

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 Гаврик Валерія Геннадіївна

(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 еспураційної колони 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. Славінський Д.В.			

Дніпро
2023

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

_____ Бубліков А.В.
(підпис) (прізвище, ініціали)
« _____ » _____ 2023 року

ЗАВДАННЯ на кваліфікаційну роботу ступеня бакалавр

студенту Гаврик В.Г.
(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 епюраційної колони 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.	31.05.2024

Завдання видано _____
(підпис керівника)

ст. викл. Надточий В.В.
(прізвище, ініціали)
01.05.2023

Дата видачі

Дата подання до екзаменаційної комісії

10.06.2023

Прийнято до виконання _____
(підпис студента)

Гаврик В.Г.
(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Об'єкт розробки – система автоматичного керування епіюраційною колоною технологічного процесу виготовлення етилового спирту

Об'єкт дослідження епіюраційна колона BTS 1600-32 технологічної ланки виготовлення етилового спирту.

Предмет дослідження – розробка моделі епіюраційна колона BTS 1600-32 регульованої по каналу «продуктивність гострої пари - температури парів на дефлегматор».

Головною метою роботи є розробка моделі об'єкта керування для регульованої по температурі пари у верхній частині епіюраційної колони, в залежності від витрати гострої пари, яка подається у нижню частину епіюраційної колони. 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 технологічного процесу ректифікації спирту.

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

СПИРТ ЕТИЛОВИЙ, ЕПЮРАЦІЙНА КОЛОНА, ТЕМПЕРАТУРА, ГОСТРА ПАРА, СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, ДАТЧИК, ВИКОНАВЧИЙ ПРИСТРІЙ, ДОСЛІДНИЦЬКА СИСТЕМА, ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ

ЗМІСТ

Перелік скорочень	7
Вступ	8
1 Стан питання та постановка завдання	9
1.1 Галузь промисловості	9
1.1.1 Структура та гідроліз лігноцелюлози	14
1.2 Технологічний процес	16
1.2.1 Гнідавський біоетанольний завод	16
1.2.2 Технологічна схема ректифікаційної установки виробництва біоетанолу	17
1.3 Об'єкт керування	18
1.3.1 Загальні відомості	18
1.3.2 Характеристика об'єкта керування	20
1.3.3 Структура об'єкту керування	22
1.3.4 Принцип функціонування об'єкту керування	23
1.4 Структура схема об'єкту керування	24
1.5 Формулювання задачі дослідження	26
1.6 Висновки за розділом	27
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	36
2.2.3 Вибір пристроїв керування	39
2.2.4 Вибір джерел живлення	46
2.3 Розробка функціональної схеми автоматизації	48
2.4 Розробка схеми електричної принципової	51
2.5 Висновки за розділом	52
3 Визначення моделі об'єкта керування	53
3.1 Загальні відомості	53

	5
3.2 Розробка структурної схеми інформаційних потоків дослідницької системи	54
3.3 Розробка схеми моделі засувки	56
3.4 Розробка методики дослідження об'єкта керування	57
3.5 Виконання експерименту	59
3.6 Обробка результатів експерименту	62
3.6.1 Підготовка даних	62
3.6.2 Структурна ідентифікація	63
3.6.3 Параметрична ідентифікація	67
3.6.4 Розробка моделі об'єкта керування в Simulink	70
3.6.5 Перевірка моделі на адекватність	72
3.7 Висновки за розділом	74
4 Економічна частина	75
4.1 Техніко-економічне обґрунтування впровадження системи керування	75
4.2 Розрахунок капітальних витрат пов'язаних з впровадженням системи керування	75
4.3 Розрахунок капітальних витрат на програмне забезпечення	76
4.3.1 Розрахунок часу на розробку програмного забезпечення	76
4.3.2 Розрахунок витрат на розробку програмного забезпечення	79
4.4 Розрахунок експлуатаційних витрат	80
4.4.1 Амортизація основних фондів	80
4.4.2 Розрахунок фонду заробітної плати	81
4.4.3 Відрахування на соціальні заходи	82
4.4.4 Розрахунок витрат на технічне обслуговування та ремонт	82
4.4.5 Витрати на електроенергію	82
4.4.6 Інші витрати	83
4.5 Висновки за розділом	84
5 Охорона праці	85
5.1 Аналіз шкідливих та небезпечних факторів при виготовленні спирту	85
5.2 Інженерно-технічні заходи з охорони праці	87
5.3 Розрахунок параметрів колони	89

	6
5.4 Пожежна профілактика	91
5.5 Висновки за розділом	94
Висновки	95
Перелік посилань	97
Додаток А	100
Додаток Б	101
Відгуки консультантів кваліфікаційної роботи	102
Відгук	104
Рецензія	105

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АСК ТП	- автоматизована систему керування технологічним процесом
ОУ	- об'єкт керування;
САК	- система автоматичного керування;
ПЛК	- програмований логічний контролер;
ЕОМ	- електронна обчислювальна машина.

ВСТУП

Виробництво етанолу і алкогольних напоїв з точки зору продажів до сих пір вважається найбільшою галуззю біотехнології. Світове виробництво етанолу становить 131,2 млрд літрів, з яких тільки 7 % отримують хімічним шляхом з газу або вугілля, а 93 % - шляхом мікробного бродіння. Слід зазначити, що тільки 15 % етанолу використовується для приготування міцних алкогольних напоїв, ще 15 % - в хімічній та інших галузях промисловості, решта (70 %) - в якості автомобільного палива в двигунах внутрішнього згорання. Основними його виробниками є Бразилія і США.

США за останні роки значно збільшили виробництво етанолу. Практично весь етанол, вироблений Бразилією, йде в паливний сектор, в той час як США використовують для цих цілей близько 90 % його.

Україна виробляє 0,56 млрд літрів етанолу, з яких 73 % йде на виробництво алкогольних напоїв і близько 30 млн літрів - крім бензину. При цьому потужності діючих спирт-заводів завантажені лише на 40 % [1].

У кваліфікаційній роботі бакалавра розглядаються сучасні події в паливній промисловості, враховуючи постійно зростаючі вимоги до якості палива та екологічної безпеки. Робота спрямована на вивчення різних технологічних режимів на ректифікаційній установці для отримання паливного біоетанолу з лігноцелюлозної (рослинної) біомаси. Основними цілями є вирішення прикладного завдання з автоматизації та технологічної оптимізації з метою отримання меж енергоспоживання з достатньої для споживача якості біоетанолу. У кваліфікаційній роботі бакалавра була розроблена модель технологічного обладнання ректифікаційної колони. Результати моделювання можуть бути застосовані в нових паливних технологіях і при проектуванні відповідних біопаливних установок.

Підходи до моделювання хіміко-технологічних процесів будуть в подальшому застосовані для дослідження операційних процесів і синтезу системи керування.

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

1.1 Галузь промисловості

Слід нагадати, що наприкінці ХІХ ст. Генрі Форд сконструював двигуни своїх перших автомобілів з етанолом в якості палива і тільки пізніше, після відкриття потужних нафтових родовищ, його використання стало нерентабельним. Нафтова криза 1973 р. привела до появи в Бразилії національної програми, спрямованої на виробництво паливного етанолу з цукрової тростини, і програми виробництва так званої «газоліну» (суміші, що складається на 90% з бензину і 10% етанолу) з кукурудзяного крохмалю в США.

Підраховано, що за час існування бразильської програми країна заощадила щонайменше \$75 млрд. на імпорті нафтопродуктів. У наш час практично весь етанол на планеті, включаючи паливо, отримують з традиційної сировини: цукру (сахарози) і крохмалю, причому в Бразилії для цієї мети використовується цукрова тростина, а в США - кукурудзяний крохмаль. Інші країни також використовують цукор або крохмаль для виробництва етанолу, наприклад, в Україні етиловий спирт отримують з крохмалю зернових культур і картоплі або патоки (використовуються на цукрових заводах). Технологія отримання етанолу з цукру добре розвинена, а якщо мова йде про крохмаль, то є ще багато можливостей для поліпшення процесу.

Які можливі переваги та недоліки використання етанолу в порівнянні з бензином? В першу чергу мова йде про економічні та екологічні фактори. Про економіку вже згадувалося. Отримання етанолу з цукрової тростини, наприклад, в Бразилії - дуже економічно вигідний процес. Його виробництво з крохмалю вимагає додаткового етапу гідролізу крохмалю в глюкозу, що менш рентабельне. Тому в США до 2007 р. діє спеціальний пільговий податок для виробників паливного етанолу, який гарантує рентабельність процесу навіть за ціною \$15. за барель сировини (1 літр паливного етанолу з крохмалю в 1999 р. коштував 34 центи). А за ціною в розмірі \$60 і вище за барель нафти, виробництво паливного етанолу з крохмалю стає прибутковим навіть без податкових пільг.

Характеризуючи якості етанолу як палива, слід зазначити, що на відміну від бензину, він має більш високе октанове число і більш високий тиск пари. Однак через наявність в його молекулі кисню вагова частка етанолу містить на 33 % менше енергії, ніж аналогічна - вуглеводнева (бензин). Використання етанолу в якості палива сприяє можливості використання існуючими двигунами бензиново-етанових сумішей, що містять до 25 % етанолу, без їх додаткової переробки.

Екологічні переваги етанолу як палива дуже значні - через неповне згорання бензину вихлопи автомобіля містять значну кількість токсичного чадного газу, закису азоту і оксиду азоту, а спалювання чистого етанолу в двигунах або додавання в бензин кисневмісних добавок, яким є етанол, значно знижує вміст у вихлопних газах чадного газу та інших продуктів неповного окислення. Можливо, ще більш важливим є екологічний вплив етанолу, отриманого з біотехнологій, як палива, враховуючи глобальне потепління, викликане, перш за все, додатковим викидом вуглекислого газу в атмосферу. Останнє є наслідком спалювання викопного палива.



Рисунок 1.1 - Вигляд сучасного кластеру виробництва біоетанолу

Спалювання етанолу, отриманого з біомаси, не призводить до додаткових викидів CO_2 в повітря, оскільки ці кількості вже виділялися б через кругообіг

вуглецю через життєдіяльність мікроорганізмів. Етанол є досить дешевим біотехнологічним продуктом, так як ціна сировини (цукру, крохмалю) становить 40 % від його вартості. Сировинна база для виробництва цукру і крохмалю обмежена. Тому в останні десятиліття рослинною біомасою все більше зацікавилися як потенційною сировиною для виробництва паливного етанолу, а її запаси дійсно необмежені.

Сюди входять відходи сільського господарства (солома, качани кукурудзи, лушпиння соняшника тощо), деревообробна та целюлозно-паперова промисловість (гілки, тирса, кора дерев, лужна сульфідна зола), комунальні відходи, 40...50 % складаються з рослинної біомаси. Також розглядається можливість спеціального вирощування швидкозростаючих рослин (сорго, вільхи, осики) для подальшої переробки біомаси на заводах для отримання етанолу.

Світове виробництво цієї біомаси становить 122 млрд. літрів на рік, 90 % з яких становить лігноцелюлоза (гетеро-біополімер, що складається з целюлози, різних геміцелюлоз і лігніну). Підраховано, що переробка макулатури та побутових відходів тільки в США може дати 400 мільярдів літрів етанолу на рік, і потенційно ця країна може переробляти 3,9 млрд. тон лігноцелюлози, виробляючи 1 050 млрд. літрів етанолу щорічно (це більш ніж удвічі перевищує річне споживання бензину в США) [1].

Згідно з «Сільськогосподарським прогнозом ОЕСР-ФАО на 2020...2029 р.», світова продукція біоетанолу, за прогнозами, зросте до 143 млрд. літрів до 2028 року. Одночасно світове виробництво біодизеля досягне на 44 млрд літрів. Примітно, що провідними виробниками біопалива є США, Бразилія, Індонезія, Німеччина, Китай, Таїланд та Іспанія.

Крім того, за прогнозами Міжнародного енергетичного агентства (МЕА), у 2050 році виробництво біопалива досягне 760 млн. тон нафтового еквіваленту. Більш детальні перспективи описані в «Технологічній дорожній карті МЕА — біопаливо для транспорту». Протягом наступних п'яти років виробництво біопалива, як очікується, зросте на 15 %, досягнувши 165 млрд. літрів. Прогнозується, що до 2023 року на біопаливо припадатиме близько 90 %

відновлюваних джерел енергії, що використовуються на транспорті. До пандемії COVID-19 очікувалося та до російської агресії в Україні, що до 2024 року світове виробництво біоетанолу зросте до 130 млрд. л..

На паливний етанол припадає близько двох третин зростання виробництва біопалива, тоді як на біодизель та гідроочищену рослинну олію припадає решта. На країни Азії припадає більша частина зростання виробництва біопалива протягом наступних п'яти років. Китай, Індія та держави-члени Асоціації держав Південно-Східної Азії становлять половину світової експансії у виробництві біопалива. За додаткові 45 % цього зростання відповідає Латинська Америка, особливо Бразилія.

Всебічно розглядаючи проблему впровадження біопаливних технологій, слід зазначити, що дана проблема прямолінійно пов'язана зі сферами економіки, екології, науки і техніки, продовольства, джерел енергії. У зв'язку з цим доцільність використання біопалива як первинного джерела енергії залежить від його енергоефективності [3].

За енергетичними балансами енергетична рентабельність біопалива, яка в разі виробництва біоетанолу з сировини виглядає наступним чином: кукурудза -1,5, цукрові буряки - 2, пшениця – 2...4, цукрова тростина – 2...8, а целюлоза -2...36.

Примітно, що ріпак також є поширеною сировиною для рідкого біопалива. Однак він використовується в основному у виробництві біодизеля. До останнього часу солома використовувалася як целюлозо-вмісна сировина для виробництва біоетанолу. Більш детальна інформація про сировину представлена нижче в табл. 1.1.

Загальновідомо, що основним недоліком продукції біоетанолу першого покоління є скорочення посівів зернових, цукру та олійних культур, необхідних для харчової промисловості. Цей факт зумовлює перехід на технологію виробництва біоетанолу другого покоління на основі лігноцелюлозної біомаси, отриманої зі спеціалізованих високотехнологічних культур або з нехарчових сільськогосподарських відходів (наприклад, вичавки насіння соняшнику, солома, вичавки цукрової тростини та тирса).

Таблиця 1.1 - Вихідні дані для процесу ректифікації

Параметр	Значення
Сировина	Солома зернових
Продуктивність по сировині, т/рік	270,000
Кінцевий продукт	Біоетанол
Початкова температура заварки, °C	22
Продуктивність по продукції, т/рік	50,000
Склад вихідного продукту	% маси
Вода	94.19
Біоетанол	5.01
Метанол	0.15
Ацетальдегід	0.04
Оцтова кислота	0.06
Ізопропанол	0.11
Ізобутанол	0.07
Диметилловий ефір	0.09
Фурфурол	0.05
Ацетон	0.13
Гліцерин	0.05
Мурашина кислота	0.05
Склад кінцевого продукту	% маси
Біоетанол	96.0
Вода	1.4
Домішок	2.6

При цьому основними технологічними етапами є збір і попередня обробка сировини (біомаси), гідроліз і ферментація целюлози і лігніну, перегонка етанолу, зневоднення і сепарація лігніну, а також спалювання лігніну на теплових електростанціях для потреб первинного виробництва. Так, за технологією другого покоління особливу увагу слід приділити енергоефективності та енергозбереженню при виробництві паливного біоетанолу з лігноцелюлозної сировини.

Останні економічні розрахунки отримання біоетанолу із зерна та деревини показали наступне. У собівартості етанолу з зерна витрати на сировину і бродіння становлять приблизно від 62 до 70 %. При гідролізному виробництві етанолу з деревних відходів собівартість сировини становить близько 12 %. Високі витрати в першому пояснюються низьким споживанням теплоенергетичних ресурсів і високими підготовчими витратами на бродіння (близько 5 % від загальної вартості). У другому випадку витратами є теплоенергетичні ресурси (близько 40 %) і постійні витрати (близько 40 %).

1.1.1 Структура та гідроліз лігноцелюлози

Лігноцелюлоза має набагато більш складну структуру, ніж крохмаль або сахароза. Це пояснює той факт, що його економічно ефективна технологія перетворення етанолу ще не розроблена.

Середній вміст целюлози становить 45 %, геміцелюлози - 30 і лігніну – 25 %. Ці цифри дуже середні. Вміст целюлози може варіюватися в процентному співвідношенні: від 15 в листях або 25 в шкаралупі волоського горіха до 95 в бавовняних волосках і 85...99 в паперових. Геміцелюлоза - від 0 в папері і 5...20 в бавовняних волосках до 50 в соломі пшениці і 85 в листві, а лігнін - практично від 0 в папері і листві до 40 в шкаралупі волоського горіха. Целюлоза і геміцелюлоза є полімерами цукрів, тоді як лігнін є ароматичним гетерополімером. Тільки продукти гідролізу полімерів цукру (целюлоза і геміцелюлоза) можуть використовуватися в якості субстратів для біотехнологічного перетворення в етанол.

Ферментація лігноцелюлози проводиться в кілька етапів: попередня обробка з делігніфікацією (відділення лігніну), гідроліз і спиртове бродіння. Попередня обробка необхідна для часткового руйнування мікрофібрил целюлози, зниження ступеня кристалізації і полімеризації, екстракції геміцелюлози, руйнування целюлозного комплексу лігніном і модифікації структури лігніну, збільшення площі поверхні, доступної для дії гідролізуючих ферментів, а також для видалення лігніну (делігніфікації). Попередня обробка передбачає механічне подрібнення рослинної біомаси, обробку перегрітою парою або дію кислот або лугів для делігніфікації.

Перспективним способом окреслення лігноцелюлози може бути використання грибів, здатних розщепити цей полімер. За допомогою попередньої обробки досягається не тільки делігніфікація, але і частковий гідроліз геміцелюлози і целюлози.

Загальна схема етапів перетворення лігноцелюлози в етанол наведена на рис. 1.2.

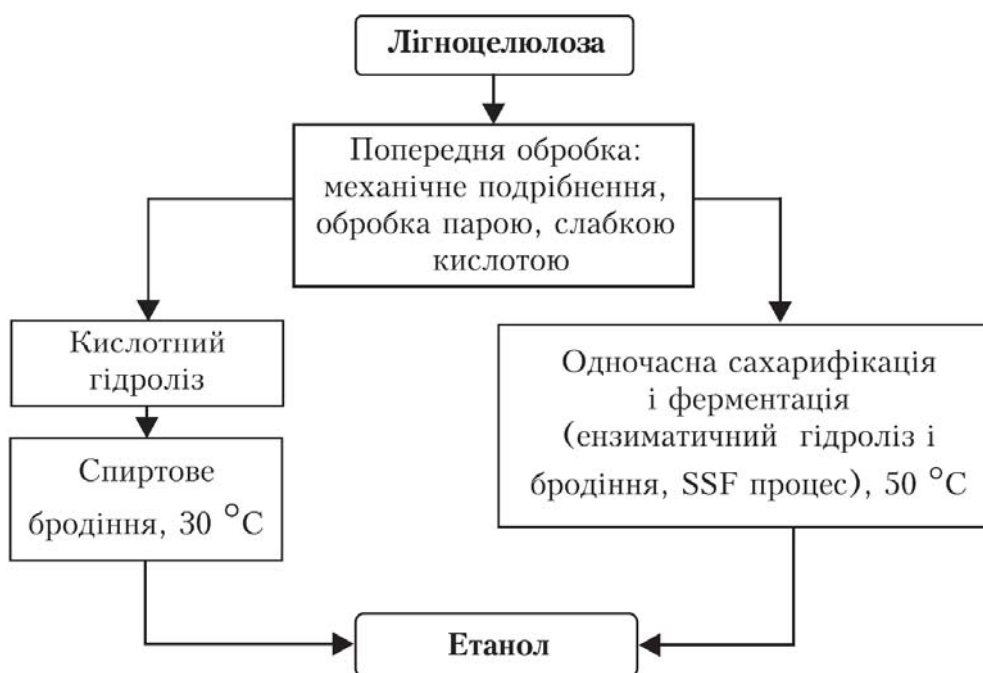


Рисунок 1.2 - Технологічні етапи перетворення лігноцелюлози в етанол

Гідроліз целюлози і геміцелюлози до моносахаридів відбувається за участю кислот або ферментів. Кислотний гідроліз проводять розведеною сірчаною кислотою або концентрованими сірчаними, або соляними кислотами. Гідроліз розведеною кислотою - класичний і дешевий метод, але у нього є і деякі недоліки. Зокрема, саме утворення великої кількості токсичних побічних продуктів, які пригнічують ріст і бродіння мікроорганізмів (фурфурол і метилфурфурол, оцтова і мурашина кислоти, феноли), а їх детоксикація обходиться досить дорого.

Важливим підходом також може бути відбір мікроорганізмів-мутантів, стійких до цих інгібіторів. При гідролізі з концентрованими кислотами утворюються менш токсичні продукти, але цей процес коштує дорожче і породжує серйозні екологічні проблеми.

Найбільш ефективним і перспективним методом гідролізу попередньої обробки лігноцелюлози є ферментативний, який, в цілому, не виробляє ніяких токсичних побічних продуктів. Ферментативний метод відбувається за участю целюлози і геміцелюлазо-прояеукаріотичних мікроорганізмів, в основному грибів. Кінцевим продуктом дії цих ферментів є дисахаридний целобіаз, який розщеплюється на глюкозу шляхом целобіазу. Серед геміцелюлаз найбільш використовуваними є ксиланази.

Пошук термотолерантних видів дріжджів, здатних ферментувати основні цукри лігноцелюлозних гідролізатів при температурі близько 50 °С, поки що не був ефективним [1].

1.2 Технологічний процес

1.2.1 Гнідавський біоетанольний завод

Проектування Гнідавського біоетанольного заводу (вул. Ранкова, 1, Луцьк, Волинська область, Україна, 43000) виконувалось у партнерстві з компанією Magen. Для основних технологічних ділянок впроваджені компактні та ресурсозберігаючі рішення: витрата пари становить 1,7 кг/л, електроенергії – 0,26 кВт/л, води 50 м³/год. Використання новітніх штамів дріжджів та ферментів підняло міцність бражки до 14 %. Якість очистки біоетанолу 99,93 % Et. забезпечують молекулярні сита Magen.



Рисунок 1.2 – Технологічна лінія виробництва біоетанолу

Термін будівництва заводу склав 18 місяців. Побудовано і обладнано 5 цехів, сховище сировини, система трубопроводів, блок оборотного водопостачання та склад готової продукції.

знаходиться в діапазоні від 75 до 80 °С завдяки використанню джерелу підігріву – гостра пара). Нагріті пари суміші подаються з варної колонки 1, з останньої 14-й тарілки у підігрівачі 2. На виході з верхньої частини колони 1, пари досягають концентрації до 40 % (масової частки) і після підігрівача 2 надходить в конденсатор 3 для охолодження і конденсації. Після сирий спирт надходить в розподільник 4 (дефлегматор), де ділиться на два потоки. Перший потік повертається до варної колонки у вигляді рідини. Другий потік у вигляді пару подається видаляється з верхньої «тарілки» колони дефлегматора 8 – на конденсатор 9 де конденсуються найбільш леткі пари спиртовмісної сировини – ефірні масла з температурою кипіння менш 74 °С. Кількість ефірних масел складає 3,0...6,0 % від об'єму спиртовмісної рідини.

Таким чином очищені пари, які попередньо були видалені з епюраційної колони 6, очищуються від ефірних масел і після конденсації в апарату 7 (конденсатор, який може входити складовою частиною до дефлегматору 8) знов повертаються в епюраційну колону 6, де відбувається знову випарювання.

З нижньої частини епюраційної колони 6 очищення видаляється епюрат і надходить в спиртову колону на середню «тарілку». На цьому етапі концентрація епюрату становить 35 % (масової частки).

Лютерська вода видаляється зі спиртової колони 10. Пари біоетанолу концентрацією 96 % (масової частки) переносяться в рефлюкс-конденсатор. Після цього одна частина біоетанолу повертається в спиртову колонку у вигляді спиртового розчину. Другий видаляється як кінцевий продукт.

Домішки видаляються Лютерською водою, яка містить складні ефіри і альдегіди.

1.3 Об'єкт керування

1.3.1 Загальні відомості

У кваліфікацій роботі бакалавра була обрана одна з найважливіших частин технологічного процесу виробництва біоетанолу - епюраційна колона. Колонні пристрої використовуються для виконання повноцінних контактних процесів між

взаємодіючими рідинами і парами. До них відносяться дифузні процеси, такі як абсорбція, десорбція, ректифікація, а також охолодження і зволоження промислових газів, волога газова чистка і т. д. Епюраційна колона являє собою пластинчастий колонний апарат (рис. 1.4), призначений для виробництва етилового спирту. У епюраційній колоні потоки сирого спирту поділяються на високо-леткі спирти (ефірні масла) і епюрат для подачі у ректифікаційну колону.

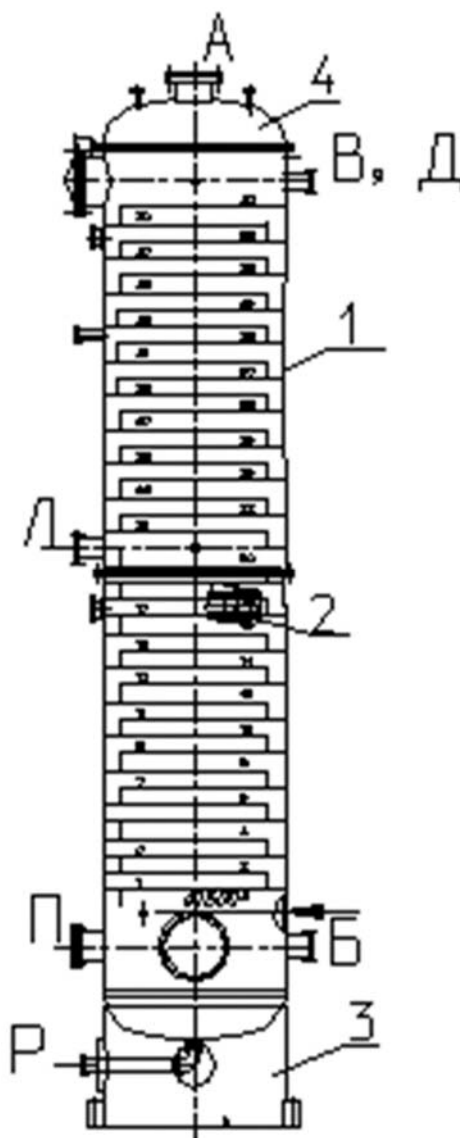


Рисунок 1.4 – Схема епюраційної колони:

- | | |
|--|-------------------------------------|
| А – вихід парів до дефлегматора; | Р – відведення рідини до випарника; |
| В – введення флегми з дефлегматора; | П – вхід парів з котельні; |
| Л – введення бражного дистилату; | Б – вихід епюрату; |
| Д – введення непастеризованого спирту; | 1 – царга; |
| 2 – тарілка із S-образних елементів; | 3 – опора; |
| 4 – кришка | |

Епюраційна колона складається з наступних компонентів: корпус 1, в якому всередині монтуються «тарілки» - плити. Епюраційна колона монтується на опору 3. Введення сировини (бражного дистиляту 40 % об.) здійснюється з'єднанням Л на середню «тарілку». Перетікаючи з однієї «тарілки» в іншу, рідина взаємодіє з парами (газом), тобто бульбашками рідини, при цьому відділяється у дефлегматорі головна фракція (ефірні масла 3...6 %). Після цього епюрат збирається в нижній кубовій частині епюраційної колони і відводиться через штуцер Б. У верхній частині епюраційної колони через штуцер А вибирається ефірно-альдегідна фракція. Нагрівається епюраційна колона гострою парою, яка надходить від котла в нижню кубову частину епюраційної колони на теплообмінник.

У нижній частині епюраційної колони 4 є штуцер для зливу рідини до випарнику (штуцер Р). У нижній частині епюраційної колони також знаходиться штуцер П для подачі пари з котлу. У нижній частині епюраційної колонки є пристрій для регулювання рівня рідини в нижній кубовій частині епюраційної колони. Бражний дистилят після епюраційної колони, який називатиметься далі епюратом, з концентрацією близько 35 % об. поступає на середню «тарілку» (тарілка живлення) ректифікаційної колони.

У верхній частині розташовані фітинги для введення очищеного спиртового розчину з дефлегматора (штуцер В) і непастеризованого спирту, який надходить з першої дистиляційної колони (фітинг Д) – все це потрапляє на верхню «тарілку». У верхній і нижній частині колони є фітинги для вимірювання робочої температури.

1.3.2 Характеристика об'єкта керування

У кваліфікаційній роботі, в якості об'єкту керування, обрано технологічний апарат епюраційна колона BTS 1600-32, яка використовується на Гнідавському біоетанольному заводі. На рис. 1.4 представлено епюраційну колону BTS 1600-32, а в табл. 1.2 наведено її технічні параметри.

Таблиця 1.2 – Технічні параметри епіюраційної колони

Параметр	Значення
Виробник	BTS Engineering
Модель	BTS 1600-32
Матеріал	AISI 304
Номінальна 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
Сировина	зернові культури, м'яса, патока, лігноцелюлоза
Застосування	спирт, сирець, епюратор, етанол

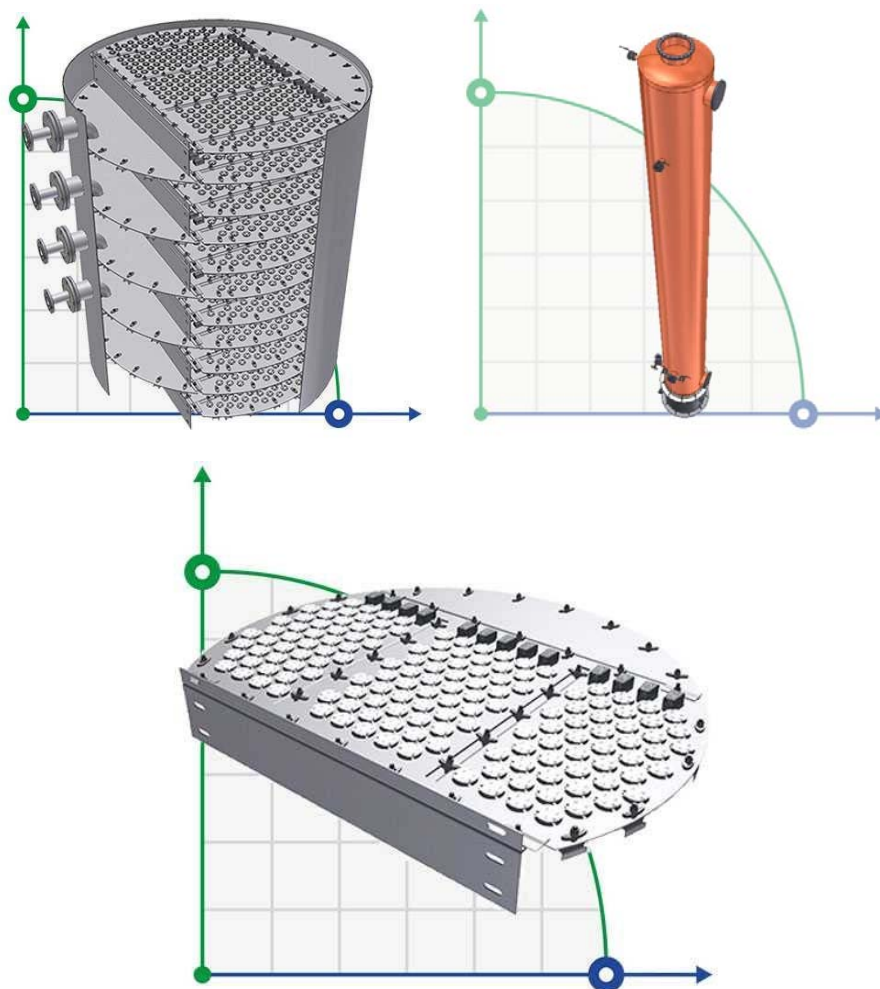


Рисунок 1.4 – Епіюраційна колона BTS 1600-32

1.3.3 Структура об'єкту керування

Спиртове виробництво характеризується протиріччями між цільовими функціями, при цьому необхідно знизити витрати, підвищити продуктивність поділу спирту і поліпшити якість продукту і неможливість досягнення однієї мети без урахування інших. Конфлікт класифікується наступним чином: спочатку оцінюється взаємодія між сторонами конфлікту і поділяється на протидію, нейтралітет і допомогу, а потім, в залежності від виявленого конфлікту, відбувається його подальша диференціація, а саме головне опозиція поділяється на антагонізм, гостре суперництво і негостре суперництво, а допомога – на єдність, симбіоз, співдружність і коаліцію. Незважаючи на протиставлення цілей, досягти ефективного (оптимального) керування можна за допомогою масштабованих рамок взаємодії.

Необхідно враховувати саме ситуацію «справедливого компромісу», коли поліпшення ситуації для однієї зі сторін не призводить до найгірших результатів для іншої. На етапі вирішення конфлікту відбувається аналіз можливих допусків, що впливають на сторони конфлікту. Вибирають параметри, які представляють витрати матеріальних і енергетичних ресурсів і відносяться до числа параметрів, від яких залежить ефективність учасників взаємодії. При цьому враховується той факт, що часовий ряд технологічних параметрів вже отриманий при певних значеннях керуючих дій, тому для вирішення конфлікту необхідно вводити додаткові елементи керування до тих пір, поки не буде досягнуто необхідного цільового стану конфлікту, наприклад, шляхом доведення антагонізму до негострого суперництва.

Необхідно розглядати взаємозв'язок критеріїв керування в багатокритеріальному просторі (якість, результативність, втрата), де є певні сфери компромісу, в яких можна знайти оптимальне рішення і навпаки, в разі антагоністичних конфліктів, стан, коли поліпшення за одним з критеріїв призводить до різкого погіршення іншого.

1.3.4 Принцип функціонування об'єкту керування

На рис. 1.5 показані основні складові матеріального балансу для епіюраційної колони. В епіюраційну колону на середню «тарілку» вводиться сировина (бражний дистилят). Перетікаючи з однієї «тарілки» в іншу, рідина взаємодіє з гострим паром, який вводиться в нижню частину епіюраційної колони. Пар піднімаючись уверх взаємодіє з бульбашками киплячої на тарілках спиртової рідини, при цьому на верхніх тарілках відділяється головна фракція – пари якої потрапляють на дистилятор ефірних масел, а епіурат к конденсованими парами збирається в нижній кубовій частині колони і відводиться через відповідний штуцер на ректифікаційну колону.

Найбільш легка частина пари у верхній частині апарату через штуцер вибирається і подається на дефлегматор, а повертається з дефлегматора до верхньої частини епіюраційної колони у вигляді очищеної спиртової рідини з якої вже видалені найбільш легкі компоненти - ефірно-альдегідна частина (3...6 %).

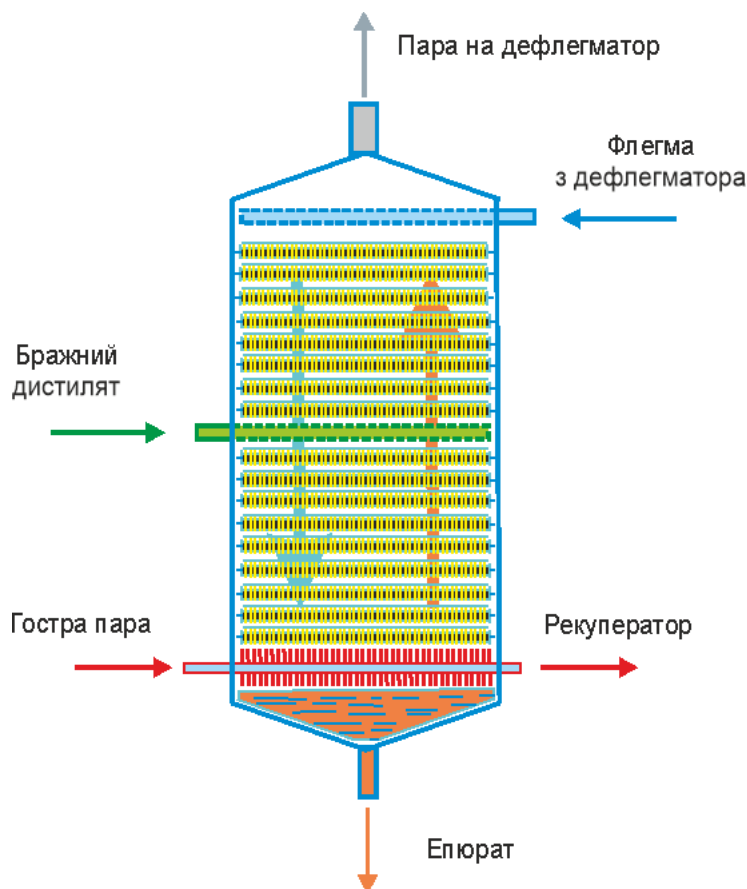


Рисунок 1.5 - Матеріальний баланс епіюраційної колони

Нагрівається колонка гострою парою, яка надходить від котла в нижню кубову частину колони на теплообмінник.

У нижній частині епураційної колони є штуцер для зливу рідини – епюрату до ректифікаційної колони на середню «тарілку» («тарілку живлення»). Епюрат має концентрацію близька 35 % об.

За рахунок безперервної протитечії парів і сконцентрованої рідини виконується якісний процес розподілу початкового бражного дистилляту на летку частину, яка видаляється з епураційної колони зверху і епюрату, яка видаляється з епураційної колони у нижній кубовій частині.

1.4 Структура схема об'єкту керування

Граничні умови вибираються з умов максимально стабільного діапазону роботи технологічного процесу. Моделювання має на меті визначити вплив змін технологічних параметрів на якісні показники кінцевого продукту.

Система керування епюрної колонкою повинна складатися з наступних взаємозалежних схем керування (рис. 1.6):

- керування зворотним потоком – непряме регулювання показника ефективності процесу;
- регулювання відбору парів на дефлегматор – забезпечує баланс матеріалу для рідкої фази у верхній частині колони;
- регулювання відбору кубового виробу епюрату – забезпечує баланс матеріалу для рідкої фази нижньої кубової частини епураційної колони;
- стабілізація енергоспоживання – забезпечує: матеріальний баланс по всім складовим;
- усунення найбільш значних порушень;
- зазначене положення робочої зони колони;
- стабілізація працездатності установки;
- стабілізація витрати гарячої пари – забезпечує тепловий баланс установки.

Показником ефективності дистиляції в епіюраційній колоні є склад цільового продукту і метою керування є підтримка послідовного складу цільового продукту.

Склад іншого продукту може змінюватися в певних межах через зміни складу цільового продукту. В якості цільового продукту ми беремо епіюрат.

Температура бражного дистиляту має велике значення для процесів в епіюраційній колоні. Якщо дистилят повинен почати входити в епіюраційну колону при температурі нижче температури кипіння, то спочатку його необхідно нагріти до цієї температури парами з нижньої частини епіюраційної колони. При цьому збільшується конденсація пара, що порушує весь режим перегонки в епіюраційній колоні. Тому температура бражного дистиляту має стабілізуватися зміною витрати теплоносія, що подається в теплообмінник бражного дистилятного нагрівача.

Стабілізація тиску у верхній частині епіюраційної колони необхідна не тільки для підтримки заданого складу цільового продукту, але і для забезпечення нормального гідродинамічного режиму епіюраційної колони, адже при зниженні тиску стовп парів може бути «задушений» і в міру його збільшення потік пари зменшується – «захлинання» епіюраційної колони. Це пов'язано зі зниженням продуктивності установки. Регулювати концентрацію епіюрату шляхом зміни швидкості подачі рідини з дефлегматору також відносно просто: чим вище ця витрата, тим нижче температури кипіння буде перебувати в колоні (на «тарілках»), і навпаки.

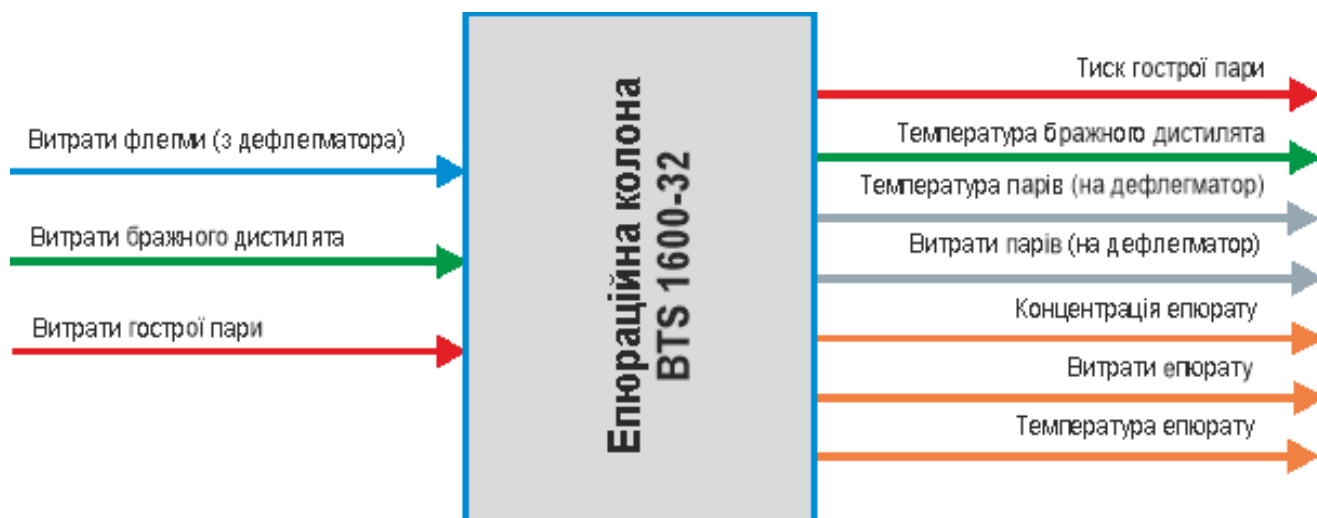


Рисунок 1.6 – Структурна схема епіюраційної колони

Таким чином, для досягнення мети керування необхідно стабілізувати тиск і склад парів у верхній частині колони шляхом зміни витрати з летючої частини на дефлегматорі і конденсованої рідини з дефлегматора.

Якість регулювання цих параметрів залежить від складу і швидкості руху парів, що рухаються від вичерпної нижньої частини епіюраційної колони і визначаються її технологічним режимом роботи.

1.5 Формулювання задачі дослідження

За рекомендацією керівника кваліфікаційної роботи обрано варіант розробки система керування за каналом «витрата гострої пари – температури парів на дефлегматор» як більш впливового на якість кінцевого продукту – епіурату з номінальною концентрацією близько 35 % об.

Основними каналами керування є канали:

- «продуктивність бражного дистиляту – спиртова концентрація епіурату»;
- «продуктивність гострої пари – спиртова концентрація епіурату»;
- «продуктивність флегми – спиртова концентрація епіурату».

Основними збурючими факторами є:

- коливання тиску гострої пари;
- початкова температура бражного дистиляту.

Система керування має підтримувати задану температуру парів у верхній частині епіюраційної колони, які у подальшому подаються на дефлегматор.

За технічними показниками епіюраційної колони маємо наступні показники, які нас цікавлять більше всього:

- температура парів на дефлегматор 80..86 °С;
- номінальний тиск гострої пари 6 бар;
- витрати гострої пари 1,25...2,0 кг/л.;
- продуктивність епіурату 1 600...4 160 л / год (0,889...1,156 л /с).

Регулювання температури парів у верхній частині епіюраційної колони буде здійснюватися під впливом змін у витраті гострої пари. Для номінальної

продуктивності еспураційної колони у 3000 л / год, межі значень цього параметру становитимуть:

$$(1,25...2,0) \text{ кг/л.} * 3000 \text{ л/год.} = 3\ 750...6\ 000 \text{ кг/год.}, \text{ або } 1,042...1,666 \text{ кг/с.}$$

Тобто обертаємо канал керування - «продуктивність гострої пари – температура парів на дефлегматор».

Ну і на додаток - система керування має відповідати вимогам технологічного процесу, наведеного раніше при його огляді і обов'язково бути виконана за допомогою стандартних компонентів, які мають відповідні сертифікати відповідності.

1.6 Висновки за розділом

Об'єктом керування є еспураційна колона BTS 1600-32, яка використовується у діючому технологічному процесі на Гнідавському біоетанольному заводу (м. Луцьк).

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 для регульованої по температурі пари у верхній частині еспураційної колони, в залежності від витрати гострої пари, яка подається у нижню частину еспураційної колони. 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 епюраційна колона BTS 1600-32, яка використовується на Гнідавському біоетанольному заводі.

До складу структури підсистема керування входять наступні сигнали (вказано номінальні значення).

Вхідні сигнали:

- тиск гострої пари (5,0...6,6 бар);
- температура бражного дистиляту (75...80 °С);
- температура парів на дефлегматор (80...86 °С);
- продуктивність парів на дефлегматор (0,8...1,4 кг/с);
- спиртова концентрація епюрату (30...36 % об.);
- продуктивність епюрату (0,5...1,156 л /с);
- температура епюрату (75...84 °С).

Вихідні сигнали керування:

- продуктивність флегми (0,2...0,4 л /с);
- продуктивність бражного дистиляту (1,2...2,3 л /с);
- продуктивність гострої пари (1,25...2,0 кг/л.).

Роботою епюраційною колоною BTS 1600-32 керує програмований логічний контролер (рис. 2.1.).

Епюраційна колона являє собою пластинчастий колонний апарат (рис. 1.4), призначений для виробництва етилового спирту. У епюрацій колоні потоки сирого спирту поділяються на високо-леткі спирти (ефірні масла) для подачі на дефлегматор і епюрат для подачі у ректифікаційну колону.

Введення сировини (бражного дистиляту) здійснюється на середню «тарілку». Перетікаючи з однієї «тарілки» в іншу, рідина взаємодіє з парами (газом), тобто бульбашками рідини, при цьому відділяється головна фракція яка

видаляється за допомогою дефлегматору. Після цього епюрат збирається в нижній кубовій частині колони і відводиться з епюраційної колони. Бражний дистилят після епюраційної колони, який називатиметься далі епюратом, з концентрацією близька 35 % об. поступає на середню «тарілку» (тарілка живлення) ректифікаційної колони.

У верхній частині епюраційної колони вибирається ефірно-альдегідна фракція, яка в подальшому подається на дефлегматор.

У верхній частині розташовано фітинг для введення флегми.

У верхній і нижній частині колони є фітинги для вимірювання робочої температури.

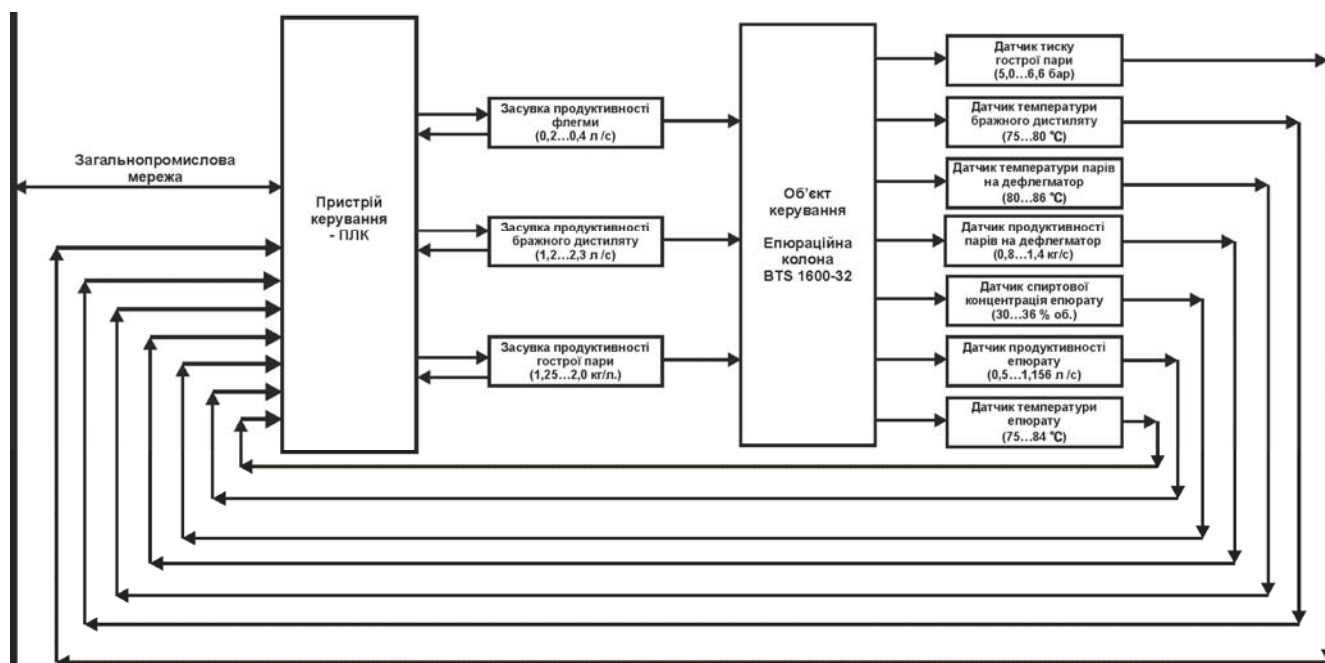


Рисунок 2.1 – Структурна схема системи керування

Таким чином система керування має три основні канали керування:

Основними каналами керування є канали:

- «продуктивність бражного дистиляту – спиртова концентрація епюрату»;
- «продуктивність гострої пари – спиртова концентрація епюрату»;
- «продуктивність флегми – спиртова концентрація епюрату».

Основними збурючими факторами є:

- коливання тиску гострої пари;
- початкова температура бражного дистиляту.

Вибір пристроїв автоматизації для синтезу системи керування необхідно робити на основі засобів автоматизації, які випускаються серійно і вже довели свою спроможність.

Якщо є можливість, то необхідно вибирати з пристроїв, вироблених в Україні. Вибір приладів буде проводитися відповідно до необхідного діапазону вимірювань.

Використання пристроїв забезпечення «вибухонебезпеки» при синтезі системи керування, яка працює з легкозаймистим матеріалом (етиловим спиртом) у рамках кваліфікаційної роботи не розглядаються.

2.2 Вибір апаратного забезпечення підсистеми керування

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

- тиск гострої пари (0,0...8,0 бар);
- температура бражного дистиляту (0...100 °C);
- температура парів на дефлегматор (0...100 °C);
- температура епюрату (0...100 °C).
- продуктивність парів на дефлегматор (0,0...2,5 кг/с);
- продуктивність епюрату (0,0...1,5 л /с);
- спиртова концентрація епюрату (0...50 % об.);

2.2.1 Вибір датчиків

Для контроль тиску гострої пари у діапазоні 0,0...8,0 бар розглянемо сімейство вимірювальних перетворювачів SIEMENS SITRANS P, яке служить для вимірювання надлишкового, вакууметричного, абсолютного і диференціального тиску рідких, газо- і пароподібних середовищ, а також застосовується для вимірювання гідростатичного рівня рідини в ємностях [5].

Для нашого випадку обираємо перетворювач SIEMENS SITRANS P серії ZD – перетворювач надлишкового та абсолютного тиску з цифровим індикатором.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики датчику тиску SITRANS P ZD

№	Найменування параметра	Значення
1	Тип	SIEMENS SITRANS PZD
2	Номинальний діапазон вимірювання, бар	0...10
3	Принцип вимірювання	Тонкоплівковий техnodатчик
4	Точність, бар	< 0,025
5	Вихідний сигнал, мА	4...20
6	Напруга живлення, В	12...30
7	Потужність споживання, Вт	2
8	Температура експлуатації, °С	-25...+85
9	Матеріал корпусу	сталь 1.4571/316Ti
10	Різьба	G1/2В зовнішня і G1/8В внутрішня

Датчик SIEMENS SITRANS P серії ZD має всі необхідні сертифікати та допуски. Особливо важливо - підрозділ згідно з манометром ручним 97/23/ЕК, для газів рідинної групи 1 та рідин групи рідини 1; відповідає вимогам, передбаченим частиною 3 статті 3 (належна інженерна практика).



Рисунок 2.2 – Датчик тиску SITRANS P ZD

За технічними параметрами нам слід вимірювати наступні параметри:

- температура бражного дистилляту, діапазон вимірювання 0...100 °С;
- температура парів на дефлегматор, діапазон вимірювання 0...100 °С;
- температура епюрату, діапазон 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.

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) [6].

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики датчику температури SITRANS T TW

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



Рисунок 2.3 – Датчик температури SITRANS T TW

За технічними параметрами нам слід вимірювати наступні параметри:

- продуктивність парів на дефлегматор, діапазон вимірювання 0,0...2,5 кг/с;
- продуктивність розчину епурату, діапазон вимірювання 0,0...1,5 л/с.

Для вимірювання витрати розглянемо сімейство витратомірів SIEMENS SITRANS F X [7].

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 2.3 – Технічні характеристики вихровий витратомір SITRANS F X

№	Найменування параметра	Значення
1	Тип	SITRANS F X
2	Номінальний діапазон вимірювання, °C	Пара 0...10 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	Номінальний тиск, бар	1...100
11	Матеріал корпусу	Сталь 1.4404/316L
12	З'єднання	Фланець DN 15 ... 300



Рисунок 2.4 – Вихровий витратомір SITRANS F X

За технічними параметрами нам слід вимірювати спиртову концентрацію епюрату у діапазон вимірювання 0...50 % об.

Застосовується сімейство коріолісових витратомірів SITRANS F C для надійного вимірювання рідин і газів практично в будь-якому технологічному процесі. З використанням потужної цифрової обробки сигналу висококласна витратомірна система забезпечує гранично точні багато-параметричні вимірювання масової витрати, об'ємної витрати, температури, густини і концентрації (наприклад, в градусах Брикса або Плато).

Принцип роботи: джерелом виняткових експлуатаційних характеристик витратомірів серії SITRANS F C є ефект Коріоліса. Дві симетричні металеві трубки примусово вібрують. Це забезпечується приводною котушкою, розташованою в центральній секції. Вібрація трубок точно вимірюється двома сенсорами - на вхідний і на вихідний секції. Якщо через трубки протікає рідина або газ, то між сенсорами виникає зсув фаз. Величина зсуву фаз визначає кількість рідини або газу, що протікає через трубки.

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики вихровий витратомір SITRANS F C

№	Найменування параметра	Значення
1	Тип	SITRANS F X
2	Номінальний діапазон вимірювання, % об.	0...100
3	Принцип вимірювання	ефект Коріоліса
4	Точність, %	0,01
5	Вихідний сигнал, мА	4...20
6	Напруга живлення, В	14...36
7	Потужність споживання, Вт	2
8	Температура експлуатації, °С	-25...+85
9	Температура вихрового потоку, °С	-25...+240
10	Номінальний тиск, бар	1...100
11	Матеріал корпусу	Сталь 1.4404/316L
12	З'єднання	Фланець DN 15 ... 300

Повністю цифрове покоління компактних витратомірів призначене для прямої інтеграції в системи керування машинами. Вбудовані функціональні можливості передавача в SITRANS FC410 дозволяють встановлювати практично в будь-якому місці.



Рисунок 2.5 – Вихровий витратомір SITRANS F C

Ступінь відкриття засувки будемо контролювати за допомогою енкодера E40H 012 2000 2 N 24 з 2 000 імпульсами на обороті і напругою живлення 24 В (рис. 2.6) які будуть змонтовані на кожну з засувки [12].



Рисунок 2.6 – Енкодер E40H-012-2000-2-N-24

В табл. 2.5 наводяться технічні характеристики енкодера.

Таблиця 2.5 - 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. 2.6.

Таблиця 2.6 – Датчики

№	Назва параметру	Принцип дії	Тип	Діапазон зміння	Точність	Значення виходу	Період оповіщення	Напруга живлення	Потужність споживання, Вт
1	Тиск гострої пари	Тонкоплівковий технологічний датчик	Аналоговий	0...10 бар	±0,025 бар	4...20 мА	0,1 с	12...30 В	2
2	Температура бражного дистиляту	Cu25 ... Cu1000	Аналоговий	0...200 °С	±0,01 °С	4...20 мА	0,1 с	12...30 В	2
3	Температура парів на дефлегматор	Cu25 ... Cu1000	Аналоговий	0...200 °С	±0,01 °С	4...20 мА	0,1 с	12...30 В	2
4	Температура епюрату	Cu25 ... Cu1000	Аналоговий	0...200 °С	±0,01 °С	4...20 мА	0,1 с	12...30 В	2
5	Продуктивність парів на дефлегматор	Вихровий витратомір	Аналоговий	0...5 кг/с	±0.025 %	4...20 мА	0,1 с	14...36 В	2
6	Продуктивність епюрату	Вихровий витратомір	Аналоговий	0...3 л/с	±0.025 %	4...20 мА	0,1 с	14...36 В	2
7	Спиртова концентрація епюрату	Вихровий витратомір	Аналоговий	0...100 % об.	±0.025 %	4...20 мА	0,1 с	14...36 В	2
8	Положення засувки гострої пари	Електромагнітний	Імпульсний	2 000 імп./об.	-	вихідні фази А, В	-	12...24	2
9	Положення засувки парів флегми	Електромагнітний	Імпульсний	2 000 імп./об.	-	вихідні фази А, В	-	12...24	2
10	Положення засувки подачі розчину флегми	Електромагнітний	Імпульсний	2 000 імп./об.	-	вихідні фази А, В	-	12...24	2

2.2.2 Вибір виконавчих пристроїв

Вихідними сигналами системи керування є наступні параметри:

- продуктивність гострої пари, діапазон керування 0...2,5 кг/л.
- продуктивність флегми, діапазон керування 0...0,5 л/с;
- продуктивність бражного дистиляту, діапазон керування 0...2,5 л/с);

Для регулювання витрат перегрітої пари (до 5,0 кг/с) будемо використовувати литий клинову засувку ЗКЛ 15-80-01 з електроприводом МТ-250-220 [9], яка призначений для установки на паропроводи в якості запірною пристрою в системах автоматичного керування тепlopостачанням на промислових і цивільних об'єктах. З'єднання з трубопроводом здійснюється за допомогою фланців.

Живлення електроприводу здійснюється від мережі змінного струму ~ 220 В 50 Гц.

Таблиця 2.7 – 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 2.7 – Засувка клинова ЗКЛ 15-80-01

Для керування продуктивністю подачі флегми та бражного дистиляту будемо використовувати засувку поворотна типу Батерфляй VITECH з електроприводом BELIMO Ду80, яка представлена на рис. 2.8, а технічні параметри у табл. 2.8 [10].

Таблиця 2.8 – Технічні характеристики засувки поворотної типу Батерфляй VITECH з електроприводом BELIMO Ду80

Найменування параметра	Значення
Тип	шнековий
Напруга живлення, В	~220 В
Потужність, кВт	0,35 кВт
Діаметр, Ду	80
Час відкриття закриття, с	20



Рисунок 2.8 – Засувка поворотна типу Батерфляй VITECH з електроприводом BELIMO Ду80

Керування електродвигуном засувки клинової ЗКЛ 15-80-01 (~220 В/ 0,25 кВт) для регулювання продуктивності подачі гострої пари, електродвигунами засувок Батерфляй VITECH для регулювання продуктивність флегми та бражного дистилляту 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 [11].



Рисунок 2.9 – Твердотільне реле SSR-240A50 (1x~220 В, 0...24 В)

Таблиця 2.9 – 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. 2.10.

Таблиця 2.10 – Виконавчих пристроїв

№	Назва параметру	Принцип дії	Тип	Діапазон змінення	Лінійність	Значення входу	Період оновлення	Напруга живлення	Потужність споживання
1	Продуктивність гострої пари (відкриття)	Час відкриття 30 с	Дискретний	0...10 0 %	Лінійний	24 В	0,1 с	24 В	1 Вт
2	Продуктивність гострої пари (закриття)	Час відкриття 30 с	Дискретний	0...10 0 %	Лінійний	24 В	0,1 с	24 В	1 Вт
3	Продуктивність (відкриття)	Час відкриття 10 с	Дискретний	0...10 0 %	Лінійний	24 В	0,1 с	24 В	1 Вт
4	Продуктивність (закриття)	Час відкриття 10 с	Дискретний	0...10 0 %	Лінійний	24 В	0,1 с	24 В	1 Вт
5	Продуктивність бражного дистилляту (відкриття)	Час відкриття 10 с	Дискретний	0...10 0 %	Лінійний	24 В	0,1 с	24 В	1 Вт
6	Продуктивність бражного дистилляту (закриття)	Час відкриття 10 с	Дискретний	0...10 0 %	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 VIRA. 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 сім аналогових датчиків з типом вихідного сигналу 4...20 мА:

- датчик тиску гострої пари;
- датчик температури парів на дефлегматор;
- датчик температури епюрату.
- датчик температури бражного дистиляту;
- датчик продуктивності парів на дефлегматор;
- датчик продуктивності епюрату;
- датчик спиртової концентрації епюрату;

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

- засувка продуктивності флегми;
- засувка продуктивності бражного дистиляту;
- засувка продуктивності гострої пари.

Так як система керування технологічним апаратом - епюраційна колона BTS 1600-32 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. 2.8). Технічні характеристики контролеру наведені в табл. 2.11.



Рисунок 2.10 – Програмований логічний контролер VIPA 214-2BS33

Таблиця 2.11 – 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 семи датчиків, які мають стандартний струмовий сигнал 4...20 мА, обрано два модулі аналогового вводу VIPA 231-1BD40, кожних з яких має по чотири аналогових входів (рис. 2.11). Технічні характеристики модуля наведені в табл. 2.12.



Рисунок 2.11 – Модуль аналогового вводу VIPA 231-1BD40

Таблиця 2.12 – Технічні характеристики модуля аналогового вводу VIPA 231-1BD40

№	Найменування параметра	Значення
1	Тип	SM 231, ECO
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. 2.12.

Таблиця 2.13 – 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. 2.14.

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 п'яти). 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.

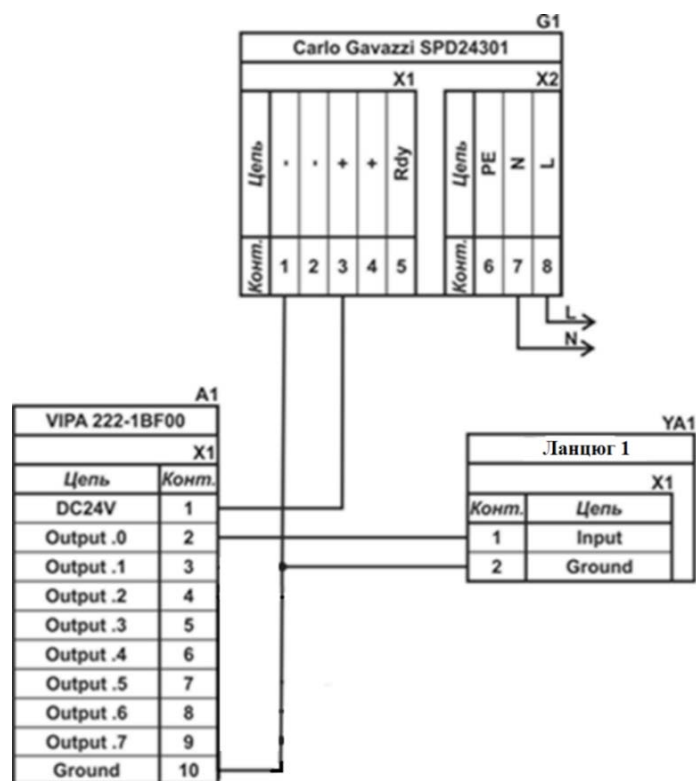


Рисунок 2.14 – Схема підключення дискретних пристроїв узгодження

Датчики контролю положення засувок за допомогою енкодерів E40H-012-2000-2-N-24 обрано функціональний модуль лічильника VIPA 250-1BA00 (рис. 2.15). Технічні характеристики модулю наведені в табл. 2.14.



Рисунок 2.15 – Функціональний модуль 250-1BS00

Таблиця 2.14 – 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

Схема підключення датчика до функціонального модуля VIPA 250-1BS00 наведена на рис. 2.16.

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 A, B та Z, що забезпечує отримання програмованим логічним контролером від лічильника кількості імпульсів енкодера, при цьому лічильник автоматично визначає напрям обертання енкодера.

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. 2.15.

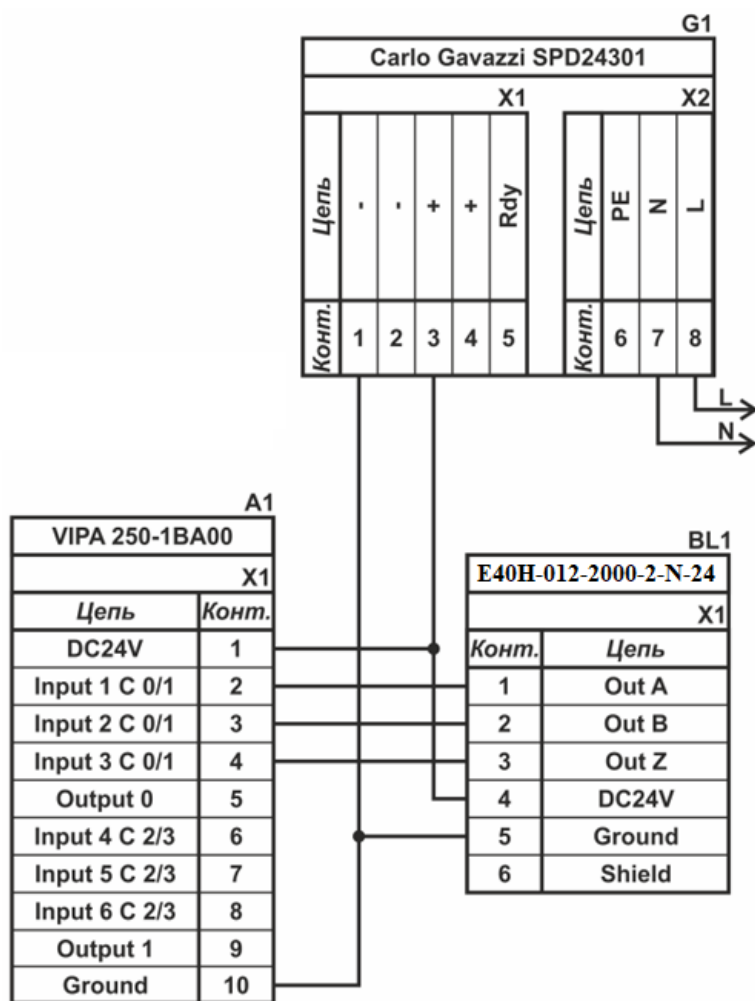


Рисунок 2.16 – Схема підключення датчика положення засувки

На підставі обраного програмованого логічного контролера та його модулів складена табл. 2.14.

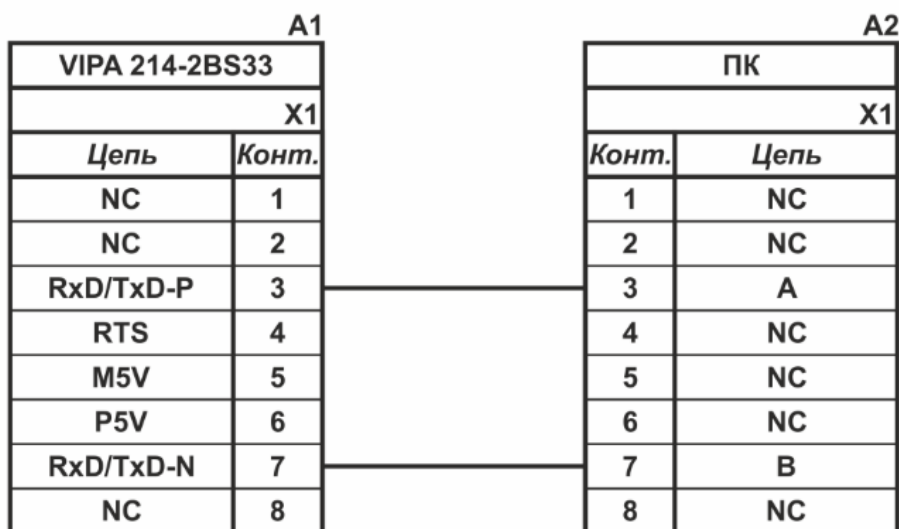


Рисунок 2.17 – Схема підключення по інтерфейсу RS-485

Таблиця 2.15 – Пристрій керування та його модулі

№	Назва модуля	Пристрій	Напруга 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
		Датчик температури парів на дефлегматор	24 В	1,0 Вт
		Датчик температури епюрату	24 В	1,0 Вт
		Датчик температури бражного дистиляту	24 В	1,0 Вт
3	VIPA 231-1BD40	Модуль аналогового вводу 2	24 В	0,6 Вт
		Датчик тиску гострої пари	24 В	1,0 Вт
		Датчик продуктивності парів на дефлегматор	24 В	1,0 Вт
		Датчик продуктивності епюрату	24 В	1,0 Вт
		Датчик спиртової концентрації епюрату	24 В	1,0 Вт
4	VIPA 250-1BS00	Функціональний модуль	24 В	2,5 Вт
		Енкодер засувки продуктивності бражного дистиляту	24 В	2,0 Вт
		Енкодер засувки продуктивності флегми	24 В	2,0 Вт
5	VIPA 250-1BS00	Функціональний модуль	24 В	2,5 Вт
		Енкодер засувки продуктивності парів на дефлегматор	24 В	2,0 Вт
6	VIPA 222-1BF00	Модуль дискретного виводу 1	24 В	2,0 Вт
		Засувка продуктивності флегми (відкриття)	24 В	1,0 Вт
		Засувка продуктивності флегми (закриття)	24 В	1,0 Вт
		Засувка продуктивності бражного дистиляту (відкриття)	24 В	1,0 Вт
		Засувка продуктивності бражного дистиляту (закриття)	24 В	1,0 Вт
		Засувка продуктивн. парів на дефлегматор (відкриття)	24 В	1,0 Вт
		Засувка продуктивн. парів на дефлегматор (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:

$$P = 5,0 + 2 * 0,6 + 2 * 2,5 + 1 * 2,0 = 13,2 \text{ Вт.} \quad (2.1)$$

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. 2.14). Технічні характеристики блока живлення наведені в табл. 2.14.



Рисунок 2.14 – Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301

Таблиця 2.14 – 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 рисунку 2.15.

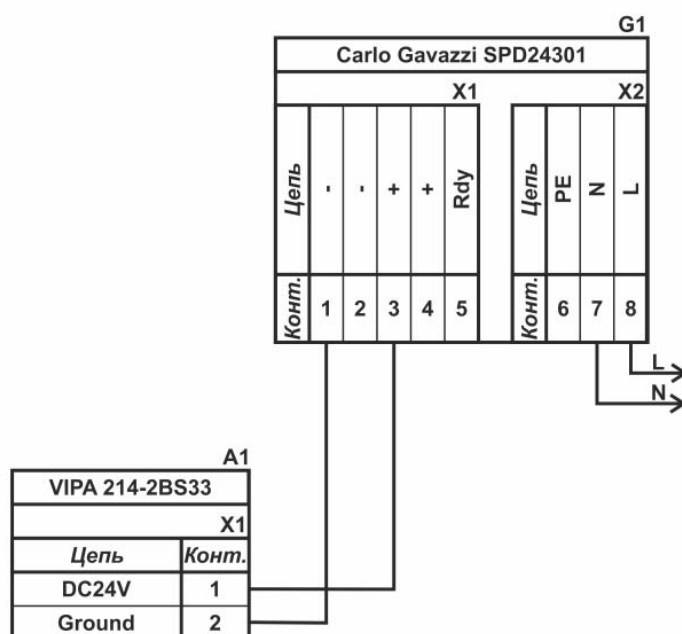


Рисунок 2.15 – Схема підключення програмованого логічного до блока живлення

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:

$$P = 7 * 1,0 + 3 * 2,0 + 6 * 1 = 19,0 \text{ Вт.} \quad (2.2)$$

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 підсистеми керування технологічним апаратом епюраційна колона BTS 1600-32 розроблена функціональна схема автоматизації, яка наведена на рисунку 2.16.

У якості пристрою керування технологічним процесом використовується програмований логічний контролер (UY 14) – VIPA 214-2BS33. Програмований логічний контролер в складі підсистеми керування підключено до АСУ ТП, за що відповідає контролер більш високого рівня (UY 15), зв'язок між ними реалізовано за допомогою інтерфейсу RS-485.

Температура парів на дефлегматор вимірюється у верхній частині колони 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 епюрату у нижній кубовій частини вимірюється 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 бражного дистилляту вимірюється за допомогою датчика температури, встановленого на трубопроводі (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.

Витрати пару на дистильатор вимірюється за допомогою датчику витрат, встановленого на трубопроводі (TE 5-1 – SITRANS F X), вимірне значення за допомогою вбудованого до датчика перетворювача (TT 5-2 – SITRANS F X) трансформується в стандартний сигнал 4...20 мА.

Витрати епюрату вимірюється за допомогою датчику витрат, встановленого на трубопроводі (TE 6-1 – SITRANS F X), вимірне значення за допомогою вбудованого до датчика перетворювача (TT 6-2 – SITRANS F X) трансформується в стандартний сигнал 4...20 мА.

Концентрація епюрату вимірюється за допомогою датчику концентрації, встановленого на трубопроводі (TE 7-1 – SITRANS F C), вимірне значення за допомогою вбудованого до датчика перетворювача (TT 7-2 – SITRANS F C) трансформується в стандартний сигнал 4...20 мА.

Регулювання продуктивності подачі флегми з дефлегматора здійснюються засувка клинвоюю ЗКЛ 15-80-01 з реверсивним керуванням за допомогою дискретних модулів - твердотільне реле (NS 8-2 - SSR-240A50) та (NS 9-2 - SSR-240A50). Ступінь відкриття / закриття засувки контролюється енкодером (GE14-1 E40H 012 2000 2 N 24) спеціалізованим перетворювачем (GT14-2 E40H 012 2000 2 N 24).

Регулювання продуктивності видачі епюрату з нижньої кубової частини здійснюються засувкою батерфляй VITECH з електроприводом BELIMO з реверсивним керуванням за допомогою дискретних модулів - твердотільне реле (NS 10-2 - SSR-240A50) та (NS 11-2 - SSR-240A50). Ступінь відкриття / закриття засувки контролюється енкодером (GE15-1 E40H 012 2000 2 N 24) спеціалізованим перетворювачем (GT15-2 E40H 012 2000 2 N 24).

Регулювання продуктивності подачі бражного дистильату здійснюються засувкою батерфляй VITECH з електроприводом BELIMO з реверсивним керуванням за допомогою дискретних модулів - твердотільне реле (NS 12-2 - SSR-240A50) та (NS 13-2 - SSR-240A50). Ступінь відкриття / закриття засувки контролюється енкодером (GE16-1 E40H 012 2000 2 N 24) спеціалізованим перетворювачем (GT16-2 E40H 012 2000 2 N 24).

На підставі отриманих первинних значень з відповідних датчиків програмований логічний контролер (UY 14 – VIPA 214-2BS33) за допомогою виконавчих пристроїв формує керуючі впливи по підтримці заданого режиму роботи епіюраційної колони.

2.4 Розробка схеми електричної принципової

На основі функціональної схеми автоматизації та обраного апаратного забезпечення розроблена схема електрична принципова системи керування технологічним апаратом епіюраційна колони BTS 1600-32 (рис. 2.17).

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 сім датчики мають уніфікований сигнал 4...20 мА 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, 4.

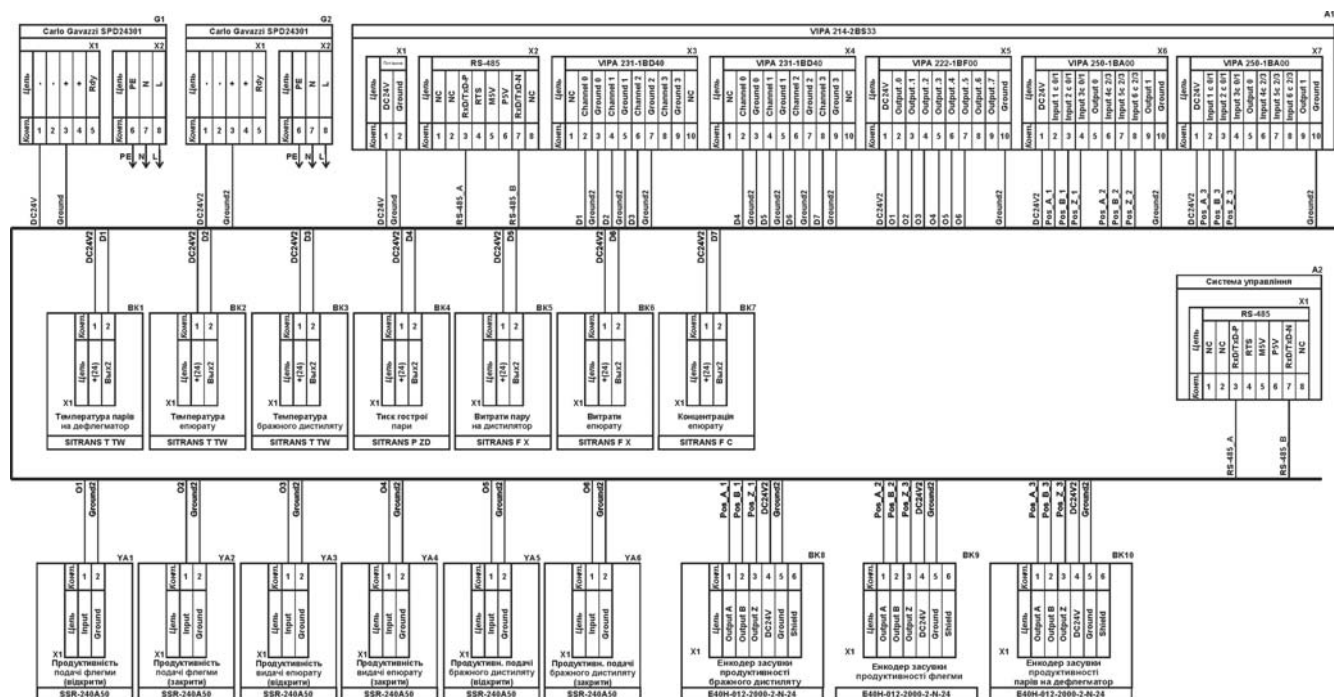


Рисунок 2.17 – Схема електрична принципова підсистеми керування

Керування усіма трьома засувками з реверсивним керуванням здійснюється за допомогою дискретних твердотільних реле (YA1...YA6) типу SSR-240A50 які підключені до дискретного модуля VIPA 231-1BF40 (A1 – X5) до каналів 0, 1, 2, 3, 4, 5), ступінь відкриття / закриття засувок контролюється енкодерами BK8...BK10 за допомогою спеціалізованих модулів A1 – X6 та X7 типу VIPA 250-1BA00.

Зв'язок між програмованим логічним контролером VIPA 214-2BS33 (A1) та АСК ТП верхнього рівня (A2) реалізовано за допомогою інтерфейсу RS-485 (A1 – X2).

2.5 Висновки за розділом

У якості об'єкта керування виступає технологічне обладнання епюраційна колона BTS 1600-32.

У цьому розділі вибрано апаратно-програмні засоби для створення системи керування технологічним обладнанням, розроблена функціональна схема автоматизації, розроблена схема принципова підсистеми керування, складено перелік елементів до схеми електричної принципової.

3 ВИЗНАЧЕННЯ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

3.1 Загальні відомості

У кваліфікаційній роботі бакалавра розглядаються питання по створенню системи керування технологічним обладнання епіюраційною колоною BTS 1600-32 технологічного процесу виробництва етилового спирту.

В епіюраційну колону на «тарілку» розташовану в середній частині вводиться сировина - бражний дистилят, концентрацією до 40 % об і початковою температурою до 80 °С). Багаторазово перетікаючи вниз з однієї «тарілки» на іншу (всього в колоні 32 решітчастих тарілки), рідина взаємодіє з теплообмінником, з джерелом теплоносія - гострим паром, який вводиться в нижню частину колони з парогенератору. Нагріта спиртовмісна рідина випаровується і піднімаючись вверх взаємодіє з бульбашками киплячої на тарілках спиртової рідини, при цьому на верхніх тарілках відділяється головна фракція – пари якої потрапляють на дефлегматор з метою очищення (видалення 3...6 % ефірних масел), а епіурат з конденсованими після дефлегматору парами збирається в нижній кубовій частині колони і відводиться через відповідний штуцер на ректифікаційну колону для подальшої переробки. Тобто найбільш летка частина пари у верхній частині апарату через штуцер вибирається і подається на дефлегматор, а повертається з дефлегматора до верхньої частини епіюраційної колони уже вигляді сконденсованої спиртової рідини з якої вже видалені найбільш леткі компоненти - ефірно-альдегідна частина. І цей процес перетікання і випаровування многократна повторюється. Концентрація епіурату становить близька 33 % об. Видалення ефірних масел - головної фракції здійснюється при температура кипіння яка перевищує температуру кипіння етилового спирту (74 °С).

Система керування має підтримувати задану температуру парів (80..86 °С) у верхній частині епіюраційної колони в залежності від витрати пари.

За технічними показниками епіюраційної колони маємо наступні показники:

- керуючий сигнал - витрати гострої пари 1,042...1,666 кг/с (номінальний тиск 6 бар).

– дійсне значення - температура парів на дефлегматор 80..86 °С.

3.2 Розробка структурної схеми інформаційних потоків дослідницької системи

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

У кваліфікаційній роботі будуть розглядатися питання по створенню системи керування для одного з каналів керування еспораційною колоною BTS 1600-32 – «витрати гострої пари - температура парів на дефлегматор». Тому нам для побудови в подальшому автоматичної системи керування, за цим обраним каналом керування, перш за все треба отримати математичну модель об'єкту керування, тобто 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 інформаційних потоків дослідницької системи, яка і наведена на рис. 3.1.

Згідно зі структурною схемою, система дослідження має формувати керуючий вплив, в якості якого виступає витрата гострої пари, яка змінюється у діапазоні 0,9...1,8 кг/с (умисно взято з невеликим запасом у обидві сторони діапазону) за рахунок чого виконується необхідні зміни значення температури парів етилового розчину, які подаються на дефлегматор. При вказаному діапазоні змін витрат гострої пари реальний діапазон керуючого сигналу становитиме 0...0,9 кг/с (0...100 %) зміни дійсного значення - температури пари на дефлегматор

очікується у межах не менше ніж 80..86 °С (реально можуть змінюватися у межах 76...90 °С).

Програмований логічний контролер виконує керування величиною витрат гострої пари завдяки електричній клиновій засувці ЗКЛ 15-80-01, яка керується реверсивними дискретними сигналами. Час повного відкриття засувки складає 30 с.

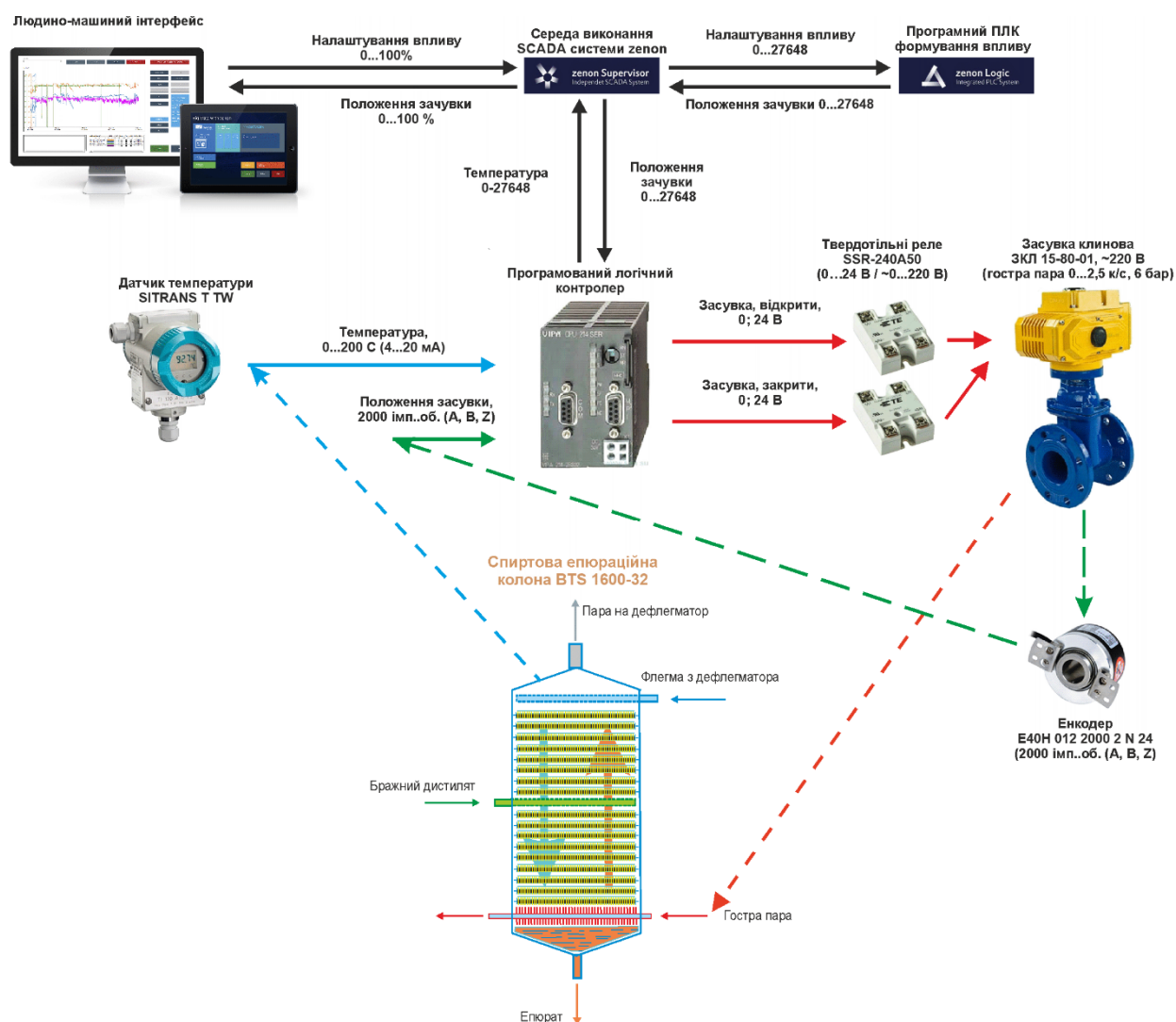


Рисунок 3.1 – Структурна схема інформаційних потоків дослідницької системи

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 також реалізується за допомогою інтерфейсу RS-485.

3.3 Розробка схеми моделі засувки

Програмований логічний контролер виконує керування величиною витрат гострої пари за допомогою електричної клинової засувки ЗКЛ 15-80-01. Тому першому етапі роботи розробимо схему моделі засувки електричної клинової ЗКЛ 15-80-01, та систему керування до неї, яка має підтримувати задану продуктивність подачі гострої пари в епюраційну колону BTS 1600-32.

З технічних параметрів засувки 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. 3.2).

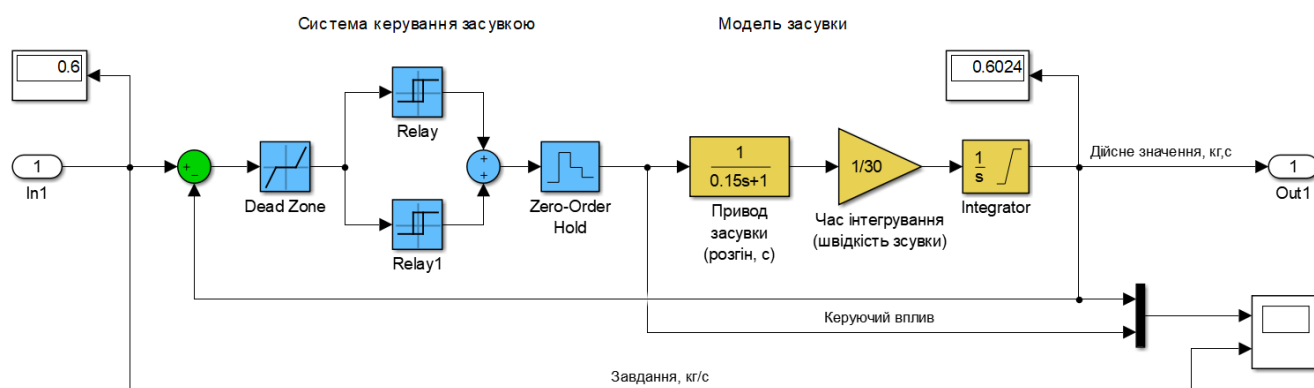


Рисунок 3.2 – Модель засувки електричної клинової ЗКЛ 15-80-01

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 – 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. 3.3.

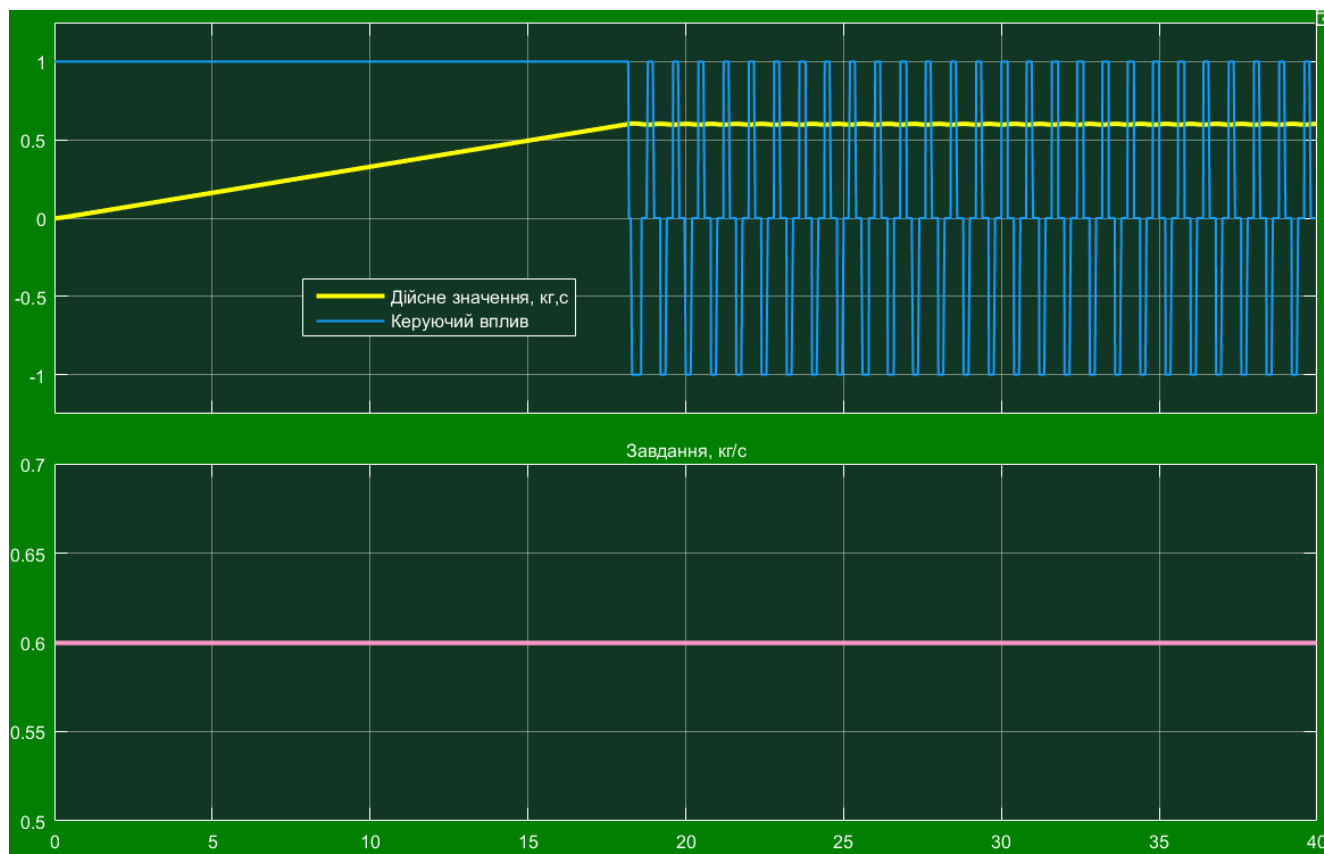


Рисунок 3.3 – Результат моделювання засувки електричної клинової ЗКЛ 15-80-01

3.4 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 перевіірочні данні. Виходячи з цього 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, дочекатися усталеного режиму дійсного значення та зафіксувати 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.

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

4.5. Зупинити процес реєстрації.

5. Отримання перевіірочних 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.

3.5 Виконання експерименту

На першому етапі проведення експерименту виконано налаштування системи дослідження таким чином, що керуючий вплив може змінюватися дискретно 0; 100 % (витрати гострої пари: 0; 0,9 кг/с), а дійсне значення може знаходитися в межах 0...100 % (температура пари на дефлегматор: 76...90 °С).

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

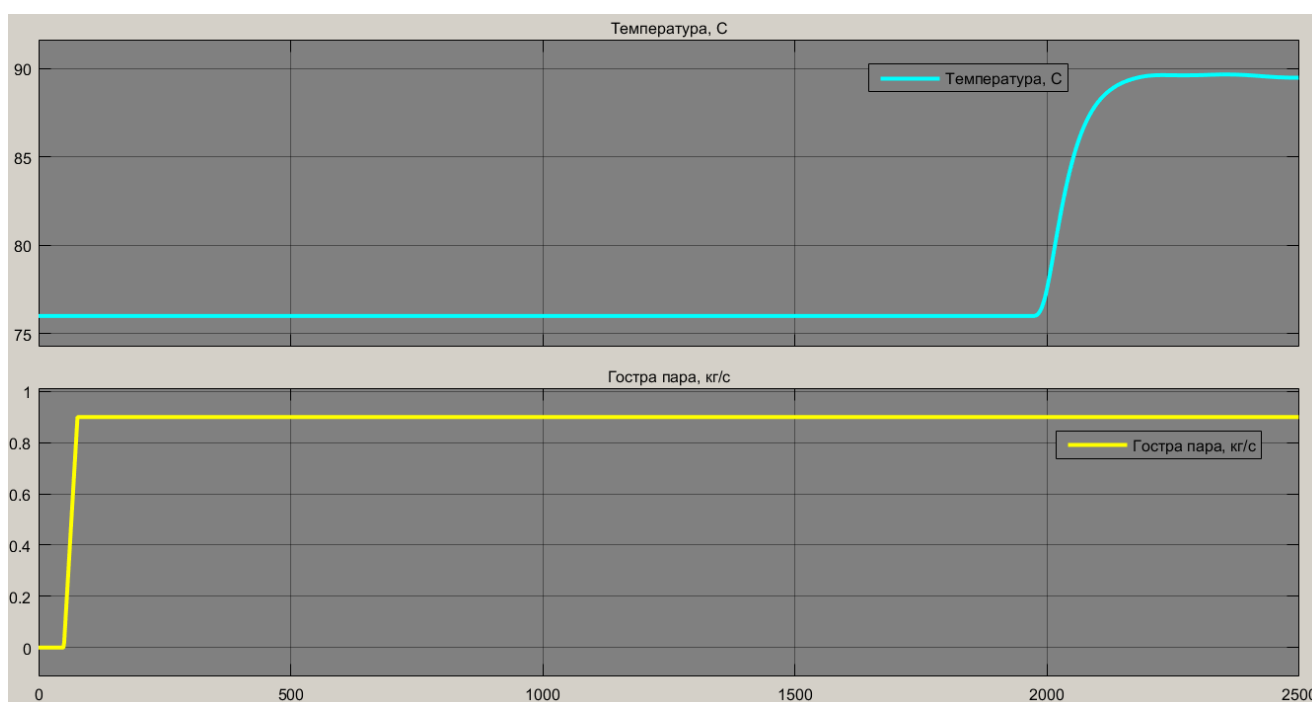


Рисунок 3.4 – Отримання динамічної характеристики

Для цього було встановлено керуючий сигнал на рівні 0 % (0 кг/с). Після досягнення усталеного режиму – температура парів 76 °С, керуючий сигнал було встановлено на рівні 100 % (0,9 кг/с), після досягнення усталеного режиму – температура парів 90 °С експеримент було закінчено.

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

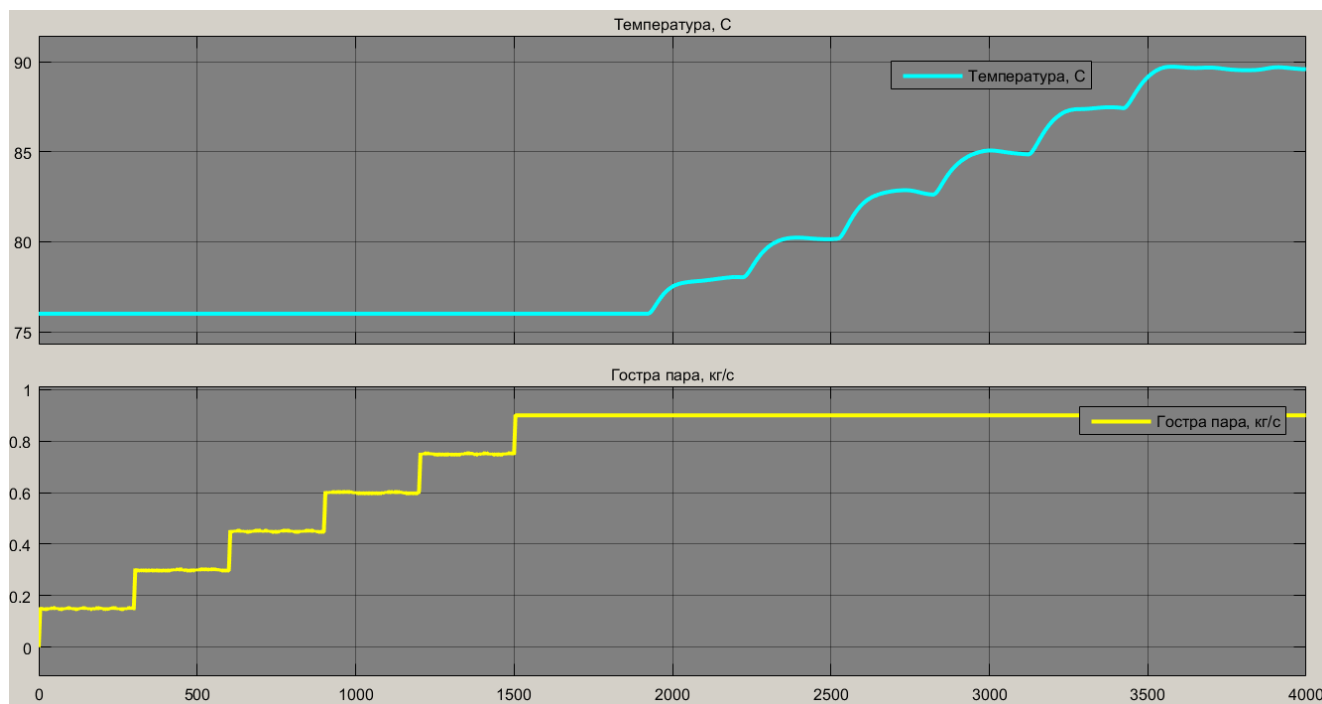


Рисунок 3.5 – Отримання даних для побудови статичної характеристики

Для цього було встановлено керуючий сигнал на рівні 0 кг/с.

Після 300 с (час перехідного процесу) керуючий сигнал було встановлено на рівні 0,15 кг/с.

Після 300 с (час перехідного процесу) керуючий сигнал було встановлено на рівні 0,30 кг/с.

Після 300 с (час перехідного процесу) керуючий сигнал було встановлено на рівні 0,45 кг/с.

Після 300 с (час перехідного процесу) керуючий сигнал було встановлено на рівні 0,60 кг/с.

Після 300 с (час перехідного процесу) у керуючий сигнал було встановлено на рівні 0,75 кг/с.

Після 300 с (час перехідного процесу) керуючий сигнал було встановлено на рівні 0,90 кг/с.

Після досягнення дійсним значенням усталеного режиму, який відповідає 100 % керуючому впливу експеримент було закінчено.

На четвертому етапі було виконано отримання даних П-образному керуючому впливі (рис. 3.6). Для цього було встановлено керуючий вплив на рівні 0 % (0,0 кг/с), після досягнення усталеного режиму дійсного значення було

встановлено керуючий вплив на рівні 100 % (0,90 кг/с), після досягнення усталеного режиму було встановлено керуючий вплив на рівні 0 % (0,0 кг/с), після досягнення усталеного режиму експеримент було закінчено.

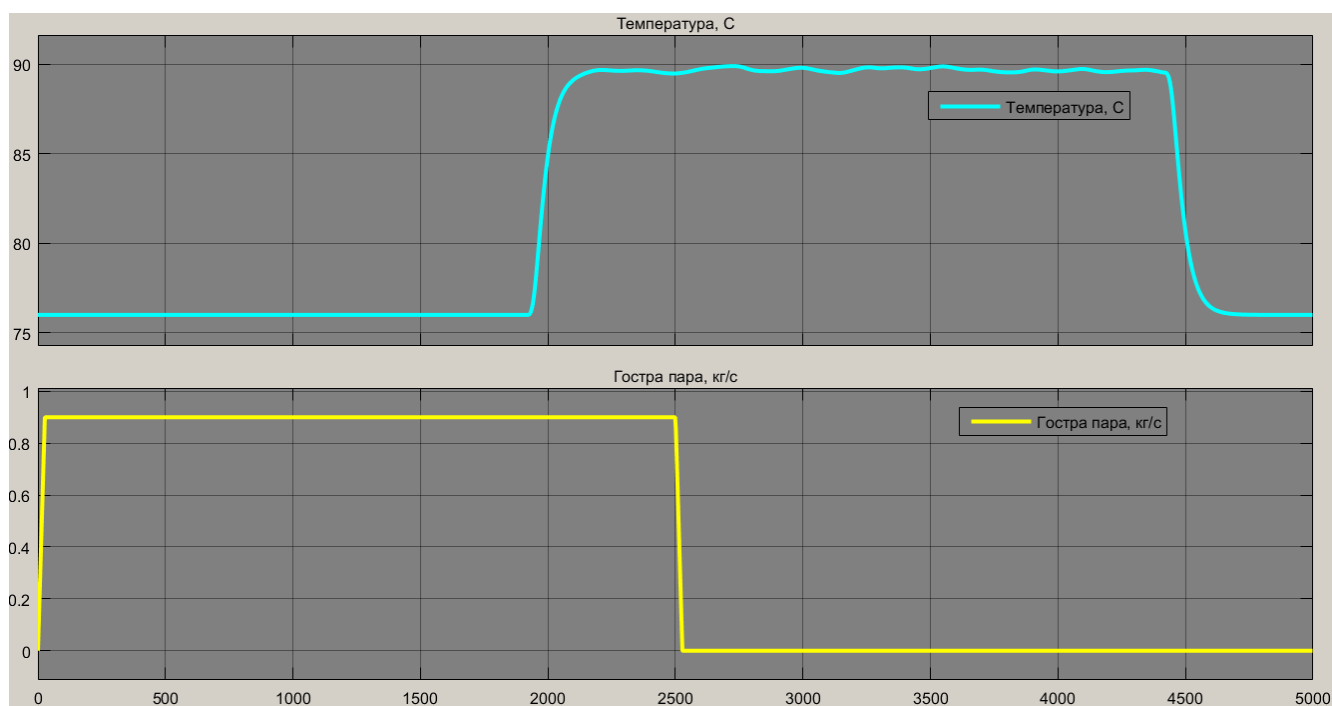


Рисунок 3.6 – Отримання даних при П-образному керуючому впливі

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

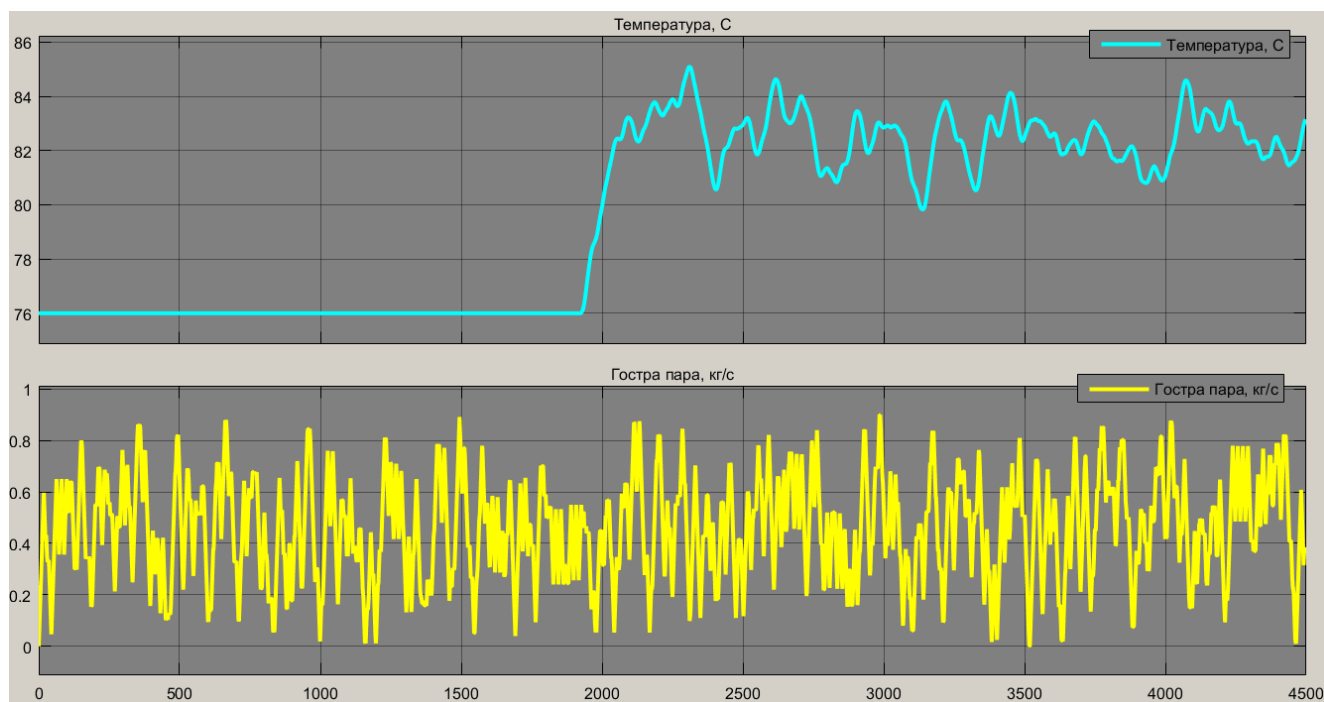


Рисунок 3.7 – Отримання перевірочних даних

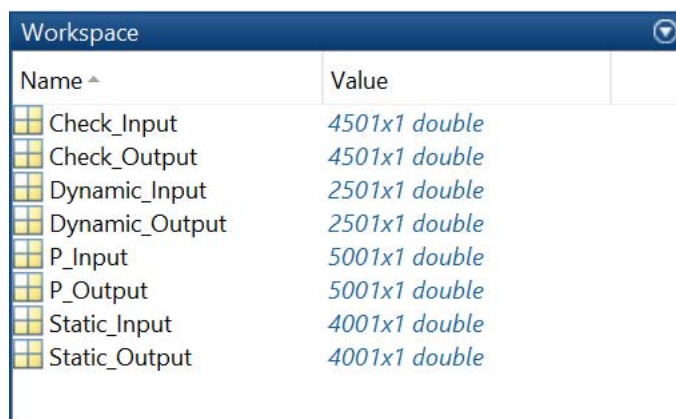
Для цього керуючий вплив було налаштовано на випадкову послідовність в діапазоні 0...100 % (0,0...0,90 кг/с), з інтервалом зміни близько 9 с (з попереднього аналізу рис. 3.4 маємо - перехідний процес близько 300 с, затримка 1 935 с, а сама реєстрація відбувалася на протязі 4 500 с.

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.

3.6 Обробка результатів експерименту

3.6.1 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	4501x1 double
Check_Output	4501x1 double
Dynamic_Input	2501x1 double
Dynamic_Output	2501x1 double
P_Input	5001x1 double
P_Output	5001x1 double
Static_Input	4001x1 double
Static_Output	4001x1 double

Рисунок 3.8 – Імпортовані данні

Змінні які відповідають даним динамічної характеристики “Dynamic_Input”, “Dynamic_Ounput”, даним для побудови статичної характеристики “Static_Input”, “Static_Ounput”, даним отриманим при П-образному керуючому впливі “P_Input”, “P_Output”, перевірочним даним “Check_Input”, “Check_Otput”. 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 показані результати з видалення статичної складової для динамічної, статичної, П-образної та перевірочної характеристик.

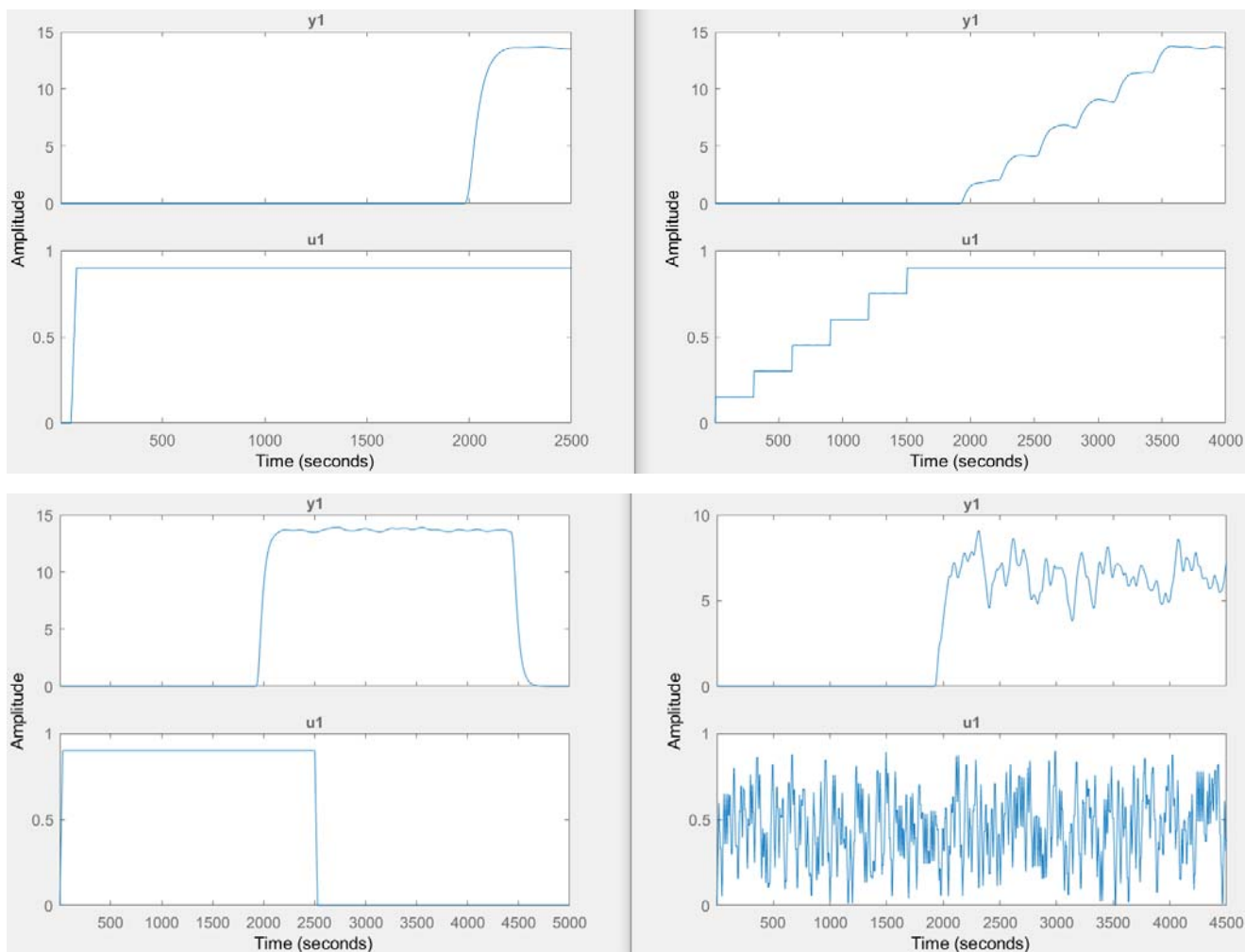


Рисунок 3.9 – Динамічна, статична, П-образна та перевірна характеристики з видаленими статичними складовими

3.6.2 Структурна ідентифікація

З метою оцінки структури моделі об'єкта керування проаналізуємо динамічну характеристику об'єкта керування (рис. 3.10).

Після подачі керуючого впливу дійсно значне змінюється зі значним запізненням, виходячи з цього можливо зробити висновок, що об'єкт володіє доволі значним запізненням (приблизно 1 935 с), це пов'язано перш за все з послідовною передачею тепла через 32 тарілки з киплячим спиртовим розчином.

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.

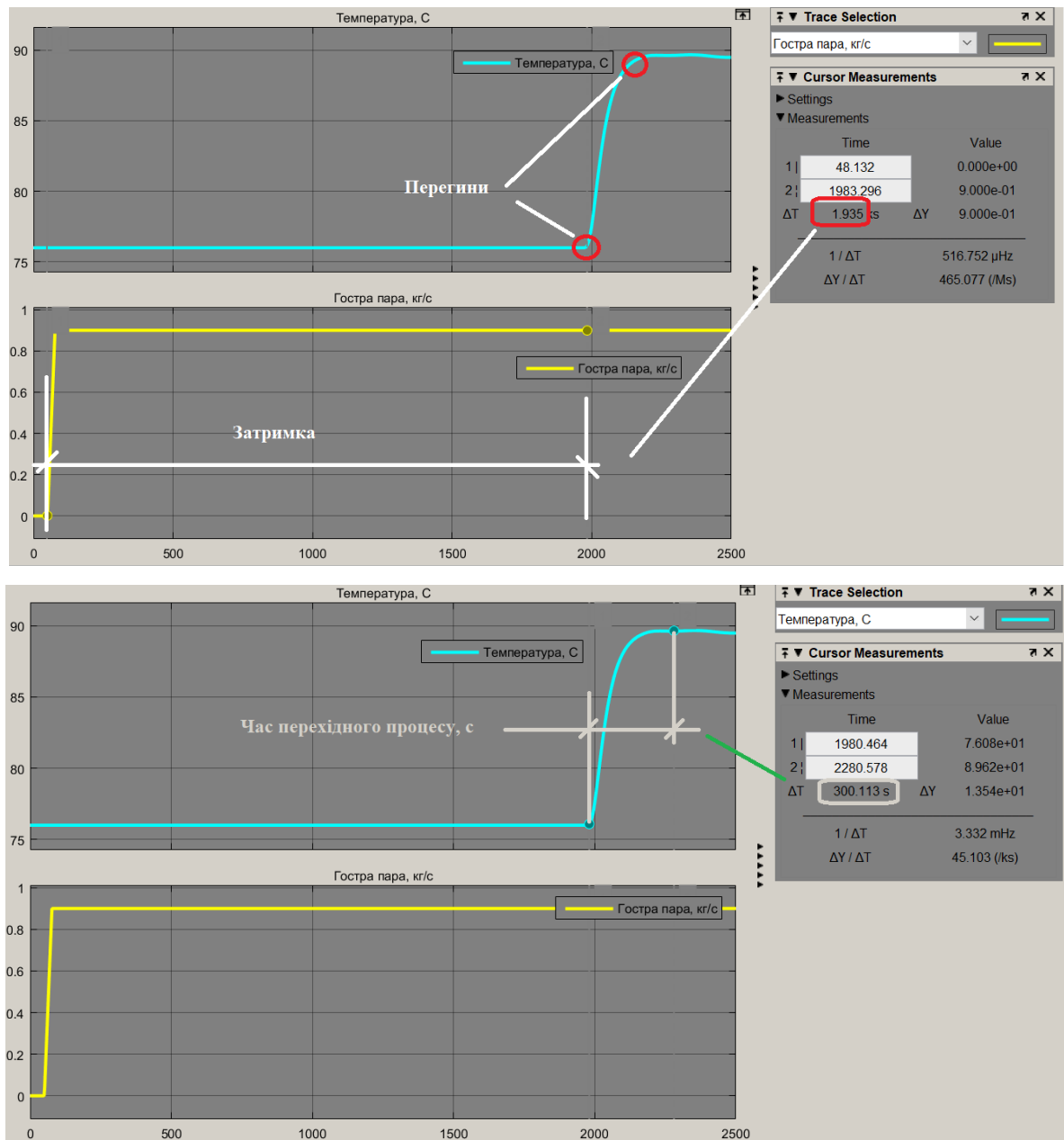


Рисунок 3.10 – Динамічна характеристика

Коефіцієнт посилення $K = (90 - 76) / 0.9 = 1,56$.

Час перехідного процесу 300 с, а постійна часу $300 / 5 = 60$ с.

Проаналізуємо об'єкт керування на лінійність для цього побудуємо його статичну характеристику (рис. 3.11).

Для перевірки статичної характеристики на лінійність розраховано коефіцієнти посилення для усіх потужностей крім нульової:

Static_Gain =
 14.6053 14.1000 14.9115 15.2341 15.2086 15.2222
 Максимальне відхилення коефіцієнту підсилення: 7.44 %

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 %.

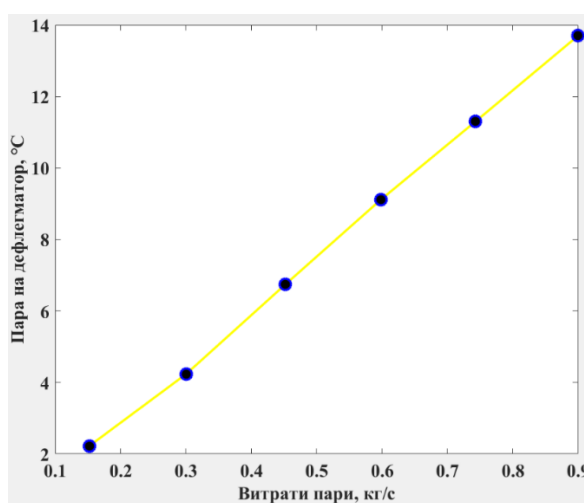
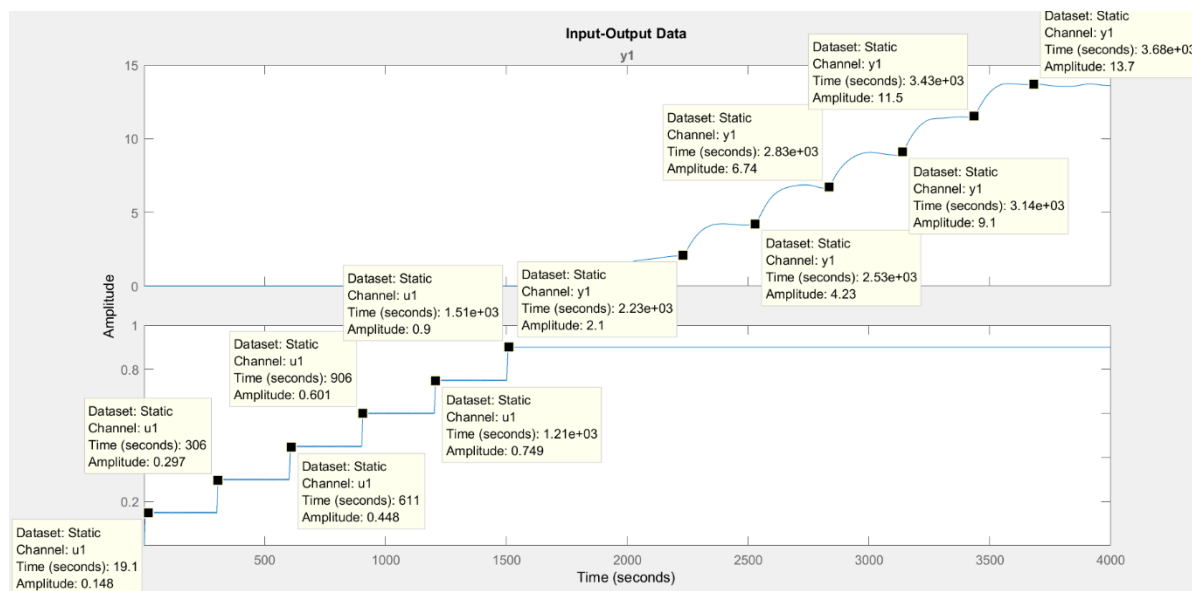


Рисунок 3.11 – Статична характеристика

Проаналізуємо характеристику отриману при П-образному керуючому впливі (рис. 3.12). Збільшення керуючого впливу з 0 % (0 кг/с) до 100 % (0,9 кг/с) приводить до відповідного збільшення дійсного значення, а зменшення керуючого впливу з 100 % (0,9 кг/с) до 0 % (0 кг/с) приводить до відповідного зменшення 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. 3.12).

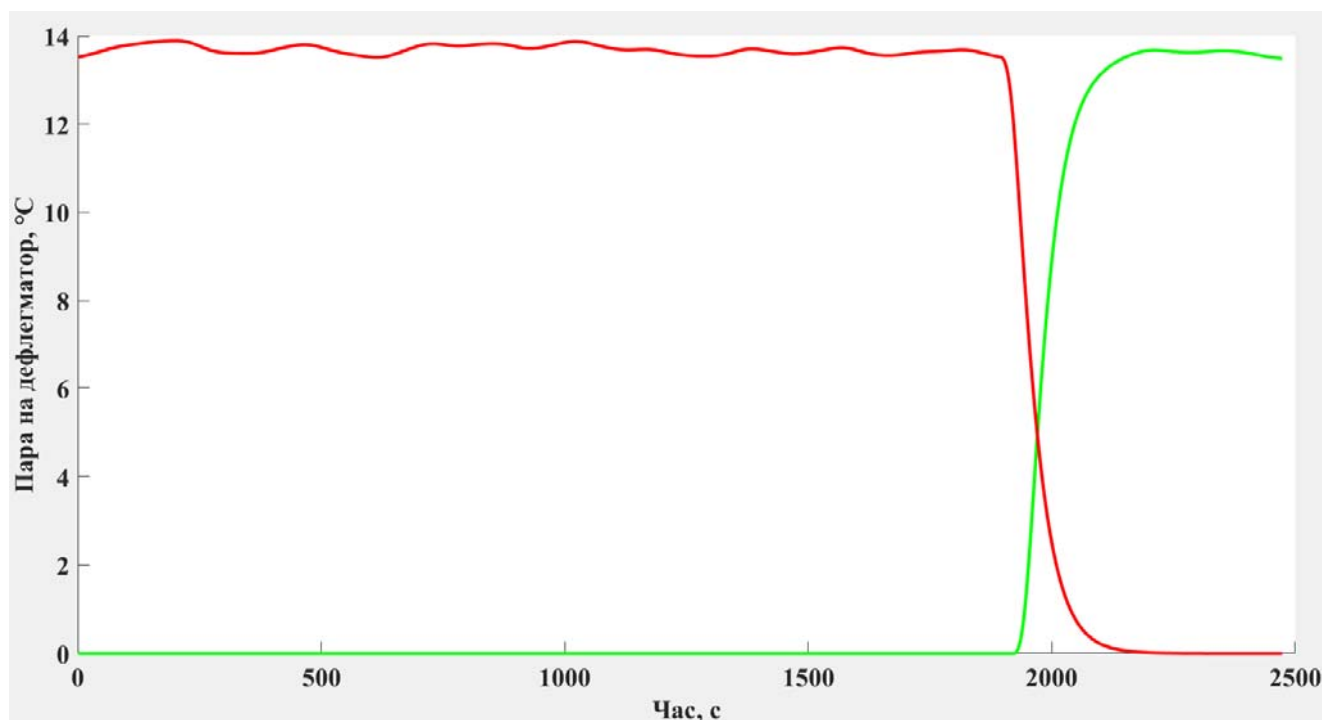


Рисунок 3.12 – Аналіз симетричності характеристика при П-образному керуючому впливі

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

Порівняння ділянок підйому та спаду: 2.82 %

За отриманою П-характеристикою при аналізі симетричності середнє квадратичне відхилення менше ніж величина технічної похибки 10 %. Тобто можна стверджувати, що час перехідного процесу, форма та стандартне 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.

3.6.3 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. 3.13) 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. 3.14.

Перевірка результатів розрахунків наведена на рис. 3.14 та в табл. 3.1.

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

Параметри ідентифікації за методом Process Models P1D:

```
P1D =
Process model with transfer function:
      Kp
G(s) = ----- * exp(-Td*s)
      1+Tp1*s

      Kp = 15.168 +/- 0.0089235
      Tp1 = 47.14 +/- 0.1694
      Td = 1935
```

```
Fit to estimation data: 98.65%
FPE: 0.004726, MSE: 0.004719
```

Параметри ідентифікації за методом Process Models P2D:

```
P2D =
Process model with transfer function:
      Kp
G(s) = ----- * exp(-Td*s)
```

$$(1+T_{p1}s) (1+T_{p2}s)$$

$$\begin{aligned} K_p &= 15.133 \pm 0.0036229 \\ T_{p1} &= 40.061 \pm 0.26633 \\ T_{p2} &= 20.266 \pm 0.23229 \\ T_d &= 1920 \end{aligned}$$

Fit to estimation data: 99.48%
FPE: 0.0007126, MSE: 0.0007098

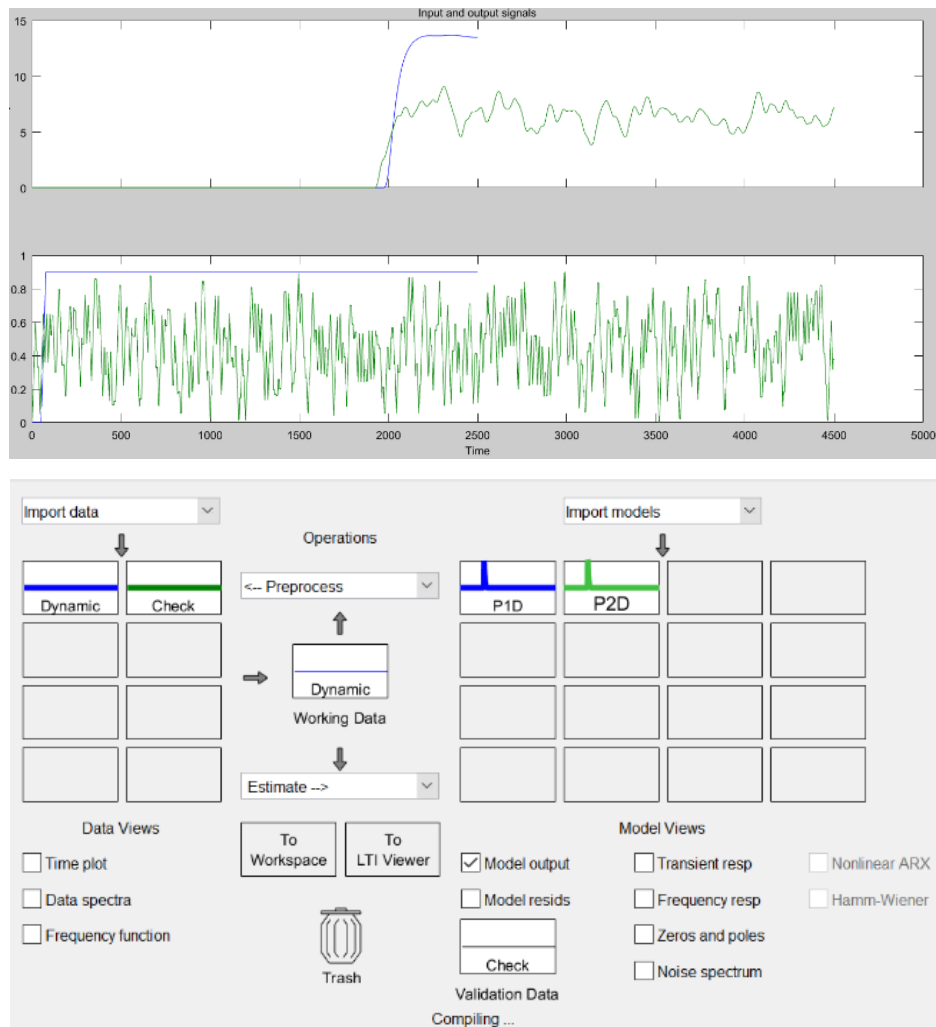


Рисунок 3.13 – Налаштування System Identification Toolbox

За допомогою «Model output» показана відповідність отриманих моделей P1D та P2D до перевірочних даних отриманих на об'єкті керування Check наведена на рис. 3.14 та представлена у табл. 3.1.

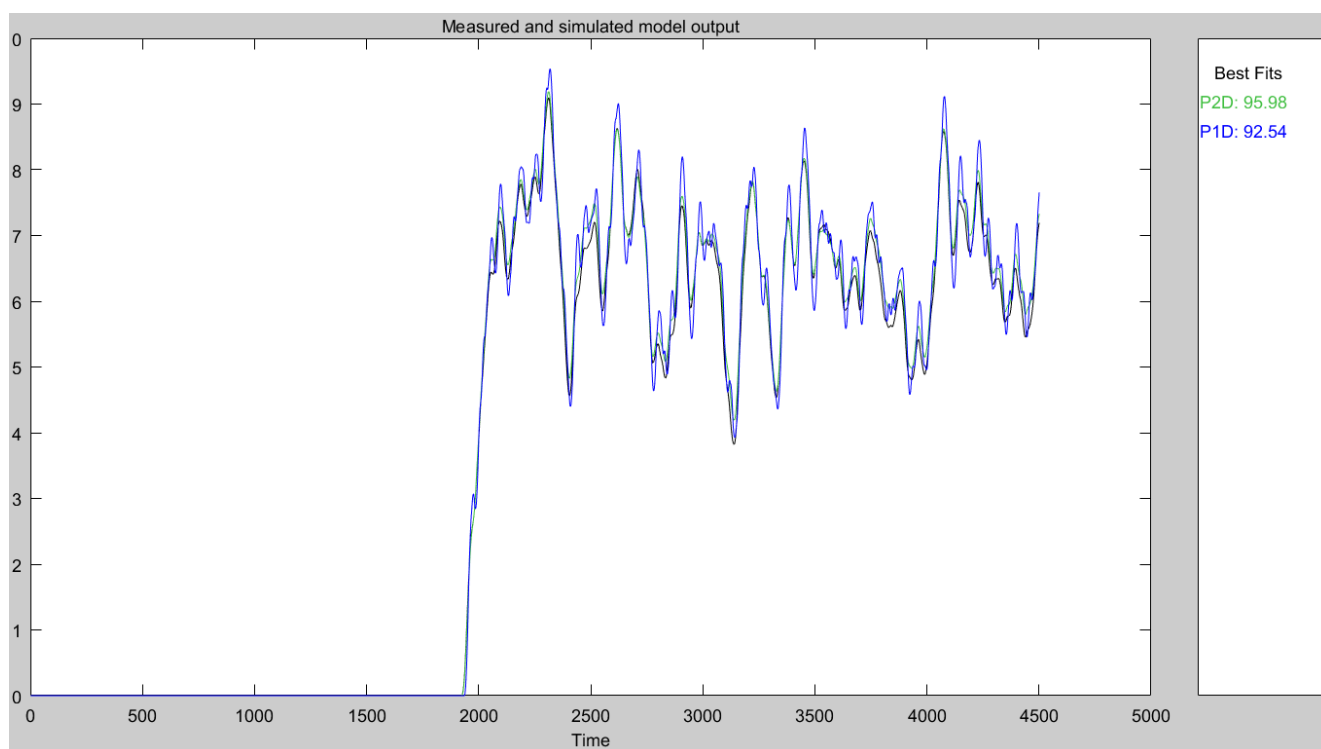


Рисунок 3.14 – Перевірка результатів розрахунків

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

Назва параметру	P1D	P2D
k	15,168	15,133
T_1, c	47,14	40,061
T_2, c	-	20,266
τ	1935,0	1920,0
НСКП, %	98,65	99,48
ПОП	0,004726	0,0007126
СКП	0,004719	0,0007098
НСКП, %	92,54	95,95

Аналіз відмінностей між оцінками моделей P1D – другого порядку з затримкою та P2D – другого порядку з затримкою по динамічній характеристиці показав, що за нормалізованим середньоквадратичним похибкам (НСКП), краще всього підходять модель P2D (98,34 %), помилка остаточного передбачення (ПОП) для P1D у $0,004726 / 0,0007126 \approx 6,6$ разів більша ніж у P2D.

Головним показником, який впливає на остаточний вибір між цими моделями є розбіжність у відповідності за перевірочними даними, найкращий показник має модель P2D з показником НСКП відповідності за перевірочними даними у 95,95 %.

Виходячи з усього, що наведено вище можна стверджувати, що обрана модель P2D має достатню відповідність до перевірочних даних, яка значно більше ніж граничне неприпустиме значення у 80 %.

Для параметричної перевірки обраної моделі (рис. 3.8) можна звернути увагу на наступне, що за динамічною характеристикою час перехідного процесу складає близько біля ~ 300 с, постійна часу 60 с, затримка близько 1 935 с. Для отриманої моделі другого порядку постійна часу становить $40,1 + 20,2 = 60,4$ с, а затримка 1 920,0 с, що додатково підтверджує, що об'єкту керування дійсно краще всього відповідає обрана модель P2D - аперіодична ланка другого порядку з запізненням.

За результатами параметричної ідентифікації отримана модель у вигляді передавальної функції, яка відповідає об'єкту керування за перевірочними даними на 96 % (табл. 3.1):

$$W(s) = \frac{15,1 \cdot e^{-1920,0s}}{(40,1s + 1) \cdot (20,3s + 1)} \quad (3.2)$$

3.6.4 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. 3.15).

При налаштуванні час моделювання задано 4 500 с, що дорівнює кількості перевірочних даних. Додані блоки запису перевірочних даних та результатів моделювання до змінних Object і Model відповідно. Крок запису задано 1 секунда, що відповідає первинним даним. На виході додано статичний зсув характеристики 76, який є корегує вихідну характеристику відповідно до реальних даних, отриманих з об'єкту керування: витрати пари на вході 0,9...1,8 гк/с (керуючий вплив 0...100 %), температура на виході: 76...90 С (дійсне значення).

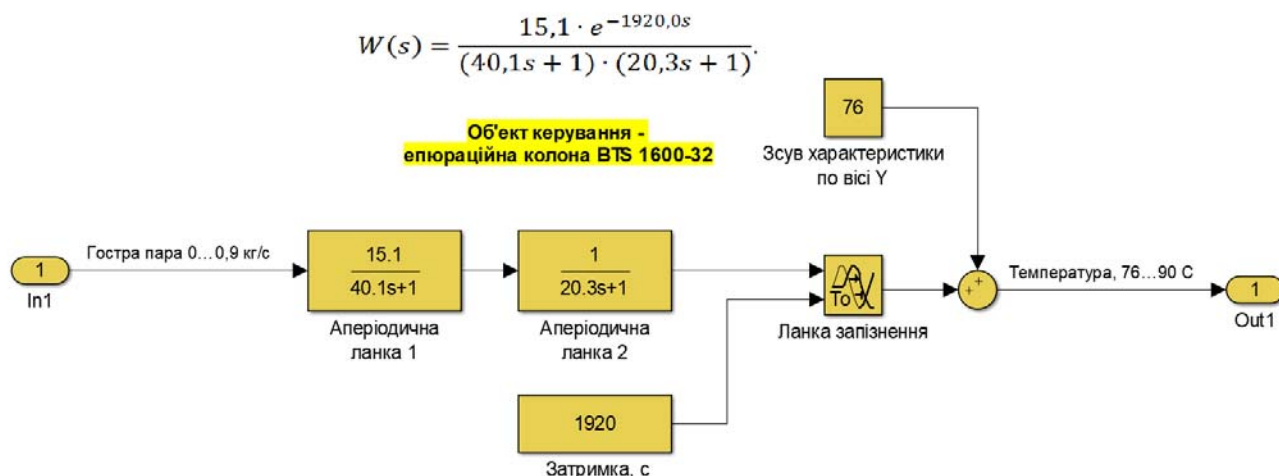


Рисунок 3.15 – Модель об'єкту керування

На рисунку 3.16 показана модель отримання даних для перевірки на адекватність. На вихід моделі P2D доданий статичний зсув, який відповідає за початкове значення дійсного сигналу – температурі 76 °С (пара на дефлегматор) при початковому вхідному сигналі 0 % (0,9 кг/с – мінімально можливі витрати гострої пари, обмежені параметрами технологічного процесу).

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

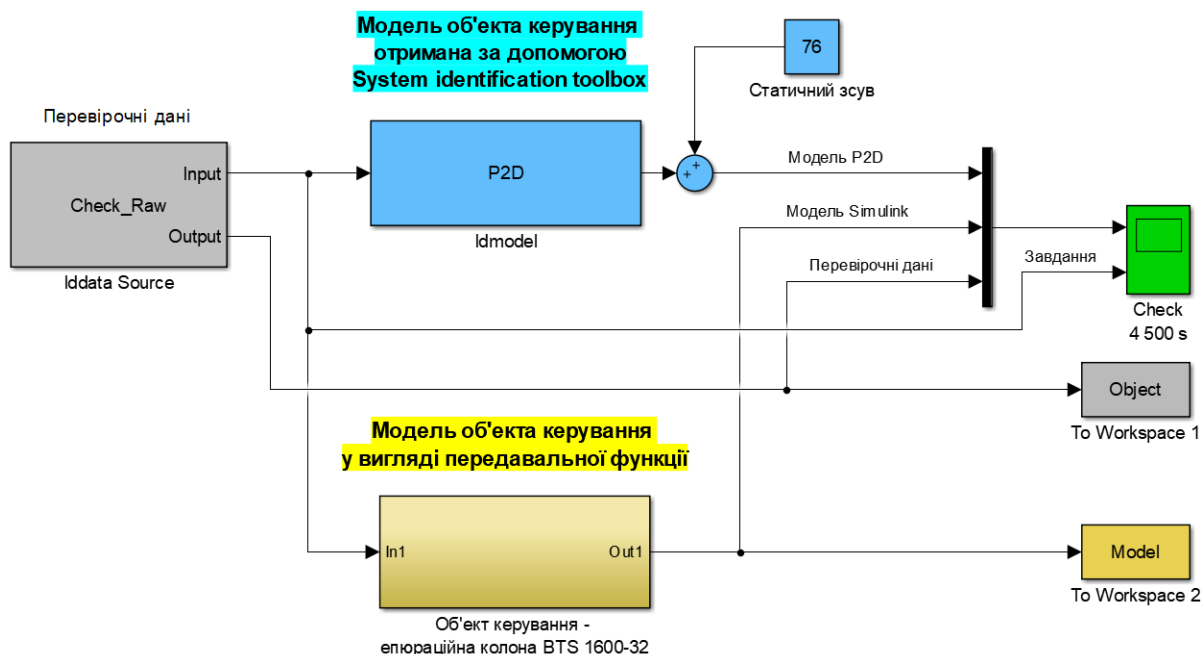


Рисунок 3.16 – Модель отримання даних для перевірки на адекватність

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).

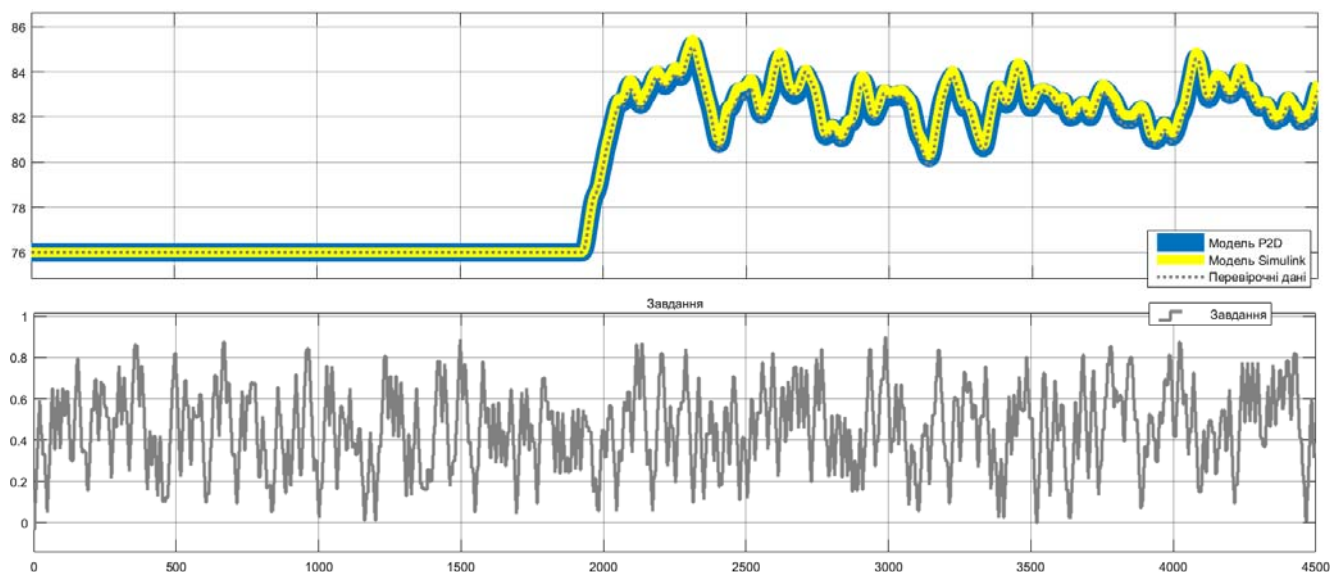


Рисунок 3.17 - Результат отримання даних для перевірки на адекватність
Наступним етапом є перевірка моделі на адекватність.

3.6.5 Перевірка моделі на адекватність

При перевірці на відповідність її значення у більшості випадків повинно 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: 1.000
Статистичний критерій Фішера: 6601775.790
Критичне значення статистики Фішера: 2.707
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 6601775,79 більший критичного значення 2.707, 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 та може бути використана у подальшому при синтезі системи керування в умовах досліджуваного технологічного процесу.

Остаточна модель об'єкта керування у графічному середовищі імітаційного моделювання Simulink наведена на рис. 3.15, схема моделювання динамічної характеристики наведена на рис. 3.18, а результат моделювання динамічної характеристики об'єкта керування наведено на рис. 3.19.

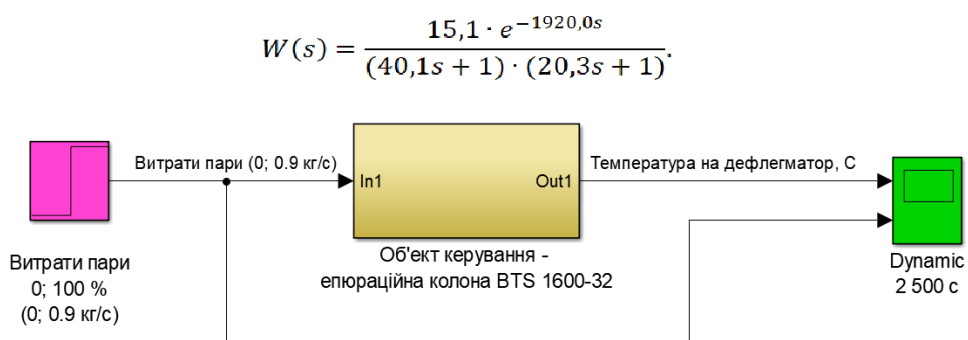


Рисунок 3.18 - Модель об'єкта керування

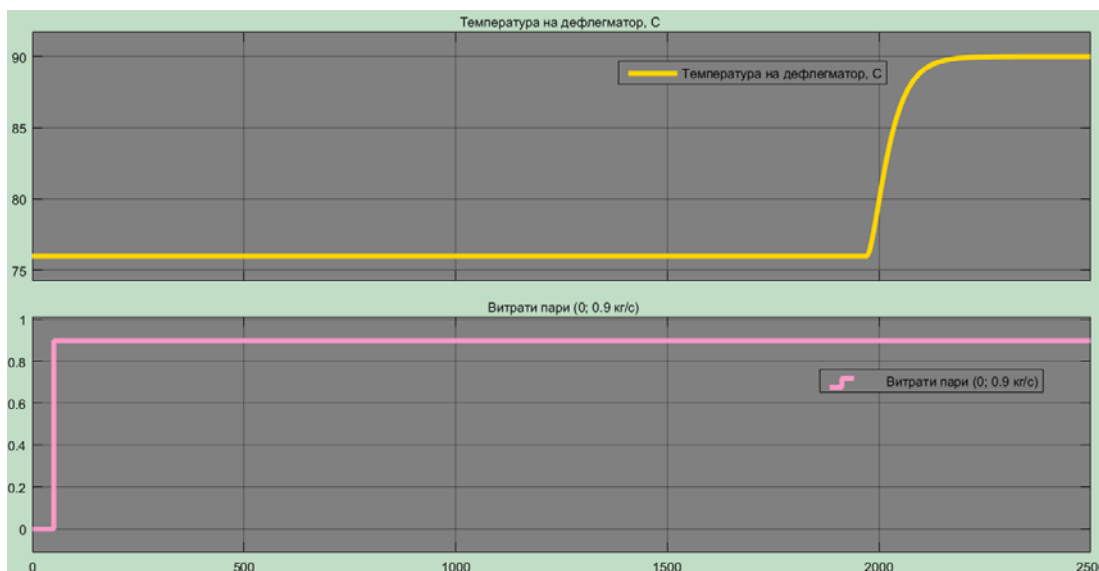


Рисунок 3.19 - Результат моделювання динамічної характеристики об'єкта керування

3.7 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 другого з запізненням.

За результатами параметричної ідентифікації встановлено, що структура моделі об'єкта керування відповідає аперіодичній ланці другого порядку з запізненням та розраховані параметрами моделі: коефіцієнт підсилення 15,1 і постійні часу 40,1 с та 20,3 с, а запізнення становить 1920 с.

Комплексна перевірка на адекватність моделі до об'єкта керування за перевірочними даними об'єкта керування показала високу відповідність у 96 %, сильний кореляційний зв'язок 1,0 та статистичний критерій Фішера 6601776 значно більшу критичного значення 2,707. Велике значення статичного критерію адекватності Фішера обумовлено великою кількістю вибірових даних та одиничним значенням коефіцієнта кореляції.

Враховуючи аналіз технологічного процесу, структури об'єкта керування, характеристик отриманих за результатами експериментів, результатів структурної та параметричної ідентифікації та статистичного аналізу модель є адекватною до об'єкта керування епюраційною колоною BTS 1600-32 технологічного процесу виробництва етилового спирту.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Техніко-економічне обґрунтування впровадження системи керування

У кваліфікаційній роботі бакалавра розглянемо економічні показники розробки системи керування епюраційною колоною BTS 1600-32 яка входить до складу технологічного обладнання з виготовленням етилового спирту на Гнідавському біоетанольному заводі.

Епюраційна колона являє собою пластинчастий колонний апарат (рис. 1.4), призначений для виробництва етилового спирту. У епюрацій колоні потоки сирого спирту поділяються на високо-леткі спирти (ефірні масла) і епюрат для подачі у ректифікаційну колону.

Система керування наступні переваги:

- підвищення інформативності керування підприємством;
- підвищення надійності роботи обладнання;
- підвищення безпеки праці;
- обміну інформації з іншими виробничими системами.

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.;

$D_{ТР}$ – транспортно-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 таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Зведення капітальних витрат C_{OB} [5...12]

№	Найменування	Одиниці виміру	Кількість	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.	2	23 710,50	47 421,00
5	Система керування, виконана на базі ПК	од.	1	42 335,80	42 335,80
6	Датчик температура SITRANS T TW	од.	3	42 298,76	126 896,28
7	Датчики тиску SITRANS P ZD	од.	1	39 340,00	39 340,00
8	Датчик витрати SITRANS F X	од.	2	47 570,00	95 140,00
9	Датчик концентрації SITRANS F C	од.	1	61 023,00	61 023,00
10	Реле твердотільне SSR-240A50	од.	6	1 276,00	7 656,00
11	Енкодер E40H 012 2000 2 N 24	од.	3	23 871,00	71 613,00
12	Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301	од.	2	2 200,00	4 400,00
13	Шафа монтажна	од.	1	4 000,00	4 000,00
14	Монтажні дроти	м	40	8,50	340,00
15	Мережний кабель	м	100	22,00	2 200,00
16	Засувка клинова ЗКЛ 15-80-01	од.	1	22 000,00	22 000,00
17	Засувка поворотна Батерфляй VITECH BELIMO Ду80	од.	1	16 800,00	16 800,00
18	Програмне забезпечення	разом	1	80 000,00	80 000,00
	Разом				600 178,38

Вартість основного та допоміжного обладнання складає $C_{OB} = 600\,178,38$ грн.

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

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

Витрати на транспортно-заготівельні і складські роботи складають:

$$D_{TP} = 600\,178,38 \cdot 0,08 = 48\,014,28 \text{ (грн.)}.$$

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

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

Витрати на монтажні-налагоджувальні роботи складають:

$$M_{MH} = 600\,178,38 \cdot 0,07 = 42\,012,49 \text{ (грн.)}.$$

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_{OT} – 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 300... 500, приймаємо $q = 435$);

c – коефіцієнт складності програми (приймаємо $c = 1,45$);

p – коефіцієнт корекції програми в процесі її обробки (приймаємо $p = 0,1$).

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$Q = 435 \cdot 1,45 \cdot (1 + 0,1) \approx 694$$

Витрат 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 (приймаємо $B = 1,7$);

k – коефіцієнт кваліфікації програміста (приймаємо $k = 1,3$).

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_u = 694 \cdot 1,7 / (80 \cdot 1,3) \approx 12 \text{ (люд.-год.)}.$$

Витрати на розробку алгоритму керування визначаються як:

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

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_a = 694 / (20 * 1,3) \approx 27 \text{ (люд. – год.)}.$$

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

$$t_n = \frac{Q}{(20 \dots 25) \cdot k}. \quad (4.8)$$

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_n = 694 / (20 * 1,3) \approx 27 \text{ (люд. – год.)}.$$

Витрати праці на налаштування програми розраховуються як:

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

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_n = 694 / (4 * 1,3) \approx 134 \text{ (люд. – год.)}.$$

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:

$$t_{др} = 694 / (15 * 1,3) \approx 36 \text{ (люд. – год.)}.$$

Трудомісткість редагування, друку та оформлення документації визначається як:

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

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_{до} = 0,75 * 36 = 27 \text{ (люд. – год.)}.$$

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

$$t_g = 36 + 27 = 63 \text{ (люд. – год.)}$$

Таким чином трудомісткість розробки програмного забезпечення становить:

$$t = 64 + 12 + 27 + 27 + 134 + 63 = 327 \text{ (люд. – год.)}$$

4.3.2 Розрахунок витрат на розробку програмного забезпечення

Витрати на розробку ПЗ визначається 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 $C_{ПР} = 120$ грн./год.).

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$Z_{ЗП} = 327 \cdot 120 = 39\,240,00 \text{ грн.},$$

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 $C_{МЧ} = 15,5$ грн./год.).

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$Z_{МІ} = 27 \cdot 15,5 = 418,5 \text{ грн.}$$

Витрати на розробку програмного забезпечення системи керування становлять:

$$K_{ПЗ} = 39\,240,00 + 418,5 = 39\,658,50 \text{ грн.}$$

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.)).

$$T = \frac{327}{1 * 176} = 1,86 \approx 2,0 \text{ (міс.)}.$$

Таким чином проектні капітальні витрати:

$$K_{ПКВ} = 600\,178,38 + 48\,014,28 + 42\,012,49 + 39\,658,50 \approx \\ \approx 729\,863,65 \text{ грн.}$$

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 проектованої системи керування складає:

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

Сума амортизації для проектованої і базової системи становить:

$$C_a = 592\,974,54 \cdot \frac{40}{100} = 237\,189,82 \text{ грн.}$$

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, 1 інженер-технолог та 1 наладчик електроустаткування у зміну. Процес безперервний – 3 зміни на добу.

Розрахунок річного фонду заробітної плати виробничих робітників здійснюється у відповідності з формою, наведеною в таблиці 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 робочого часу (год.)	Пряма заробітна плата, грн.	Додаткова заробітна плата (8%), грн.	Доплати (7%), грн.	Всього заробітна плата, грн.
1	Оператор НМІ	3	109	1 840	601 680,00	48 134,40	42 117,60	691 932,00
2	Інженер-технолог	3	125	1 840	690 000,00	55 200,00	48 300,00	793 500,00
3	Наладчик	3	95	1 840	524 400,00	41 952,00	36 708,00	603 060,00
Разом								2 088 492,00

Заробітна плата персоналу проектної системи керування

$$C_3 = 2\,088\,492,00 \text{ грн.}$$

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:

$$C_c = 0,22 * 2\,088\,492,00 = 459\,468,24 \text{ грн.}$$

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:

$$C_{PO} = 0,05 * 729\,863,65 = 36\,493,19 \text{ грн.}$$

4.4.5 Витрати на електроенергію

Вартість електроенергії, споживаної системою керування, розробленої у проекті:

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

де K_e – кількість електроенергії, спожите проектною системою керування (приймаємо $K_e = 0,8$ (кВт · год.));

T_3 – кількість часу роботи за сутки ($T_3 = 24$ (год.));

$K_{pд}$ – кількість робочих днів у році ($K_{pд} = 365$ (день));

T_e – тариф на електроенергію для підприємств (для користувачів електроенергії 2 класу тариф складає 2,26 грн·кВт без ПДВ, з урахуванням ПДВ тариф $T_e = 2,712$ (грн.)).

Таким чином вартість електроенергії становить:

$$C_{ee} = 0,8 * 365 * 24 * 2,712 = 19\,005,70 \text{ грн.}$$

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:

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

Таким чином інші витрати становлять:

$$C_{інш} = 0,04 * 2\,088\,492,00 = 83\,539,68 \text{ грн.}$$

Річні експлуатаційні витрати становлять (4.17), (табл. 4.3):

$$C = 237\,189,82 + 2\,088\,492,00 + 459\,468,24 + 36\,493,19 + 19\,005,70 + 83\,539,68 = 2\,924\,188,63 \text{ грн.}$$

Таблиця 4.4 – Експлуатаційні витрати

№ п/п	Назва показника	Проектний варіант, грн.
1	Амортизація	237 189,82
2	Фонд заробітної плати	2 088 492,00
3	Відрахування на соціальні виплати	459 468,24
4	Ремонт та технічне обслуговування	36 493,19
5	Електроенергія	19 005,70
6	Інше	83 539,68
7	Загалом	2 924 188,63

4.5 Висновки за розділом

При впровадженні проекрованої системи капітальні витрати складають 0,73 млн. грн., час розробки ПЗ становитиме 2 місяці.

Річні експлуатаційні витрати, пов'язані з впровадженням системи становитимуть трохи менше 3 млн. грн.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Аналіз шкідливих та небезпечних факторів при виготовленні спирту

Один з об'єктів проектування у виробництві є ректифікаційна колона, яка призначена для очищення бражного дистилляту від головних домішок, таких як ефіроальдегідна фракція (головна домішка), сивушне масло і сивушний спирт (хвостові домішки).

Ректифікаційна колона має форму циліндра, процес в колоні відбувається таким чином, що концентровані пари спирту піднімаються вгору по колоні, тоді як сконденсована рідина спускається вниз. Ректифікаційна колона не містить рухомих частин та не створює вібрацій під час роботи.

У процесі роботи ректифікаційної колони здійснюється відбір різних компонентів, зокрема епюрату, ефіроальдегідної фракції (головної домішки), сивушного масла і сивушного спирту (хвостових домішок). Цей відбір допомагає отримати чистий спирт шляхом видалення небажаних речовин.

Основною складовою речовини спирту є етанол, який є токсичною речовиною наркотичного характеру. За ступенем дії на організм людини він відноситься до четвертого класу небезпечних речовин. Гранично допустима концентрація (ГДК) пари етанолу в повітрі робочої зони виробничих приміщень складає $1\ 000\ \text{мг/м}^3$, згідно з чинною нормативною документацією.

У разі потрапляння спирту на слизові оболонки необхідно промити їх великою кількістю води та негайно звернутися до медичного закладу. У випадку контакту спирту зі шкірою, слід змити його водою з мийним засобом, діючи відповідно до чинних нормативних документів.

Якщо спирт потрапив у шлунок, рекомендується спровокувати блювання та промити шлунок.

Етанол є легкозаймистою прозорою рідиною, а колір полум'я під час його горіння є блакитним. Продукти згоряння етанолу є нетоксичними і складаються з пари води і діоксиду вуглецю.

Таблиця 5.1 – Позначки шкідливих та небезпечних факторів при виготовленні спирту

Позначення	Небезпека	Значення	опис
	 Здоров'я	2	Може призвести до тимчасової втрати працездатності або залишкової травми.
	 Горючість	3	Може запалюватися майже за будь-яких температурних умов навколишнього середовища.
	 Нестабільність	0	Зазвичай стабільний навіть в умовах пожежі.
	 Особливий		



Рисунок 5.1 – Пожежа при виробництві етанолу

Основні характеристики пожежної та вибухонебезпеки етанолу, згідно з [1]:

- температура спалаху в закритому тиглі становить плюс 13 °С;
- температура самозаймання становить плюс 404 °С;
- концентраційні межі поширення полум'я насиченої пари у повітрі: нижня межа - 3,6 % об'єму, верхня межа - 19,0 % об'єму при тиску 101,3 кПа (760 мм рт. ст.);
- температурні межі поширення полум'я насиченої пари у повітрі: нижня межа - плюс 11 °С, верхня межа - плюс 41 °С при тиску 101,3 кПа (760 мм рт. ст.);
- суміш пари з повітрям є вибухонебезпечною. Максимальний тиск вибуху в закритому об'ємі становить 682 кПа, швидкість вигорання складає $3,7 \times 10^{-2}$ кг/(м²·с);

- категорія і група вибухонебезпечної суміші пари з повітрям - "II A-T2" згідно з чинною нормативною документацією. Категорія виробничих приміщень за вибухопожежною безпекою - "A", згідно з ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Клас зони - "1", згідно з НПАОП 40.1–1.32–01;

5.2 Інженерно-технічні заходи з охорони праці

Контроль повітря робочої зони на вміст шкідливих речовин слід проводити не рідше одного разу в квартал згідно з чинною нормативною документацією. Працівникам, які працюють з етанолом, слід носити спеціальний захисний одяг, включаючи рукавички, окуляри або захисні шоломи, згідно з НПАОП 0.00-7.15-08 та чинною нормативною документацією.

Перед початком роботи з етанолом необхідно ознайомитися з інструкцією щодо безпеки робіт із шкідливими речовинами, а також пройти необхідний інструктаж з пожежної безпеки та охорони праці. У разі виникнення пожежі необхідно вжити заходів для її локалізації та гасіння, використовуючи вогнегасники або інші вогнегасні матеріали згідно зі стандартами та нормативною документацією. Не дозволяється використовувати етанол у недопустимих кількостях або у невідповідних умовах, що може призвести до небезпеки для працівників та навколишнього середовища. Необхідно вживати заходів для запобігання утворенню сумішей етанолу з іншими речовинами, які можуть бути небезпечними або вибухонебезпечними.

При проведенні ремонтних робіт або обслуговування обладнання, пов'язаного з етанолом, необхідно дотримуватись вимог щодо безпеки робіт з пожежонебезпечними та шкідливими речовинами. Необхідно регулярно проводити контроль якості повітря робочої зони на вміст шкідливих речовин відповідно до методик, затверджених відповідними органами влади. В разі виявлення будь-яких порушень безпеки робіт з етанолом слід негайно повідомити відповідні служби безпеки і зупинити роботу до усунення проблеми.

Регулярно проводьте навчання та перевірки щодо безпеки роботи з етанолом для всіх працівників, з метою забезпечення свідомості про ризики та правильного застосування заходів безпеки.

Зберігайте етанол у відповідних контейнерах із маркуванням, як вимагається законодавством, та забезпечте їх правильне зберігання відповідно до вимог безпеки. Проводьте регулярне обслуговування та перевірку обладнання, пов'язаного з етанолом, для запобігання виникненню витоків, аварій та інших небезпечних ситуацій.

При проведенні робіт з етанолом, особливу увагу приділяйте вентиляції робочих приміщень, щоб уникнути накопичення шкідливих парів та забезпечити нормальні умови для працівників. Забезпечте наявність першої медичної допомоги та навченого персоналу для надання екстреної медичної допомоги у разі нещасних випадків або отруєнь етанолом.

Встановіть процедури для екстреного виходу та евакуації у разі пожежі або інших небезпечних ситуацій, пов'язаних з етанолом. Проводьте систематичний аналіз ризиків та оцінку безпеки роботи з етанолом з метою виявлення потенційних небезпек і розроблення відповідних заходів попередження.

Провітрювання цеху з виробництва етилу є важливим процесом для забезпечення безпеки працівників та запобігання небажаним викидам шкідливих речовин у навколишнє середовище. Оскільки етил є шкідливою речовиною, необхідно вживати заходи для його контролю та усунення з робочої зони.

Основні кроки провітрювання цеху з виробництва етилу можуть включати:

1. Встановлення системи витяжної вентиляції: Цей крок передбачає встановлення системи вентиляції, яка забезпечує постійний потік свіжого повітря в приміщення та видалення забрудненого повітря. Витяжні вентилятори та вентиляційні отвори розташовуються таким чином, щоб оптимально забезпечити циркуляцію повітря та видалення шкідливих випарів етилу.

2. Застосування інженерних контролів: Розгляньте можливість використання інженерних контролів, таких як герметичні контейнери та системи

збору випарів. Ці системи можуть допомогти утримувати етил під контролем і запобігати його поширенню у цеху.

3. Організація робочих зон: Розподіліть робочі зони таким чином, щоб уникнути змішування забрудненого повітря з чистим. Забезпечте ефективну вентиляцію в кожній зоні та встановіть перешкоди для розповсюдження етилу.

4. Забезпечення персонального захисту: Надайте працівникам необхідні засоби індивідуального захисту (ІЗЗ), такі як маски, рукавички та захисні окуляри. Це допоможе зменшити їхню експозицію до етилу, якщо вони змушені працювати в зоні, де можливі викиди або контакт з цією речовиною.

5. Планування екстрених ситуацій: Розробіть план дій у разі аварійних ситуацій, пов'язаних з викидами етилу. Включіть процедури евакуації, способи відключення джерел забруднення та способи повідомлення персоналу про небезпеку.

6. Регулярне обслуговування та перевірка систем: Періодично перевіряйте та обслуговуйте системи вентиляції, щоб забезпечити їх правильну роботу. Виконуйте регулярну перевірку наявності витоків, стану фільтрів та ефективності системи загалом.

7. Навчання персоналу: Надайте персоналу необхідну підготовку та навчання щодо безпеки роботи з етилом, включаючи правила провітрювання, використання ІЗЗ та процедури дій у разі аварійних ситуацій.

Важливо дотримуватись всіх необхідних нормативів та законодавства, що стосуються безпеки праці при провітрюванні цеху з виробництва етилу.

5.3 Розрахунок параметрів колони

1. Проведемо розрахунок площі перерізу колони:

Площа перерізу колони може бути визначена за формулою:

$$A = \pi * (d/2)^2,$$

де d - діаметр колони.

Для колони діаметром 1400 мм:

$$A1 = \pi * (1400/2)^2$$

Для колони діаметром 1600 мм:

$$A2 = \pi * (1600/2)^2$$

2. Розрахунок швидкості вітру:

Швидкість вітру може бути визначена на основі відомих метеорологічних даних або нормативних значень для даної області.

3. Розрахунок об'єму повітря:

Об'єм повітря, що необхідно подавати в колону, можна обчислити, використовуючи формулу:

$$V = Q / n,$$

де Q - продуктивність установки (у даному випадку 6000 дал/добу),

n - кількість циклів провітрювання.

Кількість циклів провітрювання може бути визначена на підставі вимог безпеки та якості продукту.

4. Розрахунок часу провітрювання:

Час провітрювання може бути визначений як співвідношення об'єму повітря до швидкості вітру:

$$t = V / V_w,$$

де V_w - швидкість вітру.

5. Розрахунок площі перерізу колони:

Для колони діаметром 1400 мм:

$$A1 = \pi * (1400/2)^2 = 1\,539\,380 \text{ мм}^2$$

6. Розрахунок об'єму повітря:

Нормативне значення кількості циклів провітрювання для даної установки становить 6 циклів на годину.

$$Q = 6000 \text{ дал/добу} = 6000 / (24 * 60) \text{ дал/хв} = 4,17 \text{ дал/хв}$$

$$n = 6 \text{ циклів/год} = 6 / 60 \text{ циклів/хв} = 0,1 \text{ циклів/хв}$$

$$V = Q / n = 4,17 \text{ дал/хв} / 0,1 \text{ циклів/хв} = 41,7 \text{ дал/цикл}$$

7. Розрахунок швидкості вітру:

Швидкість вітру становить 2 м/с.

8. Розрахунок часу провітрювання:

Використовуючи формулу $t = V / V_w$:

$$t = 41,7 \text{ дал/цикл} / 2 \text{ м/с} = 20,85 \text{ с/цикл}$$

5.4 Пожежна профілактика

Коли пари етанолу з'єднуються з повітрям у присутності джерел займання, можуть виникнути пожежі та вибухи. Нижня та верхня межі вибуховості етанолу складають 3,3 % та 19 % відповідно за об'ємом повітря. Цей діапазон охоплює концентрації етанолу в повітрі, які можуть займатися та горіти в присутності джерела займання (OSHA/EPA, 2011). Коли етанол змішується або денатурується (наприклад, з використанням бензину), межі вибуховості суміші продуктів дещо змінюються. Наприклад, суміш 85 % етанолу та 15 % бензину має нижню та верхню межі вибуховості 1,4 % та 19 % відповідно (Shaw, 2011). Іншим ключовим фактором є те, що паливо з високим вмістом етанолу може утворювати легкозаймисті суміші у вільному просторі резервуарів для зберігання за звичайних температур. Бензин, навпаки, зазвичай надто насичений (вище верхньої межі займистості), щоб підтримувати горіння в просторі резервуарів для зберігання бензину (незалишок). Інша важлива фізична властивість етанолу полягає в тому, що його пари важчі за повітря, це видно з щільності парів етанолу (приблизно 1,6). Таким чином, пари етанолу не піднімаються в повітря і мають тенденцію накопичуватися на рівні землі, доки не розсіються вітром або вентиляцією (якщо всередині конструкції).

На підприємствах з виробництва етанолу небезпека пожежі та вибуху існує з моменту першого утворення етанолу під час очищення продукту, зберігання та транспортування. Для виникнення пожежі мають бути три компоненти: паливо, кисень (окислювач) і тепло (All About Fire, NFPA, 2011b). Для пожеж етанолу пари етанолу являють собою «паливо» у вогняному трикутнику; кисень є «окислювачем»; і «теплова» складова надходить від джерел запалювання, які спричиняють спочатку горіння парів етанолу.

Декілька факторів можуть сприяти вивільненню етанолу, таким чином забезпечуючи пальне для пожежі етанолу. Ці фактори включають неправильне

зберігання, випадкові викиди (наприклад, розливи, несправності захисної оболонки), невиявлені витіки, недостатнє відведення газів, несправності обладнання, людські помилки та аварії під час транспортування. Розлиття етанолу має бути обережним, тому що легкозаймісті пари утворюватимуться над усіма місцями, де рухається рідкий етанол. Приклади типових джерел займання в місцях, де працюють з етанолом, включають електричну дугу, діяльність людини (наприклад, куріння), нагрівальне обладнання (наприклад, печі та печі), відкритий вогонь, статичну електрику та тепло від тертя. Одним із найпоширеніших джерел займання, які зустрічаються на цих підприємствах, є «гаряча робота», така як зварювання, різання та шліфування.

Пожежі, які підпалюються чистим етанолом, не утворюють видимого диму та мають блакитне полум'я, яке важко побачити. Пожежі, які підпалюються денатурованим етанолом, не виробляють диму або виробляють мінімальний дим, але мають слабке помаранчеве полум'я, яке може бути помітним. Пожежі, викликані етанолом, є особливо складними, оскільки їх нелегко загасити традиційними методами пожежогасіння. Деякі широко використовувані піни для гасіння пожежі (наприклад, ті, що використовуються для гасіння пожеж бензину) неефективні при пожежі етанолу, тому необхідно використовувати спеціальні спиртостійкі піни. Область процесу дистиляції. Етанол спочатку утворюється на виробничих потужностях перед дистиляцією. Однак у зоні процесу дистиляції зазвичай рідина містить високі концентрації етанолу та стає легкозаймистою. Таким чином, ця частина об'єкта має значну небезпеку займання через наявність висококонцентрованих парів етанолу та тепла. Надлишковий тиск або механічні пошкодження в дистиляційних колонах можуть спричинити витік парів етанолу, що створює небезпечну ситуацію через наявність різних джерел займання та ймовірність впливу на працівників понад допустиму межу впливу (PEL) для етанолу, встановлену OSHA (1000 ppm для середньозважене за часом, 29 CFR 1910.1000). Ця небезпека також існує для іншого обладнання (наприклад, трубопроводів, молекулярних сит), яке зазвичай знаходиться в зоні процесу дистиляції. Зона зберігання палива. Підприємства з виробництва етанолу зазвичай

зберігають свою готову продукцію – як етанол, так і денатурований етанол – у великих резервуарах для зберігання перед тим, як продукт поширюється в торгівлю. Правильне поводження з етанолом має вирішальне значення, щоб уникнути витоків у резервуарах і сполучному обладнанні та запобігти більш катастрофічним розривам. Деякі важливі проблеми включають розриви труб, розриви резервуарів і удари блискавки.

Резервуар для зберігання. Простір над рідиною — це зона газової фази над рідиною всередині резервуара чи іншої посудини. Нещодавні дослідження показали, що пари денатурованого етанолу у вільному просторі є займистими при кімнатній температурі (18 °C) і при всіх температурах приблизно до -6 °C (NREL, 2008). Верхня межа займистості для денатурованого етанолу, оціненого в дослідженні, не була встановлена, а також не проводилися випробування при підвищених температурах. Натомість денатурований етанол наблизився до нижньої (збідненої) межі займистості, коли температура навколишнього середовища була знижена, і врешті-решт не спалахував, якщо було занадто холодно (NREL, 2008).

Пожежа виникає, коли є легкозаймиста пароповітряна суміш і джерело займання, наприклад, статичний розряд (декілька прикладів попередніх інцидентів див. у звітах Комітету з розслідування хімічної безпеки та небезпеки США (USCSB). Статична електрика може утворюватися, коли рідина тече через незаземлені труби, клапани та фільтри під час транспортування. Він також може утворюватися внаслідок потрапляння води або повітря, бризок або перемішування, а також коли осад на дні резервуара стає зваженим.

При звичайних температурах використання легкозаймисті резервуари, як і ті, що містять такі матеріали, як бензин, можуть містити пароповітряні суміші, які зазвичай не можуть запалитися, оскільки пароповітряна суміш надто «багата» (тобто містить занадто багато палива та недостатньо кисню), або вище верхньої межі займистості бензину), щоб горіти. Однак інші легкозаймисті рідини, включаючи етанол і паливо з високим вмістом етанолу, можуть утворювати

легкозаймисті пароповітряні суміші в резервуарах за нормальних температур експлуатації.

Ємності з підігрівом. Існують особливі небезпеки, пов'язані зі зберіганням легкозаймистих рідин у резервуарах з підігрівом. Наприклад, зливання легкозаймистих рідин нижче високотемпературних нагрівальних елементів резервуара може призвести до займання легкозаймистих парів у вільному просторі, оскільки рідина викачується з резервуара, а кисень надходить у резервуар, якщо максимальна температура нагрівального елемента може перевищити температура займання суміші.

Крім того, надмірне нагрівання резервуара в цілому (із зануреними нагрівальними елементами або з використанням нагрівальних кожухів) може спричинити кипіння та вивільнення великої кількості легкозаймистих парів, що є небезпечним, якщо пари виходять усередину будівлі або поблизу джерел займання.

Місця завантаження етанолу. Підприємства з виробництва етанолу зазвичай мають завантажувальні доки або зони завантаження, де легкозаймисті хімічні речовини передаються на об'єкт (наприклад, об'єкт отримує бензин для використання як денатурант) і де денатурований етанол завантажується у вантажівки або залізничні вагони для розповсюдження в торгівлі. Переповнення, витік обладнання та інші непередбачені викиди в зонах завантаження надзвичайно небезпечні, особливо за наявності джерел займання (наприклад, транспортні засоби, що працюють на холостому ході).

5.5 Висновки за розділом

В розділі охорона праці проведено аналіз шкідливих та небезпечних факторів при виготовленні спирту, розроблені інженерно-технічні заходи з охорони праці, проведено необхідні розрахунки параметрів колони і розглянуті питання пожежної профілактики.

ВИСНОВКИ

Об'єктом керування є епіюраційна колона BTS 1600-32, яка використовується у діючому технологічному процесі на Гнідавському біоетанольному заводу (м. Луцьк).

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 для регульованої по температурі пари у верхній частині епіюраційної колони, в залежності від витрати гострої пари, яка подається у нижню частину епіюраційної колони. 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 якості об'єкта керування виступає технологічне обладнання епіюраційна колона BTS 1600-32.

У цьому розділі вибрано апаратно-програмні засоби для створення системи керування технологічним обладнанням, розроблена функціональна схема автоматизації, розроблена схема принципова підсистеми керування, складено перелік елементів до схеми електричної принципової.

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 відповідає аперіодичній ланці другого порядку з запізненням та розраховані параметрами моделі: коефіцієнт підсилення 15,1 і постійні часу 40,1 с та 20,3 с, а запізнення становить 1920 с.

Комплексна перевірка на адекватність моделі до об'єкта керування за перевірочними даними об'єкта керування показала високу відповідність у 96 %, сильний кореляційний зв'язок 1,0 та статистичний критерій Фішера 6 601 776 значно більшу критичного значення 2,707. Велике значення статичного критерію адекватності Фішера обумовлено великою кількістю вибірових даних та одиничним значенням коефіцієнта кореляції.

Враховуючи аналіз технологічного процесу, структури об'єкта керування, характеристик отриманих за результатами експериментів, результатів структурної та параметричної ідентифікації та статистичного аналізу модель є адекватною до об'єкта керування епюраційною колоною BTS 1600-32 технологічного процесу виробництва етилового спирту.

При впровадженні проектованої системи капітальні витрати складають 0,73 млн. грн., час розробки ПЗ становитиме 2 місяці.

Річні експлуатаційні витрати, пов'язані з впровадженням системи становитимуть трохи менше 3 млн. грн.

В розділі охорона праці проведено аналіз шкідливих та небезпечних факторів при виготовленні спирту, розроблені інженерно-технічні заходи з охорони праці, проведено необхідні розрахунки параметрів колони і розглянуті питання пожежної профілактики.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. А.А. Сибірний, Член кореспондент НАН України. Директор Інституту біології клітини НАН України, [Електронний ресурс] Вісн. НАН України, м. Львів, 2006, № 32006. Режим доступу: <chrome-extension://efaidnbnmnnibpcjpcglclefindmkaj/http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/2085/3-Subirnyy.pdf?sequence=1>.
2. Н.Г. Новаковська, В.В. Китайчук, В.Д. Кишенько, Автоматичне керування процесами ректифікації спирту в умовах конфліктності, Національний університет харчових технологій, Матеріали V Міжнародної науково-технічної Internet-конференції «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами», 20 листопада 2019. [Електронний ресурс] – К: НУХТ, 2019 – 301 с. — Режим доступу: <https://nuft.edu.ua/naukova-diyalnist/naukovi-konferencii/?active=materali-konferenczj>.
3. Modeling of Technological Processes for a Rectification Plant in Second-Generation Bioethanol Production, Oleksandr Liaposhchenko, Vitalii Marenok, Maksym Skydanenko, Ivan Pavlenko, Marek Ochowiak, Jana Mižáková, Ján Pitel', Vitalii Storozhenko, Vasyl Smyrnov and Viacheslav Shmatenko, Processes 2021, 9, 944.
4. Гнідавський біоетанольний завод, [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://utc.bio/zavod-biopek-pereroblyaye-melasu/>
5. ЕЛІТЕН, SITRANS P Z, ZD и P КОМПАКТ. [Електронний ресурс], Режим доступу: http://www.eleten.com.ua/SITRANS_P_Z,_ZD_P_COMPACT.html
6. Infocom Ltd, Контрольно-вимірювальні прилади. [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://ia.ua/uk/delivery-ua/kontrolno-vimiryuvalni-priladi/>
7. ELTA Вихровий витратомір SITRANS F X. [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://eltald.com.ua/catalog/siemens-sitrans-fx300>
8. SIEMENS, Кориолісові витратоміри. [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://new.siemens.com/ua/uk/produkty/avtomatyzatsiya-promyslovosti/kontrolno-vimiryuvalni-prylady/vytratomiry/koriolisovi-vytratomiry.html>

9. Засувки клинові. [Електронний ресурс], Режим доступу: <chrome-extension://efaidnbmninnibpcapjpcglclefindmkaj/https://pac-company.nt-rt.ru/images/manuals/5.pdf>
10. Засувка Баттерфляй Vitech з чавунним диском Ду 80 с електроприводом Belimo SM. [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://gidroterm-prom.com.ua/ru/zadvizhka-batterflyaj-vitech-s-chugunnym-diskom-du-80-s-ehlektroprivodom-belimo-sm/>
11. MOUSER, 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=CjwKCAiAqaWdBhAvEiwAGAQltk6Q0KIPeNgwLQRvv72kkfXBvd3ewFaMDdp5DIPLal27g2Q9_X1dbRoCv2YQAvD_BwE
12. E40S_E80H_en_EP-KE-09-006. [Електронний ресурс], Режим доступу: chrome-extension://efaidnbmninnibpcapjpcglclefindmkaj/https://www.svaltera.ua/upload/manuals/E40S_E80H_en_EP-KE-09-0060M_110526.pdf
13. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування.
14. 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.
15. Правила улаштування електроустановок Мінпаливвугілля України. – 2017 – 617с.
16. «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості на небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». № 528 - 2001.
17. Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями, затверджені наказом Мінсоцполітики від 14.02.2018 № 207.
18. 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.
19. 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.
 20. ДСанПіН 3.3.2-007-98 Державні санітарні правила і норми. Гігієнічні вимоги до організації роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин
 21. ДСТУ 7234:2011 Дизайн і ергономіка. Обладнання виробниче. Загальні вимоги дизайну та ергономіки
 22. ДСТУ 7950:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце під час виконання робіт стоячи. Загальні ергономічні вимоги.
 23. ДСТУ 8604:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги
 24. ДСТУ 3191-95 (ГОСТ 12 2.137-96) Обладнання для кондиціонування повітря та вентиляції
 25. 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).

ДОДАТОК А

Відомість матеріалів кваліфікаційної роботи

№ рядка	Формат	Позначення	Найменування	Кількість аркушів	Шифр документу	Примітка	
1			Документація				
2							
3	A4	КІВС.КВР.151.19.02.ПЗ	Пояснювальна записка		ПЗ		
4							
5			Графічна частина				
6							
7	A2	КІВС.КВР.151.19.02.Е2	Функціональна схема				
8			автоматизації	1	Е2		
9							
10	A2	КІВС.КВР.151.19.02.Е3	Схема електрична				
11			принципова	1	Е3		
12							
13	A4	КІВС.КВР.151.19.02.ПЕ3	Перелік елементів	1	ПЕ		
14							
15	A4	КІВС.КВР.151.19.02.Д	Презентація		Д		
16							
17		КІВС.КВР.151.19.02.ВДЕ	Носій інформації	1	ВДЕ		
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
			Підп.	Дата	КІВС.КВР.151.19.02.ТП		
Зм.	Арк.	№ докум.					
Розробив		Гаврик		17.05.29			
П. конс.		Надточий					
					Літ.	Аркуш	Аркушів
						1	1
Н. контр.		Славінський			Національний ТУ «Дніпровська політехніка», ЕТФ, 151-19-1		

ВІДГУКИ КОНСУЛЬТАНТІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

ВІДГУК

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

Гаврик Валерія Геннадіївна

Об'єкт розробки – система автоматичного керування технологічним процесом виготовлення етилового спирту.

Об'єкт дослідження епіюраційна колона BTS 1600-32 технологічної ланки виготовлення етилового спирту.

Предмет дослідження – розробка моделі епіюраційна колона BTS 1600-32 регульованої по каналу «продуктивність гострої пари - температури парів на дефлегматор».

Головною метою роботи є розробка моделі об'єкта керування для регульованої по температурі пари у верхній частині епіюраційної колони, в залежності від витрати гострої пари, яка подається у нижню частину епіюраційної колони. При цьому інші вхідні і вихідні параметри мають бути не змінними і знаходитись у номінальному стані.

Система керування включає датчики температури, пристрої керування електродвигунами. Система керування під'єднана до загально промислової мережі. Основними функціями системи є формування, або реєстрування керуючого впливу, який подається на об'єкт керування, реєстрування дійсного значення на виході об'єкта, візуалізація отриманих даних та їх надання у зручному для подальшої обробки виді. Підсистема дослідження формує керуючий вплив, у якості якого виступає гостра пара, за рахунок якої виконується нагрів розчину спирту у епіюраційній колоні.

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 студентка Гаврик В.Г. 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 епіюраційної колони технологічного процесу виготовлення етилового спирту», студент гр. 151-19-1

Гаврик Валерія Геннадіївна

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. Студентка Гаврик В.Г. присвоєння їй кваліфікації «бакалавр» за спеціальністю «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

Рецензент, _____

____.06.2022

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувачем кафедри
кіберфізичних та інформаційно-
вимірювальних систем

_____ Бубликов А.В.

«_____» _____ 2023 року

ВИСНОВОК

Про рівень запозичень у кваліфікаційній роботі бакалавра на тему «Автоматизація технологічного процесу виготовлення етилового спирту», здобувача вищої освіти, групи 151-19-1, Гаврик Валерія Геннадіївна.

Загальний обсяг кваліфікаційної роботи без переліку посилань складає _____ сторінок. Програмне забезпечення використане для перевірки роботи “<https://unicheck.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)

Славінський Д.В.

(дата)