

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 ступеня магістра**

студента Павленко Данила Олеговича  
(ПІБ)

академічної групи 151-22м -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 Синтез та дослідження системи автоматичного керування технологічними ланками виробництва біологічного палива  
(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	проф. Бубліков А.В.			
розділів:				
Стан питання та постановка завдання	проф. Бубліков А.В.			
Спеціальний розділ	проф. Бубліков А.В.			
Економічний розділ	ст.викл.Яремчук І.О.			
Охорона праці	проф.Чеберячко Ю.І.			
<b>Рецензент</b>				
<b>Нормоконтролер</b>	ас. Славінський Д.В.			

Дніпро  
2023

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**  
завідувач кафедри  
кіберфізичних та інформаційно-  
вимірювальних систем  
(повна назва)  
\_\_\_\_\_ Бубліков А.В.  
(підпис) (прізвище, ініціали)  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 року

## ЗАВДАННЯ на кваліфікаційну роботу ступеня магістра

студенту Павленко Д.О. академічної групи 151-22м -1  
(прізвище та ініціали) (шифр)  
спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
за освітньо-професійною програмою 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
(офіційна назва)

на тему Синтез та дослідження системи автоматичного керування технологічними ланками виробництва біологічного палива,

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від \_\_\_\_\_ р. № \_\_\_\_\_ -с

Розділ	Зміст	Термін виконання
Стан питання та постановка завдання	Опис технологічного процесу для об'єкта автоматизації. Огляд існуючих систем автоматизації. Вибір напрямку створення системи керування. Опис моделі об'єкта керування.	08.10.2023
Спеціальний розділ	Обрання структури системи керування та регулятора. Розрахунок параметрів регулятора. Дослідження функціонування системи керування на базі обраного регулятора. Розробка програмного забезпечення системи керування на підставі обраного регулятора та його налаштувань.	20.11.2023
Економічний розділ	Економічне обґрунтування доцільності витрат на створення системи керування.	30.11.2023
Охорона праці	Розробка організаційно-технічних заходів, щодо реалізації правил безпеки при експлуатації системи.	30.11.2023

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

проф. Бубліков А.В.  
(прізвище, ініціали)  
01.09.2023

Дата видачі

Дата подання до екзаменаційної комісії

12.12.2023

Прийнято до виконання \_\_\_\_\_  
(підпис студента)

Павленко Д.О.  
(прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 78 с., 57 рис., 18 табл., 3 додатки, 20 джерел.

Об'єкт дослідження: Система керування технологічними ланками виробництва біологічного палива, а саме мембранною колоною T-VCMD 1000-2371.

Мета роботи: підвищення ефективності керування мембранною вакуумною колоною по каналу «тиск на стороні пермеату (вакууму) – концентрація етанолу в розчині меляси перед мембранним модулем», за рахунок синтезу системи керування.

Принцип роботи об'єкту керування полягає в тому, що етанол, розчинений у мелясі, надходить до мембрани і в її порах переходить у газоподібний стан під дією градієнта парціального тиску. При цьому пари етанолу на мембрані переходить крізь пори мембрани і конденсується в зоні пермеату (етанолу).

Для стабільної роботи технологічного обладнання система керування має підтримувати декілька основних параметрів на заданому рівні:

– сталу температуру меляси на вході в об'єкт в діапазоні від 60 до 80 °С, в залежності від технічних параметрів меляси;

– по обидва боки мембрани необхідно підтримувати певний перепад тиску, який залежить від тиску подачі меляси на вхід технологічного об'єкту, та регульованого тиску вакуумної установки зі сторони зони пермеату, номінальний діапазон  $-0,05 \dots -0,02$  кг/см<sup>2</sup>.

Магістерська робота була виконана на основі інформації та результатів кваліфікаційної роботи бакалавра. У роботі було висунуто вимоги до системи керування, виконано синтез системи керування, розраховано параметри регулятора. Розроблено людино-машинного інтерфейс для системи керування та його програмне забезпечення.

СИНТЕЗ, СИСТЕМА, МЕЛЯСА, ЕТАНОЛ, МЕМБРАНА, ВАКУУМ,  
ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ, ЛМІ

## ABSTRACT

Explanatory note: 78 pp., 57 figures, 18 tables, 3 appendices, 20 sources.

Object of research: System of automatic control of technological links of biofuel production, namely membrane column T-VCMD 1000-2371.

The purpose of the work: to increase the efficiency of the control of the membrane vacuum column along the channel "pressure on the permeate (vacuum) side - concentration of ethanol in the molasses solution at the exit from the membrane module", due to the synthesis of the control system.

The principle of operation of the control object is that ethanol dissolved in molasses enters the membrane and changes into a gaseous state in its pores under the influence of a partial pressure gradient. At the same time, ethanol vapor on the membrane passes through the pores of the membrane and condenses in the permeate (ethanol) zone.

For the stable operation of technological equipment, the control system must maintain several basic parameters at a given level:

constant temperature of molasses at the entrance to the object in the range from 60 to 80 °C, depending on the technical parameters of the molasses;

on both sides of the membrane, it is necessary to maintain a certain pressure difference, which depends on the pressure of the molasses supply at the entrance of the technological object, and the adjustable pressure of the vacuum unit on the side of the permeate zone, nominal range  $-0.05 \dots -0.02 \text{ kg/cm}^2$ .

The master's work was performed on the basis of the information and results of the bachelor's qualification work. In the work, the requirements for the automatic control system were put forward, the synthesis of the control system was performed, and the parameters of the regulator were calculated. A human-machine interface for the control system and its software has been developed.

SYNTHESIS, SYSTEM, MOLASSES, ETHANOL, MEMBRANE, VACUUM, SIMULATION MODEL, LMI

## ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, скорочень та визначень	7
Вступ	8
1 Стан питання та постановка завдання	11
1.1 Характеристика галузі	11
1.2 Технологічний процес	14
1.3 Об'єкт керування	19
1.3.1 Загальна характеристика об'єкта керування	19
1.3.2 Структура об'єкту керування	21
1.3.3 Принцип функціонування об'єкту керування	22
1.4 Структура системи керування	22
1.5 Формулювання задач дослідження	27
1.6 Висновки по розділу	28
2 Спеціальний розділ	29
2.1 Модель об'єкта керування	29
2.2 Критерії якості функціонування системи керування	34
2.3 Синтез системи керування	39
2.3.1 Модель системи керування	39
2.3.2 Структура регулятора	40
2.3.3 Оцінка якості функціонування системи керування	44
2.4 Програмне забезпечення системи керування	47
2.4.1 Цифрова модель об'єкта керування	47
2.4.2 Розробка програмного забезпечення системи керування	51
2.4.3 Розробка програмного забезпечення людино-машинного інтерфейсу	53
2.4.4 Перевірка функціонування програмного забезпечення	56
2.5 Висновки по розділу	56
3 Економічна частина	58

	6
3.1 Розрахунки капітальних витрат	58
3.2 Витрати на програмне забезпечення	59
3.2.1 Розрахунок часу на розробку програмного забезпечення	59
3.2.2 Розрахунки витрат на розробку програмного продукту	61
3.3 Розрахунки експлуатаційних витрат	62
3.3.1 Амортизація основних фондів	62
3.3.2 Розрахунки річного фонду заробітної плати	63
3.3.3 Розрахунки відрахувань на соціальні заходи	64
3.3.4 Визначення річних витрат на технічне обслуговування та ремонт	64
3.3.5 Розрахунки вартості споживаної електроенергії	64
3.3.6 Визначення інших витрат	64
3.4 Висновки по розділу	65
4 Охорона праці	66
4.1 Аналіз шкідливих і небезпечних факторів	66
4.1.1 Повітря робочої зони	66
4.1.2 Виробниче освітлення	68
4.1.3 Електробезпека	69
4.1.4 Безпека технологічних процесів та обслуговування обладнання	71
4.2 Пожежна безпека	72
4.3 Висновки по розділу	73
Висновки	74
Перелік посилань	76
Додаток А Програмні модулі системи керування	
Додаток Б Програмне забезпечення системи керування	
Додаток В Програмне забезпечення людино-машинного інтерфейсу	

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ ТА  
ВИЗНАЧЕНЬ**

ОК	–	Об'єкт керування
ЦАП	–	Цифро-аналоговий перетворювач
АЦП	–	Аналого-цифровий перетворювач
БП	–	Біологічне паливо
САК	–	Система автоматичного керування
СК	–	Система керування
ЛМІ	–	Людино-машинний інтерфейс
НСВ	–	Нормоване середньоквадратичне відхилення
ПК	–	Персональний комп'ютер;
ППЛК	–	Програмний програмований логічний контролер

## ВСТУП

**Актуальність теми.** В Україні зараз гостро стоїть питання покращення енергоефективності та розвитку відновлюваної енергетики. Головне завдання – знизити залежність не лише від газу, але й від нафтопродуктів. З огляду на значний потенціал аграрного сектору України, виробництво біопалива в країні має гарні перспективи.

Ринок спирту і біоетанолу в світі швидко розповсюджується. Ситуація в Україні з виробництвом біоетанолу показала відставання від темпів світового виробництва. Це пов'язане з необхідністю розвитку й удосконалення процесів виробництва біопалива з метою енергозбереження. Біопаливо можна отримати з олійних сільськогосподарських культур (біодизельне паливо). Його можна використовувати як додаток до традиційного дизельного палива та як чисте біопаливо. Біопаливо, яке отримують із цукровмісних, крахмалемісних і зернових культур, використовують як суміш зі звичайним бензином.

Минулого року лідером із виробництва біопалива стали США (36,9 млн тонн), на другому місці – Бразилія (18,5 млн.тонн), на третьому – Німеччина (3,3 млн.тонн). За 17 років у світі істотно збільшилася кількість виробленого біопалива: 9,2 млн.тонн у 2000 році проти 84,1 млн.тонн у 2017 [6].

Останнім часом, розповсюдження набуває вакуумна мембранна дистиляція (МД), особливістю якої є використання пористої мембрани для розділення рідкої суміші, де рушійною силою процесу є градієнт тиску на мембрані.

Виконання основного завдання автоматизації - підтримання концентрації пермеату в необхідних межах - зводиться до того, щоб забезпечити відповідність тиску (розрідження) в зонах розчину та пермеату при подачі розчину на мембрану. Це є **актуальною науково–технічною задачею**, розв'язання якої зводиться до автоматизації роботи насоса в зонах розчину та пермеату, який і створює розрідження.



**Мета і задачі дослідження.** Метою представленої кваліфікаційної роботи магістра є покращення ефективності функціонування мембранної вакуумної колони по каналу «тиск на стороні пермеату (вакууму) – концентрація етанолу в розчині меляси перед мембранним модулем» та синтезу системи керування концентрацією етанолу.

Мета роботи реалізується через розв'язання таких наукових задач:

- аналіз технологічного процесу виробництва біопалива, особливостей методів проведення мембранної дистиляції для визначення основних напрямків автоматизації процесу керування концентрацією етанолу;
- розробити імітаційну модель мембранної вакуумної колони, як об'єкта керування;
- дослідити роботу імітаційної моделі мембранної вакуумної колони для визначення необхідного алгоритму керування;
- розробити автоматичну систему керування концентрацією етанолу в розчині меляси на виході з мембранного модуля для підвищення ефективності його роботи;

**Об'єкт дослідження** – процес автоматичного керування концентрацією етанолу в розчині меляси на виході з мембранного модуля вакуумної колони.

**Предмет дослідження** – моделі та методи керування процесом підтримання концентрацією етанолу, що використовуються при роботі мембранної вакуумної колони, а також відповідне програмне та інформаційне забезпечення.

**Методи дослідження.** Для дослідження існуючих систем автоматичного керування мембранною вакуумною колоною використано методи обчислювального експерименту, математичного моделювання технологічних процесів та імітаційного моделювання.

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає у наступному:

Вперше отримано імітаційну модель зміни концентрації етанолу в розчині меляси на виході з мембранного модуля вакуумної колони на основі

даних ідентифікації, що дало можливість синтезувати систему керування «тиск на стороні пермеату (вакууму) – концентрація етанолу в розчині меляси перед мембранним модулем»

# 1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

## 1.1 Характеристика галузі

Ринок спирту і біоетанолу в світі швидко зростає (рис.1.1).



Рисунок 1.1 – Інфографіка зростання виробництва біопалива

Біопаливо можна отримати з олійних сільськогосподарських культур (біодизельне паливо). Його можна використовувати як додаток до традиційного дизельного палива та як чисте біопаливо. Біопаливо, яке отримують із цукровмісних, крахмалевмісних і зернових культур, використовують як суміш зі звичайним бензином.

Вважається, що за біопаливом майбутнє. По-перше, це більш чистий вид палива, на відміну від бензину, й він виробляє менше викидів при спалюванні, а значить, менше забруднює атмосферу. По-друге, біопаливо виготовляють із поновлюваних ресурсів, тоді як бензин – із сирової нафти, запаси якої не є нескінченними. Крім того, використання біопалива дуже вигідне для країн, які змушені імпортувати нафту.

Однак разом із тим у біопалива є серйозний недолік: більшість рослин, з яких його можна отримати, сильно виснажують ґрунт, а деякі (ятрофа) навіть отруйні для людей і тварин. З рослин, придатних для виготовлення біопалива, в Україні найбільша посівна площа у пшениці та соняшнику. Вирощується також ріпак ярий та ріпак озимий, соя, кукурудза та цукровий

бурак. Майже всі ці рослини, крім сої та пшениці, становлять небезпеку для ґрунту.

Біопаливо можна також отримати з ятрофи, олійної пальми, прутovidного проса, цукрової тростини та цукрового сорго. Але ці рослини в Україні не вирощують.

Етиловий спирт – етанол, як речовина в природі у вільному стані не зустрічається. В природі він утворюється при біохімічній конверсії цукро- та крохмале-вмісної сільськогосподарської сировини ферментативним гідролізом.

Цей природний спосіб покладений в основу технології отримання для промислових, споживчих потреб спирту з сільськогосподарської сировини. В технології спирту може бути і целюлозовмісна сировина, в якій для переводу целюлози в цукри і їх зброджування дріжджами використовується гідроліз мінеральними кислотами. Відомий спосіб отримання спирту синтетичним шляхом з етилену і води при наявності певних каталізаторів, високих тисків і температури. При контакті з атмосферою спирт окислюється до ацетальдегіду, котрий теж вступає в реакції і в чистому вигляді в атмосфері не зустрічається.

Спирт – гігроскопічна речовина, звертає в результаті білок, наркотично діє на живий організм, а на більшість мікроорганізмів – згубно, спирт добре розчиняє більшість органічних речовин, його використовують як розчинник, екстракційний агент. З розвитком хімічної промисловості спирт служить сировиною для багатьох процесів синтезу, а останні століття – як паливо. Світове виробництво спирту сягає нині декількох мільярдів декалітрів щорічно.

Біоетанол - це обезводнений етиловий спирт з супутніми домішками, октанове число - 106, вироблений з біомаси та / або біологічно розкладних компонентів. Використовується в якості кисневмісної присадки до бензину, дизеля або як біологічно відновлюваний альтернативний замітник бензину.

Мета використання біоетанолу – поступове заміщення моторного та реактивного палива, що виробляється з мінеральної сировини - нафти, газу, вугілля. Біоетанол, як моторне паливо - перспективний екологічний тренд №1. Нейтральний в якості парникових газів. Скорочує викиди на 75 % порівняно з мінеральним паливом. В 2020 році вироблено в світі 110 млн м<sup>3</sup>. Показує щорічне зростання 7 %. Заміщує в світі вже 11 % бензинів. План заміщення до 2030 року складає 14 %.

Основними перевагами виробництва біоетанолу є високий зростаючий ринковий попит, швидка оборотність до 5 днів, висока рентабельність виробництв як самого біоетанолу – 35 %, так і субпродуктів - біодобрива, зріджений діоксид вуглецю (CO<sub>2</sub>), метан CH<sub>4</sub> - вище 100 %.

Найбільшими виробниками біоетанолу є Бразилія, США та Канада. Ці держави використовують спирт в основному як пальне для двигунів внутрішнього згорання. Їх державними програмами передбачається розширення виробництва і задоволення спиртом мінімум 10 % потреб в паливі. Альтернативне паливо з відновлювальної сировини екологічно чисте, приваблює споживачів всього світу, конкурує з традиційними видами палива.



Рисунок 1.2 – Об'єми виробництва біопалива

Ситуація в Україні з виробництвом біоетанолу показує відставання від темпів світового виробництва. Це пов'язане з необхідністю розвитку й удосконалення процесів виробництва біопалива з метою енергозбереження.

В Україні, одним з виробників біопалива є «Українська технологічна компанія» UTC (м. Київ) – інтегрована інжинірингова-виробнича компанія, що впроваджує біотехнології на підприємствах харчової, переробної та мікробіологічної промисловості.

Кінцевими продуктами виробництв, що втілює компанія, є біогаз, біоетанол, ректифікований спирт, електрична та теплова «зелена» енергія, біокорм, сушка та гранули, біодобрива, зріджений діоксид вуглецю (CO<sub>2</sub>), кукурудзяна олія та очищена вода.

Компанія поєднує в своїй роботі функції розробника та інтегратора технології, виробника обладнання, будівельно-монтажного підрядника, пусконаладжувальної організації, сервісної компанії.

Областю реалізації технологій UTC виступає перспективний напрямок в сучасній промисловості – біотехнологія та біоенергетика процесів спиртової, метанової і аеробної ферментації [7].

## **1.2 Технологічний процес**

На рисунку 1.3 наведено принципову технологічну схему виробництва етанолу з меляси. Як правило підприємства поряд із звичайним ректифікованим спиртом виробляють дегідратований (99,8%) спирт-ректифікат або сирець. Для дегідрування використовується азеотропна ректифікація з циклогексаном, а також сучасна технологія зневоднення на молекулярних ситах. Спиртова барда з масовою часткою K<sub>2</sub>O близько 6 % використовується для поливу ланів під цукрові буряки або у вигляді сиропу для відгодівлі великої рогатої худоби.

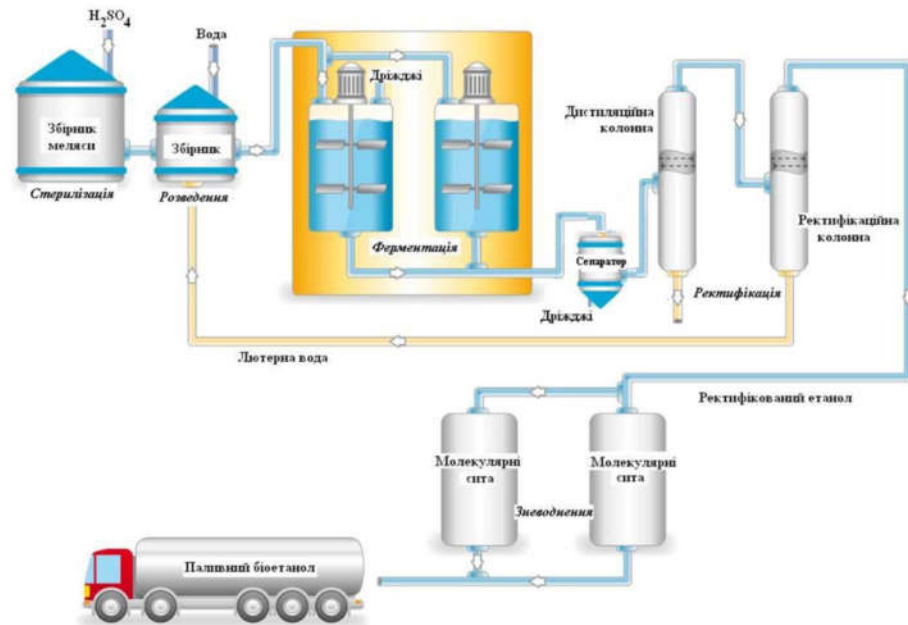


Рисунок 1.3 – Схема одержання біоетанолу з меляси

Барда концентрується в декілька стадій. Спочатку у відділенні попереднього концентрування з 4...10%, потім у відділенні остаточного концентрування у три етапи: 10...27%; 27...37%; 37...70% сухих речовин. Під час концентрування у присутності сірчаної кислоти з барди вилучається сульфат калію. Кристали сульфату калію вилучають на центрифугах. Поряд з дегідратованим технічним спиртом виробляється спирт технічний денатурований.

Етиловий спирт, на відміну від метилового, утворює з водою азеотропний процес. В азеотропному стані концентрація спирту в парі та рідині, з якої утворюється ця пара, збігаються. Для етилового спирту й води це відповідає масовій частці спирту 95,57 %. Окремі галузі господарства використовують дегідратований або абсолютний етиловий спирт.

Як правило підприємства використовують наступне основне технологічне обладнання для виробництва біоетанолу:

- пастеризація (резервуар меляси, кожуха-трубний пастеризатор меляси, асептовувачі меляси, розсиропник меляси, прийомний збірник);
- антисептування та розсиропка (пастеризатори, змішувачі кислоти, щільові витратоміри, механічні вловлювачі);

- дріжджогенерація (апарат чистої культури, дріжджогенератор, механічний піногасник, спиртовловлювач, повітродувка,);
- ферментація (бродильний апарат, доброджувач, міксер, спиртовловлювач, піновловлювач, мийка); – дистиляція та ректифікація (колона дистиляційна сітчаста, циркуляційний насос, кубовий кип'ятильник, оглядові ліхтарі, підігрівач бражки);
- дегідратація та денатурація (адсорбер, дефлегматор, краплевловлювач, пароперегрівач, холодильник);
- флотація бражки (барабанний згущувач, гідро-циклон, пресепаратори, поплавковий забірний пристрій, скребкові транспортери);
- упарювання декантату барди (вертикальний випаровувач, горизонтальний випаровувач, паро-сепаратор, конденсатор, вакуумсепаратори);
- скраплення CO<sub>2</sub> (компресор CO<sub>2</sub>, вугільні фільтри, ізотермічні резервуари, скруббер CO<sub>2</sub>, станція заправки в балони.

Для підвищення концентрації спирту в кінцевому продукті, а саме у 8,8 разів порівняно з початковою сировиною, замість технологічного обладнання «дистиляційна колона» (рис.1.3), впроваджують вакуумну мембранну дистиляцію.

Цей метод має й ряд інших переваг, а саме:

- економічність – початковий розчин не треба доводити до температури кипіння;
- проста структура об'єкта – він являє собою звичайну посудину, розділену на дві частини молекулярною решіткою; лінійна залежність параметрів – умови перебігу процесу легко передбачити, адже вони мають прямо пропорційну залежність [9].

Мембранна дистиляція (МД), призначена для відновлення спиртів – це технологія, що використовує пористі мембрани для розділення рідкої суміші, де рушійною силою процесу є градієнт тиску на мембрані. Основна перевага



полягає у можливості постійно видаляти етанол на етапі виробництва пального спирту.

Мембранна дистиляція належить до процесу, для здійснення якого необхідно забезпечити такі умови: мембрана має бути пористою з достатньо високим вмістом відкритих транспортних пор; мембрана не повинна змочуватися робочим середовищем (зазвичай водним розчином), оскільки в іншому разі за рахунок капілярних сил пори миттєво заповняться рідиною; крізь пори мембрани має переноситися тільки пара; мембрана не повинна змінювати рівновагу пара – рідина у процесі розділення компонентів розчину; щонайменше один бік мембрани має контактувати з робочою рідиною; для кожного компонента розчину рушійною силою масопереносу є градієнт парціального тиску в паровій фазі. Неможливо застосовувати мембранну дистиляцію для очищення (розділення) розчинів, компоненти яких мають температуру кипіння, близьку до температури кипіння води, оскільки при розділенні такої суміші ймовірний перехід іншої речовини разом з водою крізь мембрану.

Існує кілька різновидів проведення мембранної дистиляції, пов'язаних із технологічними варіантами процесу:

Контактна (DCMD – direct contact membrane distillation) – процес, у якому рідина контактує безпосередньо з обома боками мембрани:

1) гарячий розчин, який підлягає обробці (сировина), контактує з поверхнею одного боку мембрани (рис.1.4).

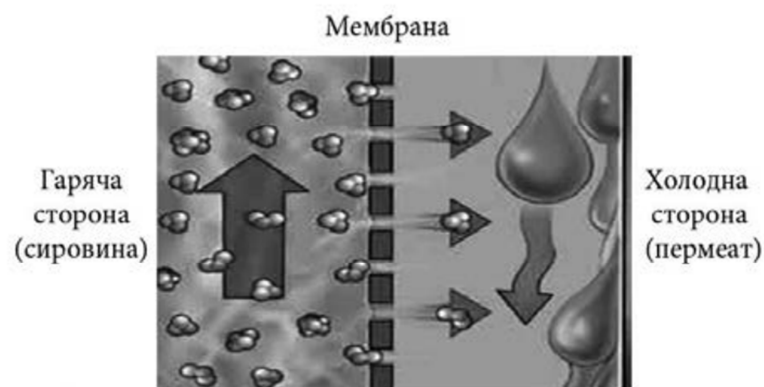


Рисунок 1.4 - Загальний принцип процесу мембранної дистиляції

2) холодна рідина, яка омиває приймальний бік мембрани, є середовищем для конденсації пари, що переноситься на цей бік мембрани. Цей процес має високу питому продуктивність, до  $75 \text{ л/м}^2 \cdot \text{год}$ . пермеату, при селективності близько 98...99 %.

3) МД з повітряним прошарком (AGMD – air gap membrane distillation) – процес, в якому пара, що пройшла крізь пори мембрани конденсується на охолодженій поверхні, що перебуває на певній відстані від мембрани, і рідина, яка в цьому випадку конденсується, не контактує з мембраною. Цей процес має високу селективність (>99,99%), проте досить низьку продуктивність – до  $20 \text{ л/м}^2 \cdot \text{год}$ .

4) МД з газом-носієм (з продуванням газу) (SWGMD – sweep gas membrane distillation) – процес, в якому газовий потік інертного газу (зазвичай азот) подається з певною швидкістю вздовж поверхні мембрани з приймального її боку; пара пермеату, що виноситься разом із газовим потоком, конденсується за межами мембранного модуля (рис.1.8). Такий процес має високу селективність (>99,99 %) і високу продуктивність – до  $50...70 \text{ л/м}^2 \cdot \text{год}$ .

5) Осмотична (osmotic membrane distillation) – у приймальній частині мембранного елемента використовується розчин із високим вмістом низькомолекулярної солі (наприклад, NaCl); при цьому пароподібний пермеат проникає крізь пористу гідрофобну мембрану з розчину із низьким осмотичним тиском у потік розчину солі з високим осмотичним тиском. Така мембранна дистиляція використовується для розділення термочутливих сумішей, які не можна нагрівати, окрім того, має чудову селективність, однак надзвичайно низьку продуктивність.

6) МД зі зниженим тиском (вакуумна) (VCMD – vacuum membrane distillation) – процес, в якому створюється розрідження (вакуум) в об'ємі між приймальним боком мембрани і корпусом мембранного елемента; конденсація пермеату відбувається за межами мембранного модуля (рис. 1.5).

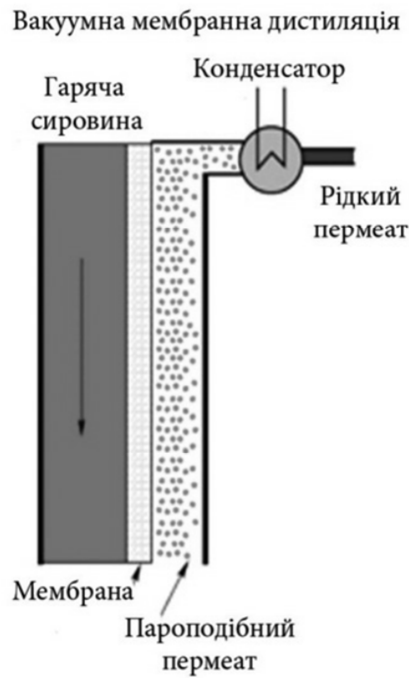


Рисунок 1.5 – Схема мембранної дистиляції зі зниженим тиском (вакуумна)

Процес вакуумної мембранної дистиляції у технологічному процесі виробництва біоетанолу, що призначений для концентрування спиртів майже невивчений. Із літературних джерел відомо, що витрати енергії на процес вакуумної мембранної дистиляції для отримання біоетанолу значно нижчі ніж витрати на процес ректифікації. Тому актуальним є дослідження процесу вакуумної мембранної дистиляції і створення математичної моделі з метою розробки системи керування процесом [10].

### 1.3 Об'єкт керування

#### 1.3.1 Загальна характеристика об'єкта керування

Схема установки вакуумної мембранної дистиляції наведена на рисунку 1.5.

Через відносну новизну застосування процесу вакуумної мембранної дистиляції для виробництва біоетанолу цей процес є недостатньо вивчений, як об'єкт керування.

Основна перевага процесу вакуумної мембранної дистиляції полягає у можливості постійно видаляти етанол на етапі виробництва пального спирту, уникаючи тим самим інгібування продуктів ферментації і тим самим

збільшуючи виробництво. Цей процес може керуватися за допомогою відпрацьованого тепла, що пов'язано з низькою температурою промислових потоків. Мембрана, що використовується в процесі мембранної дистиляції, забезпечує проходження тільки парів етанолу і таким чином, продукт, отриманий теоретично 100 % чистий від твердих або нелетких забруднюючих речовин. Через мембрану проходять тільки легколетючі компоненти розчину. У менісках пор з гарячої сторони мембрани відбувається випаровування парів етанолу і завдяки різниці парціальних тисків на сторонах мембрани проходить дифузія парів крізь пори.

При розробці математичної моделі процесу необхідно врахувати ряд факторів: процеси масообміну, зміни коефіцієнта тепловіддачі від розчину меляси до гарячої сторони мембрани.

Для підвищення концентрації спирту в кінцевому продукті виробництва біоетанолу до 99,9 % з початкової сировини, якою є меліса, використовують технологічне обладнання з вакуумною мембранну дистиляцію. Технологічне обладнання T-VCMD 1000-2371, яке працює за принципом зі зниженим тиском (рис. 1.6).



Рисунок 1.6 – Мембрана колона T-VCMD 1000-2371

Технічні параметри мембранної колони T-VCMD 1000-2371:

- матеріал нержавіюча сталь;
- ємність, м<sup>3</sup> 100 (секція);
- площа мембрани, м<sup>2</sup> 50;

- товщина мембрани, м 0,0004;
- продуктивність л/год. 2 500;
- концентрація біоетанолу, % 99,9;
- температура меляси на вході, °С 60....80;
- температура меляси на виході, °С 40....50;
- температура холодоносія на вході, °С 15...25;
- тиск на стороні пермеату, Па 0,2;
- двигун вакуумної установки, В /кВт ~380 / 3,6;
- двигун насоса подачі меляси, В /кВт ~380 / 15,0;
- двигун насоса подачі холодоносія, В /кВт ~380 / 12,0.

### 1.3.2 Структура об'єкту керування

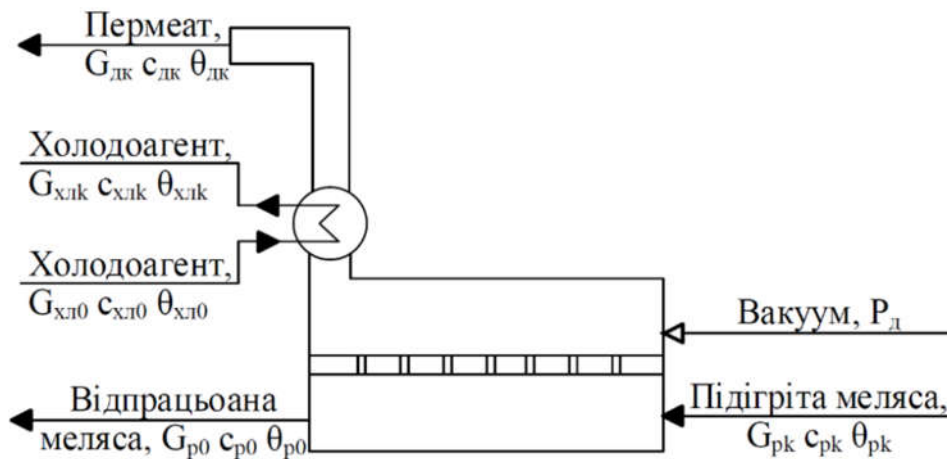


Рисунок 1.7 – Структурно-параметрична схема установки вакуумної мембранної дистиляції:

$G_{р0}$  – витрата меляси на вході, кг/с;  $G_{рк}$  – витрата меляси на виході, кг/с;  
 $\theta_{р0}$  – температура меляси на вході, К;  $c_{р0}$  – теплоємність меляси на вході, Дж/кг·К;  $\theta_{рк}$  – температура меляси на виході, °К;  $\theta_{дк}$  – температура пермеату на виході, К;  $r$  – питома теплота пароутворення, Дж/кг;  $P_д$  – тиск з боку пермеату, Па;  $\theta_{хлк}$  – температура холодоагенту на виході, °К;  
 $\theta_{хл0}$  – температура холодоагенту на вході, °К;  $c_{хл}$  – теплоємність холодоагенту, Дж/кг·К;  $G_{хл0}$  – витрата холодоагенту на вході, кг/с;  
 $k$  – витрата холодоагенту на вході, кг/с.

Згідно рисунку 1.7, де наведена структурно-параметрична схема установки вакуумної мембранної дистиляції, можна визначити наступні канали керування:

- «тиск зі сторони холодного боку мембрани → температура розчину меляси на виході з установки процесу»;
- «витрата холодної води на вході в установку → температура розчину меляси на виході з установки процесу»;
- «тиск на стороні пермеату (вакуум) → концентрація етанолу в розчині сировини на вході в мембранний модуль».

### **1.3.3 Принцип функціонування об'єкту керування**

Принцип роботи об'єкту керування - мембранної колони T-VCMD 1000-2371 полягає в тому, що етанол надходить до мембрани і в її порах переходить у газоподібний стан, під дією градієнта парціального тиску парів етанолу на мембрані переходить крізь пори мембрани і конденсується в зоні пермеату. Для стабільної роботи системи потрібно підтримувати сталу температуру розчину на вході в об'єкт в діапазоні від 60 до 80 °С.

По обидва боки мембрани необхідно підтримувати певний перепад тиску, який регулюється подачею розчину на об'єкт контуром, що представлений двома вимірювачами тиску, з яких один – вимірює тиск в зоні розчину, а другий вимірює тиск в зоні пермеату, диференціальним регулятором і виконавчим механізмом, що регулює подачу розчину на мембрану.

Концентрація пермеату може залежить від ступеня розрідження в зоні пермеату і регулюється контуром, який містить вимірювач концентрації та регулятор режиму роботи насоса, що створює розрідження.

## **1.4 Структура системи керування**

У кваліфікаційній роботі, в якості об'єкту керування, обрано технологічне обладнання - мембранна колона T-VCMD 1000-2371.

В структурі системи керування мають місце наступні інформаційні сигнали:

Вхідні сигнали:

- продуктивність біоетанолу, л/год. 2 500;
- концентрація біоетанолу, % 99,9;
- температура меляси на вході, °С 60...80;
- температура меляси на виході, °С 40...50;
- температура холодоносія на вході, °С 15...25;
- диференційний тиск меляса / пермеат, Па 0,2.

Вихідні сигнали керування:

- автоматичний вакуумна насосна установка, В /кВт ~380 / 3,6;
- двигун насоса перекачування біоетанолу, В /кВт ~380 / 12,0;
- двигун насоса подачі меляси, В /кВт ~380 / 15,0;
- двигун насоса подачі холодоносія, В /кВт ~380 / 12,0.

Слід окремо відзначити, що автоматична вакуумна установки мембранної колони T-VCMD 1000-2371 має свою власну систему керування з каналом зв'язку RS-485 (протокол MOLBUS).

Роботою технологічного обладнання, мембранною колоною T-VCMD 1000-2371 керує програмований логічний контролер (рис. 1.8.).

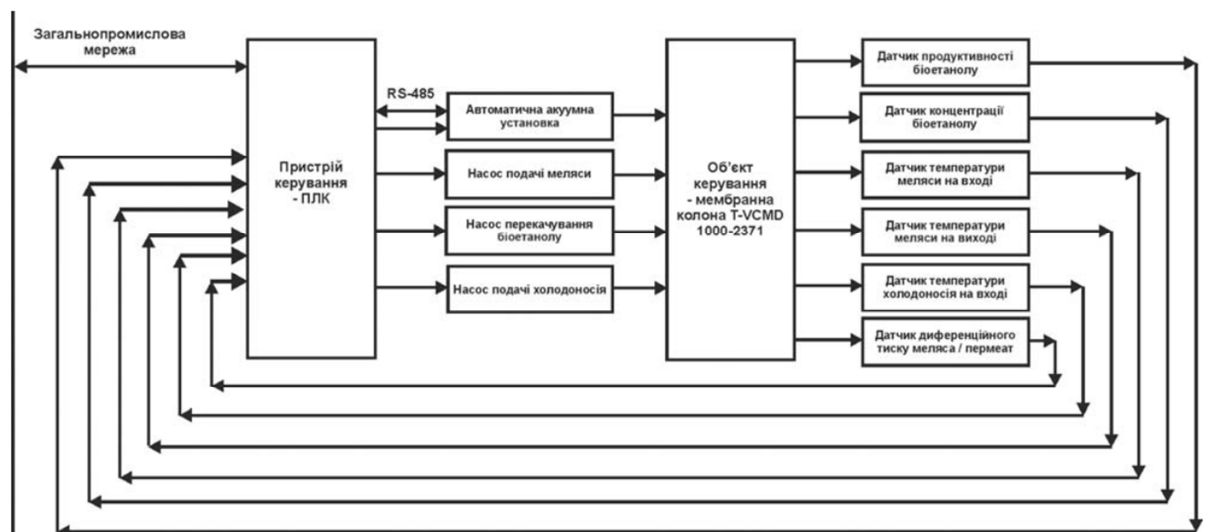


Рисунок 1.8 – Структурна схема системи керування

За технічними параметрами необхідно вимірювати температуру меляси на вході у діапазоні 60...80 °С, температуру меляси на виході у діапазоні 40...50 °С та температуру холодоносія на вході у діапазоні 15...25 °С, тобто можна мати один тип датчика температури з діапазоном вимірювання 15...80°С. Крім того датчик виміру температури повинен мати стандартний струмовий інтерфейс для підключення до програмованого логічного контролера.

Виходячи з цього, для вимірювання температури обрано датчик Т.ХА-420-Кл1-1 (рис. 1.9), який є термоелектричним перетворювачем з діапазоном вимірювання 0...100 °С, та який має вбудований перетворювач напруги на виході термопари до стандартного струмового сигналу 4...20 мА.



Рисунок 1.9 – Датчик температури Т.ХА-420-Кл1-1

Для вимірювання продуктивність біоетанолу з максимальним значення 2 500 л/год (42 л/хв.) будемо використовувати електронний лічильник OGM-40 витрати палива (рис. 1.10).



Рисунок 1.10 – Електронний лічильник OGM-40 витрати палива

Датчик тиску має стандартний канал зв'язку RS-485 з протоколом MODBUS для підключення до програмованого логічного контролера, та струмовий сигнал 4...20 мА [12].



Для вимірювання концентрація біоетанолу з максимальним значення 99,9 % будемо використовувати датчик Innovate MTX-D датчик вмісту етанолу (рис. 1.11).

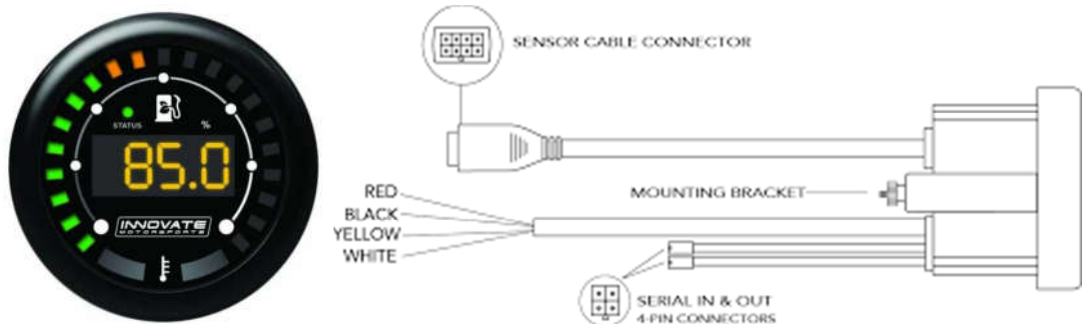


Рисунок 1.11 – Датчик вмісту етанолу Innovate MTX-D

Датчик тиску и температури має відповідно два стандартних канали - виходи 4...20 мА для підключення до програмованого логічного контролера [13].

Для вимірювання диференційного тиску м'яса/пермеат з мінімальним значенням вакууму -0,2 Па будемо використовувати датчик тиску-вакууму XMLBM05A2S12 (рис. 1.12).



Рисунок 1.12 – Датчик тиску-вакууму XMLBM05A2S12

В системі керування мають бути вихідні ланцюг узгодження з наступним технологічним електрообладнанням:

- живлення автоматичної вакуумної установки ~380 В/ 3,6 кВт;
- електродвигун насоса перекачування біоетанолу ~380 В/ 12,0 кВт;
- електродвигун насоса подачі м'яса ~380 В/ 15,0 кВт;
- електродвигун насоса подачі холодоносія ~380 В/ 12,0 кВт.

Все це технологічне обладнання має дискретний тип керування. Тому з метою уніфікації компонентів використаємо трифазне твердотільне реле

змінного струму Jotta SSR 25DA, 480 В змінного струму, з керуванням 0...24 В постійної напруги, яке будемо використовувати у дискретному режимі керування [14].

Так як система керування технологічним обладнанням – мембраною колоною, повинна інтегруватися у загально-заводську автоматизовану систему керування технологічним обладнанням, то вона повинна мати стандартний послідовний канал зв'язку, визначений раніше - RS-485 з протоколом MODBUS, або мережевий канал Ethernet. Наведеним вимогам відповідає програмований логічний контролер VIPA 214-2BS33 (рис. 1.13) з модулями аналогового вводу VIPA 231-1BD40 та дискретного виводу VIPA 222-1BF00.



Рисунок 1.13 – Програмований логічний контролер з модулями

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. 1.14)



Рисунок 1.14 – Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301

Для системи керування технологічним обладнанням - мембранною колоною Т-VCMD 1000-2371 розроблена функціональна схема автоматизації, яка наведена на рисунку 1.15 та схема електрична принципова, рисунок 1.16.

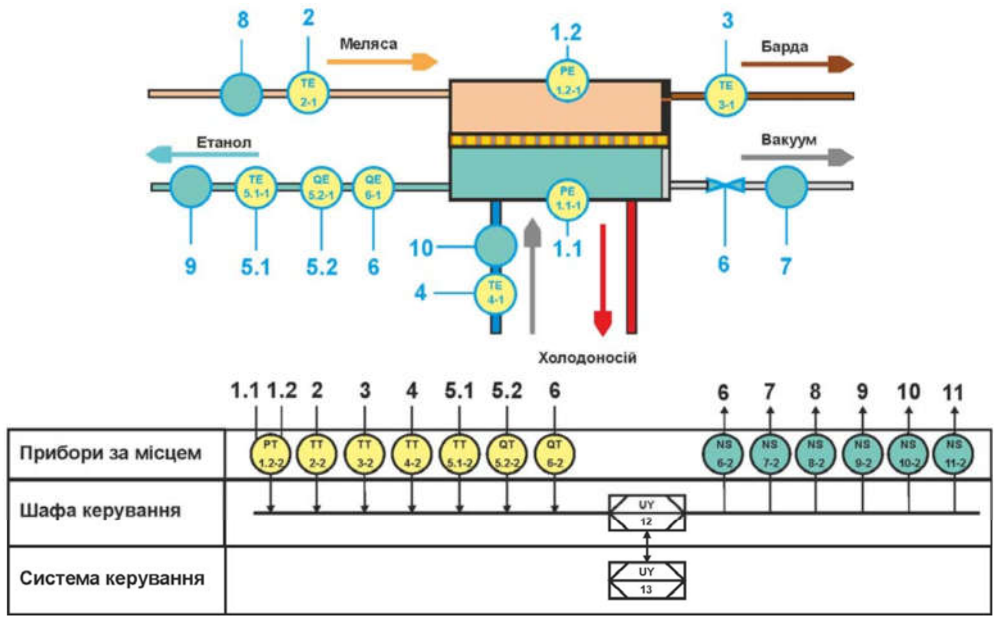


Рисунок 1.15 – Функціональна схема автоматизації системи керування мембранною колоною

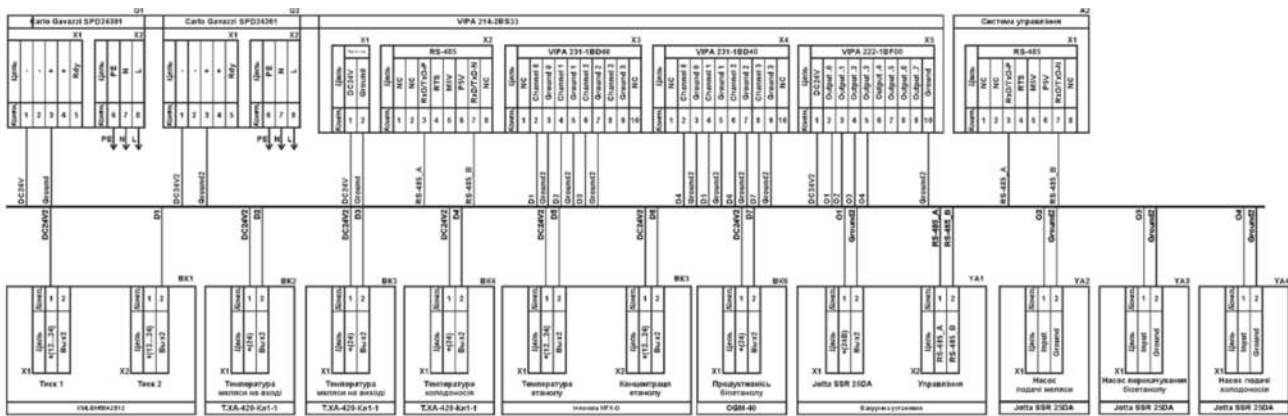


Рисунок 1.16 – Схема електрична принципова системи керування

**1.5 Формулювання задач дослідження**

Метою представленої кваліфікаційної роботи магістра є покращення ефективності функціонування мембранної вакуумної колони по каналу «тиск на стороні пермеату (вакууму) – концентрація етанолу в розчині мел'яси перед мембранним модулем» та синтезу системи керування концентрацією етанолу у сировині.

Мета роботи реалізується через розв'язання таких наукових задач:

аналіз технологічного процесу виробництва біопалива, особливостей методів проведення мембранної дистиляції для визначення основних напрямків автоматизації процесу керування концентрацією етанолу;

розробити імітаційну модель мембранної вакуумної колони, як об'єкта керування;

дослідити роботу імітаційної моделі мембранної вакуумної колони для визначення необхідного алгоритму керування;

розробити систему керування концентрацією етанолу в розчині м'яса на виході з мембранного модуля для підвищення ефективності його роботи.

## **1.6 Висновки по розділу**

В розділі виконано аналіз технологічного процесу виробництва біопалива, розглянуто особливості методів проведення мембранної дистиляції та визначено основний напрямок підвищення ефективності процесу керування концентрацією етанолу – синтез системи керування концентрацією етанолу в розчині м'яса на вході в мембранний модуль вакуумної колони.

## 2 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Модель об'єкта керування

Концентрація пермеату найбільш всього залежить від одного параметру - ступеню розрідження в зоні пермеату і може змінюватися за допомогою вакуумної насосної установки.

Тому слід мати математичну модель динаміки процесу роботи вакуумної мембранної дистиляційної колони, яку можна буде використовувати при синтезі системи керування за обраним каналом керування. Це є модель динаміки переносу маси в процесі розділення етанолу з використанням вакуумної мембранної перегонки за каналом керування «тиск на стороні пермеату (вакуум) → концентрація (вміст) етанолу в розчині сировини перед мембранним модулем».

Попередній аналіз показує, що потік пари збільшується зі збільшенням перепаду тиску на мембрані, але падає його концентрація, і навпаки – зі зменшенням перепаду тиску потік пари зменшується, а концентрація етанолу зростає.

Для визначення параметрів в моделі за керуючий вплив обрано перепад тиску в каналі пермеату, а дійсним значенням концентрація етанолу.

Інформація про перебіг процесу мембранної дистиляції, що відбувався в вакуумній колоні, була отримана за допомогою людино-машинного інтерфейсу (ЛМІ) системи дослідження роботи об'єкта керування.

У кваліфікаційній роботі бакалавра [1], в якості об'єкту керування, обрана вакуумна мембранна колона T-VCMD 1000-2371 з метою побудови підсистеми керування за обраним каналом керування «перепад тиску на стороні пермеату (вакуум) → концентрація (вміст) етанолу в розчині сировини перед мембранним модулем».

Візуалізація процесу керування відбувається за допомогою комп'ютера з SCADA системою zenon. Така підсистема дозволяє, крім функцій керування, виконувати функції дослідження об'єкта - для чого достатньо використати



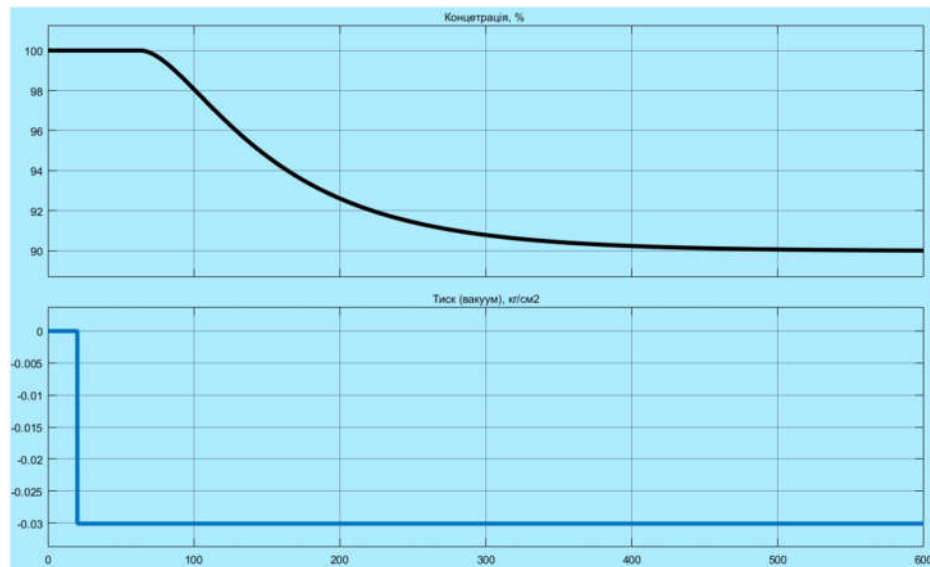


Рисунок 2.2 – Динамічна характеристика

Далі, подібним чином були отримані дані (рис. 2.3) для побудови статичної характеристики.

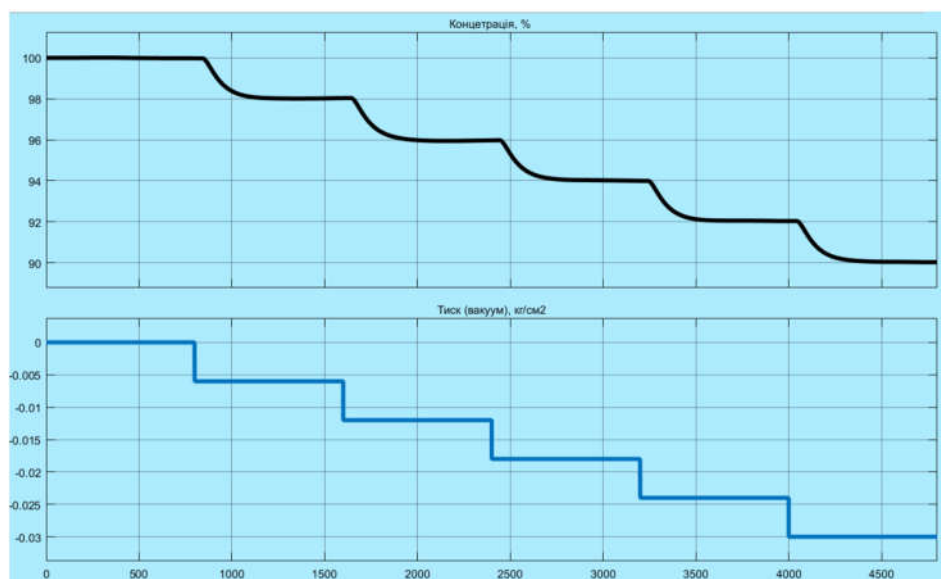


Рисунок 2.3 – Дані для побудови статичної характеристики

Імпульсна характеристика (рис. 2.4) об'єкта керування була отримана при подачі східчастого (П-подібного) впливу зі значенням  $-0,030$  кг/см<sup>2</sup> (100 %) та подальшим встановленням 0 після досягнення сталого значення на характеристиці.

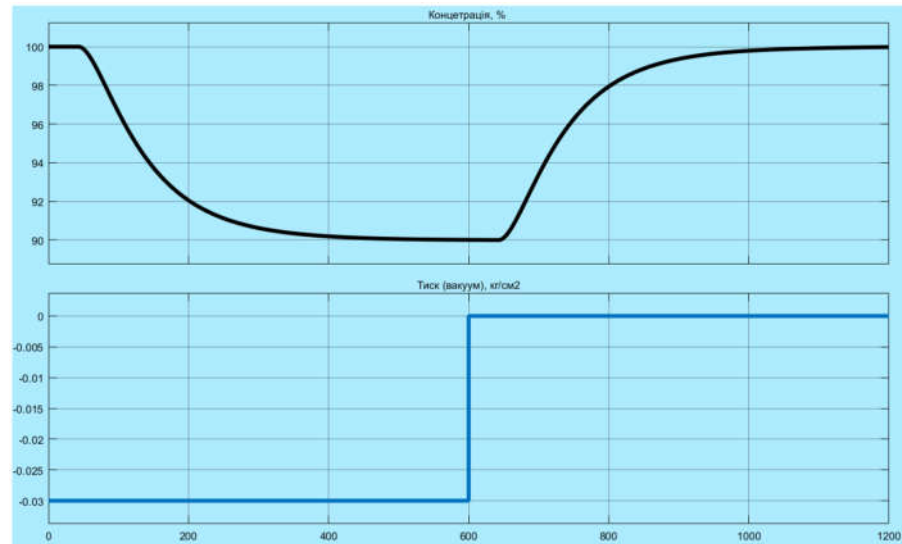


Рисунок 2.4 – Імпульсна (П-подібна) характеристика

Перевірочні данні (рис. 2.5), були отримані Для цього було встановлено керуючий вплив на значення  $0,0 \text{ кг/см}^2$  (0 %). Після досягнення усталеного режиму було встановлено керуючий вплив на випадкову в діапазоні  $0,0 \dots 0,030 \text{ кг/см}^2$  (0...100 %), з інтервалом зміни близько 100 с (з попереднього аналізу рисунку 2.2 маємо - перехідний процес 600 с, тобто постійна часу близько  $600 / 5 \approx 120$  с, затримка  $\sim 40$  с), а сама реєстрація відбувалася впродовж 6000 с.

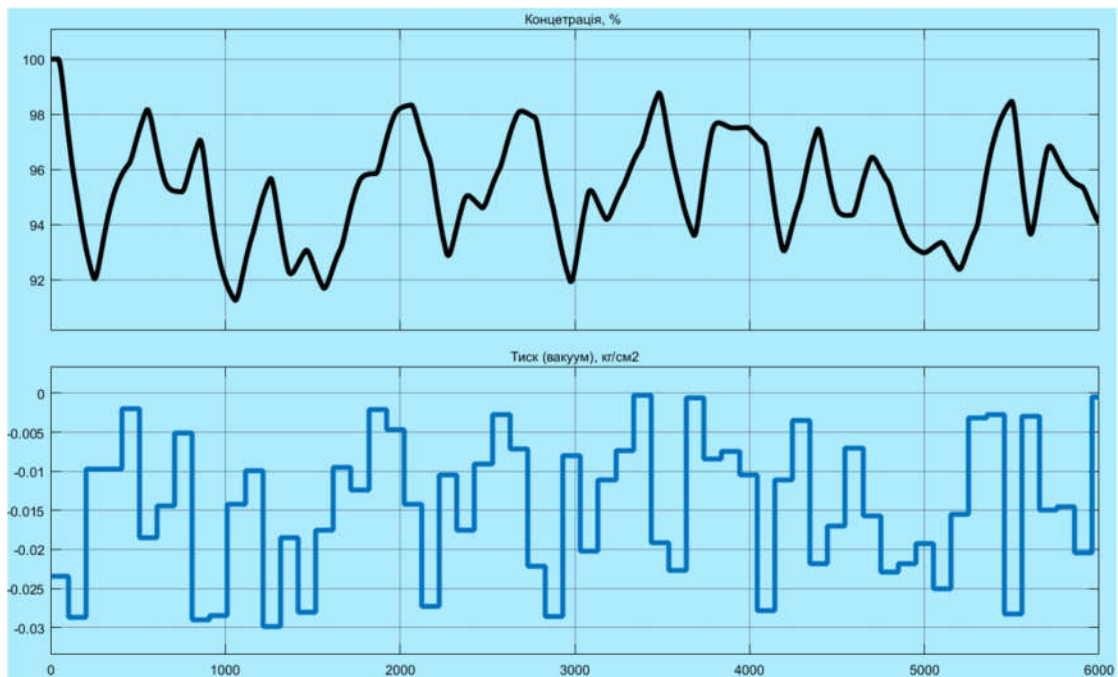


Рисунок 2.5 – Перевірочні данні



Виконавши аналіз отриманих характеристик було зроблено наступні висновки:

об'єкт має запізнення  $\approx 47,5$  с, це може бути пов'язано з інерційністю датчика концентрації, та інерційністю самого процесу у технологічному обладнанні;

об'єкт керування має два виражених корені, і модель об'єкта відповідає аперіодичній ланці другого чи більш високого порядку з запізненням;

статична характеристика, що представлена на рисунку 2.6 є лінійною. Зважаючи на це можна стверджувати, що об'єкт керування є лінійним;

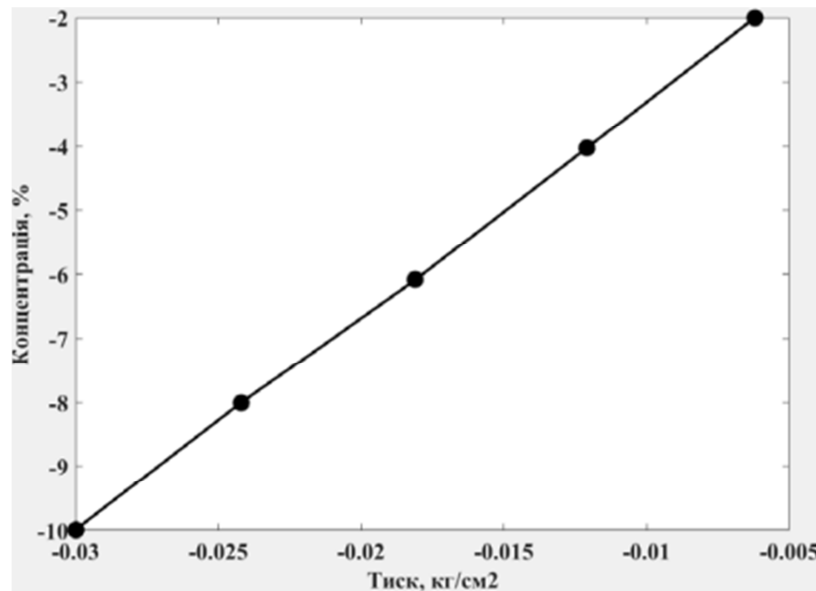


Рисунок 2.6 – Статична характеристика об'єкта керування при П-подібному керуючому впливі збільшення диференційного тиску з 0,0 кг/см<sup>2</sup> (0 %) до -0,030 кг/см<sup>2</sup> (100 %) призводить до відповідного зменшення концентрації з 0 % до -10 %, а відповідне зменшення диференційного тиску з -0,03 кг/см<sup>2</sup> (100 %) до 0,0 кг/см<sup>2</sup> (0 %), приводить до відповідного збільшення концентрації з -10 % до -0 %. На підставі цього можливо зробити висновок, що об'єкт не володіє інтегруючими властивостями і є об'єктом з самовирівнюванням.

Таким чином, дослідження об'єкта керування – вакуумної мембранної колони показало що йому найбільше відповідає модель у вигляді передатної функції 2-го порядку з запізненням (рис.2.7). Результат моделювання об'єкта у математичному пакеті MATLAB/Simulink представлений на рисунку 2.8.

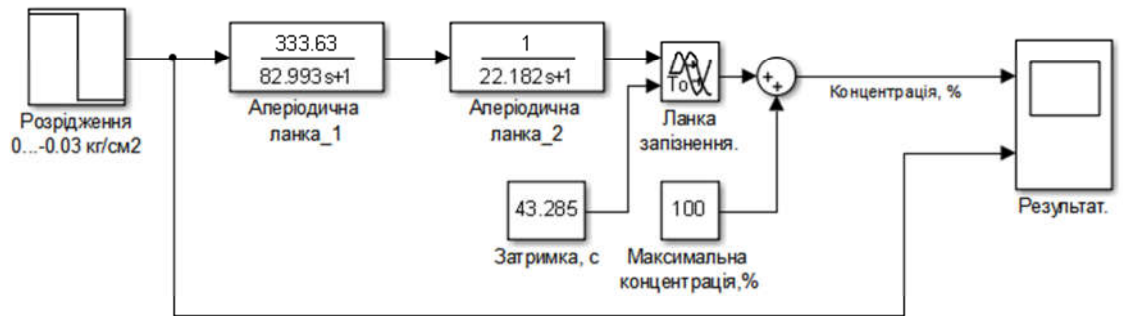


Рисунок 2.7 – Модель вакуумної мембранної колони у вигляді передатної функції 2-го порядку з запізненням

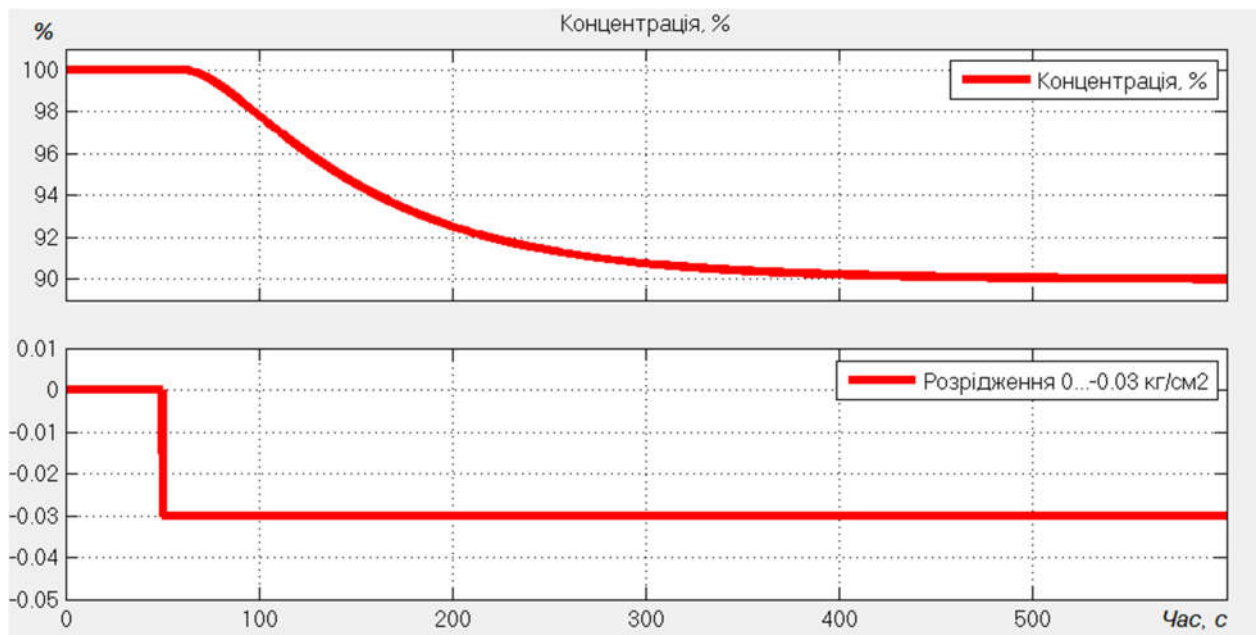


Рисунок 2.8 – Результат моделювання об'єкта у математичному пакеті MATLAB/Simulink

## 2.2 Критерії якості функціонування системи керування

Під час виконання досліджень та аналізу вакуумної мембранної колони, як об'єкту керування було встановлено, що під час роботи установки можливі різкі зміни концентрації через коливання рівня розрідження на мембрані. Збурюючим фактором є зміна коефіцієнта пропуску парів

біоетанолу крізь пори дифузної мембрани, через їх поступове засмічення, що значною мірою впливає на коефіцієнт підсилення передаточної функції об'єкта керування.

З огляду на особливості функціонування вакуумної мембранної колони були визначені критерії якості реакції системи на зміну уставки. До цих критеріїв відносяться:

- тривалість перехідного процесу при зміні концентрації біоетанолу в зоні пермеату за умови досягнення діапазону  $\pm 10\%$  від заданого значення;
- величина перерегулювання, що має складати не більше 20%, від заданого значення концентрації біоетанолу;
- відсутність статичної похибки керування, тобто вона повинна дорівнювати нулю.

Таким чином, зважаючи на означені критерії якості до функціонування системи керування концентрацією біоетанолу в зоні пермеату, та наявність імітаційної моделі об'єкта керування - вакуумної мембранної колони, в роботі мають бути виконані дослідження системи керування на робастність, при зменшенні коефіцієнту дифузії парів біоетанолу через засмічення пор дифузної мембрани та зміни властивостей сировини на вході дифузної мембрани. Це вимагає при дослідженні системи керування змінити коефіцієнт посилення  $K$  та постійну часу в межах 10%.

Для імітаційної моделі вакуумної мембранної колони потрібно буде провести дослідження функціонування при використанні оптимального регулятора для визначення граничних показників часу наростання та встановлення при використанні П, ПД, ПІД регуляторів.

Виконаємо розрахунок параметрів оптимального регулятора. Оптимальний регулятор створюється за принципом максимуму Понтрягіна.

Зважаючи, що об'єкт керування - вакуумна мембранна колона у представлена у вигляді аперіодичної ланки другого порядку із запізненням, то для подальших розрахунків визначені наступні вхідні дані:

$K=333,63;$

$T1=82,993;$

$T2=22,182;$

$T_{delay}=43,285c.$

Розрахунок параметрів виконаємо на основі низки m-функцій, розроблених у ППП MATLAB. Код функції, для визначення налаштувань оптимального регулятора, представлений на рисунку 2.9.

```

1  function PontryaginMaximumPerformanceO2(K, T1, T2, xn, xk, Umin, Umax)
2  %Діапазон розрахунку відповідає більший постійній часу
3  if (T1 > T2)
4      t2=0 : T1 / 1000.0 : T1 * 3;
5  else
6      t2=0 : T2 / 1000.0 : T2 * 3;
7  end
8  if (xn < xk)
9      U0 = Umax;
10     U1 = Umin;
11     fprintf('Виконується збільшення дійсного значення \n\n')
12 else
13     U0 = Umin;
14     U1 = Umax;
15     fprintf('Виконується зменшення дійсного значення \n\n')
16 end
17 %Розрахунок двох кривих точка перетину яких дає час комутації
18 ft1 = T1 * log(((xk - K * U1) * exp (t2 / T1) - (xn - K * U0))/(K * (U0 - U1)));
19 ft2 = T2 * log(((xk - K * U1) * exp (t2 / T2) - (xn - K * U0))/(K * (U0 - U1)));
20 %Розрахунок часу комутації
21 TI = 0;
22 TU1 = 0;
23 TU2 = 0;
24 for i=2:size(ft1, 2) - 1
25     if (ft1(i) > ft2(i - 1) && ft1(i) < ft2(i + 1))
26         TU1 = TU1 + ft1(i) + ft2(i);
27         TU2 = TU2 + t2(i);
28         TI = TI + 1;
29     end
30 end
31 TU1 = TU1 / TI / 2;
32 TU2 = TU2 / TI;
33 U2 = xk / K;
34 %Результат
35 fprintf('u0 = %f, u1 = %f, u = %f, t1 = %f, t2 = %f\n\n', U0, U1, U2, TU1, TU2)

```

Рисунок 2.9 – m-функція розрахунку параметрів оптимального регулятора

Результат виконання розрахунку:

$u_0=-0.03, u_1=0.00, u=-0.021, t_1=121.467, t_2=129.303$

Для візуалізації розрахунку використано m-функцію, код якої представлено на рисунку 2.10.

```

%Візуалізація характеристик
figure_handle = findobj('Tag', 'Tag_Pontryagin_Figure');
if (ishandle(figure_handle))
    close(figure_handle);
end
figure('Name', 'Часові характеристики', 'Tag', 'Tag_PontryaginMaximumPerformance_Figure');
if (xn < xk)
    plot(ft1, t2);hold all;plot(ft2, t2);hold off;figure(gcf);
else
    plot(ft2, t2);hold all;plot(ft1, t2);hold off;figure(gcf);
end
xlabel('t2, c');
ylabel('t1, c');

```

Рисунок 2.10 – m-функція візуалізації розрахунку параметрів оптимального регулятора

Результат роботи m-функції візуалізації розрахунку параметрів оптимального регулятора представлений на рисунку 2.11

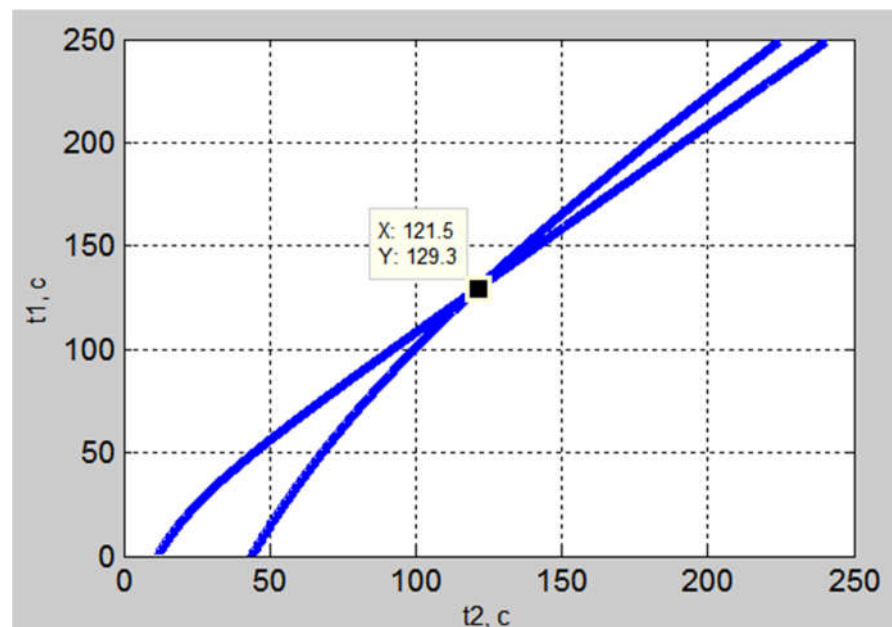


Рисунок 2.11 – Візуалізація результатів розрахунку параметрів оптимального регулятора

З огляду на отриманий результат розрахунку параметрів оптимального регулятора, було розроблено імітаційну модель у середовищі Simulink, програмного пакету MATLAB (рис. 2.12). Уставка дійсного значення – концентрація біоетанолу 93%. Для визначення максимального часу наростання дійсного значення (90% від уставки) та часу встановлення дійсного значення (99% від уставки) за умови використання керуючого впливу у вигляді значення розрідження  $u = -0.021$  кг/см<sup>2</sup>. Результати моделювання представлені на рисунку 2.13.

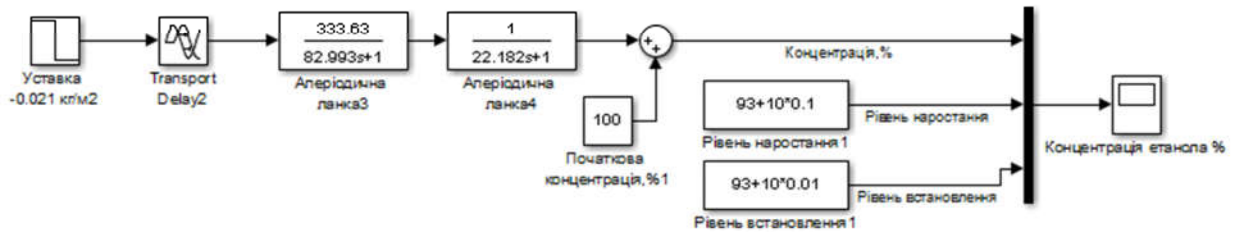


Рисунок 2.12 – Імітаційна модель для визначення максимальних обмежень часу

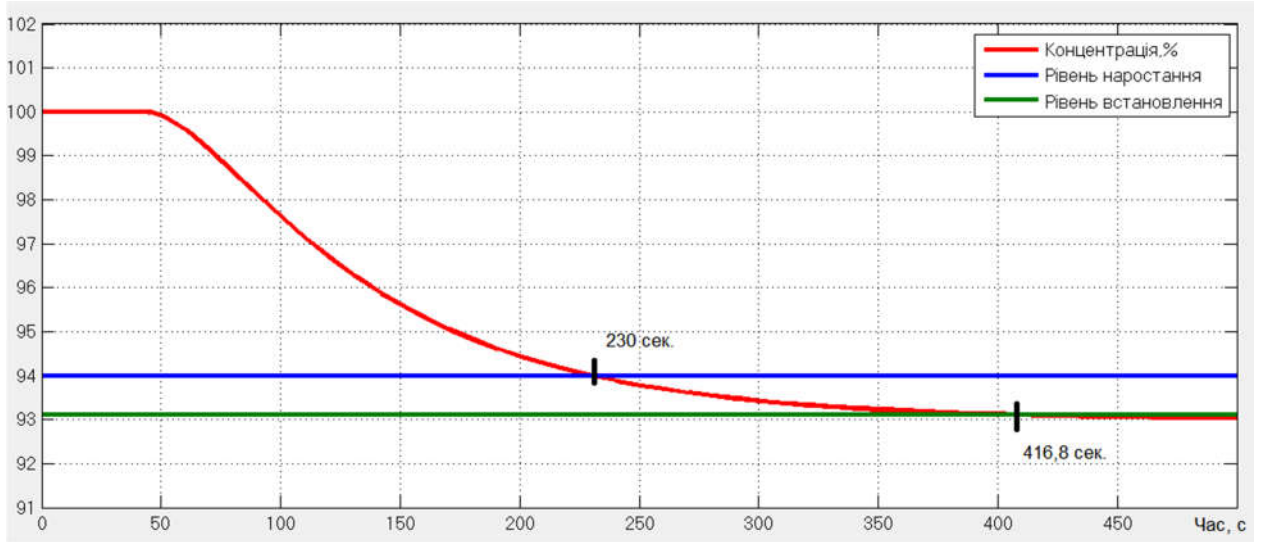


Рисунок 2.13 – Результати визначення максимальних обмежень часу

Для визначення мінімального часу наростання дійсного значення (90% від уставки) та часу встановлення дійсного значення (99% від уставки) за умови використання керуючого впливу у вигляді значення розрідження  $\mu = -0.03$  кг/см<sup>2</sup> до 121.467 секунди, потім керуючий вплив встановлюємо в 0, і після 129.303 секунди встановлюється значення  $-0.021$  кг/см<sup>2</sup> (рис.2.14). Результати визначення значень мінімального часу наростання та встановлення представлені на рисунку 2.15.

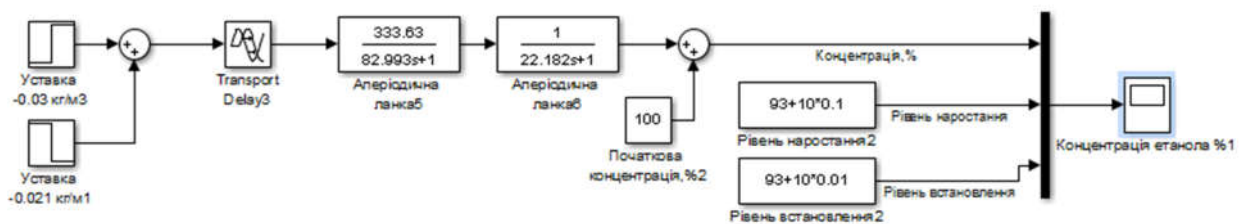


Рисунок 2.14 – Імітаційна модель для визначення мінімального часу наростання та встановлення

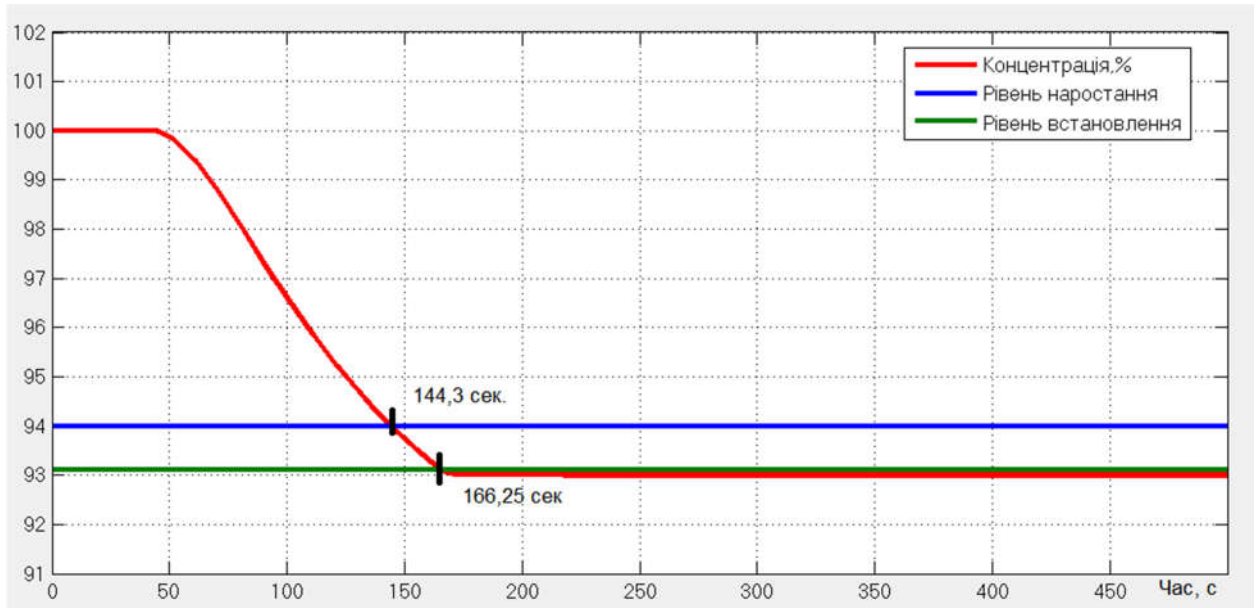


Рисунок 2.15 – Результати визначення мінімального часу наростання та встановлення

Аналіз результатів моделювання та визначення отриманих показав, що:

$T_{\max}$  наростання = 230 с,  $T_{\min}$  наростання = 144,3 с,

$T_{\max}$  встановлення = 416,8 с,  $T_{\min}$  встановлення = 166,25 с.

Перерегулювання відсутнє.

## 2.3 Синтез системи керування

### 2.3.1 Модель системи керування

У загальному вигляді система керування вакуумною мембранною колоною за каналом «тиск на стороні пермеату (вакуум) → концентрація етанолу в розчині сировини перед мембранним модулем». може бути представлена у вигляді структурної схеми (рис. 2.16), що складається з окремих моделей складових системи: пристрою керування (регулятора), датчика концентрації (вмісту) етанолу, вакуумної насосної установки та вакуумної мембранної колони.

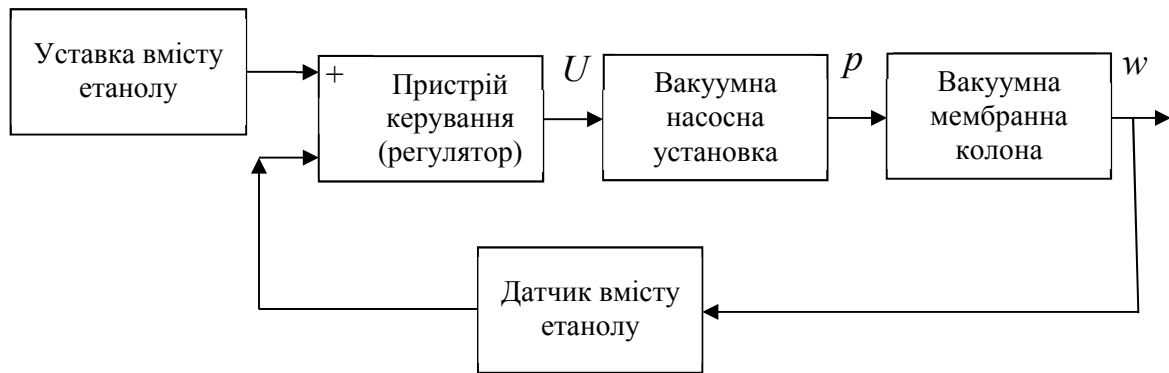


Рисунок 2.16 – Структурна схема САК температурою повітря холодильної камери

На рис.2.16 прийняті такі позначення:

$w_3$  – задане значення вмісту етанолу (масова частка), уставка, %;

$w$  – поточне значення вмісту етанолу, %;

$\Delta w$  – відхилення поточного значення температури від уставки, %;

$U$  – сигнал керування вакуумною насосною установкою;

$p$  – розрідження, створюване вакуумною насосною установкою,  $\text{кг/см}^2$ .

### 2.3.2 Структура регулятора

Для визначення параметрів П, ПІ, ПІД-регуляторів у промисловості найчастіше використовують методи Циглера-Нікольса та AMIGO, завдяки їх простоті та достатній точності на попередніх етапах налаштування систем керування.

Для розрахунку параметрів регуляторів методом Циглера-Нікольса вакуумна мембранна колона має бути представлена передаточною функцією у вигляді послідовно аперіодичної ланки 1-го порядку з запізненням з такими параметрами:

$$K = 333.591, T = 96.061, \tau = 54.102$$

Розраховані в Matlab параметри регуляторів за методом Циглера-Нікольса:

П-регулятор (пропорційний регулятор):

$$K_p = 0.005$$

ПІ-регулятор (пропорційно-інтегральний регулятор):



$$K_p = 0.005, T_i = 162.307$$

ПІД-регулятор (пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор):

$$K_p=0.006, T_i=108.204, T_d=27.051, N=10.000$$

Для методу AMIGO також використовується апроксимована передаточна функція 1-го порядку з запізненням. Параметри регуляторів, що були розраховані за методом AMIGO:

П-регулятор:

$$K_p = 0.002$$

ПІ-регулятор:

$$K_p = 0.002, T_i = 89.417$$

ПІД-регулятор:

$$K_p=0.003, T_i=83.639, T_d=23.141, N=10.000$$

Таблиця 2.1 – Параметри П, ПІ, ПІД-регуляторів отримані за методом Циглера-Нікольса

	$K_p$	$T_i$	$T_d=K_d$	$T_f$	$N$
П	0.005				
ПІ	0.005	162.307			
ПІД	0.006	108.204	27.051	2.7051	10

Таблиця 2.2 – Параметри П, ПІ, ПІД-регуляторів отримані за методом AMIGO

	$K_p$	$T_i$	$T_d=K_d$	$T_f$	$N$
П	0.002				
ПІ	0.002	89.417			
ПІД	0.003	83.639	23.141	2.3141	10

В роботі бакалавра у пакеті MATLAB/Simulink була створена імітаційна модель об'єкта керування, вакуумної мембранної колони. Визначивши параметри регуляторів, доповнимо модель об'єкта керування відповідними регуляторами, отримавши імітаційні моделі системи керування вакуумною мембранною колоною за каналом «тиск на стороні пермеату

(вакуум) → концентрація етанолу в розчині сировини перед мембранним модулем», перевіримо та порівняємо їх роботу.

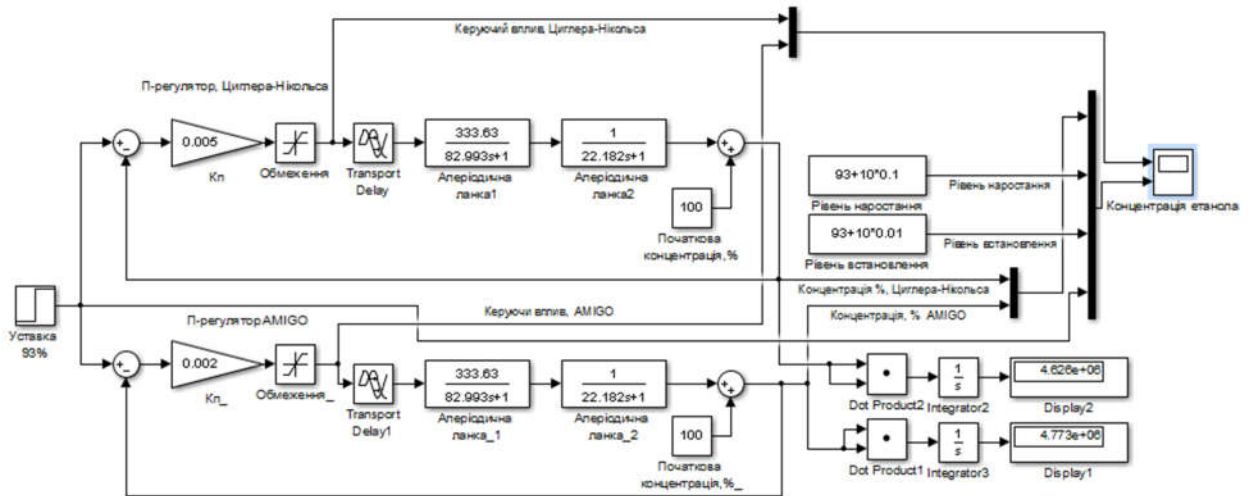


Рисунок 2.17 – Імітаційні моделі системи керування вакуумною мембранною колоною з П-регулятором

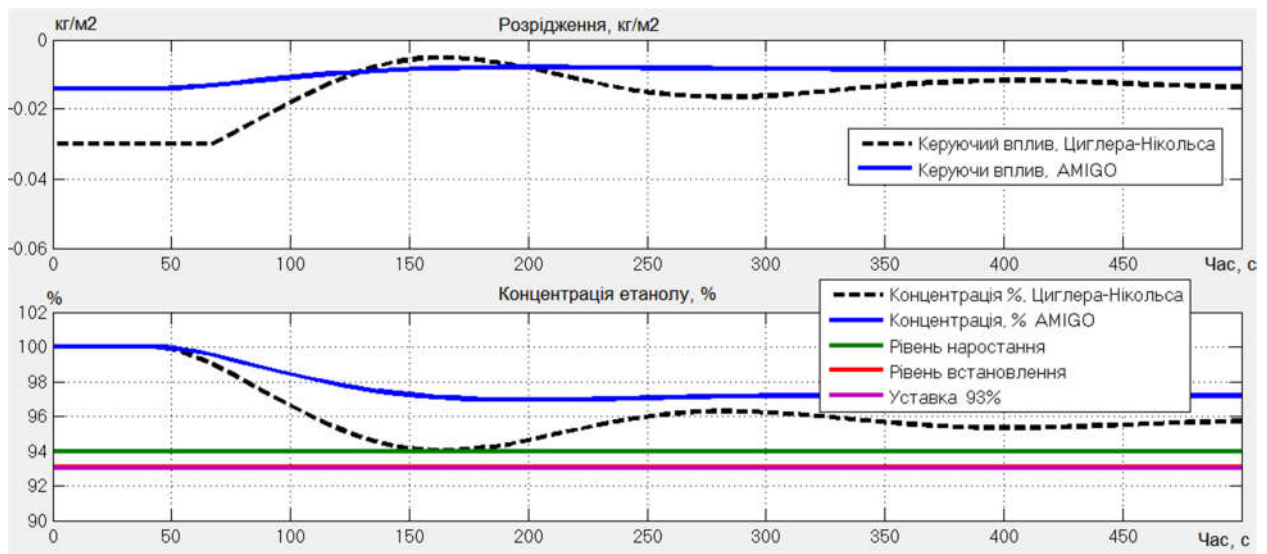


Рисунок 2.18 – Результати моделювання моделей (рис.2.17)

Таблиця 2.3 – Критерії оцінки роботи П-регулятора

№	Метод	Час наростання		Час встановлення		Перерегулювання		Інтегральна оцінка
		с	%	с	%	%	%	
1	Циглера-Нікольса	-	-	-	-	-	-	4.626
2	AMIGO	-	-	-	-	-	-	4.773

Аналіз отриманих результатів моделювання систем керування з П-регуляторами (рис.2.17) показав статичну помилку, що не відповідає висунутим вимогам.

Дослідимо роботу систем керування з ПІ-регуляторами (рис.2.19).

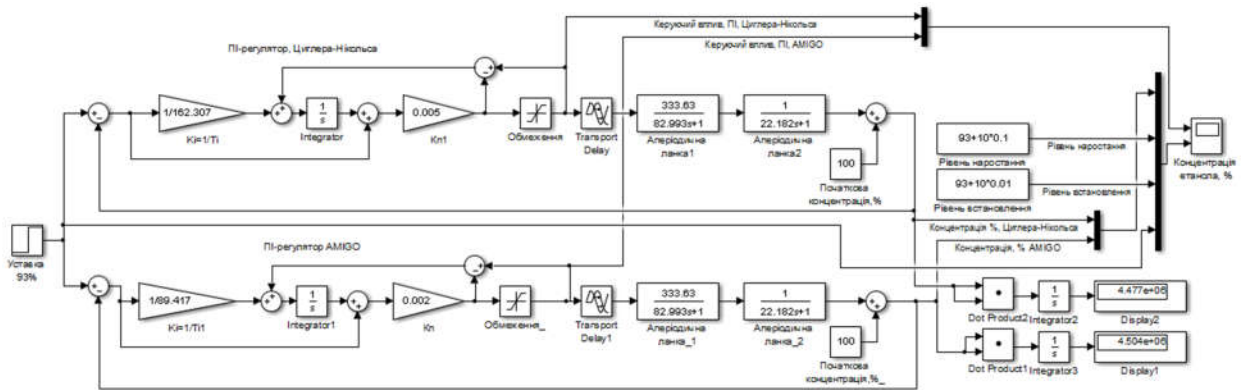


Рисунок 2.19 – Системи керування з ПІ-регуляторами

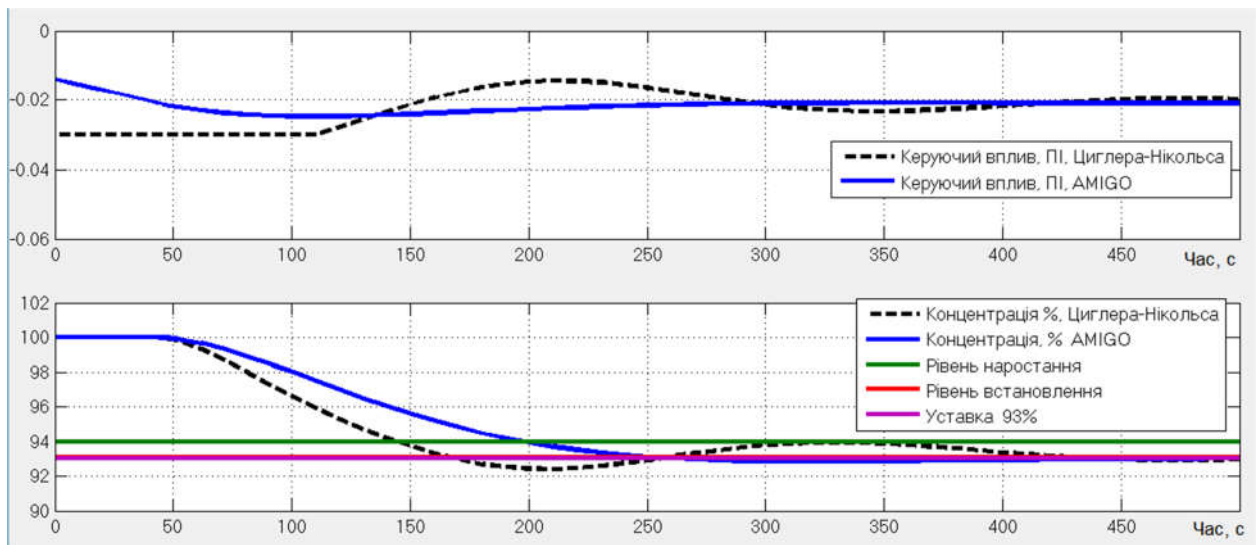


Рисунок 2.20 – Результати моделювання моделей (рис.2.19)

Таблиця 2.4 – Критерії оцінки ПІ-регулятора

№	Метод	Час наростання		Час встановлення		Перерегулювання		Інтегральна оцінка
		с	%	с	%	%	%	
1	Циглера-Нікольса	145,5	1,40	168,3	0,82	0,580	5,8	4,477
2	AMIGO	197,4	61,96	252	34,22	0,16	1,6	4,504

Аналіз отриманих результатів моделювання систем керування з ПІ-регуляторами (рис.2.20) показав, що статична помилка для обох варіантів відсутня. При цьому система керування з ПІ-регулятором, параметри якого визначені за методом Циглера-Нікольса має кращі показники якості, які наближені до значень, отриманих при використанні оптимального регулятора.

Тому для подальших досліджень використаємо ПІ-регулятор з наступними параметрами:

$$K_p=0,005, T_i=162,307$$

### 2.3.3 Оцінка якості функціонування системи керування

Подальші дослідження використаємо імітаційну модель системи керування, яка приведена на рисунку 2.21:

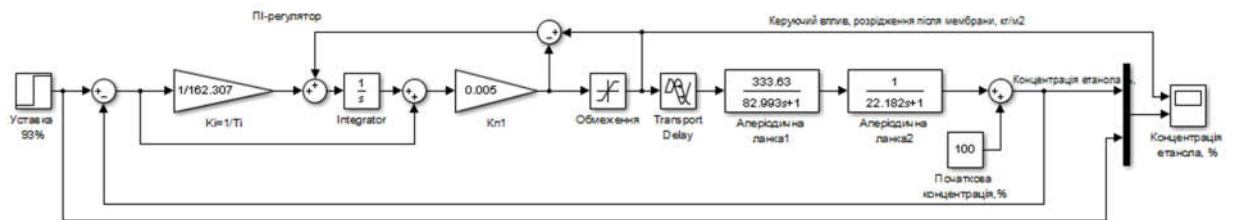


Рисунок 2.21 – Модель системи керування для досліджень

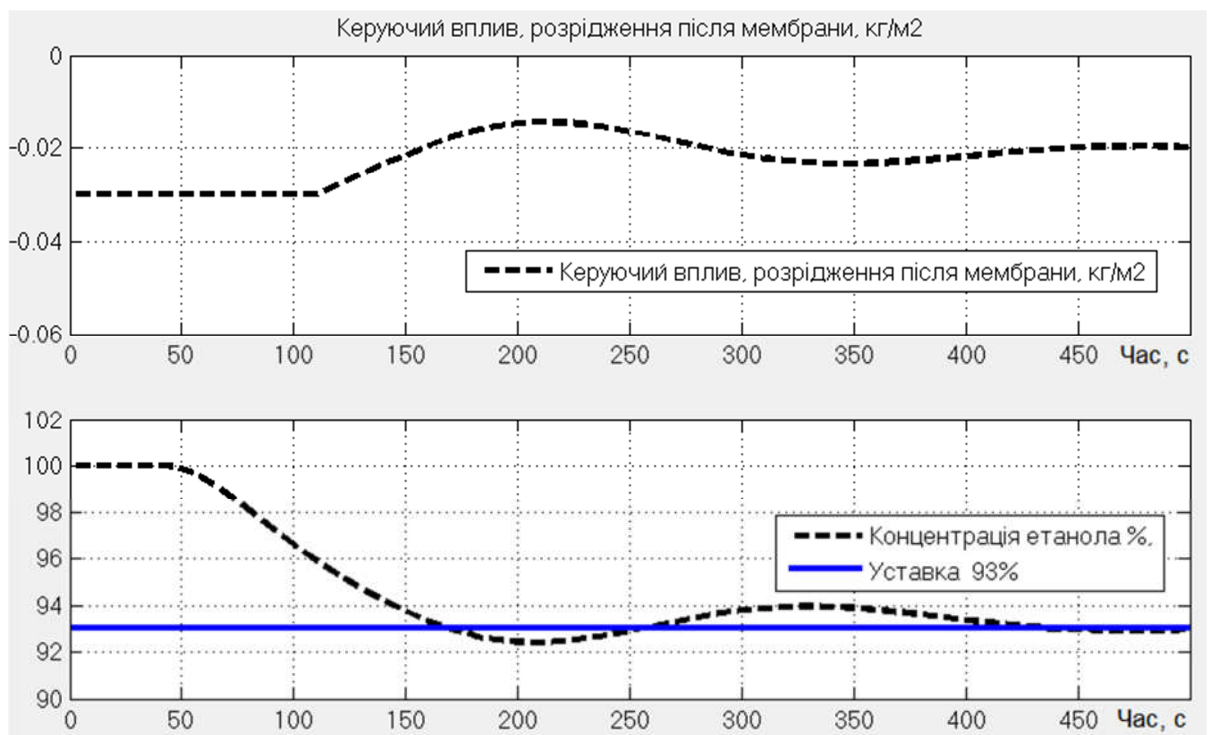


Рисунок 2.22– Результати моделювання системи керування (рис.2.21)

Дослідимо реакцію системи керування вакуумною мембранною колоною за каналом «тиск на стороні пермеату (вакуум) → концентрація етанолу в розчині сировини перед мембранним модулем» під впливом зовнішніх збурень та стійкість системи при зміні параметрів обладнання (перевірка на робастність).

Збурення у вигляді зменшення значення розрідження на  $0,002 \text{ кг/м}^2$ , яке може бути викликане частковою розгерметизацією зони після мембрани, буде подано на 300 секунді моделювання.

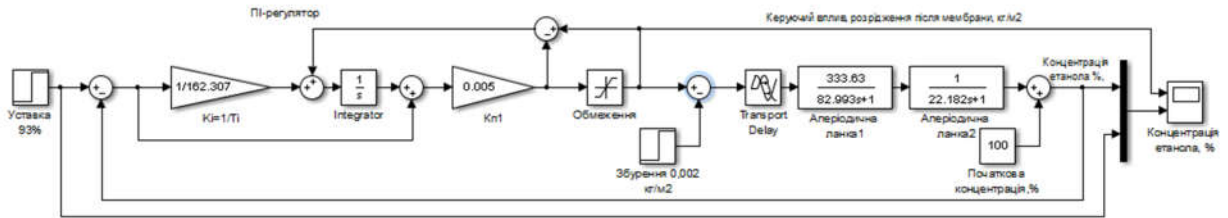


Рисунок 2.23 – Імітаційна модель при наявності збурення

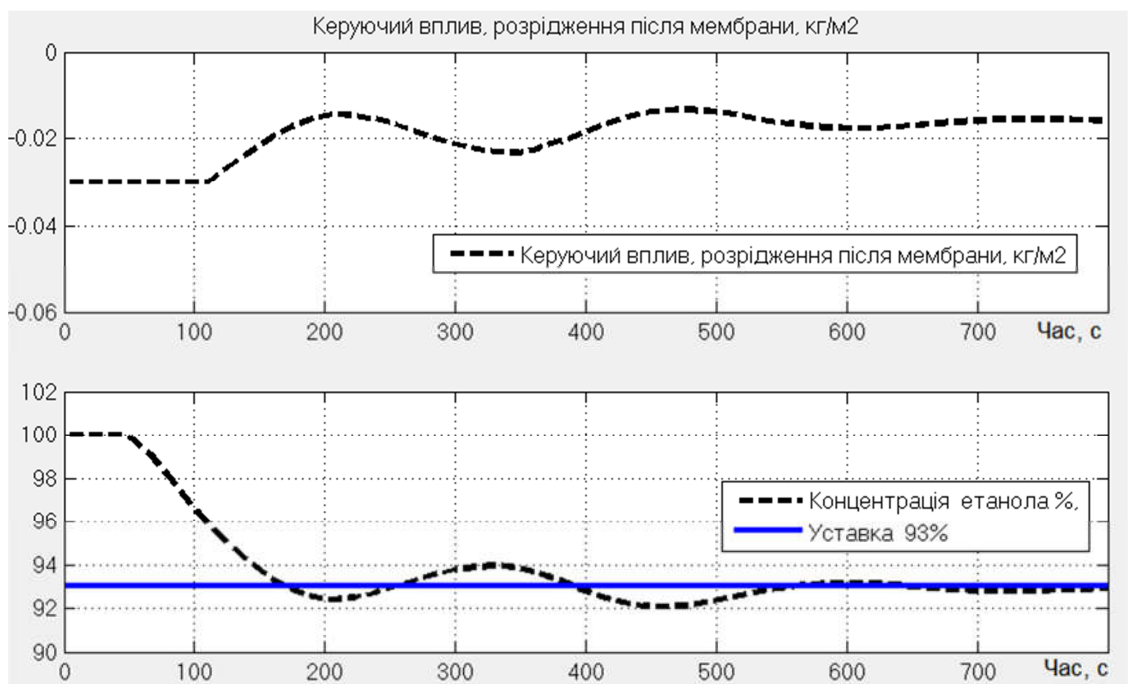


Рисунок 2.24 – Результати моделювання при наявності збурення

Реакції системи керування вакуумною мембранною колоною на імітацію збурення, що наявність подібного збурення значною мірою не впливає на роботу системи керування, потребуючи лише збільшення керуючого впливу (розрідження перед мембраною).

Перевірка на робастність системи керування буде виконуватись шляхом зміни параметрів моделі об'єкта керування: в одному випадку коефіцієнт підсилення  $K$  об'єкта буде зменшено на 10%, а у другому – буде збільшено постійну часу  $T_1$ , також на 10%.

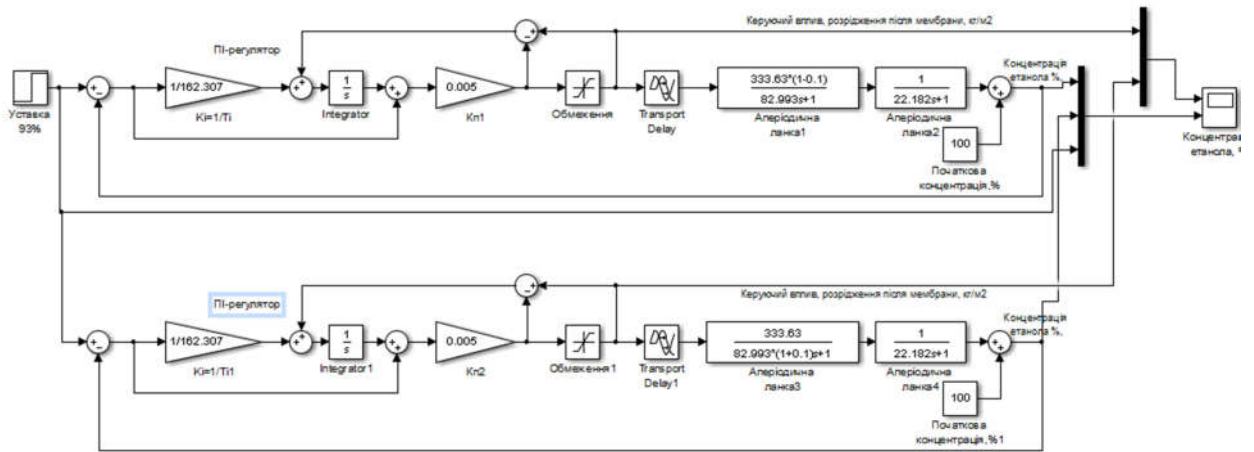


Рисунок 2.25 – Імітаційна модель перевірки системи керування на робастність

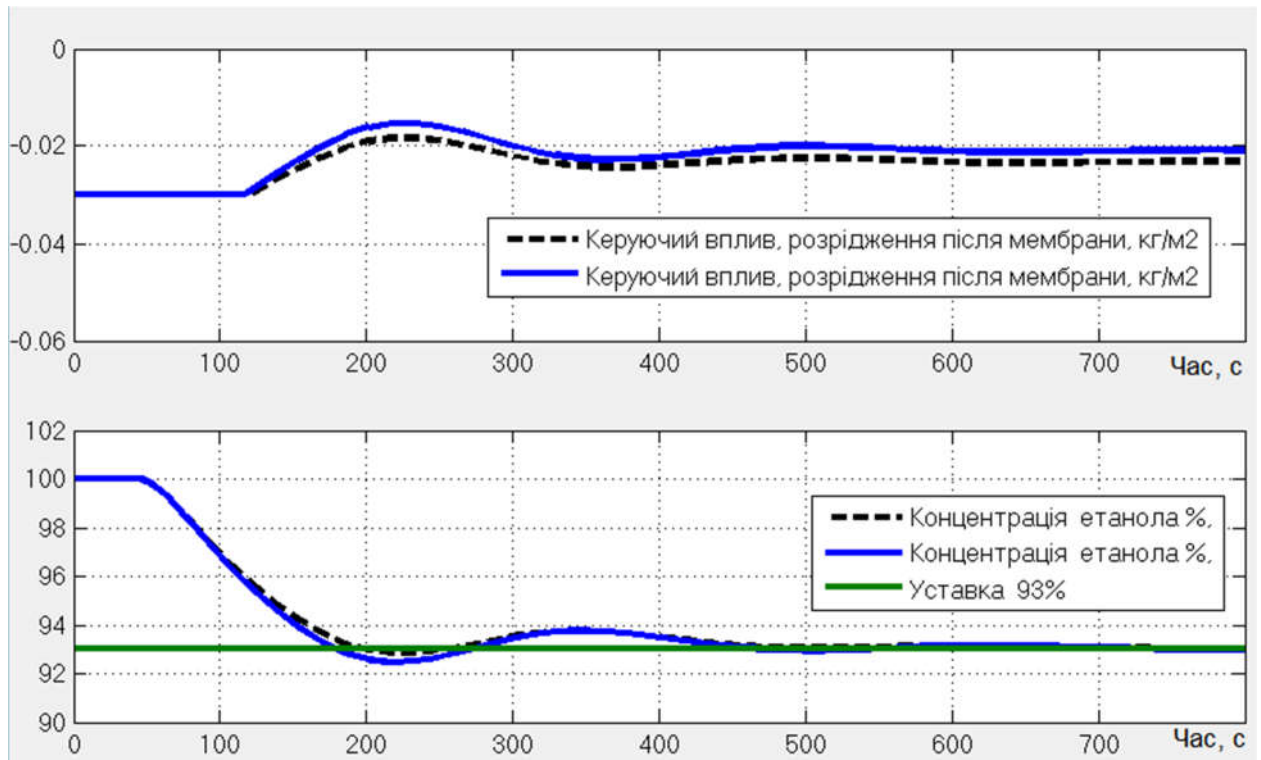


Рисунок 2.26 – Результати перевірки

Перевірка системи керування вакуумною мембранною колоною на робастність показала, що регулятор компенсує зміни параметрів об'єкта керування і система виконує функції згідно вимог.



## 2.4 Програмне забезпечення системи керування

### 2.4.1 Цифрова модель об'єкта керування

У попередніх дослідженнях була визначена неперервна модель системи керування вакуумною мембранною колоною за каналом «тиск на стороні пермеату (вакуум) → концентрація етанолу в розчині сировини перед мембранним модулем» (рис.2.27).

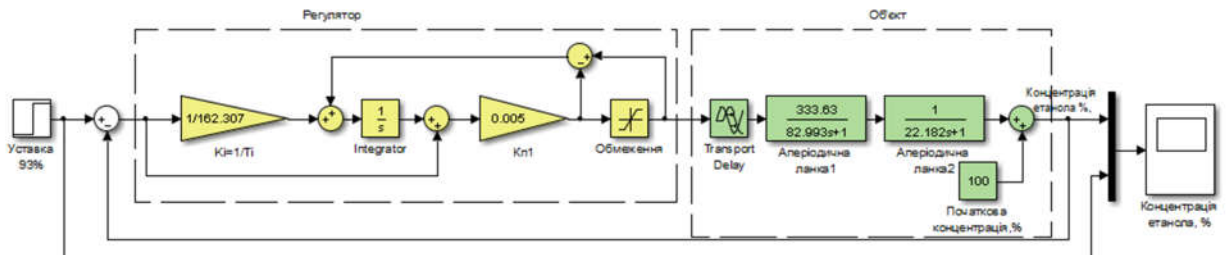


Рисунок 2.27 – Імітаційна модель системи керування

Визначимо час дискретизації для цифрової моделі системи керування, який необхідний для реалізації цифрового регулятора.

Час дискретизації повинен бути у 10 разів менше найбільшої постійної часу об'єкта керування – 82,993с.

$cycle = T_{max}/10$ , де  $T_{max}$  - найбільша постійна часу об'єкта керування.

Також, час дискретизації повинен бути більшим ніж:  $cycle = T_{max}/200$

З огляду на те, що зазвичай програмний цикл програмованих контролерів становить 100мс, то в математичному пакеті MATLAB/Simulink значення дискретизації моделювання "Sample time" буде дорівнювати 0.1 с.

Використовуючи функціональні можливості середовища ППП Matlab перетворимо неперервні елементи імітаційної моделі системи керування в цифрову форму.

Для розглянутого об'єкта керування, перша аперіодична ланка:

```
>> tfz = c2d(tf([1], [82.993 1]), 0.1);
```

```
b = [tfz.num{1}(2)];
```

```
a = [1, tfz.den{1}(2)];
```

```
fprintf('b0 = %0.10f, a0 = %0.10f\n\n', b(1), a(2));
```

```
b0 = 0.0012041953, a0 = -0.9987958047;
```

друга аперіодична ланка:

```
tfz = c2d(tf([1], [22.182 1]), 0.1);
b = [tfz.num{1}(2)];
a = [1, tfz.den{1}(2)];
fprintf('b0 = %0.10f, a0 = %0.10f\n\n', b(1), a(2));
b0 = 0.0044980133, a0 = -0.9955019867
```

Або спрощено:

```
>> c2d(tf([1],[82.993 1]), 0.1)
```

```
ans =
```

```
0.001204
```

```
-----
```

```
z - 0.9988
```

```
Sample time: 0.1 seconds
```

```
>> c2d(tf([1],[22.182 1]), 0.1)
```

```
ans =
```

```
0.004498
```

```
-----
```

```
z - 0.9955
```

```
Sample time: 0.1 seconds
```

Ланка запізнення

```
>> tfz = c2d(tf([1], 'ioDelay', 43.3), 0.1);
```

```
delayLength = tfz.ioDelay ;
```

```
fprintf('Delay_length = %0.3f\n\n', delayLength);
```

```
Delay_length = 433.000
```

Імітаційна модель для порівняння системи керування в неперервному та цифровому вигляді представлена на рисунку 2.28.



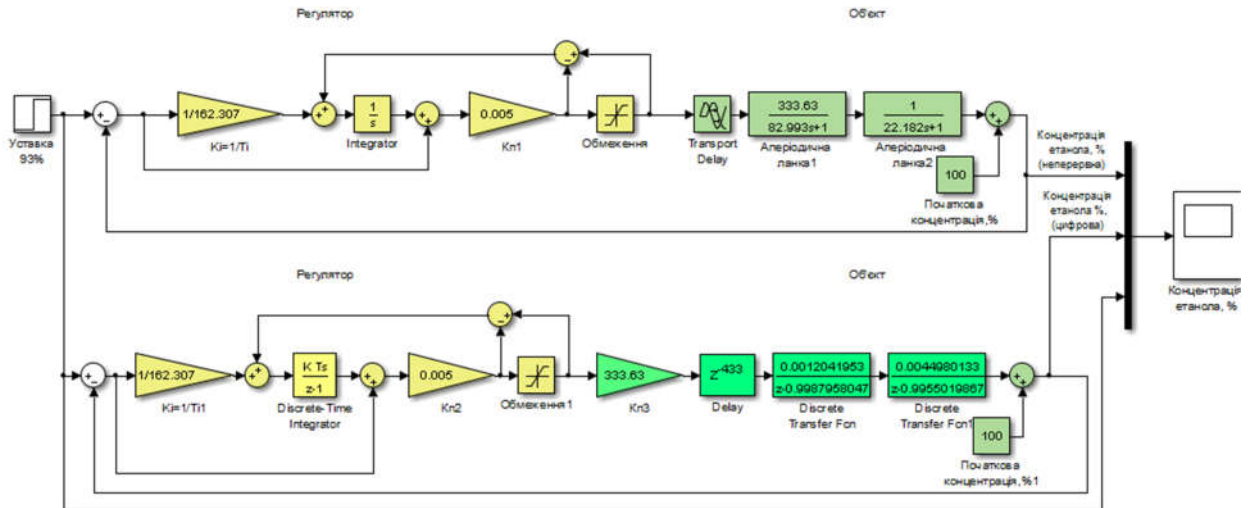


Рисунок 2.28 – Цифрова (вверху) та неперервна (внизу) моделі САК

Адекватність отриманої моделі системи в цифровому вигляді до неперервної моделі не перевищує 5% за НСВ (нормоване середньоквадратичне відхилення).

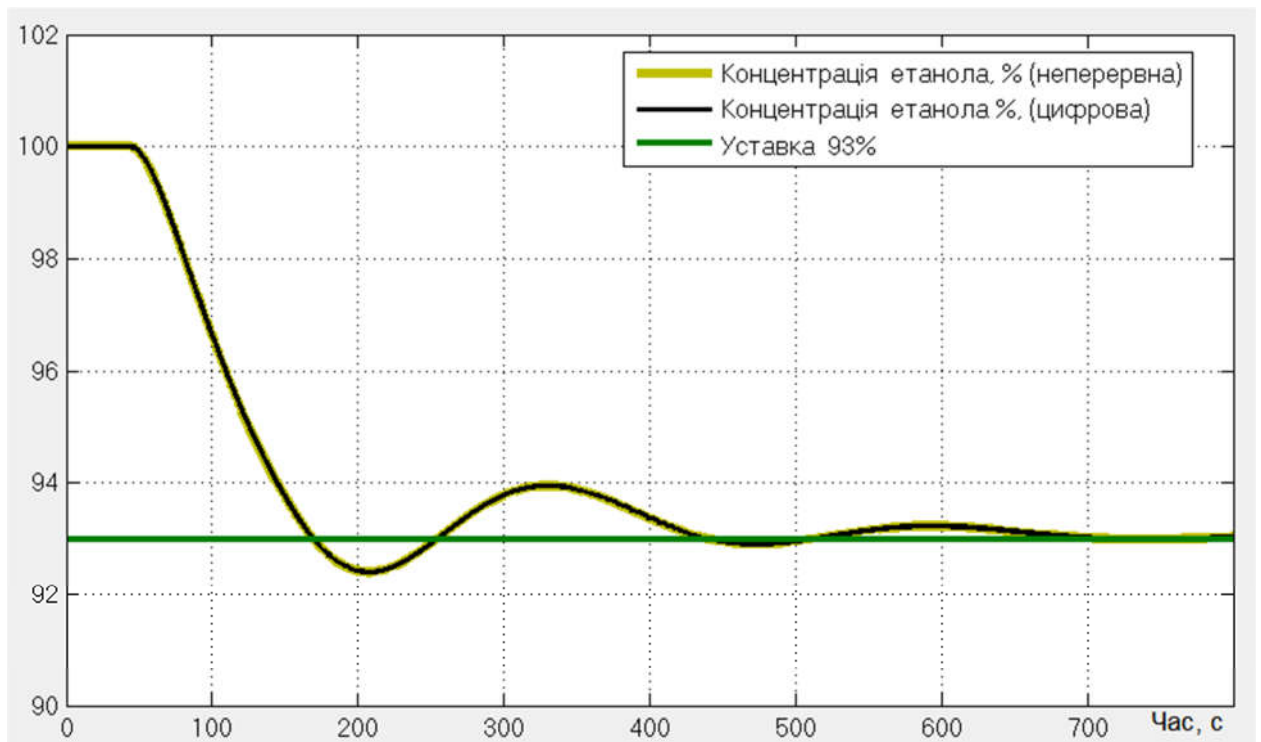
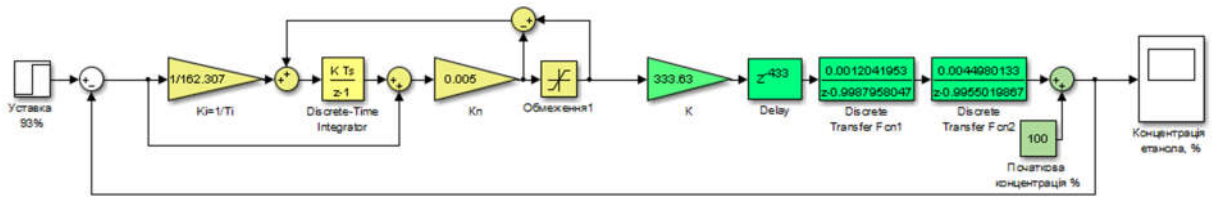


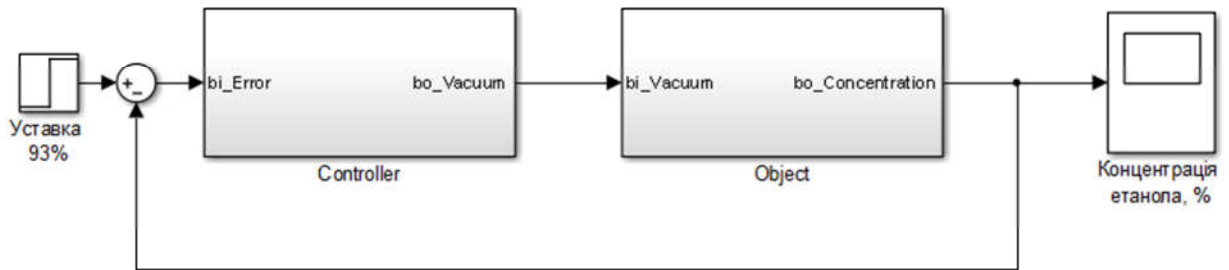
Рисунок 2.29 – Результати імітаційного моделювання неперервної та цифрової систем керування

Отримана цифрова модель системи керування вакуумною мембранною колоною буде використана для розробки програмного забезпечення людино-машиного інтерфейсу та перевірки його функціонування.

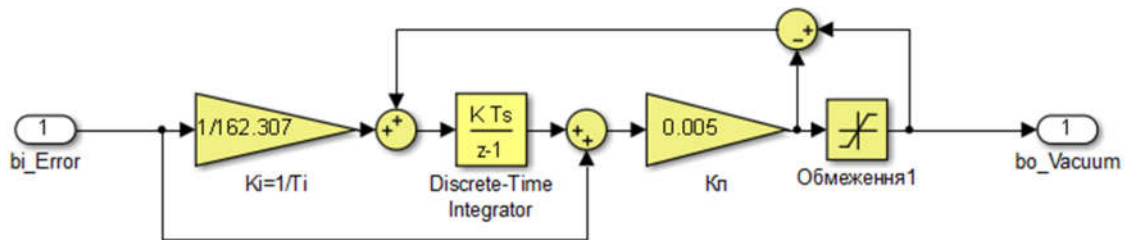
На основі імітаційної цифрової моделі сформуємо два блоки: Controller та Object (рис.2.30).



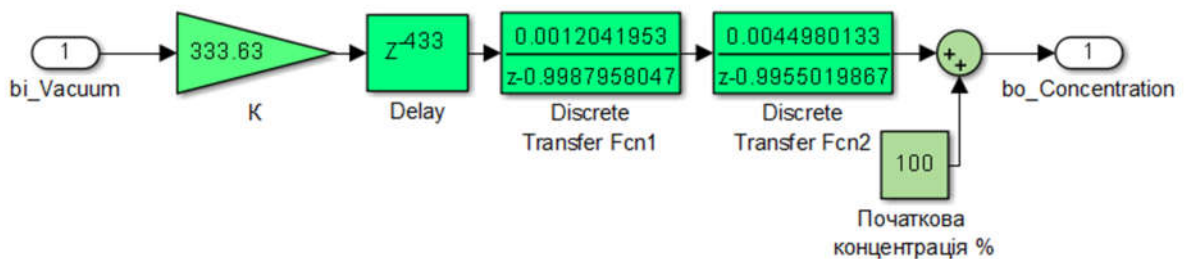
а – імітаційна цифрова модель систем керування



б - імітаційна цифрова модель систем керування у вигляді 2-х підсистем



в – вміст підсистеми «Controller»



г – вміст підсистеми «Object»

Рисунок 2.30 – Підготовка цифрової моделі системи керування до розробки програмного забезпечення

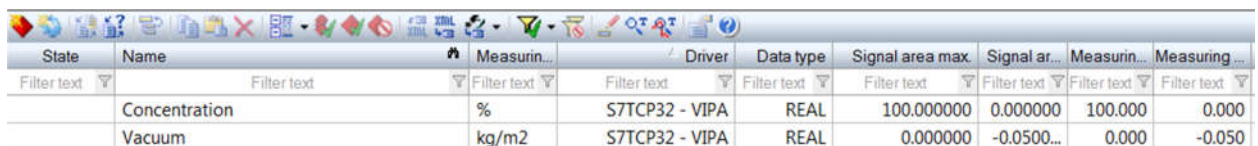
Використовуючи отримані блоки підсистем: Controller та Object, за допомогою вбудованих функцій пакету MATLAB, згенеруємо програмні

коди на мові “Structured text”, що відповідає стандарту МЕК 61131-3. На основі цих програмних кодів розробимо програмне забезпечення для людино-машиного інтерфейсу у scada zenon.

#### 2.4.2 Розробка програмного забезпечення системи керування

Програмне забезпечення регулятора буде розміщене у програмному програмованому логічному контролері (ППЛК) zenon Logic, а програмне забезпечення об'єкта керування, яке буде використане для перевірки функціонування системи автоматичного керування, інтегрується до драйвера “S7TCP32–VIPA”, який створено у scada zenon.

Для драйвера “S7TCP32–VIPA” був встановлений режим «програмної симуляції», з часом оновлення 100мс.



State	Name	Measurin...	Driver	Data type	Signal area max.	Signal ar...	Measurin...	Measuring ...
Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
	Concentration	%	S7TCP32 - VIPA	REAL	100.000000	0.000000	100.000	0.000
	Vacuum	kg/m2	S7TCP32 - VIPA	REAL	0.000000	-0.0500...	0.000	-0.050

Рисунок 2.31 –Перелік змінних об'єкта керування

Використовуючи програмний код згенерований в MATLAB, була розроблена програма та створено функціональний блок “Object”. Текст програми функціональний блок “Object” представлено в додатку Б.1.

Виклик блоку “I\_Object” та обробка даних виконується в тілі основної програми, (рис. 2.32).

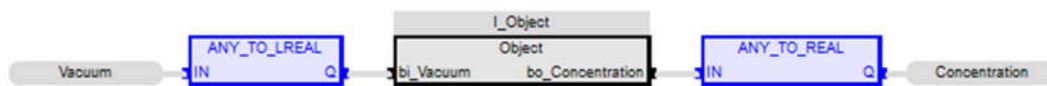


Рисунок 2.32–Основна програма об'єкта керування

До входу блоку “I\_Object” (об'єкт керування) подається значення розрідження, що утворюється на вихідній стороні мембрани вакуумної колони “Vacuum”. На виході блоку формується дійсне значення (поточна концентрація етанолу у сировині), що записується до змінної “Concentration”. Змінні “Vacuum” та “Concentration” є глобальними та використовуються в середовищі scada zenon.

Для реалізації регулятора, який також створено в scada zenon, було використано ППЛК zenon Logic та створено проект zenon Logic з назвою “Controller”. Для зв’язку із scada zenon були додані необхідні змінні (рис. 2.33).

State	Name	Measurin...	Driver	Data type	Signal area max	Signal ar...	Measurin...	Measuring...
	Controller/Global/Control_SetPoint	%	STRATONNG - zen...	REAL	100.000000	0.000000	100.000	0.000
	Controller/Global/Control_Vacuum	kg/m2	STRATONNG - zen...	REAL	0.000000	-0.0500...	0.000	-0.050
	Controller/Global/Control_Concentration	%	STRATONNG - zen...	REAL	100.000000	0.000000	100.000	0.000

Рисунок 2.33– Перелік змінних регулятора

Використовуючи програмний код згенерований в MATLAB, була розроблена програма та створено функціональний блок “ Controller”. Текст програми функціональний блок “ Controller” представлено в додатку Б.2.

За аналогією з об’єктом керування, виклик блоку «Controller» виконується в основному тілі програми, (рис. 2.34).

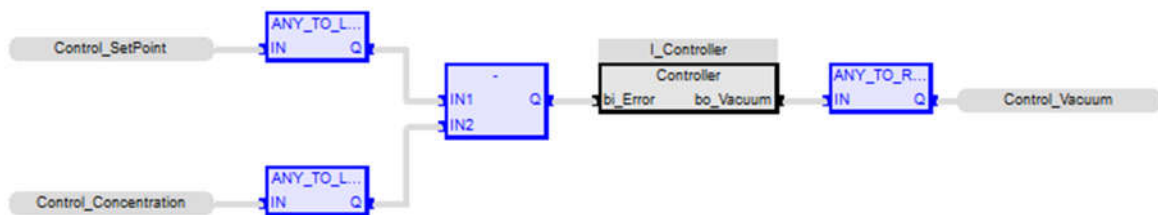


Рисунок 2.34–Програма “Controller”

На вході блоку розраховується різниця між уставкою “Control\_Set\_Point” та параметру “Control\_Concentration” (0...100%), тобто похибка при роботі системи керування. На виході блока формується керуючий вплив, який відповідає змінній “Control\_Vacuum” (керуючий вплив на автоматичну вакуумну станцію 0÷-0.05кг/м2).

Обмін даними між програмним забезпеченням, що реалізує об’єкт й програмним забезпеченням регулятора у програмованому логічному контролері реалізований за допомогою механізму “Allocations” (рис.2.35)

Name	Source variable	Target variable	Trigger variable	Trigger type
zenon_to_PLC	Concentration	Controller/Global/Control_Conce...	< no variable linked >	Edge
PLC_to_zenon	Controller/Global/Control_Vacuum	Vacuum	< no variable linked >	Edge

Рисунок 2.35 – Організація зв’язку в механізмі “Allocations”

### 2.4.3 Розробка програмного забезпечення людино-машинного інтерфейсу

Програмне забезпечення людино-машинного інтерфейсу (ЛМІ) має декілька вікон (дод. В), з наступною інформацією про: розробника (рис.2.36), технологічний об'єкт (рис.2.37), тренди параметрів (рис.2.38), списки подій (рис.2.39) та тривог (рис.2.40). Для організації перемикання між декількома зображеннями було використано два шаблони, один з кнопки перемикання вікон, а інший – з зображеннями самих вікон.



Рисунок 2.36 – Вікно з інформацією про розробника (кнопка «!»)

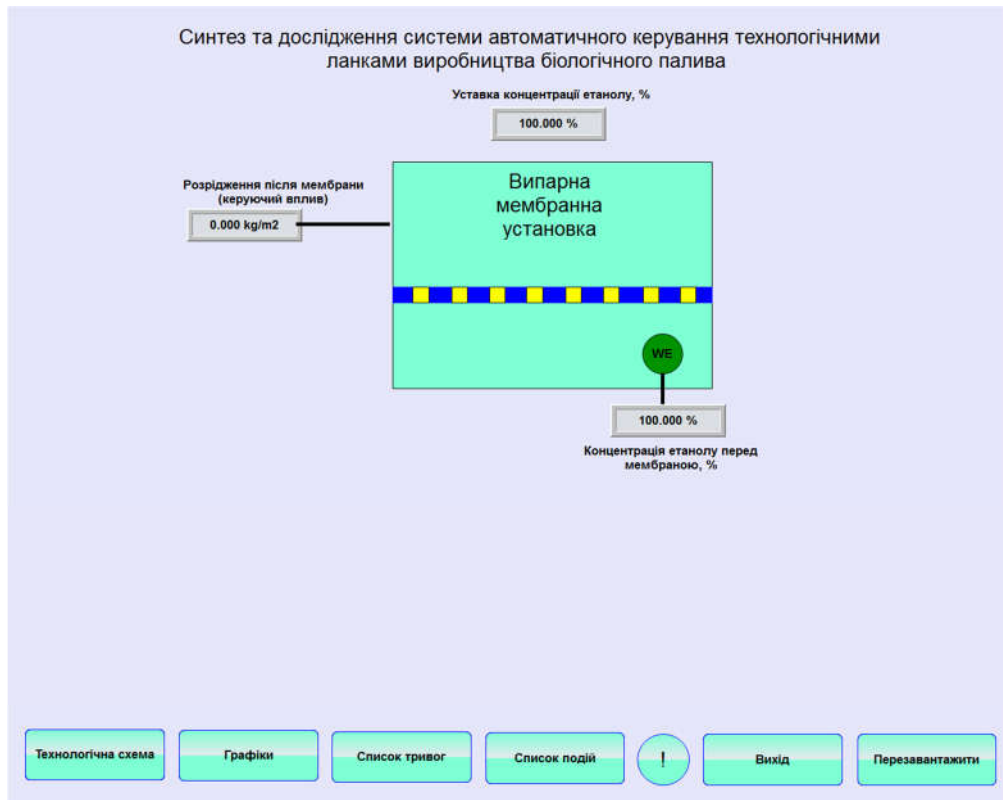


Рисунок 2.37 – Вікно з інформацією про об'єкт (кнопка «Технологічна схема»)

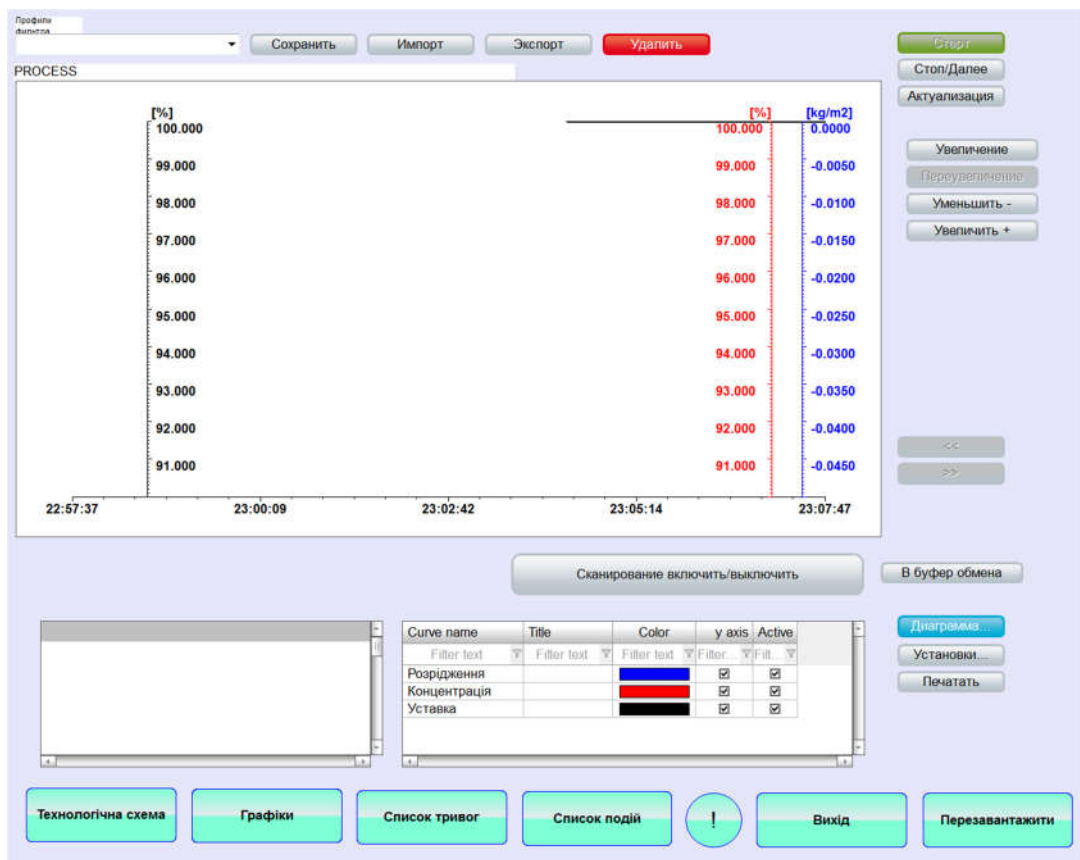


Рисунок 2.38 – Вікно з трендами (кнопка «Графіки»)



Фільтр  
[\*][\*][T,Rel:0d,1h,0m,0s]

Профіль  
Фільтрів

Зберегти    Імпорт    Експорт    **Видалити**    Кількість: 100

Час отримання	Текст	Ім'я змінної	Значення	Одиниця	Користувач - по...
09.12.2023 22:30:52		Concentration	93.020	%	
09.12.2023 22:30:52		Concentration	93.020	%	
09.12.2023 22:30:52		Concentration	93.020	%	
09.12.2023 22:30:52	System was stopped				SYSTEM
09.12.2023 22:30:53		Concentration	93.020	%	
09.12.2023 22:30:53		Concentration	93.020	%	
09.12.2023 22:30:53		Concentration	93.020	%	
09.12.2023 22:30:53		Concentration	93.020	%	
09.12.2023 22:30:53		Concentration	93.020	%	
09.12.2023 22:30:53		Concentration	93.021	%	
09.12.2023 22:30:53		Concentration	93.021	%	
09.12.2023 22:30:53		Concentration	93.021	%	
09.12.2023 22:30:53		Concentration	93.021	%	
09.12.2023 22:30:53		Concentration	93.021	%	
09.12.2023 22:30:53		Concentration	93.021	%	
09.12.2023 22:30:53		Concentration	93.021	%	
09.12.2023 22:30:53		Concentration	93.021	%	
09.12.2023 23:04:18	System was started				SYSTEM
09.12.2023 23:04:18		Concentration	100.000	%	

Коментар

Друквати

Технологічна схема    Графіки    Список тривог    **Список подій**    !    Вихід    Перезавантажити

Рисунок 2.39 – Вікно з інформацією про події (кнопка «Список подій»)

Список тривог

Фільтр  
[\*][\*][T,Rel:0d,1h,0m,0s]

Профіль фільтрів

Зберегти    Імпорт    Експорт    **Видалити**    Стоп

Alar...	Time received	Time cleared	Time acknowledged	Variable name	Value	Meas...
>>09.12.2023 23:04:18			--09.12.2023 23:05:35	Concentration	100.000	%

Всього: 1

Не оброблено: 0

Обробити  
Обробити сторінку  
Обробити все

Видалити  
Видалити сторінку  
Видалити все

Коментар

Функція тривоги  
< no function linked >

Відкрити функцію    Відкрити допомогу    Друквати

Технологічна схема    Графіки    Список тривог    **Список подій**    !    Вихід    Перезавантажити

Рисунок 2.40 – Вікно з інформацією про тривоги (кнопка «Список тривог»)

#### 2.4.4 Перевірка функціонування програмного забезпечення

Перевірка правильності виконання функцій програмного забезпечення людино-машинного інтерфейсу відбувалася в режимі симуляції.

Перевірки показала, що робота системи керування виконується згідно до моделі системи керування у Matlab/Simulink (рис.2.41).

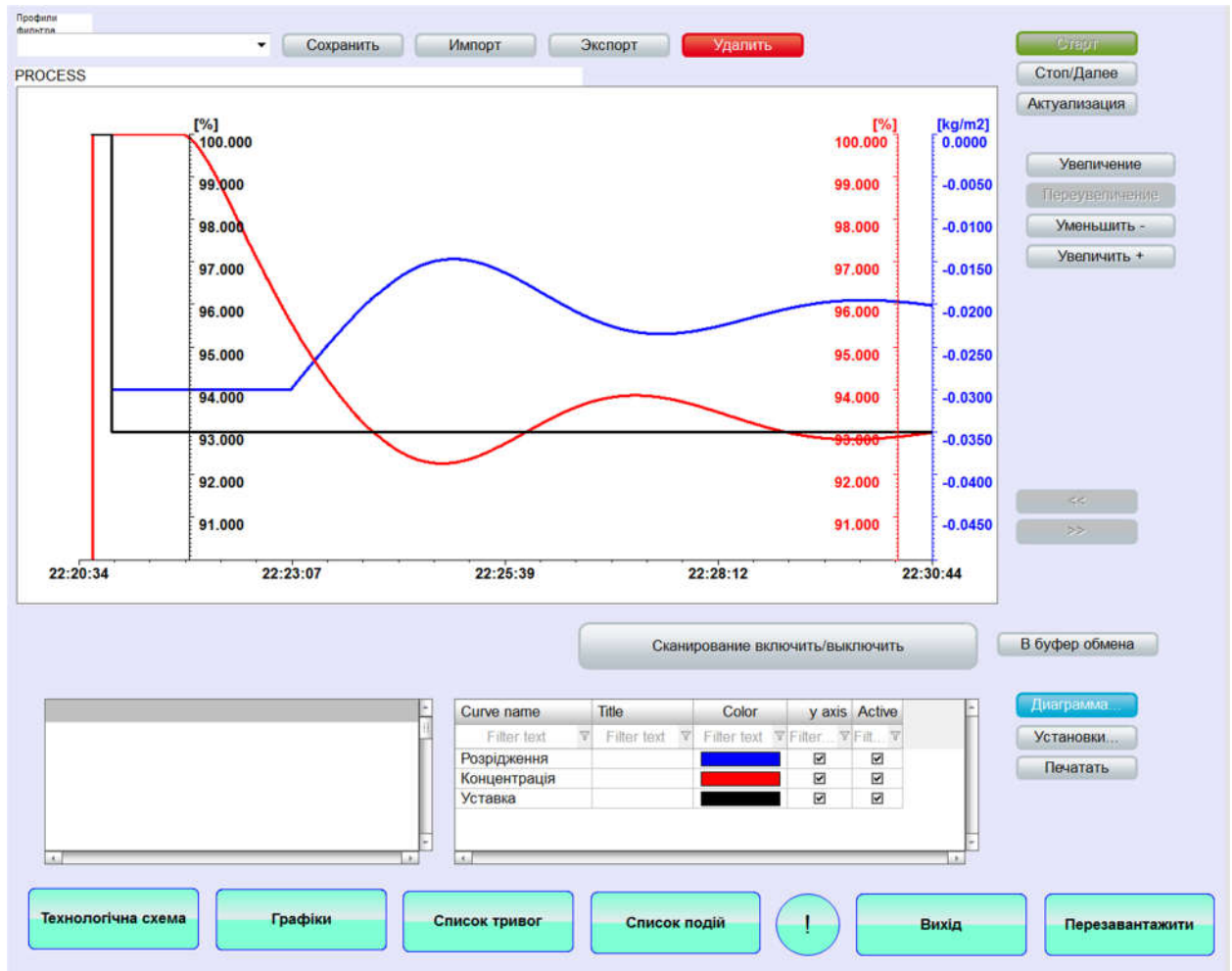


Рисунок 2.41 – Результати перевірки функціонування програмного забезпечення людино-машинного інтерфейсу

#### 2.5 Висновки по розділу

В розділі визначені параметри якості системи керування на основі моделювання з оптимальним регулятором:  $T_{\max \text{ н.}}=230\text{с}$ ,  $T_{\min \text{ н.}}=144,3\text{с}$ ,  $T_{\max \text{ в.}}=416,8\text{с}$ ,  $T_{\min \text{ в.}}=166,25\text{с}$ .



Виконано синтез системи керування, розраховані параметри ПІ-регулятора, оцінено вплив збурення на роботу системи керування та робастність системи.

Перетворено неперервну модель системи керування у цифрову форму. На основі цифрової моделі отримано програмний код регулятора та об'єкта керування на мові «Structured Text», використано для розробки програмного забезпечення для програмного ПЛК у zenon Logic, зі складу scada zenon.

У scada zenon розроблено людино-машинного інтерфейсу, що складається з інформаційних вікон з наступною інформацією про: розробника, технологічний об'єкт, тренди параметрів, списки подій та тривоги. Перевірено функціонування програмного забезпечення людино-машинного інтерфейсу – робота системи керування виконується відповідно до моделі системи керування у Matlab/Simulink.

### 3 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Розвиток технічних, апаратних і програмних засобів, дає можливість підприємствам зменшувати витрати, підвищувати якість продукції, збільшувати швидкість виробництва, автоматизувати процеси та приймати безліч інших рішень.

У кваліфікаційній роботі бакалавра розглядається економічна доцільність розробки системи керування технологічним обладнанням – вакуумною мембранною колоною T-VСMD 1000-2371, яка призначена для підвищення концентрації біоетанолу в кінцевому продукті виробництва до 99,9 % з початкової сировині, якою є меліса.

Автоматизована система керування вакуумною мембранною колоною TVСMD 1000-2371, що розроблена в кваліфікаційній роботі бакалавра, має такі переваги:

- висока інформативність, яка дає гарні передумови для створення повністю автоматизованої системи керування підприємством;
- висока надійність обладнання сучасної технічної бази системи керування.

#### 3.1 Розрахунки капітальних витрат

Розрахуємо капітальні витрати, що пов'язані із впровадженням системи керування за формулою:

$$K_{\text{ПКВ}} = C_{\text{ОБ}} + D_{\text{ТР}} + M_{\text{МН}} + K_{\text{ПЗ}}, \quad (3.1)$$

де  $K_{\text{ПКВ}}$  – капітальні витрати, грн.;

$C_{\text{ОБ}}$  – вартість основного та допоміжного обладнання, грн.;

$D_{\text{ТР}}$  – витрати транспортно-заготівельні, грн.;

$M_{\text{МН}}$  – монтаж і налагодження системи, грн.;

$K_{\text{ПЗ}}$  – розробка програмного забезпечення, грн.

Капітальні витрати на обладнання зведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Капітальних витрати

№	Найменування	Одиниці виміру	Кількість	Вартість (грн.)	(грн.) Сума
1	ПЛК VIPA 214DPM	од.	1	13 774,40	13 774,40
2	Модуль VIPA 231- 1BD40	од.	2	4 740,30	9 480,60
3	Модуль VIPA 222- 1BF00	од.	1	2 335,80	2 335,80
4	Датчик Т.ХА-420-Кл1-1	од.	3	690,00	2 070,00
5	Лічильник OGM-40	од.	1	11 800,00	11 800,00
6	Датчик Innovate MTX-D	од.	1	8 184,00	8 184,00
7	Датчик XMLBM05A2S12	од.	1	3 739,60	3 739,60
8	Мережний кабель	м	235	28,00	6 580,00
9	Система керування, ПК	од.	1	37 213,00	37 213,00
10	Блок живлення SPD24301	од.	2	1 450,00	2 900,00
Разом					98 077,40

Додаткові складові капітальних витрат:

$$D_{TP} = C_{OB} * 0,08 \quad (3.2)$$

$$D_{TP} = 98\,077,40 * 0,08 = 7\,846,20 \text{ грн.}$$

$$M_{MH} = C_{OB} * 0,07 \quad (3.3)$$

$$M_{MH} = 98\,077,40 * 0,07 = 6\,865,42 \text{ грн.}$$

### 3.2 Витрати на програмне забезпечення

#### 3.2.1 Розрахунок часу на розробку програмного забезпечення

Трудомісткість розробки програмного забезпечення:

$$t = t_o + t_\partial + t_a + t_n + t_{нал} + t_{док} \quad (3.4)$$

де витрати часу:

$t_o$  - на підготовку й опис поставленого завдання;

$t_\partial$  - на дослідження алгоритму розв'язку;

$t_a$  - на обробку алгоритму;

$t_n$  - на програмування по готовому алгоритму;

$t_{нал}$  - на налагодження програм на ПК;

$t_{док}$  - на підготовку документації за завданням.

Кількість операторів у програмі (умовна):

$$Q = q * c * (1+p), \quad (3.5)$$

де  $q$  – кількість операторів, використовуваних у програмі,  $q = 270$ ;

$c$  – коефіцієнт складності програми,  $c = 1,35$ ;

$p$  – коефіцієнт корекції програми при обробці, приймаємо  $p=0,1$ .

$$Q = 270 \cdot 1,35(1+0,1) = 401$$

Складові трудомісткості розробки програмного забезпечення:

$t_0 = 50$  люд.-годин.

$$t_{\partial} = \frac{Q \cdot B}{(75 \dots 85) \cdot k} \text{ люд.-годин} \quad (3.6)$$

де  $B$  – коефіцієнт збільшення витрат праці,  $B=1,5$ ;

$k$  – коефіцієнт кваліфікації програміста, становить  $k=1,2$ .

$$t_{\partial} = \frac{401 \cdot 1,5}{80 \cdot 1,2} = 7 \text{ люд.-годин.}$$

$$t_a = \frac{Q}{(20 \dots 25) \cdot k} \text{ люд.-годин} \quad (3.7)$$

$$t_a = \frac{401}{20 \cdot 1,2} = 17 \text{ люд.-годин.}$$

$$t_n = \frac{Q}{(20 \dots 25) \cdot k} \text{ люд.-годин} \quad (3.8)$$

$$t_n = \frac{401}{20 \cdot 1,2} = 17 \text{ люд.-годин.}$$

$$t_{нал} = \frac{Q}{(4 \dots 5) \cdot k} \text{ люд.-годин} \quad (3.9)$$

$$t_{нал} = \frac{401}{4 \cdot 1,2} = 84 \text{ люд.-годин.}$$

$$t_D = t_{ДР} + t_{ДО}, \text{ люд.-година,} \quad (3.10)$$

де  $t_{ДР}$  – підготовка матеріалів до написання;

$t_{ДО}$  – редагування, друк та оформлення документації.

$$t_{ДР} = Q / (15 \dots 20) k, \quad (3.11)$$

$$t_{ДР} = 401 / 15 \cdot 1,2 = 23 \text{ люд.-година;}$$

$$t_{ДО} = 0,75 t_{ДР}, \quad (3.12)$$

$$t_{\text{до}} = 0,75 \cdot 23 = 18 \text{ люд.-година.}$$

$$t_{\text{д}} = 23 + 18 = 41 \text{ люд.-година.}$$

Таким чином, трудомісткість розробки ПЗ за (3.4):

$$t = 64 + 7 + 17 + 17 + 84 + 41 = 230 \text{ людино-годин.}$$

### 3.2.2 Розрахунки витрат на розробку програмного продукту

Витрати на розробку програмного забезпечення:

$$K_{\text{пз}} = Z_{\text{зп}} + Z_{\text{ми}}, \text{ грн.} \quad (3.13)$$

$Z_{\text{зп}}$  – витрати на заробітну плату розробника ПЗ, грн.;

$Z_{\text{ми}}$  – вартість машинного часу, для налаштування ПЗ, грн..

Зарплата розробника програмного забезпечення:

$$Z_{\text{зп}} = t C_{\text{пр}}, \text{ грн.} \quad (3.14)$$

де  $t$  – витрати людино-годин на розробку програмного забезпечення;

$C_{\text{пр}}$  – середня годинна тарифна ставка програміста становить:

$$C_{\text{пр}} = 118 \text{ грн./година.}$$

Заробітна плата за розробку програмного забезпечення дорівнює:

$$Z_{\text{зп}} = 230 \cdot 118 = 27\,140,00 \text{ грн.}$$

Вартість машино-часу для налаштування програми на ПК:

$$Z_{\text{мч}} = t_{\text{нал}} C_{\text{мг}}, \text{ грн.} \quad (3.15)$$

де  $t_{\text{налаш}}$  – трудомісткість налаштування програми на ПК, людино-годин;

$C_{\text{мг}}$  – вартість машино-години ПК, грн./година.  $C_{\text{мг}} = 15 \text{ грн./година.}$

$$Z_{\text{мч}} = 18 \cdot 15 = 270 \text{ грн.}$$

Витрати на розробку програмного забезпечення системи керування:

$$K_{\text{пз}} = 27\,140,00 + 270,00 = 27\,410 \text{ грн.}$$

Очікувана тривалість розробки програмного забезпечення:

$$T = \frac{t}{B_k \cdot F_p}, \text{ міс.} \quad (3.16)$$

де  $B_k$  – кількість розробників,  $B_k = 1$ ;

$F_p$  – місячний фонд робочого часу ( $F_p = 176 \text{ годин/міс.}$ ).

$$T = \frac{218}{1.176} = 1,25 \text{ міс.}$$

Капітальні витрати (3.1):

$$K_{\text{пр}} = 98\,077,40 + 7\,846,20 + 6\,865,42 + 27\,410,00 = 140\,199,02 \text{ грн.}$$

### 3.3 Розрахунки експлуатаційних витрат

До експлуатаційних витрат належать:

- амортизація основних фондів  $C_a$ ;
- заробітна плата обслуговуючого персоналу  $C_z$ ;
- відрахування на соціальні заходи від заробітної плати  $C_c$ ;
- витрати на ремонт та технічне обслуговування  $C_{p.m.o.}$ ;
- вартість електроенергії, споживаної об'єктом проектування  $C_{ee}$ ;
- інші витрати  $C_{\text{інш.}}$ .

Річні експлуатаційні витрати:

$$C_e = C_a + C_z + C_c + C_{p.m.o.} + C_{ee} + C_{\text{інш.}} \quad (3.17)$$

#### 3.3.1 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:

$$H_a = (2 / T) * 100\% \quad (3.18)$$

$T$  – термін використання об'єкта, років;

$H_a$  – норма амортизації, %;

$$C_a = (ПВ * H_a) / 100\%, \quad (3.19)$$

$C_a$  – амортизація основних фондів (річна);

$ПВ$  – первинна вартість, дорівнює капітальним витратам  $ПВ = K$ ;

Норма амортизації для системи керування (3.18):

$$H_a = (2/5) * 100\% = 40\%$$

Сума амортизації для системи керування (3.19):

$$C_a = (140199,02 * 40\%) / 100\% = 56079,61 \text{ грн.}$$

### 3.3.2 Розрахунки річного фонду заробітної плати

Номінальний річний фонд робочого часу одного працівника:

$$T_{\text{ном.рік}} = (T_k - T_{\text{вих.св}} - T_{\text{відп}}) * T_{\text{зм}}, \text{ годин} \quad (3.20)$$

де,  $T_k$  – календарний фонд робочого часу, 365 днів;

$T_{\text{вих.св}}$  – вихідні дні та свята, 114 дні;

$T_{\text{відп}}$  – відпустка, 21 день;

$T_{\text{зм}}$  – тривалість зміни, 8 год.

Таким чином, річний фонд робочого часу працівника складе:

$$T_{\text{ном.рік}} = (365 - 114 - 21) * 8 = 1840 \text{ годин}$$

Для керування процесом задіяні 1 оператори ПК, 1 інженер-технолог і 1 спеціаліст з електроустаткування.

Розрахунок річного фонду заробітної плати робітників здійснюється у відповідності з формою, наведеною в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - 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	78,10	1 840	431 112,00	34 488,96	30 177,84	495 778,80
2	Інженер-технолог	3	93,15	1 840	514 188,00	41 135,04	35 993,16	591 316,20
3	Наладчик	1	79,50	1 840	146 280,00	11 702,40	10 239,60	168 222,00
Разом								1 255 317,00

$$C_3 = 1255317,00 \text{ грн.}$$

### 3.3.3 Розрахунки відрахувань на соціальні заходи

Відрахування на соціальні заходи складуть:

$$C_c = 0,22 * C_3 \quad (3.21)$$

$$C_c = 0,22 \quad 1255317,00 = 276169,74 \text{ грн.}$$

### 3.3.4 Визначення річних витрат на технічне обслуговування та ремонт

Річні витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт встаткування становлять 5% від вартості, тобто:

$$C_{p.t.o.} = K * 0,05, \text{ грн.} \quad (3.22)$$

$$C_{p.t.o.} = 0,05 \quad 140199,02 = 7009,96 \text{ грн.}$$

### 3.3.5 Розрахунки вартості споживаної електроенергії

Вартість електроенергії, споживаної системою керування:

$$C_{ee} = K_e * K_d * T \quad (3.23)$$

де  $K_e$  – кількість електроенергії, спожитої системою керування за годину, кВт\*год, для контролера VIPA – 0,56 кВт\*год.;

$K_{др}$  – кількість днів у році,  $K_{др} = 365$  днів;

$T$  – тариф на електроенергію для підприємств (Для користувачів електроенергії 2 класу тариф складає 2,26 грн. за кВт без ПДВ. З урахуванням ПДВ тариф  $T = 2,712$  грн).

Виходячи з технічних характеристик контролерів VIPA і Siemens, споживання електроенергії становить:

Витрати на електроенергію будуть становити:

$$C_{ee.pr} = 0,56 * 365 * 24 * 2,712 = 13303,99 \text{ грн.},$$

### 3.3.6 Визначення інших витрат

Інші витрати визначаються в розмірі 4% від річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу:

$$C_{інш} = C_3 \cdot 0,04 \text{ грн.} \quad (3.24)$$



$$C_{\text{інш.}} = 0,04 \cdot 1255317,00 = 50212,68 \text{ грн.}$$

Розраховані експлуатаційні витрати представлено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Експлуатаційні витрати

№ п/п	Назва показника	Сума, грн.
1	Амортизація	56 079,61
2	Фонд заробітної плати	1 255 317,00
3	Відрахування на соціальні виплати	276 169,74
4	Ремонт та технічне обслуговування	7 009,96
5	Електроенергія	13 303,99
6	Інше	50 212,68
7	Загалом	1 658 092,98

### 3.4 Висновки по розділу

Виходячи з розрахунків, видно, капітальні витрати склали 140199,02 грн, експлуатаційні витрати 1658092,98 грн, час розробки ПЗ становитиме 1,25 місяці. Таким чином, впровадження нового обладнання та його експлуатація є необхідними для підвищення якості біопалива.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

У роботі розглядається питання з автоматизація технологічних ланок виробництва біологічного палива.

Динамічне дорожчання паливних ресурсів у світі, зростаючі потреби України у забезпеченні енергоносіями власного виробництва гостро ставить проблему пошуку альтернативних видів палива. Вирощування сільськогосподарських культур для переробки на біопаливо – етанол, біодизель слід розглядати як важливий інноваційний напрям аграрного виробництва в контексті сталого розвитку, оскільки він здатний вирішувати ряд економічних, екологічних і соціальних проблем. Біопаливо важливе, насамперед, для енергозабезпечення, збереження ресурсів і поліпшення екології.

Метою даного розділу є аналіз санітарно-гігієнічних умов праці, умов безпеки праці і пожежної безпеки.

Як видно з попередніх частин кваліфікаційної роботи, на об'єкті по отриманню біоетанолу з меляси знаходяться в обігу небезпечні речовини і матеріали. На виробництві використовуються електрична, теплова, механічна енергія, енергія стисненого повітря.

Кваліфікаційна робота виконана з урахуванням вимог охорони праці, пожежної та екологічної безпеки виробництва. На основі виявленого аналізу шкідливих і небезпечних факторів (ШНВФ) проектом передбачено заходи і засоби щодо забезпечення здорових безпечних умов праці та пожежної безпеки [18].

### **4.1 Аналіз шкідливих і небезпечних факторів**

#### **4.1.1 Повітря робочої зони**

Роботи, що виконуються на дільниці, згідно з ДСН 3.3.6.042-99, можна віднести до фізичних робіт середньої важкості категорії Па. В таблиці 5.1

наведені санітарні норми параметрів мікроклімату для названих приміщень [18].

Таблиця 4.1 - Оптимальний мікроклімат у приміщеннях

Параметр	Категорія робіт	У виробничих приміщеннях
Температура (холодний/теплий періоди), °C	16-25	
Вологість, %	60-40	30-60
Швидкість руху повітря, м/с холодний/теплий періоди	0,2-0,5	

У побутових приміщеннях Па Допустима температура зовнішніх поверхонь обладнання становить:

$$t_n = t_0 + 2 \text{ } ^\circ\text{C},$$

де  $t_0$  – оптимальна температура повітря робочої зони в теплий період року,  $t_0 = 27 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

$$\text{Тоді } t_n = 27 + 2 = 29 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Температуру повітря вимірюють термометрами з ціною поділки  $0,2 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

Заходами санітарних норм мікроклімату і належної чистоти повітря згідно вимог забезпечено вдосконалення технологічних процесів та їх апаратурного оформлення шляхом розміщення деяких апаратів поза приміщеннями, використання теплозахисної ізоляції апаратів та трубопроводів, які є джерелом виділення теплової енергії. В холодну пору року передбачена система центрального водяного опалення низького тиску виробничих приміщень.

Вибір схеми виробництва проводився з урахуванням зниження тепловиділення і зведення до мінімуму надходження шкідливих речовин у повітря робочі зони.

Для запобігання забруднення повітря виробничих приміщень проектом передбачено забезпечення герметичності ємності, обладнання, комунікацій та засобів відбирання проб. Як засіб видалення вологи із повітря приміщення використовується вентиляція.

За способом організації технологічних заходів для нормалізації повітрообміну передбачена загально обмінна вентиляція. Також на виробництві передбачено аварійна вентиляція, яка вмикається автоматично при досягненні гранично концентрації небезпечних речовин. Для усунення небезпеки, яка виникає при підвищеній температурі поверхонь обладнання проектом передбачено захисну теплоізоляцію для поверхонь обладнання, такі, як корпуси апаратів, захисні сорочки, спеціальні огорожі.

#### **4.1.2 Виробниче освітлення**

Згідно з [20], розряд робіт за зоровими умовами відноситься до VІІа (загальне постійне спостереження за ходом виробничого процесу).

Проектом передбачається приміщенні виробничого цеху використовувати систему штучного комбінованого освітлення. Для освітлення виробничих приміщень передбачено використання люмінесцентних ламп ЛД-80.

Передбачено використання вологонепроникних та вибухобезпечних закритих світильників ВЗГ/В4А-200М переважно прямого світла.

Передбачається система аварійного освітлення. Найменша освітленість робочих поверхонь при аварійному режимі повинна складати не менше 2 лк усередині будівель та не менше 1 лк на відкритих ділянках. Для аварійного освітлення проектом передбачаються лампи розжарювання Г 220-200 та люмінесцентні лампи ЛХБ 80.

З урахуванням галузевих норм у таблиці 5.2 вказані норми освітлення приміщень робочим освітленням.

Таблиця 4.2 – Санітарні норми освітленості при штучному освітленні та КПО при природному і суміщеному освітленні

Характеристика зорової роботи	Розряд роботи	Штучне освітлення, лк		КПО, %	
		комбіноване	загальне	Природне, бічне	Суміщене, верхнє і бічне
Загальне спостереження за ходом виробничого процесу	VIIIa	-	200	1,8	0,6

#### 4.1.3 Захист від виробничого шуму та вібрацій

Джерелами шуму та вібрації при виробництві біоетанолу є насоси, вентилятори, газодувки, мішалки, вентиляційні системи.

Згідно ДСН 3.3.6.037-99, санітарні норми параметрів шуму в приміщеннях і на території підприємства становлять 80 дБА. Гранично допустимі рівні локальної непостійної переривчастої вібрації встановлені у ДСН 3.3.6.039-99.

Для забезпечення допустимого рівня шуму та вібрації проектом передбачено наступні дії:

- витяжні системи обладнати глушниками шуму;
- віброізоляція насосних агрегатів;
- вентилятори закріпити на віброізолюючих пружинах, всмоктуючі та напірні патрубки вентиляторів з'єднати з вентиляторними трубами м'якими вставками.

Для вимірювання і аналізу шуму і вібрації передбачені шумоміри ВШВ-003 і частотні аналізатори.

#### 4.1.4 Електробезпека

Електрообладнання виробничого цеху живиться від трьохфазної чотирьох-провідної електричної мережі змінного струму частотою 50 Гц, напругою ~380 / 220 В з глухо заземленою нейтраллю.

Основними причинами ураження електричним струмом у цеху з виробничим обладнанням є випадковий дотик до відкритих струмопровідних

частин обладнання, які знаходяться під напругою, або до частин, що проводять електричний струм при порушенні електроізоляції, також ураження кроковою напругою та через електричну дугу, статична електрика.

Відповідно до ПУЕ, приміщення виробничого цеху за безпекою електротравм належить до категорії з підвищеною безпекою.

Норми  $U_d$ ,  $I_L$  згідно ГОСТ 12.1.038-82 при аварійному режимі:

$U_d < 36$  В,  $I_L < 6$  мА при дії довше 1с,

де  $U_d$  – напруга дотику, В;

$I_L$  – струм, який проходить через людину, мА.

При однофазному доторканні струм, який проходить через людину, буде дорівнювати:

$$I_a = \frac{U_\phi \cdot 10^3}{R_L + R_0},$$

де  $U_\phi = 220$  В – фазна напруга;

$R_L = 2$ кОм – опір людини;

$R_0 = 4$  Ом – опір заземлення нейтралі.

Тоді:

$$I_a = \frac{220 \cdot 10^3}{2000 + 4} = 109,7 \text{ мА},$$

$$U_\phi = 2000 \cdot 109,7 = 214 \text{ В}$$

Як видно з порівняння розрахункових та допустимих величин, при порушенні вимог ПУЕ в цеху можливі електротравми з важкими наслідками.

Статична електрика виникає при терті газоподібних речовин при випусканні повітря чи газів з ресиверів.

Передбачено такі основні засоби захисту від статичної електрики, як відведення зарядів у землю за допомогою заземлення трубопроводів, запобігання виникненню та накопиченню статичної електрики та її нейтралізації.

Все устаткування та комунікації захищено від статичної електрики. Для зменшення заряду статичної електрики передбачено підвищення вологості повітря до 70 %, напилення на діелектричній поверхні електропровідних плівок.

Безпека експлуатації електрообладнання досягається системою організаційних і технічних засобів, які забезпечують безпеку в нормальному режимі роботи електроустановок та в аварійному їх стані. Серед них колективними засобами захисту є:

- занулення;
- електроізоляція;
- малі напруги ( $\leq 42$  В);
- подвійна ізоляція.

До основних та додаткових засобів індивідуального захисту на підприємстві відносяться:

- ізолювальні кліщі;
- діелектричні рукавички;
- діелектричне взуття.

#### **4.1.5 Безпека технологічних процесів та обслуговування обладнання**

Автоматизація та дистанційне управління технологічними процесами необхідні для забезпечення безпеки технологічних процесів та обслуговування апаратів, усунення безпосереднього контакту працюючих з шкідливими речовинами внаслідок розгерметизації обладнання.

Причинами виникнення аварії в цеху можуть бути потрапляння сторонніх продуктів в апарати, зміна складу компонентів, які подаються в вигляді суміші або розчину, зміна витрат холодоагента чи теплоагента, які подаються відповідно для охолодження чи нагріву. Для попередження виникнення аварійних ситуацій передбачено створення автоматичних систем захисту.

Виробничий процес виробництва біоетанолу здійснюється у відповідності з вимогами чинної нормативно-технічної документації, затвердженої у встановленому порядку.

Тиск в трубопроводах, температурний режим і рівень рідини в ректифікаційних колонах, швидкість подачі рідини підтримується у відповідності з вимогами технологічного регламенту.

Зазвичай сучасні системи керування та технологічні апарати унеможливають виконання робіт на несправному обладнанні, або при несправності контрольно-вимірювальних приладів, захисних огорожень, блокувань пристроїв, електроустаткування, пускової апаратури, кнопок і важелів керування автоматичного блокування роботи обладнання.

Ректифікаційні колони обладнані люками, доступними для обслуговування апарату. Зварні шви виконуються тільки стиковими. Контроль якості зварних швів виконується за допомогою зовнішнього огляду та гідравлічна. Можливе встановлення вакуумних мембранних та ректифікаційних колон на відкритих майданчиках.

В результаті виникаючих теплових навантажень у трубопроводах можливі розриви (при охолодженні) або випинання (при нагріванні) і відрив фланців. Тому на трубопроводах передбачено встановлення компенсуючих елементів. Передбачено фарбування трубопроводу для подачі гарячої води зеленим кольором, біоетанолу – жовтим, розчину меляси – фіолетовим.

## **4.2 Пожежна безпека**

Причинами загорання і вибуху на виробництві можуть бути:

- порушення герметичності бродильних чанів, ректифікаційних колон та комунікацій;
- прямий удар блискавки або занесення її високого потенціалу у приміщення по видовжених елементах;



Проектом передбачено наступні будівельні заходи пожежної безпеки: ступінь вогнестійкості будівлі – І, два запасних виходи з шириною дверних прорізів 0,6 м, легкоскридні конструкції, а саме одинарне засклення вікон.

Для забезпечення пожежної безпеки передбачено виготовити вибухобезпечними згідно штучне освітлення, електро-комунікації, електричне обладнання та електричне устаткування. Для пожежогасіння передбачено застосовувати розпилену воду, піну, вогнегасні порошки класів В та АВС; під час об'ємного гасіння – вуглекислий газ, вогнегасні порошки класів В та АВС, а також аерозольні вогнегасні речовини.

Виробничий цех передбачено обладнати автоматичними дренчерними установками загального та локального пожежогасіння та пожежної сигналізації

Устаткування та комунікації передбачено захистити від статичної електрики. Для відведення заряду з рідкого продукту на завантажувальному трубопроводі безпосередньо біля входу в апарат, що заповнюється, передбачено обладнати індукційним нейтралізатором зі струнами.

Споруди і будівлі, що віднесені за до II категорії по влаштуванню блискавкозахисту, проектом передбачено захистити від блискавки шляхом встановлення подвійного стрижневого громовідводу.

### **4.3 Висновки по розділу**

В розділі розглянута характеристика об'єкту та умови його експлуатації. На основі аналізу шкідливих та небезпечних факторів, що мають місце при роботі обладнання на виробництві біоетанолу, були розроблені інженерно-технічні заходи для усунення цих факторів або зменшення їх впливу на обслуговуючий персонал.

## ВИСНОВКИ

Об'єкт дослідження – процес автоматичного керування концентрацією етанолу в розчині меляси на виході з мембранного модуля вакуумної колони.

Предмет дослідження – моделі та методи керування процесом підтримання концентрацією етанолу, що використовуються при роботі мембранної вакуумної колони, а також відповідне програмне та інформаційне забезпечення.

Виконано аналіз технологічного процесу виробництва біопалива, розглянуто особливості методів проведення мембранної дистиляції та визначено основний напрямок підвищення ефективності процесу керування концентрацією етанолу – синтез системи керування концентрацією етанолу в розчині меляси на вході в мембранний модуль вакуумної колони. Вибрано апаратне забезпечення системи керування.

Розроблено оптимальний регулятор для керування за принципом максимуму Понтрягіна, визначено максимальні та мінімальні значення часу наростання та часу встановлення дійсного значення, яким має відповідати система керування.

В розділі визначені параметри якості системи керування на основі моделювання з оптимальним регулятором:  $T_{\max \text{ н.}}=230\text{с}$ ,  $T_{\min \text{ н.}}=144,3\text{с}$ ,  $T_{\max \text{ в.}}=416,8\text{с}$ ,  $T_{\min \text{ в.}}=166,25\text{с}$ .

Виконано синтез системи керування, розраховані параметри ПІ-регулятора, оцінено вплив збурення на роботу системи керування та робастність системи.

Перетворено неперервну модель системи керування у цифрову форму. На основі цифрової моделі отримано програмний код регулятора та об'єкта керування на мові «Structured Text», використано для розробки програмного забезпечення для програмного ПЛК у zenon Logic, зі складу scada zenon.

У scada zenon розроблено людино-машинного інтерфейсу, що складається з інформаційних вікон з наступною інформацією про: розробника,

технологічний об'єкт, тренди параметрів, списки подій та тривоги. Перевірено функціонування програмного забезпечення людино-машинного інтерфейсу – робота системи керування виконується відповідно до моделі системи керування у Matlab/Simulink.

Капітальні витрати склали 140199,02 грн, експлуатаційні витрати 1658092,98 грн, час розробки ПЗ становитиме 1,25 місяці. Таким чином, впровадження нового обладнання та його експлуатація є необхідними для підвищення якості біопалива.

На основі аналізу шкідливих та небезпечних факторів, що мають місце при роботі обладнання на виробництві біоетанолу, були розроблені інженерно-технічні заходи для усунення цих факторів або зменшення їх впливу на обслуговуючий персонал.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи ступеню бакалавра на тему: «Автоматизація технологічних ланок виробництва біологічного палива» здобувача вищої освіти Павленко Данила Олеговича академічної групи 151-18-1, НТУ «Дніпровська політехніка» 2022. – 101с. Режим доступу: <http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/161977> (дата звернення: 01.10.2023). – назва з екрана.
2. Положення про навчально-методичне забезпечення освітнього процесу Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» / Укладачі: Ю.О. Заболотна, Є.А. Коровяка, В.О. Салов; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т. «Дніпровська політехніка» – Д. : НТУ «ДП», 2018. – 23 с.
3. Положення про організацію атестації здобувачів вищої освіти НТУ «Дніпровська політехніка» / Укладачі: Ю.О. Заболотна, О.О. Конопльова, В.О. Салова , В.О. Салов; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т. «Дніпровська політехніка» – Д. : НТУ «ДП», 2018. – 40 с.
4. ДСТУ 3008:2015. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання / Нац. стандарт України. – Вид. офіц. – [чинний від 2017-07-01]. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 27 с.
5. ДСТУ 1.5:2015. Правила розроблення. Викладання та оформлення національних нормативних документів оформлювання / Нац. стандарт України. – Вид. офіц. – [чинний від 2017-02-01]. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 61 с.
6. ДСТУ 8302:2015. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання / Нац. стандарт України. – Вид. офіц. – [Уведено вперше ; чинний від 2016-07-01]. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 17 с.
7. Атестація здобувача вищої освіти. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи магістра студентами галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування спеціальності 151 Автоматизація та

- комп'ютерноінтегровані технології / В.В. Ткачов, А.В. Бубліков та ін.; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т. «Дніпровська політехніка» – Електрон. Текст. Дані – Дніпро : НТУ «ДП», 2020. – 41 с. – Режим доступу: [https://aks.nmu.org.ua/ua/Doc/151\\_DP\\_MAGISTR.pdf](https://aks.nmu.org.ua/ua/Doc/151_DP_MAGISTR.pdf) (дата звернення: 15.10.2023). – назва з екрана.
8. Голінько В.І., Фрундін В.Ю. Охорона праці в галузі електротехніки та електромеханіки – Д.: Державний ВНЗ «НГУ», 2011. – 235 с.
  9. Скільки біопалива виробляють в Україні та в світі. Режим доступу: <https://www.slovoidilo.ua/2018/07/03/infografika/suspilstvo/skilky-biopalivyvayroblyayut-ukrayini-ta-sviti>
  10. Технології виробництва біоетанолу. Режим доступу: <https://bpci.kiev.ua/ua/publications/scientific-and-technical-developments/99>
  11. УДК 519.6:681.3, Автоматизація процесу вакуумної контактної мембранної дистиляції Береза О.М., Ладієва Л.Р. Київ, 2019.
  - 12.10. УДК 681.5, Ладієва Л.Р., Береза О.М., Математичне моделювання процесу вакуумної мембранної дистиляції у виробництві біоетанолу, Наукоємні технології № 1(49), 2021
  13. ДСН 3.3.6.042-99 „Державні санітарні норми параметрів мікроклімату” - : МОЗ України, 2000.
  14. ДСН 3.3.6042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
  15. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування.
  16. 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.
  17. Правила улаштування електроустановок Мінпаливвугілля України. – 617с.
  18. «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості на небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». № 528 - 2001.

19. Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями, затверджені наказом Мінсоцполітики від 14.02.2018 № 207.
20. 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.

## Додаток А

### Програмні модулі системи керування

#### A.1 Модуль об'єкта керування

```

(*)
*
* File: Model_subsystem.exp
*
* IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for subsystem
"Model_subsystem/Object"
*
* Model name                : Model_subsystem
* Model version             : 1.68
* Model creator             : students
* Model last modified by    : Comp
* Model last modified on    : Sat Dec 09 21:25:11 2023
* Model sample time        : 0s
* Subsystem name           : Model_subsystem/Object
* Subsystem sample time    : 0.1s
* Simulink PLC Coder version : 1.6 (R2013b) 08-Aug-2013
* ST code generated on     : Sat Dec 09 21:27:27 2023
*
* Target IDE selection     : 3S CoDeSys 2.3
* Test Bench included      : No
*
*)
FUNCTION_BLOCK Object
VAR_INPUT
    ssMethodType: SINT;
    bi_Vacuum: LREAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    bo_Concentration: LREAL;
END_VAR
VAR
    DiscreteTransferFcn1_states: LREAL;
    DiscreteTransferFcn2_states: LREAL;
    Delay_DSTATE: ARRAY [0..432] OF LREAL;
END_VAR
VAR_TEMP
    k: DINT;
    Delay: LREAL;
    i: DINT;
    DiscreteTransferFcn1: LREAL;
END_VAR
CASE ssMethodType OF
    SS_INITIALIZE:
        (* InitializeConditions for Delay: '<S1>/Delay' *)
        FOR i := 0 TO 432 DO

```

```

        Delay_DSTATE[i] := 0.0;
    END_FOR;
    (* End of InitializeConditions for Delay: '<S1>/Delay'
*)

    (* InitializeConditions for DiscreteTransferFcn:
'<S1>/Discrete Transfer Fcn1' *)
    DiscreteTransferFcn1_states := 0.0;

    (* InitializeConditions for DiscreteTransferFcn:
'<S1>/Discrete Transfer Fcn2' *)
    DiscreteTransferFcn2_states := 0.0;
    SS_STEP:
    (* Delay: '<S1>/Delay' *)
    Delay := Delay_DSTATE[0];

    (* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn1' *)
    DiscreteTransferFcn1 := 0.0012041953 *
DiscreteTransferFcn1_states;

    (* Outport: '<Root>/bo_Concentration' incorporates:
    * Constant: '<S1>/Початкова концентрація %'
    * DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn2'
    * Sum: '<S1>/Sum8' *)
    bo_Concentration := (0.0044980133 *
DiscreteTransferFcn2_states) + 100.0;

    (* Update for Delay: '<S1>/Delay' incorporates:
    * Gain: '<S1>/K'
    * Update for Inport: '<Root>/bi_Vacuum' *)
    FOR k := 0 TO 431 DO
        Delay_DSTATE[k] := Delay_DSTATE[k + 1];
    END_FOR;
    Delay_DSTATE[432] := 333.63 * bi_Vacuum;
    (* End of Update for Delay: '<S1>/Delay' *)

    (* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete
Transfer Fcn1' *)
    DiscreteTransferFcn1_states := Delay - (-0.9987958047 *
DiscreteTransferFcn1_states);

    (* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete
Transfer Fcn2' *)
    DiscreteTransferFcn2_states := DiscreteTransferFcn1 - (-
0.9955019867 * DiscreteTransferFcn2_states);
END_CASE;
END_FUNCTION_BLOCK
VAR_GLOBAL CONSTANT
    SS_INITIALIZE: SINT := 0;
    SS_STEP: SINT := 1;
END_VAR
VAR_GLOBAL
END_VAR

```



## A.2 Модуль регулятора

```

(*)
*
* File: Model_subsystem.exp
*
* IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for subsystem
"Model_subsystem/Controller"
*
* Model name                : Model_subsystem
* Model version              : 1.68
* Model creator               : students
* Model last modified by     : Comp
* Model last modified on     : Sat Dec 09 21:25:11 2023
* Model sample time          : 0s
* Subsystem name             : Model_subsystem/Controller
* Subsystem sample time      : 0.1s
* Simulink PLC Coder version : 1.6 (R2013b) 08-Aug-2013
* ST code generated on       : Sat Dec 09 21:25:16 2023
*
* Target IDE selection       : 3S CoDeSys 2.3
* Test Bench included        : No
*
*)
FUNCTION_BLOCK Controller
VAR_INPUT
    ssMethodType: SINT;
    bi_Error: LREAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    bo_Vacuum: LREAL;
END_VAR
VAR
    DiscreteTimeIntegrator_DSTATE: LREAL;
END_VAR
VAR_TEMP
    rtb_u_h: LREAL;
    rtb_u: LREAL;
END_VAR
CASE ssMethodType OF
    SS_INITIALIZE:

        (* InitializeConditions for DiscreteIntegrator:
'<S1>/Discrete-Time Integrator' *)
        DiscreteTimeIntegrator_DSTATE := 0.0;
        SS_STEP:

            (* Gain: '<S1>/Kn' incorporates:
            * DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator'
            * Inport: '<Root>/bi_Error'
            * Sum: '<S1>/Sum2' *)
            rtb_u_h := (DiscreteTimeIntegrator_DSTATE + bi_Error) *
0.005;

```

```

(* Saturate: '<S1>/Обмеження1' *)
IF rtb_u_h >= 0.0 THEN
    rtb_u := 0.0;
ELSIF rtb_u_h > -0.03 THEN
    rtb_u := rtb_u_h;
ELSE
    rtb_u := -0.03;
END_IF;
(* End of Saturate: '<S1>/Обмеження1' *)

(* Outport: '<Root>/bo_Vacuum' *)
bo_Vacuum := rtb_u;

(* Update for DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time
Integrator' incorporates:
* Gain: '<S1>/Ki=1//Ti'
* Inport: '<Root>/bi_Error'
* Sum: '<S1>/Sum10'
* Sum: '<S1>/Sum9' *)
DiscreteTimeIntegrator_DSTATE := (((rtb_u - rtb_u_h) +
(0.0061611637206035481 * bi_Error)) * 0.1) +
DiscreteTimeIntegrator_DSTATE;
END_CASE;
END_FUNCTION_BLOCK
VAR_GLOBAL CONSTANT
    SS_INITIALIZE: SINT := 0;
    SS_STEP: SINT := 1;
END_VAR
VAR_GLOBAL
END_VAR

```

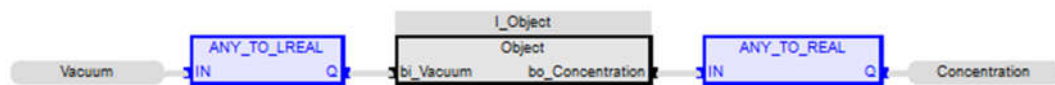
## Додаток Б

## Програмне забезпечення системи керування

**Б.1 Програмне забезпечення об'єкта керування****Б.1.1 Список програм**

[FBD] Main\_Object (\* Основна програма \*)

[ST] Object (\* Об'єкт керування \*)

**Б.1.2 Основна програма****Б.1.3 Користувацький функціональний блок**

```
(* Delay: '<S1>/Delay' *)
Delay := Delay_DSTATE[0];

(* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn1' *)
DiscreteTransferFcn1 := LREAL#0.0012041953 *
DiscreteTransferFcn1_states;

(* Outport: '<Root>/bo_Concentration' incorporates:
* Constant: '<S1>/Початкова концентрація %'
* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn2'
* Sum: '<S1>/Sum8' *)
bo_Concentration := (LREAL#0.0044980133 *
DiscreteTransferFcn2_states) + LREAL#100.0;

(* Update for Delay: '<S1>/Delay' incorporates:
* Gain: '<S1>/K'
* Update for Inport: '<Root>/bi_Vacuum' *)
FOR k := 0 TO 431 DO
    Delay_DSTATE[k] := Delay_DSTATE[k + 1];
END_FOR;
Delay_DSTATE[432] := LREAL#333.63 * bi_Vacuum;
(* End of Update for Delay: '<S1>/Delay' *)

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete
Transfer Fcn1' *)
DiscreteTransferFcn1_states := Delay - (LREAL#-
0.9987958047 * DiscreteTransferFcn1_states);

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete
Transfer Fcn2' *)
DiscreteTransferFcn2_states := DiscreteTransferFcn1 -
(LREAL#-0.9955019867 * DiscreteTransferFcn2_states);
```

### Б.1.4 Перелік змінних

```

VAR_INPUT
  bi_Vacuum: LREAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
  bo_Concentration: LREAL;
END_VAR
VAR
  DiscreteTransferFcn1_states: LREAL;
  DiscreteTransferFcn2_states: LREAL;
  Delay_DSTATE: ARRAY [0..432] OF LREAL;
  k: DINT;
  Delay: LREAL;
  i: DINT;
  DiscreteTransferFcn1: LREAL;
END_VAR

```

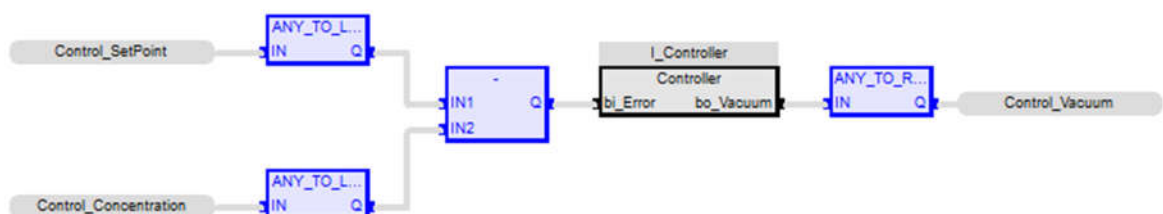
## Б.2 Програмне забезпечення регулятора

### Б.2.1 Список програм

[FBD] Main\_Controller (\* Основна програма \*)

[ST] Controller (\* Контролер \*)

### Б.2.2 Основна програма



### Б.2.3 Користувачький функціональний блок

```

(* Gain: '<S1>/Кп' incorporates:
  * DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator'
  * Inport: '<Root>/bi_Error'
  * Sum: '<S1>/Sum2' *)
rtb_u_h := (DiscreteTimeIntegrator_DSTATE + bi_Error) *
LREAL#0.005;

(* Saturate: '<S1>/Обмеження1' *)
IF rtb_u_h >= LREAL#0.0 THEN
  rtb_u := LREAL#0.0;
ELSIF rtb_u_h > LREAL#-0.03 THEN
  rtb_u := rtb_u_h;
ELSE
  rtb_u := LREAL#-0.03;

```

```

END_IF;
(* End of Saturate: '<S1>/Обмеження1' *)

(* Outport: '<Root>/bo_Vacuum' *)
bo_Vacuum := rtb_u;

(* Update for DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time
Integrator' incorporates:
* Gain: '<S1>/Ki=1//Ti'
* Inport: '<Root>/bi_Error'
* Sum: '<S1>/Sum10'
* Sum: '<S1>/Sum9' *)
DiscreteTimeIntegrator_DSTATE := (((rtb_u - rtb_u_h) +
(LREAL#0.0061611637206035481 * bi_Error)) * LREAL#0.1) +
DiscreteTimeIntegrator_DSTATE;

```

### Б.2.4 Перелік змінних

```

VAR_INPUT
    bi_Error: LREAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    bo_Vacuum: LREAL;
END_VAR
VAR
    DiscreteTimeIntegrator_DSTATE: LREAL;
    rtb_u_h: LREAL;
    rtb_u: LREAL;
END_VAR

```

## Додаток В

## Програмне забезпечення людино-машинного інтерфейсу

## В.1 Драйвера

State	Identification	Description	File name
Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
	Driver for internal variables		Intern
	Driver for mathematics variables		MATHDR32
	Driver for system variables		SYSDRV
	zenon Logic: Controller		STRATONNG
	VIPA		S7TCP32

## В.2 Перелік змінних

State	Name	Measurin...	Driver	Data type	Signal area max.	Signal ar...	Measurin...	Measuring...	Start offset	Start...
Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
	Concentration	%	S7TCP32 - VIPA	REAL	100.000000	0.000000	100.000	0.000	0	0
	Vacuum	kg/m2	S7TCP32 - VIPA	REAL	0.000000	-0.0500...	0.000	-0.050	0	0
	Controller/Global/Control_SetPoint	%	STRATONNG - zen...	REAL	100.000000	0.000000	100.000	0.000	0	0
	Controller/Global/Control_Vacuum	kg/m2	STRATONNG - zen...	REAL	0.000000	-0.0500...	0.000	-0.050	0	0
	Controller/Global/Control_Concentration	%	STRATONNG - zen...	REAL	100.000000	0.000000	100.000	0.000	0	0

## В.3 Шаблони зображень

Sta...	Always in t...	Display in Fra...	Name	Background co...	Freely defin...	Left [pi...	Top [pixels]	Right [pixe...	Bottom [pi...
Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	ALARM STATUS LINE	#FF0000	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0	1280	18
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	MainScreen	#AAAAAA	<input type="checkbox"/>	0	0	1280	920
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Buttons	#AAAAAA	<input type="checkbox"/>	0	920	1280	1024

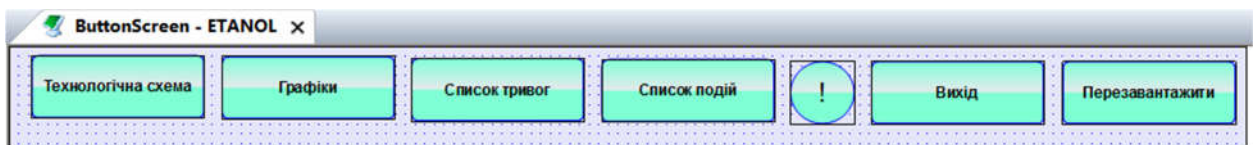
The screenshot shows the Zenon Supervisor interface for the 'ETANOL' project. The main workspace displays three frames defined in the table above. The 'ALARM STATUS LINE' frame is positioned at the top-left (Left: 0, Top: 0, Right: 1280, Bottom: 18) with a red background. The 'MainScreen' frame is at the top-right (Left: 0, Top: 0, Right: 1280, Bottom: 920) with a grey background. The 'Buttons' frame is at the bottom (Left: 0, Top: 920, Right: 1280, Bottom: 1024) with a grey background. The 'Project Manager' on the left shows the project structure, including 'Screens', 'Frames', and 'Buttons'. The 'Properties' window at the bottom shows the 'Top [pixels]' property set to 0.

## V.4 Функції

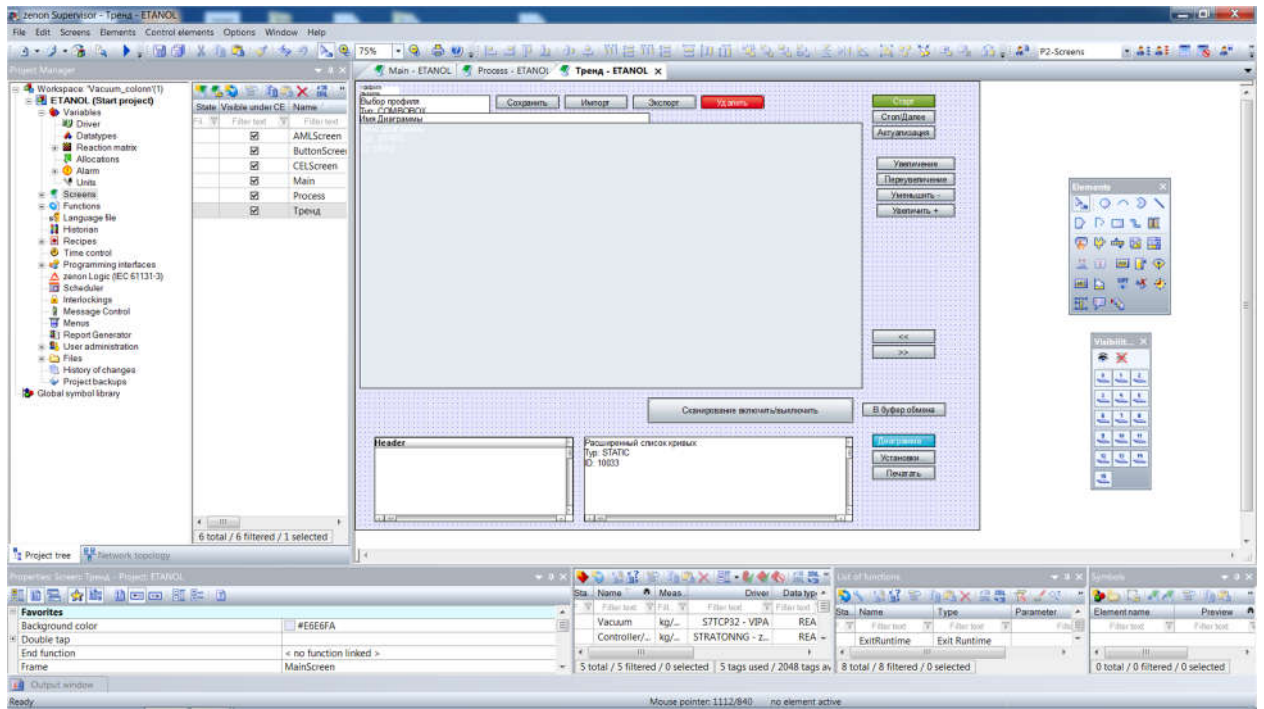
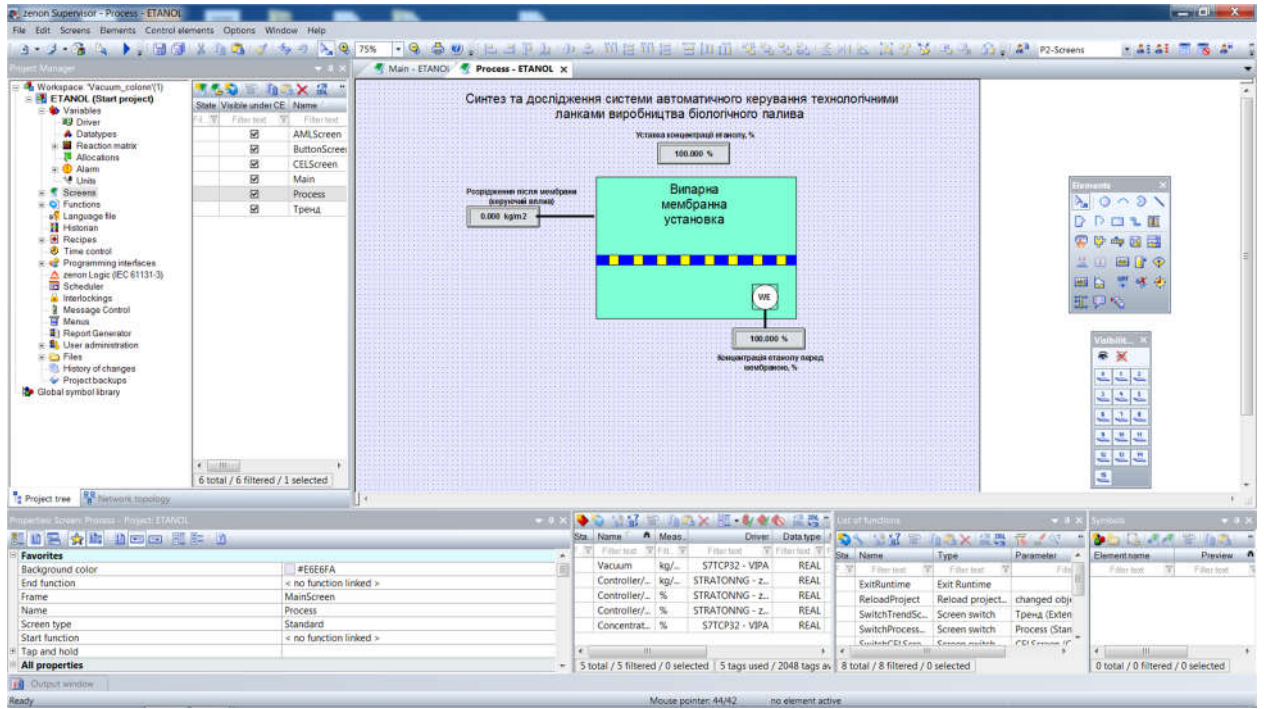
Sta...	Name	Type	Parameter
	ExitRuntime	Exit Runtime	
	SwitchAMLScreen	Screen switch	AMLScreen (Alarm Message List) - [*][*]-[T,Rel:0d,1h,0m,...
	SwitchButtonScreen	Screen switch	ButtonScreen (Standard)
	SwitchCELScreen	Screen switch	CELScreen (Chronological Event List) - [*][*]-[T,Rel:0d,1h,...
	ReloadProject	Reload project online	changed objects
	SwitchMain	Screen switch	Main (Standard)
	SwitchProcessScreen	Screen switch	Process (Standard)
	SwitchTrendScreen	Screen switch	Тренд (Extended Trend) - PROCESS[HD]

## V.5 Зображення

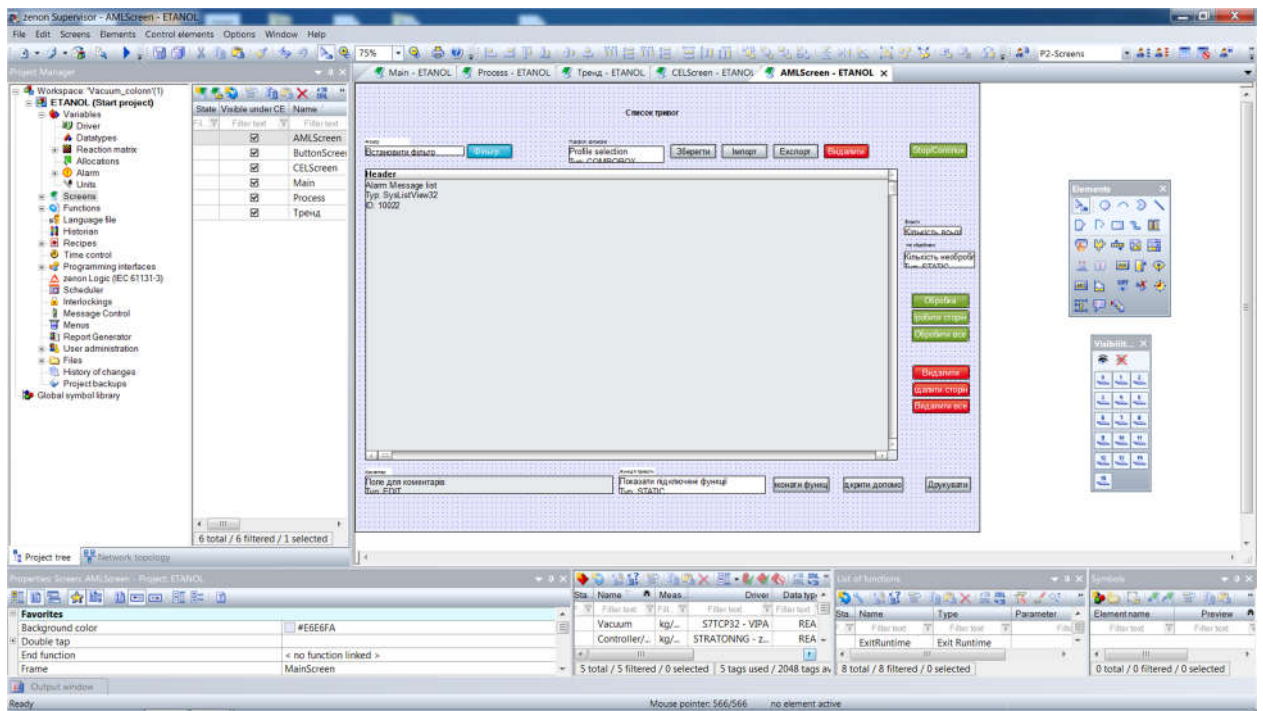
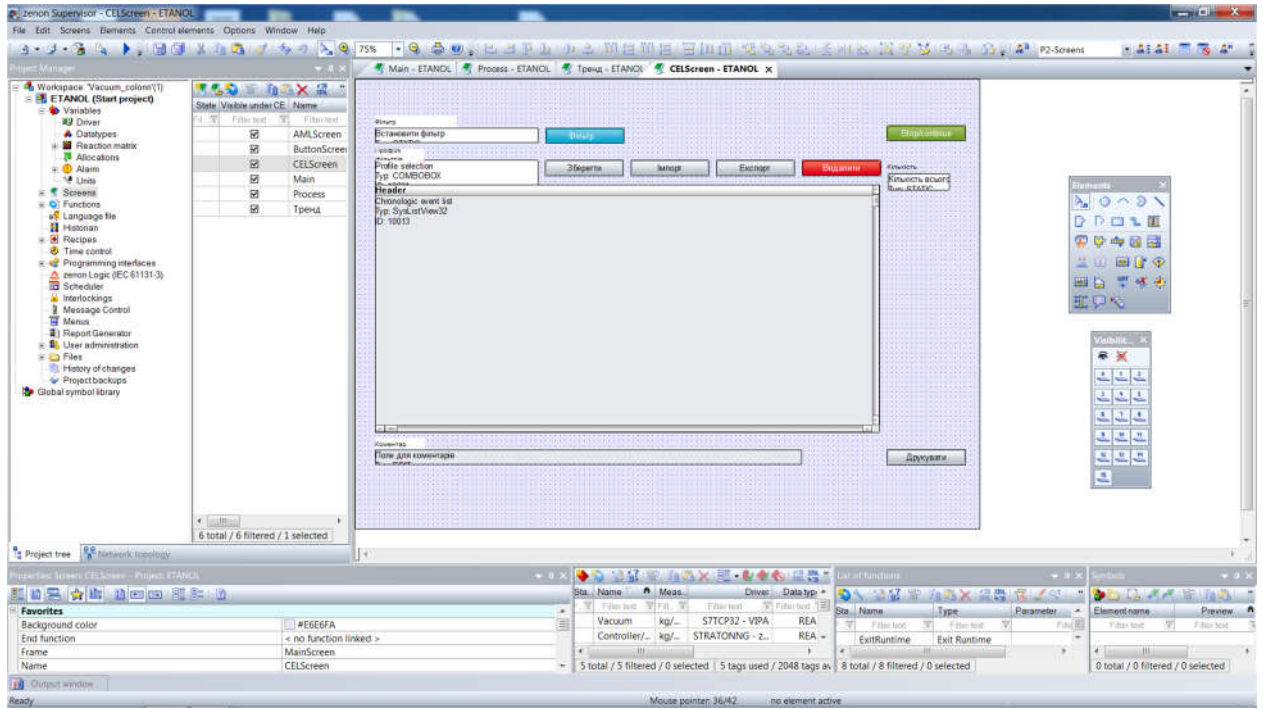
State	Visible under CE	Name	Screen type	Frame	Background color	Start function	End function
	<input checked="" type="checkbox"/>	AMLScreen	Alarm Messag...	MainScreen	<input type="checkbox"/> #E6E6FA	< no function...	< no functi...
	<input checked="" type="checkbox"/>	ButtonScreen	Standard	Buttons	<input type="checkbox"/> #E6E6FA	< no function...	< no functi...
	<input checked="" type="checkbox"/>	CELScreen	Chronological ...	MainScreen	<input type="checkbox"/> #E6E6FA	< no function...	< no functi...
	<input checked="" type="checkbox"/>	Main	Standard	MainScreen	<input type="checkbox"/> #E6E6FA	SwitchButton...	< no functi...
	<input checked="" type="checkbox"/>	Process	Standard	MainScreen	<input type="checkbox"/> #E6E6FA	< no function...	< no functi...
	<input checked="" type="checkbox"/>	Тренд	Extended Trend	MainScreen	<input type="checkbox"/> #E6E6FA	< no function...	< no functi...











## **ВІДГУКИ КОНСУЛЬТАНТІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

## ВІДГУК

на кваліфікаційну роботу ступеня магістра  
на тему: “ Синтез та дослідження системи автоматичного керування  
технологічними ланками виробництва біологічного палива ”

здобувача вищої освіти академічної групи 151-22м -1

Павленко Данила Олеговича

Завдання і зміст кваліфікаційної роботи ступеня магістра відповідає основній меті – перевірці знань та ступеню підготовки здобувача вищої освіти за спеціальністю “151 Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”.

Оформлення пояснювальної записки та графічних матеріалів кваліфікаційної роботи виконано відповідно до вимог стандартів та методичних рекомендацій повністю.

Актуальність роботи полягає в тому, що розробка та дослідження системи автоматичного керування мембранною вакуумною колоною, зважаючи на вимоги до якості та часу перехідного процесу, забезпечить досконале керування об’єктом та дозволить усунути або зменшити вплив існуючих недоліків.

У першому розділі проаналізовано технологічний процес, структура об’єкта керування – мембранної вакуумної колони та вимоги до її функціонування. Розглянуто апаратне забезпечення системи керування, її функціонування та сформульовані задачі дослідження системи керування.

У другому розділі розроблено оптимальний регулятор для керування за принципом максимуму Понтрягіна, визначено максимальні та мінімальні значення часу наростання та часу встановлення дійсного значення, яким має відповідати система керування. Виконано синтез моделі системи автоматичного керування мембранною вакуумною колоною, обґрунтовано вибір структури регулятора та його параметри. Виконано оцінку роботи системи згідно з висунутими критеріями - наявність збурень та зміна параметрів моделі не впливає значною мірою на роботу системи. Розроблено програмне забезпечення та інтерфейс користувача.

Третій та четвертий розділи присвячені розрахунку вартості розробленої системи керування та аналізу небезпечних та шкідливих виробничих факторів при експлуатації системи автоматичного керування мембранною вакуумною колоною.

При вирішенні завдань у розділах кваліфікаційної роботи здобувач вищої освіти підтвердив компетенції ЗК1 «Здатність проведення досліджень на відповідному рівні»; СК3 «Здатність застосовувати методи моделювання

та оптимізації для дослідження та підвищення ефективності систем і процесів керування складними технологічними та організаційно-технічними об'єктами»; СК6 «Здатність застосовувати сучасні методи теорії автоматичного керування для розроблення автоматизованих систем управління технологічними процесами та об'єктами»; СК7 «Здатність застосовувати спеціалізоване програмне забезпечення та цифрові технології для розв'язання складних задач і проблем автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій» та інші.

Повнота та глибина вирішення поставлених завдань в кваліфікаційній роботі достатня.

В цілому кваліфікаційна робота ступеню магістра заслуговує оцінки \_\_\_\_\_ балів при відповідному захисті, а здобувач Павленко Д.О. присвоєння кваліфікації “магістр” за спеціальністю “151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології”.

Керівник кваліфікаційної роботи, \_\_\_\_\_ Бубліков А.В.  
д.т.н., професор

\_\_\_\_\_

## РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу ступеня магістра  
на тему: “Синтез та дослідження системи автоматичного керування  
технологічними ланками виробництва біологічного палива”  
здобувача вищої освіти академічної групи 151-22м -1  
Павленко Данила Олеговича

Завдання і зміст кваліфікаційної роботи ступеня магістра відповідає основній меті – перевірці знань та ступеню підготовки здобувача вищої освіти за спеціальністю “151 Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”.

Оформлення пояснювальної записки та графічних матеріалів кваліфікаційної роботи виконано відповідно до вимог стандартів та методичних рекомендацій повністю.

Актуальність роботи полягає в тому, що розробка та дослідження системи керування мембранною вакуумною колоною, зважаючи на вимоги до якості та часу перехідного процесу, забезпечить досконале керування об’єктом та дозволить усунути або зменшити вплив існуючих недоліків.

В роботі проаналізовано технологічний процес, структура об’єкта керування та вимоги до його функціонування. Розглянуто апаратне забезпечення системи керування, її функціонування та сформульовані задачі дослідження системи керування. Розроблено оптимальний регулятор для керування за принципом максимуму Понтрягіна, визначено максимальні та мінімальні значення часу наростання та часу встановлення дійсного значення, яким має відповідати система керування. Отримана модель системи автоматичного керування мембранною вакуумною колоною, обґрунтовано вибір структури регулятора та його параметри. Виконано оцінку роботи системи згідно з висунутими критеріями - наявність збурень та зміна параметрів моделі не впливає значною мірою на роботу системи. Розроблено програмне забезпечення та інтерфейс користувача.

Повнота та глибина вирішення поставлених завдань в кваліфікаційній роботі достатня.

В цілому кваліфікаційна робота ступеню магістра заслуговує оцінки \_\_\_\_\_ балів при відповідному захисті, а здобувач Павленко Д.О. присвоєння кваліфікації “магістр” за спеціальністю “151 Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”.

Рецензент \_\_\_\_\_

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**  
завідувачем кафедри  
кіберфізичних та інформаційно-  
вимірювальних систем

\_\_\_\_\_ Бубліковим А.В.

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 року

## **ВИСНОВОК**

Про рівень запозичень у кваліфікаційній роботі магістра на тему “Синтез та дослідження системи автоматичного керування технологічними ланками виробництва біологічного палива”, здобувача вищої освіти, групи 151-22м -1, Павленко Данила Олеговича.

Загальний обсяг кваліфікаційної роботи без переліку посилань складає 75 сторінок. Програмне забезпечення використане для перевірки роботи “<https://unichек.com>”. Рівень запозичень у роботі складає 13,9 %, що є меншим 40 % запозичень з однієї роботи та відповідає вимогам Положення про систему запобігання та виявлення плагіату у Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка».

Керівник  
кваліфікаційної роботи,  
д.т.н., професор

\_\_\_\_\_ Бубліков А.В.  
(підпис)

Нормоконтролер,  
асистент,

\_\_\_\_\_ (дата)  
Славінський Д.В.  
(підпис)

\_\_\_\_\_ (дата)



Ім'я користувача:  
Дмитро Славінський

Дата перевірки:  
11.12.2023 13:14:36 EET

Дата звіту:  
11.12.2023 13:19:41 EET

ID перевірки:  
1015992307

Тип перевірки:  
Doc vs Internet + Library

ID користувача:  
100008965

Назва документа: 00\_151м\_22\_Павленко\_Д\_О\_-\_ПЗ

Кількість сторінок: 75 Кількість слів: 10621 Кількість символів: 81215 Розмір файлу: 6.47 MB ID файлу: 1015674801

Виявлено модифікації тексту (можуть впливати на відсоток схожості)

**49.7%**  
**Схожість**

Найбільша схожість: 13.9% з джерелом з Бібліотеки (ID файлу: 1015658129)

44.5% Джерела з Інтернету 746 ..... Сторінка 77

22.1% Джерела з Бібліотеки 235 ..... Сторінка 86

**0% Цитат**

Вилучення цитат вимкнене

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнене

**12.5%**  
**Вилучень**

Деякі джерела вилучено автоматично (фільтри вилучення: кількість знайдених слів є меншою за 8 слів та 0%)

11.3% Вилучення з Інтернету 1 ..... Сторінка 87

12.5% Вилученого тексту з Бібліотеки 1 ..... Сторінка 87

**Модифікації**

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи 56

Підозріле форматування 23 сторінки