

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Інженерно-хімічний факультет

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра автоматизації хімічних виробництв

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»

УДК 547-326

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

А.І.Жученко

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ” _____ 2018 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані техноло-
гії

(код і назва)

на тему: Автоматизація процесу виробництва карбонових кислот окисленням
парафіну з використанням бездротових технологій

Виконав (-ла): студент (-ка) 6 курсу, групи ЛА-71мп
(шифр групи)

Пінкас Тарас Васильович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник доц. каф. АХВ, к. т. н., Черьопкін Євгеній Сергійович

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант

(назва розділу)

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент

(підпис)

Київ – 2018 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Інженерно-хімічний факультет

(повна назва)

Кафедра автоматизації хімічних виробництв

(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність 151- Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ А.І.Жученко
(підпис) (ініціали, прізвище)

« 30 » жовтня 2018 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Пінкасу Тарасу Васильовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації: Автоматизація процесу виробництва карбонових кислот окисленням парафіну з використанням бездротових технологій
науковий керівник дисертації Черьопкін Євгеній Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « 12 » 11 2018 р. № 4139-С

2. Термін подання студентом дисертації _____

3. Об'єкт дослідження технологічний процес виробництва карбонових кислот окисленням парафіну

4. Вихідні дані Експериментальні дані технологічного процесу, технологічний регламент, схема виробництва _____

5. Перелік завдань, які потрібно розробити Провести аналіз ефективності використання проводів для передачі інформації у автоматичних системах керування; дослідити ефективність використання мікропроцесорної техніки для керування технологічним процесом; встановити ефективність бездротових технологій для підвищення точності передачі інформації у автоматизованих системах керування; провести аналіз технологічного процесу та визначити апарат що потребує найбільшої точності з точки зору автоматизації систем керування; провести імітаційне моделювання роботи системи на основі технологічного об'єкта керування - реактора.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу матеріали презентації для захисту магістерської роботи _____

7. Орієнтовний перелік публікацій Передача даних у автоматизованих системах керування _____

8. Дата видачі завдання 06 листопада 2018 р

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	<u>Провести аналіз ефективності використання провіді для передачі інформації у автоматичних системах керування</u>	29.10.2018	Виконано
2	<u>дослідити ефективність використання мікропроцесорної техніки для керування технологічним процесом</u>	5.11.2018	Виконано
3	<u>встановити ефективність бездротових технологій для підвищення точності передачі інформації у автоматизованих системах керування</u>	19.11.2018	Виконано
4	<u>провести аналіз технологічного процесу та визначити апарат що потребує найбільшої точності з точки зору автоматизації систем керування</u>	29.11.2018	Виконано
5	<u>провести аналіз технологічного процесу та визначити апарат що потребує найбільшої точності з точки зору автоматизації систем керування; провести імітаційне моделювання роботи системи на основі технологічного об'єкта керування - реактора.</u>	3.12.2018	Виконано

Студент

_____ (підпис)

Пінкас Т. В.

_____ (ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

_____ (підпис)

Черьопкін Є. С.

_____ (ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація виконана на тему “Автоматизація процесу виробництва карбонових кислот окисленням парафіну з використанням бездротових технологій”, містить 67 сторінки пояснювальної записки, 18 таблиць, 27 ілюстрацій, 12 бібліографічних найменувань.

Метою проекту є дослідження ефективності бездротових технологій для підвищення точності передачі інформації в автоматизованих системах керування.

Об’єкт дослідження – реактор періодичної дії.

Предмет дослідження – система керування процесом виробництва карбонових кислот окисленням парафіну.

Проведено аналіз ефективності використання дротів для передачі інформації у автоматичних системах керування.

Досліджено ефективність бездротових технологій для підвищення точності передачі інформації у автоматизованих системах керування.

Розроблено математичну модель реактора періодичної дії.

Проведено імітаційне моделювання роботи системи на основі технологічного об’єкта керування – реактора.

Також в магістерській дисертації було розроблено стартап-проект для впровадження бездротової системи передачі даних у технологічних процесах.

Ключові слова: МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, БЕЗДРТОВІ ТЕХНОЛОГІЇ, АВТОМАТИЦІЯ, КАРБОНОВІ КИСЛОТИ, РЕАКТОР ПЕРІОДИЧНОЇ ДІЇ.

ABSTRACT

The master's dissertation performed on the topic "automation of the process of production of carboxylic acids by the oxidation of paraffin using wireless technology". It contains 67 pages of explanatory notes, 18 tables, 27 illustrations, 12 bibliographic titles.

The purpose of the project is to study the effectiveness of wireless technology to improve the accuracy of information transmission in automated control systems.

Object of research - reactor of periodic action.

The subject of research - the control system of the process of production of carboxylic acids by the oxidation of paraffin

An analysis of the efficiency of the use of wires for the transmission of information in automatic control systems is carried out.

The efficiency of wireless technologies for improving the accuracy of information transmission in automated control systems is investigated

The mathematical model of the periodic reactor is developed

The simulation of the system's operation based on the technological control object-reactor was carried out.

Also in the master's thesis was developed a startup idea of a project to create a wireless data transmission system in the technological processes.

Keywords: AUTOMATIN, CARBOXYLIC ACIDS, MATHEMATICAL MODELATION, WIRELESS TECHNOLOGIES, REACTOR OF PERIODIC ACTION

ЗМІСТ

Вступ	9
1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОТРИМАННЯ КАРБОНОВИХ КИСЛОТ ОКИСЛЕННЯМ ПАРАФІНУ.....	10
1.1. Опис процесу отримання карбонових кислот окисленням парафіну ..	10
1.2. Постановка задачі	12
2. РЕАКТОР ЯК ОБ'ЄКТ КЕРУВАННЯ.....	13
2.1. Опис об'єкта керування.....	13
2.2. Дослідження структурно-параметричної схеми реактора.....	15
2.3. Математична модель реактора	18
3. РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ РЕАКТОРОМ ПЕРІОДИЧНОЇ ДІЇ.....	23
3.1. Синтез системи керування	27
3.3. Моделювання роботи системи керування з використанням дротового зв'язку	31
3.4. Розрахунок вартості автоматизації з використанням провідної комутації	35
4. СИСТЕМА КЕРУВАННЯ РЕАКТОРОМ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЙ БЕЗДРОТОВОГО ЗВ'ЯЗКУ.....	38
4.1. Види бездротових технологій.....	38
4.1.1. Аналіз бездротової технології WiFi.....	39
4.1.2. Аналіз бездротової технології Bluetooth.....	40
4.2.3. Аналіз бездротової технології WiMAX.....	41
4.3. Вибір бездротової технології	41
4.2. Синтез системи керування з використанням технології бездротового зв'язку	43
4.3. Розрахунок вартості автоматизації з використанням бездротового каналу зв'язку	46
5. СТВОРЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ.....	48
5.1 Опис ідеї стартап-проекту	48

5.2	Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик проекту	50
5.3	Технологічна здійсненність ідеї проекту	51
5.4.	Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	52
5.5.	Характеристика потенційних клієнтів	53
5.6.	Фактори загроз та можливостей	54
5.7.	Ступеневий аналіз конкуренції на ринку.....	56
5.8.	Розроблення ринкової стратегії проекту	58
5.9.	Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	61
	ВИСНОВКИ.....	64
	ЛУТЕРАТУРА.....	66

Вступ

В сучасному світі потреба у карбоновій кислоті зростає з кожним роком. Це обумовлено її використанням у майже всіх галузях народного господарства.

Карбонові кислоти є важливою складовою хімічної промисловості України та використовуються у фармацевтичній промисловості для виготовлення ліків, у галантереї для виготовлення штучних тканин та пластмас, у харчовій промисловості для виготовлення барвників. Одним із способів отримання якісної карбонової кислоти є процес окислення парафіну.

Даний процес використовується на багатьох підприємствах, серед яких ТОВ “Система оптимум” місто Львів, ТОВ “ВЕСТНОРД” місто Київ. Їх потужностей, на даний момент, не вистачає для забезпечення навіть внутрішнього ринку. Одним з напрямків можливого вирішення цієї проблеми є підвищення рівня автоматизації цих виробництв.

1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОТРИМАННЯ КАРБОНОВИХ КИСЛОТ ОКИСЛЕННЯМ ПАРАФІНУ

1.1. Опис процесу отримання карбонових кислот окисленням парафіну

У вибраному процесі сировиною для отримання жирних кислот є парафін, оскільки парафін складається із вуглеводів, тому при окисненні можна виділити насичені карбонові кислоти із нерозгалуженою ланкою.

Принципова схема отримання карбонових кислот окисленням парафіну зображена на рис. 1.1, даний процес можна розділити на 5 етапів[1]:

1. підготовка суміші з каталізаторів;
2. змішування каталізаторів та розплавленого парафіну;
3. окислення парафіну;
4. омилення парафіну;
5. отримання карбонових фракцій.

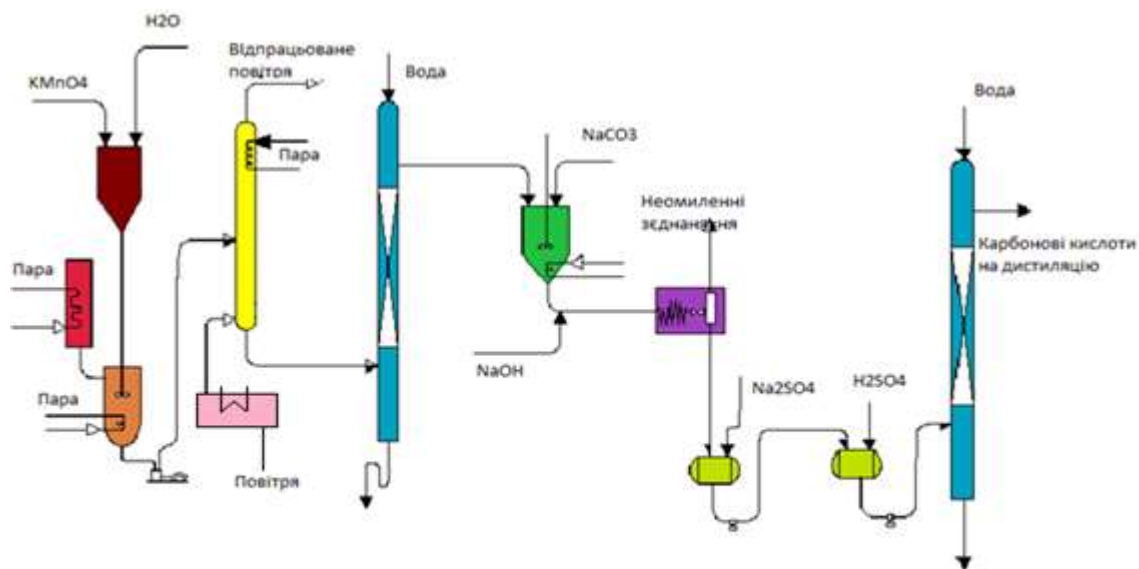


Рис. 1.1. Принципова схема процесу отримання карбонових кислот окисленням парафіну

На першому етапі, який проходить у мірнику розчину каталізатора, готують каталізатор, який являє собою водний 10-15%-ний розчин із KMnO_4 , MnO_2 і солей лужних металів. Перед використанням парафін розплавляють у збирачі парафіну.

На другому етапі каталізатор вводять у розплавлений парафін, при цьому суміш з каталізатора та розплавленого парафіну мішають та повільно підігрівають до температури $130\text{ }^\circ\text{C}$. При цій температурі вода випаровується із суміші, а каталізатор рівномірно розподілений у парафіні.

Третій етап – це безпосереднє окислення суміші парафіну та каталізатора повітрям, цей етап проходить у реакторі. Реактор – апарат для проведення хімічних реакцій, виготовлений із нержавіючої сталі, так як продукти окислення руйнують вуглецеву сталь. Для кращого окислення парафіну необхідно підтримувати температуру у реакторі на позначці $120\text{ }^\circ\text{C}$. Окислення триває 16...28 годин, через цей час $1/3$ парафіну окислюється у карбонові кислоти; ефіри, альдегіди та кетони є побічними сполуки на третьому етапі.

Після окислення, суміш викачують на промивку від каталізатора та нижчих жирних кислот. Промитий парафін поступає на четвертий етап технологічного процесу – етап омилення.

Ціллю четвертого етапу є отримання солей карбонових кислот, для цього суміш омилюють. Етап омилення поділений на два кроки. На першому кроці омилення в якості омилювача використовують 25% розчин Na_2CO_3 , а на другому – 24% розчин NaOH . На другому кроці омилення підтримується тиск у 80-120 атм. та підтримується температура на значенні $270\text{...}300\text{ }^\circ\text{C}$.

Останній, п'ятий етап, є заключним, розплавлене мило зливається у розчин сульфату натрію до утворення 25%-го розчину, який обробляють 96%-ю сульфатною кислотою (H_2SO_4). Отримані вільні жирні кислоти промиваються водою та відправляються на дистиляцію в глибокому вакуумі з виділенням трьох фракцій: головної (кислоти $\text{C}_4 \dots \text{C}_9$), основної (кислоти $\text{C}_{10} \dots \text{C}_{20}$) і тих, що залишилися (кислоти $\text{C}_{18} \dots \text{C}_{25}$).

1.2. Постановка задачі

Даний процес є доволі технологічно складним у зв'язку з наявністю великої кількості технологічно обладнання. Для забезпечення ефективної роботи технологічного процесу, необхідно забезпечити керування великою кількістю параметрів у кожному технічному апараті. На сьогоднішній день існує велика кількість рішень з використання засобів локальної автоматики, що вирішують поставлені вище задачі. Однак, на основі рівня розвитку освіти і техніки, з'являється можливість використання мікропроцесорної техніки та каналів бездротового зв'язку інформації для підвищення якості роботи системи керування [2]. Виходячи з цього, постає ряд задач, що розглядаються у даній роботі:

- Провести аналіз ефективності використання проводів для передачі інформації у автоматичних системах керування.
- Дослідити ефективність використання мікропроцесорної техніки для керування технологічним процесом.
- Встановити ефективність бездротових технологій для підвищення точності передачі інформації у автоматизованих системах керування.
- Провести аналіз технологічного процесу та визначити апарат, що потребує найбільшої точності з точки зору автоматизації систем керування
- Провести імітаційне моделювання роботи системи на основі технологічного об'єкта керування – реактора.

2. РЕАКТОР ЯК ОБ'ЄКТ КЕРУВАННЯ

2.1. Опис об'єкта керування

Проаналізувавши процес отримання карбонових кислот окисленням парафіну, було виявлено, що етап окислення парафіну являється ключовим етапом у технологічному процесі отримання карбонових кислот, тому що від ефективності його роботи залежить якість кінцевого продукту. А саме тому в якості об'єкта керування було вибрано апарат, у якому проходить даний етап. Об'єктом керування є хімічний реактор періодичної дії, зображений на рис. 2.1., у якому проходить процес окислення парафіну за допомогою повітря.

Отриману суміш у змішувачі парафіну викачують у реактор, щоб його заповнити. Реактор заповнюють сумішшю парафіну з каталізаторами за температури 80°C, після заповнення резервуару реактора, подача суміші припиняється. У заповнений реактор подається повітря для окислення парафіну, відпрацьоване повітря відправляють на фільтрацію для подальшого використання. Повітря подається протягом 16...28 годин та протягом всього часу у реакторі підтримується температура 120°C. Для підтримання температури суміш підігривається подачею пари у нагрівач.

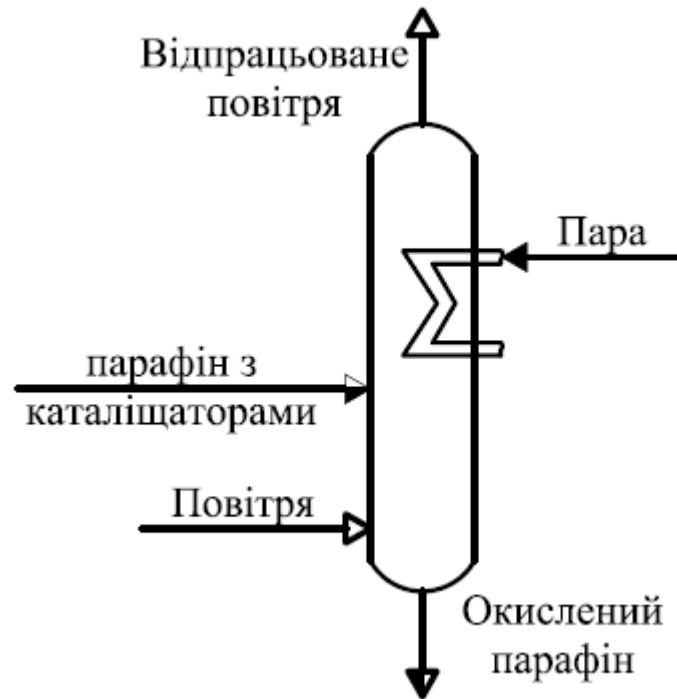


Рис. 2.1. Об'єкт керування – реактор

Після припинення подачі повітря, 1/3 об'єму суміші складає окислений парафін, а все інше – побічні продукти реакції: спирти, кетони, альдегіди та ефіри. Після реактора окислену суміш подають у промивну колону, а після – на омилення.

Якість вихідного продукту залежить від результату реакції у реакторі. На результат хімічної реакції впливають наступні параметри:

- початкова температура суміші;
- температура повітря для окислення;
- температура пари, для підтримання температури суміші;
- витрата повітря, яким окислюють суміш;
- витрата пари.

Для керування якістю роботи апарату необхідно змінювати наступні параметри:

- витрату пари, для регулювання температури суміші;
- витрату повітря, для кращого окислення парафіну.

2.2. Дослідження структурно-параметричної схеми реактора

Структурна схема являє собою спрощене графічне зображення технологічного об'єкта, яка дає загальне уявлення про об'єкт дослідження. На рис 2.2. зображено структурну схему об'єкта дослідження – хімічного реактора.

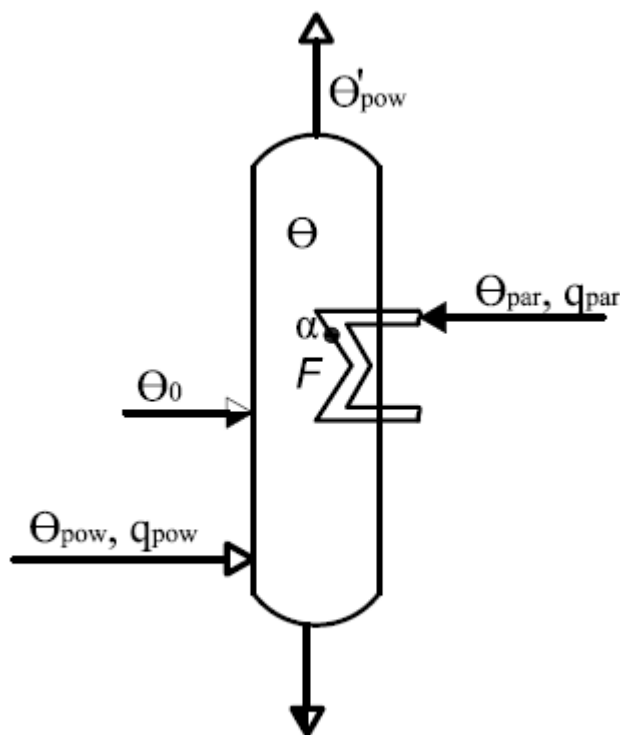


Рис. 2.2. Структурна схема реактора

На рис. 2.2. позначені наступні технологічні параметри:

Θ_0 – температура, з якою подають суміш у реактор, °С;

Θ_{pow} – температура повітря, яким окислюють парафін, °С;

Θ_{par} – температура пари для керування температурою у об'єкті, °С;

Θ'_{pow} – температура відпрацьованого повітря, °С;

Θ – температура суміші в реакторі, °С;

F – площа нагрівача, м²;

α – коефіцієнт тепловіддачі нагрівач-повітря, Вт/(м²*К);

q_{par} – витрата пари, кг/с;

q_{pow} – витрата повітря, кг/с.

Як показали попередні дослідження процесу, основним фактором, що впливає на якість готової продукції у реакторі, є температура. Виходячи з цього, моделювання даного технологічного процесу буде проходити як для теплового об'єкту.

Побудуємо параметричну модель реактора (рис. 2.3.) для аналізу дії вхідних параметрів на температуру в середині апарату.

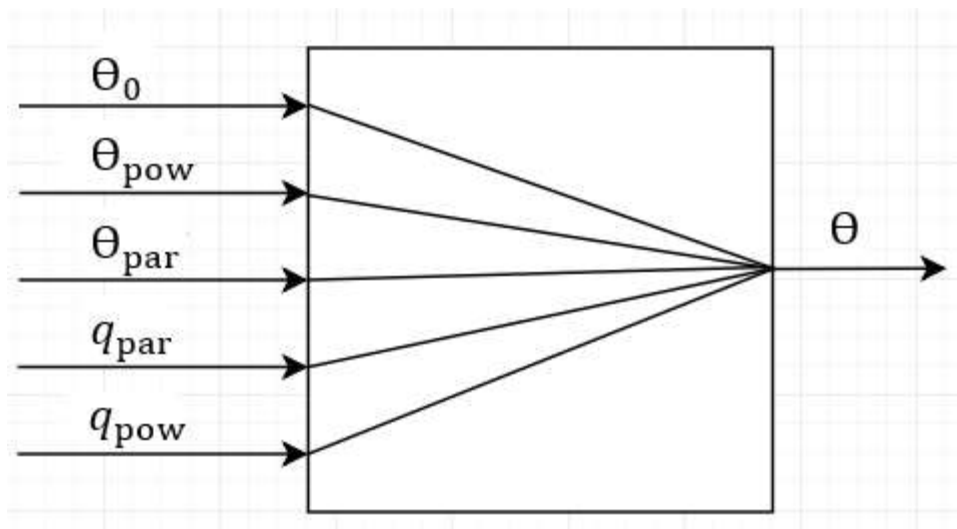


Рис. 2.3. Параметрична модель реактора

де θ_0 – температура, з якою подають суміш у реактор, °С;

θ_{pow} – температура повітря, яким окислюють парафін, °С;

θ_{par} – температура пари для керування температурою у об'єкті, °С;

θ – температура суміші в реакторі, °С;

q_{par} – витрата пари, кг/с;

q_{row} – витрата повітря, кг/с.

Значення статичних параметрів наведені у таблиці 2.1, значення із таблиці 2.1 будуть використані для подальших розрахунків рівнянь статички та динаміки.

Таблиця 2.1. Значення статичних параметрів

№	Назва параметру	Позначення (ідентифікатор)	Одиниця вимірювання	Значення
11	Коефіцієнт тепловіддачі нагрівача	α	Вт/(м ² *К)	0,78
22	Площа нагрівача	F	м ²	1,4
3	Питома масова теплоємність повітря	$C_{p\text{ow}}$	кДж/кг*К	1,005
4	Питома масова теплоємність пари	$C_{p\text{ar}}$	кДж/кг*К	2,130
5	Питома масова теплоємність суміші парафіну та каталізаторів	C	кДж/кг*К	0,73
6	Маса суміші, яка поміщається у реакторі	m	кг	460

При моделюванні статичного режиму роботи реактора робимо такі припущення:

1. Рівномірний розподіл температури в реакторі та на поверхні нагрівача.
2. Не враховано залежність величини коефіцієнта теплоємності від температури.
3. Знехтуємо акумуляцією тепла у стінках нагрівача у зв'язку із невеликою товщиною стінок.

2.3. Математична модель реактора

Математичне моделювання – це метод створення та дослідження математичних моделей для дослідження процесів та явищ [3]. Інженери використовують математичне моделювання у тих випадках, коли дослідження процесів неможливе на реальних об'єктах, у зв'язку з небезпекою, високою вартістю або значними затратами часу на перехідний процес.

Проаналізувавши параметричну модель реактора, ми можемо приступити до створення математичної моделі. Математична модель реактора описує залежність температури суміші каталізаторів та парафіну Θ від витрати пари q_{par} .

Математичну модель реактора у статичному режимі можна записати у наступному вигляді:

$$\Theta = Q_{\text{par}} + Q_{\text{pow}} \quad (2.1)$$

де Θ – температура суміші у реакторі;

Q_{par} – кількість тепла, яка прийшла від нагрівача;

Q_{pow} – кількість тепла, яка прийшла від повітря;

Для розрахунку кількості тепла Q_{par} , яку отримує суміш від пари, використаємо наступну формулу:

$$Q_{\text{par}} = \alpha * F * C_{\text{par}} * q_{\text{par}}(\Theta_{\text{sym}} - \Theta_{\text{par}}) \quad (2.2)$$

де Θ_{sym} – температура суміші у реакторі, Θ_{par} – температура пари, яку подають у нагрівач, C_{par} – питома теплоємність пари, α – коефіцієнт теплопередачі від теплоносія до суміші у реакторі, F – площа поверхні нагрівача, q_{par} – витрата пари.

Щоб розрахувати кількість тепла Q_{pow} , яка приходить із повітрям, використаємо наступну формулу:

$$Q_{\text{pow}} = C_{\text{pow}} * q_{\text{pow}}(\Theta_{\text{pow}} - \Theta'_{\text{pow}}) \quad (2.3)$$

де Θ'_{pow} – температура відпрацьованого повітря на виході з реактора, Θ_{pow} – температура повітря на вході у реактор, C_{pow} – питома теплоємність повітря, q_{pow} – витрата повітря.

Підставимо рівняння 2.3 та 2.4 у загальне рівняння статички 2.1:

$$\alpha * F * C_{par} * q_{par} (\Theta_{sym} - \Theta_{par}) + C_{pow} * q_{pow} (\Theta_{pow} - \Theta'_{pow}) = \Theta \quad (2.4)$$

З рівняння 2.4 виразимо функцію залежності температури суміші Θ від витрати на основі рівняння моделі у статичному режимі та параметричної моделі:

$$\frac{\alpha * F * C_{par} * q_{par} (\Theta_{sym} - \Theta_{par}) + C_{pow} * q_{pow} (\Theta_{pow} - \Theta'_{pow})}{C * m} = \Theta \quad (2.5)$$

Після підстановки числових значень параметрів, математична модель 2.5 у статиці має вигляд:

$$\frac{2,2365 * q_{par} (\Theta_{sym} - \Theta_{par}) + 6,03 (\Theta_{pow} - \Theta'_{pow}) - 26,864}{335,8} = \Theta \quad (2.6)$$

Статичну характеристику реактора, залежності температури суміші в об'єкті Θ від витрати пари q_{par} , зображено на рис. 2.4.

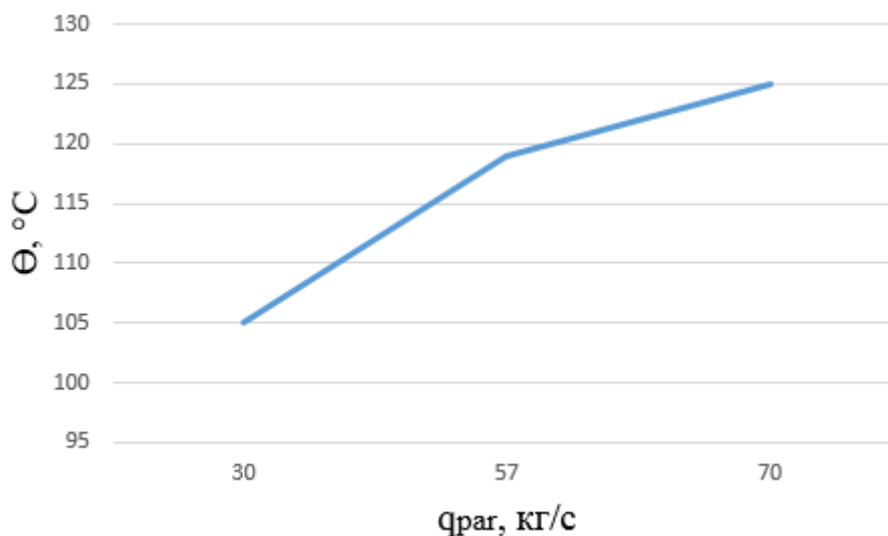


Рис. 2.4. Статична характеристика реактора

Побудована статична характеристика показує правильність записаних рівнянь, оскільки при збільшенні витрати пари температура суміші в апараті збільшується.

Рівняння динаміки для реактора можна записати у наступному вигляді:

$$\frac{\alpha * F * C_{\text{пар}} * \frac{dq_{\text{пар}}}{dt} (\vartheta_{\text{sym}} - \vartheta_{\text{пар}}) + C_{\text{pow}} * q_{\text{pow}} (\vartheta_{\text{pow}} - \vartheta'_{\text{pow}})}{C * m} = \frac{d\vartheta}{dt} \quad (2.7)$$

Підставимо числові значення параметрів у рівняння динаміки 2.7:

$$\frac{2,2365 * \frac{dq_{\text{пар}}}{dt} (\vartheta_{\text{sym}} - \vartheta_{\text{пар}}) + 6,03 (\vartheta_{\text{pow}} - \vartheta'_{\text{pow}})}{335,8} = \frac{d\vartheta}{dt} \quad (2.8)$$

Побудуємо динамічні характеристики реактора, зміна температури з часом при незмінній витраті пари. Для побудови по черзі встановимо витрату у наступні значення: 35 кг/с, 54 кг/с то 70 кг/с.

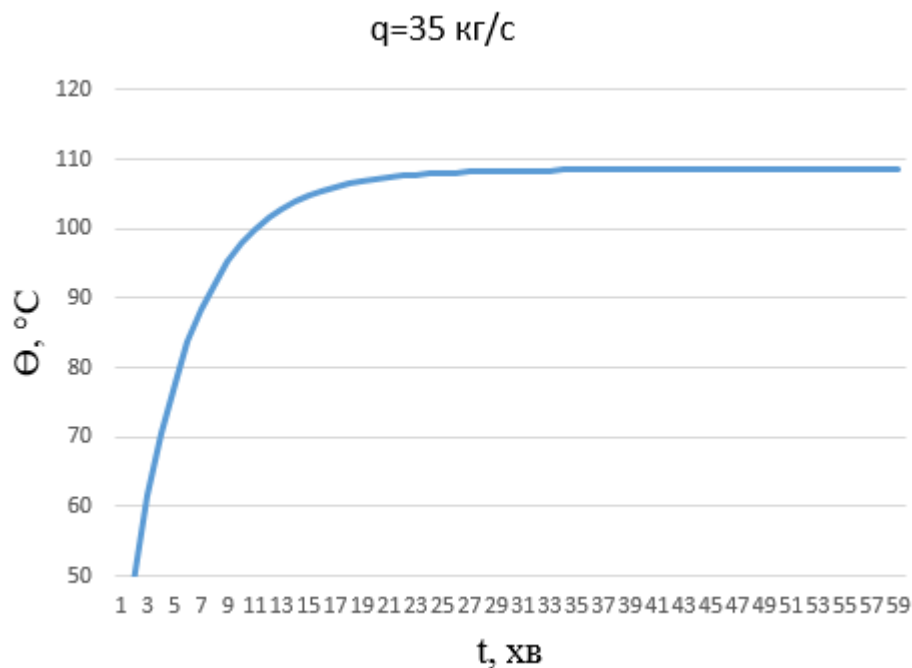


Рис. 2.5. Зміна температури з плином часу при сталій витраті пари (35 кг/с)

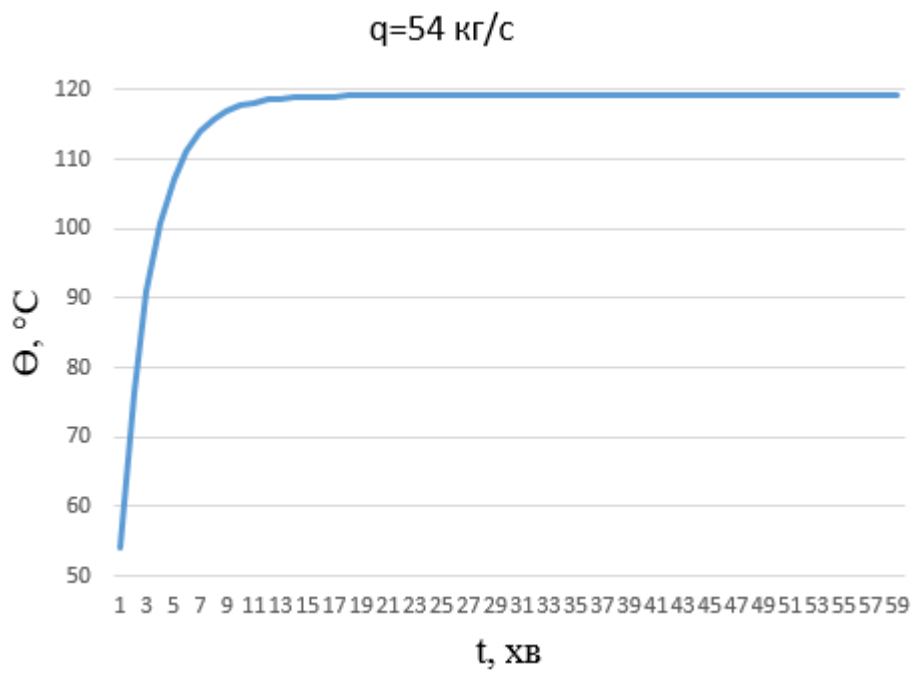


Рис. 2.6. Зміна температури з плином часу при сталій витраті пари (54 кг/с)

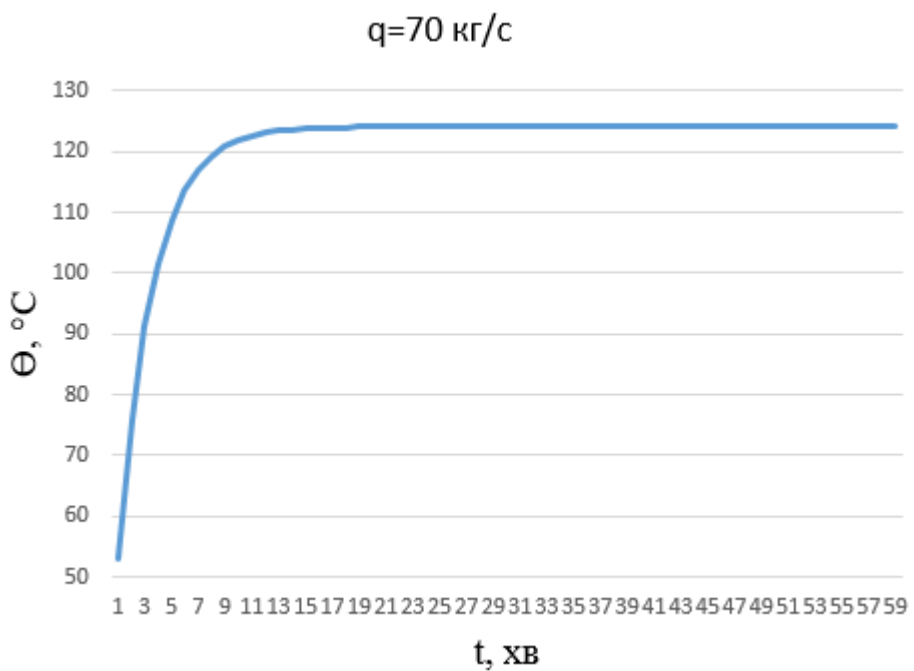


Рис. 2.7. Зміна температури з плином часу при сталій витраті пари (54 кг/с)

З перехідних процесів (рис. 2.5, рис. 2.6 та рис. 2.7) видно, що рівняння динаміки правильно описують процес в реакторі, оскільки за більшого значення

вхідної витрати після завершення перехідного процесу, температура суміші досягає більшого значення.

Для синтезу системи керування реактором, запишемо диференційне рівняння динаміки 2.8 у різницевій формі:

$$\theta_{i-1} + \frac{2,2365 * q_{\text{par}}(\theta_{i-1} - \theta_{\text{par}}) + 6,03(\theta_{\text{pow}} - \theta'_{\text{pow}})}{335,8} = \theta_i \quad (2.9)$$

де θ_i – температура суміші у реакторі у поточний момент часу, θ_{i-1} – температура суміші у реакторі у попередній момент часу, θ'_{pow} – температура відпрацьованого повітря на виході з реактора, θ_{pow} – температура повітря на вході у реактор, q_{par} – витрата пари на поточній ітерації, $i = 0 \dots n$ моменти часу з інтервалом у одну хвилину.

3. РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ РЕАКТОРОМ ПЕРІОДИЧНОЇ ДІЇ

Існуюча схема автоматизації об'єкта керування у технологічному процесі отримання карбонових кислот окисленням парафіну зображена на рис. 3.1.

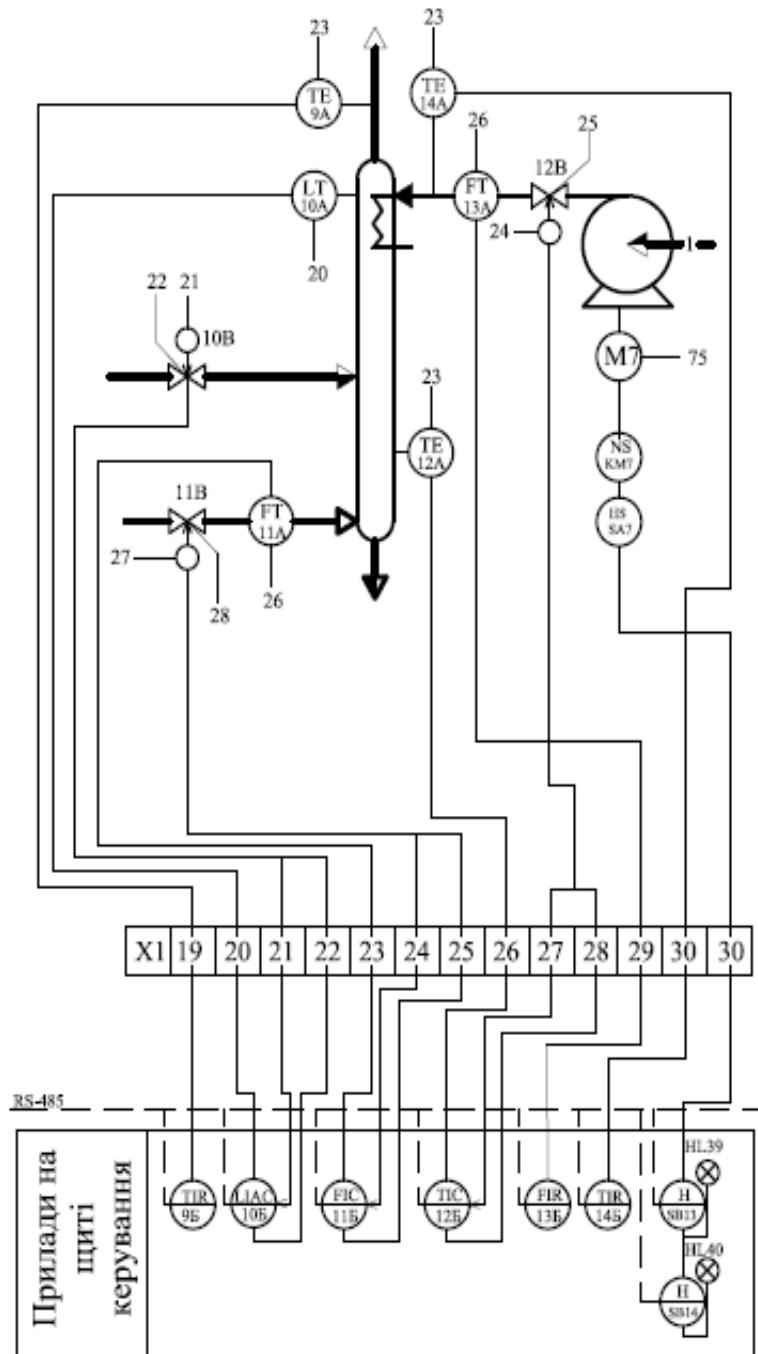


Рис. 3.1. Схема автоматизації реактора з використанням локальної автоматики

Для автоматизації реактора у технологічному процесі, що розглядаються, використовуються технічні засоби локальної автоматики. Для автоматизації було використано наступні засоби локальної автоматики:

- для вимірювання температури використали термоперетворювач ТСПУ-0388;
- для вимірювання витрати використали витратомір optimass 700;
- для вимірювання рівня суміші в реакторі використали цифровий ультразвуковий рівнемір ВЗЛЕТ УР;
- для регулювання параметрів об'єкта використали ПД-регулятор REX-S100;
- в якості виконавчого механізму із зворотнім зв'язком кута повороту використали електричний, прямохідний виконавчий механізм МСП 2500/63-140.

Такий спосіб використовується досить давно і він продемонстрував свою ефективність. До переваг такого підходу можна віднести простоту встановлення та розповсюдженість рішень, також елементи системи не залежать один від одного, якщо це не передбачено технологічним процесом (залежність керування технологічним параметром від вимірюваної величини). Підходу з використанням засобів локальної автоматики притаманні наступні особливості, а саме: складність в обслуговуванні у зв'язку з тим, що всі елементи системи знаходяться на відстані один від одного (для впровадження такого рішення необхідна достатньо велика і спеціально облаштована площа на виробництві), висока вартість елементів системи.

Зазначені вище недоліки можуть бути усунені за допомогою мікропроцесорних технічних засобів автоматизації. Мікроконтролер – це система, яка на одному кристалі реалізує всі необхідні елементи для реалізації керування. Необхідними елементами для мікроконтролера вважають процесор, таймер, контролери переривань, периферію вводу/виводу, паралельний та послідовний інтерфейс та інші. Перевагами мікроконтролерів над локальною автоматикою є:

- вартість рішення на основі мікроконтролерів;
- швидкість вимірювання та обробки інформації;

- габаритні розміри.

Схема автоматизованого керування реактором з використанням мікропроцесорних засобів автоматики має наступний вигляд:

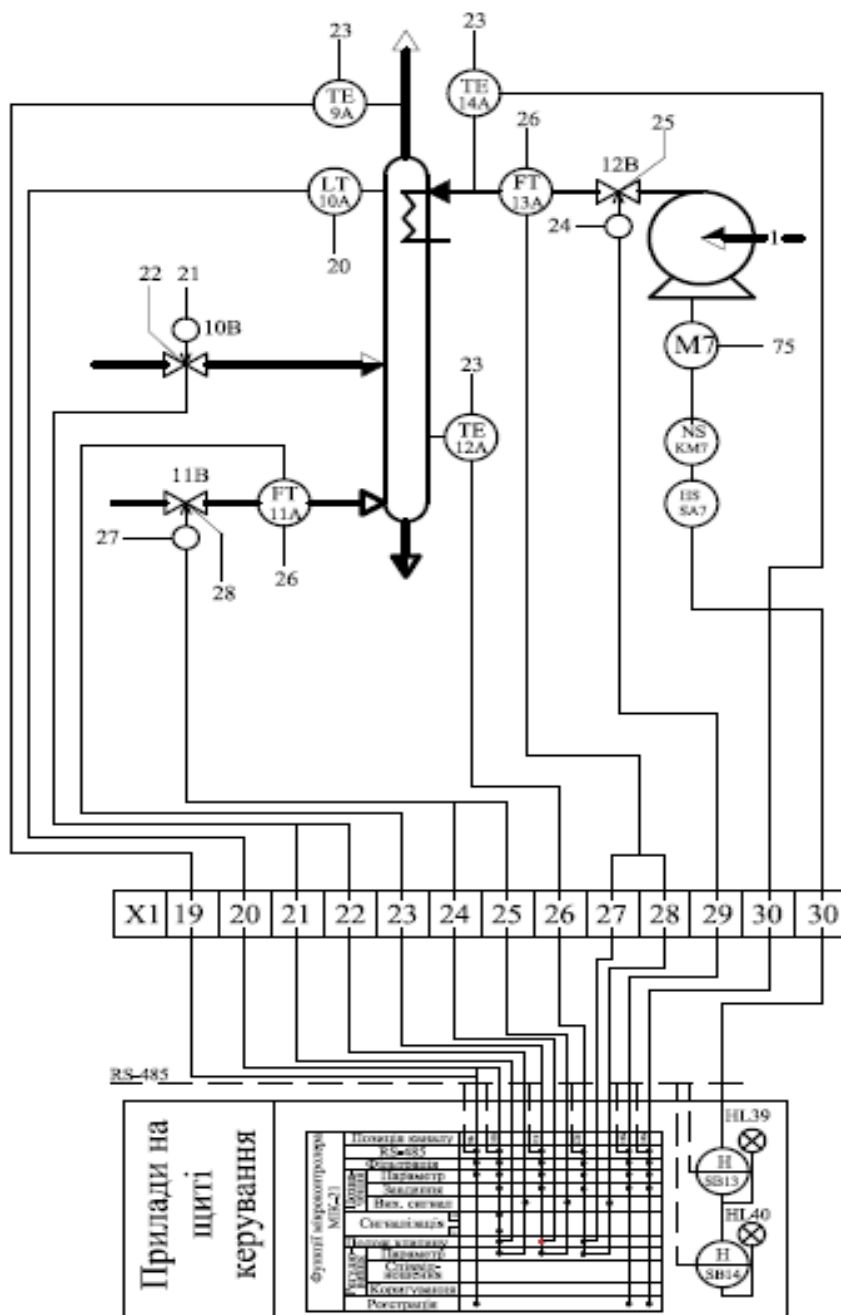


Рис. 3.2. Схема автоматизації реактора з використанням мікроконтролера

Як видно з рис. 3.2, рішення на основі мікроконтролера має значно менші габаритні розміри, а також кількість елементів, встановлених на щиті керування,

зменшилась у рази (до одного мікроконтролера замість шести засобів локальної автоматки, що робить систему більш надійною).

3.1. Синтез системи керування

Для перевірки розроблених рішень було використано класичну структуру системи керування (рис. 3.3) із зворотним зв'язком та проведено її імітаційне моделювання [4]. Для зручності збереження та обробки даних було здійснено експорт даних у програмний продукт Excel.



Рис. 3.3. Система керування реактором:

$R(t)$ – завдання системи, $E(t)$ – величина незгодженості, $U(t)$ – керуючий вплив, $F(t)$ – вплив збурень, $Y(t)$ – значення контролюваного параметру.

Для синтезу системи керування приймемо наступні припущення:

- на систему не впливають будь-які збурення;
- відсутня похибка вимірювання.

Спочатку було проведене імітаційне моделювання об'єкту типу реактор у середовищі Labview.

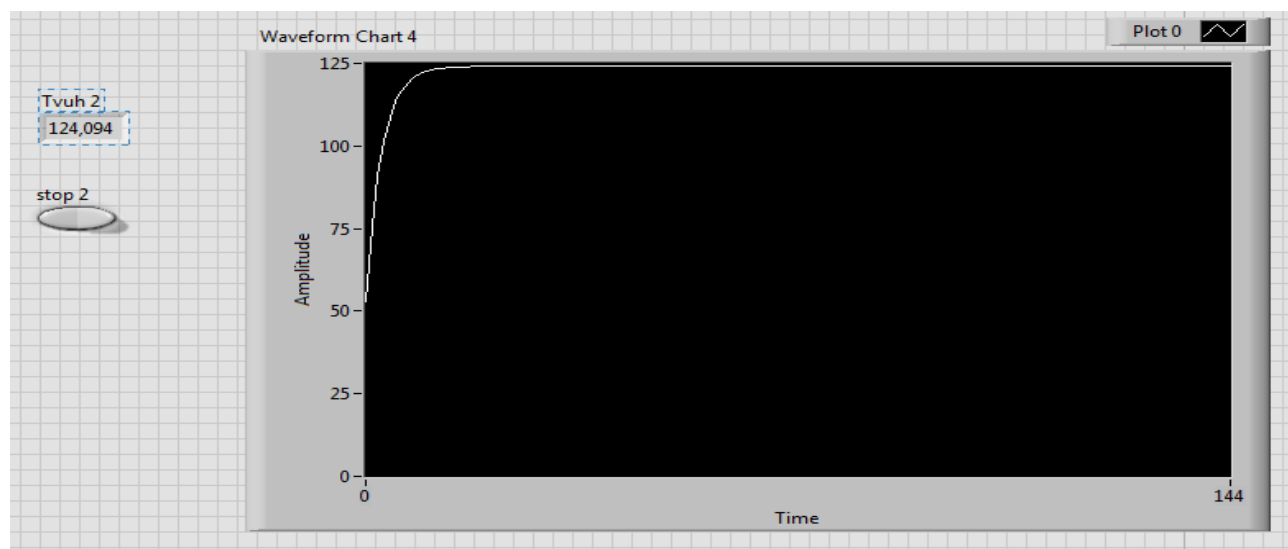


Рис. 3.4. Лицева панель для об'єкту керування типу реактор

На рис. 3.4 зображена розроблена лицева панель у середовищі Labview для імітаційного моделювання технологічного об'єкта типу реактор періодичної дії.

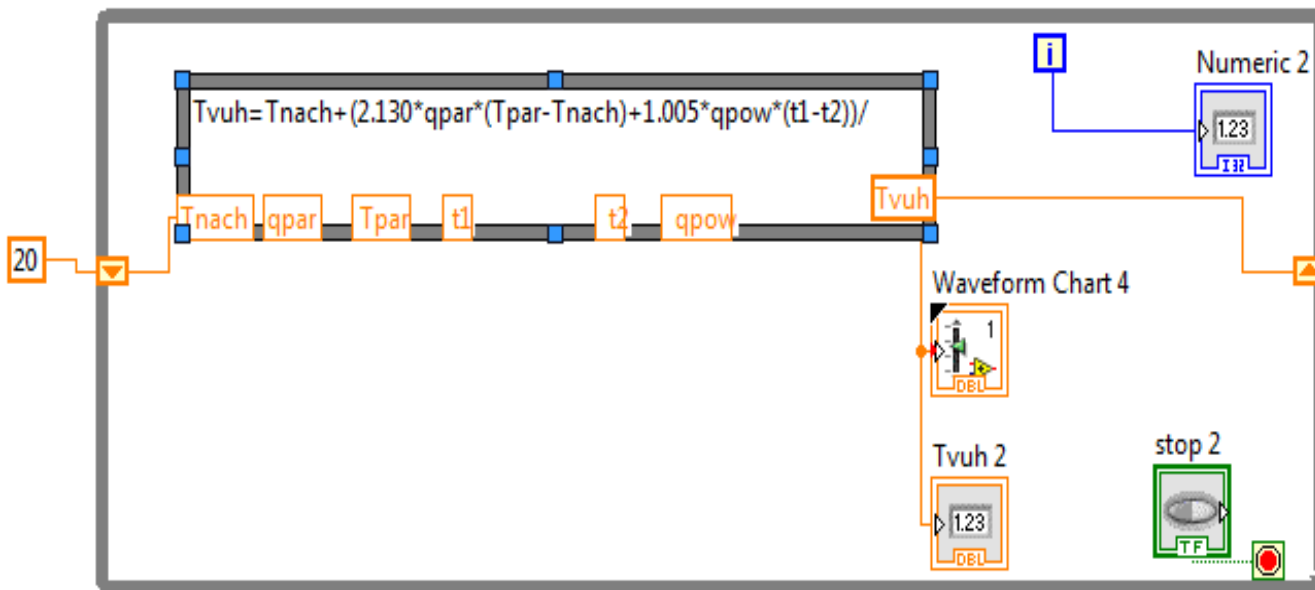


Рис. 3.5. Блок-схема для моделювання реактора

Рис. 3.5 відображає блок-схему у середовищі Labview, яка відображає взаємодію між вхідними та вихідними параметрами системи. Результат роботи наведеної блок-схеми зображено на рис. 3.6.

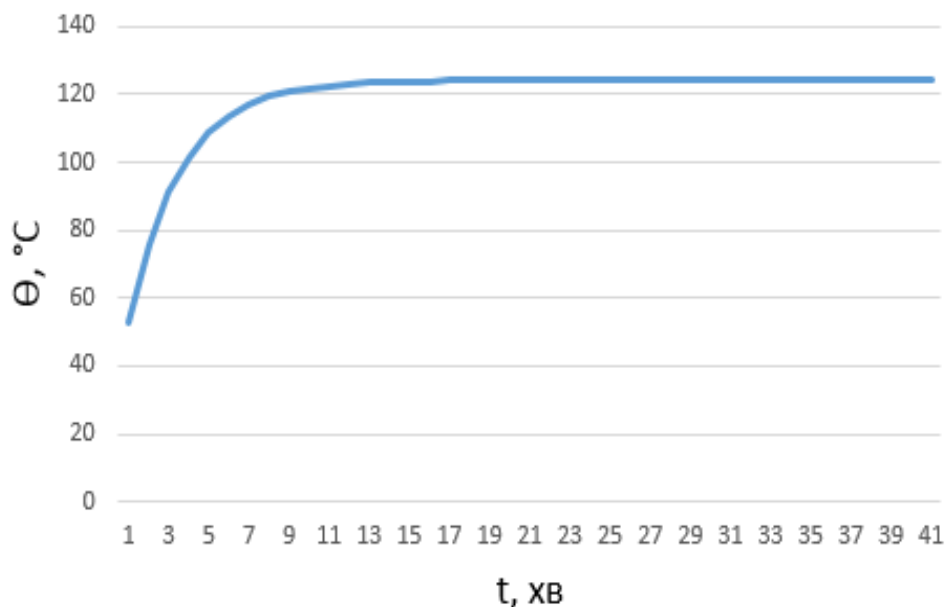


Рис. 3.6. Перехідний процес у реакторі

Для синтезу та налаштування системи використаємо середовище розробки для візуальної мови програмування компанії National Instruments – Labview. Цей інструмент дозволяє побудувати будь-яку модель з достатньою точністю, а також представляє ряд стандартних блоків для автоматичного налаштування регулятора системи керування.

Для синтезу системи керування реактором періодичної дії створено наступне рішення у середовищі Labview, яке зображене на рис. 3.7 та на рис. 3.8.

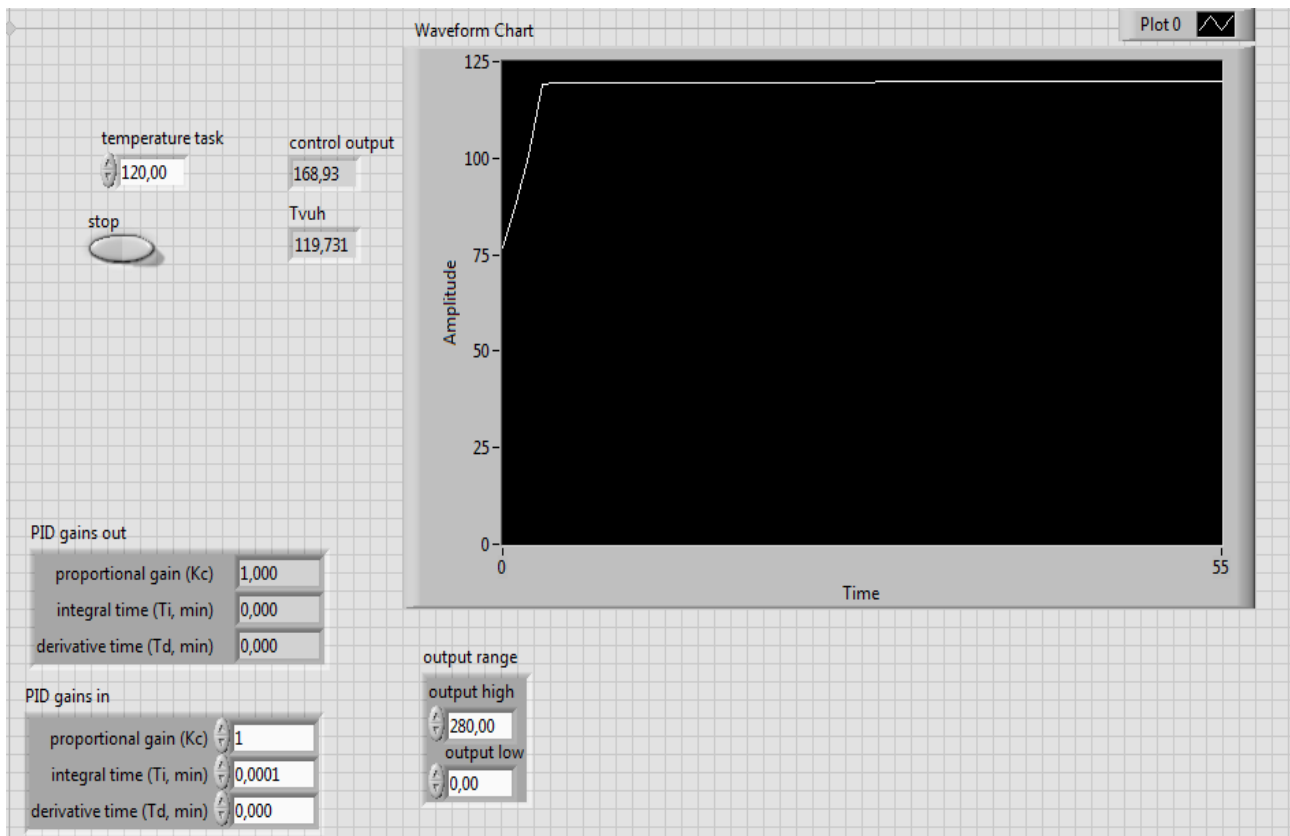


Рис. 3.7. Лицьова панель у середовищі Labview

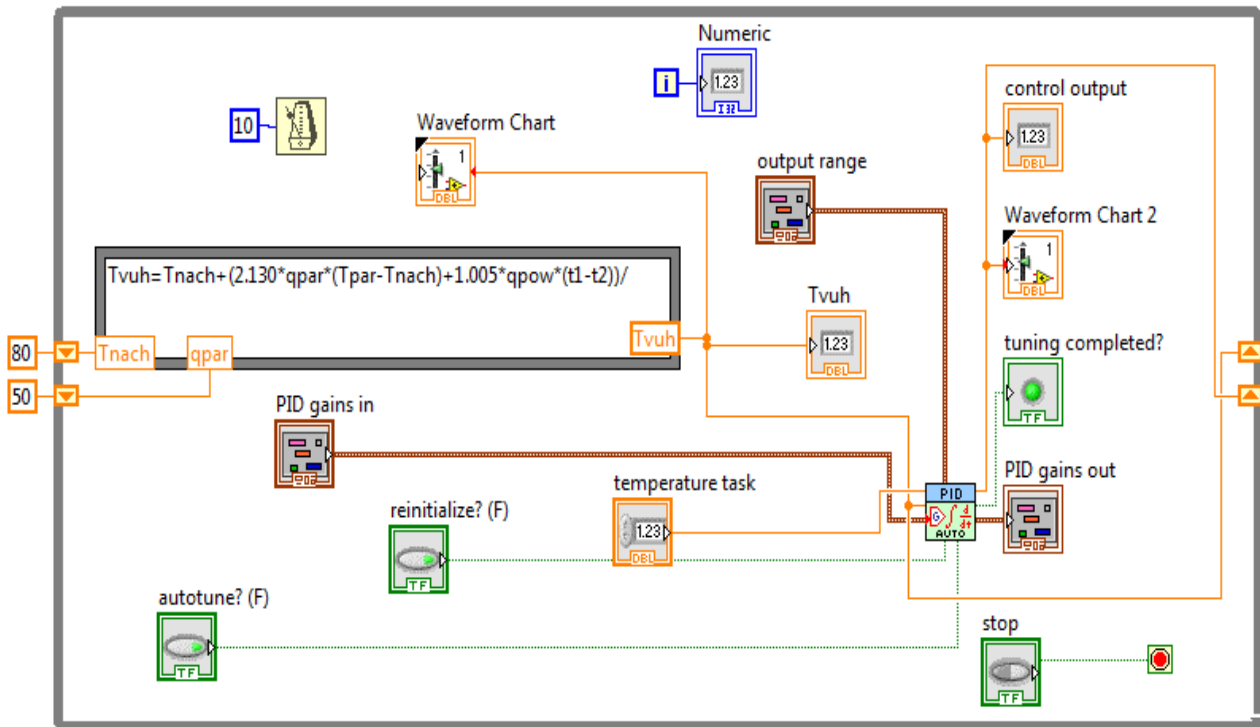


Рис. 3.8. Блок-діаграма у середовищі Labview

Для налаштування регулятора системи використали блок для автоматичного налаштування ПІД регулятора – PID autotuning.vi, структура цього блоку зображена на рис. 3.9.

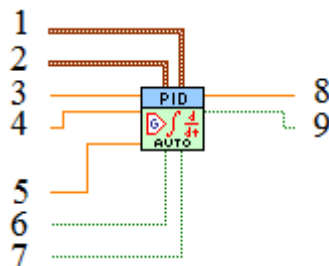


Рис. 3.9. Структура блоку автоматичного налаштування регулятора.

На рис. 3.9. позначені основні входи та виходи блоку автоматичного налаштування: 1 – параметр автоматичного налаштування, 2 – межі вихідного сигналу, 3 – завдання на регулювання, 4 – значення вимірюваної величини, 5 – час дискретизації, 6 – вкл. / викл. перерахунок, 7 – вкл./викл. автоматичного налаштування регулятора, 8 – вихідний сигнал регулятора, 9 – сигналізує чи закінчилось автоналаштування.

Перед системою керування було поставлене наступне завдання – підтримувати температуру суміші у реакторі на значенні 120 °С. Для вирішення завдання системи керування реактором періодичної дії, налаштовували пропорційно-інтегральний регулятор (ПІ), та отримали наступні параметри регулятора: пропорційна складова рівна 1, а інтегральна рівна 0.001. При таких значеннях регулятора для математичної моделі (2.9) за ідеальних умов отримали наступну криву перехідного процесу:

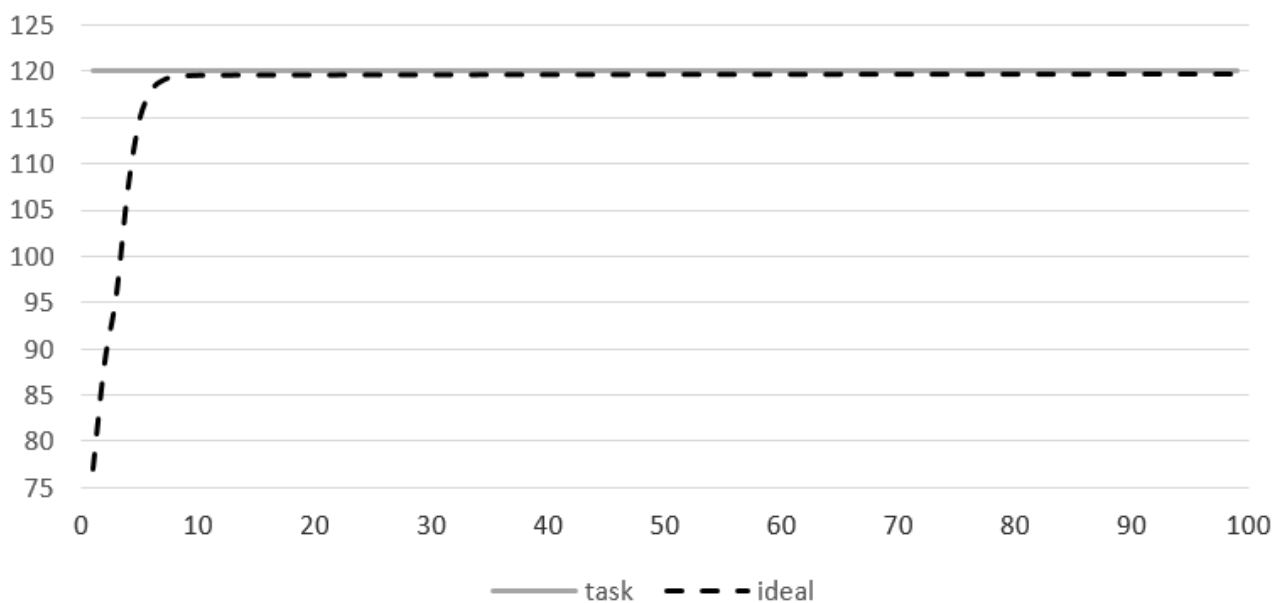


Рис. 3.10. перехідний процес в реакторі при ідеальних умовах

На рис. 3.10 суцільною лінією зображено завдання, а пунктирною – перехідний процес у реакторів.

Аналіз графіку показує, що дана система з налаштованим регулятором виходить на усталений рівень за 15 хвилин, перерегулювання системи складає 0 °С, статична похибка 2%.

3.3. Моделювання роботи системи керування з використанням дротового зв'язку

Для процесу що розглядається, технічні засоби автоматизації (датчики, виконавчі механізми та первинні перетворювачі) знаходяться на відстані у 180 м від мікроконтролера. З технічної [1] документації відомо, що комутація приладів виконується за допомогою UNITRONIC BUS IBS 3x2x0,22 проводів [5]. У їх специфікації зазначено [6], що при передачі сигналу за їх допомогою на відстань більшу за 100м, можливе максимальне відхилення становить 7%.

Дротовому каналу зв'язку притаманна випадкова похибка передачі даних. Ця похибка виникає через наявність паразитного струму у провіднику. Причиною появи похибки у проводах є:

- те, що струм або напруга, які протікають у провідниках, являються даними передачі, тобто прийомна сторона знає, що струм, значення якого 6 мА, – це 130 °С;

- наявність паразитних струмів у провідниках, які у результаті змінюють значення струму або напруги. Причиною появи паразитних струмів є змінне магнітне поле навколо провідників. Явище породження струму у провідниках під дією змінного магнітного поля називається електромагнітною індукцією. Наявність магнітного поля пояснюється за допомогою зворотного явища – провідник, по якому проходить електричний струм, породжує магнітне поле.

Способів вирішення першої проблеми є безліч, одним з них є впровадження протоколу передачі даних. Протокол передачі даних – це набір певних правил, які потрібно виконати перед відправкою та після прийому інформації. Розробка і впровадження даного рішення вимагає затрати значних матеріальних ресурсів та часу.

Для рішення другої проблеми пропонують використовувати проводи із додатковою ізоляцією у вигляді екранування або обмотки. Це рішення не прибирає паразитні струми у провідниках, але значно зменшує їх. Вартість автоматизації виробництва із використанням провідників з ізоляцією або з екрануванням значно виросте.

Схема підключення зображена на рис. 3.11, а синтез виглядає так само, як і для ідеальної системи, за винятком значень вимірюваних та величин керування.

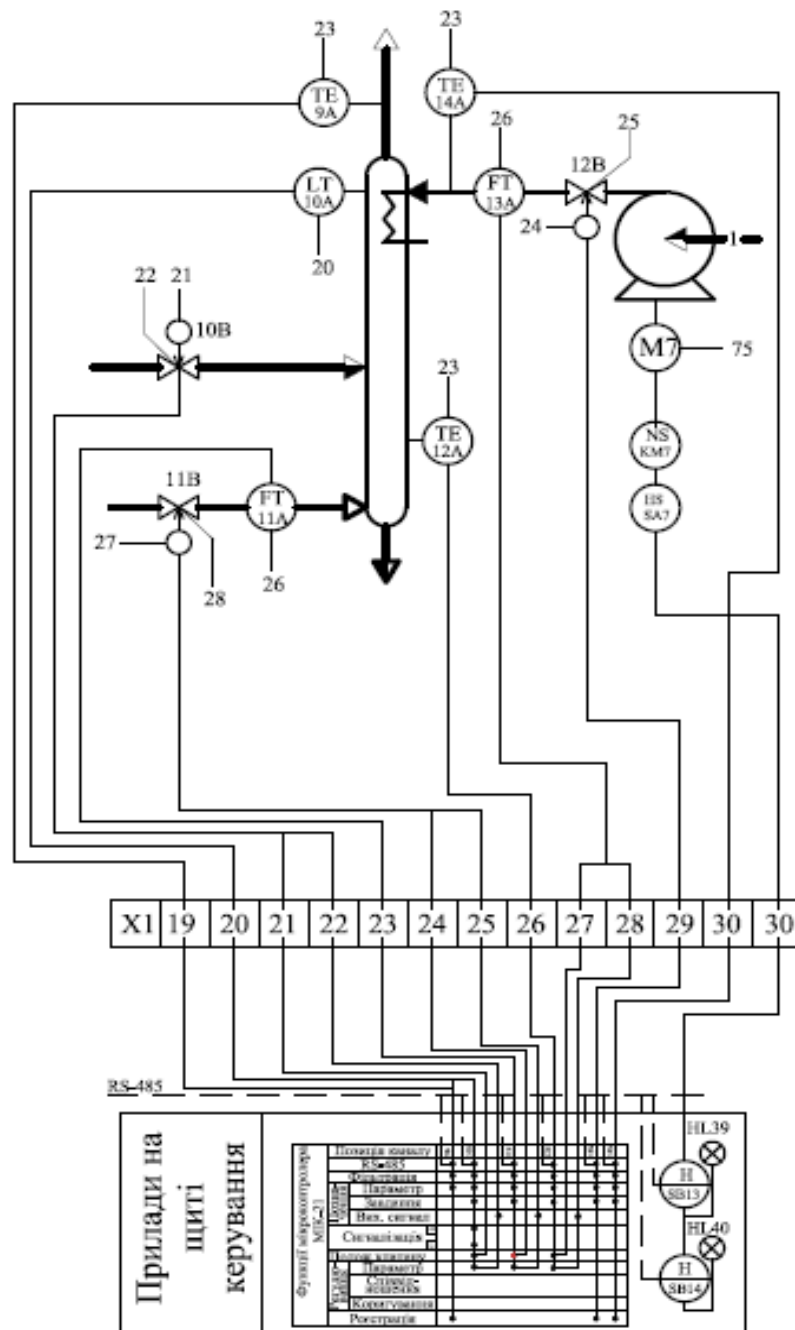


Рис. 3.11. Схема підключення технічних засобів автоматизації до мікроконтролера за допомогою провідного зв'язку

Для імітації похибки передачі даних, до імітаційної моделі системи було додано генерацію випадкових чисел з відхиленням від ідеального значення до 7%. Лицева панель у середовищі Labview та параметри налаштування не змінилися. Блок-діаграма для імітації системи керування із дротовим каналом зв'язку зображено на рис. 3.12.

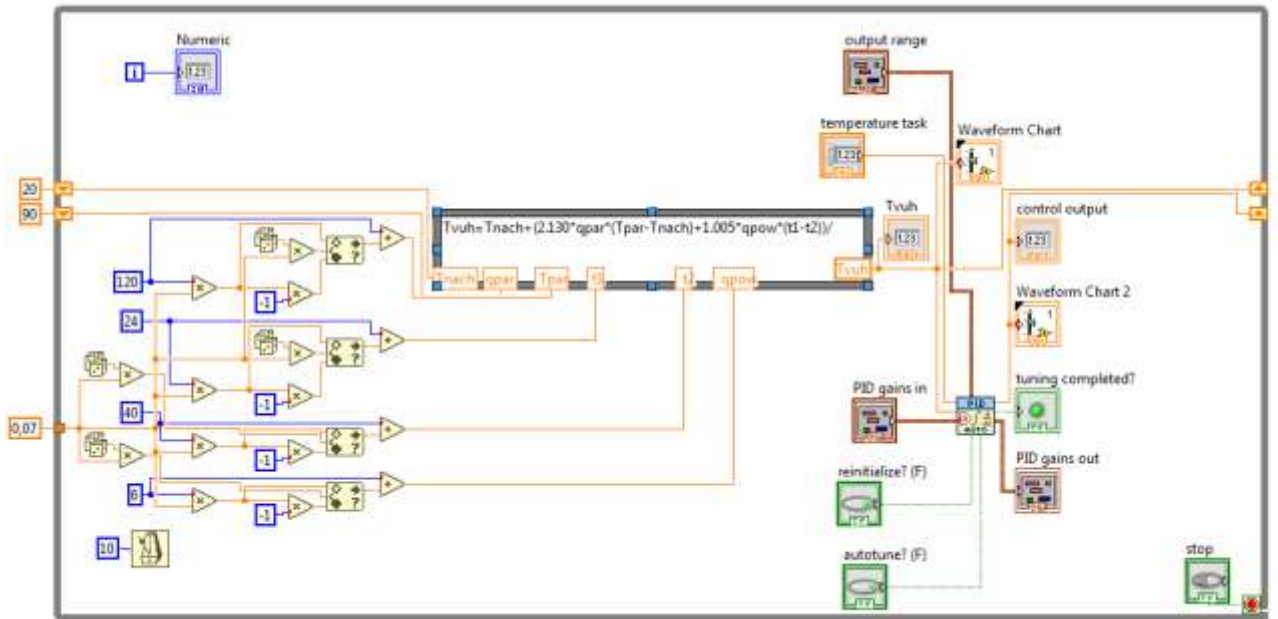


Рис. 3.12. Блок-діаграма системи керування з дротовим зв'язком

В результаті моделювання отримали перехідний процес, зображений на рис. 3.13.

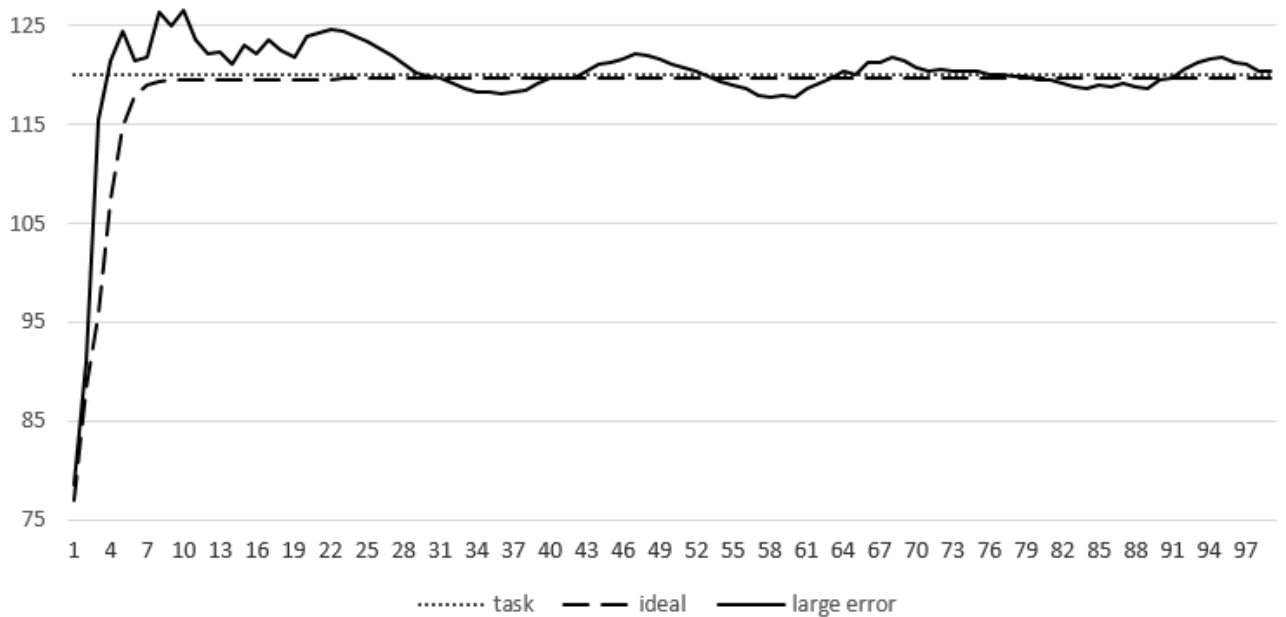


Рис. 3.13. Перехідний процес системи за наявності збурень у каналах дротового зв'язку

На рис. 3.13. зображено порівняння перехідного процесу системи за ідеальних умов (використовуючи штрихову лінію) та перехідного процесу системи з використанням проводів за наявності збурень (використовуючи суцільну лінію).

Як видно з аналізу зображених характеристик, за реальних умов у системі з'явилися незначні коливання з перерегулювання, які становлять 7°C , та після закінчення перехідного процесу спостерігаються постійні коливання з амплітудою 3°C . Одним із варіантів рішення є заміна дротового зв'язку на бездротовий, даний варіант буде розглянуто у розділі 4.

3.4. Розрахунок вартості автоматизації з використанням провідної комутації

Одним із основних факторів при виборі технології у промисловості і не тільки, є вартість запропонованого рішення. Якщо вартість впровадження того чи іншого рішення є більшою у порівнянні з іншим варіантом, розраховують час, за який дана технологія окупиться.

Для спрощення розрахунку вартості провідного зв'язку для автоматизованої системи керування реактором у технологічному процесі, приймемо наступні припущення:

1. всі технічні засоби автоматизації підключаються за допомогою однакових проводів, використаємо наступні UNITRONIC BUS IBS 3x2x0,22, їх ціна складає 58.50 грн/м;

2. засоби автоматизації, які встановлено у верхній частині реактора, вимагають однакової довжини дротів, верхня частина починається з половини висоти об'єкта керування;

3. найкоротша відстань від щита керування до реактора складає ($D_{\text{об}}$) 180 м.

Сумарну вартість проводів, необхідних для підключення технічних засобів автоматики, розрахуємо за формулою:

$$B = (D_{\text{вер}} + D_{\text{ниж}}) * C \quad (3.1)$$

де B – вартість провідного підключення технічних засобів, грн; $D_{\text{вер}}$ – довжина проводу, необхідного для підключення технічних засобів, які було встановлено вище середини об'єкта керування (допуск 2), м; $D_{\text{ниж}}$ – довжина проводу, необхідного для підключення технічних засобів, встановлених у нижній частині реактора, м; C – ціна дроту за один метр, грн/м.

Розрахуємо довжину проводів, необхідну для підключення технічних засобів автоматизації у верхній частині реактора, для цього скористаємось формулою 3.2.

$$D_{\text{вер}} = K * D \quad (3.2)$$

де K – кількість технічних засобів у верхній частині, од; D – довжина проводу, необхідна для підключення одного пристрою, розраховується за наступною формулою:

$$D = D_{\text{об}} + B_{\text{об}} = 180 + 18 = 198 \quad (3.3)$$

Де D – довжина проводу, необхідна для підключення одного пристрою у верхній частині реактора, м; $D_{\text{об}}$ – довжина проводу між щитом керування та об'єктом керування, м.

Для підрахунку загальної довжини проводів складемо таблицю 3.1, у котрій запишемо всі технічні засоби автоматизації та необхідну кількість проводів для них, а також довжину одного проводу.

Таблиця 3.1. – Зведена таблиця довжини дротів

Параметр	Кількість дротів	Довжина одного дроту
Температура	2	198
Рівень	1	198
Витрата	1	198
Виконавчий механізм	1	198
Мотор	1	198
Виконавчий механізм	2	180
Витрата	1	180
Температура	1	180

У таблиці 3.1 рядки, у яких довжина необхідного дроту рівна 198 м, відносяться до верхньої частини реактора, а всі інші – до нижньої. Необхідна довжина дротів для підключення технічних засобів автоматизації у верхній частині реактора дорівнює:

$$D_{\text{вер}} = 6 * 198 = 1188 \quad (3.4)$$

Довжина дротів для підключення нижньої частини рівна:

$$D_{\text{ниє}} = 4 * 180 = 720 \quad (3.5)$$

Для розрахунку сумарної вартості проводів для підключення засобів автоматики підставимо рівняння 3.4 та 3.5 у рівняння 3.1.

$$B = (1188 + 720) * 58.50 = 111618 \quad (3.6)$$

Отже, як видно з рівняння 3.6, вартість встановлення дротового зв'язку становить 111618 гривень.

4. СИСТЕМА КЕРУВАННЯ РЕАКТОРОМ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЙ БЕЗДРОТОВОГО ЗВ'ЯЗКУ

Зазначені вище проблеми можна буде рішити впровадженням бездротових технологій. Бездротовий зв'язок – фізичний процес передачі даних з одного вузла до іншого за допомогою інфрачервоного випромінювання, радіохвилі, оптичного або лазерного випромінювання. У даній роботі розглядається бездротовий зв'язок, який використовує радіохвилі для передачі даних.

4.1. Види бездротових технологій

Існує багато бездротових технологій які використовують радіохвилі як носій інформації, найбільш відомими є Wi-Fi, WiMAX, Bluetooth. Кожна із наведених технологій визначається певним набором характеристик, які й визначають її область застосування. Безпроводні технології характеризуються за наступними класифікаторами:

1. За дальністю дії:

1.1. безпроводні локальні мережі (до таких відносять WiFi) ;

1.2. безпроводні мережі масштабу місто (до таких відносять WiMAX);

1.3. безпроводні глобальні мережі (до таких відносять GPRS, LTE).

2. За топологією:

2.1. “вузол-вузол”;

2.2. “вузол-багато вузлів”.

3. За областю застосування:

3.1. Корпоративні безпроводні мережі

3.2. Безпроводні мережі операторів

У цьому розділі ми будемо проводити аналіз таки бездротових технологій, як WiFi, WiMAX та Bluetooth. Наведені технології стандартизовані серією стандартів IEEE 802, які стосуються локальних мереж зв'язку і мереж мегаполісів.

4.1.1. Аналіз бездротової технології WiFi

WiFi – технологія бездротового зв'язку, яка використовує радіохвилі як носій інформації. Дана технологія реалізує локальну бездротову технологію з пристроями, які підтримують цю технологію [7]. Для того щоб різні пристрої з підтримкою цієї технології розуміли один одного, було створено робочу групу, яка називається IEEE 802.11. На сьогоднішній день існує ціле сімейство специфікацій для даної технології, їх розрізняють за буквеним позначенням. Для буквеного позначення використовують латинський алфавіт, наприклад іеее 802.11 а. Основними стандартами являються специфікації із наступними буквеними позначеннями: b, g, a, n, ac, а всі інші позначення є доповненнями для стандарту і описують певну функціональність. Дану технологію використовують у двох частотних діапазонах, 2.4 ГГц (стандарти 11b, 11g, 11n) та 5.2 ГГц (11a, n, ac), що дозволяє зменшити конкуренцію між пристроями та використовувати різні принципи модуляції вихідного сигналу для досягнення різних цілей (дальність передачі або швидкість).

Особливості бездротової технології WiFi дозволяють її використовувати у промисловості. Основні можливості технології WiFi:

- 1) висока точність передачі даних;
- 2) висока швидкість;
- 3) велика дальність передачі даних;
- 4) механізми боротьби з перешкодами;
- 5) механізми боротьби за середовище передачі;
- 6) обмін даних між багатьма клієнтами одночасно;
- 7) відновлення пошкоджених даних;
- 8) встановлення обладнання на/у рухомих елементах;
- 9) стаціонарний канал передачі;
- 10) збереження енергії;

11) контроль передачі даних та оповіщення про передачу інших користувачів середовища передачі;

12) створення розкладу передачі.

Наведені можливості дозволяють використовувати технологію WiFi у промисловості, оскільки вона забезпечує надійну та швидку передачу (до 54 Мбіт/с) даних на відстань до 300 метрів. Механізми боротьби з перешкодами, боротьби за середовище передачі, контролю середовища передачі та побудова розкладів передачі забезпечують роботу багатьох пристроїв в одному середовищі незалежно від розташування. Український державний центр радіочастот дозволив встановлення даної технології у приміщеннях загального користування рішенням від 23.12.2014 № 844 [4].

4.1.2. Аналіз бездротової технології Bluetooth

Bluetooth – перша технологія, що дозволила замінити провідний зв’язок шляхом створенням персональної бездротової мережі. Стандартизацією цієї технології займається робоча група IEEE 802.15, створена у 2002 році [8].

Принцип роботи заснований на використанні радіохвиль у 2.4 ГГц діапазоні частот. Bluetooth використовує метод розширеного спектру із стрибкоподібним переналаштуванням частоти передачі, що дозволяє передавати дані на відстань до 100 метрів зі швидкістю до 3 Мбіт/с. Дану технологію використовують для створення зв’язку типу вузол-вузол, але специфікація передбачає і з’єднання типу вузол-багато вузлів (до 7 вузлів) зображені на рис 4.1.

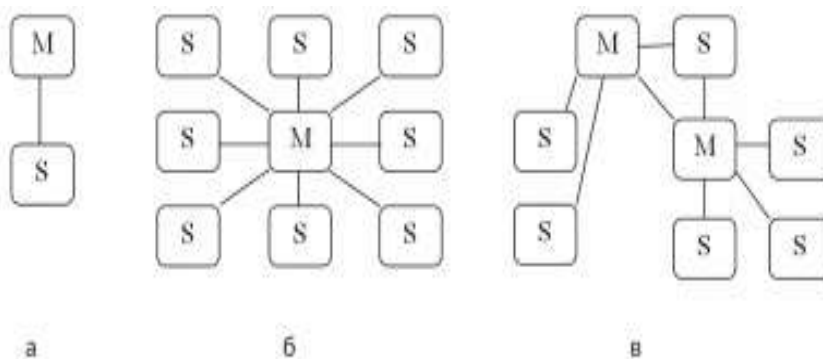


Рис. 4.1. Можливі типи з'єднання для Bluetooth

На рис. 4.1 зображено можливі варіанти з'єднання, передбачені у специфікації IEEE 802.15: а – вузол-вузол; б та в – вузол – багато вузлів.

До переваг даної технології можна віднести:

- 1) низьку вартість обладнання;
- 2) низьке споживання електроенергії;
- 3) середню дальність передачі даних;
- 4) можливість керування потоком передачі даних.

Технологію Bluetooth можна було б використовувати у промисловості через її низьку вартість та непогану дальність передачі даних (до 100 метрів), але механізм для стрибкоподібної зміни частоти каналу сильно зменшує швидкість передачі даних у і так повільної технології. Низька швидкість для бездротових технологій підвищує шанс на колізію у середовищі передачі даних.

4.2.3. Аналіз бездротової технології WiMAX

WiMax – технологія бездротового зв'язку для телекомунікацій, яка розробляється для створення універсального бездротового зв'язку на великих відстанях. Стандартизація проводиться робочою групою IEEE 802.16 [9] і розвивається у двох напрямках:

- для мобільних мереж – IEEE 802.16e;
- для стаціонарних мереж – IEEE 802.16d.

Технологія WiMax реалізує ті ж можливості що WiFi та Bluetooth, відмінними характеристиками є дальність передачі (до 25 км), швидкість передачі (до 70 Мбіт/с) та значно вища вартість необхідного обладнання. Для встановлення необхідного обладнання необхідно отримати дозвіл в українського державного центру радіочастот [10].

4.3. Вибір бездротової технології

Для вибору технології бездротового зв'язку зведемо відмінні параметри бездротових технологій у таблицю.

Таблиця 4.1. – зведена таблиця бездротових технологій

№	Критерій	WiFi	Bluetooth	WiMax
1	Специфікація	IEEE 802.11	IEEE 802.15	IEEE 802.16
2	Дальність передачі	до 300 м	до 100 м	до 25 км
3	Пропускна швидкість	до 1 Гбіт/с	до 3 Мбіт/с	до 70 Мбіт/с
4	Можливість використання у приміщеннях	дозволена	дозволена	необхідна сертифікація

Проаналізувавши таблицю 4.1 можна зробити висновок, що для забезпечення бездротового зв'язку у промисловості краще за все використати технологію WiFi. Вибрана технологія забезпечує достатню дальність та швидкість передачі даних, для її використання не потрібно додаткових дозволів.

4.2. Синтез системи керування з використанням технології бездротового зв'язку

Для усунення похибки передачі даних у провідному зв'язку пропонується використати бездротовий зв'язок. Для імітаційного модулювання процесу у реакторі використаємо розроблену систему керування для дротового зв'язку. Відмінністю від попереднього розділу є спосіб підключення технічних засобів автоматизації, який зображений на рис. 4.2.

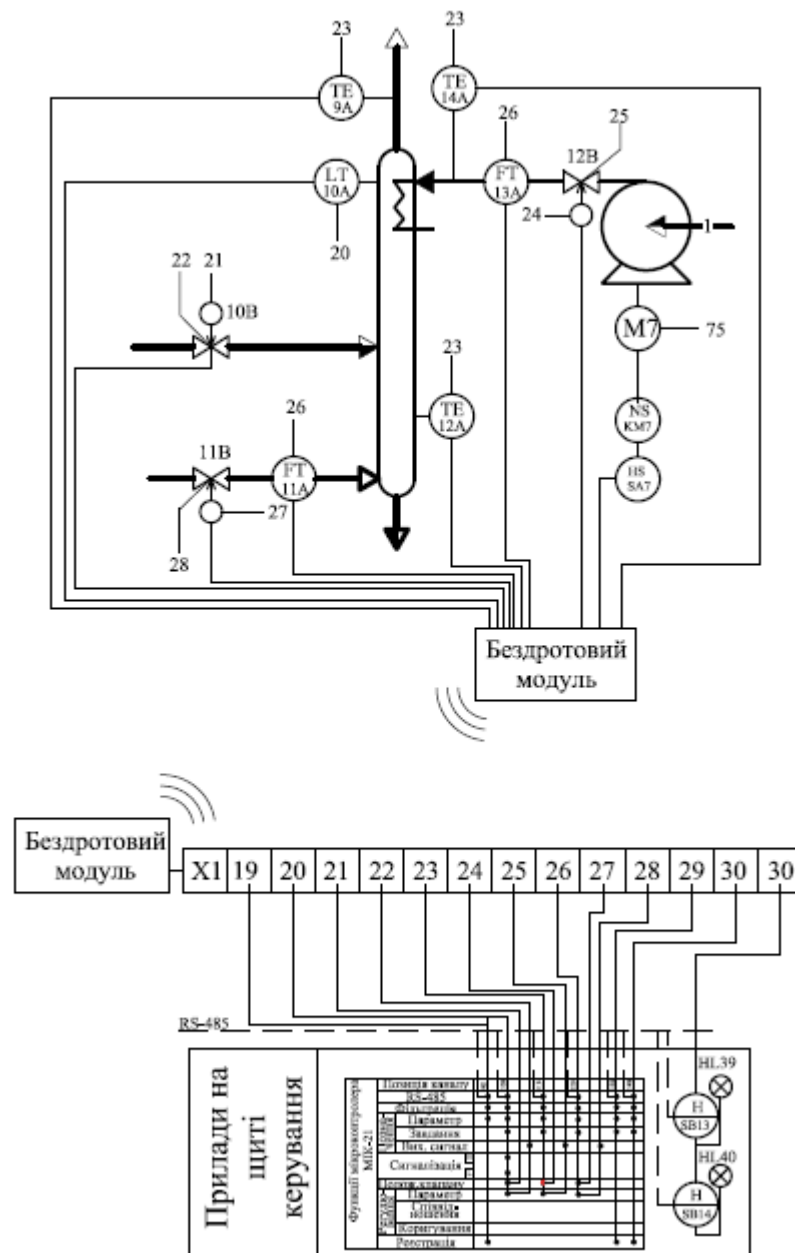


Рис. 4.2. Схема підключення технічних засобів автоматизації за допомогою бездротових технологій

На рис. 4.2. зображено підключення технічних засобів автоматики до мікроконтролера, який знаходиться на щиті керування, за допомогою бездротових технологій. Передача даних від технічних засобів автоматики, встановлених по місцю до мікроконтролера, проходить наступним чином. Вимірювачі або виконавчі механізми підключаються до безпроводного модуля зв'язку за допомогою проводів. Бездротовий модуль, встановлений по місцю, підключається до іншого бездротового модуля, встановленого на щиті, за допомогою бездротового каналу зв'язку, останній підключений до мікроконтролера за допомогою дрота.

Для імітації похибки передачі даних, до імітаційної моделі системи було додано генерацію випадкових чисел з відхиленням від ідеального значення до 2%. Лицева панель у середовищі Labview та параметри налаштування не змінилася. Блок-діаграму для імітації системи керування із радіоканалом зв'язку зображено на рис. 4.3.

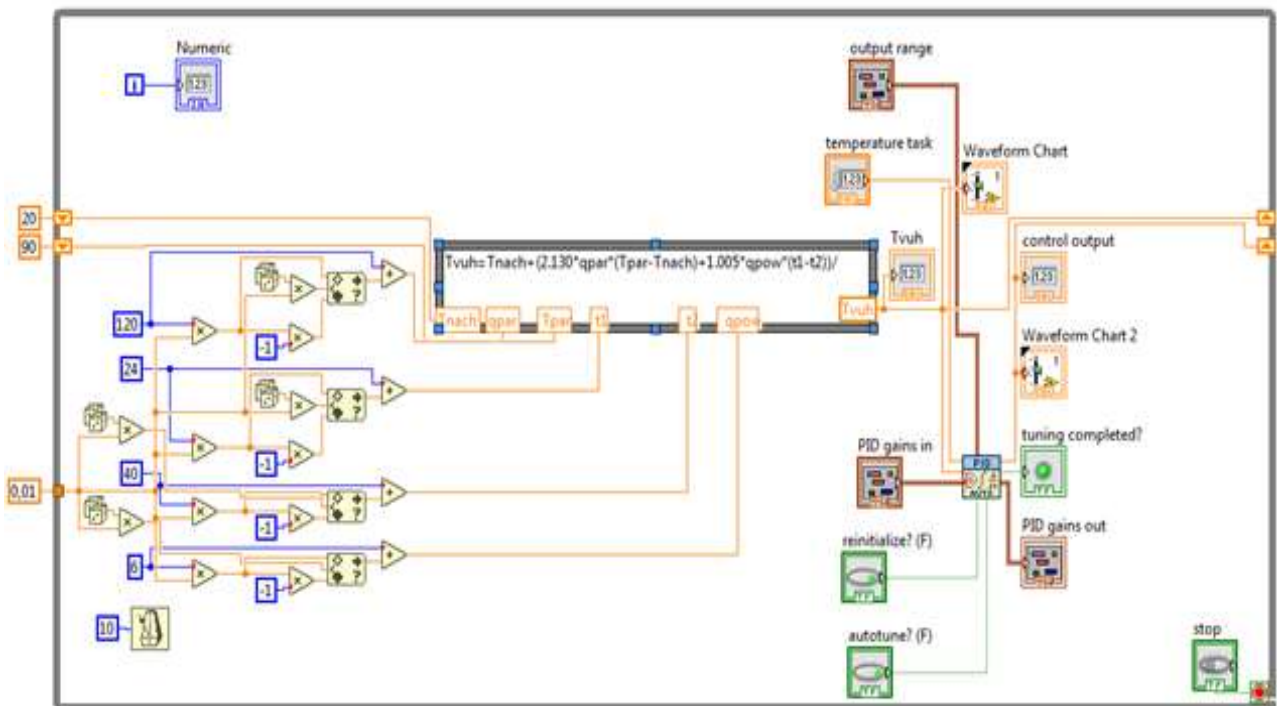


Рис. 4.3. Блок-діаграма системи керування з бездротовим зв'язком

В результаті моделювання отримали перехідний процес зображений на рис. 4.4.

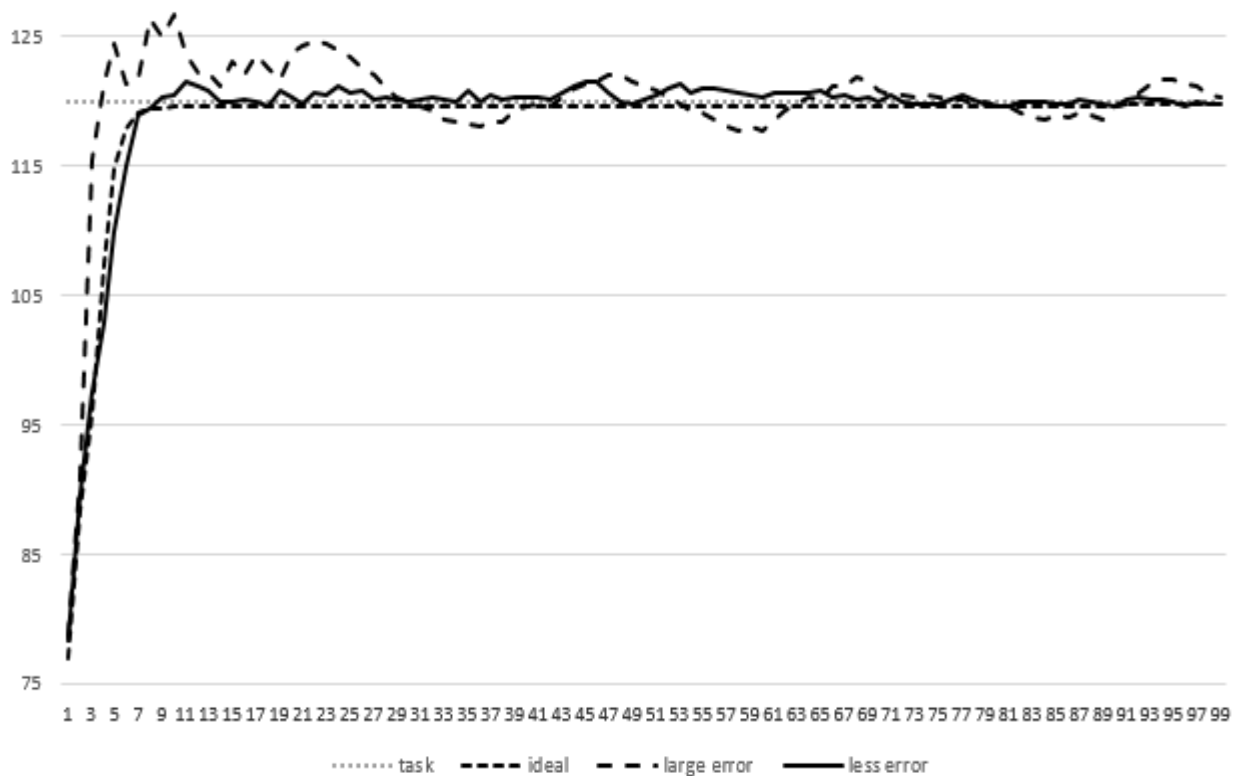


Рис. 4.4. Перехідний процес системи із різними каналами передачі даних

На рис. 4.4 зображено порівняння перехідних процесів системи керування з використанням різних технологій для передачі даних. Де крива “task” – відображає завдання; крива “ideal” – це перехідний процес ідеальної системи керування; крива “large error” – це результат імітаційного моделювання системи керування із використанням дротового зв’язку; крива “less error” – це результат імітаційного моделювання системи керування з використанням бездротового каналу зв’язку.

Як видно із рис. 4.4, бездротовий зв’язок вносить менше відхилення перехідного процесу системи керування у порівнянні з дротовим зв’язком. Перерегулювання системи з бездротовим зв’язком становить 2 °С, це менше на 5 °С у порівнянні з дротовим зв’язком. Залишилися незначні коливання після закінчення перехідного процесу у порівнянні з дротовим зв’язком, але відхилення від ідеальної системи керування становить 1 °С.

4.3. Розрахунок вартості автоматизації з використанням бездротового каналу зв'язку

Для спрощення розрахунку вартості бездротового зв'язку для автоматизованої системи керування реактором у технологічному процесі отримання карбонових кислот окисленням парафіну, приймемо наступні припущення:

1. знехтуємо довжиною проводів, необхідних для комутації технічних засобів автоматизації, встановлених у нижній частині реактора;

2. засоби автоматизації, які встановлено у верхній частині реактора, вимагають однакової довжини дротів, верхня частина починається з половини висоти об'єкта керування, яка становить 18 метрів;

Сумарну вартість проводів, необхідних для підключення технічних засобів автоматики, розрахуємо за формулою:

$$B = D_{\text{вер}} * C + 2 * C_{\text{бм}} \quad (4.1)$$

де B – вартість бездротового підключення технічних засобів, грн; $D_{\text{вер}}$ – довжина проводу необхідного для підключення технічних засобів, які було встановлено у верхній частині реактора, м; C – ціна дроту за один метр, грн/м; $C_{\text{бм}}$ – ціна на бездротовий модуль, грн.

Вартість бездротового модуля на українському ринку становить 32500 грн, для розрахунку необхідної довжини проводів для підключення технічних засобів автоматики скористаємось формулою 4.1.

$$D_{\text{вер}} = K * D \quad (4.2)$$

де K – кількість технічних засобів у верхній частині, од; D – довжина проводу, необхідна для підключення одного пристрою.

Для підрахунку загальної довжини проводів складемо таблицю 4.1, у котрій запишемо всі технічні засоби автоматизації та необхідну кількість проводів для них та довжину одного проводу.

Таблиця 4.1. – Зведена таблиця довжини дротів

Параметр	Кількість дротів	Довжина одного дроту
Температура	2	18
Рівень	1	18
Витрата	1	18
Виконавчий механізм	1	18
Мотор	1	18

З таблиці 4.1 розрахуємо загальну довжину дротів, необхідних для підключення технічних засобів автоматизації у верхній частині реактора.

$$D_{\text{вер}} = 6 * 18 = 108 \quad (4.3)$$

Для розрахунку сумарної вартості проводів для підключення засобів автоматики, підставимо рівняння 4.3 у рівняння 4.1.

$$B = 108 * 58.5 + 2 * 32500 = 72398 \quad (4.4)$$

Отже, вартість встановлення бездротового зв'язку становить 72398 гривень.

5. СТВОРЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

5.1 Опис ідеї стартап-проекту

Основна ідея проекту створення бездротової системи передачі даних у технологічних процесах. Запропонована система складається з двох модулів (передатчика та приймача) та її можна зобразити у наступному вигляді.

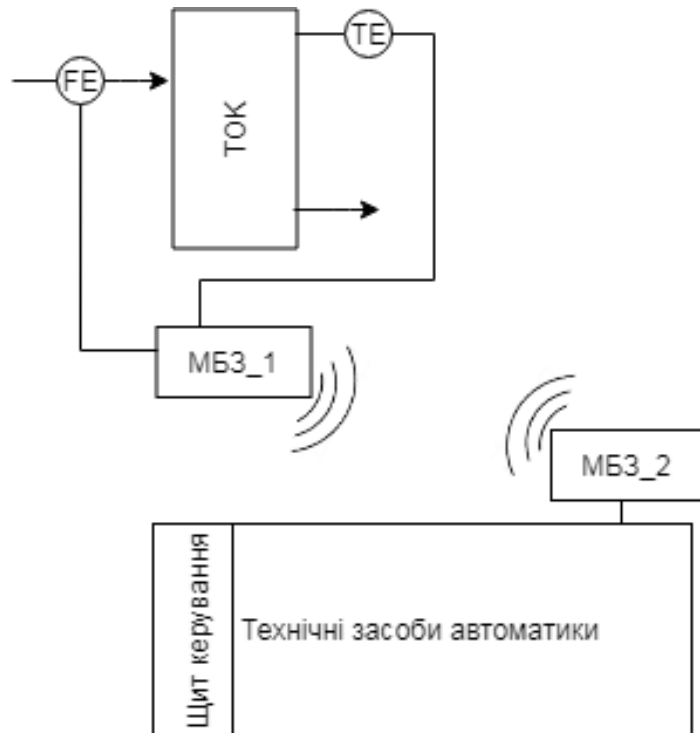


Рис. 5.1. Використання бездротової системи передачі даних

На рис. 5.1 наведено приклад використання бездротової системи передачі даних, яка розроблюється у даному проекті. На рисунку зображено технологічний апарат керування (ТОК), який має один вхід і один вихід. На вході у апарат вимірюють витрату (FE), а у апараті вимірюють температуру (TE), дані з вимірюваних приладів подаються на входи у перший модуль бездротового зв'язку (МБЗ_1), який відіграє роль передатчика. Дані з МБЗ_1 передаються до МБЗ_2 за допомогою бездротового каналу зв'язку – за допомогою радіохвиль. Дані, які отримав МБЗ_2, віддає технічним засобам автоматизації на щиті керування.

Модуль бездротового зв'язку умовно можна розділити на три частини (дивись рис. 5.2):

1. прийом або відправлення інформації по дротовому зв'язку;
2. обробка даних та їх передача на вхід у наступну частину;
3. радіо ланцюг, який передає дані за допомогою бездротового каналу зв'язку.



Рис. 5.2. Схема внутрішньої будови МБЗ

Дане рішення призначене для використання компаніями, тобто для впровадження в системи автоматичного керування технологічними процесами з метою підвищення ефективності роботи останніх.

Зміст та напрямки застосування даної системи можна представити у вигляді таблиці 5.1 [11].

Таблиця 5.1. Опис ідеї стартап-проекту

Напрямки застосування	Вигода для користувача
Передача інформації у системах автоматизованого керування	<ul style="list-style-type: none"> - підвищення ефективності роботи автоматизованих систем - збільшення швидкості реакції на зміни технологічно процесу - зменшення собівартості продукту - мобільність виробництва

5.2 Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик проекту

Для визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик проекту, було проаналізовано світовий ринок бездротового зв'язку у промисловості та вибрано 2-х конкурентів. У якості конкурентів було вибрано дві компанії: одна із них це HIRSCHMANN із Німеччини із продуктом ВАТ-С, а інша компанія з України під назвою ОВЕН із своїм GSM/GPRS модемом ПМ01. Критеріями аналізу вибрано:

1. вид провідного зв'язку;
2. вид бездротового зв'язку;
3. кількість каналів дротового зв'язку;
4. можливість підключення вимірювальних пристроїв без додаткового обладнання.

Для відображення сильних та слабких сторін даного рішення у порівнянні з рішеннями, які пропонують конкуренти, було розроблено зведену таблицю 5.2.

Таблиця 5.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик проекту

№	Кри-терій	Товари/концепції конку-рентів			W (слабка)	N (нейтра-льна)	S (сильна)
		Мій	Кон. 1	Кон. 2			
1	1	Ethernet	Ethernet	RS485 /232		+	
2	2	WiFi	WiFi	GSM/GPRS		+	
3	3	8	1	1			+
4	4	+	-	-			+

Аналіз даних, наведених у таблиці 5.2, свідчить про конкурентну спроможність технології, що пропонується, та які у неї є явні переваги над конкурентами.

5.3 Технологічна здійсненність ідеї проекту

Головною ідеєю проекту є зменшення похибки вимірюваних параметрів шляхом зменшення імовірностей пошкоджень даних при їх передачі. Для досягнення поставленої задачі пропонується замінити дротовий канал зв'язку на технологію бездротової передачі даних WiFi.

Запропонована технологія дозволяє домогтися 98% точності передачі даних на відстань до 300 метрів та при цьому збільшує швидкість передачі у 30 разів, що дозволить миттєво реагувати на зміни у технологічному процесі. Дане рішення дозволить досягти кращої якості вихідного продукту, що в свою чергу збільшить доходи. Також рішення є дешевшим за існуючі та надає мобільності виробництву.

Для реалізації даного проекту необхідне використання наступних технологій:

- для передачі даних – бездротова технологія WiFi;

- для вимірювання технологічних параметрів – будь-які технічні засоби автоматизації;
- для контролю та регулювання – мікропроцесорна електроніка.

Таблиця 5.3. – Технологічна здійсненність ідеї проекту

№	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Передача даних	WiFi	Наявна	Доступна
2	Вимірювання технологічних параметрів	Технічні засоби	Наявна	Доступна
3	Контроль та керування	Мікропроцесорна електроніка	Наявна	Доступна

Як видно з таблиці 5.3, всі технології, необхідні для реалізації даного проекту, є доступними. Єдине обмеження – це спеціалісти у даних технологіях.

5.4. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Було проведено аналіз українського ринку систем передачі даних і його результати наведені у таблиці [12].

Таблиця 5.4. – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	2
2	Динаміка ринку	зростає
3	Наявність обмежень для входу	немає

4	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Необхідно провести сертифікацію на відповідність вимогам до технології WiFi
---	---	---

Аналіз отриманих даних показав що даний ринок є таким, що швидко розвивається, і є привабливим для запропонованого продукту. Проаналізувавши результати отриманих даних, було сформовано потенційні групи клієнтів, які будуть цільовою аудиторією для даного продукту.

5.5. Характеристика потенційних клієнтів

На цьому етапі проводиться маркетингове дослідження для виявлення характеристик і потреб потенційних клієнтів. Інформація, отримана в результаті проведення дослідження, дозволить визначити ті ознаки, за якими можна розділити ринок на сегменти. Будь-які ознаки, за якими можна виділити групу споживачів, можуть бути використані для сегментування, оскільки єдиної схеми не існує. Проводячи сегментування ринку, необхідно правильно вибрати критерії та ознаки. Слід мати на увазі, що критерій – це спосіб оцінки обґрунтованості вибору того чи іншого сегмента ринку для даного підприємства, а ознака – це спосіб виділення даного сегмента на ринку. Для поділу ринку на сегменти можуть використовуватися як один, так і в комбінації різні види ознак: психографічні, географічні, демографічні та поведінкові.

Таблиця 5.5. – Характеристика потенційних клієнтів

№	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
---	--------------------------	-------------------	---	-----------------------------

1	Реалізація точної та швидкої передачі даних у автоматизованих системах керування	Всі галузі промисловості, виробництва і господарства.	Державний стандарт України, GDS	Точність передачі даних
---	--	---	---------------------------------	-------------------------

5.6. Фактори загроз та можливостей

Загрози існують скрізь, і при застосуванні даної технології також є загрози. Для попередження таких ситуацій необхідно встановлювати якісні та сучасні системи контролю та спостережень, а також працювати на виробництвах повинні висококваліфіковані фахівці. Також, періодично необхідно виконувати регулярний контроль та аналіз даних, щоб якомога швидше усунути несправність або помилки, у разі їх виникнення. Після визначення потенційних груп клієнтів проводиться аналіз ринкового середовища. Тому складаємо таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають (табл. 5.6).

Таблиця 5.6. – Фактори загрози

№	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Спад виробництва в галузях господарства	Потреба в продукції	-
2	Альтернативні способи надання послуг	Прихід сучасних технологій	Використання нових технологій
3	Не відповідність даних, внаслідок виходу із ладу обладнання	Вихід із ладу обладнання	Ремонт або налагодження обладнання

Таблиця 5.7. – Фактори можливостей

№	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Застосування окремих комплексів для кожного з етапів виробництва	Підхід реалізується для забезпечення меншого навантаження на сервери комплексу, а також для локальної звітності	Збільшення ефективності роботи програмного комплексу
2	Розширення базового функціоналу комплексу, залежно від замовника	Дає можливість оптимізації під особливості окремих виробництв	Створення нових алгоритмів і модулів для удосконалення і покращення роботи технології
3	Стимування розвитку інноваційного підприємства	Зменшення подавального тиску на стартап	Масштабування стартапу

5.7. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Проводимо аналіз пропозиції: визначаємо загальні риси конкуренції на ринку з використання комп'ютерно-інформаційної технології для імітаційного моделювання.

Таблиця 5.8. – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
Тип конкуренції	Монополістична конкуренція	Конкуренція, яка має місце на ринку з багатьма продавцями і покупцями та значною кількістю товарів, що реалізуються за різними цінами
Рівень конкурентної боротьби	Національний рівень конкурентної боротьби	Відповідність технології та якості продукту вимогам законодавства України ринку
За галузевою ознакою	Міжгалузєва	Урахування особливостей конкурентного середовища у кожній галузі, з якою взаємодіє. Стартп. Господарства
Конкуренція за видами товарів	Товарно-видова конкуренція	Відстеження тенденцій на ринку з можливістю появи на ринку продуктів-замінників.
За характером конкурентних переваг	Цінова	1. Гнучке ціноутворення з урахуванням динаміки попиту. 2. Удосконалення технології, що спрямована на підвищення базових переваг.

За інтенсивністю	Не марочна інтенсивність	Забезпечення масштабованості стартапу в найближчій перспективі для створення стійкого сприйняття стартапу як окремої бізнес одиниці.
------------------	--------------------------	--

5.8. Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії (табл. 5.9) передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів

Таблиця 5.9. – Вибір цільових груп потенційних споживачів

Опис профілю цільової групи потенційних споживачів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
Підприємства, де задіяна автоматична архітектура самої діяльності об'єкта, і потрібен постійний технологічний контроль оператора.	Висока	Специфічний	Помірна	Високий бар'єр входу у галузь

Проаналізувавши потенційні групи споживачів, обираємо цільові групи та визначаємо стратегію охоплення ринку. Оскільки компанія працює із кількома сегментами, розробляючи для них окремо програми ринкового впливу, то використовуємо стратегію диференційованого маркетингу. Для роботи в обраних сегментах ринку сформулюємо базову стратегію розвитку, а саме стратегію диференціації.

Таблиця 5.10. – Визначення базової стратегії розвитку

Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи
Стратегія диференціації	Ринкове позиціонування	<ul style="list-style-type: none"> • по відношенню до прямих конкурентів диференціація знижує ступінь заміності товару, посилює прихильність марці, зменшує чутливість до ціни і тим самим підвищує рентабельність; • прихильність клієнтів послабляє їх тиск на фірму і перешкоджає приходу на ринок нових конкурентів; • підвищена рентабельність збільшує стійкість до можливого зростання витрат в результаті дій сильного постачальника;

		<ul style="list-style-type: none"> • відмітні властивості товару і завойована прихильність клієнтів захищають фірму і від товарів-замінників.
--	--	--

Стратегія диференціації передбачає надання товару важливих з точки зору споживача відмітних властивостей, які роблять товар відмінним від товарів конкурентів. Така відмінність може базуватися на об'єктивних або суб'єктивних, відчутних і невідчутних властивостях товару (у ширшому розумінні – комплексі маркетингу), бути реальною або уявною. Інструментом реалізації стратегії диференціації є ринкове позиціонування. На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукту, а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробляємо стратегію позиціонування, що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку/проект.

Таблиця 5.11. – визначення стратегії позиціонування

Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту
<p>Комп'ютерно-інформаційна технологія повинна мати можливість:</p> <ul style="list-style-type: none"> • графічного представлення даних; • зображення всіх необхідних компонентів (технологічний апарат та регулятор); • оцінки роботи отриманої системи; • поточне виведення всіх значень параметрів. 	Стратегія диференціації	<p>До конкурентних переваг слід віднести:</p> <ul style="list-style-type: none"> • оптимальна ціна за необхідний програмний пакет; • швидкодія роботи; • багаторівнева система безпеки; • більш мобільна система управління в порівнянні з конкурентами. 	<ul style="list-style-type: none"> • Доступний продукт в даному сегменті; • Використання інформаційних технологій для імітаційного моделювання контуру; регулювання температури; • Візуальна оцінка роботи системи з регулятором.

5.9. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції до товару, який отримає споживач. Для цього у таблиці 5.12 підсумовуємо результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 5.12. – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
Передача даних у автоматизованих системах керування	Точність передачі даних	Мінімальне відхилення переданих даних від тих що передавались
	Більшу швидкість	Миттєва передача сигналів
	Мобільність	Можливість переміщати технологічні об'єкти

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій (табл. 5.13), що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів.

Таблиця 5.13. – Концепція маркетингових комунікацій

№	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення
1	Обережний вибір потенційних контрагентів, що зумовлено особливістю ринку з використання Інформаційних технологій	Інтернет-розсилки	Технологія	Привернути увагу до використання бездротових технологій для передачі даних у автоматизованих системах керування
2		Спеціалізовані видання		
3		Спеціалізовані виставки, форуми		

Переглянувши всі плюси та мінуси використання бездротових технологій для передачі даних від технічних засобів вимірювання або керування до або від мікроконтролера, можна зробити висновки, що ідея є актуальною та нагальною для застосування.

Так чи інакше, розвиток проекту буде пов'язаний з можливістю інтенсифікації економічного розвитку в Україні, бо життєздатність стартапу визначатиметься темпами зростання хімічної промисловості та споріднених галузей.

ВИСНОВКИ

В ході виконання магістерської дисертації було розглянуто технологічний процес виготовлення карбонових кислот окисненням парафіну. Тема роботи: “Автоматизація процесу виробництва карбонових кислот окисненням парафіну з використанням бездротових технологій”.

Для реактора періодичної дії створено математичну модель та синтезовано три системи керування із ПІ-регулятором:

- система керування за ідеальних умов;
- система керування з використанням дротового зв'язку;
- система керування з використанням бездротових технологій.

Таблиця 1. – зведена таблиця для аналізу синтезованих систем керування

Критерій	Система керування за ідеальних умов	Система керування з використанням дротового зв'язку	Система керування з використанням бездротового зв'язку
Час виходу на усталений рівень, хв	15	35	18
Перерегулювання, °С	0	7	2
Амплітуда коливань, °С	0	3	1

Порівняння синтезованих систем керування наведено у таблиці 1, з якої можна зробити висновок що система керування з використанням бездротового зв'язку для передачі даних є кращою за систему керування із дротовим зв'язком за усіма параметрами. Також рішення з бездротовим зв'язком (72398 грн.) є дешевшим у порівнянні з дротовим зв'язком (111618 грн.).

У 5 розділі магістерської дисертації створено стартап-проект: створення бездротових систем передачі даних. Для запропонованого продукту проведено детальний аналіз ринку, внутрішнього та зовнішнього маркетингового середовища. В результаті був розроблений стратегічний план розвитку та сформульований управлінський напрямок роботи компанії, виділено сильні та слабкі сторони проекту та розроблено комерційну пропозицію для потенційних клієнтів.

ЛУТЕРАТУРА

1. Касаткин А. Г. «Основные процессы и аппараты химической технологии» [Текст] : навч. посіб. – М.: «Государственное научно-техническое издательство химической литературы». 7-е изд., 1961. – 831с.
2. Черьопкін Є. С., Пінкас Т. В. Передача даних у автоматизованих системах керування [Текст] / Є. С. Черьопкін, Т. В. Пінкас // Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології: Тези доповідей одинадцятої науково-практичної конференції молодих учених, аспірантів і студентів (АКІТ-2018); Київ, 5 – 6 грудня 2018 р. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2018. – 90 с. : іл. – Бібліогр.: в кінці тез. – 60 пр.
3. Хоршев В.И. Математические модели объектов управления. [Текст]. – М.: МИТХТ им. М. В. Ломоносова, 2001. – 75 с.
4. . Кубрак А. І. Комп'ютерне моделювання та ідентифікація автоматичних систем [Текст] : навчальний посібник / А. І. Кубрак, А. І. Жученко, М. З. Кваско. – Київ : Політехніка, 2004. – 424 с. – Бібліогр.: с. 409–416. – ISBN 966-622-175-6.
5. Продукція “Системи та технології” для промислової автоматизації підприємств [Текст]: каталог : розробник і виробник підприємство “Системи та технології”. – м. Київ, 2012. – 30 с. – 300 пр.
6. ДСТУ 3671-97. Дріт сталевий наплавний. Технічні умови [Текст]. - Чинний від 12.10.1998. - К.: Держстандарт України, 1999. - 18 с.
7. IEEE802.11. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications [Текст]. - Чинний від 14.12.2016. - USA.: IEEE, 2016. – 3534
8. IEEE802.15.1 Part 15.1: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Wireless Personal Area Networks (WPANs) [Текст]. - Чинний від 30.6.2011. - USA.: IEEE, 2011. – 2327
9. IEEE802.16 Part 16: WirelessMAN Standard [Текст]. - Чинний від 02.09.2006. - USA.: IEEE, 2006. – 4357.

10. Рішення національної комісії, що здійснює державне регулювання у сфері зв'язку та інформатизації 23.12.2014 № 844 [Електронний ресурс] – К.: Український державний центр радіочастот, 2015. – 50 с. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0201-15>, вільний. – Загол. 3 екрана. – Мова укр.

11. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг.ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28с. 25.

12. Шершньова З. Є. Стратегічне управління: [підруч. для студ.вищ. навч. закл.] / Шершньова З. Є. – К.: КНЕУ, 2004. – 699 с.