління, в якому є 1 робоче місце, що обладнане комп'ютером Intel Pentium 3,6 ГГц і монітор SAMSUNG ENT26720.

1. Розрахунок освітленості на основні робочих місцях здійснений по методу коефіцієнта використання. При визначенні розряду зорової роботи виходили з вимог, обговорених у ДБН В.2.5-28:2018. Природне й штучне висвітлення.

При виконанні робіт категорії високої зорової точності (III розряд, підгрупа (в) - найменший розмір об'єкта розрізнення 0,3...0,5 мм) величина коефіцієнта природного висвітлення (КПВ) повинна бути не нижче 1,5 %. Як джерела штучного висвітлення звичайно використовуються люмінесцентні лампи типу ЛБ або ДРЛ, які попарно поєднуються у світильники. Ці світильники повинні розташовуватися над робочими поверхнями в рівномірно-прямокутному порядку. Вимоги до освітленості в приміщеннях, де встановлені комп'ютери, що впливають: при виконанні зорових робіт високої точності загальна освітленість повинна становити 300 лк, а комбінована – 750 лк.

2. Обчислювальна техніка є джерелом істотного тепловиділення, що може привести до підвищення температури й зниженню відносної вологості в приміщенні.

Діючим нормативним документом, що регламентує метеорологічні умови виробничого середовища є ДСН 3.3.6.042. Оптимальні норми температури, відносній вологості й швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень зазначені в табл. 5.1

Таблиця 5.1 - Характеристики повітря в робочій зоні виробничих приміщень

Сезон	Категорія робіт	Температура °С	Вологість, %	Повітря, не більше, м/с
Холодний і перехідний періоди року.	Легка - I	21 - 23	40 - 60	0,2
	Середньої важкості-ІІа	18 - 20	40 - 60	0,3
Теплий період року	Легка - I	22 - 24	40 -60	0,1-0,3
	Середньої важкості-ІІа	21 - 23	40 -60	0,2-0,4

Для приміщення оператора кількість тепла, що надходить від людей, від різних електричних приладів, приладів висвітлення від механічної роботи (принтери) дуже мало. Для кімнат площею менш 25...30 м² рекомендується встановлювати один кондиціонер.

Параметри виробничого середовища на робочому місці оператора підприємства подані в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 - Параметри виробничого середовища на основних робочому місці підприємства

Робоче місце	Метеоумови					Шум, дБ	Е _в , лк	Радіаційні виміри робочих місць, мкр/ч	Радіаційне тло, мкр/ч	Повітря робочої зони		
	Т _{возд} , °С		V _{возд} , м/с		Відн. волог., %					O ₂ , %	N ₂ , %	CO ₂ , мг/м ³
	Т	Х	Т	Х								
1	28	21	0,1	0,1	55	50	127	16,4	17	20,2	70,3	565

3. Шум. Вимір шуму на робочих місцях проводився відповідно до ДСН 3.3.6.039-99. Основними джерелами шуму на робочих місцях є друкувальні пристрої, додатковий рівень створює рух автотранспорту.

Рівень шуму на робочому місці не повинен перевищувати 50 дБ.

Виміри показали, що в приміщеннях з одним працюючим друкувальним пристроєм рівень шуму відповідає нормам ДСН 3.3.6.039-99.

4. Радіаційні виміри робочих місць показали, що рівень радіації на робочих місцях відповідає необхідним нормам - середній рівень радіоактивного фону не перевищує 17 мкр/ч (норма радіоактивності для будинків старих будівель 50 мкр/ч.)

Максимальний рівень рентгенівського випромінювання на робочому місці звичайно не перевищує 10 мкбер/г, а інтенсивність ультрафіолетового й інфрачервоного випромінювання від екрана монітора комп'ютера лежить у межах 10...100 мВт/м².

Згідно ДСТУ 8828:2019 по вибуховопожежної і пожежної небезпеки приміщення ставиться до категорії Д (лабораторні будинки НДІ природних і технічних наук I й II ступенів вогнестійкості категорії В допускається проектувати висотою до 10 поверхів включно (при використанні десятого поверху в якості технічного й оцінці чистої підлоги верхнього робочого поверху не більше 30 м від планувальної оцінки землі), оскільки не вміщає в собі ніяку апаратуру, крім 1-го ПК і не має вибухонебезпечних зон. По ступені вогнестійкості згідно ДСТУ 8828:2019 будинок, у якому розташовується робоче місце, ставиться до III категорії будинків з несучими й конструкціями, що обгороджують, із природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону або залізобетону.

Відповідно до Додатка №3 до Правил пожежної безпеки в Україні, уведених у дію наказом Міністерства внутрішніх справ України від 22.06.95 №400, робоча зона площею 20 м². оснащуємо вогнегасником типу ВВ-5 (вуглекислотні вогнегасники призначені для гасіння загорянь речовин, горіння яких не може відбуватися без доступу повітря, загорянь електроустановок, що перебувають під напругою не більше 1 000 В, рідких і газоподібних речовин).

5.3 Розрахунок освітлення

У приміщенні, в якому розташоване робоче місце, необхідно підвісити світильники ШЗД з люмінесцентними лампами ЛБ.

Характеристика світильника ШЗД:

1. Найменування - шкільний, загального висвітлення, дифузний.
2. Кількість і потужність ламп - 2*40 Вт.
3. Виконання - відкрите.
4. Світлорозподіл - неуважне, насичене.

Характеристика ЛБ 40:

1. Потужність - 40 Вт.
2. Напруга на лампі - 220 У.
3. Світловий потік - 2480 Л.
4. Діаметр колби - 38 мм.
5. Довжина лампи - 1214,4 мм, без «штирків» - 1199,4 мм.

Рівномірне висвітлення світильниками розраховують по методу коефіцієнта використання. Необхідний світловий потік (P) лампи кожного світильника визначають по формулі:

$$F = \frac{E \cdot K \cdot S \cdot Z}{N \cdot n}, \quad (5.1)$$

де E - найменша освітленість, Лк; ДО - коефіцієнт запасу; S - площа приміщення, м²; Z - коефіцієнт переходу від найменшої освітленості до середнього (1,1 - 1,2); N - кількість світильників; n - коефіцієнт використання, тобто відносна частка потоку лампи, що попадає на поверхню S.

Значення n перебуває як функція орієнтовно оцінюваних коефіцієнтів відбиття потоків P_n і стін P_c приміщення й індексу приміщення. Індекс приміщення визначається по формулі:

$$I = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{S}{h \cdot (A + B)}, \quad (5.2)$$

де A и B - відповідно довжина й ширина, м²; h - висота підвісу світильників над розрахунковою поверхнею, м;

Рішення:

Розмір кімнати – 4*6*2,5 = 60м³

Потрібно створити освітленість E_н=750 лк

Коефіцієнт відбиття стелі p_c=50%

Для висвітлення використовуються люмінесцентні лампи типу ЛБ Знаходимо індекс приміщення:

$$i = \frac{B * L}{H * (B + L)}, \quad (5.3)$$

де В - ширина приміщення, м; Н – висота приміщення, м; L – довжина приміщення, м.

$$i = \frac{4 * 6}{2.5(4 + 6)} = 0,96 \quad (5.4)$$

Приймаємо коефіцієнт використання: $\eta = 43\%$.

Приймаємо коефіцієнт запасу: $K = 1,6$ і коефіцієнт нерівномірності висвітлення:

$$Z = \frac{E_{cp}}{E_{min}} \quad (5.5)$$

Світильники розміщаємо у два ряди: $N_p = 2$.

Визначимо необхідний світловий потік ламп у ряді:

$$\Phi_p = \frac{E_n * S * Z * K}{N_p * \eta / 100}, \quad (5.6)$$

де S - площа приміщення, м²

$$S = B * L, \quad (5.7)$$

$$\Phi_p = \frac{750 * 24 * 1.1 * 1.6}{1 * 0.43} = 36837,20$$

Якщо у світильнику встановити по 2 лампи типу ЛБ ($n=2$) потужністю 40 Вт і світловим потоком $\Phi_{л} = 3\,000$ лк, те необхідне число світильників у ряді складе:

$$N = \frac{\Phi_p}{n * \Phi_{л}}, \text{ од.} \quad (5.9)$$

$$N = \frac{36837,20}{2 * 3000} = 6,14 \approx 6 \text{ од.}$$

Тому що світильники розташовані у два ряди, приймаємо необхідну кількість світильників у ряді, рівне трьом.

5.4 Профілактичні заходи з охорони праці

На підставі аналізу шкідливих і небезпечних виробничих факторів, властивим виробничим процесам в приміщенні, в якому знаходиться робоче місце,

пропонуємо впровадити й проводити наступні профілактичні заходи щоб уникнути впливу на працівників негативних факторів:

1. Робити вологе прибирання приміщення щодня.
2. Один раз на місяць здійснювати перевірку технічного стану персонального комп'ютера, якими обладнане приміщення.
3. Раз у квартал робити мийку вікон для поліпшення природної освітленість приміщення.
4. Для створення найбільш сприятливих умов праці необхідно враховувати психофізіологічні особливості людини, а також загальний гігієнічний стан і соціальний клімат. Важливу роль грає планування робочих місць. Найбільш зручне сидіння, що має виїмку, що відповідає формі стегон, і з нахилом назад. Спинка стільця повинна бути вигнутої форми. Довжина її 0,3 м, ширина 0,11 м, радіус вигину 0,3...0,35 м.

Пропоную виконати робоче місце оператора по наступних параметрах:

- висота стола із клавіатурою повинна становити 62...88 см над рівнем підлоги; а висота екрана - 90...128 см;
- відстань від екрана до краю стола – 40...115 см;
- нахил екрана — від -15 до +20° стосовно нормального його положення;
- положення спинки крісла оператора повинне забезпечувати нахил тіла назад від 97 до 121°.
- клавіатуру варто робити окремої від екрана й рухливою.

Істотне значення для продуктивної і якісної роботи на комп'ютері мають розміри знаків. Якщо відстань від очей оператора до екрана дисплея становить 60...80 см, то висота знаку повинна бути не менш 3 мм, оптимальне співвідношення ширини й висоти знаку становить 3:4, а відстань між знаками – 15...20 % їхньої висоти. Співвідношення яскравості фону екрана й символів - від 1:2...1:5 до 1:10...1:15.

5. З огляду на можливе перевищення шуму при роботі декількох принтерів одночасно, мовну взаємодію співробітників, рекомендуємо здійснити «акустичну обробку приміщення», що включає вкриття підлог і стін шумопоглинаючими

матеріалами, покриття підлог волокнистими шумопоглинаючими матеріалами, типу палас; килим.

6. У відповідності зі ДБН В.2.5-28:2018, виконувані завдання в операторській відносяться до роботи із зорової напруженості до III розряду (високої точності). У зв'язку із цим рекомендується установка світильників з люмінесцентними лампами типу ЛБ і ЛТБ потужністю 40Вт. Світильники повинні розміщатися рядами, паралельно стіні з вікнами, що дозволяє робити їхнє послідовне відключення (включення) залежно від величини природного висвітлення. Ковпаки світильників повинні мати коефіцієнт пропускання не менш 0,7.

5.5 Висновки за розділом

В рамках п'ятого розділу здійснено ознайомлення та аналіз поняття охорони праці, процесу закріплення охорони праці в Україні, затвердження охорони праці в необхідних нормативно правових актах держави, чільне місце серед яких посідає Закон України «Про охорону праці». Розглянуто стан охорони праці на прикладі досліджуваного підприємства.

За результатами дослідження запропоновані заходи для підвищення рівня безпеки робіт, забезпечення їхньої нешкідливості і сприятливості умов праці, виконання яких покладається на органи нагляду і контролю в області охорони праці.

ВИСНОВКИ

Об'єктом керування виступає дефлегматором RFC-100 ST, який використовується у діючому технологічному процесі на Гнідавському біоетанольному заводі (м. Луцьк) у складі епіюраційної колони BTS 1600-32.

Автоматизація дефлегматора включає в себе автоматичне керування, дистанційне керування, технологічний захист, тепловий контроль, технологічні блокування і сигналізацію. Експлуатація дефлегматора RFC-100 ST повинна забезпечувати надійну і ефективну стабілізацію температури пари на виході і безпечні умови праці для персоналу. Для виконання цих вимог експлуатація повинна здійснюватися в суворій відповідності з законами, правилами, стандартами і директивами.

Автоматизація роботи дефлегматора RFC-100 ST повинна здійснюватися за такими основним параметром - підтримка постійної температури пари на виході дефлегматора. Для підвищення ефективності роботи технологічного обладнання треба модернізувати систему керування. Таким чином є гостра потреба у математичних моделях об'єктів технологічного обладнання, працюючого у допустимих технологічних межах, які у наступному мають бути використані при синтезі нової системи керування технологічним обладнанням.

Головною метою роботи є розробка моделі об'єкта керування - дефлегматором RFC-100 ST для регульованої температури пару на виході, в залежності від продуктивності подачі води. При цьому інші вхідні і вихідні параметри мають бути не змінними і знаходитись у номінальному стані.

Сучасна система керування дозволить контролювати процес виробництва і отримати кінцевий продукт з заданими характеристиками.

Також ця система керування матиме можливість фіксації та збереження параметрів роботи всього технологічного обладнання.

У кваліфікаційній роботі, в якості об'єкту керування, обрано технологічний апарат дефлегматор RFC-100 ST для епіюраційної колони BTS 1600-32, яка використовується на Гнідавському біоетанольному заводі.

Для синтезу системи керування дефлегматор RFC-100 ST обрано необхідні програмно-апаратні засоби автоматизації, розроблена функціональна схема автоматизації, розроблена схема принципова системи керування, складено перелік елементів до схеми електричної принципової (додаток Б).

При виконанні структурної ідентифікації, яка проведена на підставі експериментальних даних отриманих на об'єкті керування (динамічної характеристики, даних для побудови статичної характеристики, даних отриманих при П-образному керуючому впливі) встановлено, що структурно модель об'єкта керування може бути представлена як аперіодична ланка другого з запізненням.

За результатами параметричної ідентифікації встановлено, що структура моделі об'єкта керування краще всього відповідає аперіодичній ланці першого порядку з запізненням з наступними розрахованими параметрами: коефіцієнт посилення -1,65, постійна часу 4,1 с а затримка 4,6 с.

Комплексна перевірка на адекватність моделі до об'єкта керування за перевірочними даними об'єкта керування показала високу відповідність у 89,3 %, сильний кореляційний зв'язок 1,0 та статистичний критерій Фішера 226 456 значно більшу критичного значення 2,709. Велике значення статичного критерію адекватності Фішера обумовлено великою кількістю вибірових даних та одиничним значенням коефіцієнта кореляції.

Остаточна комплексна модель технологічного апарату, який є об'єктом керування складається з моделі засувки електричної клинної ЗКЛ 15-80-01 та моделі самого дефлегматора RFC-100 ST.

Враховуючи аналіз технологічного процесу, структури об'єкта керування, характеристик отриманих за результатами експериментів, результатів структурної та параметричної ідентифікації та статистичного аналізу комплексна модель є адекватною до фізичного технологічного апарату з технологічного процесу виробництва етилового спирту.

При впровадженні проекрованої системи капітальні витрати складають 0,72 млн. грн., час розробки ПЗ становитиме два місяці. Річні експлуатаційні

витрати, пов'язані з впровадженням системи становитимуть трохи менше 1,9 млн. грн.

В рамках розділу з охорони праці здійснено ознайомлення та аналіз поняття охорони праці, процесу закріплення охорони праці в Україні, затвердження охорони праці в необхідних нормативно правових актах держави, чільне місце серед яких посідає Закон України «Про охорону праці». Розглянуто стан охорони праці на прикладі досліджуваного підприємства.

За результатами дослідження запропоновані заходи для підвищення рівня безпеки робіт, забезпечення їхньої нешкідливості і сприятливості умов праці, виконання яких покладається на органи нагляду і контролю в області охорони праці.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Ethanol Ethanol Production Business Plan, [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://nexoneenergy.com/index.php/ethanol/>
2. Promising Bioalcohols for Low-Emission Vehicles. Manju Dhakad Tanwar, Energies 2023, 16, 597. [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://doi.org/10.3390/en16020597> <https://www.mdpi.com/journal/energies>
3. Біоетанол. Стан та оцінка галузі в Україні, [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://latifundist.com/analytics/30-bioethanol-stan-ta-otsinka-galuzi-v-ukrayini>
4. BTS-Engineering Дефлегматор, [Електронний ресурс], Режим доступу: https://bts.net.ua/technological-equipment/teploobmenniki/teploobmenniki_shell_and_tube/dephlegmator/
5. ЕЛЕТЕН, SITRANS P Z, ZD и P COMPACT. [Електронний ресурс], Режим доступу: http://www.eleten.com.ua/SITRANS_P_Z,_ZD_P_COMPACT.html
6. ELTA Вихровий витратомір SITRANS F X. [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://eltald.com.ua/catalog/siemens-sitrans-fx300>
7. Засувки клинові. [Електронний ресурс], Режим доступу: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://pac-company.nt-rt.ru/images/manuals/5.pdf>
8. Твердотільне реле SSR-240A50 [Електронний ресурс], Режим доступу: https://www.mouser.fr/ProductDetail/TE-Connectivity-AMP/SSR-240A50?qs=K9Yj7M8cmB7ISkZYhrRVrg%3D%3D&mgh=1&vip=1&gclid=CjwKCAiAqaWdBhAvEiwAGAQt6Q0KIPeNgwLQRvv72kkfXBvd3ewFaMDdp5DIPLal27g2Q9_X1dbRoCv2YQAvD_BwE
9. Вимірювання рівня Siemens FI 01 2021. [Електронний ресурс], Режим доступу: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:ac52fa76-7769-4c54-b3f2-1aa01a44fed7/fi01-level-ua.pdf>

10. E40S_E80H_en_EP-KE-09-006. [Електронний ресурс], Режим доступу: chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.svaltera.ua/upload/manuals/E40S_E80H_en_EP-KE-09-0060M_110526.pdf

11. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування.

12. ДСТУ Б.А.3.2-12:2009. Система стандартів безпеки праці. Системи вентиляційні. Загальні вимоги ДНАОП 0.03-33.14-85. Санітарні норми допустимих рівнів шуму на робочих місцях.

13. Правила улаштування електроустановок Мінпаливвугілля України. – 2017 – 617с.

14. «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості на небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». № 528 - 2001.

15. Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями, затверджені наказом Мінсоцполітики від 14.02.2018 № 207.

16. Охорона праці в галузі. Конспект лекцій для студентів Інституту електроенергетики. / Уклад. В.І. Голінько, В.Ю. Фрундін, Ю.І. Чеберячко, М.Ю. Іконніков. - Дніпропетровськ: Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», 2013. – 86 с.

17. Методичні рекомендації з виконання заходів стосовно охорони праці при роботі з ПЕОМ та розрахунку освітлення у дипломних проектах студентів усіх спеціальностей/ Уклад. В.І. Голінько, В.Ю. Фрундін, Ю.І. Чеберячко, М.Ю. Іконніков. - Дніпропетровськ: ДВНЗ «Національний гірничий університет», 2013.- 12 с.

18. ДСанПіН 3.3.2-007-98 Державні санітарні правила і норми. Гігієнічні вимоги до організації роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин

19. ДСТУ 7234:2011 Дизайн і ергономіка. Обладнання виробниче. Загальні вимоги дизайну та ергономіки

20.ДСТУ 7950:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце під час виконання робіт стоячи. Загальні ергономічні вимоги.

21.ДСТУ 8604:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги

22.ДСТУ 3191-95 (ГОСТ 12 2.137-96) Обладнання для кондиціонування повітря та вентиляції

23.Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу (затверджено наказом МОЗ України від 27.12.2001р № 528).

ВІДГУКИ КОНСУЛЬТАНТІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

ВІДГУК

кваліфікаційна робота бакалавра: «Автоматизація дефлегматора технологічного процесу виготовлення етилового спирту», студент гр. 151-19-1

Тищенко Нікіта Павлович

Об'єкт розробки – система автоматичного керування дефлегматором технологічного процесу виготовлення етилового спирту на Гнідавському біоетанольному заводі.

Об'єкт дослідження – технологічний апарат дефлегматор RFC-100 ST для епіюраційної колони BTS 1600-32.

Предмет дослідження – модель дефлегматору RFC-100 ST.

Мета роботи – розробка моделі об'єкта керування для регульованої температури пари на виході дефлегматора в залежності від продуктивності охолоджуючої води. При цьому інші вхідні і вихідні параметри мають бути не змінними і знаходитись у номінальному стані.

Виходячи з отриманих результатів можливо зробити висновок, що розроблена модель відповідає об'єкту керування, та може бути використана для подальшої розробки підсистеми керування. Подальше вдосконалення моделі можливе у рамках більш детального аналізу впливів збурення, та модифікації програмного коду з метою підвищення швидкодії. Отримана модель може бути використана для розробки програмного забезпечення підсистеми керування.

Розглянуто техніко-економічного обґрунтування ефективності результатів розробки і впровадження автоматизованої системи керування дефлегматором технологічного процесу виготовлення етилового спирту.

Проведено аналіз небезпечних і шкідливих виробничих чинників, розроблено інженерно-технічні заходи по охороні праці, розглянуті протипожежні заходи.

Така система може бути затребувана для будь-яких технологічних процесів з виготовлення етилового спирту виробництва.

Тема кваліфікаційної роботи безпосередньо пов'язана з професійною діяльністю фахівця спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології.

Цілі, поставлені перед кваліфікаційною роботою, повністю виконані.

ПЗ і графічна частина кваліфікаційної роботи виконана відповідно до вимог ГОСТ і ЕСКД, зауважень до проекту немає.

При виконанні кваліфікаційної роботи і ухваленні рішень проявлена висока міра самостійності, технічної грамотності.

Оцінки по розділах кваліфікаційної роботи - « _____ ».

Кваліфікаційна робота в цілому заслуговує оцінку « _____ », а студент Тищенко Н.П. привласнення освітнього рівня «бакалавр» в галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування.

Керівник кваліфікаційної роботи, _____ ст. викл. Надточий В.В.

___.06.2023

РЕЦЕНЗІЯ

кваліфікаційна робота бакалавра: «Автоматизація дефлегматора технологічного процесу виготовлення етилового спирту», студент гр. 151-19-1

Тищенко Нікіта Павлович

1. Завдання і зміст кваліфікаційної роботи ступеню бакалавра відповідає основній меті - перевірці знань і ступеня підготовленості студента за спеціальністю «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».
2. Актуальність роботи полягає в тому, що розробка та дослідження нової системи керування дозволить зменшити вплив основних недоліків технологічного обладнання.
3. Отримана модель може бути використана за для розробки програмного забезпечення системи керування.
4. Повнота і глибина вирішення завдань, поставлених в завданні на кваліфікаційну роботу достатня.
5. В рамках кваліфікаційної роботи було визначено структуру об'єкта керування та побудована його модель.
6. В цілому кваліфікаційна робота ступеню бакалавра заслуговує оцінки «_____», за умови відповідного захисту.
7. Студент Тищенко Н.П. присвоєння їй кваліфікації «бакалавр» за спеціальністю «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

Рецензент, _____

____.06.2022

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувачем кафедри
кіберфізичних та інформаційно-
вимірювальних систем

_____ Бубліковим А.В.

« _____ » _____ 2023 року

ВИСНОВОК

Про рівень запозичень у кваліфікаційній роботі бакалавра на тему «Автоматизація дефлегматора технологічного процесу виготовлення етилового спирту», здобувача вищої освіти, групи 151-19-1, Тищенко Н.П.

Загальний обсяг кваліфікаційної роботи без переліку посилань складає _____ сторінок. Програмне забезпечення використане для перевірки роботи “<https://unichack.com>”. Рівень запозичень у роботі складає _____ %, що є меншим 40 % запозичень з однієї роботи та відповідає вимогам Положення про систему запобігання та виявлення плагіату у Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка».

Нормоконтролер,
посада, ас. каф. КФІВС
ступінь

(підпис)

Воскобойник Є.К.

(дата)