

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

БР.АКП-69.00.00.000 ПЗ

Група АКП-23-2К

Дмитро Чупак

2025

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

Чупак Дмитро Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 665.6

(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Автоматизація технологічного процесу бітумної установки з реактором

(назва роботи)

змійкового типу

Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(назва освітньої програми)

174 - Автоматизація та 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

(посада)

(підпис)

(дата)

О.В. Кучмистенко

(ініціали та прізвище)

Здобувач освітнього ступеня

АКП-23-2К

(шифр групи)

(підпис)

(дата)

Д.С. Чупак

(ініціали та прізвище)

Рецензент

доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

В.С. Борин

(ініціали та прізвище)

Науковий керівник

доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

Л.І. Фешанич

(ініціали та прізвище)

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

А.І. Лагойда

(ініціали та прізвище)

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет автоматизації та енергетики

Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Освітній рівень перший (бакалаврський)

Спеціальність 174 - Автоматизація та комп'ютерні інтегровані технології та робототехніка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АКІТ

А.І. Лагойда

« » 20 року

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

Чупаку Дмитру Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Автоматизація технологічного процесу бітумної установки з реактором змійкового типу

керівник роботи Фешанич Лідія Ігорівна к.т.н., доцент

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від «07» травня 2025 року №

2. Строк подання студентом роботи 13.06.2025

3. Вихідні дані до роботи матеріали переддипломної практики, методичні вказівки, технічна література, інтернет-ресурс.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Вступ

2. Аналіз технологічного процесу виготовлення бітумів як об'єкта автоматичного контролю і керування

3. Математичне моделювання і ідентифікація об'єкта керування

4. Синтез та аналіз системи автоматичного керування

5. Розробка проектної складової САК

6. Загальні висновки

7. Перелік посилань на джерела

8. Додатки

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

Лист 1 – Технологічна схема бітумної установки з реактором змійкового типу – БР.АКП-69.00.00.001;

Лист 2 – Функціональна схема – БР.АКП-69.00.00.002;

Лист 3 – Схема з'єднань – БР.АКП-69.00.00.003;

Лист 4 – Схема з'єднань – БР.АКП-69.00.00.004;

Лист 5 – Схема з'єднань – БР.АКП-69.00.00.005;

Лист 6 – Щит системи – БР.АКП-69.00.00.006;

АНОТАЦІЯ

Бакалаврська робота містить: 60 сторінок друкованого тексту, 17 рисунків, 2 таблиці, 7 переліків посилань на джерела і 6 додатки.

Тема: Автоматизація технологічного процесу бітумної установки з реактором змійкового типу.

Об'єкт дослідження: Процес зняття екзотермічної реакції бітумів у реакторі змійкового типу.

Мета роботи: Аналіз технологічного процесу виробництва бітуму, вибір параметрів контролю та регулювання, розроблення математичної моделі яке складається з вибору та визначення характеристик об'єкту автоматизації, синтез системи автоматичного керування, аналіз роботи розроблених САК, вибір технічних засобів автоматизації до функціональної системи автоматизації, та розроблення додаткових проектних рішень як щит та зовнішні підключення..

Методи дослідження: моделювання роботи САК, аналіз характеристичних рівнянь, застосування критерію Михайлова для оцінки стійкості..

Результати бакалаврської роботи: проаналізовано технологічний процес окиснення гудрону та визначено об'єкт автоматизації реактор змійкового типу. Вибір основних приладів та технічних засобів автоматизації. Розроблено математичну модель об'єкта, визначено параметри ПІ-регулятора. Змодельовано роботу системи та побудовано графіки перехідних процесів. Також виконано технічне проектування щита керування та функціональної схеми автоматизації.

Ключові слова: автоматизація, система автоматичного керування, ПІ-регулятор, бітум, реактор змійкового типу, гудрон.

ABSTRACT

The bachelor's thesis contains: 60 pages of printed text, 17 figures, 2 tables, 7 lists of references and 6 appendices.

Theme: Automation of the technological process of a bitumen plant with a snake-type reactor.

Object of research: The process of removing the exothermic reaction of bitumen in a coil reactor.

Project objective: Analysis of the technological process of bitumen production, selection of control and regulation parameters, development of a mathematical model consisting of the selection and determination of the characteristics of the automation object, synthesis of the automatic control system, analysis of the developed ACS, selection of technical means of automation to the functional automation system, and development of additional design solutions such as a panel and external connections.

Research methods: modelling the operation of the ACS, analysing the characteristic equations, applying the Mikhailov criterion to assess stability.

The results of the diploma design: the technological process of tar oxidation was analysed and the object of automation was determined - a coil-type reactor. Selection of basic instruments and technical means of automation. A mathematical model of the object was developed, and the parameters of the PI controller were determined. The system operation is modelled and transient diagrams are plotted. The technical design of the control panel and the functional automation scheme was also performed.

Keywords: automation, automatic control system, PI controller, bitumen, coil-type reactor, tar.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ.....	9
ВСТУП.....	10
1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ БІТУМІВ ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ І КЕРУВАННЯ.....	12
1.1 Призначення установки та суть процесу.....	12
1.2 Характеристика продукції, сировини та реагентів.....	14
1.3 Аналіз технологічної схеми установки бітумної установки.....	17
1.4 Технічна характеристика технологічного обладнання.....	20
1.5 Вибір та обґрунтування параметрів контролю і регулювання.....	23
Висновки до розділу.....	23
2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І ІДЕНТИФІКАЦІЯ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ.....	25
2.1 Обґрунтування вибору об'єкта автоматизації.....	25
2.2 Визначення характеристик об'єкта автоматизації.....	27
Висновки до розділу.....	28
3 СИНТЕЗ ТА АНАЛІЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ.....	30
3.1. Синтез одноконтурної системи автоматичного керування.....	30
3.2 Синтез ефективних системи автоматичного керування.....	33
3.3 Аналіз роботи розроблених систем автоматичного керування.....	34
Висновки до розділу.....	38

					БР.АКП-69.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Автоматизація технологічного процесу бітумної установки з реактором змійкового типу	Літ.	Арк.	Акрушів
						7	61	
Розроб.		Чупак Д.С.				Група АКП-23-2К ІФНТУНГ		
Перевір.		Фешанич Л.І.						
Реценз.		Борин В.С.						
Н. Контр.		Кучмистенко О.В.						
Затверд.		Лагойда А.І.						

4 РОЗРОБКА ПРОЕКТНОЇ СКЛАДОВОЇ САК.....	40
4.1 Вибір технічних засобів автоматизації.....	40
4.2 Розробка функціональної схеми автоматизації.....	45
4.3 Розробка додаткових проектних рішень.....	47
Висновки до розділу.....	53
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	54
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА.....	55
ДОДАТКИ	56

					БР.АКП-69.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

САК — система автоматичного керування

ПІ-регулятор — пропорційно-інтегральний регулятор

К-1 — компресор

ПР-1 — повітряний ресивер

З-1 — збірник для нагрітої сировини

ЗМ-1 — змішувач гудрону з повітрям

Р-1 — реактор змійкового типу

П-1 — трубчаста піч

В-1 — випарник

					БР.АКП-69.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		9

ВСТУП

У сучасній промисловості важливе місце займає виробництво нафтових бітумів, які широко використовуються в дорожньому будівництві, гідроізоляції та інших галузях. Бітумна установка з реактором змійкового типу забезпечує ефективний процес окиснення нафтової сировини, дозволяючи отримувати високоякісні бітумні продукти.

Ця технологія базується на хімічних реакціях окиснення гудронів, напівгудронів і мазутів (залишків перегонки нафти при температурах вище 350 °С), які проходять у змійовику реактора. Особливістю процесу є використання кисню, поданого разом із сировиною в реактор, що забезпечує стабільність окиснювальних процесів.

Основні технологічні етапи включають:

- Нагрівання сировини в трубчастій печі до температури 260–270 °С.
- Окиснення в реакторі змійовикового типу з ефективним відведенням тепла реакції.
- Розділення фаз та очищення продуктів реакції.
- Конденсацію парів нафтопродуктів для отримання вторинних паливних фракцій (чорного соляру).
- Рециркуляцію бітуму для регулювання властивостей кінцевого продукту.

Метою є аналіз технологічного процесу виробництва бітуму, призначення установки, характеристика продукції, аналіз технологічної схеми, технічна характеристика обладнання, вибір параметрів контролю та регулювання, розроблення математичної моделі яке складається з вибору та визначення

характеристик об'єкту автоматизації, синтез одноконтурної системи автоматичного керування, синтез ефективних систем автоматичного керування, аналіз роботи розроблених САК, вибір технічних засобів автоматизації до функціональної системи автоматизації, та розроблення додаткових проектних рішень як щит та зовнішні підключення.

					БР.АКП-69.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		10

Досягнення мети дозволить для аналізу технологічного процесу виробництва бітуму визначити особливості хімічних і фізичних перетворень. Характеристика продукції визначення його технічних параметрів та адаптації системи автоматичного керування до конкретних умов виробництва. Аналіз технологічної схеми та технічна характеристика обладнання точно ідентифікувати об'єкти керування, визначити їхні вхідні та вихідні параметри. Вибір параметрів контролю і регулювання для забезпечення стабільності технологічного процесу.

Розробка математичної моделі з урахуванням характеристик об'єкта автоматизації, основа для створення надійної САК. Аналіз роботи розробленої системи керування дозволяє оцінити її стійкість, точність, швидкодію та ефективність у певних умовах.

Вибір технічних засобів автоматизації та побудова функціональної схеми автоматизації для впровадження розробленої системи на практиці. Розроблення додаткових проектних рішень, таких як щити керування та зовнішні підключення, для застосування системи автоматизації на бітумній установці.

					БР.АКП-69.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		11

1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ БІТУМІВ ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ КЕРУВАННЯ

1.1 Призначення установки та суть процесу

Бітумна установка з реактором змієвикового типу призначена для переробки важких залишкових фракцій нафти з метою одержання окиснених бітумів — цінного матеріалу, що знаходить широке застосування в будівництві, зокрема в дорожньому покритті, гідроізоляції, антикорозійному захисті та покрівельних роботах. Основна мета функціонування установки — забезпечення безперервного, стабільного та керованого процесу окиснення важких вуглеводнів, таких як гудрони, півгудрони та мазути з температурою кипіння понад 350 °С, із подальшим отриманням готового товарного бітуму з регульованими властивостями.

Суть процесу полягає в окисненні сировини атмосферним повітрям у реакторі змієвикової конструкції. Це складна фізико-хімічна трансформація, у результаті якої молекули смолисто-асфальтенових компонентів реагують з киснем, збільшуючи свою молекулярну масу, що змінює структуру, в'язкість, температурні характеристики та адгезійні властивості кінцевого продукту. Окиснення є екзотермічним процесом, тобто супроводжується виділенням значної кількості тепла, тому технологічна схема передбачає наявність систем охолодження та рециркуляції, що дозволяють підтримувати стабільну температуру в межах оптимального технологічного вікна.

Функціональна структура установки включає кілька ключових секцій: зону попереднього нагрівання, реакторний блок, вузол фазового розділення, секцію охолодження та конденсації, систему сепарації, а також утилізаційний блок для газоподібних побічних продуктів. Усі етапи з'єднані в єдиний безперервний процес, який забезпечує не тільки якість продукту, але й екологічну безпеку виробництва.

					БР.АКП-69.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		12

На початковому етапі гудрон із резервуарів подається поршневим насосом у зміювик трубчастої печі, де нагрівається до температури 260–270 °С. Це необхідно для зниження в'язкості сировини й покращення умов масообміну в подальших стадіях. Після нагрівання сировина надходить до збирача, звідки подається до змішувача, де змішується зі стисненим повітрям, а також частково з рециркульованим окисненим бітумом, що забезпечує стабільність параметрів суміші.

Отримана суміш надходить до реактора — вертикального зміювика, який складається з труб завдовжки до 400 м, де протікає основна реакція окиснення. У зміювику реалізується режим пінного окиснення, який забезпечує високий ступінь контакту між сировиною та киснем повітря. Для зниження ризику перегріву міжтрубний простір реактора обдувається повітрям за допомогою вентилятора, що відводить надлишкове тепло.

Продукти окиснення з реактора надходять до випарника, де відбувається розділення на газоподібну та рідку фази. Газова суміш, що містить пари нафтопродуктів, воду й залишкові гази окиснення, спрямовується до повітряного охолоджувача, а потім до сепаратора, в якому частина парів конденсується у вигляді так званого чорного соляру. Ця фракція, що має паливну цінність, може бути використана як компонент мазуту або як енергоносій.

Несконденсовані гази подаються в топку, де спалюються з метою зменшення шкідливих викидів у навколишнє середовище. Такий підхід дозволяє реалізувати безвідходну або маловідходну технологію переробки, що відповідає сучасним вимогам екологічної безпеки.

Рідка фаза, що утворюється у випарнику, є окисненим бітумом. Частина цього продукту повертається в процес як рециркуляційна складова для стабілізації реакції, інша частина направляється на охолодження та подальше відвантаження у бітумоприймачі. У разі потреби до готового бітуму додаються

					БР.АКП-69.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		13

поверхнево-активні речовини (до 5%) для покращення його адгезійних характеристик.

Таким чином, дана установка реалізує повний цикл перетворення важких нафтових залишків у високоякісний товарний бітум. Процес є безперервним, регульованим та оптимізованим за енергоспоживанням і екологічними показниками. Завдяки глибокій автоматизації, рециркуляції продуктів і утилізації відходів установка демонструє високу продуктивність, економічність та відповідність сучасним технологічним стандартам.

1.2 Характеристика продукції, сировини та реагентів

У процесі виробництва нафтових бітумів важливу роль відіграють якісні характеристики сировини, а також специфічні властивості кінцевої продукції. Основною сировиною для виробництва бітумів є гудрон — важкий залишковий продукт вакуумної перегонки мазуту, що утворюється у процесі первинної переробки нафти. Гудрон являє собою складну багатокомпонентну суміш високомолекулярних вуглеводнів та їх похідних, яка слугує незамінною сировиною для виготовлення різноманітних видів нафтових бітумів, мастик, гідроізоляційних матеріалів.

Фізико-хімічні властивості гудрону визначають його ефективність у подальшій переробці та якість отриманого бітуму. Однією з головних характеристик гудрону є висока в'язкість, яка суттєво змінюється залежно від температури. При підвищенні температури в'язкість гудрону помітно знижується, що дозволяє ефективно транспортувати його трубопроводами й оптимізувати технологічний процес.

Щільність гудрону зазвичай знаходиться у межах 0,95–1,10 г/см³ і прямо залежить від вмісту асфальтенів і смол у складі. Висока температура спалаху (понад 200 °С) робить гудрон термостійким матеріалом, придатним для використання при підвищених температурах без ризику самозаймання.

					БР.АКП-69.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		14

Важливим фактором є також стійкість гудрону до окислення, що визначається високим вмістом важких фракцій. Завдяки цьому властивість гудрону піддається контрольованому окисненню у виробничому процесі з отриманням бітумів із заданими характеристиками. Компонентний склад гудрону забезпечує його унікальні властивості: асфальтени відповідають за структуроутворення і стійкість до температурних впливів; смоли забезпечують необхідну в'язкість і адгезійні властивості; масла визначають пластичність і текучість матеріалу. Зольність гудрону зазвичай невелика (до 0,5 %), що є перевагою при його використанні у виробництві бітумів.

Температура розм'якшення гудрону залежить від вихідної сировини і технології переробки та, як правило, становить 40–60 °С. Ця властивість важлива для регулювання процесу формування плівок і покриттів під час використання бітумів на основі гудрону.

З технологічної точки зору, гудрон є ідеальною сировиною для виробництва нафтових бітумів завдяки своїй високій в'язкості, вмісту асфальтенів і низькій випаровуваності при нагріванні. Це забезпечує стабільність процесу окиснення й отримання бітумів з необхідними експлуатаційними характеристиками. Залежно від складу та властивостей розрізняють легкі, важкі та кислі гудрони. Легкі отримують із малосмолистих і малопарафінових нафт і використовують переважно для дорожніх бітумів. Важкі гудрони містять більше смол та асфальтенів і слугують сировиною для будівельних бітумів та мастик. Кислі гудрони є побічним продуктом очищення нафтопродуктів сірчаною кислотою і характеризуються підвищеним вмістом смол і кислотних залишків.

Галузі застосування гудрону є доволі широкими. Він використовується для виробництва нафтових бітумів, паливних сумішей, будівельних мастик, гідроізоляційних матеріалів, а також у хімічній промисловості як сировина для отримання вуглецевих матеріалів і добавок.

					БР.АКП-69.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		15

Бітум, у свою чергу, є кінцевою продукцією процесу переробки гудрону. Це складна органічна суміш, яка формується або як залишковий продукт перегонки нафти, або шляхом цілеспрямованого окиснення гудрону. Його основними компонентами є високомолекулярні вуглеводні (асфальтени, смоли, масла), що визначають експлуатаційні характеристики бітуму.

До основних властивостей бітуму належать теплостійкість, адгезійні властивості, водонепроникність, гнучкість, пластичність і стійкість до окислення. Завдяки своїй теплостійкості бітум здатен зберігати стабільність при високих температурах, що є критично важливим для дорожнього і будівельного застосування. Висока адгезія забезпечує міцне зчеплення бітуму з мінеральними матеріалами, а водонепроникність дозволяє створювати надійні захисні покриття.

Гнучкість і пластичність бітуму забезпечують його працездатність при низьких температурах, тоді як хімічна інертність гарантує стійкість до окислення й довговічність виробу. Залежно від технології отримання та призначення бітуми поділяються на дорожні, будівельні та модифіковані. Дорожні бітуми застосовуються у будівництві автомобільних доріг, будівельні для гідроізоляції та захисту будівельних конструкцій, а модифіковані бітуми створюються шляхом введення полімерних добавок для покращення їх експлуатаційних характеристик.

Основні показники якості бітуму включають температуру розм'якшення, температуру крихкості, проникність голки та стійкість до старіння, що забезпечують його ефективне використання в умовах різного клімату та експлуатаційного навантаження.

					БР.АКП-69.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		16

1.3 Аналіз технологічної схеми бітумної установки з реактором змійкового типу

На бітумній установці з реактором змієвикового типу одержують окиснені нафтові бітуми. Сировиною є гудрони та півгудрони, а для важких нафт – залишки вище за 350 °С – мазути. Основні секції установки – нагрівання сировини в змійовику печі; реакторний блок, розділення газової та рідкої фаз; конденсації й охолодження парів нафтопродуктів і води; сепарації; спалювання газоподібних продуктів окиснення. Технологічну схему установки показано на рисунку 1.1.

Сировина (гудрон) забирається поршнеvim насосом 1 з резервуара (на схемі не показано) і подається в змійовик трубчастої печі 2 для нагрівання до температури 260–270 °С. Потім сировина надходить у збирач 3. Звідси вона забирається поршнеvim насосом 4 і подається у змішувач 5. Туди ж поршнеvim насосом 9 подають рециркуляційний окиснений продукт і через ресивер 7 – стиснене до 0,7– 0,8 МПа повітря від компресора 8.

Отримана суміш зі змішувача 5 спрямовується у реактор 6, який являє собою змійовик з вертикальних труб завдовжки 150–400 м. Процес окиснювання сировини киснем повітря починається в змішувачі 5 (у пінній системі) і продовжується в змійовику реактора 6. Для знімання тепла екзотермічної реакції окиснювання в міжтрубний простір реактора 6 вентилятором подається повітря.

Суміш продуктів реакції з реактора 6 надходить у випарник 10, де газу відокремлюються від рідини. Відпрацьоване повітря, газоподібні продукти окиснення, пари нафтопродуктів і води спрямовуються через апарат повітряного охолодження 11 у сепаратор 14.

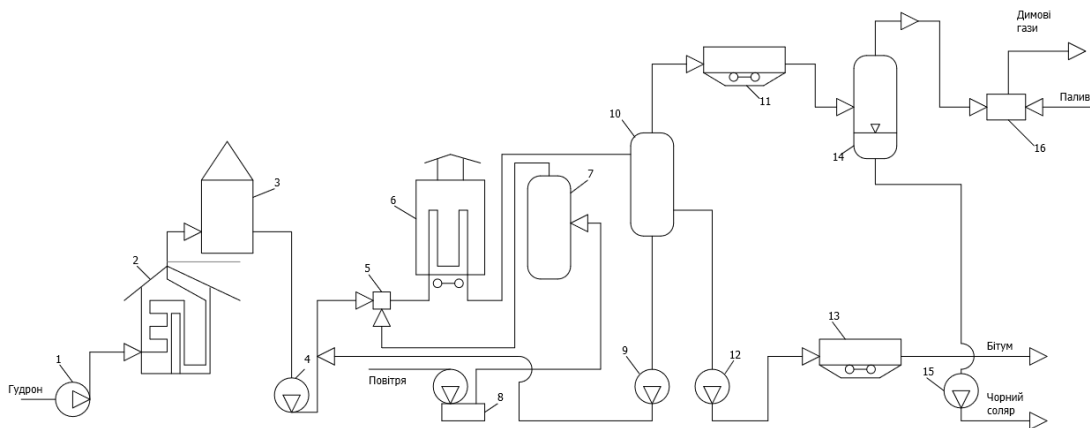
З верху сепаратора відпрацьоване повітря, газоподібні продукти окиснення і несконденсована частина парів нафтопродуктів та води відводяться в топку 16 для допалювання газів окиснення перед викидом їх в атмосферу.

Сконденсована основна частина парів нафтопродуктів (відгін або «чорний соляр») збирається в нижній частині сепаратора 14, звідки відцентровим або

					БР.АКП-69.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		17

поршневим насосом відводиться через холодильник у збирач палива (на схемі не показано). «Чорний соляр» використовують як компонент топкового мазуту.

У випарнику 10 нагромаджується окиснений бітум. З низу випарника 10 бітум забирається поршневим насосом 9 і подається як рециркулянт у змішувач 5. Коефіцієнт рециркуляції залежить від марки одержуваного товарного бітуму. Надлишок окисненого бітуму забирається поршневим насосом 12 і спрямовується через апарат повітряного охолодження 13 у приймачі бітуму (бітумороздавальники).



1, 4, 9, 12, 15 – насоси; 2 – піч; 3 – збирач; 5 – змішувач; 6 – реактор; 7 – повітряний ресивер; 8 – компресор; 10 – випарник; 11, 13 – апарати повітряного охолодження; 14 – сепаратор; 16 – топка

Рисунок 1.1 - Технологічна схема бітумної установки з реактором змійовикового типу окиснювання сировини в пінному стані

Таблиця 1.1 – Технологічний режим установки

Температура сировини на виході зі змійкової печі	260–270°C
Температура продуктів реакції на виході з реактора	270–275°C
Температура бітуму після холодильника	170–200°C

Коефіцієнт рециркуляції (за масою)	3–8%
Тиск надлишковий стисненого повітря	0,7–0,8МПа
Тиск надлишковий на вході в реактор	0,6–0,7МПа
Тиск надлишковий у випарнику	0,15–0,20МПа
Тривалість перебування суміші у реакційній зоні	15–30хв
Лінійна швидкість руху суміші в змішувачу реактора	6–8м/с
Допустима швидкість руху пари у вільному перетині випарника не більше	0,12м/с
Допустима швидкість руху пари у сепараторі не більше	0,3м/с

Для підвищення адгезійних властивостей дорожніх бітумів передбачається введення до 5 % поверхнево-активних речовин у потік готового продукту після холодильника. Для захисту навколишнього середовища передбачено піч для допалювання несконденсованих газоподібних продуктів окиснення та апарати повітряного охолодження.

1.4 Технічна характеристика технологічного обладнання

Установка для виробництва окисненого бітуму з реактором змішувача типу складається з комплексу взаємопов'язаного технологічного обладнання, що забезпечує виконання всіх стадій процесу — від підготовки сировини до одержання готового товарного бітуму. Структура установки передбачає високий ступінь автоматизації, гнучкість регулювання параметрів процесу та надійну роботу при змінних навантаженнях.

					БР.АКП-69.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		19

Основними апаратами установки є:

Змійкова трубчаста піч П-1 виконує попередній нагрів гудрону до температури 260–270 °С, що необхідно для зниження його в'язкості та забезпечення сприятливих умов для подальшого окиснення. Піч має конструкцію із змійовика (трубчастого елемента), розташованого у топковому просторі, де тепло передається за рахунок конвекції та радіації. Процес нагріву здійснюється за допомогою пальникових пристроїв або електричних нагрівачів, при цьому забезпечується рівномірний температурний профіль по довжині труб.

Збірник 3-1 служить для акумулювання нагрітого гудрону після печі. Він дозволяє вирівнювати подачу сировини до змішувача та забезпечує безперервність технологічного циклу. Конструкція збірника передбачає наявність теплоізоляції для запобігання втратам тепла та стабілізації температури сировини перед подачею у змішувач.

Змішувач ЗМ-1 призначений для інтенсивного змішування нагрітого гудрону з стисненим повітрям, яке подається через повітряний ресивер. На цій стадії створюється газорідина дисперсія, що забезпечує максимальний контакт кисню з реагуючими компонентами сировини. Завдяки конструктивним особливостям змішувача досягається рівномірний розподіл повітря по об'єму потоку, що сприяє інтенсифікації процесу окиснення у реакторі.

Реактор змійкового типу Р-1 є основним апаратом установки, у якому відбувається процес окиснення гудрону. Реактор виконано у вигляді вертикально розташованого змійовика завдовжки до 400 м, по якому рухається суміш сировини та повітря. Окиснення супроводжується виділенням значної кількості тепла, тому міжтрубний простір реактора обдувається повітрям за допомогою вентилятора для зняття тепла екзотермічної реакції. Це дозволяє уникнути локальних перегрівів і забезпечити стабільний тепловий режим по всій довжині реактора. Конструкція змійовика забезпечує високу площу теплообміну та тривалий час контакту реагентів, що дозволяє досягти необхідного ступеня перетворення.

					БР.АКП-69.00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Компресор К-1 виконує стиснення повітря до необхідного робочого тиску (0,7–0,8 МПа), після чого стиснене повітря подається у повітряний ресивер для подальшого використання у змішувачі. Компресор є важливим елементом системи, оскільки подача повітря з необхідними параметрами прямо впливає на інтенсивність окиснення та якість кінцевого продукту.

Повітряний ресивер ПР-1 виконує роль буферного резервуара для стисненого повітря. Його наявність дозволяє вирівнювати пульсації тиску та забезпечувати стабільний повітряний потік до змішувача. Це сприяє рівномірності процесу окиснення та підвищує ефективність використання повітря у реакторі.

Вентилятор ВМ-1 забезпечує примусову подачу охолоджувального повітря у міжтрубний простір реактора Р-1. Завдяки цьому апарату здійснюється зняття тепла, що утворюється внаслідок екзотермічного процесу, та підтримується оптимальний температурний режим у реакторі. Вентилятор дозволяє регулювати інтенсивність охолодження залежно від режиму роботи установки.

Нагрівальний елемент ВМ-2 використовується для підтримання стабільної температури у змійковій трубчастій печі П-1. Забезпечення необхідної температури на цій стадії критично важливе для забезпечення потрібної в'язкості гудрону та ефективного подальшого перебігу окиснення.

1.5 Вибір та обґрунтування параметрів контролю і регулювання

На цій установці вимірюванню та регулюванню такі параметри які наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Параметри вимірювання та регулювання

Позиція на ФСА	Параметри	Значення параметру	Діапазон зміни
1-а	Температура на виході з змійкової печі	265°C	260-270°C

2-а	Рівень гудрону в збірнику	20м	0,6-60м
3-а	Тиск на вході у змійковий реактор	0,65МПа	0,6-0,7Мпа
4-а	Температура на виході з змійкового реактора	272°C	270-275°C
5-а	Тиск в компресорі	0,75Мпа	0,7-0,8Мпа
6-а	Тиск в повітряному ресивері	0,75Мпа	0,7-0,8Мпа

Висновки до розділу

У першому розділі було проведено ґрунтовний аналіз технологічного процесу виготовлення нафтових бітумів, що реалізується на установці з реактором змійовикового типу. Така установка дає змогу здійснювати повний цикл переробки залишкових нафтопродуктів, зокрема гудрону, з метою отримання готового товарного бітуму з заданими фізико-хімічними характеристиками. Основний принцип роботи полягає в окисненні сировини киснем повітря за підвищеної температури з використанням технологічної рециркуляції частини продукту.

У межах розділу було детально описано всі ключові етапи процесу. Сировина, що надходить із резервуару, спочатку підігрівається до робочої температури в трубчастій печі. Після цього вона подається у змішувач, де відбувається з'єднання з рециркульованим продуктом та стисненим повітрям, підготовленим через компресор і ресивер. Отримана суміш надходить у реактор змійовикової конструкції, в якому проходить основна стадія хімічного перетворення — окиснення. Процес супроводжується виділенням великої кількості тепла, тому конструкцією реактора передбачена система охолодження, що базується на подачі повітря в міжтрубний простір.

					БР.АКП-69.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		22

Подальші технологічні операції включають розділення суміші на газову та рідку фази у випарнику, конденсацію парів у холодильниках, а також остаточну сепарацію компонентів у відповідних апаратах. Леткі фракції та газоподібні продукти, що не підлягають конденсації, направляються до топки, де здійснюється їх повне допалювання перед викидом в атмосферу, що значно зменшує вплив установки на довкілля.

Розглянуто також аспекти енергозбереження і повторного використання частини бітуму, що повертається у змішувач для стабілізації температурного та реакційного режимів. У розділі надано перелік основного технологічного обладнання з описом його функціонального призначення, технічних характеристик і параметрів роботи. Окрему увагу приділено визначенню точок контролю температури, тиску й рівня, що є важливими для автоматизованого керування технологічним процесом. Таким чином, розділ закладає основу для подальшого проектування системи автоматизації, базуючись на особливостях процесу та вимогах до точності регулювання.

					БР.АКП-69.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		23

2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І ІДЕНТИФІКАЦІЯ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

2.1 Обґрунтування вибору об'єкта автоматизації

У процесі виробництва окисненого бітуму важливу роль відіграє стабільність і керованість температурних та гідродинамічних параметрів у реакторі, де відбувається основна хімічна трансформація. Саме тому в межах цього проєкту об'єктом автоматизації обрано реактор змійкового типу, що забезпечує реалізацію процесу окиснення гудрону повітрям при високих температурах.

Вибір об'єкта обумовлений критичністю параметрів, що безпосередньо впливають на якість кінцевого продукту бітуму. Одним із головних завдань є підтримання стабільного теплового режиму в реакторі, оскільки процес окиснення є екзотермічним, тобто супроводжується значним виділенням тепла. Надмірне нагрівання може призвести до неконтрольованих змін властивостей бітуму або навіть до аварійних ситуацій. З іншого боку, недостатня температура знижує ефективність реакції та негативно позначається на продуктивності. Крім того, контроль подачі стисненого повітря в реактор безпосередньо впливає на інтенсивність хімічної взаємодії.

До основних контрольованих параметрів належать. Температура сировини — контроль температури нагрівання гудрону в трубчастій печі до заданого рівня (260–270 °С), що є необхідним для зниження в'язкості та забезпечення потрібних умов для окиснення. Тиск і витрата повітря — регулювання інтенсивності подачі повітря в змішувач і реактор. Цей параметр впливає на ефективність масообміну між фазами та ступінь перетворення сировини. Температурний режим у реакторі — ключовий показник, що підлягає автоматичному контролю для компенсації тепла, яке виділяється внаслідок реакції. Для цього в міжтрубний простір реактора подається охолоджуюче повітря вентилятором.

					БР.АКП-69.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		24

Автоматизація саме реакторного блоку є доцільною з огляду на його технологічну складність, енергоємність, а також критичну залежність кінцевих характеристик продукту від стабільності режимів. Крім того, реакторна зона є найбільш чутливою до зовнішніх збурень, зокрема зміни складу сировини, температури навколишнього середовища або нестабільної подачі повітря.

Типова структурна схема процесу виглядає наступним чином. Гудрон із резервуара подається насосом у змійкову трубчасту піч, де нагрівається за допомогою нагрівального елемента до температури, необхідної для перебігу процесу. Далі нагріта сировина надходить у проміжний збірник, а потім у змішувач, куди одночасно подається стиснене повітря. Повітря перед цим стискається компресором до тиску 0,7–0,8 МПа та накопичується у повітряному ресивері, що забезпечує його стабільну подачу в змішувач.

Після утворення газорідної суміші у змішувачі вона надходить до реактора змійкового типу, де проходить основний етап окиснення. Для компенсації тепла, що утворюється внаслідок хімічної реакції, в міжтрубний простір реактора подається охолоджуюче повітря за допомогою вентилятора. Це дозволяє стабілізувати температуру по всій довжині реактора та уникнути перегріву окремих ділянок.

2.2 Визначення характеристик об'єкта автоматизації

Реактор змійовикового типу є головним об'єктом керування у складі бітумної установки. У ньому відбувається екзотермічна реакція окиснення бітумної сировини.



Рисунок 2.1 – Схема вхід-вихід до керованого об'єкту

					БР.АКП-69.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		25

Вхідна та вихідна змінні:

Вхідна змінна: подача повітря вентилятором, $G_{\text{пов}}$ кг/с

Вихідна змінна: температура реакційної маси, T °C

Математична модель:

$$T_0 * \frac{dT(t)}{dt} + T(t) = T_{\text{реакція}} - k_0 * G_{\text{пов}}(t), \quad (2.1)$$

де: T_0 — постійна часу, що визначає теплову інерцію системи

$T(t)$ — температура реакційної маси у момент часу

$T_{\text{реакція}}$ — температура, яку забезпечує реакція без охолодження

T — температура реакційної маси

k_0 — коефіцієнт підсилення

Фізичний зміст T_0 :

Постійна часу системи зазвичай пропорційна часу перебування речовини в реакторі та її теплоємності.

Тривалість перебування суміші в реакторі:

$$T = 15 \div 30 \text{ хв} = 900 \div 1800 \text{ с} = 1350 \text{ с (середнього значення)}, \quad (2.2)$$

Приймаємо:

$$T_0 \approx \tau,$$

Розрахунок k_0 — коефіцієнта підсилення (охолодження):

Зміна $G_{\text{пов}}$ на 1 кг/с змінює температуру реакційної маси на 3–5 °C

$$\text{Тоді:} \quad k_0 \approx 3 \div 5 \frac{^\circ\text{C}}{\text{кг/с}}, \quad (2.3)$$

Типове середнє значення:

$$k_0 = 4 \frac{^\circ\text{C}}{\text{кг/с}}, \quad (2.4)$$

Передатна функція:

Знайдемо передатну функцію $W(p) = T(p) / G_{\text{пов}}(p)$, застосувавши перетворення Лапласа до рівняння:

$$T_0 * \frac{dT(t)}{dt} + T(t) = T_{\text{реакція}} - k_0 * G_{\text{пов}}(t), \quad (2.5)$$

Передатна функція:

$$W(p) = \frac{T(p)}{G_{\text{пов}}(p)} = \frac{-k_0}{T_0 p + 1} = \frac{-4}{1350 p + 1}, \quad (2.6)$$

Висновки до розділу

У другому розділі зосереджено увагу на побудові математичної моделі об'єкта автоматизації, яким є реактор змішувального типу, що виконує ключову роль у технологічному процесі окиснення нафтових залишків. З огляду на складність протікання екзотермічної реакції, а також потребу в точному підтриманні температурного режиму, саме цей об'єкт було обґрунтовано вибрано для подальшого аналізу та автоматизації.

В процесі моделювання визначено основні технологічні величини, які підлягають регулюванню або контролю. Як вхідний вплив обрано подачу повітря, що використовується як окислювач у хімічній реакції та водночас як охолоджувальний агент у міжтрубному просторі реактора. Вихідною величиною прийнято температуру реакційної маси, яка має ключове значення для перебігу процесу та якості кінцевого бітумного продукту. Саме підтримання температури у допустимих межах визначає ефективність і безпеку функціонування установки.

Для опису динамічних характеристик реактора розроблено математичну модель у вигляді передатної функції, яка враховує теплову інерційність системи.

В моделі закладено коефіцієнт підсилення, що визначає чутливість температури до змін витрати повітря, та постійну часу, яка характеризує швидкість реагування об'єкта на зовнішні впливи. Значення параметрів моделі отримано шляхом аналізу технологічних даних, що відповідають реальним умовам експлуатації установки.

Побудована модель дозволяє ідентифікувати систему як об'єкт з інерційною ланкою першого порядку і негативним коефіцієнтом підсилення, що відображає зворотний характер впливу: збільшення витрати повітря призводить

					БР.АКП-69.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		27

до зниження температури внаслідок інтенсивнішого охолодження. Такий підхід до математичного опису процесу дозволяє створити основу для коректного вибору структури регулятора, а також для проведення подальшого синтезу системи автоматичного керування.

Результати моделювання свідчать про те, що отримана передатна функція адекватно відображає поведінку об'єкта в динаміці, забезпечуючи основу для проектування ефективного керування температурою в реакторі. Це, у свою чергу, дозволить стабілізувати технологічний процес, забезпечити необхідні параметри продукції та зменшити вплив зовнішніх збурень на хід хімічної реакції.

					БР.АКП-69.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		28

3 СИНТЕЗ ТА АНАЛІЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

3.1 Синтез одноконтурної системи автоматичного керування

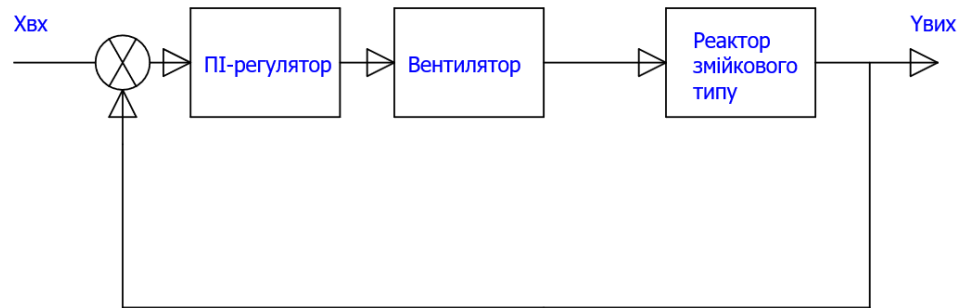


Рисунок 3.1 – Структурна схема САК

У системі використовується ПІ-регулятор, що забезпечує нульову статичну похибку і достатню швидкодію.

$$K_p = 1300$$

$$K_i = 200$$

$$T_i = \frac{K_p}{K_i} = \frac{1300}{200} = 6.5 \text{ с}, \quad (3.1)$$

Передатна функція ПІ-регулятора:

$$W_{PI}(p) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i p} \right) = 1300 \left(1 + \frac{1}{6.5 p} \right) = \frac{1300(6.5p+1)}{6.5p} = \frac{8450p+1300}{6.5p}, \quad (3.2)$$

Передатна функція САК:

$$W_{САК}(p) = \frac{W_{PI}(p) * W_O(p)}{1 + W_{PI}(p) * W_O(p)} = \frac{\left(\frac{8450p+1300}{6.5p} \right) * \left(\frac{-4}{1350p+1} \right)}{1 + \left(\frac{8450p+1300}{6.5p} \right) * \left(\frac{-4}{1350p+1} \right)} = \frac{\frac{-(33800p+5200)}{6.5p(1350p+1)}}{\frac{6.5p(1350p+1) - (33800p+5200)}{6.5p(1350p+1)}} = \frac{-(33800p+5200)}{6.5p(1350p+1) - (33800p+5200)} = \frac{-(33800p+5200)}{8775p^2 + 33806.5p + 5200}, \quad (3.3)$$

Для автоматичного регулювання температури в реакторі змійкового типу, де відбувається процес окиснення бітумів, застосовується пропорційно-інтегральний (ПІ) алгоритм керування. Такий підхід дозволяє ефективно компенсувати інерційність технологічного об'єкта, стабілізувати температурний режим та забезпечити нульову сталу похибку у процесі регулювання.

					БР.АКП-69.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		29

Процес окиснення характеризується екзотермічною природою, що супроводжується значним виділенням тепла. Для забезпечення якісного та стабільного перебігу хімічної реакції необхідно підтримувати температуру у заданих межах. Відхилення температури у бік підвищення або зниження може суттєво вплинути на властивості кінцевого продукту — бітуму. Саме тому забезпечення стабільного температурного режиму є одним із головних завдань автоматичного регулювання.

Застосування ПІ-регулятора обумовлено низкою технічних та експлуатаційних переваг: Інерційний характер об'єкта керування, що проявляється у повільній зміні температури після регулювання подачі повітря, добре компенсується інтегральною та пропорційною складовими ПІ-регулятора. Відсутність різких коливань та збурень у процесі дає змогу відмовитися від використання диференціальної складової, яка доцільна для швидкодинамічних систем з вираженими збуреннями. Простота програмної реалізації у сучасних цифрових системах керування робить ПІ-регулятор оптимальним вибором для промислового впровадження. Його алгоритм легко налаштовується і забезпечує високу надійність у процесі експлуатації. Інтегральна дія дозволяє повністю компенсувати сталу похибку регулювання, що забезпечує точне входження системи у заданий температурний режим навіть при зміні зовнішніх умов або характеристик сировини.

ПІ-регулятор також добре підходить для роботи з об'єктами, що мають динамічні властивості інерційної ланки першого порядку, до яких належить і математична модель реактора, застосована у цьому проєкті.

Розробка та налаштування системи керування здійснювались у середовищі Simulink (Matlab), яке дозволяє моделювати складні динамічні системи з урахуванням реальних технологічних параметрів. Для моделювання обрано класичну структуру замкненої системи автоматичного керування зі зворотним зв'язком, де похибка визначається як різниця між задавальним сигналом

					БР.АКП-69.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		30

(бажаною температурою у реакторі) та фактичним вихідним сигналом (виміряною температурою).

Такий підхід дає змогу гнучко налаштувати параметри регулятора та досягти оптимальних характеристик перехідного процесу: мінімального часу встановлення, відсутності перерегулювання та повної компенсації сталої похибки. Інструменти моделювання дозволили провести аналіз системи за різними сценаріями роботи та забезпечити високу якість регулювання температури у реакторі змійкового типу.

Математична модель регулятора має наступну передатну функцію:

$$W_{PI}(p) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i p} \right), \quad (3.4)$$

де: K_p — коефіцієнт пропорційного регулювання;

$$T_i = \frac{K_p}{K_i} \text{ — інтегральна постійна часу.} \quad (3.5)$$

Визначення параметрів регулятора

Оптимальні значення параметрів ПІ-регулятора визначено шляхом експериментального моделювання. Основними критеріями були: відсутність перерегулювання, швидке входження в режим та стійкість системи.

У результаті були встановлені наступні параметри:

- Пропорційна складова: $K_p = 1300$
- Інтегральна складова: $K_i = 200$
- Диференціальна складова: $K_d = 0$

Застосування такого ПІ-регулятора дозволяє ефективно підтримувати температуру на заданому рівні, забезпечуючи точність і стабільність процесу керування в умовах високої теплової інерції змійкового реактора.

					БР.АКП-69.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		31

3.2 Синтез ефективних системи автоматичного керування

Система автоматичного регулювання, розроблена для підтримання температури в реакторі змійкового типу, реалізована за одноконтурною класичною структурою із зворотним зв'язком, що забезпечує її надійну роботу в умовах промислового середовища. Основне завдання цієї системи полягає в забезпеченні стабільного температурного режиму в межах заданих значень, незважаючи на інерційні властивості об'єкта та можливі збурення з боку змін у сировині або зовнішніх умов.

З урахуванням особливостей об'єкта керування, який характеризується вираженою тепловою інерцією та затримкою у відповіді на зміну управляючого впливу, було обрано оптимальну конфігурацію регулятора. Проведене моделювання підтвердило, що використання пропорційно-інтегрального регулятора є доцільним і дозволяє досягти високої якості регулювання.

Параметри регулятора визначені таким чином, щоб забезпечити швидке входження системи в режим, мінімізувати перерегулювання та повністю усунути статичну похибку. Це забезпечує ефективне управління температурою навіть у разі зміни зовнішніх факторів чи властивостей технологічної сировини.

Конкретна конфігурація системи передбачає коефіцієнт пропорційної дії 1300, інтегральну складову 200 та нульову диференціальну частину. Такий підхід виправданий тим, що об'єкт не є швидкодинамічним, а в системі не спостерігаються коливальні або імпульсні збурення, що дозволяє виключити потребу у диференціальному каналі. Крім того, диференціальна складова могла б внести надмірну чутливість до можливих шумів, що є небажаним для подібного типу технологічного процесу.

Система автоматичного регулювання, хоча і не відноситься до складних багатоконтурних або інваріантних структур, характеризується достатньою автономністю. Вона функціонує без постійного втручання з боку оператора, реагуючи на зміни в технологічному процесі в автоматичному режимі. Завдяки

					БР.АКП-69.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		32

такому підходу до проектування вдалося створити систему, що поєднує точність, простоту реалізації та високу надійність в умовах реального виробництва.

Загальна структура побудови регулятора дозволяє легко інтегрувати систему в існуючу промислову інфраструктуру та адаптувати її до різних режимів роботи.

3.3 Аналіз роботи розроблених систем автоматичного керування

Стійкість є одним із ключових критеріїв ефективності роботи системи автоматичного керування. Важливо переконатися, що обрана структура регулятора й задані параметри забезпечують стійку поведінку системи в замкненому контурі.

Для оцінки стійкості використовується характеристичне рівняння, яке отримано на основі передаточної функції системи:

$$8775p^2 + 33806.5p + 5200 = 0, \quad (3.6)$$

Щоб перевірити стійкість системи, проаналізуємо корені рівняння. Обчислюємо дискримінант:

$$D = b^2 - 4ac = (33806.5^2) - 4 * 8775 * 5200 = -681920377.75, \quad (3.7)$$

$$P1 = \frac{-33806.5 + \sqrt{-681920377.75}}{2 * 8775} = -0,1605, \quad (3.8)$$

$$P2 = \frac{-33806.5 - \sqrt{-681920377.75}}{2 * 8775} = -3,6921, \quad (3.9)$$

					БР.АКП-69.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		33

Частина обох коренів від'ємна, система є асимптотично стійкою.

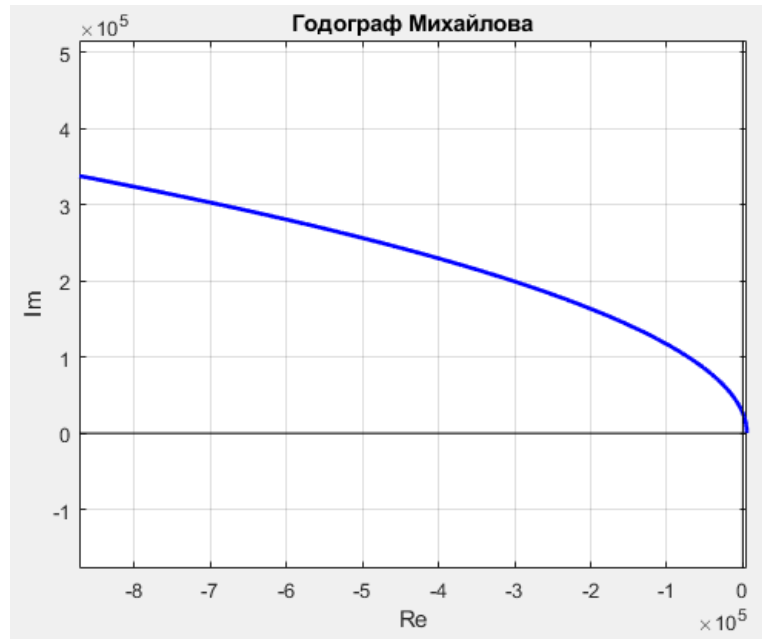


Рисунок 3.2 - Годограф Михайлова

Годограф Михайлова побудовано в частотному діапазоні від 0 до 10 рад/с, тобто для значень оператора Лапласа, що лежать на уявній осі у вигляді $p = j\omega$. Графік відображає залежність комплексного значення характеристичного полінома системи від частоти, дозволяючи візуально оцінити стійкість замкненої системи автоматичного керування.

При побудові графіка використовувалось характеристичне рівняння, отримане з передатної функції замкненого контуру. Під час аналізу обчислювались комплексні значення цього рівняння при змінних значеннях частоти ω , що дозволило відобразити повну траєкторію годографа на комплексній площині.

З отриманого графіка видно, що крива починається у правій півплощині (тобто при малих значеннях ω), а далі плавно проходить через верхню півплощину в напрямку проти годинникової стрілки. Протягом усього частотного діапазону крива не перетинає праву півплощину, не заходить у

нестійку зону і не має зворотного напрямку. Поведінка годографа відповідає умовам критерію Михайлова, який вимагає, щоб при зростанні частоти від нуля до нескінченності аргумент комплексного значення характеристичного полінома змінювався монотонно в заданому напрямку. Відсутність обертання у зворотному напрямку або переходу кривої в праву півплощину вказує на асимптотичну стійкість системи.

Було реалізовано систему автоматичного регулювання з використанням ПІ-регулятора. Для синтезу та налаштування регулятора побудовано блок-схему системи автоматичного регулювання температури. Динаміка об'єкта керування представлена передавальною функцією:

$$W(p) = \frac{T(p)}{G_{\text{пов}}(p)} = \frac{-k_0}{T_0 p + 1} = \frac{-4}{1350 p + 1}, \quad (3.10)$$

Ця передавальна функція описує інерційну систему зі значною сталою часу та від'ємним коефіцієнтом підсилення, що відображає зворотну дію подачі повітря на температуру тобто зростання витрати повітря знижує температуру через інтенсивніше охолодження.

У результаті моделювання проведено налаштування ПІ-регулятора, диференціальна складова якого не використовується через відсутність швидких збурень та значного шуму в системі. Остаточні параметри регулятора становлять:

- Пропорційний коефіцієнт: $P=1300$
- Інтегральна постійна: $I=200$
- Диференціальна складова: $D=0$

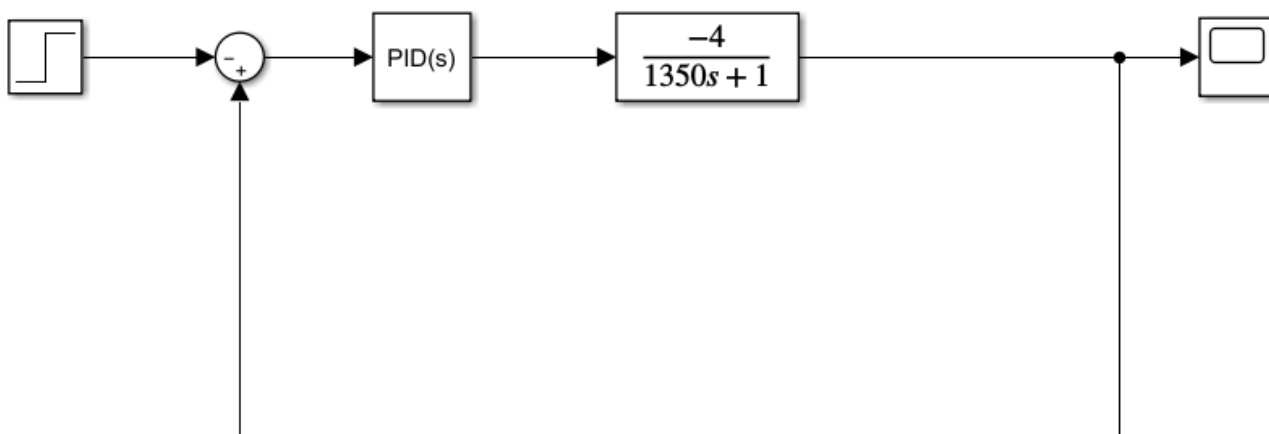


Рисунок 3.5 – Модель системи автоматичного регулювання температури

Система протестована на одиничне збурення у вигляді зміни заданої температури.

Побудовано графік перехідного процесу:

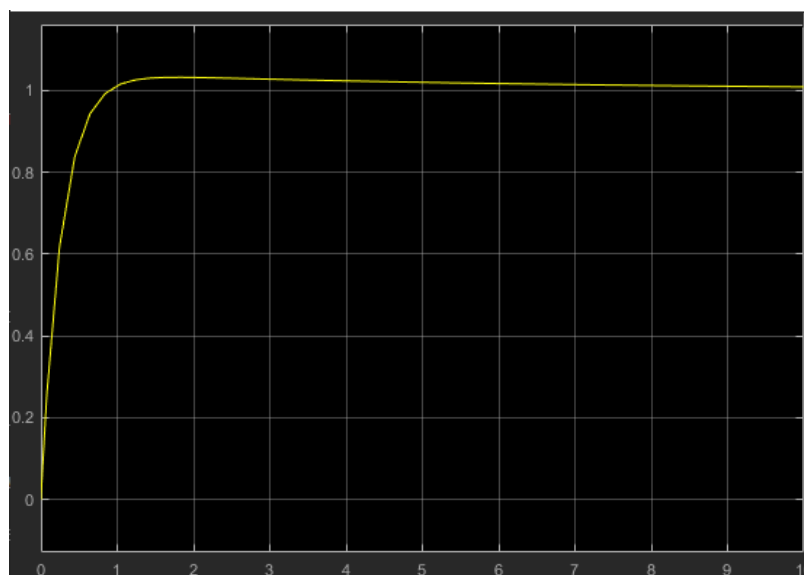


Рисунок 3.6 – Графік перехідного процесу температури в реакторі при дії ПІ-регулятора

Графік відображає стабільну та ефективну роботу системи автоматичного регулювання температури в реакторі змійкового типу. В результаті моделювання було зафіксовано швидке зростання температури до бажаного значення з подальшою стабілізацією без проявів нестійкої поведінки чи

коливань. Спостерігається чітке входження у заданий режим протягом короткого часу, при цьому температура досягає приблизно 90 відсотків від усталеного значення вже через 1,2 секунди. Повна стабілізація температури відбувається орієнтовно за 2,2 секунди, після чого сигнал залишається у встановлених допустимих межах і не виходить за рамки 5-відсоткового допуску.

У процесі регулювання не було виявлено значних коливань або нестійкості. Вихідна величина впевнено прямує до заданого рівня та залишається сталою після завершення перехідного процесу. Перевищення температури в момент входження в режим є мінімальним, не перевищує 2 відсотків і швидко компенсується. Це вказує на добре збалансовану динаміку системи без перенасичення або затухаючих коливань.

Важливим показником є також відсутність сталої похибки: температура стабілізується точно на рівні одиниці, що свідчить про здатність регулятора повністю компенсувати збурення та підтримувати задане значення без відхилень у сталому режимі. Така поведінка системи є типовою для аперіодичного процесу з високою якістю регулювання.

Отримані результати свідчать про ефективність вибраного алгоритму регулювання. ПІ-регулятор із налаштованими параметрами пропорційної та інтегральної дії забезпечив необхідну динаміку та точність керування навіть за умов наявної інерційності об'єкта. Застосування саме такого регулятора є виправданим і підтвердженим як теоретичними розрахунками, так і результатами комп'ютерного моделювання.

Висновки до розділу

У цьому розділі виконано синтез та аналіз системи автоматичного керування температурою в реакторі змійкового типу, що працює в умовах теплової інерційності та зворотного впливу керуючого сигналу на регульовану величину. На основі математичного опису об'єкта у вигляді передатної функції сформовано замкнену систему керування, до складу якої входить пропорційно-

					БР.АКП-69.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		37

інтегральний регулятор.

Параметри ПІ-регулятора були визначені шляхом моделювання у середовищі Simulink з урахуванням динаміки об'єкта. Результатом налаштування стала система, здатна забезпечити нульову статичну похибку, достатню швидкодію та відсутність нестійких коливань. У перехідному процесі спостерігається плавне входження у режим без перевищення допустимих значень. Температура стабілізується точно на заданому рівні, що вказує на ефективність вибраного методу керування.

За результатами розрахунків характеристичного рівняння та побудови годографа Михайлова підтверджено асимптотичну стійкість системи. Аналіз показав, що корені рівняння мають від'ємні дійсні частини, а поведінка годографа відповідає класичному критерію стійкості.

Отримані результати підтверджують ефективність застосування ПІ-регулятора з налаштованими параметрами для даного типу об'єкта. Обрана структура системи дозволяє реалізувати надійне керування з високими якісними показниками. Це свідчить про правильність обраного підходу до синтезу системи автоматичного керування температурою в реакторі змійкового типу.

					БР.АКП-69.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		38

4 РОЗРОБКА ПРОЕКТНОЇ СКЛАДОВОЇ САК

4.1 Вибір технічних засобів автоматизації

Вибір приладів було здійснено у відповідності з їхнім призначенням, характеристиками та умовами експлуатації.

1. Давач температури WIKA TR10-C



Рисунок 4.1 – Давач температури WIKA TR10-C

Технічні параметри:

Нижній діапазон температури: -30°C .

Верхній діапазон температури: 300°C .

Діаметр зонда: 6мм.

Довжина зонда: 100мм.

Приєднання до процесу: G 1/2.

Вихідний сигнал: 4...20мА.

Матеріал корпусу: Алюміній

					БР.АКП-69.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		39

2. Давач тиску Aplisens PCE-28



Рисунок 4.2 – Давач тиску Aplisens PCE-28

Технічні параметри:

Максимальне вимірювання тиску: 1,6МПа.

Клас точності: 1.

Ступінь захисту від порохів та вологості: IP65.

Номинальна напруга: 12-36В.

Вихідний сигнал: 4...20мА.

3. Давач рівня OPTIFLEX 8200



Рисунок 4.3 – Давач рівня OPTIFLEX 8200

Технічні параметри:

Діапазон вимірювання: 0,6...60м.

					БР.АКП-69.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		40

Довжина сенсора: 0,6...60м.

Робочий тиск: -1...320 бар.

Робоча температура вимірювання: -50...315°C.

Ступінь захисту від порохів та вологості: IP66/68, NEMA4X/6.

Вихідний сигнал: 4...20мА.

4. Контролер Modicon M172P з дисплеєм(TM172PDG28R)



Рисунок 4.4 – Контролер Modicon M172P(TM172PDG28R)

Технічні параметри:

Загальна кількість входів/виходів: 28.

Кількість дискретних входів: 8.

Кількість дискретних виходів: 1 для релейні виходи SPDT з незалежним загальним.

3 для релейні виходи SPST з одним загальним.

2 для релейні виходи SPST з одним загальним.

2 для релейні виходи SPST з незалежним загальним.

Струм дискретного виходу: 1 А для Реле SPDT.

3 А для Реле SPST.

Кількість аналогових входів: 8.

Кількість аналогових виходів: 4.

Кількість портів: 1 CAN порт - блок гвинтових контактів.

1 USB тип А - USB тип А гніздо.

Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БР.АКП-69.00.00.000 ПЗ

Арк.

41

1 USB тип mini B - Порт USB-пристрою Mini-B.

2 RS485 - блок гвинтових контактів (Послідовний зв'язок Modbus або BACnet MS/TP).

1 Ethernet - RJ45 (Modbus TCP і BACnet IP з веб-сервером).

Тип дисплея: Підсвічування LCD – 128x64 пікселів.

5. Контактор A9C20732



Рисунок 4.5 – Контактор A9C20732

Технічні параметри:

Область застосування продукту: Двигун-опалення-освітлення.

Полюси: 2P.

Номинальний робочий струм: 25A AC-7A.

8,5A AC-7B.

Компонування полюсного контакту: 2NO.

Тип мережі: Змінний струм.

Тип керування: Дистанційне.

Частота мережі: 50 Гц.

					БР.АКП-69.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		42

4.2 Розробка функціональної схеми автоматизації

Технологічний процес виробництва окисненого бітуму починається з подачі гудрону до змійкової трубчастої печі, де здійснюється його нагрівання до технологічно необхідної температури. Нагрів виконується за допомогою нагрівального елемента (ВМ-2), а контроль температури забезпечується термоперетворювачем опору типу TR10-C, що дозволяє підтримувати стабільний тепловий режим на виході з печі.

Далі нагріта сировина надходить у збірник (З-1), де вона акумулюється перед подачею в змішувач. Для контролю рівня рідини у збірнику використовується безконтактний мікрохвильовий рівнемір OPTIFLEX 8200, що забезпечує високу точність навіть за умов високої в'язкості та температури середовища.

Наступним етапом є змішування нагрітого гудрону зі стисненим повітрям у змішувачі (ЗМ-1). Стиснене повітря, необхідне для ініціювання окисного процесу, подається через компресор (К-1) та акумулюється в повітряному ресивері (РР-1). У цих вузлах встановлено датчики тиску APLISENS PCE-28, які здійснюють постійний моніторинг тиску повітря в системі. Ці датчики характеризуються високою точністю, стабільністю роботи та відповідають вимогам до надійності в промислових умовах.

Після змішувача тиск суміші також контролюється за допомогою APLISENS PCE-28, що дозволяє своєчасно реагувати на відхилення параметрів та підтримувати стабільність процесу. Отримана суміш надходить у реактор змійкового типу (Р-1), де продовжується процес окиснення, супроводжуваний значним тепловиділенням. З метою зниження температури реакції у міжтрубний простір подається охолоджуюче повітря через вентилятор (ВМ-1), що дозволяє підтримувати необхідний температурний режим впродовж усього реакційного шляху.

					БР.АКП-69.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		43

Температура суміші на виході з реактора повторно контролюється датчиком TR10-C, що забезпечує надійний контроль завершення реакції. Далі продукт спрямовується у випарник (В-1), де розділяються леткі компоненти, а основний продукт — окиснений бітум — накопичується у нижній частині апарата.

Частина бітуму повертається у змішувач у вигляді рециркуляційного потоку, який транспортується за допомогою поршневого насоса. Це дозволяє покращити гомогенність суміші та стабілізувати хімічні властивості кінцевого продукту, що особливо важливо для досягнення необхідних технічних характеристик бітуму.

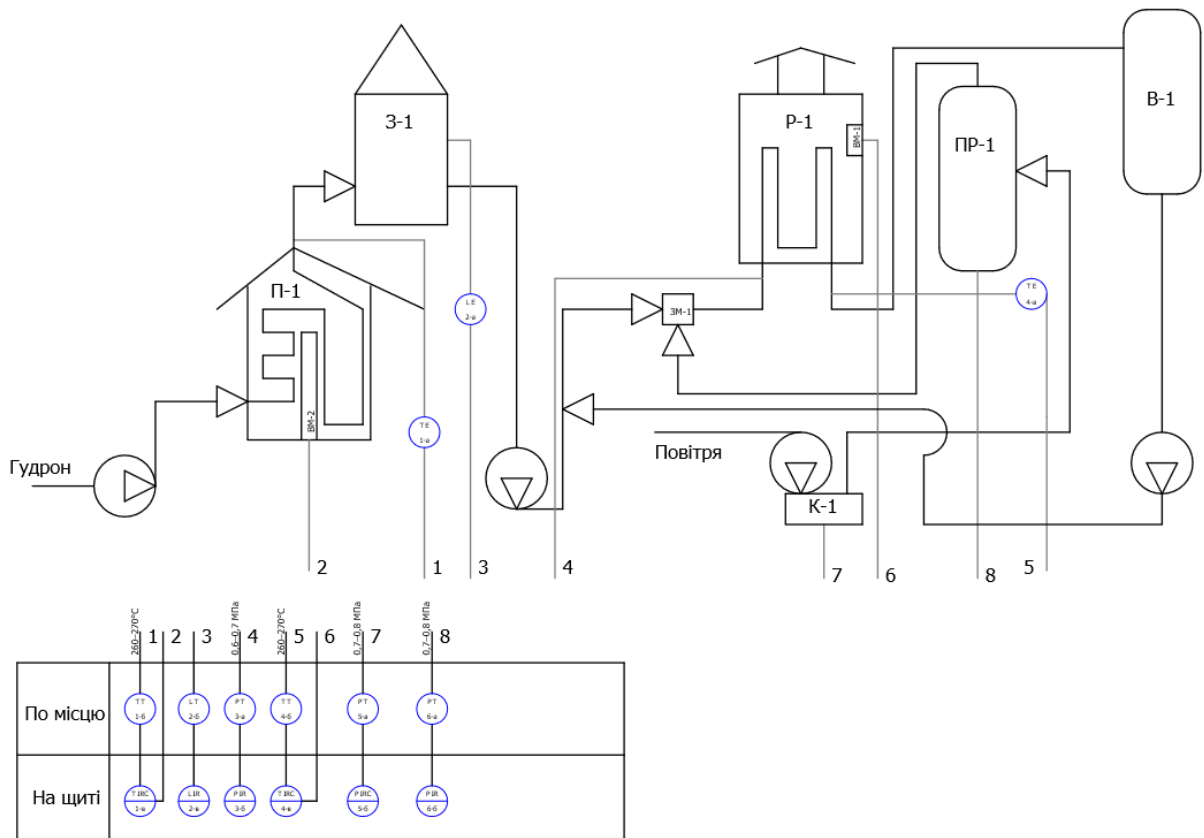


Рисунок 4.6 – Функціональна схема автоматизації бітумної установки з реактором змійкового типу

4.3 Розробка додаткових проектних рішень

У сучасних умовах розвитку промисловості автоматизація технологічних процесів є одним з основних напрямів підвищення ефективності виробництва. Важливою складовою будь-якої автоматизованої системи є правильно побудована схема зовнішніх з'єднань, яка забезпечує узгоджену роботу всіх елементів: від первинних вимірювальних приладів до виконавчих механізмів. Від якості її проектування залежить не лише стабільність функціонування системи, а й точність, швидкодія, безпечність та зручність технічного обслуговування.

Схема зовнішніх з'єднань виконує функцію фізичного з'єднання всіх складових частин автоматизованої системи у єдиний технологічний комплекс. Вона охоплює з'єднання аналогових і дискретних входів контролера з відповідними датчиками температури, тиску, рівня, а також виходів із комутаційними елементами, такими як контактори та виконавчі механізми. Завдяки цьому забезпечується коректна передача інформації про поточний стан об'єкта та реалізація управляючих дій згідно з алгоритмом, закладеним у контролер.

У рамках цього проекту система побудована на базі контролера типу MODICON M172, що зарекомендував себе як надійний пристрій з широкими можливостями для програмування й розширення. Його технічні характеристики дозволяють реалізовувати складні схеми управління з використанням як аналогових, так і цифрових сигналів. Серед переваг цього пристрою — можливість підключення великої кількості датчиків та виконавчих пристроїв, підтримка промислових протоколів зв'язку, наявність інтерфейсів для налаштування і діагностики.

Проектована схема з'єднань враховує функціональне призначення кожного каналу та мінімізує вплив зовнішніх перешкод завдяки раціональному розведенню сигнальних і силових ліній. Аналогові сигнали від датчиків температури TR10-C, тиску APLISENS PCE-28 та рівня OPTIFLEX 8200

					БР.АКП-69.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		45

передаються безпосередньо на відповідні аналогові входи контролера, де вони перетворюються на цифрові значення для обробки. На аналогових виходах формуються керуючі сигнали, які подаються на електромагнітні контактори для запуску або відключення виконавчих механізмів, таких як вентилятори чи нагрівальні елементи.

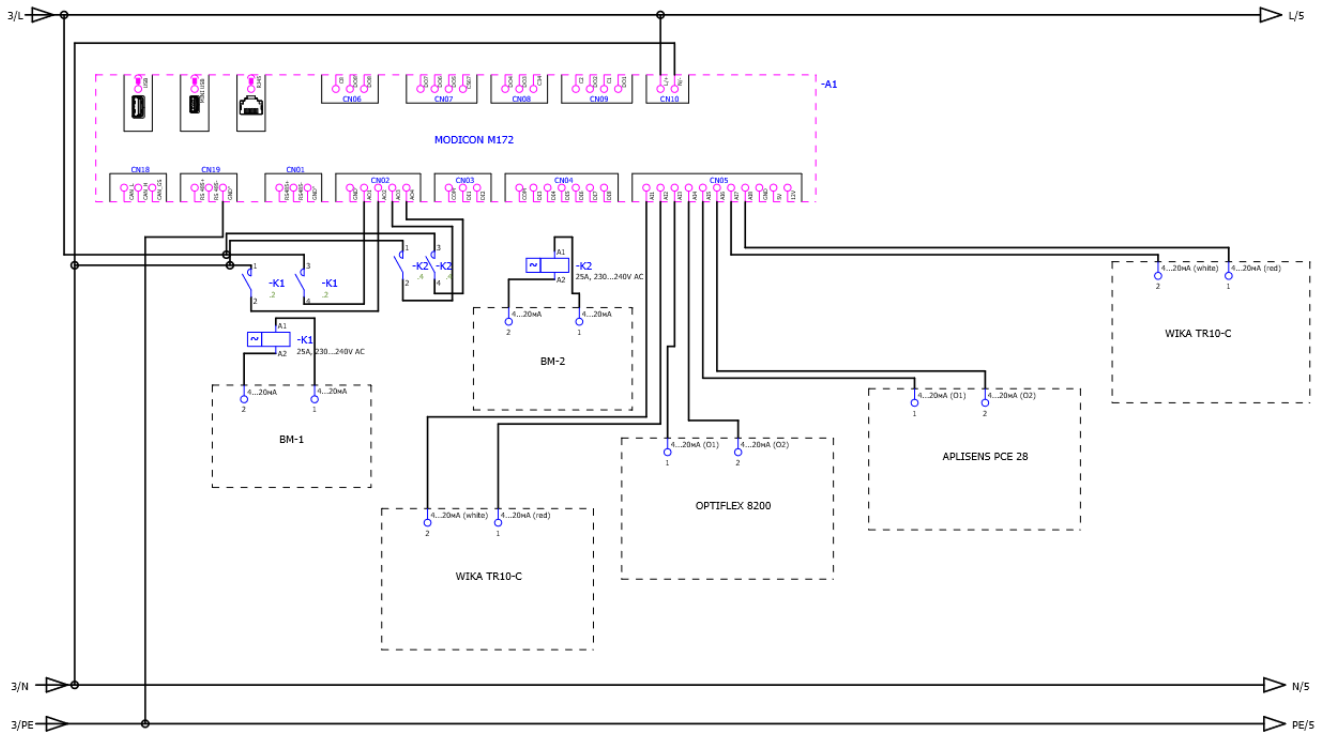


Рисунок 4.7 – Схема з'єднань з першим контролером

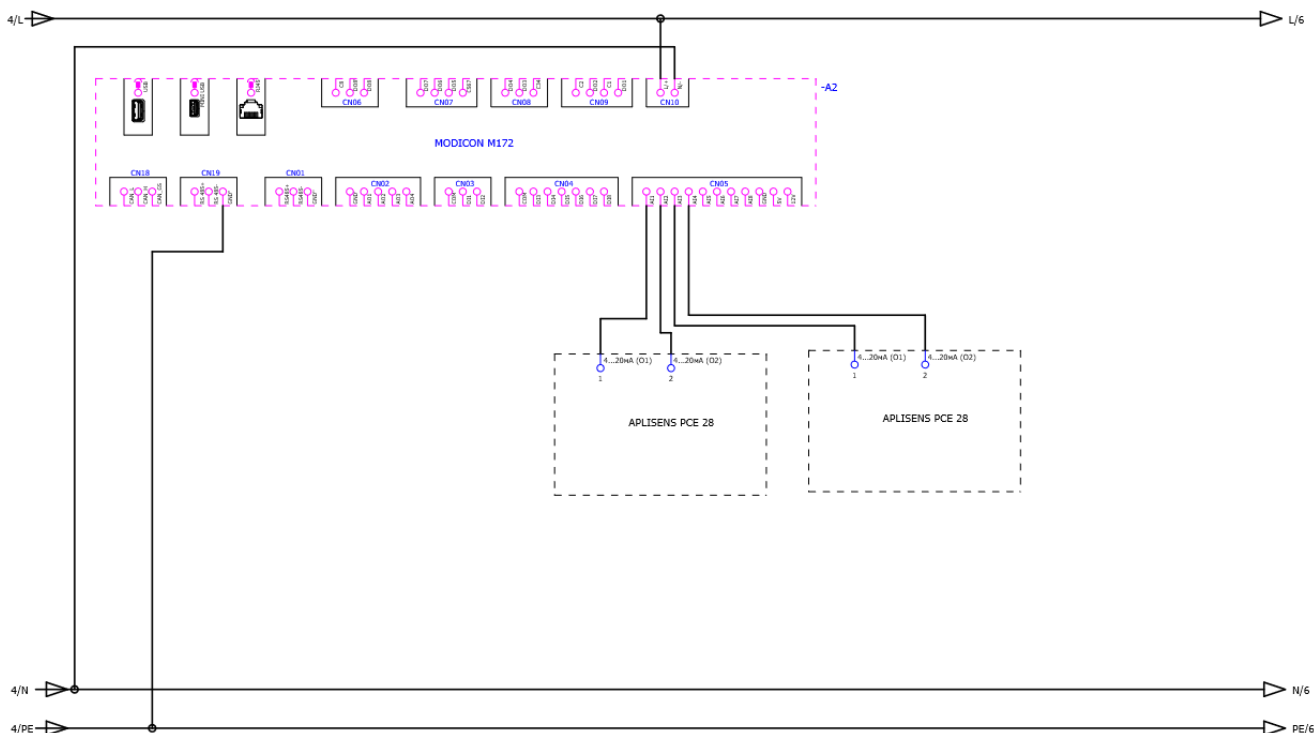


Рисунок 4.8 – Схема з'єднань з другим контролером

Система автоматизованого регулювання температури в установці для виробництва окисненого бітуму побудована на базі сучасних засобів автоматизації, зокрема мікропроцесорного контролера, датчиків технологічних параметрів і виконавчих механізмів. Основу системи складає контролер Modicon M172, який виконує функції збору, обробки і аналізу вхідної інформації, отриманої з датчиків, а також формування команд для керування виконавчими пристроями. Завдяки гнучкому програмуванню, цей контролер дозволяє реалізовувати різні логічні алгоритми автоматичного регулювання з високою точністю.

У складі системи використовуються виконавчі механізми VM-1 і VM-2, які призначені для фізичного впливу на об'єкт регулювання. Керування цими пристроями здійснюється через електромагнітні контактори типу A9C20732, які забезпечують безпечну комутацію струмових навантажень. Контактори отримують сигнали з аналогових виходів контролера і передають їх на

електрообладнання, зокрема на вентилятори або нагрівальні елементи, що застосовуються для стабілізації температури в печі або реакторі.

Температурний контроль у системі здійснюється за допомогою давачів типу TR10-C, які встановлюються на критичних ділянках технологічного процесу, зокрема на виході з печі та реактора. Ці давачі формують аналоговий сигнал у діапазоні 4–20 мА, що подається на відповідні аналогові входи контролера для подальшої обробки.

Контроль рівня сировини в збірниках здійснюється з використанням давача OPTIFLEX 8200, який належить до типу безконтактних мікрохвильових рівнемірів. Він забезпечує надійне та стабільне вимірювання рівня навіть у важких умовах експлуатації, таких як висока температура чи в'язка структура гудрону.

Для контролю тиску в системі використовуються датчики APLISENS PCE 28, які встановлюються на лініях подачі повітря та на виході зі змішувача. Ці датчики також формують аналоговий вихідний сигнал у межах 4–20 мА, що забезпечує сумісність з контролером Modicon M172. Завдяки високій точності, ці прилади дозволяють ефективно стежити за станом середовища, попереджати аварійні ситуації та підтримувати оптимальні умови для перебігу окисних процесів.

Усі вхідні сигнали від датчиків температури, тиску та рівня подаються на аналогові входи контролера, який у свою чергу формує аналогові вихідні сигнали для комутації контактів керування виконавчими механізмами. Така структура забезпечує замкнене регулювання основних параметрів процесу.

Проектування щита системи автоматизації є важливим етапом, що дозволяє грамотно розмістити та електрично об'єднати всі основні елементи керування. Щит забезпечує не лише електричне з'єднання, а й фізичний захист обладнання, легкий доступ до елементів для обслуговування, можливість розширення системи в майбутньому та дотримання норм електробезпеки.

					БР.АКП-69.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		48

У проєкті щит передбачає розміщення контролера Modicon M172, контакторів А9С20732, аналогових входів для підключення сигналів від датчиків, а також виходів для керування виконавчими пристроями.

Система автоматизації, реалізована на основі вищенаведених компонентів, забезпечує надійне та стабільне функціонування процесу регулювання температури, тиску та рівня в умовах реального промислового середовища. Її впровадження дозволяє підвищити ефективність роботи установки, знизити ризик аварій та забезпечити високу якість кінцевого продукту.

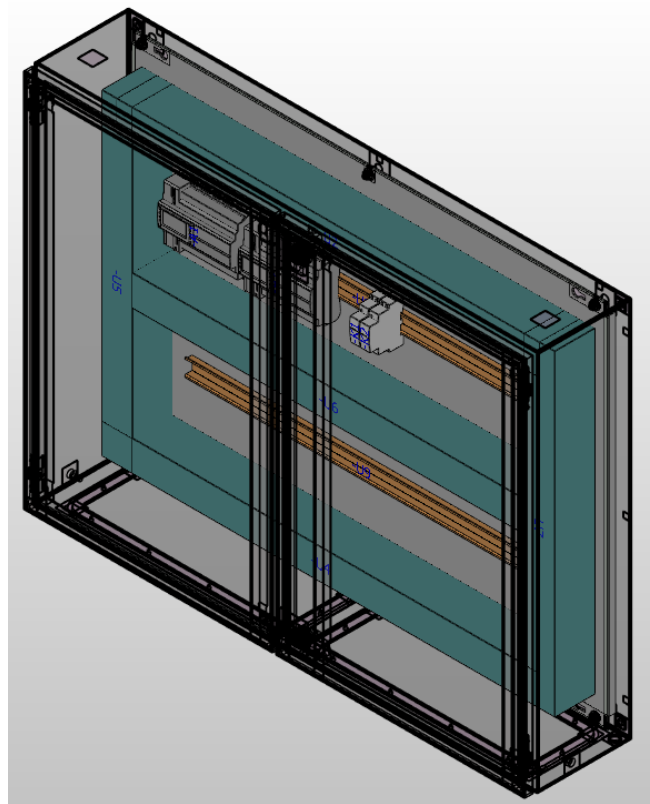


Рисунок 4.9 – Зовнішній вигляд проєктованого щита під кутом

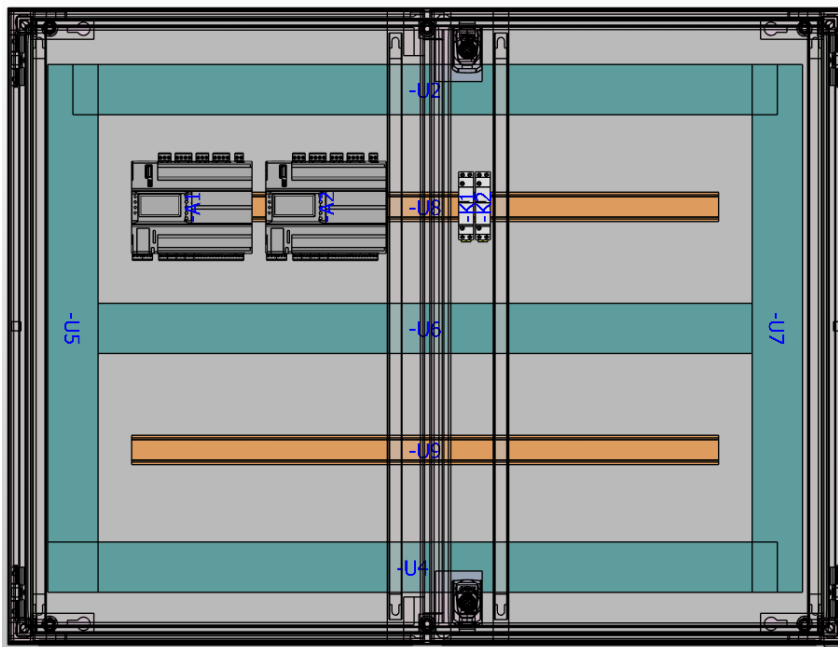


Рисунок 4.10 – Зовнішній вигляд проектованого щита спереду

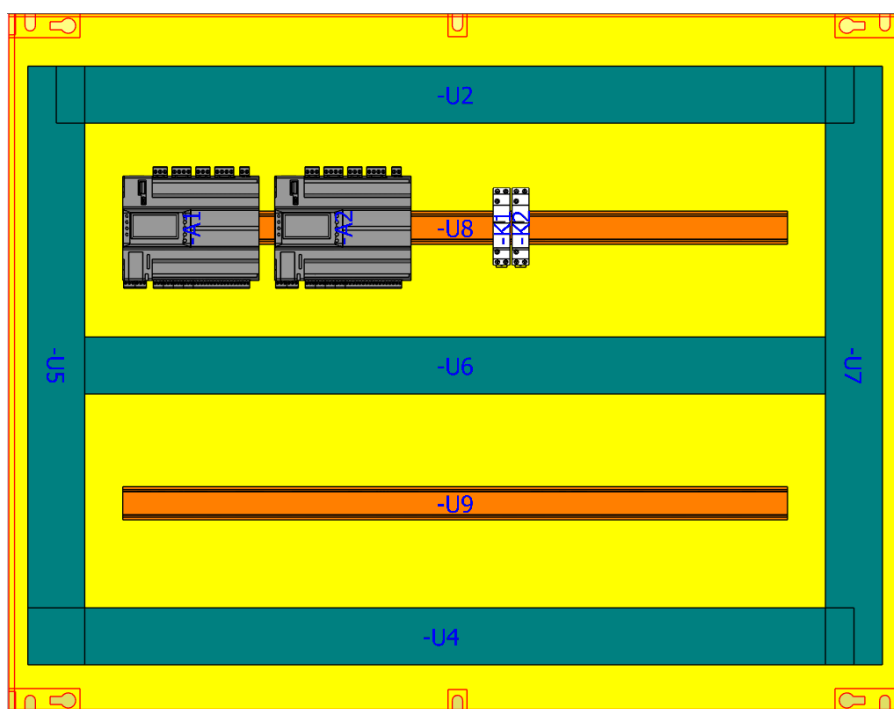


Рисунок 4.11 – Монтажна плата

Щит керування виконано на основі моделі типу RIT.1100000, яка призначена для розміщення електротехнічних компонентів системи автоматизації. Його конструктивні габарити становлять 1000 міліметрів у ширину, 760,5 міліметра у висоту та 210,7 міліметра у глибину. Загальна маса

					БР.АКП-69.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		50

щита становить 49 кілограмів, що забезпечує достатню стійкість та можливість розміщення елементів керування без перевантаження несучих конструкцій.

У середині щита змонтовано монтажну плату, на якій розміщено кабельні канали типу RIT.8800752. Вони забезпечують акуратну та безпечну прокладку сигнальних і силових проводів, а також дозволяють зручно виконувати сервісне обслуговування та майбутнє дооснащення системи. Для монтажу клем та з'єднання силових ліній використовуються шини типу RIT.2313150, що відповідають сучасним стандартам електробезпеки і забезпечують надійне механічне та електричне з'єднання.

У складі щита передбачено встановлення двох програмованих логічних контролерів типу MODICON M172, які виступають як центральні елементи системи керування. Кожен з них відповідає за обробку сигналів від зовнішніх датчиків і формування команд для керування виконавчими пристроями. Такий поділ дозволяє реалізувати паралельну або резервну структуру керування, підвищуючи надійність та гнучкість функціонування системи в цілому.

Крім контролерів, у щиті розміщено два електромагнітні контактори типу A9C20732, які забезпечують комутацію виконавчих механізмів, зокрема вентиляторів та нагрівальних елементів. Контактори підключені до аналогових або дискретних виходів контролера і активуються залежно від обчислених алгоритмів регулювання.

До контролерів через аналогові входи під'єднано давачі, які вимірюють технологічні параметри в режимі реального часу. Серед них датчики температури типу TR10-C, тиску типу Aplisens PCE 28, а також мікрохвильовий рівнемір OPTIFLEX 8200. Отримані від них сигнали дозволяють системі точно визначати поточний стан технологічного процесу й оперативно реагувати на будь-які відхилення від заданих режимів.

					БР.АКП-69.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		51

Висновки до розділу

У процесі розробки проектної частини системи автоматичного керування було виконано обґрунтований вибір технічних засобів автоматизації відповідно до умов експлуатації та функціонального призначення кожного елемента в системі. Підібрані датчики температури, тиску та рівня забезпечують точне вимірювання основних технологічних параметрів, що є критично важливим для стабільної роботи установки з виробництва окисненого бітуму.

Контролер Modicon M172 з широкими можливостями конфігурації та комунікаційними інтерфейсами дозволяє ефективно реалізувати алгоритми регулювання, забезпечуючи при цьому гнучкість і надійність системи.

Застосування контакторів A9C20732 дає змогу підключати до системи виконавчі механізми, що працюють із підвищеним навантаженням, з дотриманням електротехнічних норм.

Функціональна схема автоматизації відображає логіку роботи всієї установки, починаючи з моменту нагріву сировини й до формування кінцевого продукту. Забезпечення двостороннього зв'язку між сенсорами і контролером, а також між контролером і виконавчими пристроями, дозволяє будувати замкнений контур регулювання з високим ступенем точності.

Щит керування, який об'єднує всі основні елементи системи. Ретельно підібрані компоненти забезпечують зручність монтажу, обслуговування, розширення та підтримку працездатності системи в складних промислових умовах. Завдяки модульності та універсальності обраних рішень забезпечено сумісність між усіма елементами та можливість їхньої подальшої модернізації.

					БР.АКП-69.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		52

Загальні висновки

У ході виконання даної роботи було здійснено комплексне дослідження, аналіз та проектування системи автоматичного керування технологічним процесом виробництва окисненого бітуму в реакторі змійкового типу. На основі вивчення фізико-хімічних особливостей процесу окиснення гудрону визначено основні вимоги до стабільності температурного режиму, тиску та рівня сировини, що безпосередньо впливають на якість кінцевого продукту.

В результаті аналітичного етапу встановлено, що критичним елементом системи є реактор, у якому відбуваються екзотермічні перетворення, і саме він був обраний об'єктом автоматизації. Для опису його динаміки побудовано математичну модель, яка враховує теплову інерційність та зворотну дію управляючого сигналу.

На основі моделювання розроблено одноконтурну систему автоматичного керування з пропорційно-інтегральним регулятором, параметри якого підбрано експериментально. Проведений аналіз перехідних процесів, побудова годографа Михайлова та обчислення характеристичних рівнянь підтвердили стійкість і високу якість роботи системи. Було забезпечено аперіодичний характер регулювання, нульову статичну похибку та мінімальне перерегулювання.

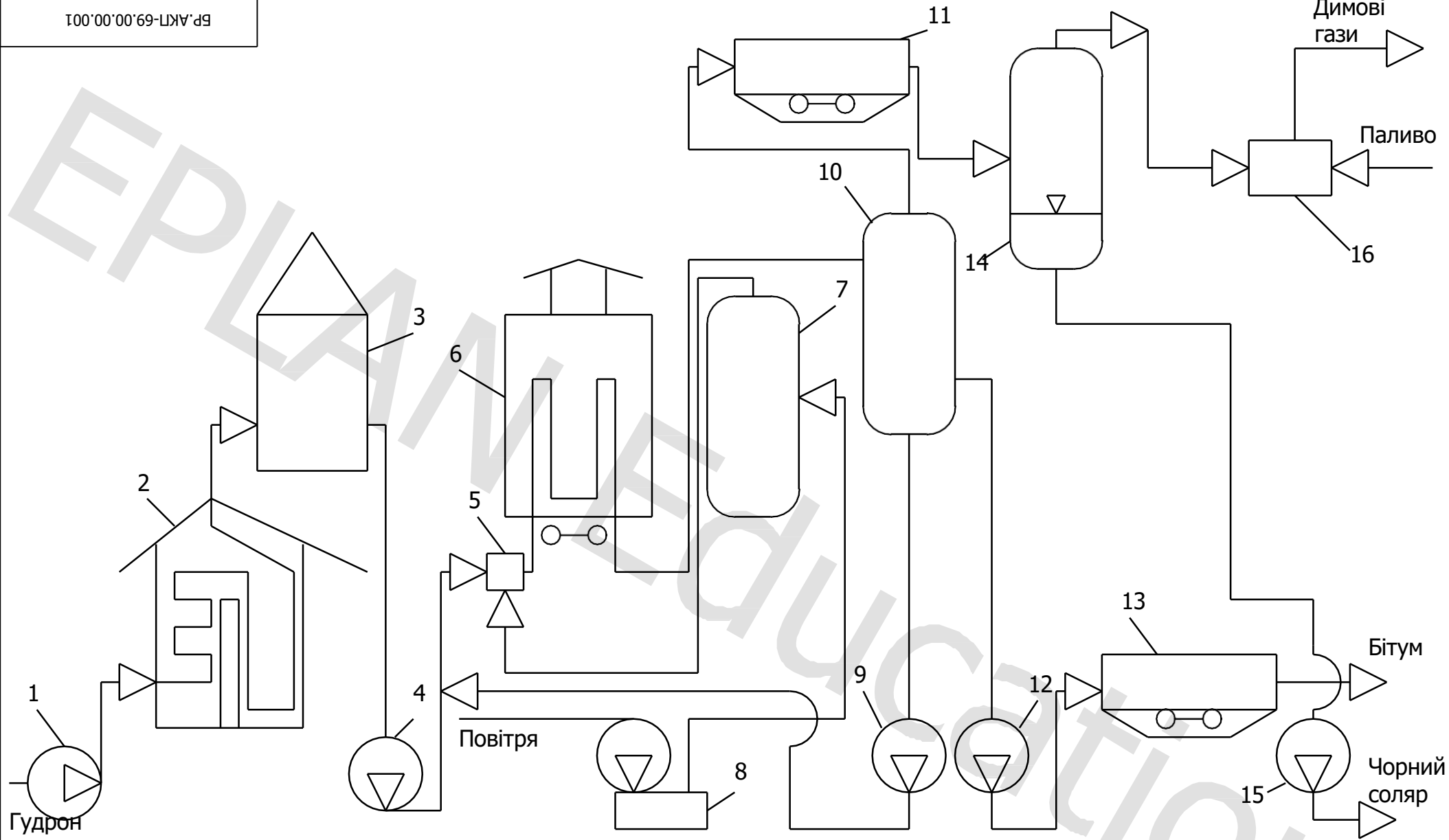
У проєктній частині виконано вибір та обґрунтування технічних засобів автоматизації, серед яких контролер MODICON M172, датчі температури, тиску й рівня, а також виконавчі механізми з відповідними елементами комутації. Побудовано функціональну схему автоматизації, розроблено щит керування та схеми зовнішніх з'єднань, що забезпечують повну інтеграцію всієї системи.

					БР.АКП-69.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		53

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Левченко М.Ф., Карпов Д.В. Системи автоматичного регулювання в хімічній промисловості. — Харків: НТУ «ХПІ», 2016. — 324 с.
2. Коваленко В.П. Теорія автоматичного керування. Моделювання і дослідження в MATLAB/Simulink. — К.: Наукова думка, 2019. — 448 с.
3. Івашко О.М. Основи проектування систем автоматизації хімічних виробництв. — Дніпро: ДНУ, 2017. — 256 с.
4. Дьяків В.В., Романенко В.А. Автоматизація технологічних процесів: підручник для ЗВО. — К.: Ліра-К, 2021. — 392 с.
5. ДСТУ 4044:2019 Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні умови. [Електронний ресурс]. — URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=84291
6. Степаненко І.Л. Автоматизоване керування технологічними об'єктами: навчальний посібник. — Львів: Видавництво ЛНУ, 2020. — 218 с.
7. Лагойда А. І. Програмно-технічні комплекси та програмне забезпечення автоматизованих систем управління технологічними процесами [Текст]: метод. вказ. до викон. курс. проекту / А. І. Лагойда, Л. І. Лагойда, М. І. Когутяк. — Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2023. — 66 с.

					БР.АКП-69.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		54



Підп. і дата

Підп. і дата

1
Гудрон

2

4

Повітря

6

5

8

9

10

11

12

13

14

15

Бітум

Чорний соляр

Димові гази

Паливо

16

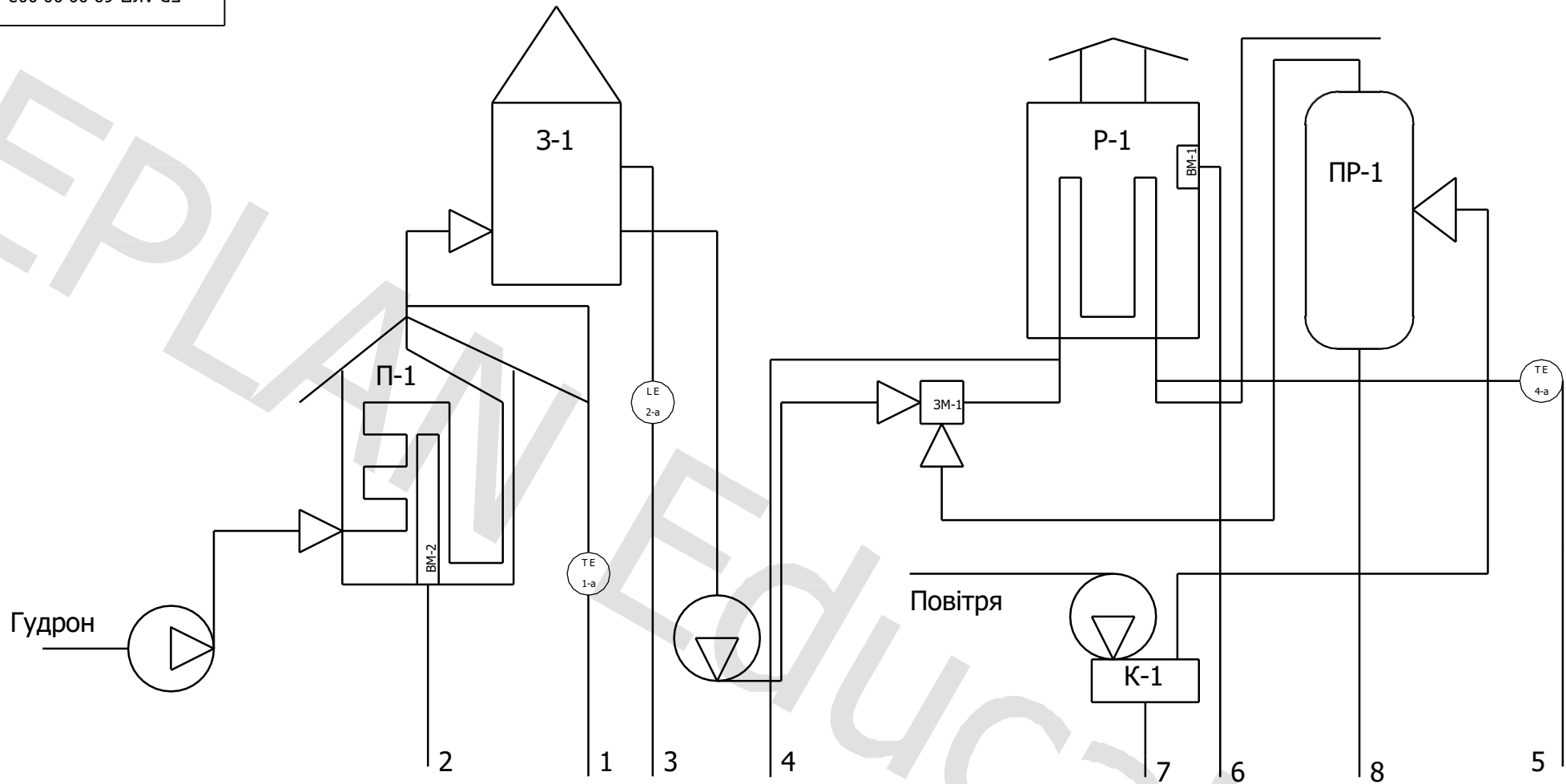
БР.АКП-69.00.00.001

Технологічна схема бітумної установки з реактором змійкового типу

Ред.	Лист	№ докум	Підп	Дата
Розроб		Чулак Д.С.		
Перев.		Фешанич Л.І.		
Г.контр.				
Реценз.		Борин В.С.		
Н.контр.		Кучмистенко О.В.		
Затв		Лагойда А.І.		

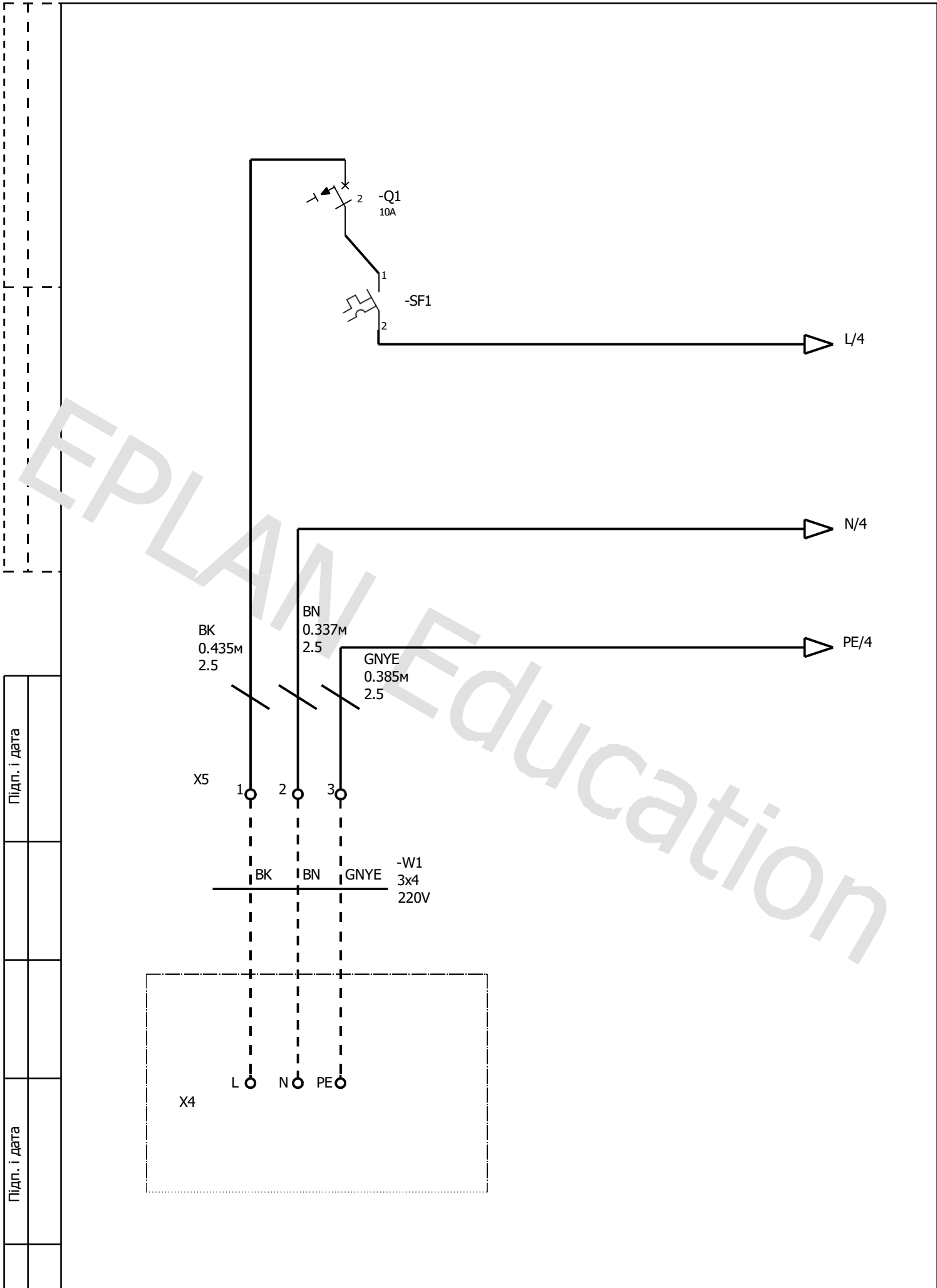
Літ	Масса	Масштаб
		1:1
Лист	Лист	1





	1	2	3	4	5	6	7	8
По місцю	ТТ 1-6	ЛТ 2-6	РТ 3-а	ТТ 4-6	РТ 5-а	РТ 6-а		
На щиті	Т ІРС 1-в	Л ІРС 2-в	Р ІРС 3-6	Т ІРС 4-в	Р ІРС 5-6	Р ІРС 6-6		

					БР.АКП-69.00.00.002			
Ред.	Лист	№ докум	Підп	Дата	Функціональна схема бітумної установки з реактором змійкового типу	Літ	Масса	Масштаб
Розроб	Чупак Д.С.							1:1
Перев.	Фешанич Л.І.					Лист	Лист	2
Т.контр.								
Реценз.	Борин В.С.							
Н.контр.	Кучмистенко О.В.							
Затв.	Лагойда А.І.							
						ІНФТУНГ АКП-23-2К 		



Підп. і дата

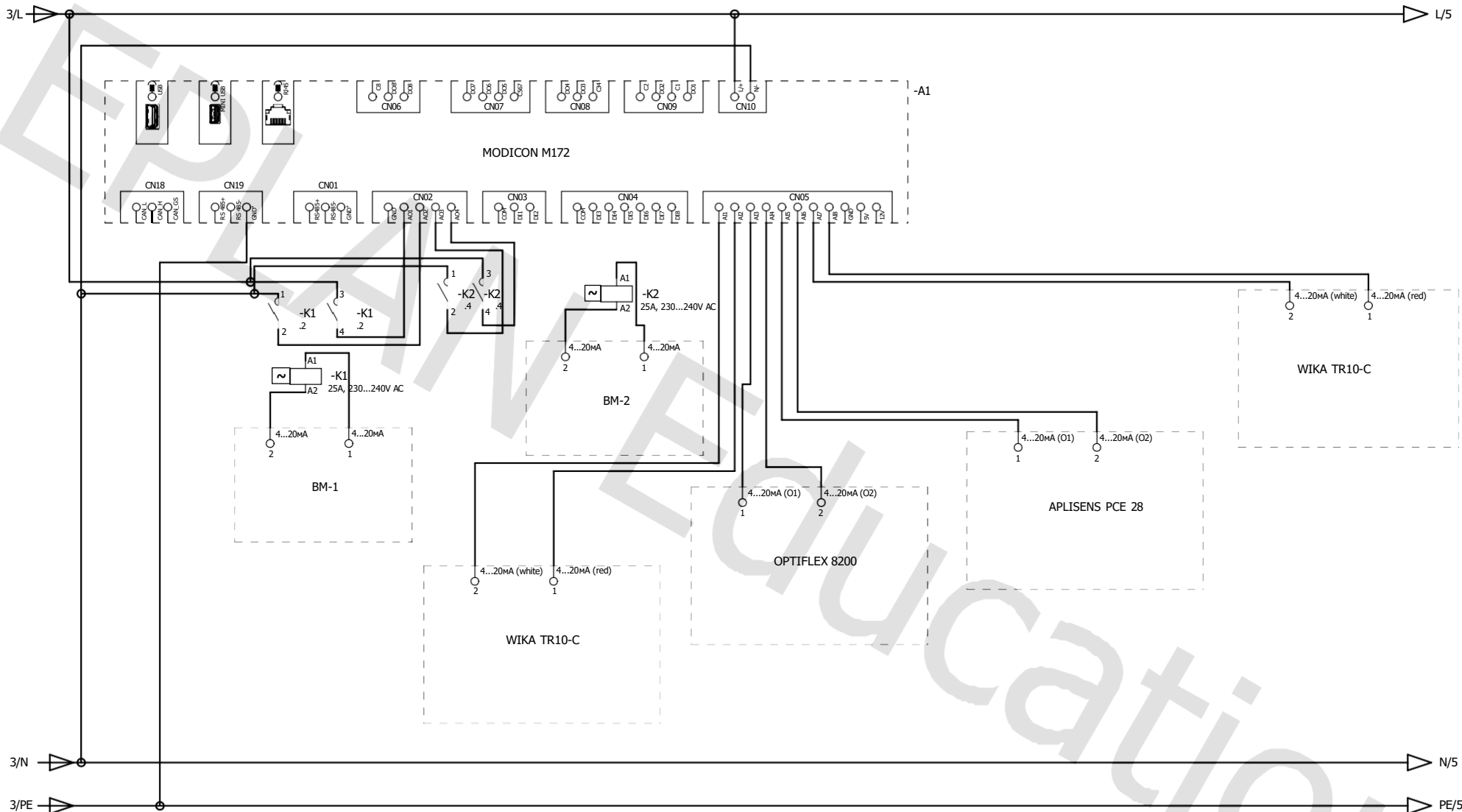
Підп. і дата

Підп. і дата

Ред.	Лист	№ докум	Підп	Дата

БР.АКП-69.00.00.003

Лист
3



Підп. і дата

Підп. і дата

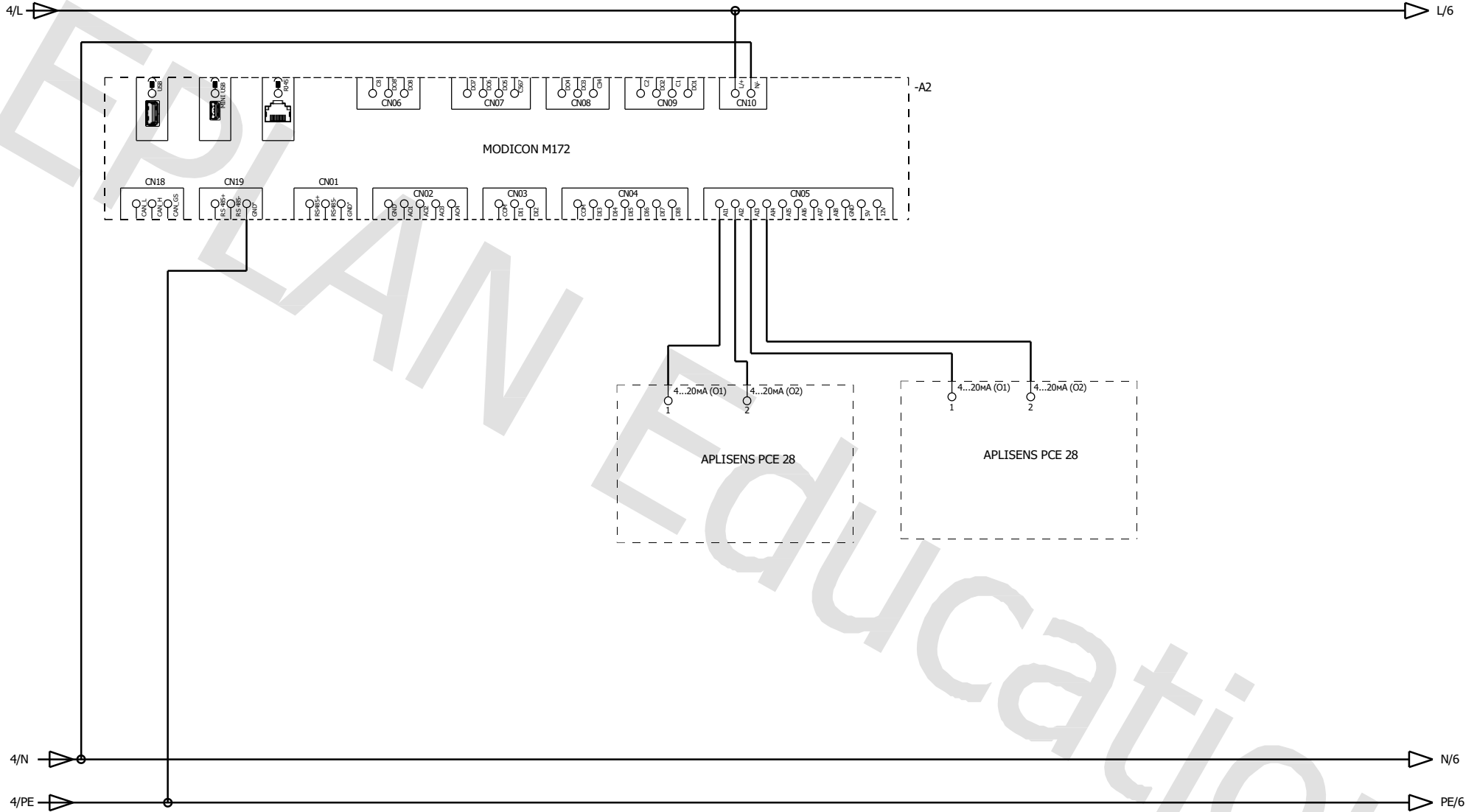
Ред.	Лист	№ докум	Підп	Дата
Розроб	Чупак Д.С.			
Перев.	Фешанич Л.І.			
Т.контр.				
Реценз.	Борин В.С.			
Н.контр.	Кучмистенко О.В.			
Затв.	Лагойда А.І.			

БР.АКП-69.00.00.004

Схема з'єднань
Бітумної установки
з реактором змійкового
типу

Ліг	Масса	Масштаб
		1:1
Лист	Лист	4

ІНФТУНГ АКП-23-2К
ePLAN



Підп. і дата

Підп. і дата

БР.АКП-69.00.00.005

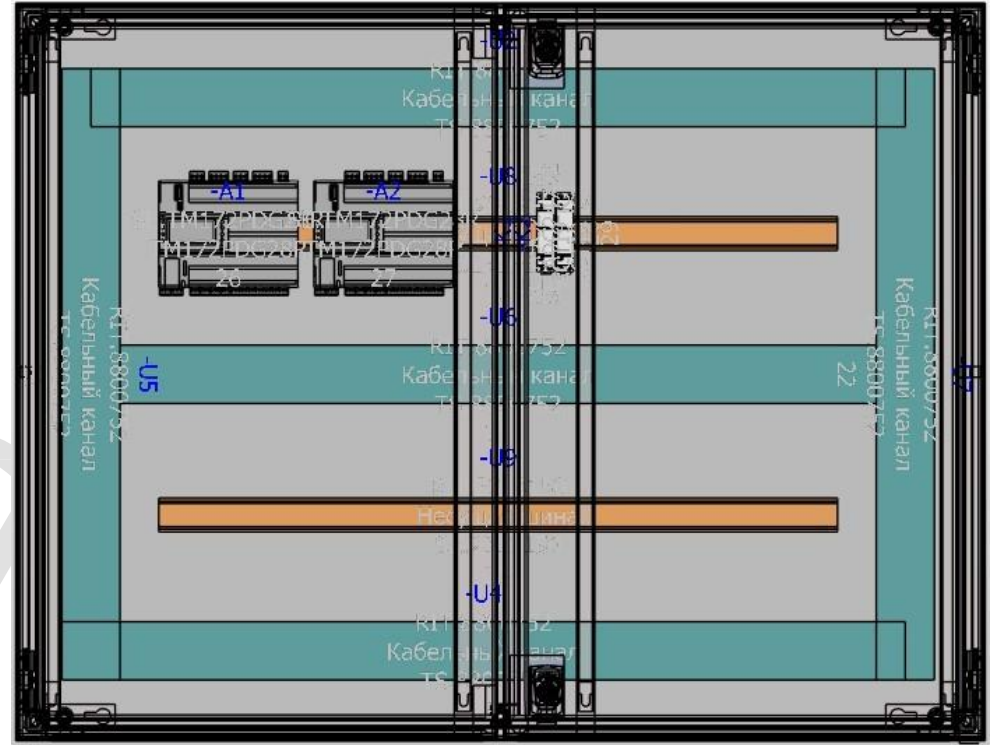
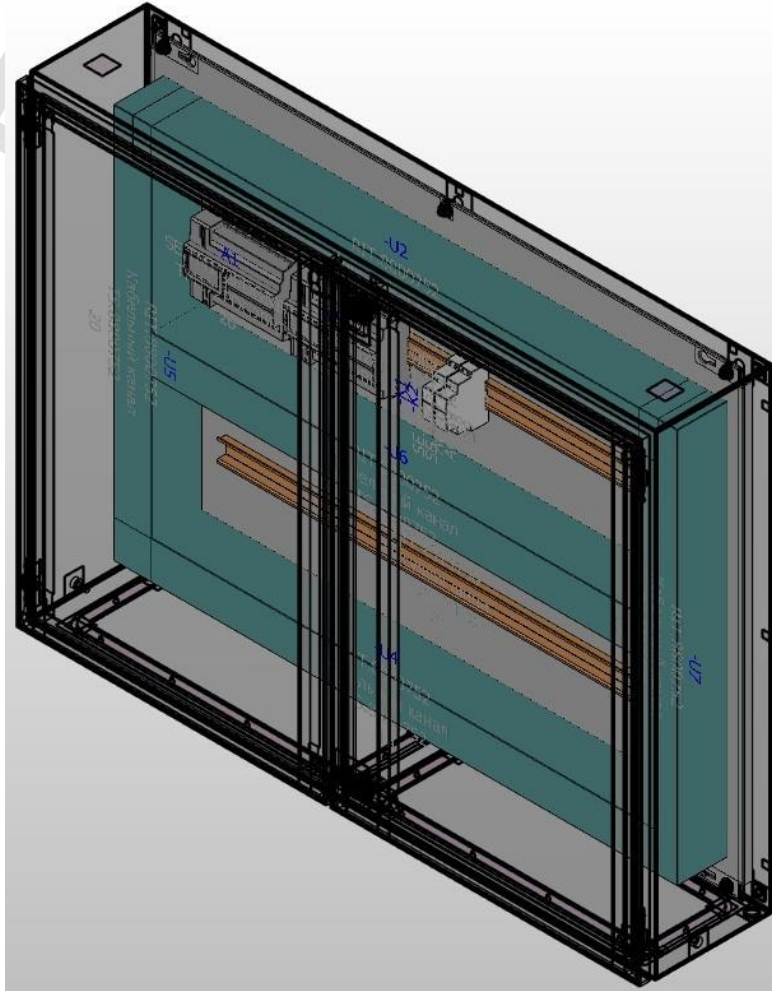
Схема з'єднань
Бітумної установки
з реактором змійкового
типу

Ред.	Лист	№ докум	Підп	Дата
Розроб.	Чупак Д.С.			
Перев.	Фешанич Л.І.			
І.контр.				
Реценз.	Борин В.С.			
Н.контр.	Кучмистенко О.В.			
Затв	Лагойда А.І.			

Літ	Масса	Масштаб
		1:1
Лист	Лист	5

ІНФТУНГ АКП-23-2К
EPLAN

БР.АКТ-69.00.00.006



Підп. і дата

Підп. і дата

БР.АКТ-69.00.00.006

Ред.	Лист	№ докум	Підп	Дата
Разраб		Чупак Д.С.		
Пров		Фешанич Л.І.		
Т.контр.				
Рук.		Борин В.С.		
Н.контр.		Кучмистенко О.В.		
Утв		Лагойда А.І.		

Щит системи автоматизації бітумної установки з реактором змійкового типу

Лист	Масса	Масштаб
		1:1
Лист	Лист	6

ІНФТУНГ АКТ-23-2К
ePLAN