

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

БР.АКПз-23.00.00.000 ПЗ

Група АКПз-22-1

Олег Гнатишин

2026

Міністерство освіти і науки України
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Факультет автоматизації та енергетики
Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Гнатишин Олег Стефанович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК

УДК 658.012.011

(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Автоматизація блочної печі підігріву нафти

(назва роботи)

Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(назва освітньої програми)

174- Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

(шифр і назва спеціальності)

Робота містить результати власних досліджень, використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Нормоконтроль

доцент

О.В. Кучмистенко

(посада)

(підпис)

(дата)

(ініціали та прізвище)

Рецензент

доцент

І.І Чигур

(посада)

(підпис)

(дата)

(ініціали та прізвище)

Здобувач освітнього ступеня

АКПЗ-22-1

О.С. Гнатишин

(шифр групи)

(підпис)

(дата)

(ініціали та прізвище)

Науковий керівник

доцент

М.І Когутяк

(посада)

(підпис)

(дата)

(ініціали та прізвище)

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

доцент

А.І.Лагойда

(посада)

(підпис)

(дата)

(ініціали та прізвище)

Івано-Франківськ – 2026

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет автоматизації та енергетики

Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Освітній рівень перший (бакалаврський)

Спеціальність 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АКТ

(А.І. Лагойда)

«___» _____ 2026 року

З А В Д А Н Н Я **НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ**

Гнатишин Олег Стефанович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Автоматизація блочної печі підігріву нафти

керівник роботи Когутяк Мирослав Іванович к.т.н., доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від « 24 » 04 2026 року № 38/8

2. Строк подання студентом роботи 13.06.2026

3. Вихідні дані до роботи матеріали переддипломної практики, методичні вказівки, технічна література, інтернет – ресурси.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. 1. Процес підігріву нафти як об'єкт автоматизації;

2. Математична модель підігрівника нафти;

3. Синтез та дослідження систем керування підігрівника нафти;

4. Розроблення проектної документації АСР підігрівника.

5.Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Лист1 -Функціональна схема автоматизації ПП- БР.АКПз-23.00.00.000 01;

Лист2 -Математична модель підігрівника ПП- БР.АКПз-23.00.00.000 02;

Лист3 -Аналіз одноконтурної АСР температури підігрівника- БР.АКПз.23.00.00.000 03 ;

Лист4 - Аналіз інваріантної АСР температури - БР.АКПз-23.00.00.000 04;

Лист 5 - Ієрархічна структура АСК установки- БР.АКПз-23.00.00.000 05;

Лист 6 - Схема зовнішніх підключень - БР.АКПз-23.00.00.000 06;

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 06.11.2025р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Технологічний процес підігріву нафти як об'єкт автоматизації	13.05.2026р.	
2	Математична модель підігрівника нафти	18.05.2026р.	
3	Синтез та дослідження систем керування підігрівником нафти	20.05.2026 р.	
4	Окремі проектні рішення для системи керування підігрівником	25.05.2026 р.	
5	Висновки та підготовка графіки.	07.06.2026 р.	

Студент _____
(підпис)

О.С.Гнатишин _____
(ініціали та прізвище)

Керівник проекту _____
(підпис)

М.І Когутяк _____
(ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Бакалаврська робота містить: 53 сторінку друкованого тексту, 29 рисунків, 2 таблиці, 10 посилання на джерела.

Тема : ” Автоматизація блочної печі підігріву нафти ”.

Об’єктом дослідження : шляховий підігрівник нафти.

Мета роботи: удосконалення автоматичної системи керування процесу підігріву нафти на промислах.

Методи дослідження: експериментальне та аналітичне моделювання об’єкта та автоматичної системи керування шляхового підігрівника нафти.

Результати кваліфікаційної роботи: для досягнення заданої мети проведений аналіз шляхового блочного підігрівника нафти як об’єкта автоматизації .

Отримана математична модель блочного підігрівника з проміжним теплоносієм на основі матеріального та теплового балансу по апарату.

Синтезовано системи регулювання температури у підігрівнику та проведено імітаційні експерименти по дослідженню систем регулювання при зміні заданої точки та збуреннях , що діють на систему. Розроблено та досліджено інваріантну систему з коректорами від збурень в каналі подачі нафти.

Спроектовано ієрархічну комп’ютерно інтегровану систему керування підігрівником нафти з проміжним теплоносієм та розроблено необхідні супровідні проектні документи.

Ключові слова: імітаційна модель , система автоматизованого керування, проміжний підігрівник, система регулювання, промисловий контролер , регулятор .

ABSTRACT

Bachelor's thesis contains: 53 pages of printed text, 29 figures, 2 tables, 10 references to sources.

Topic: "Automation of a block furnace for heating oil".

Object of research: road oil heater.

Purpose of work: improvement of the automatic control system for the process of heating oil in the fields.

Research methods: experimental and analytical modeling of the object and the automatic control system of the road oil heater.

Results of the qualification work: to achieve the given goal, an analysis of the road oil block heater as an object of automation was carried out.

A mathematical model of a block heater with an intermediate coolant was obtained based on the material and heat balance of the device.

Temperature control systems in the heater were synthesized and simulation experiments were conducted to study control systems when changing the set point and disturbances acting on the system. An invariant system with correctors for disturbances in the oil supply channel was developed and investigated.

A hierarchical computer-integrated control system for an oil heater with an intermediate coolant was designed and the necessary accompanying design documents were developed.

Key words: simulation model, automated control system, intermediate heater, control system, industrial controller, regulator.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ	8
ВСТУП.....	9
1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ПІДГРІВУ НАФТИ ЯК ОБ'ЄКТ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	11
1.1 Аналіз принципу роботи та технологічних особливостей нафтових підігрівачів	11
1.2 Аналіз процесу як об'єкта автоматизації	13
1.3 Параметри контролю і регулювання.....	14
Висновки до розділу.....	14
2 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПОПУТНОГО ПІДГРІВНИКА НАФТИ.....	15
2.1 Аналітична модель динаміки підігрівника нафти.....	15
2.2 Розрахунок статистики та робочої точки шляхового підігрівника	21
2.3 Дослідження динамічних властивостей об'єкта керування.....	25
Висновки до розділу.....	27
3 СИНТЕЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ПІДГРІВНИКОМ НАФТИ.....	28
3.1 Ідентифікація лінійними моделями каналів впливу та керування підігрівника	28
3.2 Синтез та дослідження одноконтурної АСР	33
3.3 Синтез інваріантної системи керування шляховим підігрівником	35
Висновки до розділу	37
4. ОКРЕМІ ПРОЕКТНІ РІШЕННЯ ДЛЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПІДГРІВНИКОМ.....	38
4.1 Структура комп'ютерно-інтегрованої системи керування.....	38

					БР. АКПз – 23.00.00.000. ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Автоматизація блочної печі підігріву нафти	Літ.	Арк.	Акрушів		
Розроб.		Гнатишин О.С.						6	53	
Перевір.		Когутяк М.І.								
Рецензент.		Чигур І.І.								
Н. Контр.		Кучмистенко О.В								
Затверд.		Лагойда А.І.				АКПз-22-1 ІФНТУНГ				

4.2 Реалізація цифрових коректорів	40
4.3 Функціональна схема автоматизації та схема зовнішніх підключень.....	42
4.4 Вибір технічних засобів автоматизації	43
4.5 Розроблення екранних форм системи управління	49
Висновки до розділу.....	50
ВИСНОВКИ.....	51
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА.....	52

					БР.АКПз-23.00.00.000.ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

МН – магістральний нафтопровід;

РО – регулюючий орган;

ПП- проміжний підігрівач;

ВМ – виконавчий механізм;

АСР –автоматична система регулювання.

PLC- програмований логічний контролер;

SCADA-програмний пакет диспетчерського управління і збіру даних ;

ШП- шляховий підігрівач;

УКПН-установка комплексної підготовки нафти.

КІСУ- комп'ютерно -інтегрована система управління

					БР.АКПз- 23.00.00.000. ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Актуальність теми. Нафта є природною горючою маслянистою рідиною, що являє собою складну суміш вуглеводнів та інших органічних сполук. Вона є одним із найважливіших енергетичних ресурсів і широко використовується в різних галузях промисловості. Значна частина видобувних нафт характеризується підвищеною в'язкістю, високим вмістом парафінів та високою температурою застигання, що суттєво ускладнює процеси їх транспортування МН і підготовки.

Для забезпечення необхідної текучості нафти та підвищення ефективності її транспортування застосовується процес підігріву. Підігрів нафти дозволяє знизити її в'язкість, покращити реологічні властивості, зменшити гідравлічний опір у трубопроводах і запобігти утворенню парафінових відкладень. Крім того, підвищення температури нафти сприяє інтенсифікації процесів руйнування нафтових емульсій, що забезпечує більш глибоке знесолення та зневоднення нафти.

На нафтових промислах підігрів нафти здійснюється у трубчастих печах або шляхових підігрівачах до температури 40–45 °С. Одним із найбільш ефективних засобів підігріву є автоматизовані блокові печі-підігрівачі з проміжним водяним теплоносієм. Використання проміжного теплоносія забезпечує рівномірний і «м'який» режим нагрівання, що дозволяє уникнути локального перегріву нафти та зменшити інтенсивність утворення відкладень на теплообмінних поверхнях.

Обґрунтування вибору теми. Шляховий підігрівач нафти є складним теплотехнічним об'єктом, у якому одночасно протікають процеси горіння палива, теплопередачі та нагрівання рідких середовищ. Ефективність його роботи значною мірою залежить від стабільності температурного режиму, надійності систем контролю та якості автоматичного регулювання технологічних параметрів. У зв'язку з цим особливого значення набуває удосконалення систем автоматизації процесу підігріву нафти.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є удосконалення існуючої системи автоматизації блочної печі-підігрівача нафти шляхом підвищення ефективності регулювання температурного режиму. Для досягнення поставленої

					БР.АКПз- 23.00.00.000. ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мети необхідно провести аналіз підігрівача як об'єкта автоматизації, дослідити його динамічні властивості та розробити математичну модель технологічного процесу, яка стане основою для синтезу системи автоматичного керування.

Об'єкт дослідження - шляховий підігрівник нафти.

Предмет дослідження-система автоматичного керування блочним підігрівником нафти.

Методи дослідження. У роботі застосовані методи математичного моделювання, теорії автоматичного керування та імітаційного моделювання для аналізу динаміки об'єкта і синтезу коректорів.

Практичне значення. Результати роботи можуть бути використані при проектуванні та удосконаленні систем автоматичного керування блочними підігрівачами нафти та подібними апаратами нафтогазового комплексу.

Структура та обсяг роботи. Робота складається зі вступу, 4 розділів, загальних висновків та переліку посилань на джерела. Загальний обсяг-53 сторінки.

					БР.АКПз- 23.00.00.000. ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ПІДГРІВУ НАФТИ ЯК ОБ'ЄКТ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Технологія підігріву нафти застосовується при зборі та транспортуванні високопарафіністих, високов'язких нафт і нафт із високою температурою застигання. Такі нафти характеризуються підвищеною в'язкістю та схильністю до утворення парафінових відкладень у трубопроводах, що ускладнює їх транспортування від свердловин до центрального пункту збору і підготовки нафти та газу.

Основною метою підігріву є забезпечення необхідної текучості продукції свердловин, зниження гідравлічного опору в трубопроводах, запобігання закупорюванню труб парафіном та підтримання стабільного режиму транспортування нафти.

Для нагрівання продукції свердловин використовують різні типи підігрівачів залежно від місця встановлення та умов експлуатації. У викидних лініях свердловин застосовують гирлові нагрівачі типу УН-0,2 та ПТТ-2, а у нафтозбірних колекторах — шляхові підігрівачі ПП-0,4; ПП-0,63; ПП-1,6 і трубопровідні нагрівачі типу ПТ.

1.1 Аналіз принципу роботи та технологічних особливостей нафтових підігрівачів

Шляхові підігрівачі типу ПП є теплотехнічними установками безперервної дії, призначеними для підігрівання зневоднених нафт, нафтових емульсій та води. Основною особливістю даних установок є використання проміжного теплоносія — води, через яку здійснюється передача тепла від продуктів згоряння до нафти. Шляховий підігрівач схематично показаний на рис 1. 1.

Конструктивно підігрівач складається з трьох основних частин:

- блоку нагріву;
- блоку підготовки палива;
- системи автоматизації та безпеки.

					БР.АКПз- 23.00.00.000. ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Блок нагріву виконує функцію передачі теплової енергії від продуктів згоряння паливного газу або рідкого палива до продукту, який нагрівається. Нафта через трубопровід надходить у продуктивний змішувик теплообмінника, де нагрівається за рахунок тепла проміжного теплоносія, після чого подається далі по системі транспортування.

Теплова енергія утворюється внаслідок спалювання палива у топці підігрівача. Продукти згоряння передають тепло воді, яка заповнює міжтрубний простір апарата. Нагріта вода через стінки теплообмінних труб передає тепло нафті.

Таким чином у підігрівачі реалізується багатоступенева схема теплообміну:

1. передача тепла від полум'я до жарових труб;
2. передача тепла від жарових труб до водяного теплоносія;
3. передача тепла від води до трубного пучка;
4. нагрівання нафти через стінки теплообмінних труб.

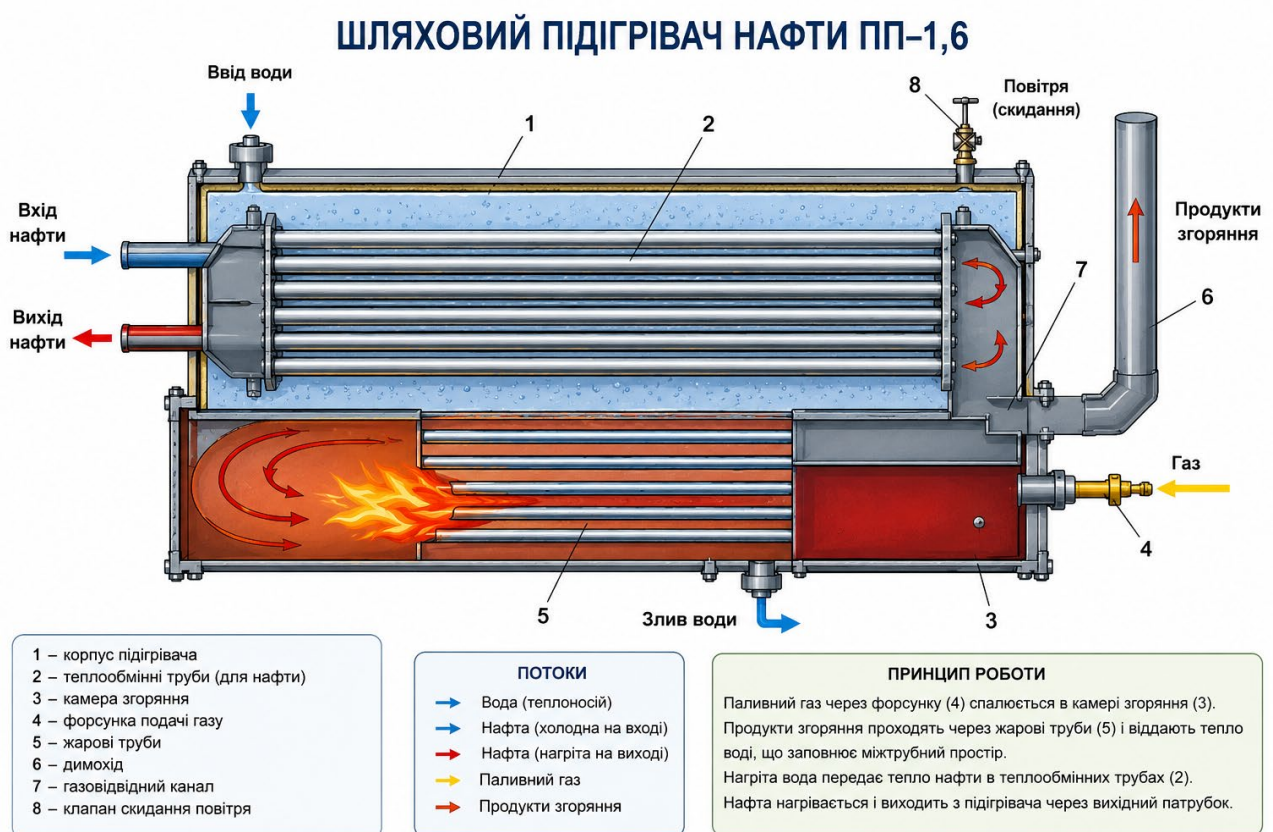


Рисунок 1.1 - Шляховий підігрівач ПП

Процес підігріву нафти характеризується:

- безперервністю роботи;

					БР.АКПз- 23.00.00.000. ПЗ	Арк. 12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- значною тепловою інерційністю;
- складністю теплових процесів;
- залежністю від зміни фізичних властивостей нафти;
- високими вимогами до безпеки.

Використання водяного теплоносія дозволяє уникнути локального перегріву нафти та зменшує інтенсивність солевідкладень і коксування внутрішніх поверхонь труб. Температура нагріву при цьому обмежується температурою кипіння води, що забезпечує більш безпечний режим роботи.

Однаке двоступенева передача тепла призводить до деякого зниження коефіцієнта корисної дії порівняно з прямими нагрівальними системами. Проте така схема є більш надійною та довговічною в умовах експлуатації нафтопромислового обладнання.

1.2 Аналіз процесу як об'єкта автоматизації.

Підігрівач нафти є складним теплотехнічним об'єктом автоматизації, для якого характерні:

- значна тепла інерційність;
- наявність часових запізнь;
- взаємозалежність параметрів;
- нелінійність процесів теплообміну;
- дія зовнішніх збурень.

До основних збурюючих факторів належать:

- зміна температури навколишнього середовища;
- коливання витрати нафти;
- зміна в'язкості та густини нафти;
- нестабільність тиску паливного газу.

Через значну теплову інерційність система регулювання повинна забезпечувати плавне та стійке керування процесом нагріву без різких коливань температури.

					БР.АКПз- 23.00.00.000. ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3 Параметри контролю і регулювання

Підігрівач ПП-1,6 оснащується системою автоматичного контролю та захисту, що забезпечує стабільну і безпечну роботу обладнання.

Система автоматизації виконує такі функції:

- дистанційний розпал пальників;
- автоматичне регулювання температури нафти;
- контроль тиску палива;
- контроль рівня теплоносія;
- контроль наявності полум'я;
- аварійне вимкнення установки;
- світлову та звукову сигналізацію.

Основним регульованим параметром є температура нафти на виході з підігрівача. Регулювання здійснюється шляхом зміни витрати паливного газу або рідкого палива.

Система автоматичного захисту спрацьовує за таких умов:

- згасанні полум'я;
- падінні тиску газу;
- аварійному зниженні рівня води;
- перегріві теплоносія;
- перевищенні допустимого тиску.

У випадку аварійної ситуації система автоматично перекриває подачу палива та зупиняє процес горіння.

Висновки до розділу

Технологія підігріву нафти є необхідною умовою ефективного транспортування високов'язких і високопарафіністих нафт. Використання шляхових підігрівачів із водяним теплоносієм дозволяє забезпечити стабільний режим нагріву, знизити ризик утворення парафінових відкладень та підвищити надійність роботи трубопровідної системи. Автоматизація процесу забезпечує підтримання оптимальних технологічних параметрів, підвищує енергоефективність установки та гарантує безпечну експлуатацію обладнання.

					БР.АКПз- 23.00.00.000. ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПОПУТНОГО ПІДГРІВНИКА НАФТИ

2.1 Аналітична модель динаміки підігрівника нафти

Рівняння енергетичного балансу для нафтової емульсії

Рівняння енергетичного балансу для нафтової емульсії ґрунтується на законі збереження енергії та описує процес теплообміну між проміжним теплоносієм, стінкою трубного теплообмінника та робочим середовищем. Баланс теплової енергії можна подати у вигляді[7]:

$$[\text{накопичення тепла}] = [\text{приплив тепла з потоком}] + [\text{конвективний теплообмін}] - [\text{винесення тепла потоком}].$$

Оскільки температура проміжного теплоносія в процесі теплообміну змінюється незначно, а температура робочого середовища вздовж поверхні теплообміну має відносно малий градієнт, тоді для середньої температури нафтової емульсії рівняння теплового балансу має вигляд:

$$M_p \cdot c_p \cdot \frac{dT_p}{dt} = G_n \cdot c_p (T_p - T_{n0}) + F_z \cdot \alpha_z (T_{sz} - T_p), \quad (2.1)$$

де:

- T_p — середня температура нафтової емульсії, °С;
- T_{n0} — температура продукту на вході до теплообмінника, °С;
- M_p — маса продукту у змійовику, кг;
- G_n — масова витрата продукту, кг/с;
- c_p — середня питома теплоємність нафтової емульсії, Дж/(кг·К);
- T_{sz} — середня температура стінки змійовика, °С;
- α_z — коефіцієнт теплопередачі від стінки до продукту, Вт/(м²·К);
- F_z — площа поверхні теплообміну, м².

Тепловий баланс стінки трубного теплообмінника

Для визначення температури стінки змійовика складається окреме рівняння теплового балансу:

$$M_z \cdot c_z \cdot dT_{sz}/dt = Q_{wz} - Q_k, \quad (2.2)$$

де:

- M_z — маса стінки теплообмінника, кг;
- c_z — теплоємність матеріалу стінки, Дж/(кг·К);

					БР.АКПз- 23.00.00.000. ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Q_{wz} — тепловий потік від проміжного теплоносія до стінки;
- Q_k — тепловий потік від стінки до продукту.

Тепловий потік від теплоносія до стінки визначається залежністю

$$Q_{wz} = F_z \cdot \alpha_w (T_w - T_{sz}),$$

де:

- T_w — температура проміжного теплоносія;
- α_w — коефіцієнт теплопередачі від теплоносія до стінки.

Інтенсивність конвективного теплообміну між стінкою теплообмінника та нафтовою емульсією визначається рівнянням

$$Q_k = F_z \cdot \alpha_z (T_{sz} - T_p),$$

де Q_k — тепловий потік, що передається продукту.

Тоді врахувавши складові отримаємо кінцево:

$$M_z \cdot c_z \cdot \frac{dT_{sz}}{dt} = F_z \cdot \alpha_w (T_w - T_{sz}) - F_z \cdot \alpha_z (T_{sz} - T_p). \quad (2.3)$$

Рівняння (1.3) описує зміну середньої температури стінки змішувача залежно від температури проміжного теплоносія та температури нафтової емульсії.

Рівняння енергетичного балансу для проміжного теплоносія

Енергетичний баланс проміжного теплоносія (води) базується на законі збереження енергії та враховує теплообмін між димовими газами, водою та нафтовою емульсією. Баланс теплової енергії можна подати у вигляді:

$$[\text{накопичення тепла водою}] = [\text{тепло, отримане від димових газів}] - [\text{тепло, передане через стінку до продукту}]$$

Тоді рівняння теплового балансу для води має вигляд

$$M_w \cdot c_w \cdot dT_w / dt = Q_g - Q_{wz}, \quad (2.4)$$

де:

- M_w — маса води у проміжному підігрівачі, кг;
- c_w — питома теплоємність води, Дж/(кг·К);
- T_w — середня температура води, °С;
- Q_g — тепловий потік від димових газів до води;

- Q_{wz} — тепловий потік, що передається від води до стінки теплообмінника.

Для робочої точки при температурі 82.5°C густина води приймається $\rho_w = 969.5 \text{ кг/м}^3$.

Тепловий потік від стінки димового каналу до води визначається співвідношенням

$$Q_g = F_{dk} \cdot \alpha_g \cdot (T_{dk} - T_w),$$

де:

- T_{dk} — температура стінки димового каналу або димових газів, °C;
- F_{dk} — площа поверхні теплообміну димового каналу, м²;
- α_g — коефіцієнт теплопередачі від стінки димового каналу до води, Вт/(м²·K).

Враховуючи, що тепловий потік від води до стінки теплообмінника визначається формулою

$$Q_{wz} = F_z \cdot \alpha_w \cdot (T_w - T_{sz}),$$

та підставляючи вирази для Q_g і Q_{wz} у рівняння (2.4), отримаємо:

$$M_w \cdot c_w \cdot \frac{dT_w}{dt} = F_{dk} \cdot \alpha_g \cdot (T_{dk} - T_w) - F_z \cdot \alpha_w \cdot (T_w - T_{sz}) \quad (2.5)$$

Рівняння (1.5) описує динамічну зміну температури проміжного теплоносія залежно від температури димових газів та температури стінки теплообмінник

Для визначення середньої температури стінки димового каналу T_{dk} складається рівняння теплового балансу стінки, яке враховує теплообмін між димовими газами та проміжним теплоносієм через металеву поверхню каналу:

$$M_{dk} \cdot c_{dk} \cdot dT_{dk}/dt = Q_{dk} - Q_g, \quad (2.6)$$

де:

- M_{dk} — маса стінки димового каналу, кг;
- c_{dk} — питома теплоємність матеріалу стінки димового каналу, Дж/(кг·K);
- T_{dk} — середня температура стінки димового каналу, °C;
- Q_{dk} — тепловий потік від димових газів до стінки каналу;

					БР.АКПз- 23.00.00.000. ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Q_g — тепловий потік, що передається від стінки до води.

Відмінністю між внутрішньою та зовнішньою площами поверхні димового каналу нехтуємо, тому приймаємо $F_{dg} \approx F_{dk}$.

Тепловий потік від димових газів до стінки каналу визначається рівнянням

$$Q_{dk} = F_{dg} \cdot \alpha_{dg} \cdot (T_{dg} - T_{dk}),$$

де:

- T_{dg} — температура димових газів, °C;
- α_{dg} — коефіцієнт теплопередачі від димових газів до стінки каналу, Вт/(м²·K);
- F_{dg} — площа поверхні теплообміну димового каналу, м².

Після підстановки у рівняння (2.6), отримаємо:

$$M_{dk} \cdot c_{dk} \cdot \frac{dT_{dk}}{dt} = F_{dg} \cdot \alpha_{dg} \cdot (T_{dg} - T_{dk}) - F_{dk} \cdot \alpha_g \cdot (T_{dk} - T_w). \quad (2.7)$$

Тепловий баланс процесу спалювання палива (за димовими газами)

Тепловий баланс процесу спалювання палива визначається на основі закону збереження енергії та описує динаміку зміни теплового стану димових газів у топковому просторі. Загальний баланс енергії можна записати у вигляді:

$$[\text{накопичення тепла димовими газами}] = [\text{тепло, від спалювання палива}] - [\text{тепло, передане воді}] - [\text{теплові втрати з відхідними газами}]$$

Для димових газів рівняння енергетичного балансу має вигляд

$$M_{dg} \cdot c_{dg} \cdot dT_{dg}/dt = Q_f - Q_{dk} - Q_{loss}, \quad (2.8)$$

де:

- M_{dg} — маса димових газів у топковому просторі, кг;
- c_{dg} — середня питома теплоємність димових газів, Дж/(кг·K);
- T_{dg} — температура димових газів, °C;
- Q_f — тепловий потік, що утворюється при спалюванні палива;
- Q_{dk} — тепловий потік від димових газів до стінки димового каналу;
- Q_{loss} — втрати тепла з відхідними газами та через ізоляцію.

Прихід тепла в топку

Кількість тепла, що надходить до топки при спалюванні 1 кг палива, визначається співвідношенням

$$Q_f = Q_{Hr} + c_g \cdot T_g + \alpha \cdot L_0 \cdot c_a \cdot T_a,$$

де:

- Q_{Hr} — нижча теплота згоряння палива, Дж/кг;
- c_g — теплоємність паливного газу, Дж/(кг·К);
- c_a — теплоємність повітря, Дж/(кг·К);
- T_g — температура паливного газу, °С;
- T_a — температура повітря, °С;
- α — коефіцієнт надлишку повітря;
- L_0 — теоретично необхідна кількість повітря для спалювання 1 кг палива.

Для практичних інженерних розрахунків другий і третій доданки рівняння, як правило, є значно меншими за теплоту згоряння палива, тому часто приймають: $Q_f \approx Q_{Hr}$.

Втрати тепла у топці

Загальні втрати тепла при спалюванні палива визначаються виразом

$$Q_{loss} = Q_{iz} + Q_{ex},$$

де:

- Q_{iz} — теплові втрати через ізоляцію топки;
- Q_{ex} — тепло, що виноситься відхідними димовими газами.

Втрати через ізоляцію для практичних розрахунків можна оцінити як

$$Q_{iz} = 0.06 Q_f,$$

що відповідає приблизно 6 % теплових втрат з урахуванням коефіцієнта корисної дії топки.

Корисне тепло, передане димовим газам при спалюванні 1 кг палива, визначається співвідношенням

$$Q_{dg} = Q_f - Q_{loss}.$$

					БР.АКПз- 23.00.00.000. ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Проміжне рівняння динаміки димових газів

З урахуванням виразу для теплового потоку від димових газів до стінки (тільки конвективна передача) $Q_{dk} = F_{dg} \cdot \alpha_{dg} \cdot (T_{dg} - T_{dk})$, рівняння (2.8) набуде вигляду

$$M_{dg} \cdot c_{dg} \cdot \frac{dT_{dg}}{dt} = Q_{dg} - F_{dg} \cdot \alpha_{dg} \cdot (T_{dg} - T_{dk}).$$

Рівняння описує зміну температури димових газів залежно від тепловиділення під час спалювання палива та теплообміну зі стінкою димового каналу.

Променевий та конвективний теплообмін від димових газів до стінки

Одначе передача тепла від димових газів до стінки димового каналу здійснюється за рахунок двох складових:

- променевого (радіаційного) теплообміну;
- конвективного теплообміну.

Загальний тепловий потік можна подати у вигляді:

$$Q_{dk} = Q_{rad} + Q_{conv},$$

де:

- Q_{dk} — сумарний тепловий потік від димових газів до стінки;
- Q_{rad} — променева складова теплообміну;
- Q_{conv} — конвективна складова теплообміну.

Променевий теплообмін

Променевий теплообмін між димовими газами та поверхнею стінки визначається залежністю

$$Q_{rad} = \varphi \cdot C_0 \cdot \varepsilon_c \cdot \varepsilon_{dg} \cdot A_{dg} \cdot F_{dk} \left[\left(\frac{T_{dg}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{dk}}{100} \right)^4 \right],$$

де:

- $\varepsilon_c = 0.85$ — ступінь чорноти поверхні стінки;
- ε_{dg} — ступінь чорноти димових газів при середній температурі;
- A_{dg} — поглинальна здатність димових газів при температурі поверхні

T_{dk} ;

- F_{dk} — площа поверхні стінки газоходу, m^2 ;
- $C_0 = 5.67 \text{ Вт}/(m^2 \cdot K^4)$ — коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного

тіла;

					БР.АКПз- 23.00.00.000. ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

• φ — коефіцієнт, що враховує характер розподілу тепла в топці;

Для печей із вільним факелом коефіцієнт φ у практичних розрахунках приймають згідно з довідковими даними.

Конвективний теплообмін

Конвективна складова теплообміну між димовими газами та стінкою описується рівнянням Ньютона–Ріхмана:

$$Q_{conv} = \alpha_{dg} \cdot F_{dk} \cdot (T_{dg} - T_{dk}),$$

Сумарний тепловий потік

З урахуванням променевої та конвекційної складових загальний тепловий потік від димових газів до стінки димового каналу визначається виразом

$$Q_{dk} = \varphi \cdot C_0 \cdot \varepsilon_c \cdot \varepsilon_{dg} \cdot A_{dg} \cdot F_{dk} \left[\left(\frac{T_{dg}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{dk}}{100} \right)^4 \right] - \alpha_{dg} \cdot F_{dk} \cdot (T_{dg} - T_{dk}) \quad (2.9)$$

Рівняння (2.9) дозволяє комплексно врахувати вплив як випромінювання, так і конвекції на процес передавання тепла від продуктів згоряння до стінки димового каналу.

Отже, динамічний баланс тепла відносно димових газів описується таким диференціальним рівнянням:

$$M_{dg} \cdot c_{dg} \cdot \frac{dT_{dg}}{dt} = Q_f - \varphi \cdot C_0 \cdot \varepsilon_c \cdot \varepsilon_{dg} \cdot A_{dg} \cdot F_{dk} \left[\left(\frac{T_{dg}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{dk}}{100} \right)^4 \right] - \alpha_{dg} \cdot F_{dk} \cdot (T_{dg} - T_{dk}) - Q_{loss} \quad (2.10)$$

Рівняння (2.10) описує нестационарний процес теплообміну димових газів у топковому просторі з урахуванням як променевого, так і конвективного механізмів передавання тепла.

Отже, рівняння (2.1), (2.3), (2.5), (2.7) та (2.10) описують динаміку процесу підігріву нафти у шляховому підігрівнику.

2.2 Розрахунок статичної та робочої точки шляхового підігрівника

Визначення температури димових газів та витрати паливного газу

Оскільки в процесі горіння практично все тепло, що виділяється у топці, передається димовим газам, тепловий баланс процесу можна записати у вигляді:

					БР.АКПз- 23.00.00.000. ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q_{dg}=cdg \cdot B \cdot V_{dg} \cdot (T_{dg}-T_0), \quad (2.11)$$

де:

- Q_{dg} — тепло, передане димовим газам, Вт;
- cdg — середня питома теплоємність димових газів, Дж/(кг·К);
- B — масова витрата паливного газу, кг/с;
- V_{dg} — кількість продуктів згоряння, що утворюються при спалюванні 1 кг паливного газу;
- T_0 — початкова температура паливоповітряної суміші, °С;
- T_{dg} — температура димових газів у топці, °С.

Із рівняння (2.11) можна визначити температуру димових газів на виході з топки:

$$T_{dg}=T_0+Q_{dg}/(cdg \cdot B \cdot V_{dg}).$$

Для заданого складу палива температура димових газів є практично сталою величиною та може бути визначена за довідковими або табульованими залежностями при відомій теплотворній здатності палива.

Визначення витрати паливного газу

У стаціонарному режимі теплота, отримана при спалюванні палива, через проміжний теплоносій передається нафтовій емульсії. Тоді рівняння теплового балансу набуває вигляду

$$\eta Q_{dg}=G_n \cdot c_p(T_n-T_{n0}),$$

де:

- η — коефіцієнт корисної дії підігрівника;
- G_n — масова витрата нафтової емульсії, кг/с;
- c_p — питома теплоємність нафтової емульсії, Дж/(кг·К);
- T_{n0} — температура продукту на вході;
- T_n — температура продукту на виході.

Звідси витрата паливного газу визначається як

$$B=G_n \cdot c_p \cdot (T_n-T_{n1})/\eta Q_{Hr}, \quad (2.12)$$

де Q_{Hr} — нижча теплота згоряння паливного газу.

					БР.АКПз- 23.00.00.000. ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рівняння (2.12) дозволяє визначити необхідну витрату паливного газу для забезпечення заданого температурного режиму нагрівання нафтової емульсії з урахуванням коефіцієнта корисної дії підігрівника.

Програмні розрахунки статичного режиму підігрівника

1 рівняння --- для нафти

робоча точка $T_{n_out} := 45 + 273$ $T_{n_in} := 15 + 273$ Параметри нафти

Витрата кг/с $G_n := 24.2$ Теплоємність_Дж/(кг К) $cn := 2038$

Площа_м² $Fz := 254$ Температура нафти_р.т $T_{nr} := 42.5 + 273$

Маса нафти_кг $Mn = 5.35 \times 10^3$ Температура стінки_р.т $T_{sz} := 52 + 273$

Корисне тепло, Вт $Qn := G_n \cdot cn \cdot (T_{nr} - T_{n_in}) = 1.356 \times 10^6$

Given

$$0 = -G_n \cdot cn \cdot (T_{nr} - T_{n_in}) + Csz_n \cdot Fz \cdot (T_{sz} - T_{nr})$$

Коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м² К) $Csz_n := \text{Find}(Csz_n) \text{ float}, 1 \rightarrow 562.0$

2 рівняння для стінки SZ

Маса змієвика нафти, кг $Mzn = 7.996 \times 10^3$

Теплоємність металу_Дж/(кг К) $cz := 460$

робоча точка $Tw_out := 95 + 273$ $Tw_in := 70 + 273$

Темпера води в р.т $T_{wr} := 0.5 \cdot (Tw_out + Tw_in)$ $T_{wr} = 355.5$

Given

$$0 = Cw_sz \cdot Fz \cdot (T_{wr} - T_{sz}) - Csz_n \cdot Fz \cdot (T_{sz} - T_{nr})$$

Коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м² К) $Cw_sz := \text{Find}(Cw_sz) \text{ float}, 1 \rightarrow 175.0$

3 рівняння для води

робоча точка Густина води, кг/м³ $\rho_{w82} := 973.28$ Теплоємність_Дж/(кг К) $cw := 2038$ Об'єм води, м³ $Vw := 100$

Теплоємність_Дж/(кг К) $c_w := 3841$ Маса води, кг $Mw := Vw \cdot \rho_{w82} = 9.733 \times 10^4$

Площа д.каналу, м² $Fdk := 28.5$ Температура стінки д.каналу $T_{sdk} := 183 + 273$

Given

$$0 = Csdk_w \cdot Fdk \cdot (T_{sdk} - T_{wr}) - Cw_sz \cdot Fz \cdot (T_{wr} - T_{sz})$$

Коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м² К) $Csdk_w := \text{Find}(Csdk_w) \text{ float}, 1 \rightarrow 473.0$

4 рівняння для димових газів

робоча Температура газу на виході ПП, К $T_{dg_out} = 505.5$
точка Температура газу при горінні, К $T_{max} = 2.281 \times 10^3$

$$\epsilon c := 0.85 \quad \psi := 1.2 \quad Adg := 0.37$$

Параметри променевого обміну $C0 := 5.67$ $\epsilon dg := 0.171$

+

Масова витрата палива, кг/год $B \equiv 58$ Маса д.газів на 1кг палива $Mdg = 19.05$

Витрата д.газів кг/ год $Gdg := Mdg \cdot B = 1.105 \times 10^3$

Теплотворна здатність палива, КДж/кг $QH_g = 4.956 \times 10^4$

Температура стінки д. каналу $T_{sdk} := 183 + 273$

Середня температура $Tdgcp := (T_{max} + T_{dg_out}) \div 2 = 1.393 \times 10^3$

Об'єм д. газів у каналі, м³ $Vzm_dg = 3.013$ Маса газу у каналі, кг

Густина д. газів , кг/м³ $\rho dg := 0.275$ $Mzdk := Vzm_dg \cdot \rho dg = 0.829$

Теплоємність д. газу в контрольних точках, КДж/(кг К)

$Cdg1(T_{max}) = 1.321$ $Cdg1(T_{dg_out}) = 1.111$ $c_dg := Cdg1(T_{dg_out})$

$c_dg_cp := (Cdg1(T_{max}) + Cdg1(T_{dg_out})) \div 2 = 1.216$ Середня теплоємність

Тепло , що передається димовому каналу від димових газів

$$Q_{rad} := 0.5 \cdot \psi \cdot (\epsilon c + 1) \cdot C0 \cdot Fdk \cdot \left[\epsilon dg \cdot \left(\frac{Tdgcp}{100} \right)^4 - Adg \cdot \left(\frac{T_{sdk}}{100} \right)^4 \right]$$

$$Q_{konv} := 2.1 \cdot Fdk \cdot (Tdgcp - T_{sdk}) \cdot \sqrt[4]{(Tdgcp - T_{sdk})}$$

$$Q_{sdk} := Q_{rad} + Q_{konv}$$

$Q_{sdk} = 1.438 \times 10^6$ Тепло передане стінці димового каналу

$Q_{dg} := Gdg \cdot c_dg \cdot (T_{dg_out}) = 6.208 \times 10^5$ Тепло , що покидає димовий канал з ПП

Корисне тепло $Q_n = 1.356 \times 10^6$

$$QH_g = 4.956 \times 10^4$$

Given

При $B = 58$

$$Gdg = Mdg \cdot B$$

$$0 = -Gdg \cdot c_dg \cdot (T_{dg_out}) - Q_{sdk} + B \cdot \eta_{pp} \cdot QH_g \quad B \cdot \eta_{pp} \cdot QH_g = 2.416 \times 10^6$$

Коефіцієнт корисної дії $\eta_{pp} := \text{Find}(\eta_{pp}) \text{ float}, 4 \rightarrow 0.7162$

Баланс тепла

$$Q_{pl} := B \cdot \eta_{pp} \cdot QH_g = 2.059 \times 10^6 \quad Q_{sdk} + Q_{dg} = 2.059 \times 10^6$$

					БР.АКПз- 23.00.00.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

5 рівняння стінка димового каналу

робоча
точка

Маса димового каналу, кг
Теплоємність металу Дж/(кг K)

$Mdk = 2.239 \times 10^3$
 $c_{cz} := 460$

Given

$$0 = Q_{sdk} - C_{sdk_w} \cdot F_{dk} \cdot (T_{sdk} - T_{wr})$$

Коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м² K) $C_{sdk_w} := \text{Find}(C_{sdk_w}) \text{ float}, 1 \rightarrow 502.0$

2.3 Дослідження динамічних властивостей об'єкта керування

Для проведення модельних експериментальних досліджень об'єкта керування синтезована в SIMULINK модель ПП нафти на базі диференційних рівнянь (2.1),(2.3),(2.5),(2.7) та (2.10). Для кожного рівняння створений власний субблок , які надалі поєднані через відповідні параметри у загальний блок «Підігрівник нафти». З врахуванням робочої точки створена симуляційна схема для проведення модельних досліджень , яка приведена на рис .2.1.

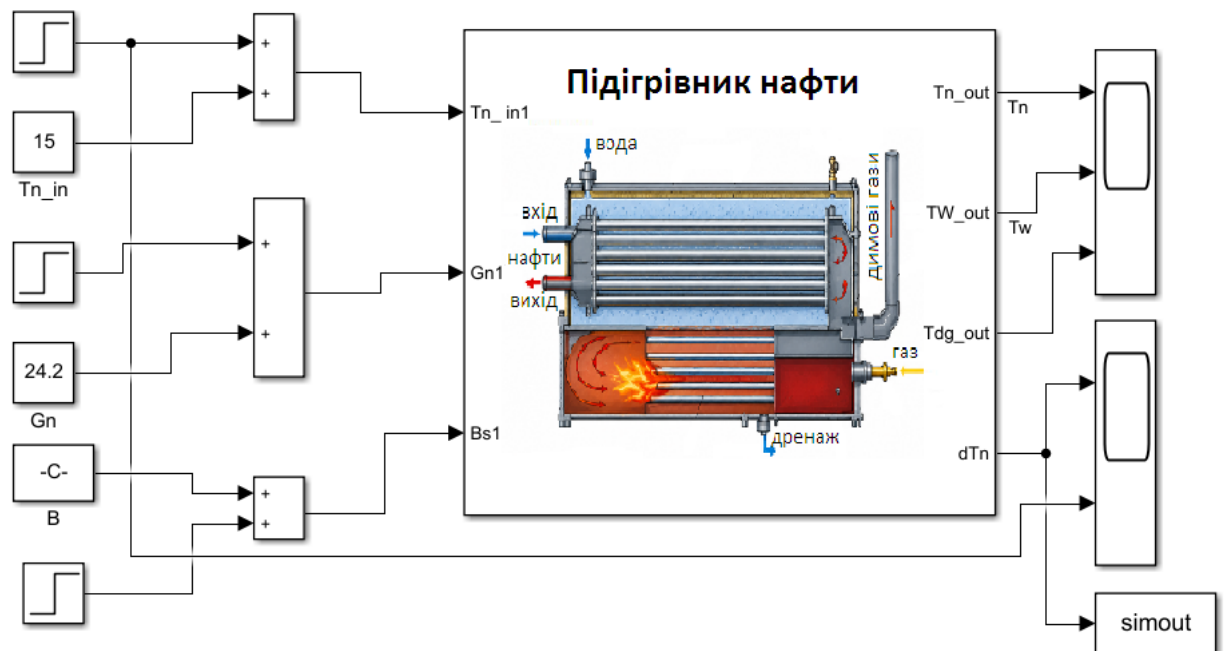


Рисунок 2.1 - Імітаційна модель підігрівника нафти.

Лінеаризацію моделі не проводили , тому реалізована модель з нелінійними складовими, як у вихідних диференційних рівняннях.

Проведені дослідження роботи ПП в робочій точці при зниженні подачі палива на 10 кг/год. Результати представлені на рис.2.2

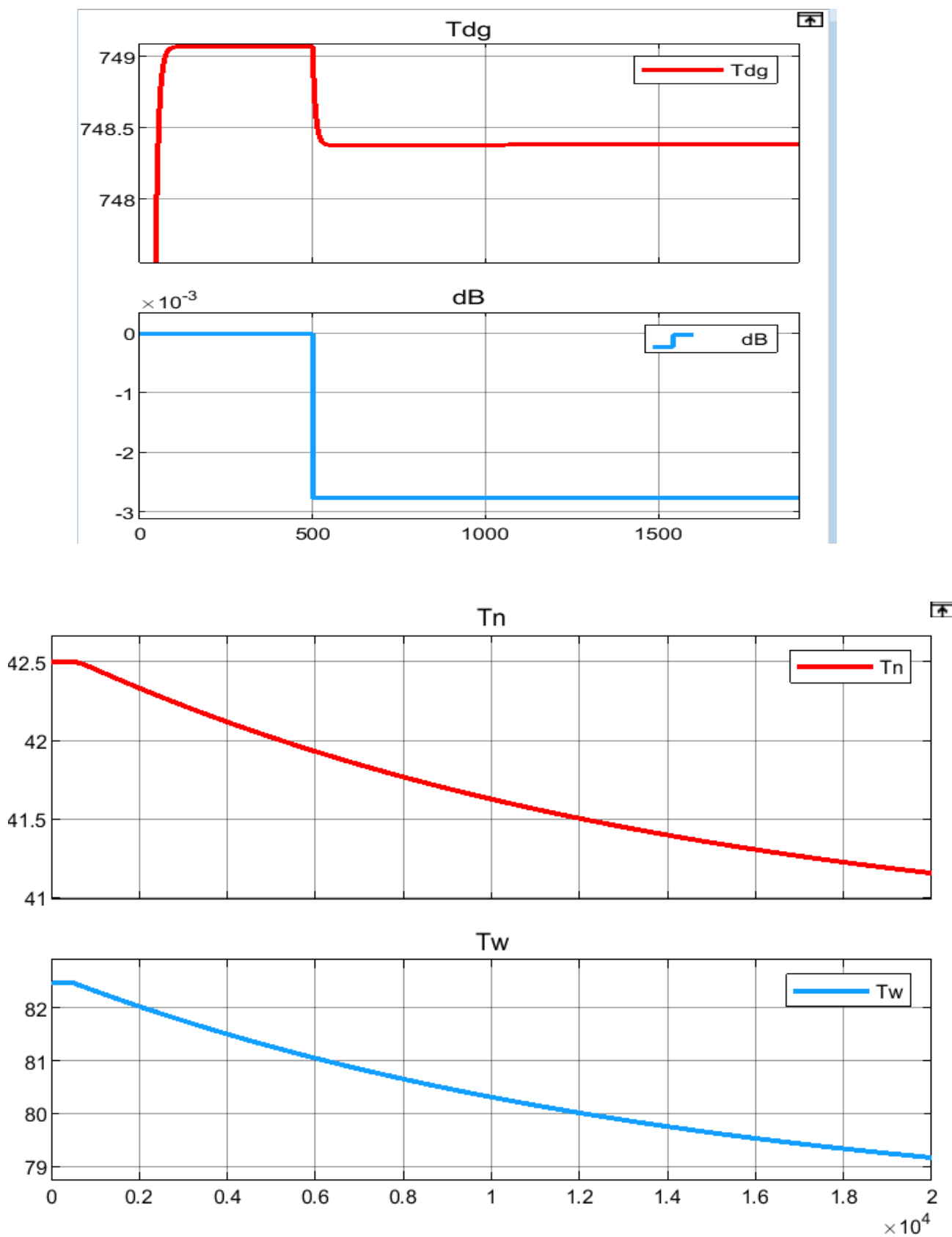


Рисунок 2.2 - Результати дослідження динаміки основних каналів ПП.

Перехідна характеристика параметра T_d у порівнянні з T_n та T_w є відносно малоінерційною. При цьому температура димових газів зменшується на $-0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ за час $300\ldots 400\text{c}$.

Як бачимо процеси в системі для параметрів T_n та T_w дуже інерційні. Перехідний процес триває близько 70000c (19-20 годин). При цьому температура нафти знизиться майже на $-1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, а температура теплоносія за даний період знизиться на $-3.5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Висновки до розділу

На основі рівнянь матеріального та теплового балансів підігрівника розроблено математичну модель динаміки процесу, на базі якої синтезовано імітаційну модель у середовищі Simulink. Проведені імітаційні експерименти підтвердили працездатність моделі та достатню повноту відображення процесів, що відбуваються в підігрівнику нафти.

					БР.АКПз- 23.00.00.000. ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 СИНТЕЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ПІДГРІВНИКОМ НАФТИ

3.1 Ідентифікація лінійними моделями каналів впливу та керування підігрівника

На основі аналізу процесу теплообміну у шляховому підігрівнику з проміжним теплоносієм та основних режимних технологічних параметрів контролю і регулювання розроблено структурну схему підігрівника як об'єкта автоматизації, що представлена на рис. 3.1. Схема відображає взаємозв'язки між основними технологічними параметрами процесу, каналами керування та збуреннями, які впливають на ефективність роботи установки.

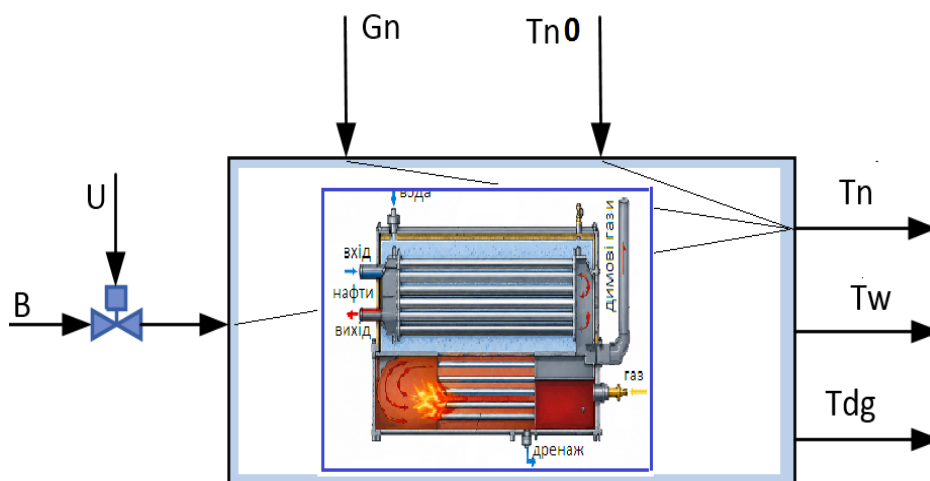


Рисунок 3.1- Структурна схема ПП як об'єкта керування

На схемі відображено основний канал регулювання $Tn=f(B)$ та збурювальні канали $Tn=f(Gn)$ і $Tn=f(Tn0)$. Оскільки розроблена аналітична модель є нелінійною то для подальшого дослідження систем керування доцільна лінеаризація отриманих диференціальних рівнянь. Лінеаризація та розв'язок перетворених по Лапласу системи рівнянь призведе до високих порядків передавальних функцій, що вликає необхідність спрощення отриманих розв'язків. Всі ці процедури є громіздкими, тому використаний інший підхід. В околі робочої точки роботи ПП на імітаційній моделі (рис.2.1) після нанесення стрибкоподібних збурень dB , dGn , $dTn0$ фіксуємо приріст dTn . Результати дослідження представлені на рис. 3.2, 3.5 та 3.7.

Канал $dTn_in(dTn0) \text{ ----} dTn$

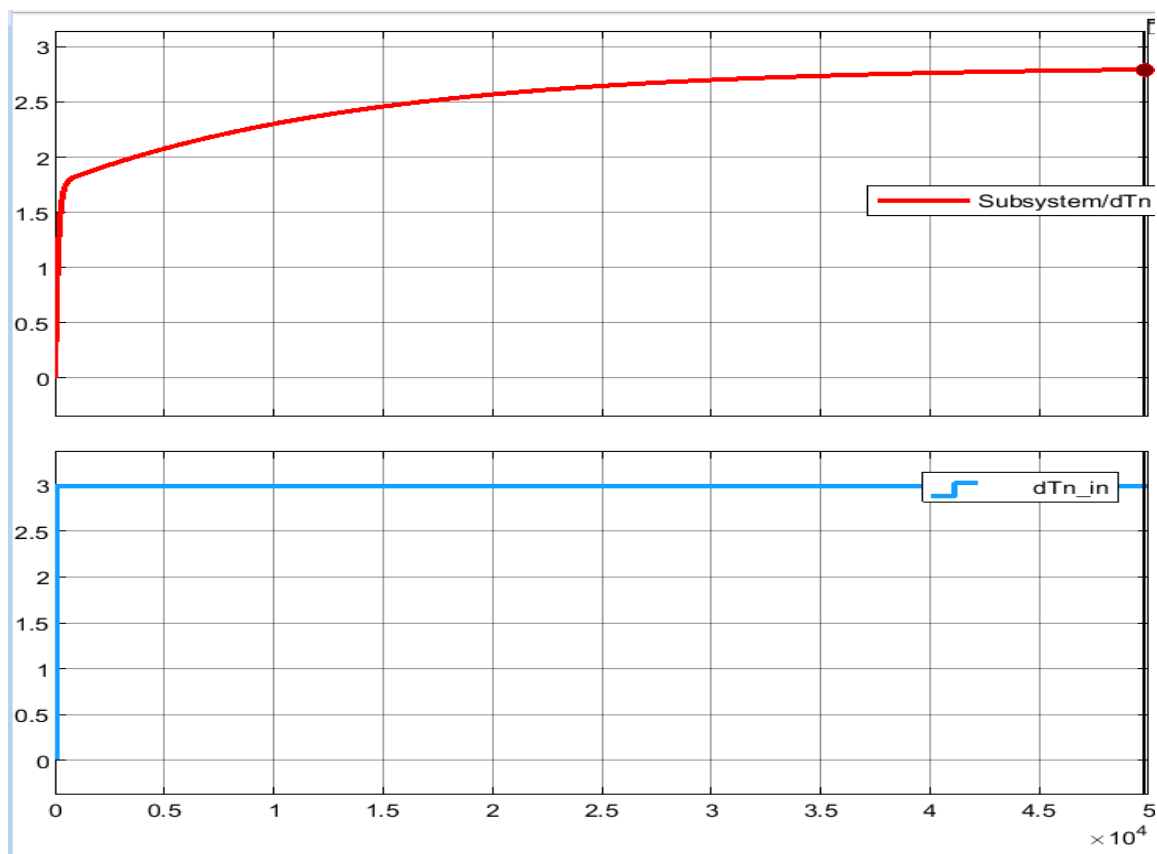


Рисунок 3.2- Графік розгону каналу $dTn_in(dTn0) \text{ ----} dTn$

За допомогою інструментів графічного вікна отримаємо масив з кроком dt для вхідної та вихідної змінної. Дані вкликаємо в інструменті «Ідентифікація систем» Матлабу і проводимо підбір лінійної спрощеної моделі для даного каналу. Результати представлені на рис . 3.3 та 3.4.

The screenshot shows the 'Process Models' window. On the left, under 'Transfer Function', a light blue box displays the model $\frac{K}{(1 + Tp1 s)(1 + Tp2 s)}$. Below it, the 'Poles' section shows a dropdown menu set to '2' and another dropdown set to 'All real'. On the right, a table lists parameters and their values:

Par	Known	Value
K	☐	0.94134
Tp1	☐	13965.4378
Tp2	☐	0.012346
Tp3	☐	0
Tz	☐	0
Td	☐	0

Рисунок 3.3- Вибір спрощеної моделі ідентифікації

Status:

Estimated using PROCEST on time domain data "mydata".

Fit to estimation data: 99.95%

FPE: 1.442e-07, MSE: 8.875e-08

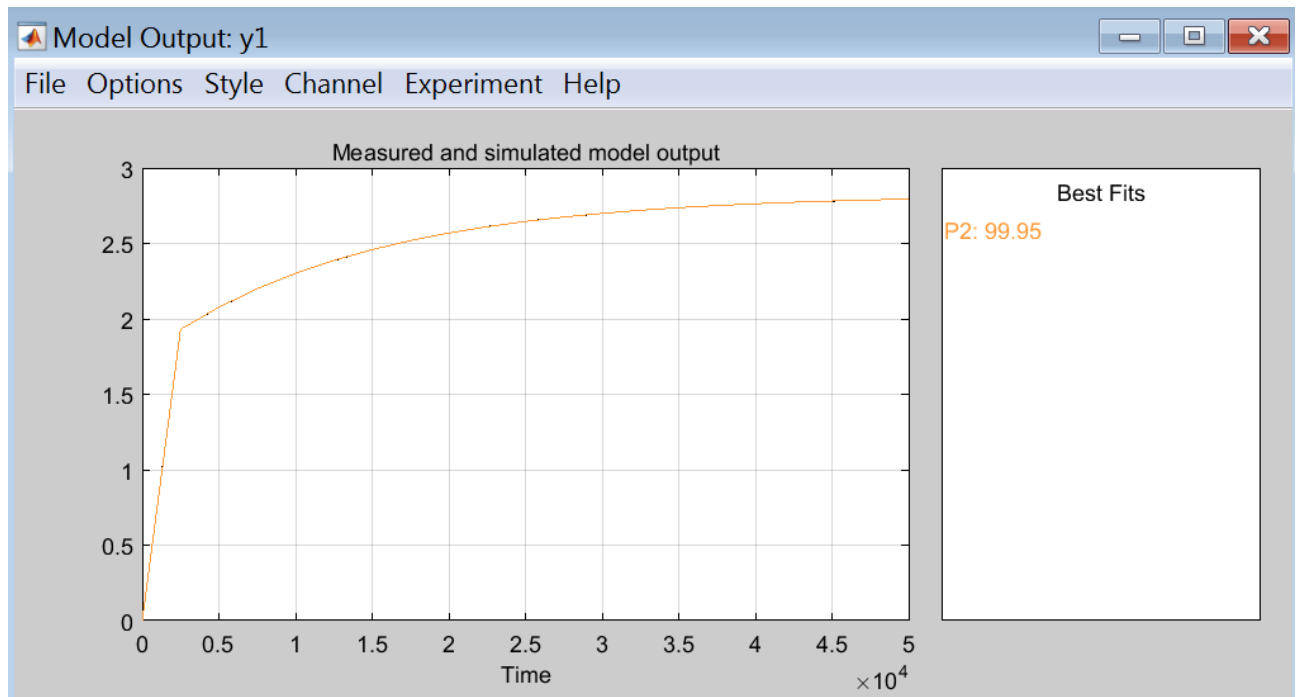


Рисунок 3.4- Результати ідентифікації Каналу dTn_in ----- dTn

Отримана спрощена модель даного каналу свідчить про високу степінь відтворення динамічних властивостей.

Канал dB ----- dTn

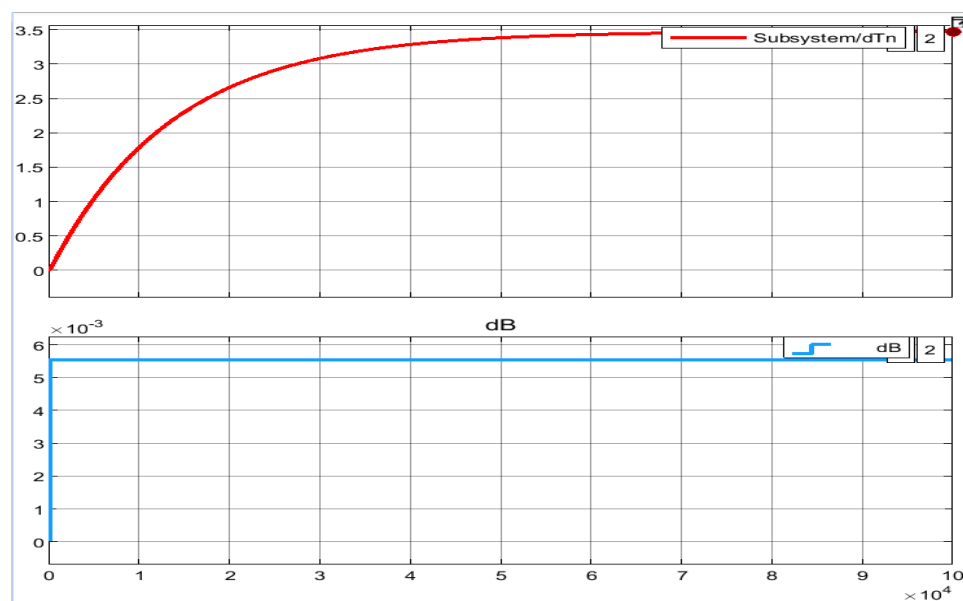


Рисунок 3.5- Графік розгону каналу dB ----- dTn

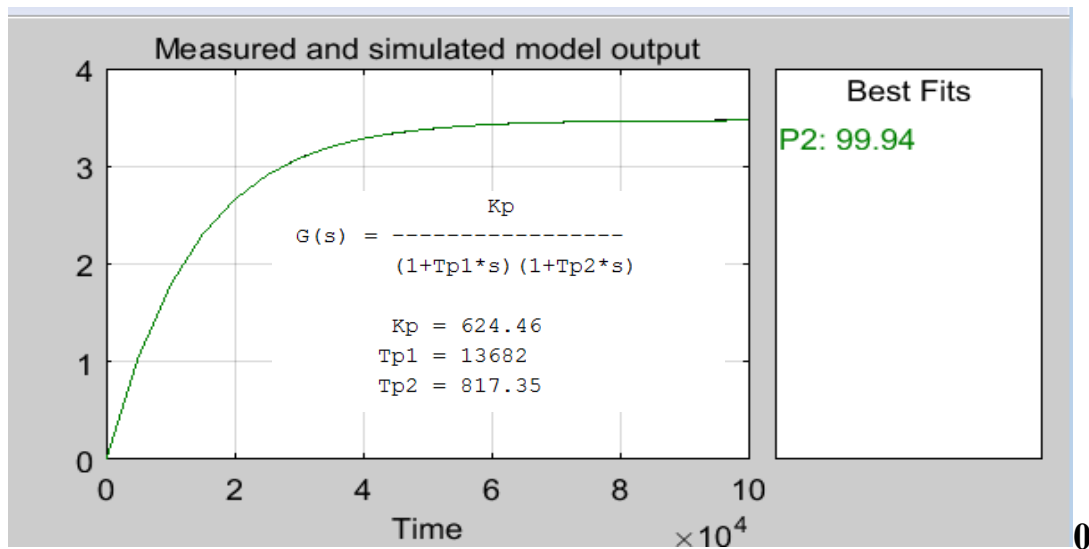
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БР.АКПз- 23.00.00.000. ПЗ

Арк.

30

Дослідження по основному регулюючому каналу «подача палива-температура нафти на виході» представлені на рис . 3.5 , а результати ідентифікації на рис.3.6



Status:
Estimated using PROCEST on time domain data "mydata"
Fit to estimation data: 99.94%
FPE: 4.562e-07, MSE: 2.807e-07

Рисунок 3.6- Результати ідентифікації каналу dB ----- dT_n

Канал dG_n ----- dT_n

Дослідження каналу збурення « подача нафти-температура нафти на виході» проведені аналогічно і результати представлені на рис. 3.7 та 3.8.

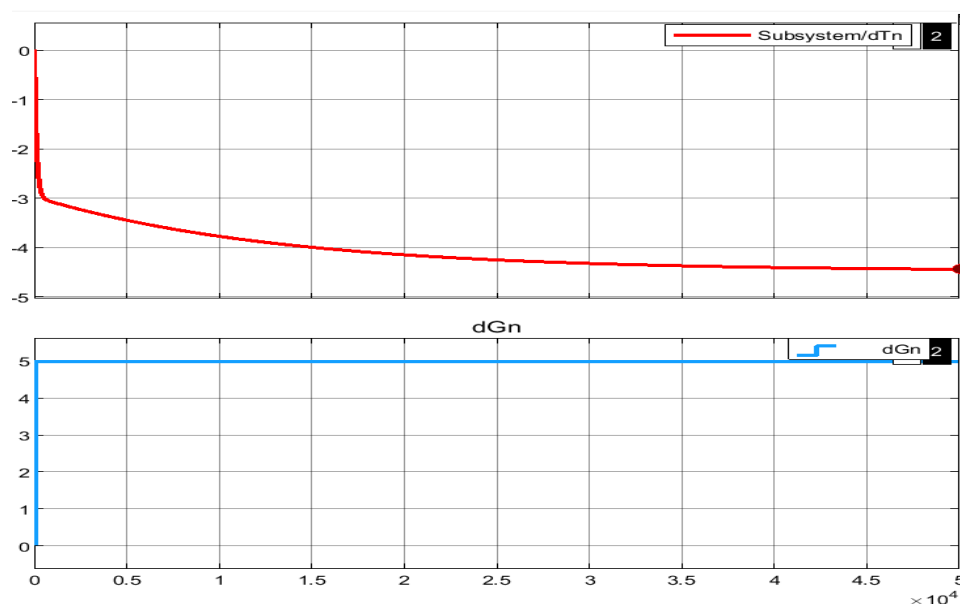
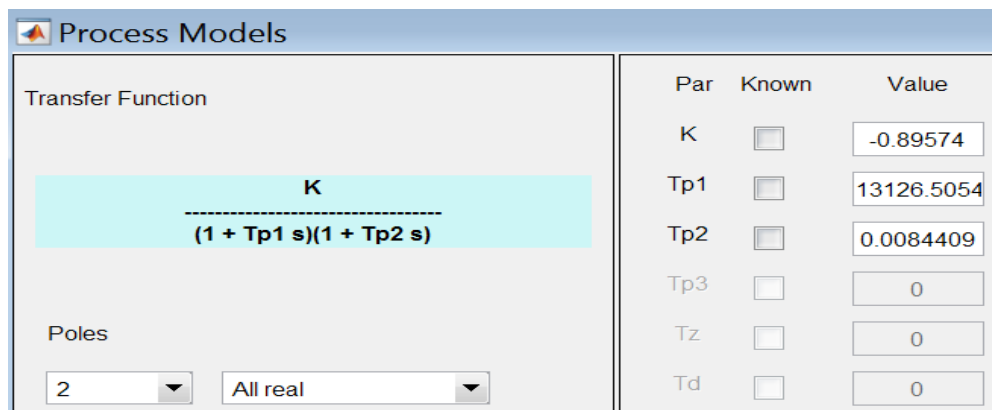


Рисунок 3.7- Графік розгону каналу dG_n ----- dT_n



Status:

Estimated using PROCEST on time domain data "mydata"

Fit to estimation data: 99.97%

FPE: 1.329e-07, MSE: 8.177e-08

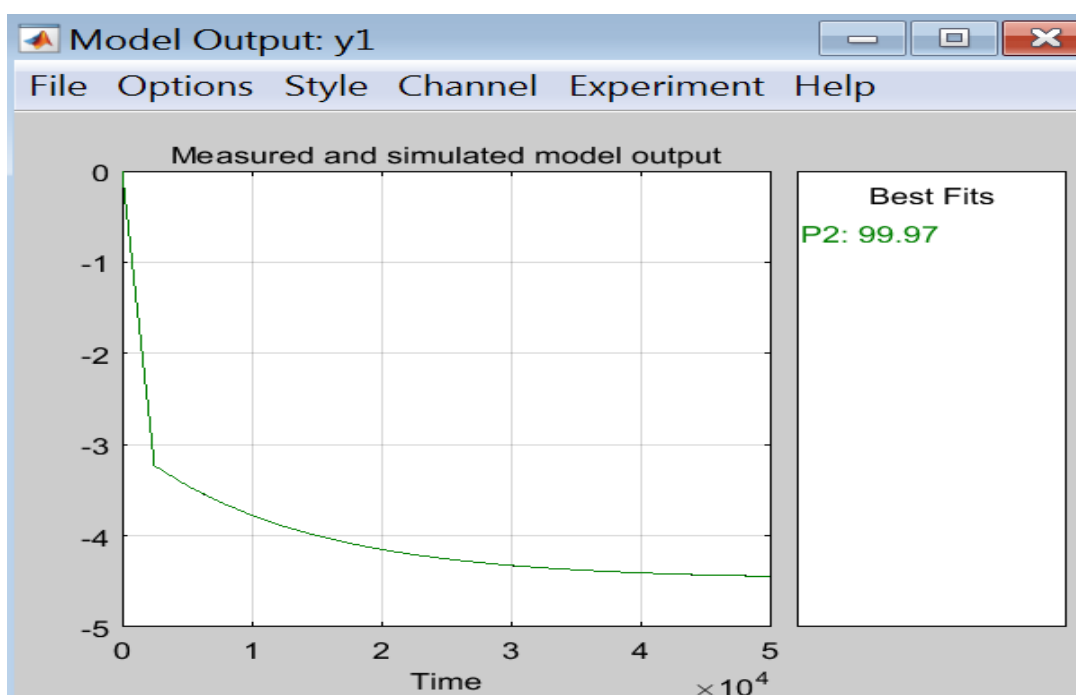


Рисунок 3.8- Вибір моделі та ідентифікація каналу dGn -----dTn

У підсумку отримаємо:

$$W_{Tn0_Tn}(s) = \frac{0.9413}{(1 + 13965s)(1 + 0.01234s)} ;$$

$$W_{B_Tn}(s) = \frac{624.46}{(1 + 13682s)(1 + 817.35s)} ;$$

$$W_{Gn_Tn}(s) = \frac{-0.896}{(1 + 13126s)(1 + 0.00844s)} .$$

Таким чином в результаті проведених досліджень отримані передавальні функції по необхідних динамічних каналах , які надалі будуть застосовані для синтезу систем керування тепловим режимом підігріву нафти на промислі.

3.2 Синтез та дослідження одноконтурної АСР

Одноконтурна система регулювання температури нафти у підігрівнику реалізована з використанням лінеаризованих каналних передавальних функцій з використанням ПІ-регулятора приведена на рис.3.9.

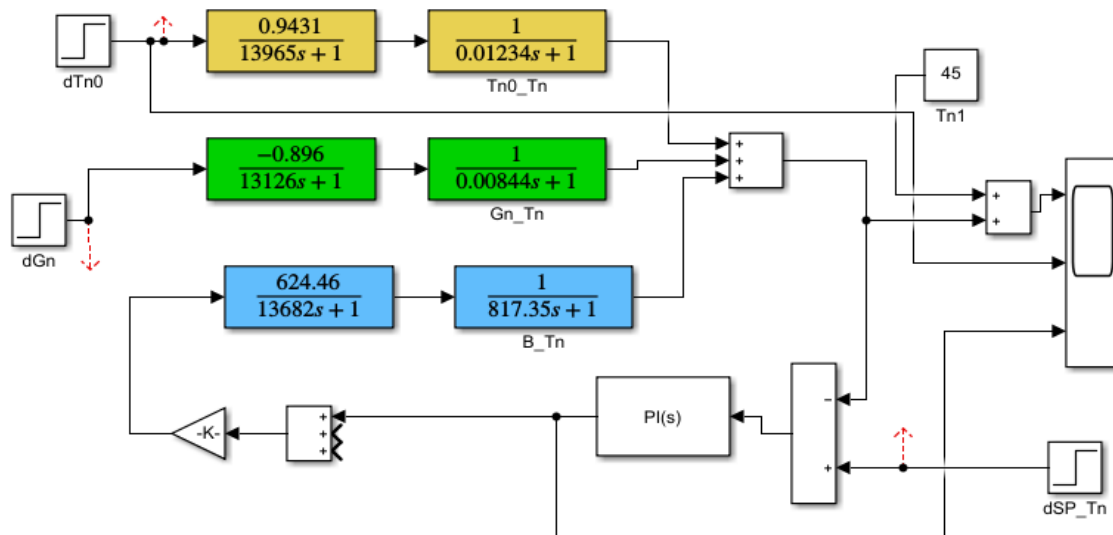


Рисунок 3.9 - Сімулінк модель досліджуваної АСР

Реалізації з ПІД та іншими регуляторами показали значно гірші якісні показники роботи.

Налаштування регулятора виконано в інструменті **PID Tuner** (рис.3.10)

Controller Parameters		Performance and Robustness	
	Tuned		Tuned
P	23.7361	Rise time	5.5e+03 seconds
I	0.0018019	Settling time	9.25e+03 seconds
D	n/a	Overshoot	0.357 %
N	n/a	Peak	1
		Gain margin	Inf dB @ Inf rad/s
		Phase margin	76 deg @ 0.000293 ra...
		Closed-loop stability	Stable

Рисунок 3.10-Результати налаштування та оцінки якісних показників роботи АСР

Основні якісні параметри роботи одноконтурної системи з ПІ-регулятором:

Час регулювання9250с
 Перерегулювання0.375%
 Запас по амплітуді.....∞
 Запас по фазі76 град.
 Стійкість системистійка.

Параметри якості роботи даної системи регулювання є достатніми для реальної експлуатації даного об'єкта враховуючи величезну його інерційність .

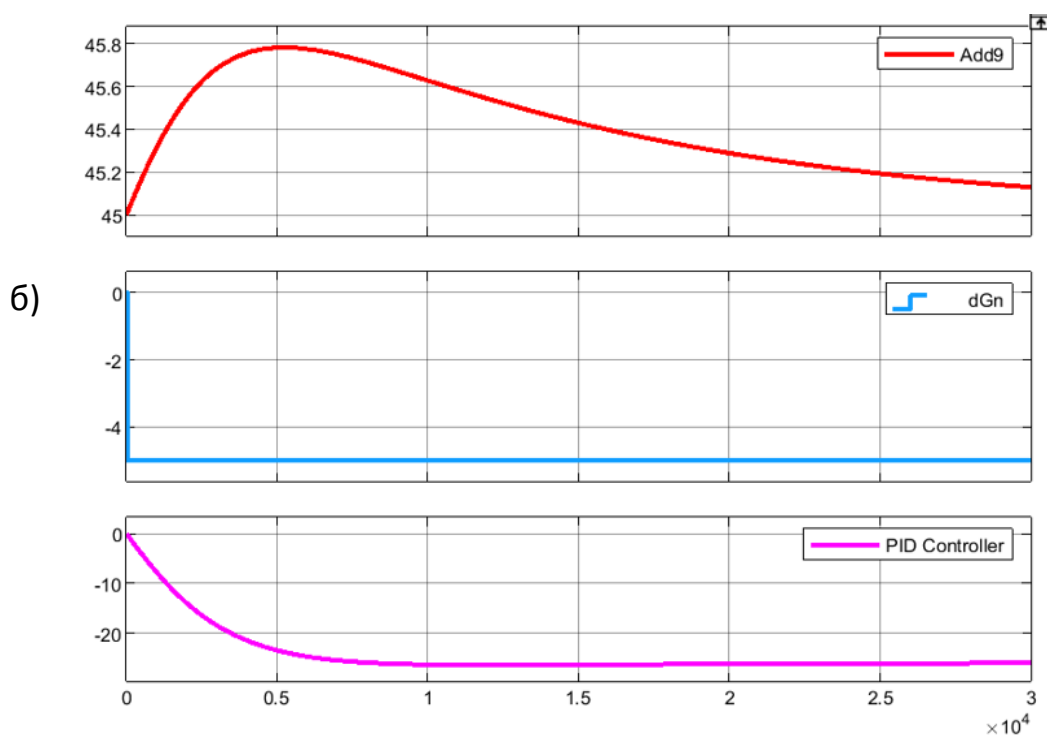
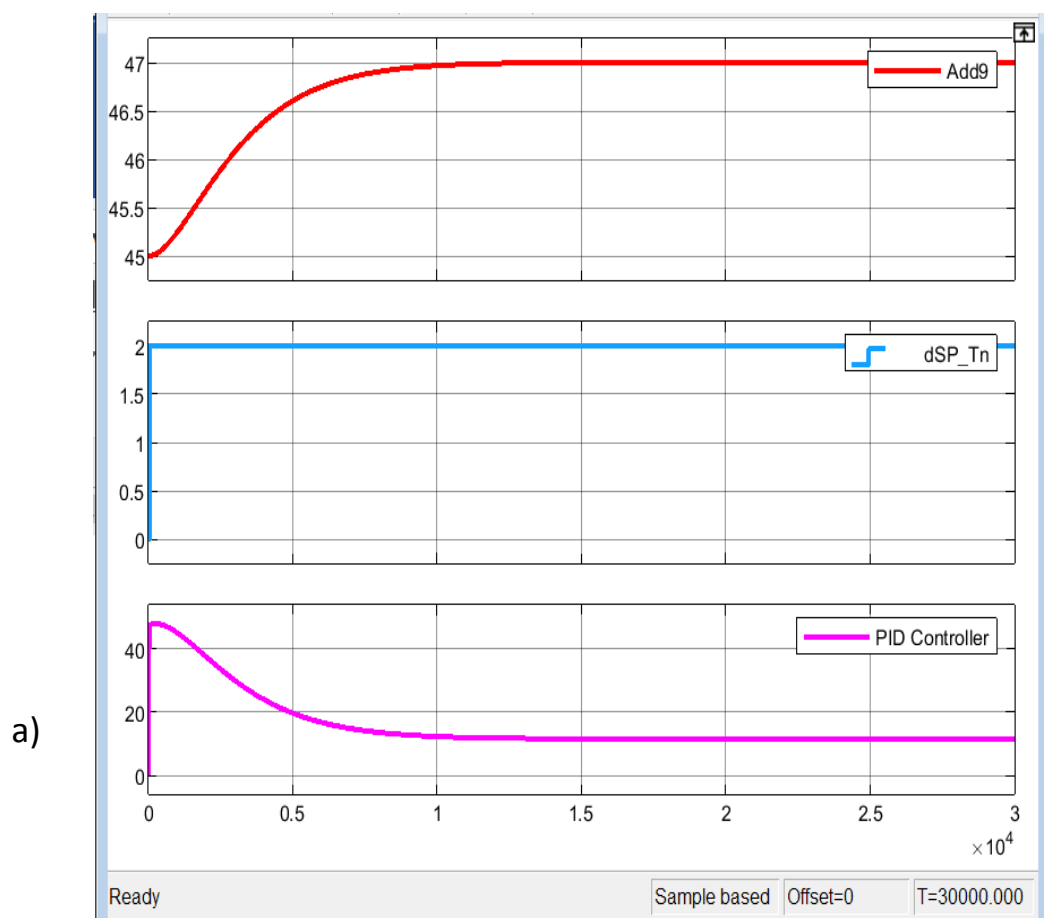


Рисунок3.11- Дослідження АСР при зміні уставки регулятора та приросту G_p

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БР.АКПз- 23.00.00.000. ПЗ

Арк.

34

Як бачимо з рис. 3.11а , регулятор добре відпрацьовує заявлені показники якості при змінах уставки по температурі нафти на виході з підігрівника , але погано реагує на зміни по збурювальним каналам рис. 3.11б (для прикладу, при зміні G_n на -5 кг/с). Зокрема час регулювання збільшується більше ніж у 3 рази.

Очевидно , що для покращення якості регулювання при дії збурювальних чинників доцільно зробити компенсацію їх дії. Для необхідно розробити інваріантну систему керування із застосуванням компенсаторів. Це оптимальний захід , оскільки доопрацювання системи не вимагатиме додаткових фінансових затрат на реалізацію.

3.3 Синтез інваріантної системи керування шляховим підігрівником

Для досягнення повної незалежності основного каналу регулювання від дії збурюючих чинників необхідно компенсувати їх вплив за рахунок сторонніх коректорів- компенсаторів [8]. При цьому компенсатор формує свою дію на вхід об'єкта або регулятора. Компенсатор на вхід об'єкта має простішу структуру оскільки не враховує сам регулятор. Можна показати , що передавальні функції коректорів будуть визначатись виразами:

$$W_{kGn}(s) = \frac{-W_{Gn_Tn}(s)}{W_{B_Tn}(s)};$$

$$W_{kTn0}(s) = \frac{-W_{Tn0_Tn}(s)}{W_{B_Tn}(s)}.$$

Проведені обчислення дали наступний результат:

$$W_{kGn}(s) = \frac{1.002e^{07} s^2 + 1.299e^{04} s + 0.896}{6.918e^{04} s^2 + 8.197e^{06} s + 624.5};$$

$$W_{kTn0}(s) = \frac{-1.055e^{07} s^2 - 1.367e^{04} s - 0.943}{1.011e^5 s^2 + 8.197e^6 s + 624.5}.$$

Отримані передавальні функції коректорів реалізують повну компенсацію дії сторонніх впливів. Пошуки спрощених варіантів не дали позитивних результатів .

Реалізація імітаційної моделі системи керування з врахуванням компенсаторів приведена на рис. 3.12

					БР.АКПз- 23.00.00.000. ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

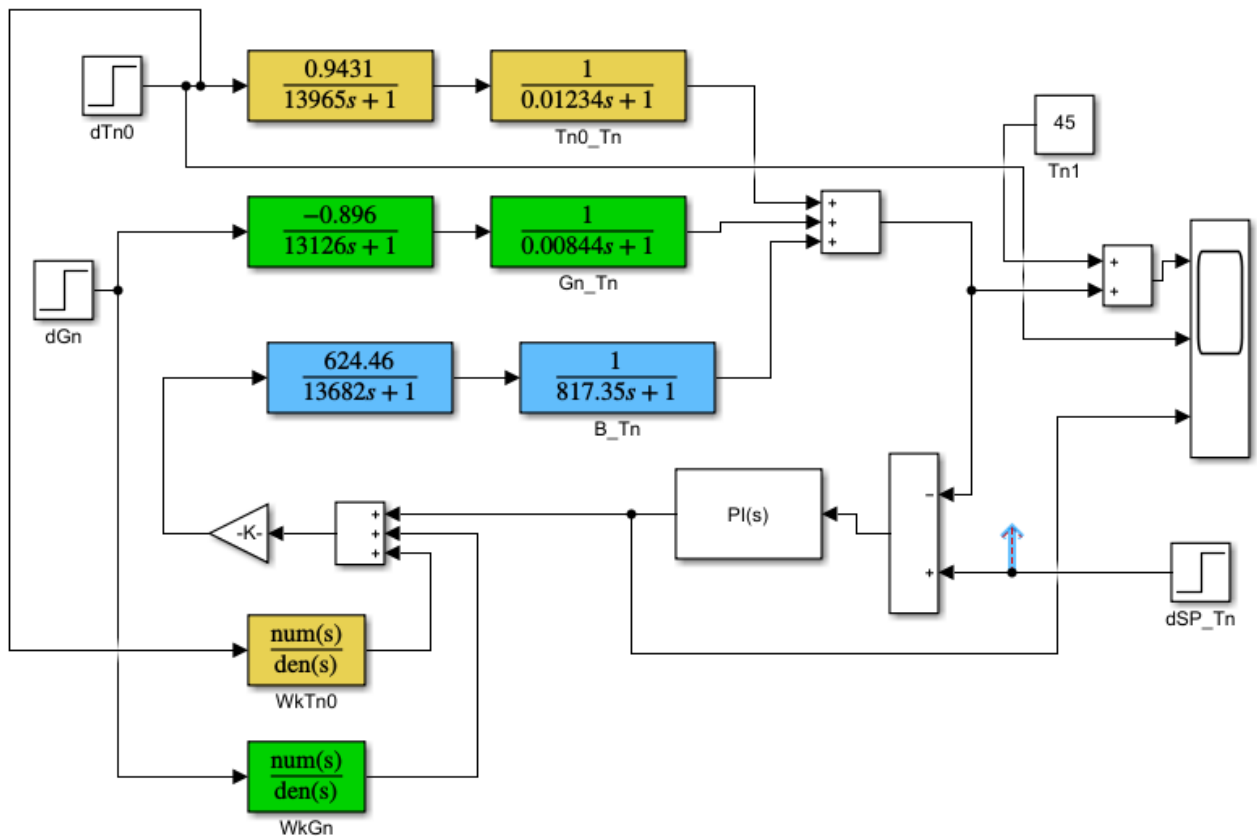


Рисунок 3.12- Реалізація імітаційної моделі інваріантної АСР

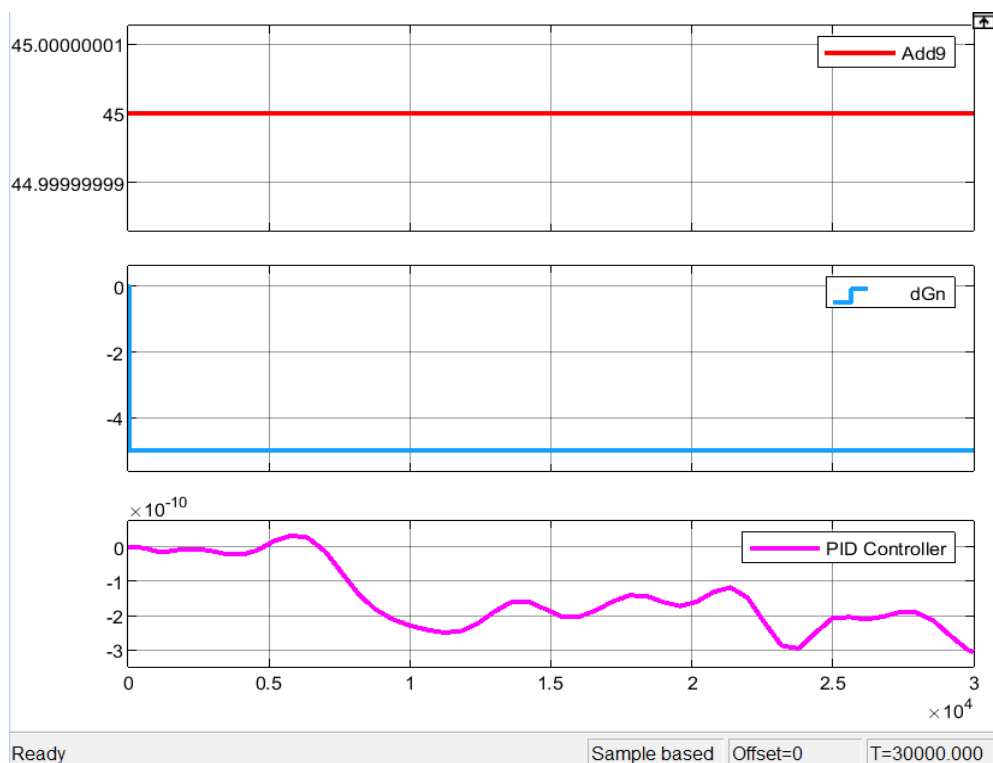


Рисунок 3.13- Дослідження роботи інваріантної АСР

На рис 3.13 показано як компенсується вплив збурення на прикладі каналу Gn при стрибкоподібній зміні на -5 кг/с. Досягається повна компенсація, а незначна

флуктуація пов'язана з округленням параметрів передавальних функцій. Аналогічний результат отриманий і по каналу T_{n0} .

Висновки до розділу

1. Проведена ідентифікація основних каналів підігрівника нафти і отримані лінеаризовані передавальні функції для синтезу АСР.
2. Синтезовано та проведено дослідження одноконтурної АСР з ПІ-регулятором з достатніми для практики параметрами якості роботи.
3. Розроблена інваріантна система забезпечує необхідні якісні показники в роботі АСР і повністю інваріантна до сторонніх впливів по збурювальним каналам.

					БР.АКПз- 23.00.00.000. ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. ОКРЕМІ ПРОЕКТНІ РІШЕННЯ ДЛЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПІДГРІВНИКОМ

4.1 Структура комп'ютерно-інтегрованої системи керування

На рис. 4.1 наведено структурну схему автоматизованої системи керування підігрівником нафти. Система побудована за трирівневою архітектурою та включає польовий, контролерний і диспетчерський рівні.

Польовий рівень представлений первинними вимірювальними перетворювачами та виконавчими механізмами. До його складу входять давачі температури, витрати, тиску та рівня, які забезпечують безперервний контроль технологічних параметрів процесу підігріву нафти. Виконавчі механізми представлені регулювальними клапанами, що здійснюють зміну витрати робочого середовища відповідно до керуючих сигналів системи автоматизації.

Контролерний рівень реалізовано на базі програмованого логічного контролера M172 фірми Schneider Electric. Контролер виконує збір даних від польових пристроїв, обробку інформації, реалізацію алгоритмів автоматичного регулювання та формування керуючих сигналів для виконавчих механізмів.

Обмін даними між контролером та операторською станцією здійснюється через комунікаційний модуль MCSESU053FN0 з використанням мережі Ethernet.

З урахуванням інваріантного принципу побудови системи керування передбачено програмну реалізацію компенсаторів між регульованими координатами та збурюючими впливами.

Диспетчерський рівень представлений автоматизованим робочим місцем (АРМ) оператора, на якому функціонує SCADA-система. АРМ забезпечує візуалізацію технологічного процесу, відображення поточних значень параметрів, архівування даних, формування аварійних повідомлень та надання оператору можливості дистанційного керування технологічним обладнанням.

Таким чином, запропонована структура системи забезпечує централізований моніторинг і керування процесом підігріву нафти, підвищуючи ефективність роботи технологічного обладнання та якість підтримання заданих режимів.

					БР.АКПз- 23.00.00.000. ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

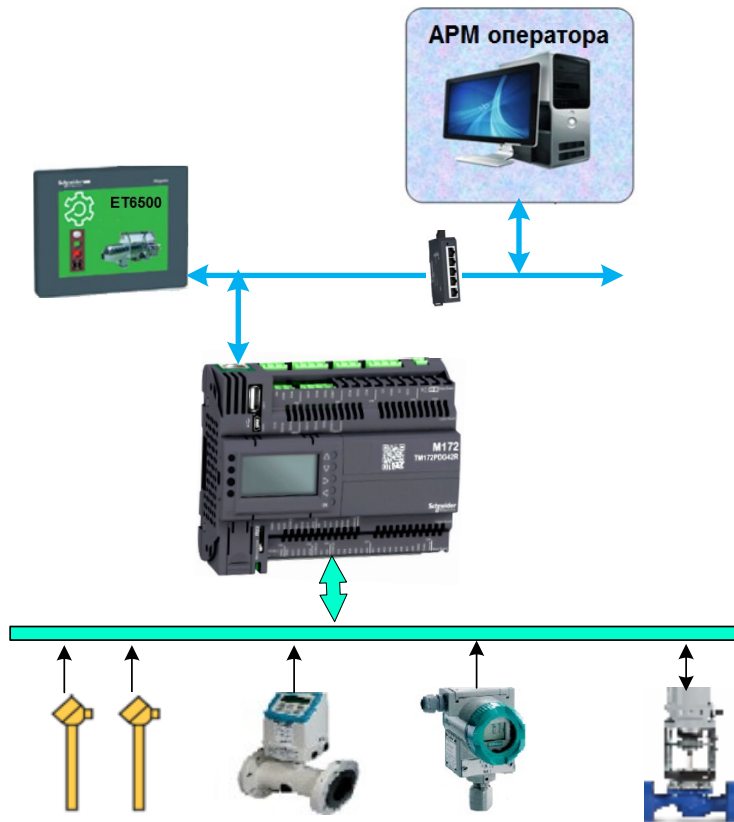


Рисунок 4.1- Структурна схема системи керування підігрівником

Для автоматизації шляхового підігрівника нафти обрано програмований логічний контролер (PLC) Modicon M172 із оновленої лінійки контролерів M171/M172/M173 компанії Schneider Electric. Зазначені контролери широко застосовуються для керування системами HVAC (опалення, вентиляція та кондиціонування повітря), комерційними машинами, а також іншим технологічним обладнанням середньої складності.

Контролер Modicon M172 разом із модулями розширення підтримує до 238 аналогових і дискретних входів/виходів, оснащений широким набором комунікаційних інтерфейсів (CAN, RS-485 та Ethernet), а також вбудованим дисплеєм. Такі технічні характеристики забезпечують можливість його ефективної інтеграції до складу комп'ютерно-інтегрованих систем керування нафтогазових промислів.

Програмування PLC M172 може здійснюватися всіма п'ятьма мовами програмування, стандартизованими міжнародним стандартом IEC 61131-3, що забезпечує високу гнучкість під час розроблення алгоритмів керування.

					БР.АКПз- 23.00.00.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

4.2 Реалізація цифрових коректорів

Аналіз програмної реалізації типових цифрових компенсаторів на основі різницевих рівнянь показує, що для їх функціонування необхідна наявність у програмному середовищі контролера низки базових алгоритмічних засобів, зокрема багатоканальних суматорів, блоків множення та ланцюжків елементів пам'яті для збереження попередніх значень вхідних і вихідних сигналів (зсувних регістрів типу FIFO). Проте бібліотека стандартних функціональних блоків PLC M172 не містить готових блоків реалізації FIFO-регістрів, що ускладнює безпосередню реалізацію цифрового коректора.

Разом із тим інтегроване середовище розробки EcoStruxure Machine Expert – HVAC підтримує створення алгоритмів мовою структурованого тексту (Structured Text, ST), а також розроблення користувацьких функціональних блоків. Це дає змогу реалізувати необхідні алгоритмічні структури шляхом програмування власних функціональних модулів.

В загальному вигляді коректор описується диференційними рівняннями або передавальними функціями. Передавальна функція коректора, в загальному, може мати такий вигляд

$$W(p) = \frac{y(p)}{z(p)} = \frac{b_0 \cdot p^m + b_1 \cdot p^{m-1} + \dots + b_{m-1} \cdot p + b_m}{a_0 \cdot p^n + a_1 \cdot p^{n-1} + \dots + a_{n-1} \cdot p + a_n}, m \leq n,$$

де x, y -вхідна і вихідна координата коригуючого пристрою

Для практичної реалізації коректорів необхідно перейти у дискретну формулу(1) і тоді отримаємо передавальні функції $W(z)$.

$$W(z) = \frac{y(z)}{x(z)} = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} c_i z^{-i}}{1 + \sum_{k=1}^{M-1} d_k z^{-k}}. \quad (4.1)$$

Співвідношення між вхідним та вихідним сигналами лінійної дискретної системи однозначно визначається її основною характеристикою в Z -області — передавальною функцією, і може бути подане у формі лінійного математичного перетворення, вираженого через різницеве рівняння (РР):

					БР.АКПз- 23.00.00.000. ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$y[n] = \sum_{i=0}^{N-1} c_i x[n-i] - \sum_{k=1}^{M-1} d_k y[n-k]$$

З огляду на це для реалізації структури коректора доцільно створити спеціалізований користувацький функціональний блок. Під час кожного циклу дискретизації у функціональному блоці обчислюється вихідний сигнал секції відповідно до рівняння (15), після чого здійснюється збереження попередніх значень вхідних та вихідних сигналів у FIFO-регістрах із відповідним зсувом даних.

$$y(n) = G \cdot (c_0 x(n) + c_1 x(n-1) + c_2 x(n-2) - d_1 y(n-1) - d_2 y(n-2)),$$

Функціональний блок секції FIL реалізовано мовою структурованого тексту ST. Як вхідні параметри використовуються матриці коефіцієнтів **C** та **D**, а також коефіцієнт підсилення каналу **G**. Для забезпечення виконання обчислень відповідно до різницевого рівняння у функціональному блоці реалізовано FIFO-регістри для змінних **x** та **y**, представлені у вигляді векторів. Така структура дозволяє зберігати необхідну передісторію вхідних та вихідних сигналів, що є обов'язковою умовою коректної роботи цифрового фільтра.

$$X\{x[0.1nh], x[0.1(n-1)h], x[0.1(n-2)h]\}; \quad Y\{y[0.1nh], y[0.1(n-1)h], y[0.1(n-2)h]\}$$

В дискретній формі коректор для каналу витрати, має вигляд

$$Wkz1Gn(z) = \frac{144.83922 - 289.7 z^{-1} + 144.83765 z^{-2}}{1 - 1.094 z^{-1} + 0.09351 z^{-2}}$$

Таблиця 4.1 Параметри різницевого рівняння коректора Wkz1Gn(z)

Параметр	Значення	Параметр	Значення
c_0	144.83922	d_0	1
c_1	-289.6768	d_1	144.83765
c_2	144.83765	d_2	0.09351

По аналогії для коректора по каналу температури нафти отримаємо таке представлення в дискретній області

$$Wkz1Tn0(z) = \frac{-98.0065 + 196.0116 z^{-1} - 98.00512 z^{-2}}{1 - 1.19774978 z^{-1} + 0.197751 z^{-2}}$$

Таблиця 4.2- Параметри різницевого рівняння коректора Wkz1Tn0

Параметр	Значення	Параметр	Значення
c_0	144.83922	d_0	1
c_1	-289.6768	d_1	144.83765
c_2	144.83765	d_2	0.09351

Структурна схема коректора реалізована графічною мовою функціональних блокових діаграм FBD та наведена на рис.4.2. Коректор складається з двох екземплярів розробленого функціонального блоку FIL. На входи першого блоку **fil_2** подаються параметри, необхідні для реалізації коректора **Wkz1Gn**, значення яких наведені в таблиці 4.1. На входи блоку **fil_3** подаються параметри, необхідні для реалізації коректора **Wkz1Tn0**, значення яких наведені в таблиці 4.2.

До входів **X** надходять відкалібровані цифрові сигнали від давачів витрати та температури нафти на вході до підігрівника. Давачі підключені до апаратного модуля аналогового введення, який забезпечує перетворення аналогових сигналів у цифрову форму. На вхід **G** подається постійне значення, що дорівнює одиниці. Змінна **h1** визначає період дискретизації та забезпечує необхідний такт роботи коректора.

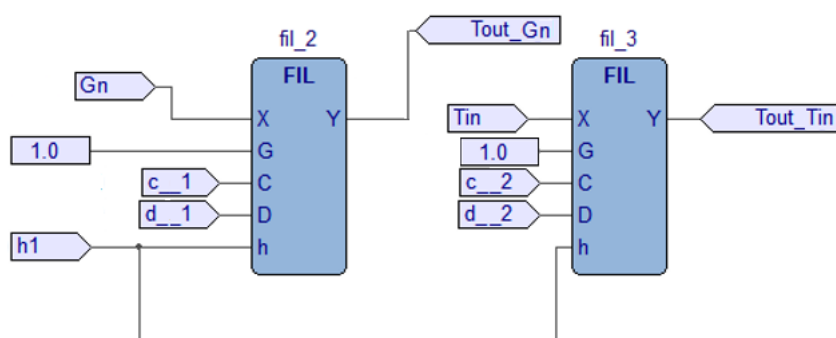


Рисунок 4.2 - Реалізація компенсаторів збурень

4.3 Функціональна схема автоматизації та схема зовнішніх підключень

Функціональна схема автоматизації є технічним документом, що визначає функціонально-блокову структуру окремих вузлів автоматичного контролю,

управління і регулювання технологічного процесу і оснащення об'єкта управління приладами і засобами автоматизації. На функціональній схемі зображаються системи автоматичного контролю, регулювання, дистанційного управління, сигналізації.

Всі елементи систем управління показуються у вигляді умовних зображень і об'єднуються в єдину систему лініями функціональної зв'язку. Функціональна схема автоматичного контролю і управління містить спрощене зображення технологічної схеми процесу. Устаткування на схемі показується у вигляді умовних зображень.

При розробці функціональної схеми автоматизації технологічного процесу вирішені наступні завдання:

- ☐ завдання отримання первинної інформації про стан технологічного процесу і обладнання;
- ☐ завдання безпосереднього впливу на технологічний процес для управління ним і стабілізації технологічних параметрів процесу;
- ☐ завдання контролю і реєстрації технологічних параметрів процесів і стану технологічного обладнання.

Функціональна схема автоматизації виконана згідно діючих стандартів та приведена на листі ДП.АКПз-23.00.00.000.01. На схемі виділені канали вимірювання і канали управління.

Схема зовнішньої проводки приведена на листі ДП.АКТз-23.00.00.000.06. Датчики температури мають вбудований перетворювач сигналу термоопору в уніфікований струмовий сигнал 4-20 мА. Датчик тиску перетворює сигнал з сенсора на базі ємнісної комірки в уніфікований струмовий сигнал 4-20 мА. Для виконання з'єднань використаний кабель КВВГ НГ.

4.4 Вибір технічних засобів автоматизації

Датчики температури Foxboro RTT20

Для контролю температури нафти в системі автоматизації використовуються інтелектуальні температурні перетворювачі **Foxboro RTT20**.

					БР.АКПз- 23.00.00.000. ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Прилад призначений для роботи з термометрами опору та термопарами, забезпечуючи перетворення виміряного значення температури в уніфікований аналоговий сигнал **4–20 мА**, який надходить до програмованого логічного контролера.



Застосування датчиків RTT20 дозволяє здійснювати безперервний моніторинг температурного режиму підігрівача нафти та реалізовувати алгоритми автоматичного регулювання температури технологічного процесу. Прилади характеризуються високою точністю вимірювання, надійністю роботи в промислових умовах та стійкістю до впливу електромагнітних завад.

Основні технічні характеристики перетворювача Foxboro RTT20:

- тип вхідного сигналу — термометри опору RTD та термопари;
- вихідний сигнал — 4–20 мА;
- протокол цифрового зв'язку — HART (опціонально);
- похибка перетворення — до $\pm 0,1$ % від діапазону вимірювання;
- напруга живлення — 12–42 В постійного струму;
- час реакції — менше 1 с;
- гальванічна ізоляція входу та виходу;
- робоча температура навколишнього середовища — від -40 °C до $+85$ °C;
- ступінь захисту залежить від виконання та монтажного корпусу.

Використання температурних перетворювачів Foxboro RTT20 забезпечує високу достовірність вимірювання температури нафти та підвищує ефективність функціонування системи автоматичного керування процесом підігріву.

Датчик рівня теплоносія 244LD LevelStar

Для безперервного контролю рівня теплоносія в установці використовується буйковий рівнемір **244LD LevelStar**. Прилад призначений для вимірювання рівня рідин у резервуарах і технологічних апаратах, а також для передачі результатів вимірювання до системи



автоматизованого керування у вигляді стандартного струмового сигналу 4–20 мА.

					БР.АКПз- 23.00.00.000. ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Принцип дії рівнеміра ґрунтується на вимірюванні виштовхувальної сили, що діє на буйок відповідно до закону Архімеда. Зміна рівня рідини призводить до зміни зануреної частини буйка, а отже й величини виштовхувальної сили. Отриманий сигнал перетворюється електронним блоком у стандартизований вихідний сигнал, пропорційний рівню середовища.

Рівнемір 244LD LevelStar забезпечує високу точність вимірювання, надійність роботи в складних промислових умовах та можливість використання в системах автоматичного регулювання і протиаварійного захисту. Дані про рівень теплоносія використовуються для підтримання безпечного режиму експлуатації установки та формування аварійних сигналів у разі виходу параметра за допустимі межі.

Основні технічні характеристики приладу:

- принцип вимірювання — буйковий;
- вимірюване середовище — рідини;
- вихідний сигнал — 4–20 мА з підтримкою протоколу HART;
- похибка вимірювання — до $\pm 0,1$ % від діапазону;
- напруга живлення — 12–42 В постійного струму;
- діапазон вимірювання — визначається довжиною буйка та умовами застосування;
- можливість роботи при підвищених температурах і тисках;
- вибухозахищене виконання для використання на вибухонебезпечних об'єктах.

Застосування буйкового рівнеміра 244LD LevelStar забезпечує надійний контроль рівня теплоносія та підвищує ефективність функціонування системи автоматизації технологічного процесу.

Датчики тиску палива Foxboro IGP50 та IDP50

Для контролю тиску палива в системі автоматизації використовуються інтелектуальні датчики тиску серії **Foxboro Premium Performance IGP50** та **IDP50**.

					БР.АКПз- 23.00.00.000. ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Датчик **IGP50** призначений для вимірювання надлишкового тиску, тоді як **IDP50** використовується для вимірювання перепаду тиску. Прилади забезпечують безперервний контроль параметрів паливної системи та передачу результатів вимірювання до програмованого логічного контролера у вигляді стандартного сигналу 4–20 мА.



Отримані дані використовуються для контролю роботи пальникових пристроїв, забезпечення стабільного процесу горіння, формування попереджувальних та аварійних сигналів, а також реалізації алгоритмів технологічного захисту.

Датчики серії Premium Performance характеризуються високою точністю вимірювання, довготривалою стабільністю метрологічних характеристик та надійністю експлуатації в складних промислових умовах. Прилади підтримують цифровий протокол HART, що дозволяє здійснювати дистанційне налаштування, діагностику та конфігурування параметрів.

Основні технічні характеристики:

- вимірювана величина — надлишковий тиск (IGP50) або перепад тиску (IDP50);
- вихідний сигнал — 4–20 мА з підтримкою протоколу HART;
- точність вимірювання — до $\pm 0,05$ % від верхньої межі діапазону;
- напруга живлення — 12–42 В постійного струму;
- висока довгострокова стабільність показань;
- можливість роботи у вибухонебезпечних зонах;
- ступінь захисту корпусу — до IP66/IP67;
- широкий діапазон робочих температур і тисків.

Застосування датчиків Foxboro IGP50 та IDP50 забезпечує надійний контроль параметрів паливної системи, підвищує ефективність процесу спалювання палива та сприяє безпечній експлуатації технологічного обладнання.

					БР.АКПз- 23.00.00.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Регулюючий клапан Foxboro VTX10 General Service Control Valve

Для автоматичного регулювання подачі теплоносія та палива в системі використовується регулюючий клапан *Foxboro VTX10 General Service Control Valve*. Клапан належить до класу односідельних регулюючих клапанів загального призначення та призначений для точного керування витратою, тиском і рівнем рідких та газоподібних середовищ.



Керування клапаном здійснюється за допомогою пневматичного приводу та електропневматичного позиціонера, який приймає стандартний сигнал керування 4–20 мА від програмованого логічного контролера. Залежно від величини керуючого сигналу змінюється ступінь відкриття клапана, що забезпечує необхідну витрату робочого середовища.

Клапан VTX10 характеризується високою точністю регулювання, надійністю роботи та стійкістю до впливу агресивних умов промислового середовища. Конструкція клапана дозволяє реалізувати безпечне положення виконавчого механізму при втраті живлення або керуючого сигналу, що є важливим елементом системи технологічного захисту.

Основні технічні характеристики:

- тип клапана — односідельний регулюючий клапан;
- тип приводу — пневматичний;
- керуючий сигнал позиціонера — 4–20 мА;
- робочі середовища — рідини, гази та пара;
- висока пропускна здатність і точність регулювання;
- можливість виконання функцій Fail Open або Fail Close;
- придатність для експлуатації у вибухонебезпечних зонах;
- тривалий ресурс роботи та мінімальні вимоги до технічного обслуговування.

Застосування регулюючого клапана Foxboro VTX10 забезпечує ефективне керування подачею теплоносія та палива, підвищує якість автоматичного

					БР.АКПз- 23.00.00.000. ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

регулювання температурного режиму підігрівача нафти та сприяє безпечній експлуатації технологічного обладнання.

Витратомір нафти Foxboro CFT34A (перетворювач масової витрати та густини)

Для вимірювання витрати нафти в системі автоматизації використовується коріолісовий витратомір **Foxboro CFT34A**, призначений для безперервного визначення масової витрати, густини та температури робочого середовища. Прилад забезпечує високу точність вимірювань і застосовується для обліку та контролю технологічних потоків рідких вуглеводнів.



Принцип дії витратоміра базується на використанні ефекту Коріоліса. Під час проходження рідини через віброуючі вимірювальні трубки виникають сили Коріоліса, величина яких пропорційна масовій витраті середовища. Аналізуючи параметри коливань трубок, прилад одночасно визначає масову витрату, густину та температуру продукту.

Отримані виміряні значення передаються до програмованого логічного контролера за допомогою стандартного струмового сигналу 4–20 мА та цифрових протоколів зв'язку. Дані використовуються для автоматичного керування процесом підігріву нафти, розрахунку матеріального балансу та контролю ефективності роботи технологічного обладнання.

Основні технічні характеристики:

- тип приладу — коріолісовий витратомір;
- вимірювані параметри — масова витрата, густина та температура середовища;
- вихідний сигнал — 4–20 мА;
- цифровий інтерфейс — HART;
- похибка вимірювання масової витрати — до $\pm 0,1$ % від вимірюваного значення;
- похибка вимірювання густини — до $\pm 0,0005$ г/см³;

					БР.АКПз- 23.00.00.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

- можливість двонаправленого вимірювання потоку;
- відсутність рухомих частин у вимірювальному елементі;
- вибухозахищене виконання для використання на об'єктах нафтогазової промисловості;
- висока стабільність метрологічних характеристик протягом усього терміну експлуатації.

Використання витратоміра Foxboro CFT34A забезпечує високоточний контроль витрати та фізичних властивостей нафти, що дозволяє підвищити ефективність автоматизованого керування технологічним процесом і достовірність обліку продукції.

4.5 Розроблення екранних форм системи управління

Інформація для фахівців структурується наборами екранних форм на АРМ та оперативного управління на панелі НМІ. На моніторі АРМ оператора (SCADA) відображаються різні інформаційні та керуючі елементи.

На АРМ диспетчера автоматично формуються різні види звітів, всі звіти формуються в форматі XML.

Екрани для оперативного контролю технологічного процесу підігріву нафти на панелі ET6500 розробляються окремо (рис.4.3) У центральній частині відображено мнемосхему підігрівника з основними трубопроводами, запірно-регулюючою арматурою та поточними значеннями технологічних параметрів.

На екрані оператор може контролювати:

- температуру нафти на вході, виході та в печі;
- тиск газового та рідкого палива (альтернатива);
- рівень теплоносія;
- витрату нафти;
- положення регулюючих клапанів;
- стан пальника та полум'я.

Праворуч розташовані панелі активних тривог і сигналізації, що відображають аварійні та попереджувальні повідомлення. У нижній частині знаходяться

					БР.АКПз- 23.00.00.000. ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

індикатори стану установки, режиму регулювання та кнопки керування («Пуск», «Стоп», «Авто», «Ручний»).



Рисунок 4.3- Екран огляду управління підігрівником нафти.

Верхнє та нижнє меню забезпечують швидкий перехід до екранів температури, тиску, витрати, рівня, трендів і налаштувань системи.

Висновки по розділу

В даному розділі розроблена архітектура КІСУ підігрівником нафти у складі УКПН , яка ґрунтується на вимогах та функціях до системи. Проведений вибір технічних засобів автоматизації для реалізації системи . Розроблені основні проектні документи для даної системи.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В бакалаврській роботі проведений аналіз технологічного процесу підігріву нафти у шляхових підігрівачах на УКПН. Встановлені основні параметри контролю і регулювання. Виконаний розрахунок статичного режиму підігрівника з проміжним теплоносієм та встановлені параметри робочої точки .

На основі теплового та матеріального балансу ПП складені рівняння динаміки , які є основою математичної моделі процесу підігріву. Математична модель є базою синтезованої імітаційної моделі підігрівника. Імітаційні експерименти дозволили оцінити вплив основних параметрів на роботу установки та оцінити інерційність каналів регулювання та збурення.

В Сімулінк розроблена симуляційна модель одноконтурної САР температурою нафти на виході з підігрівника. Проведені дослідження при основних збурювальних факторах та зміною уставки регулятора. Синтезована система регулювання в основному відповідає показникам якості роботи при підігріві нафти . Для покращення роботи системи розраховані коректори для компенсації основних збурень $Tn0$ і Gn , які діють в каналі подачі нафти, що дозволяє синтезувати інваріантну АСР з кращими показниками роботи.

Розроблені основні проектні документи , такі як- функціональна схема автоматизації підігрівника, схема зовнішніх підключень, структура комп'ютерно-інтегрованої системи та екранна форма НМІ для оперативного управління процесом.

Для реалізації проекту підібрані необхідні технічні засоби автоматизації, які дозволяють підвищити ефективність автоматизованого керування технологічним процесом підігріву нафти.

					БР.АКПз- 23.00.00.000. ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Установки підігріву нафти: подорожні підігрівники нафти трубопровідні автоматизовані ПТ-25/100М-1Р; ПТ-16/150М-1Р; ПТ-16/15УП-1Р веб-сайт. URL:

<https://ua.all.biz/uk/ustanovky-pidigrivu-nafty-podorozhni-pidigrivnyky-g608213> (дата звернення: 21.05.2026)

2. Modicon M171/M172/M173 Logic controllers for HVAC and Pumping applications (9.1) PDF (17.1 MB) | Apr 14 2026 | Catalog . Режим доступу :

https://download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=DIA3ED2151001EN&p_enDocType=Catalog&p_File_Name=Modicon+M171M172M173+Logic+controllers+for+HVAC+and+Pumping+applications+Catalog.pdf

3. EcoStruxure Machine Expert - HVAC, Operating Guide (09) PDF (11.7 MB) | Feb 01 2026 | User guide . Режим доступу :

https://download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=EIO0000003412&p_enDocType=User+guide&p_File_Name=ESME-HVAC-Operating-Guide-EN-EIO0000003412-09.pdf

4. EcoStruxure Machine Expert- HVAC BACnet Objects BACnet, Application Notes (01) PDF (8.9 MB) | Feb 01 2026 | Application Notes . Режим доступу :

https://download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=EIO0000005915&p_enDocType=Application+Notes&p_File_Name=E SME-HVAC-BACnet-App-Notes-EN-EIO0000005915-01.pdf

5. Modicon M172 Logic Controller, Hardware Guide (11) PDF (8.8 MB) | Feb 01 2026 | User guide . Режим доступу :

https://download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=EIO0000002015&p_enDocType=User+guide&p_File_Name=M172-Hardware-Guide-EN-EIO0000002015-11.pdf

6. Каталог Easy Harmony ET6 (1.0) PDF (2,4 MB) | 05 жовт. 2022 | Каталог

Режим доступу : https://download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=UAM-DIA5ED2210601EN&p_enDocType=Catalog&p_File_Name=%D0%9A%D0%B0%D1%82%D0%B0

7. Горбійчук, М. І. Математична модель підігрівника з проміжним теплоносієм [Текст] / М. І. Горбійчук, М. І. Когутяк, В. М. Гарасимів // Методи та прилади контролю якості. - 2021. - № 2. - С. 83-95.

[https://doi.org/10.31471/1993-9981-2021-2\(47\)-83-95](https://doi.org/10.31471/1993-9981-2021-2(47)-83-95)

<http://elar.nung.edu.ua/handle/123456789/9282>

					БР.АКПз- 23.00.00.000. ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8. Авраменко В. С., Авраменко А. С. Проектування інформаційних систем: навч. посіб. Черкаси : Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького, 2017. 434 с. 22.

9. Горбійчук, М., Василенчук, М., & Когутяк, М. (2024). Дослідження динамічних властивостей непрямого нагрівника нафти як об'єкта автоматичного керування. *Вісник Приазовського Державного Технічного Університету. Серія: Технічні науки*, 2(49), 29–40. <https://doi.org/10.31498/2225-6733.49.2.2024.321350>

10. М. І. Горбійчук, М. З. Василенчук, М. І. Когутяк. Інваріантна система автоматичного керування шляховим нагрівачем нафти/ Том 1 № 3(94) (2025): Вісник Херсонського національного технічного університету, 57-69

DOI: <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2025.3.1>

					БР.АКПз- 23.00.00.000. ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

БІБЛІОГРАФІЧНА ДОВІДКА

Тема кваліфікаційної роботи: «Автоматизація блочної печі підігріву нафти».

Обсяг пояснювальної записки: 53 аркушів.

Перелік креслень графічної частини:

1 -Функціональна схема автоматизації ПП- БР.АКПз-23.00.00.000 01

2 -Математична модель підігрівника ПП- БР.АКПз-23.00.00.000 02

3-Аналіз одноконтурної АСР температури підігрівника-
БР.АКПз.23.00.00.000 03

4 - Аналіз інваріантної АСР температури - БР.АКПз-23.00.00.000 04

5 - Ієрархічна структура АСК установки- БР.АКПз-23.00.00.000 05

6 - Схема зовнішніх підключень - БР.АКПз-23.00.00.000 06

Дата закінчення проекту_____ .

Підпис студента-дипломника _____

					БР.АКПз- 23.00.00.000. ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		