

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»

Навчально-науковий інститут електроенергетики  
(інститут)

Електротехнічний факультет  
(факультет)

Кафедра кіберфізичних та інформаційно-вимірвальних систем  
(повна назва)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
**кваліфікаційної роботи ступеню бакалавра**

студента Малужонок Єгор Олександрович  
(П.І.Б.)

академічної групи 151-19-1  
(шифр)

спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
(код і назва спеціальності)

**за освітньо-професійною програмою 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології**  
(офіційна назва)

**на тему А:** зація генератора пари технологічного процесу виготовлення етилового спирту  
(назва за наказом ректора)

Консультанти	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинг.	інституційною	
Керівник кваліфікаційної роботи	ст. викл. Надточий В.В.			
Провідний консультант	ст. викл. Надточий В.В.			
Розробка апаратного забезпечення системи керування	доц. Соснін К.В.			
Визначення моделі об'єкта керування	ст.викл. Бойко О.О.			
Економічна частина	ст. викл. Яремчук І.О.			
Охорона праці	проф. Чеберячко Ю.І.			
Рецензент				
Нормоконтролер	ас. Воскобойник Є.К.			

Дніпро  
2023

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

Бублік А.В.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 року

**ЗАВДАННЯ**  
**на кваліфікаційну роботу**  
**ступеня бакалавр**

студенту Малюжонок Є.О. академічної групи 151-19-1  
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

за освітньо-професійною програмою 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
(офіційна назва)

**на тему** Автоматизація генератора пари технологічного процесу виготовлення етилового спирту затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» № 328-с від 08.05.2023 р.

Розділ	Зміст	Термін виконання
Стан питання та постановка завдання	Вступ. Опис технологічного процесу для об'єкта автоматизації. Огляд існуючих систем автоматизації. Стан питання. Вибір напрямку створення автоматизованої системи.	01.05.2023
Розробка апаратного забезпечення системи керування	Обрання датчиків, виконавчих пристроїв та пристрою керування, розробка структурних схем, функціональної схеми автоматизації та принципової схеми електричної.	10.05.2023
Визначення моделі об'єкта керування	Виконання експерименту. Обробка результатів експерименту. Створення моделі об'єкта керування. Перевірка отриманої моделі на адекватність.	15.05.2023
Економічна частина	Економічне обґрунтування доцільності витрат на створення системи керування.	25.05.2023
Охорона праці	Розробка організаційно-технічних заходів, щодо реалізації правил безпеки при експлуатації системи.	31.05.2023

**Завдання видано**

\_\_\_\_\_ (підпис керівника)

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

**Дата видачі**

01.05.2023

**Дата подання до екзаменаційної комісії**

10.06.2023

**Прийнято до виконання**

\_\_\_\_\_ (підпис студента)

Малюжонок Є.О.  
(прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 1129 стор., 59 рис., 25 табл., 2 дод.

Об'єкт розробки – система автоматичного керування генератором пари технологічного процесу виготовлення етилового спирту, продуктивністю до 3 кг/с перегрітої пари, який використовується для живлення епюраційної колони BTS 1600-32, яка використовується на Гнідавському біоетанольному заводі.

Об'єкт дослідження паровий котел МЕР-0-90 продуктивністю до 3 кг/с перегрітої пари.

Предмет дослідження – модель парового котлу МЕР-0-90 продуктивністю до 3 кг/с перегрітої пари.

Головною метою роботи є розробка моделі об'єкта керування для регульованого тиску перегрітої пари, в залежності від потужності газового пальника. При цьому інші вхідні і вихідні параметри мають бути не змінними і знаходитись у номінальному стані.

Виходячи з отриманих результатів можливо зробити висновок, що розроблена модель відповідає об'єкту керування, та може бути використана для подальшої розробки підсистеми керування. Подальше вдосконалення моделі можливе у рамках більш детального аналізу впливів збурення, та модифікації програмного коду з метою підвищення швидкодії. Отримана модель може бути використана для розробки програмного забезпечення підсистеми керування.

Розглянуто техніко-економічного обґрунтування ефективності результатів розробки і впровадження автоматизованої системи керування генератором пари технологічного процесу виготовлення етилового спирту.

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

СПИРТ ЕТИЛОВИЙ, ГЕНЕРАТОР ПАРИ, ТИСК, НАГРІВАЧ, СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, ДАТЧИК, ВИКОНАВЧИЙ ПРИСТРІЙ, ДОСЛІДНИЦЬКА СИСТЕМА, ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ

## ЗМІСТ

Вступ	7
1 Стан питання та постановка завдання	10
1.1 Галузь промисловості	10
1.1.1 Екологічні питання	10
1.1.2 Біоетанол	11
1.2 Технології виробництва біоетанолу	14
1.2.1 Загальні відомості	14
1.2.2 Технологічна схема браго-ректифікаційної установки	17
1.3 Об'єкт керування	21
1.3.1 Загальні відомості	21
1.3.2 Класифікація парових котлів	22
1.3.2 Характеристика об'єкта керування	26
1.3.3 Структура об'єкту керування	30
1.3.4 Принцип функціонування об'єкту керування	31
1.4 Структурна схема об'єкту керування	32
1.5 Формулювання задачі дослідження	33
1.6 Висновки за розділом	34
2 Розробка апаратного забезпечення системи керування	36
2.1 Розробка структурної схеми підсистеми керування	36
2.2 Вибір апаратного забезпечення підсистеми керування	38
2.2.1 Вибір датчиків	38
2.2.2 Вибір виконавчих пристроїв	47
2.2.3 Вибір пристроїв керування	51
2.2.4 Вибір джерел живлення	58
2.3 Розробка функціональної схеми автоматизації	60
2.4 Розробка схеми електричної принципової	62
2.5 Висновки за розділом	64
3 Визначення моделі об'єкта керування	65

	5
3.1 Загальні відомості	65
3.2 Розробка структурної схеми інформаційних потоків дослідницької системи	66
3.3 Розробка методики дослідження об'єкта керування	68
3.4 Виконання експерименту	69
3.5 Обробка результатів експерименту	73
3.5.1 Підготовка даних	73
3.5.2 Структурна ідентифікація	75
3.5.3 Параметрична ідентифікація	78
3.5.4 Розробка моделі об'єкта керування в Simulink	82
3.5.5 Перевірка моделі на адекватність	84
3.6 Розробка схеми моделі засувки	84
3.7 Остаточна комплексна модель об'єкту керування	86
3.8 Висновки за розділом	87
4 Економічна частина	89
4.1 Техніко-економічне обґрунтування впровадження системи керування	89
4.2 Розрахунок капітальних витрат пов'язаних з впровадженням системи керування	89
4.3 Розрахунок капітальних витрат на програмне забезпечення	91
4.3.1 Розрахунок часу на розробку програмного забезпечення	91
4.3.2 Розрахунок витрат на розробку програмного забезпечення	93
4.4 Розрахунок експлуатаційних витрат	94
4.4.1 Амортизація основних фондів	94
4.4.2 Розрахунок фонду заробітної плати	95
4.4.3 Відрахування на соціальні заходи	96
4.4.4 Розрахунок витрат на технічне обслуговування та ремонт	96
4.4.5 Витрати на електроенергію	96
4.4.6 Інші витрати	97
4.5 Висновки за розділом	98
5 Охорона праці	99

5.1 Аналіз шкідливих та небезпечних факторів при процесу виготовлення етилового спирту	99
5.2 Інженерно-технічно заходи з охороні праці	101
5.3 Вибір кондиціонера	104
5.4 Пожежна профілактика	105
5.5 Висновки за розділом	106
Висновки	107
Перелік посилань	110
Додаток А	113
Додаток Б	114
Відгуки консультантів кваліфікаційної роботи	115
Відгук	117
Рецензія	119

## ВСТУП

Генрі Форд і Олександр Грем Белл одними з перших визнали, що велику кількість цукрів, що міститься в рослинах, можна легко і недорого перетворити в чисте, поновлюване спиртове паливо. Хоча сьогодні концепція така ж, як і тоді, етанолова промисловість пройшла довгий шлях з тих часів. Сьогодні складні заводи з переробки відновлюваного палива працюють подібно до хімічного заводу, здатного виробляти кілька відновлюваних видів палива та продуктів. Використовуючи найсучасніші технології, біорефінерії етанолу перетворюють зерно, напої та харчові відходи, целюлозну біомасу та інші продукти, які називаються сировиною, у високоефективний етанол [1].

Біорефінерія - це виробничий об'єкт, який об'єднує процеси перетворення біомаси та технологічне обладнання для виробництва палива, енергії та інших корисних продуктів, таких як хімічні речовини з сировини біомаси. Типова біомаса, що переробляється в біорефінерії, включає сировину, таку як сільськогосподарські відходи та відходи, які перероблюють у різні продукти з доданою вартістю, такі як продукти харчування, корми, хімікати, біоенергетика (біопаливо, потужність та / або тепло).

Виробничі процеси біорефінерії розроблені таким чином, щоб бути стійкими та екологічно чистими. Подібно до звичайних нафтопереробних заводів, біорефінерії можуть забезпечити кілька хімічних речовин шляхом фракціонування вихідної сировини (біомаси) на кілька проміжних (вуглеводи, білки, тригліцериди), які можуть бути додатково перетворені в продукти з доданою вартістю. Ключовою характеристикою біорефінерії є переробка відходів, таких як сільськогосподарські, міські та промислові відходи шляхом перетворення непотрібної біомаси в цінні матеріали [6].

Постійні зусилля, спрямовані на зміну бензину, щоб мінімізувати його вплив на навколишнє середовище та зменшити залежність сирової нафти, переорієнтували увагу на питання якості палива. Збільшення використання етанолу, який зараз становить понад 90 відсотків бензину країни, викликало запитання, а іноді

викликало занепокоєння у спільноти антикварних автомобілів. Для власника класичного автомобіля це питання полягає в тому, чи буде працювати сьогоднішнє паливо в вчорашніх автомобілях.

Власники класичних транспортних засобів мають унікальні міркування: паливна система транспортного засобу може значно відрізнятись від такої у сучасних автомобілів; транспортний засіб зазвичай їздить не часто і зберігається протягом тривалого періоду часу; і транспортний засіб, ймовірно, працює на багатих при визначених налаштуваннях повітря / палива в порівнянні з сучасними автомобілями. У випадку з «м'язовими автомобілями» ступінь стиснення може диктувати використання дуже високого октанового бензину, і, якщо сідла клапанів не загартовані, вплив неетилованого бензину з етанолом або без нього на сідла випускних клапанів може бути проблемою. На жаль, обмежена інформація була написана таким чином, щоб вирішити ці проблеми з точки зору класичного автовласника.

Бензин постійно змінюється і переформулюється на основі різних факторів, включаючи тип використовуваної сировини нафти, суміш виробленої готової продукції, федеральні закони і правила, а також досягнення в технології процесів.

Останнім часом зміни були викликані екологічними проблемами та питаннями енергетичної незалежності. У сімдесяті роки було введено в дію неетилований бензин. У вісімдесятих і дев'яностих роках спостерігалось скорочення використання свинцю в автомобільному бензині. Волатильність палива була знижена в 1989 році і знову в 1992 році, вимагаючи палива з меншим тиском пари. Наступний раунд екологічних змін був викликаний поправками до Закону про чисте повітря 1990 року.

Це законодавство започаткувало вік оксигенованого палива в районах недосягнення чадного газу в 1992 році та введення переформульованого бензину (RFG) у 1995 році. Це законодавство також вимагало певного контролю над так званим «звичайним бензином» і вимагало повної ліквідації використання свинцю в автомобільному бензині до кінця 1995 року. Нарешті, законодавство вимагало, щоб



весь бензин, проданий після 1 січня 1995 року, містив миючий засіб, ефективний для контролю карбюратора, паливної форсунки та відкладень впускних клапанів.

У 2005 році Закон США про енергетичну політику прийняв перший в країні стандарт відновлюваних видів палива. Цей закон вимагав використовувати все більшу кількість відновлюваного палива для заміни бензину. Спочатку ця вимога була задоволена використанням етанолу в бензині на рівні 10 % об'єму, який зазвичай називають E10. Невелика кількість біодизеля також була змішана з частиною дизельного палива, що використовується.

Наприкінці 2007 року Конгрес прийняв Закон про енергетичну незалежність і безпеку. Цей закон різко підвищив кількість необхідного відновлюваного палива, що використовується, і визначив певні види відновлюваного палива. До цих пір ці вимоги були виконані за рахунок розширення використання E10, і на початку 2011 року понад 90 відсотків бензину країни становив E10. Слід зазначити, що традиційна суміш етанолу на ринку містила 10 % етанолу і називається E10. У 2011 році ЕРА США схвалила використання 15 % етанолу (E15) у 2001 році та новіших автомобілів. Однак цей дозвіл на використання E15 не поширюється на автомобілі, виготовлені до 2001 року.

Стандартна специфікація для сумішей бензину та бензину етанолу включає вимоги та вказівки щодо таких важливих паливних властивостей, як октановий колір, летючість, корозійна здатність та стабільність. Стандарти ASTM, як правило, не диктують, які компоненти повинні бути в бензині, а скоріше, як повинен працювати бензин. Нижче наведено огляд різних областей, що представляють особливий інтерес для класичного автовласника [3].

## 1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

### 1.1 Галузь промисловості

#### 1.1.1 Екологічні питання

Етанол - це перемога для всіх розвинутих країн світу. Етанол, відновлюване паливо, вже понад 40 років змішується з бензином, допомагаючи зменшити викиди транспортних засобів, покращити якість повітря, підвищити нашу енергетичну незалежність, знизити ціни на споживче паливо та забезпечити ринки доданої вартості для фермерів.

Як відомо підприємці шукають більшої конкуренції та більшої економії на паливі, яке живить їхні транспортні засоби. Майже весь бензин у розвинутих країнах сьогодні містить 10 % етанолу, а використання 15 % сумішей етанолу та гнучкого палива зростає. 15 % суміші етанолу (E15) - це паливо вищої якості, яке забезпечує більшу економію. Державні програми підтримують використання E15. Наприклад, у більш ніж 90 % існуючого автопарку США, а 9 з 10 нових автомобілів мають гарантію виробника та схвалення на E15. Етанолові заводи створюють робочі місця та допомагають підживлювати економіку цих країн. Наприклад, у 2021 році в цій галузі безпосередньо працювало понад 73 тис. американських робітників та підтримувалося додатково 335 тис. непрямих та індукованих робочих місць по всій економіці. Майже кожен п'ятий з цих працівників є ветераном американських військових. Етанолова промисловість принесла \$52,1 млрд. валового внутрішнього продукту і збільшила дохід домогосподарств на \$28,7 млрд. Етанол та виробництво кормових продуктів забезпечують цінний ринок для кукурудзи, вирощеної в Сполучених Штатах. Типовий завод з виробництва етанолу на сухому млині додає майже 2 долари додаткової вартості – або 55 % – до кожного бушеля (1 бушель США 35,24 л.) переробленої кукурудзи.

Більш чистий, екологічний паливний етанол відповідає за видалення вуглецевого еквівалента 12 млн. автомобілів з дороги щороку. У той же час вплив виробництва етанолу на навколишнє середовище був значно знижений. Використання природного газу та електроенергії на спиртових заводах сухих

млинів з 1995 року впало майже на 40 %, тоді як споживання води було скорочено вдвічі. Це сталося, коли кількість етанолу, виробленого з бушеля, зростає. Виробники отримують з бушеля кукурудзи на 15 % більше етанолу, ніж 20 років тому.

Виробництво біоетанолу забезпечує наступне:

1. Менший вуглецевий слід та підвищення енергоефективності. Використання етанолу зменшує викиди парникових газів на половину порівняно з бензином – навіть якщо включені гіпотетичні викиди зміни землекористування. Витісняючи вуглеводневі речовини, такі як ароматичні речовини в бензині, етанол також допомагає зменшити викиди токсичних речовин у повітрі, твердих частинок, чадного газу, закисів азоту та вихлопних вуглеводнів.

2. Енергетична незалежність ще більша, ніж за традиційний бензин, зменшує шкідливі викиди транспортних засобів, підтримує робочі місця та захищає енергетичну незалежність країни.

3. Відходи виробництва біоетанолу також генерують високопоживні корми для тварин, такі як зерна дистиляторів. Третина кожного бушеля, обробленого рослиною, використовується для приготування кормів для тварин. Низька вартість і поживні властивості зерна дистиляторів роблять його одним з найбільш затребуваних кормових інгредієнтів в світі [1].

В Америці суміші біоетанолу займають близько 30% загального обсягу палива. Завдяки налагодженій системі виробництва і активному розвитку галузі паливо в США коштує на 14 % менше, ніж його вартість без використання біоетанолу, густина біоетанолу складає 0,8 кг/л. [2].

### **1.1.2 Біоетанол**

Підвищення глобальної температури, катаклізми, стихійні лиха та погодні явища прискорили та активізували політичні дискусії щодо ролі вуглецю у зміні клімату.

З відновлюваними видами палива, такими як етанол, нам не доведеться чекати і сподіватися на великі технологічні або економічні прориви, тому що

паливо зараз доступне за низькою ціною, що не стимулює декарбонізацію рідкого палива. Але поступово ця ситуація поліпшується завдяки сучасним технологіям.

Етанол на основі зерна значно скорочує викиди парникових газів - на 44...52 % порівняно з бензином, а сьгоднішній кукурудзяний етанол пропонує середнє зниження викидів парникових газів на 46 % порівняно з тим же бензином. Нові технології обіцяють збільшити це скорочення майже до 70 % у найближчі кілька років. А етанол, виготовлений з волокна кукурудзяного зерна та інших целюлозних сировинних матеріалів, вже забезпечує скорочення на 80 % і більше [1].

Як це працює? Рослини, які перетворюються на поновлювані види палива, поглинають вуглекислий газ з атмосфери в міру зростання, і така ж кількість вуглекислого газу знову виділяється, коли паливо виробляється і спалюється в двигуні. Таким чином, етанол та інші відновлювані джерела енергії просто переробляють атмосферний вуглець. Навіть коли використання енергії та викиди, пов'язані з повним виробничим процесом, враховуються, етанол забезпечує значну економію викидів парникових газів порівняно з нафтовим паливом, яке він замінює.

Досягнення етанолом нульового вуглецевого сліду, очікується до 2050 року або раніше. Етанол вже скорочує викиди парникових газів (ПГ) вдвічі порівняно з бензином, і має робити більше для декарбонізації транспортного палива та боротьби зі зміною клімату в найближчі десятиліття.

Етанол має перевірений досвід скорочення викидів парникових газів від транспортування: Використання етанолу та іншого біопалива відповідно до Стандарту відновлюваного палива скоротило викиди транспортної секції ПГ США на 980 млн. метричних тон з 2008 року, згідно зі звітом Life Cycle Associates. Тільки в 2021 році використання етанолу скоротило викиди ПГ на 54,5 млн. метричних тон, що еквівалентно зняттю з дороги 12 млн. автомобілів на цілий рік.



Рисунок 1.1 – Біоетанольний завод

На додаток до скорочення викидів парникових газів, етанол є найкращим доступним інструментом для зменшення викидів вихлопних труб інших шкідливих забруднювачів.

Додавання етанолу в бензин зменшує викиди з вихлопних труб наступних забруднювачів, серед іншого:

- чадний газ, який може викликати шкідливий вплив на здоров'я, зменшуючи доставку кисню до органів організму;
- вихлопні вуглеводні, які сприяють утворенню озону, дратують очі, пошкоджують легені, посилюють проблеми з диханням;
- повітряні токсичні речовини, такі як бензол, які можуть викликати рак і репродуктивні ефекти або вроджені дефекти;
- дрібні тверді частинки, які можуть проходити через горло і ніс і потрапляти в легені, викликаючи серйозні наслідки для здоров'я.

Дослідження показують, що використання палива, змішаного з етанолом, призводить до меншої кількості токсичних викидів від транспортних засобів і становить менший ризик для здоров'я людей, ніж звичайний бензин. Бензин, що містить етанол, виробляє менші викиди токсичних хімічних речовин, які, як відомо, викликають рак.

## **1.2 Технології виробництва біоетанолу**

### **1.2.1 Загальні відомості**

Технологія виробництва біоетанолу із зерна на відміну від інших сировинних продуктів є більш ускладненою з процесами, додаванням додаткових стадій по переробці зерна і вторинних виробничих продуктів, що в підсумку дозволяє отримати різноманітний спектр додаткових продуктів.

Основні стадії процесу виробництва біоетанолу із зерна:

- очищення (пілінг) і помел зерна;
- виготовлення замісу;
- розрідження суслу;
- дріжджо-генерація (спиртове бродіння);
- дистиляція-ректифікація;
- дегідратація-денатурація;
- декантація;
- концентрація (сепарація та сушіння оливи);
- сушіння;
- очистка та зрідження CO<sub>2</sub> [2].

Основними перевагами виробництва біоетанолу є високий зростаючий ринковий попит, швидка оборотність до 5 днів, висока рентабельність виробництва як самого біоетанолу – 35 %, так і субпродуктів - DDGS, DCO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> - вище 100 %.

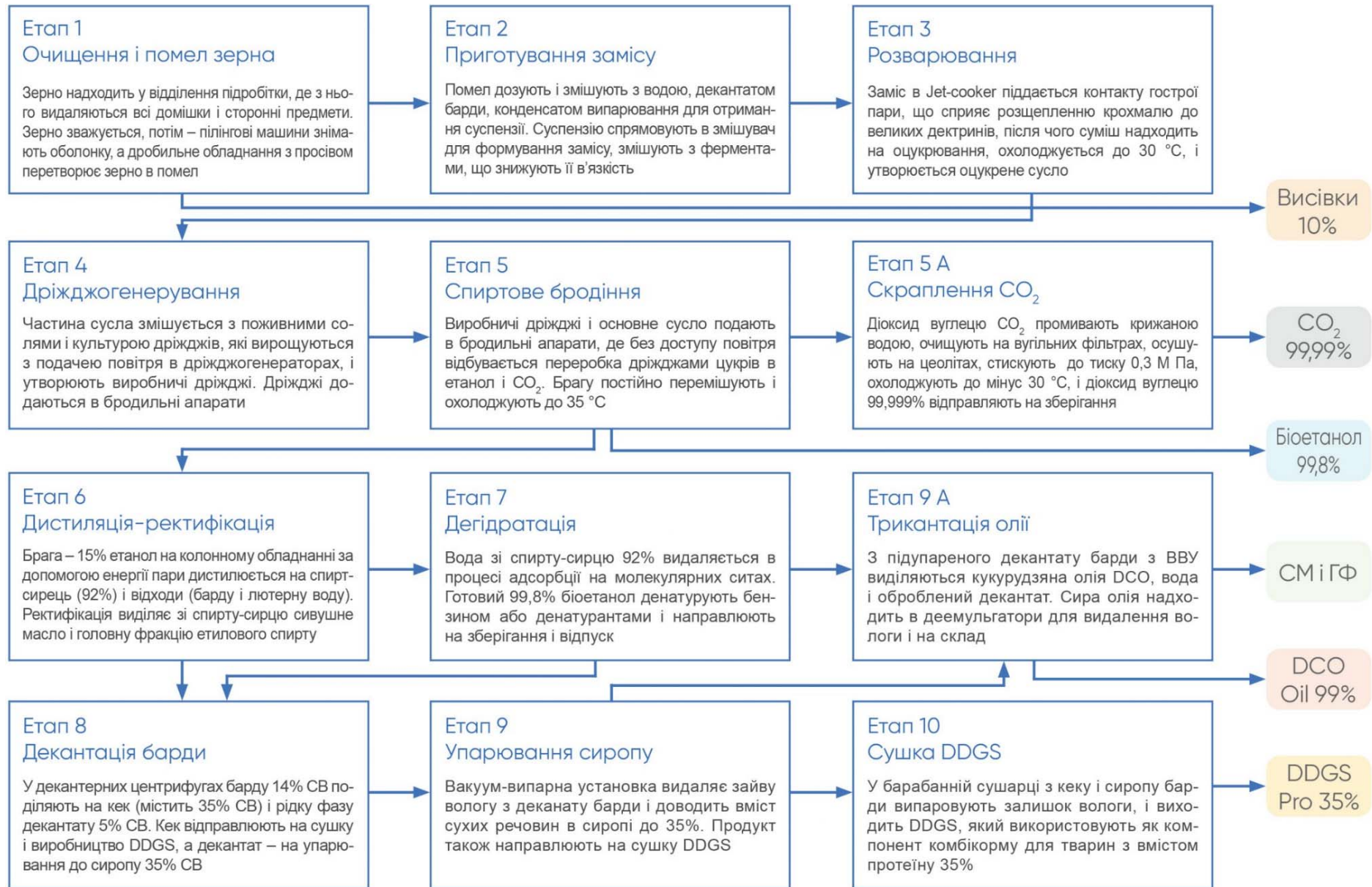


Рисунок 1.2 - Основні стадії процесу виробництва біоетанолу

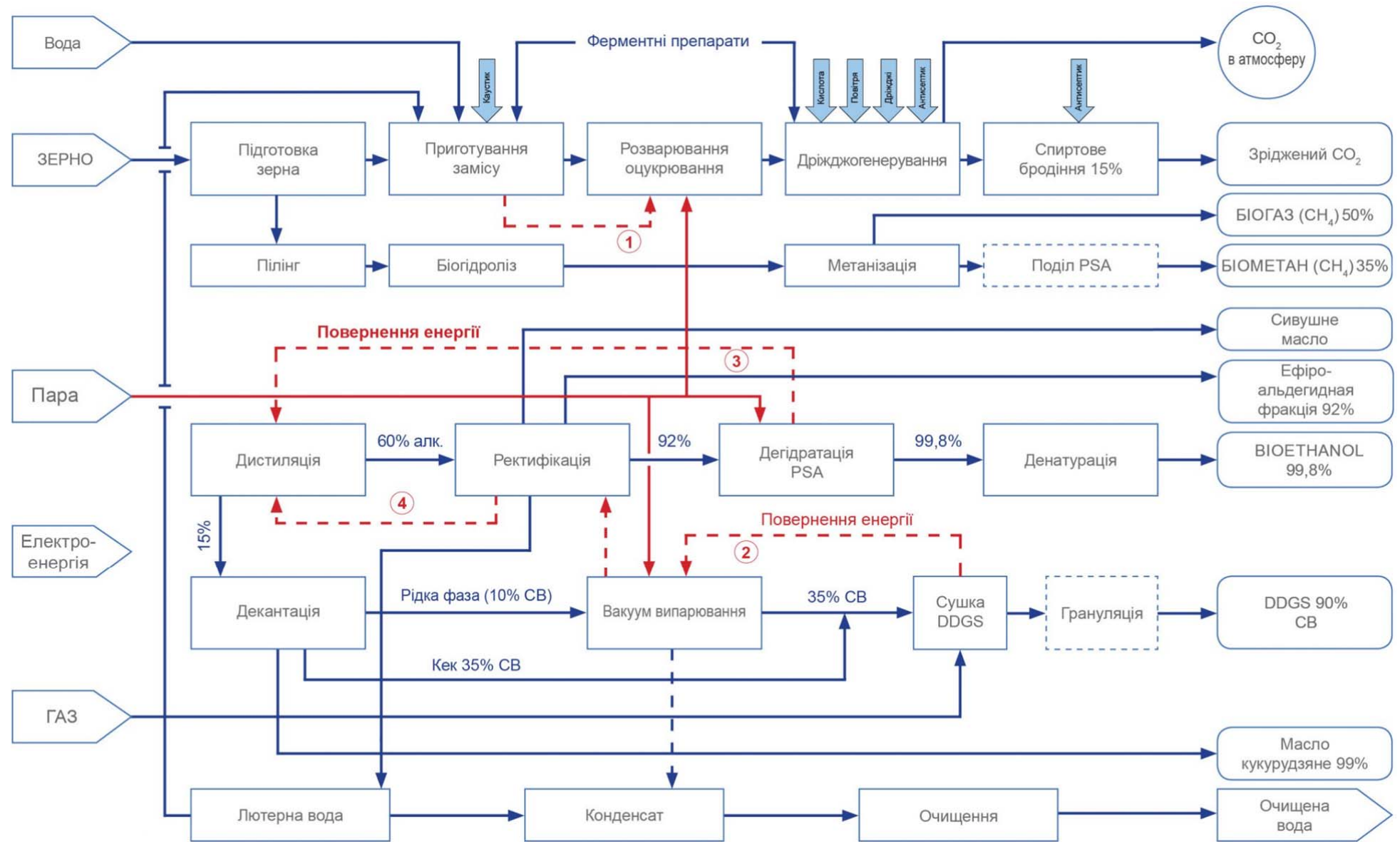


Рисунок 1.3 - Процесна схема виробництва



Процесна схема виробництва біоетанолу на зерні передбачає:

- створення підприємства замкнутого циклу;
- інтеграцію всіх стадій виробництва кінцевої продукції.

Де основними результатами є наступне:

процес отримання бражки - процес отримання товарного зрідженого CO<sub>2</sub>,  
процес отримання біогазу;

- процес отримання біоетанолу;
- процес отримання високо-протеїнової сухої барди DDGS - з вмістом білку 35...50% та рентабельністю в 300 %, процес отримання олії декантату барди.
- процес обробки і очищення конденсатів.

3 напрямками ефективності технології для виробництва біоетанолу є забезпечення наднизьких виробничих витрат в галузі завдяки зменшенню:

- споживання води у виробництві з 0,2 м<sup>3</sup>/дал до 0,03 м<sup>3</sup>/дал;
- наднизького споживання тепла на сушку;
- використання мульти-ефекту обігріву ректифікаційної та дистиляційної колон, вихлопу сушки вакуум-випарної установки, стадії гідро-ферментативної обробки.

Застосування сучасних біотехнологій для додаткового виробництва:

### **1.2.2 Технологічна схема браго-ректифікаційної установки**

Браго-ректифікаційна установка зображена на рис. 1.3.

На рис. 1.4 показані наступні технологічні апарати: 1 – бражна колона; 2 – епюраційна колона; 3 – спиртова колона; 4 – колона екстрактивної ректифікації; 5 – колона кінцевої очистки; 6 – колона розгінна; 7, 8 – бражний підігрівач; 9 – водяна секція бражного підігрівача; 10, 13, 16, 19, 21, 25 – конденсатори; 12, 15, 20, 22, 24 – дефлегматори; 14 – конденсатор сивушного спирту; 11 – напірний збірник гарячої пом'якшеної води; 17 – екстрактор сивушного масла; 18 – декантатор; 23 – паровий ежектор.

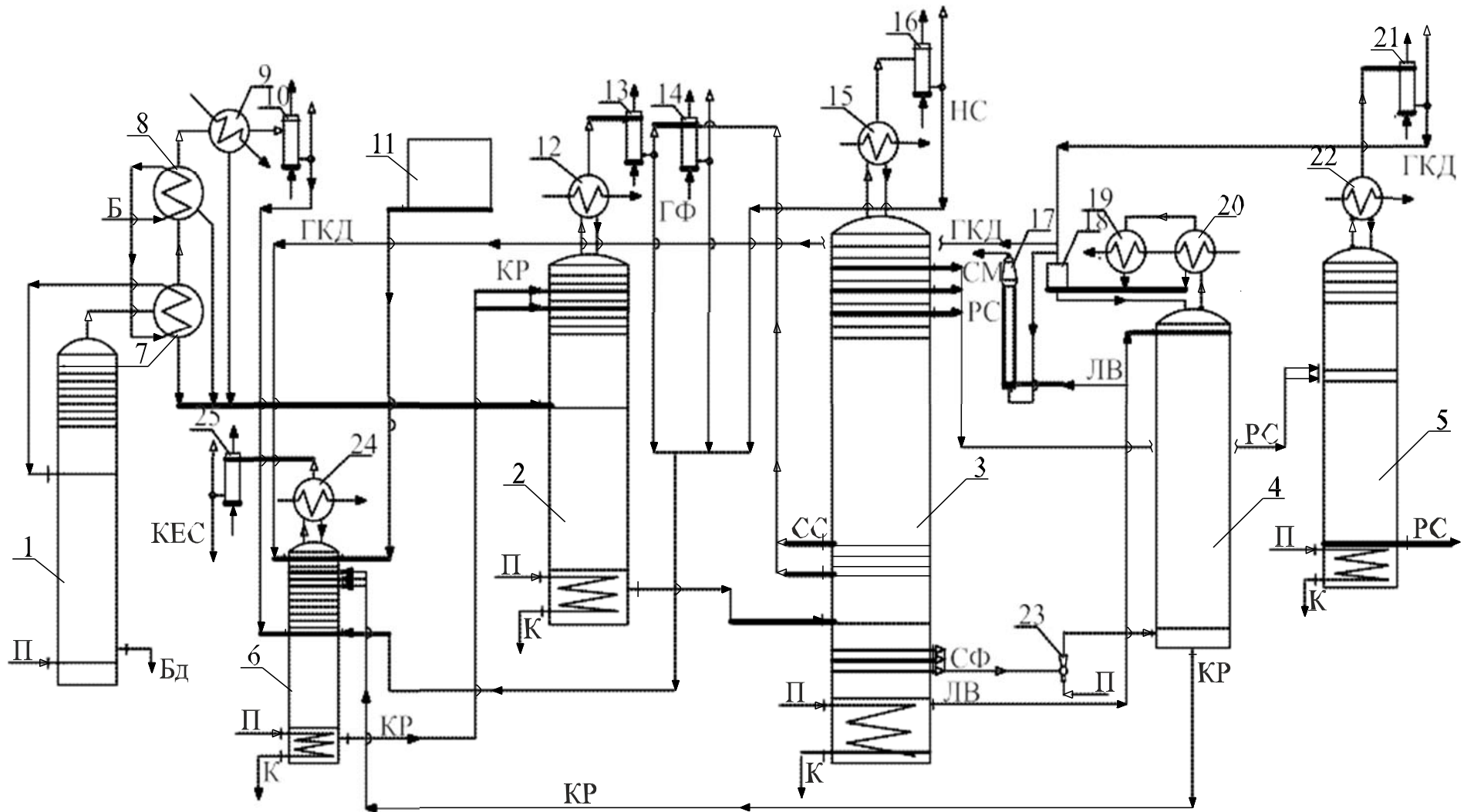


Рисунок 1.4 – Браго-ректифікаційна установка для отримання ректифікованого спирту високої якості

На рис. 1.4 використовуються наступні умовні позначення: Б - бражка; БД – барда; ГКД – головні та кінцеві домішки; ГФ – головна фракція спирту етилового; ЛВ – лютерна вода; СМ – сивушне масло; СФ – сивушна фракція; РС – ректифікований спирт; НС – непастеризований спирт; СС – сивушний спирт; КЕС – концентрат естери-сивушний; К – конденсат; КР – кубова рідина; П – пара.

Браго-ректифікаційна установка включає бражну, епіюраційну, спиртову, розгінну колони, колону екстрактивної ректифікації та колону кінцевої очистки, з'єднаних трубопроводами, а також відповідне теплообмінне обладнання. Для обігріву колон в їх нижні частини подають гріючу пару (П). При закритому обігріві відводять конденсат пари (К). Бражку (Б) послідовно подають через другу 8 та першу 7 секції бражного підігрівача, де нагрівають водно-спиртовою парою бражної колони 1 до температури, близької до температури кипіння, і далі направляють на верхню тарілку бражної колони, в якій відбувається вилучення спирту та супутніх органічних домішок з бражки. Бражний дистилят із бражних підігрівачів 7, 8 та водяної секції підігрівача 9 подають на тарілку живлення епіюраційної колони 2, а конденсат пари з конденсатора 10 направляють на тарілку живлення розгінної колони 6. З кубової частини бражної колони 1 відводять барду (БД).

В епіюраційній колоні 2 здійснюють концентрування та вилучення головних і частини проміжних домішок спирту. Для цього у верхню зону концентраційної частини колони 2 подають кубову рідину розгінної колони 6. Концентровані домішки у вигляді головної фракції спирту етилового (ГФ) відводять із конденсатора 13 епіюраційної колони 2.

Сивушний спирт (СС) відбирають із парової фази 18...23 - і тарілок спиртової колони 3, направляють у міжтрубний простір конденсатора 14 і після їх конденсації виводять з установки разом з ГФ. Сивушну фракцію (СФ) відбирають із парової фази 5, 7, 9, 11 - і тарілок колони 3. У верхній пастеризаційній частині спиртової колони 3 здійснюють концентрування головних домішок, які не в повній мірі вилучились в епіюраційній колоні 2. Ці домішки у вигляді непастеризованого спирту (НС) відводять через конденсатор 16 разом з ГФ із конденсатора 13,

фракціями із конденсаторів 10 і 14 на тарілку живлення розгінної колони 6. Із рідинної фази верхніх тарілок концентраційної частини спиртової колони 3 відбирають ректифікований спирт (РС) і направляють на тарілку живлення колони кінцевої очистки 5, верхня частина якої з'єднана з дефлегматором 22 і конденсатором 21. У колоні 5 відбувається очищення спирту від головних і кінцевих домішок (ГКД), які відбирають із конденсатора 21 і далі направляють на верхню тарілку розгінної колони 6.

З нижньої частини колони кінцевої очистки 5 відбирають товарний ректифікований спирт. Пари (СФ) змішують з гріючою водяною парою в ежекторі 23 і подають в кубову частину колони екстрактивної ректифікації 4. На її верхню тарілку подають гарячу лютерну воду (ЛВ) з кубової частини спиртової колони 3. У колоні 4 відбувається вилучення та концентрування спиртів сивушного масла (СМ). Конденсат парів СМ із дефлегматора 20 та конденсатора 19 направляють в декантатор 18, де відбувається розшаровування суміші: рідину із нижньої частини декантатора 18 повертають у вигляді флегми на верхню тарілку колони 4, а СМ направляють в екстрактор 17. В нижню його частину подають лютерну воду для промивання масла. Концентроване СМ у вигляді товарного продукту відбирають з верхньої частини екстрактора 17.

Використання ЛВ спиртової колони для проведення гідроселекції у колоні екстрактивної ректифікації не впливає на якість ректифікованого спирту, оскільки звільнена від вищих спиртів сивушного масла кубова рідина колони екстрактивної ректифікації з низьким вмістом етилового спирту (1,5...3,0 % об.) подається у концентраційну зону розгінної колони, в якій відбувається вилучення проміжних домішок, включаючи компоненти сивушного масла, та їх концентрування.

Кубову рідину (КР) колони 4 направляють на 3...5 - у тарілки, рахуючи зверху, розгінної колони 6 для гідроселекції проміжних домішок, включаючи компоненти сивушного масла, та їх концентрування. На верхню тарілку колони 6 із збірника 11 подають гарячу пом'якшену воду для зниження концентрації етилового спирту в кубовій частині до розрахункової. В процесі розділення спиртовмісних фракцій в колоні 6 флегму із дефлегматора 24 повертають на

верхню тарілку колони, а концентрат естеров-сивушний (КЕС) відводять із установки із конденсатора 25.

Для здійснення гідро-селекції в епюраційній колоні 2 у верхню зону її концентраційної частини подають очищену від головних та частини проміжних домішок кубову рідину (КР) розгінної колони 6.

Облік конденсату пари для гідро-селекції домішок в розгінній колоні, кубової рідини розгінної колони і лютерної води спиртової колони здійснюють за допомогою відповідних витратомірів [4].

### **1.3 Об'єкт керування**

#### **1.3.1 Загальні відомості**

У кваліфікаційній роботі бакалавра в якості об'єкту керування був обраний один з енергоємних апаратів технологічної ланки виробництва етилового спирту – паровий котел.

Парові котли забезпечують технологічні апарати браго-ректифікаційної установки з виробництва ректифікованого спирту тепловою енергією. Згідно рис. 1.4 вони живлять паром наступні технологічні апарати: бражну колону, епюраційну колону, спиртову колону, колону екстрактивної ректифікації, колону кінцевої очистки, колону розгінну, бражні підігрівачі та інші технологічні апарати.

Прикладною задачею з автоматизації парового котла визначено паровий котел, який використовується для живлення епюраційної колони BTS 1600-32, яка використовується на Гнідавському біоетанольному заводі. В табл. 1.1 наведено її основні технічні параметри [7].

Епюраційна колона являє собою пластинчастий колонний апарат, призначений для обробки сирого спирту – поділення його на високо-леткі спирти (ефірні масла) та епюрат. Концентрація корисного продукту епюрату становить близька 33 % об. Видалення шкідливих ефірних масел - головної фракції здійснюється при температура кипіння яка перевищує температуру кипіння етилового спирту (74 °C).

Таблиця 1.1 – Технічні параметри епіюраційної колони

Параметр	Значення
Виробник	BTS Engineering
Модель	BTS 1600-32
Матеріал	AISI 304
Номінальна температура парів (уверху), С	80..86
Продуктивність, л/год	1 600...4 160
Вода артезіанська, м <sup>3</sup> / л	0,001...0,002
Витрата електроенергії, кВт/літр	0,05...0,1
Витрата гострої пари, кг/л	1,25...2,0 (6 бар)
Витрата органічного палива, нм <sup>3</sup> /л	0,1...0,15 (на прикладі природного газу)
Витрата оборотної води, м <sup>3</sup> / л	0,1 (на виході з градирні 20 °С)
Кількість тарілок, шт.	32
Тип тарілок	сітчасті
Діаметр, мм	1 600
Відстань між тарілками, мм	500
Тип обігріву / охолодження	ізольований, паром
Робочий тиск	вакуум, атмосферний тиск, надлишковий тиск
Сировина	зернові культури, м'яса, патока, лігноцелюлоза
Застосування	спирт, сирець, епюрат, етанол

### 1.3.2 Класифікація парових котлів

Котли використовуються в різних технологічних процесах для вироблення пари. Вони мають вирішальне значення для якості і надійності роботи технологічного обладнання. В основному вони використовуються на теплових технологічних об'єктах, де для виробництва продукції використовуються теплова енергія.

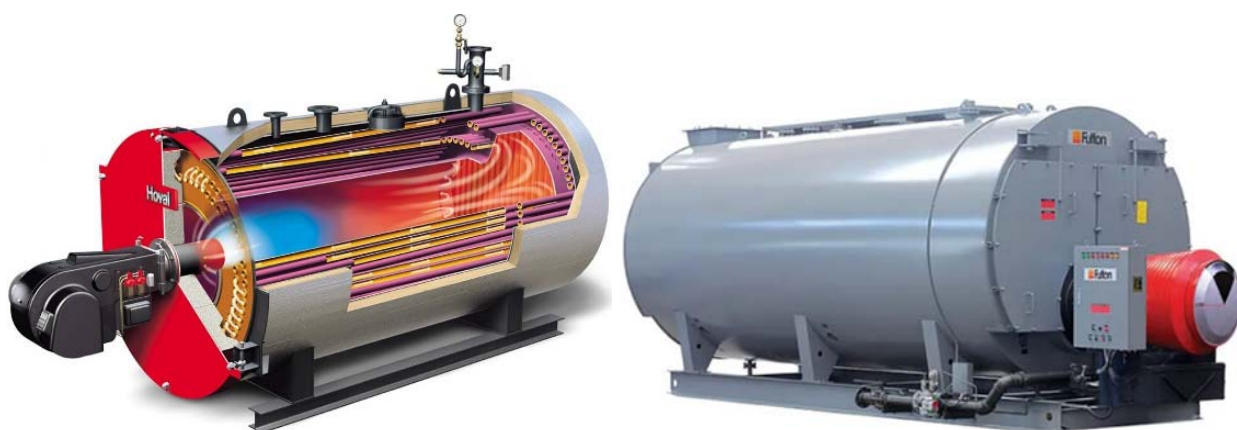


Рисунок 1.5 – Загальний вигляд промислових парових котлів

Знання принципу роботи котла дуже важливо, якщо ви займаєтесь автоматизацією промислових об'єктів.

Котел - це закрита посудина, яка використовується для перетворення води в пар високого тиску. Пара високого тиску, що утворюється таким чином, використовується для теплових процесів у різних технологічних ланках.

Котел працює за тим же принципом, що і вода, яка нагрівається в закритій посудині і за рахунок нагрівання вода переходить в пар. Ця пара володіє кінетичною енергією високого тиску.

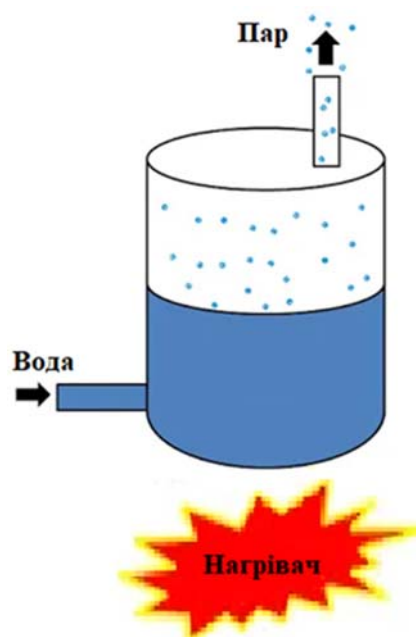


Рисунок 1.6 – Принцип роботи парового котла

Котел містить воду, яка нагрівається до температури кипіння за рахунок використання тепла від джерела тепла. За рахунок нагрівання води вона перетворюється в пар високого тиску.

Існують різні типи котлів, і вони класифікуються за кількома факторами, такими як тиск і температура, джерело нагріву, спосіб нагріву, тиск, розмір продуктивність.

Класифікація за типом палива є найпоширенішою, у котлу використовується газ, нафта або електроенергія для його роботи. Газові та нафтові котли працюють однаково за однаковою конструктивною схемою. При згорянні палива всередині камери згорання, завдяки чому нагрівається теплообмінник який в свою чергу нагріває воду.

У більшості випадків електричним котлам віддають перевагу, особлива для малих підприємств або де газу та нафти не вистачає. Електричний котел працює інакше, ніж газовий та нафтовий, оскільки вони використовують електричну енергію для нагрівання води.

Існує ще класифікація за конструктивними особливостями.

1. Різні типи котлів можна класифікувати як жаротрубний котел і водотрубний котел.

У жаротрубному котлу вогонь або гарячий газ присутній всередині труб, а вода оточує ці жаротрубні трубки. Оскільки вогонь знаходиться всередині труб і тому цей тип названий як жаротрубний котел. Тепло від гарячих газів проводиться через стінки трубки до води (рис. 1.7).

У водотрубних котлах вода присутня всередині трубок, а вогонь або гарячі гази оточують ці водопровідні трубки (рис. 1.8).

2. Котли класифікуються за кількістю труб - однотрубні та багатотрубні.

Котли, які містять одну жаротрубну трубу або водопровідну трубу, називаються однотрубним котлом. Прикладом однотрубного котла є простий вертикальний або горизонтальний котел (рис. 1.8).

Котли, які мають дві або більше жаро- або водо-труб, називаються багатотрубними котлами (рис. 1.7).

3. Відповідно до положення печі, парові котли класифікуються як котли внутрішньої генерації та котли зовнішньої генерації.

Котли внутрішньої генерації: котли, в яких топка розташована всередині оболонки котла, називаються котлами внутрішньої генерації. Серед усіх жаротрубних котлів більшість котлів є котлами внутрішньої генерації (рис. 1.7).

У котлах зовнішньої генерації топка розташована за межами оболонки котла. При цьому піч влаштована під ним, як правило, має цегляний захисний каркас. Водотрубні котли у більшості котли зовнішньої генерації.

4. За розташуванням вісі симетрії оболонки котли класифікуються як вертикальні котли і горизонтальні котли.



Котли, в яких вісь оболонки вертикальна (рис. 1.9), називаються вертикальними котлами. Коли вісь оболонки котлу знаходиться горизонтально то такий котел називається горизонтальним (рис. 1.7, рис. 1.8).

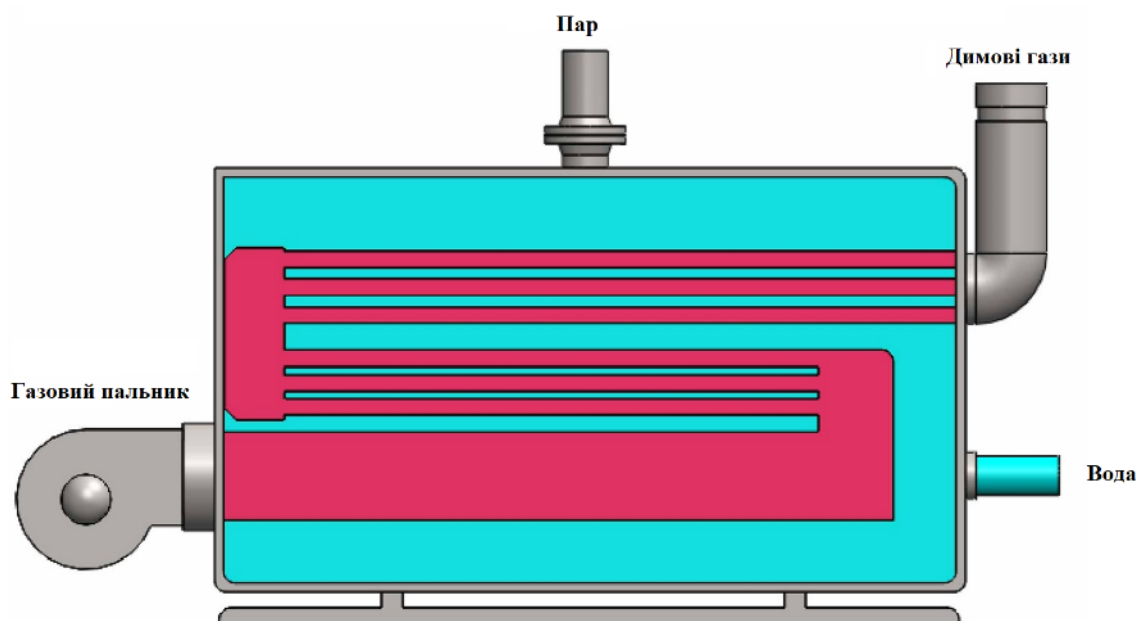


Рисунок 1.7 – Трьох-прохідний горизонтальний жаротрубний котел

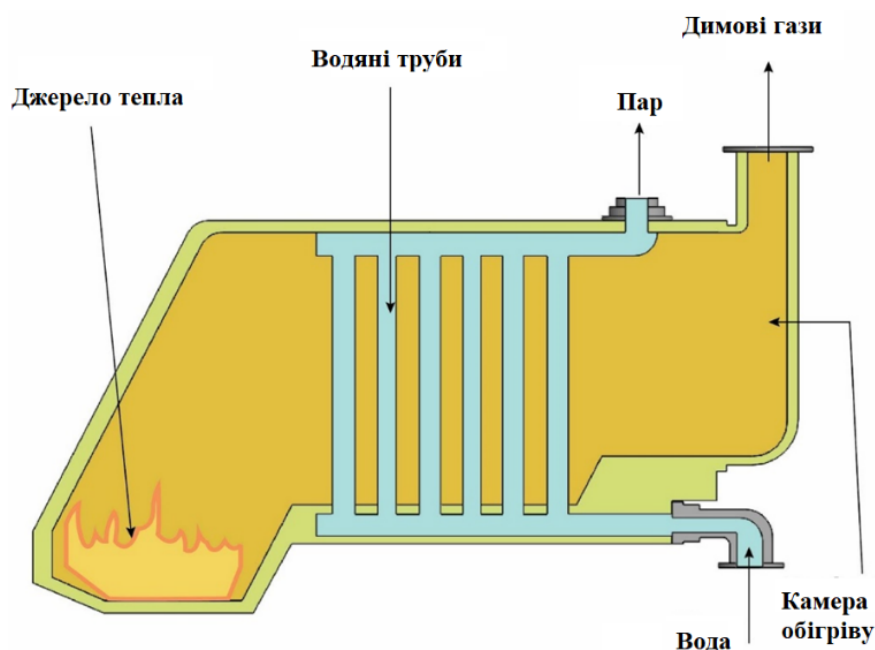


Рисунок 1.8 – Одно-прохідний горизонтальний паровий котел

5. За способом циркуляції води і пари парові котли поділяються на котли природної циркуляції і котли примусової циркуляції.

У котлах природної циркуляції циркуляція води відбувається природним шляхом за рахунок конвекційних струмів, які встановлюються під час нагрівання

води. У котлах з примусовою циркуляцією циркуляція води відбувається за допомогою відцентрового насоса, що приводиться в дію зовнішнім джерелом енергії. Примусова циркуляція використовується в котлах високого тиску.



Рисунок 1.9 – Вертикальний паровий котел

6. Відповідно до використання, котли класифікуються як стаціонарні котли та мобільні котли.

Стаціонарні котли - це котли, які є стаціонарними і не можуть бути переміщені з одного місця на інше. Після їх встановлення їх не можна транспортувати до іншого пункту призначення. Ці котли використовуються на електростанціях і в промислових технологічних об'єктах.

Мобільні котли - це парові котли, які можна переміщати з одного місця на інше. Локомотивні і суднові котли - це пересувні котли [8].

### **1.3.2 Характеристика об'єкта керування**

У кваліфікаційній роботі, в якості об'єкту керування треба обрати паровий котел для живлення епюраційної колони BTS 1600-32, яка використовується на Гнідавському біостанольному заводі.

Згідно з технічними параметрами епіюраційної колони BTS 1600-32 маємо наступні показники:

- номінальний тиск гострої пари 6 бар;
- витрати гострої пари 1,25...2,0 кг/л.;
- продуктивність епіюрату 1 600...4 160 л/год (0,889...1,156 л/с).

Регулювання температури парів у верхній частині епіюраційної колони буде здійснюватися під впливом змін у витраті пари. Для максимальної продуктивності епіюраційної колони у 4 160 л/год, межі значень витраті гострої пари становитимуть:

Мінімальна продуктивність:  $1,25 \text{ кг/л.} * 1\ 600 \text{ л/год.} = 2\ 000 \text{ кг/год.}$ , або  $0,56 \text{ кг/с.}$

Максимальна продуктивність:  $2,0 \text{ кг/л.} * 4\ 160 \text{ л/год.} = 8\ 320 \text{ кг/год.}$ , або  $2,32 \text{ кг/с.}$

Тобто треба обрати паровий котел з продуктивністю пари 2 000...8 320 кг/год 0,56...2,32 кг/с з номінальним тиском пари не менш 6 бар.

Обираємо паровий котел фірми Mechtherm Energy PVT Ltf (Індія). Технічні параметри газових горизонтальних трьох-прохідних парових котлів серії МЕР-0 з максимальним тиском  $10 \text{ кг/см}^2$  представлені у табл. 1.2, конструктивні особливості розкриті на рис. 1.11.

Продуктивність парогенераторів парових котлів серії МЕР-0 може варіюватися від нуля до максимального значення. Це забезпечується зупинкою пальника і насосів в періоди непарового споживання і переходів на низьке згоряння, коли не потрібна максимальна продуктивність. Максимальна витрата палива відповідає максимальній паро-ємності. Парові котли серії МЕР-0 парогенератори можуть гнучка підлаштовуватися під потреби технології і, відповідно, фактичні витрати можуть бути набагато менше, зазвичай 40...70% від максимальних. Тиск і температура можна регулювати під потреби технологічні параметри.

Таблиця 1.2 – Основні технічні параметри парових котлів

Модифікація	Максимальна потужність			Витрати палива, кг/год (рідке) або м <sup>3</sup> /год (газ)	Розміри (В×Ш×Д, мм)
	кг/год	кВт	Гкал/год		
МЕР-0-04	400	280	0,24	30	2000×1160×4000
МЕР-0-05	500	350	0,3	37,5	2000×1160×4500
МЕР-0-07	700	490	0,42	53	2000×1160×4500
МЕР-0-10	1000	700	0,6	76	2000×1160×5500
МЕР-0-16	1600	1120	0,97	120	2100×1440×7000
МЕР-0-20	2000	1400	1,2	150	2100×1440×8000
МЕР-0-25	2500	1750	1,5	190	2100×1440×8000
МЕР-0-30	3000	2100	1,81	230	2100×1440×8500
МЕР-0-35	3500	2450	2,11	265	2200×1500×8500
МЕР-0-40	4000	2800	2,41	305	2200×1500×8500
МЕР-0-45	4500	3150	2,71	340	2200×1500×9000
МЕР-0-50	5000	3500	3	375	2200×1500×9500
МЕР-0-60	6000	4200	3,62	460	2100×1440×1000
МЕР-0-70	7000	4900	4,22	530	2200×1500×10500
МЕР-0-80	8000	5600	4,82	610	2200×1500×11000
МЕР-0-90	9000	6300	5,42	680	2200×1500×11500

Згідно з попереднім аналізом обираємо паровий котел МЕР-0-90 з продуктивністю пару 9 000 кг/с. Зовнішній вигляд якого представлено на рис. 1.10.



Рисунок 1.10 - Паровий котел МЕР-0-90 з продуктивністю пару 9 000 кг/с



Рисунок 1.11 – Конструктивні особливості парових котлів серії MEP-0

### 1.3.3 Структура об'єкту керування

На рис. 1.12 Представлена структурна схема парового котла МЕР-0-90 з розташуванням датчиків і виконавчих пристроїв.

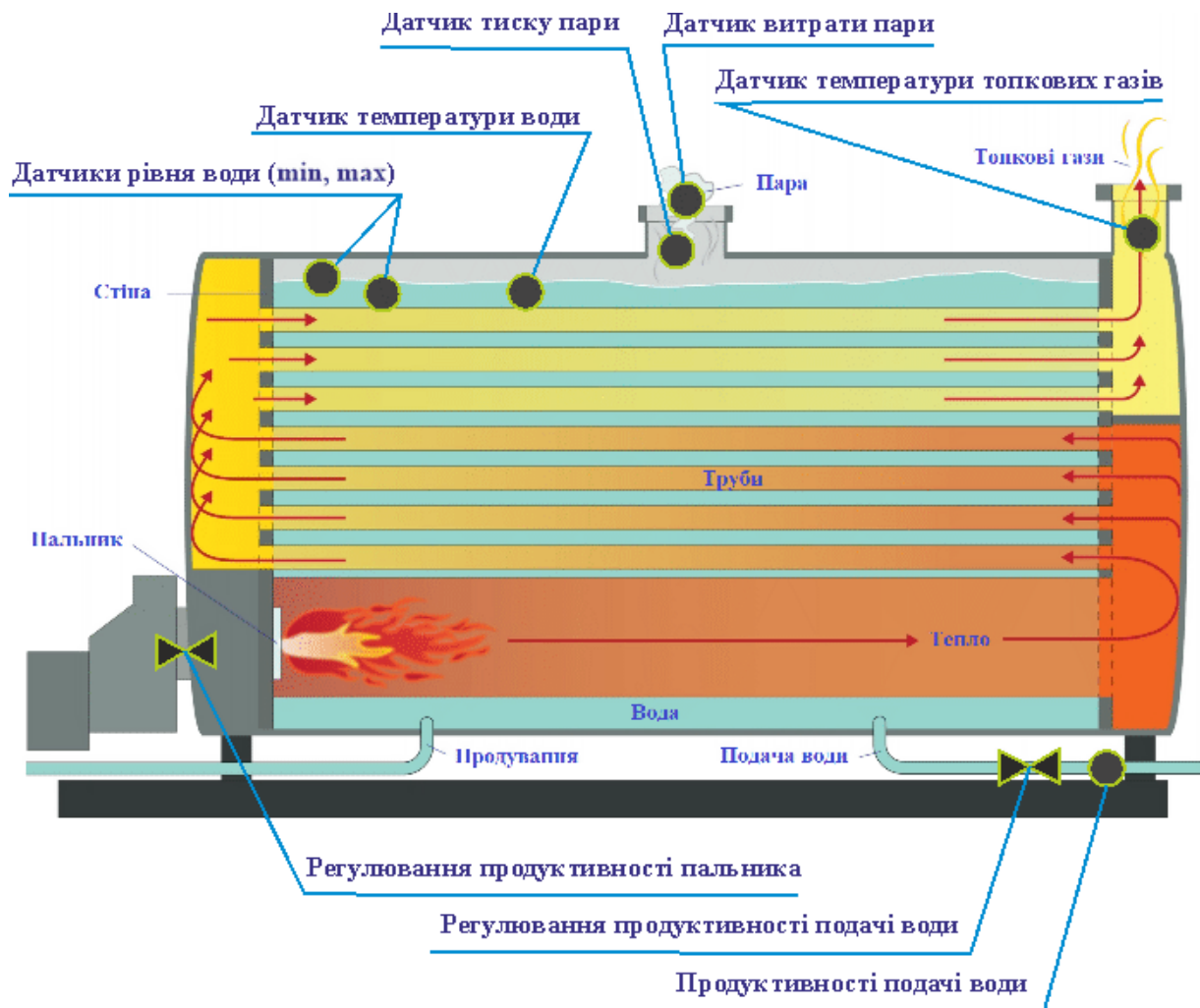


Рисунок 1.11 – Структура об'єкту керування

На об'єкті розташовані наступні датчики:

- мінімального рівня води;
- максимального рівня води;
- аварійного рівня води;
- тиску пари;
- аварійного тиску пари;
- витрати пари;
- температури води;

- продуктивність подачі води;
- температури вихідних топкових газів.

На об'єкті розташовані наступні виконавчі пристрої:

- регулятор продуктивності газового пальника;
- регулятор продуктивності подачі води.

Датчики збирають інформацію про технологічний процес вироблення пари в котлу МЕР-0-90.

Виконавчі механізми контролюють перетворення теплової енергії в пар, впливаючи на газовий пальник і регулюють подачу води в котел. При експлуатації парового котла необхідно стежити за температурою нагрітої води і підтримувати рівень води і тиск пари на певному рівні.

Під час роботи парового котла також необхідно стежити за кількістю споживаного пара, тобто повинні використовуватися паро-витратоміри. При високих швидкостях наповнення котла додатково встановлюється датчик максимального (аварійного) рівня, який подає сигнал при відповідному заповненні бака. Цей сигнал використовується для автоматичного відключення насосів подачі води (які є складовою частиною водоочисного обладнання), а також для відкриття і закриття засувки на трубопроводних комунікаціях споживачів пари. Крім сигналу тривоги, передбачені попереджувальні сигнали про досягнення нижнього і верхнього рівнів від датчиків рівня води.

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

Паровий котел складається з циліндричної печі з омиваним дном, в якій утворюється полум'я і спалюється факел пальника. Димові гази потрапляють в жаротрубну частину передньої стінки труби і направляються в сторону задньої стінки через наступну жаротрубну частину, з якої виходять через з'єднання до димоходу, передаючи тепло отоючій їй воді. Конструкція котла забезпечує низькі теплові і поверхневі навантаження в камері згоряння.

Автоматизація котельних агрегатів і регулювання тиску в барабані котла в основному зводяться до підтримки матеріального балансу між виходом пари і

подачею води. Параметром, що характеризує рівновагу, є рівень води в барабані котла. Надійність котельного агрегату багато в чому визначається якістю контролю рівня. При підвищенні тиску у котлу зниження рівня води нижче допустимих меж може привести до порушення циркуляції в трубах просіювання, що призведе до підвищення температури стінок труб, що нагріваються при спалюванні палива пальником.

Підвищення рівня також має позаштатні наслідки, так як є можливість потрапляння води в паропровід, що недопустимо за технологічними параметрами. У цьому відношенні до точності підтримки заданого рівня пред'являються дуже високі вимоги. Якість регулювання енергії пальника визначається також рівністю живильного водопостачання. Необхідно забезпечити рівномірну подачу води в котел, так як часті і глибокі зміни витрати живильної води можуть викликати значні температурні напруги в металі економайзера.

Тобто в процесі експлуатації парового котла необхідно підтримувати декілька основних технологічних параметрів - основними з них є регулювання рівня води і тиску перегрітої пари в залежності від поточних витрат пару.

Призначення відповідних датчиків і виконавчих пристроїв описано у попередньому розділі.

#### **1.4 Структурна схема об'єкту керування**

Продуктивність парового котла МЕР-0-90 може варіюватися від нуля до максимального значення. Це забезпечується зупинкою пальника в період непарового споживання і переходу газового пальника на до режиму готовності, коли не потрібна навіть мінімальна продуктивність парового котла. Максимальна витрата палива пальником на рівні 680 м<sup>3</sup>/год (190 л/с) відповідає максимальній паро-продуктивності 9 000 кг/год (2,5 кг/с).

Зазвичай парові котли серії МЕР-0 мають фактичні (номінальні) витрати у діапазоні 30...70 % від максимальних.



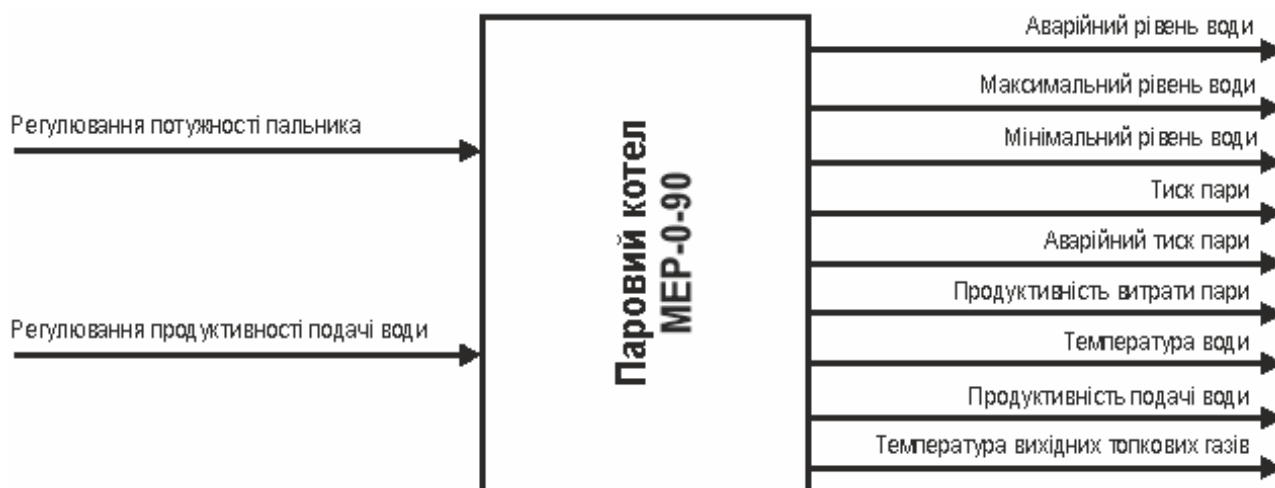


Рисунок 1.12 – Структурна схема об’єкту керування

Номинальний тиск (або температура) пари підтримують завдяки регулюванню продуктивності газового пальника. Зазвичай діапазон регульованої потужності для сучасних пальників складає 20...100 % від максимальної потужності. Таким чином, для досягнення мети керування котлом МЕР-0-90 з максимальною продуктивністю 9 000 кг/год. (2,5 кг/с) необхідно стабілізувати тиск пари на рівні 6 бар, що визначено технічними параметрами еспураційної колони BTS 1600-32, при витратах пари, які можуть коливатись в межах всього можливого діапазону 2 000...8 320 кг/год (0,56...2,32 кг/с).

Якість регулювання залежить від об’єму і швидкості руху пари, що визначається технологічним режимом роботи еспураційної колони BTS 1600-32.

### 1.5 Формулювання задачі дослідження

Система керування паровим котлом МЕР-0-90 має підтримувати заданий тиск пари. Основними каналами керування є канали:

- «продуктивність газового пальника – тиск пару»;
- «витрати пари – рівень води»;

Основними збурючими факторами є:

- коливання температури води яка подається у котел;
- витрати пари;

– коливання продуктивності пальника в залежності від хімічного складу газу і його тиску.

Маємо наступні показники:

- витрати гострої пари 2 000...8 320 кг/год (0,56...2,32 кг/с);
- номінальний тиск гострої пари 6 бар;
- режим роботи газового пальника 20...100 %.

За рекомендацією керівника кваліфікаційної роботи обрано варіант розробки система керування паровим котлом МЕР-0-90 за каналом «продуктивність газового пальника – тиск пару» як більш впливового на якість роботи епюраційної колони BTS 1600-32.

Система керування котлом МЕР-0-90 має відповідати вимогам технологічного процесу, наведеного раніше при його огляді і обов'язково бути виконана за допомогою стандартних компонентів, які мають відповідні сертифікати відповідності.

## **1.6 Висновки за розділом**

Об'єктом керування виступає паровий котел МЕР-0-90, який використовується у діючому технологічному процесі на Гнідавському біоетанольному заводу (м. Луцьк) для живлення епюраційної колони BTS 1600-32.

Автоматизація парогенератора включає в себе автоматичне керування, дистанційне керування, технологічний захист, тепловий контроль, технологічні блокування і сигналізацію. Експлуатація котлів повинна забезпечувати надійне і ефективне виробництво пари для заданих параметрів і безпечні умови праці для персоналу. Для виконання цих вимог експлуатація повинна здійснюватися в суворій відповідності з законами, правилами, стандартами і директивами.

Автоматизація роботи парового котла повинна здійснюватися за такими основними параметрами:

- підтримка постійного тиску пари;
- підтримка постійного рівню води в котлу.

Для підвищення ефективності роботи технологічного обладнання треба модернізувати систему керування. Таким чином є гостра потреба у математичних моделях об'єктів технологічного обладнання, працюючого у допустимих технологічних межах, які у наступному мають бути використані при синтезі нової системи керування технологічним обладнанням.

Головною метою роботи є розробка моделі об'єкта керування - парового котла МЕР-0-90 для регульованого тиску пару, в залежності від потужності газового пальника. При цьому інші вхідні і вихідні параметри мають бути не змінними і знаходитись у номінальному стані.

Сучасна система керування дозволить контролювати процес виробництва і отримати кінцевий продукт з заданими характеристиками.

Також ця система керування матиме можливість фіксації та збереження параметрів роботи всього технологічного обладнання.

## 2 РОЗРОБКА АПАРАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

### 2.1 Розробка структурної схеми підсистеми керування

У кваліфікаційній роботі бакалавра в якості об'єкту керування був обраний один з енергоємних апаратів технологічної ланки виробництва етилового спирту – паровий котел. Прикладною задачею з автоматизації визначено паровий котел типу МЕР-0-90, який використовується для живлення епіюраційної колони BTS 1600-32, яка використовується на Гнідавському біоетанольному заводі.

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

Вхідні сигнали:

- мінімальний рівень води : дискретний, місце встановлення;
- максимальний рівень води: дискретний, місце встановлення;
- аварійний рівень води: дискретний, місце встановлення;
- тиск пари: аналоговий, 10 бар;
- аварійний тиск пари: аналоговий, або дискретний 16 бар;
- витрати пари: аналоговий, 0...3 кг/с;
- температури води аналоговий, 0...120 °С;
- продуктивність подачі води: аналоговий, 0...3,0 л/с;
- температури топкових газів: аналоговий, 0...400 °С.

Вихідні сигнали керування:

- продуктивність газ. пальника: аналоговий 0; 20...100 %;
- засувка подачі води, відкрити: дискретний, максимально 3,0 л/с.
- засувка подачі води, закрити: дискретний, мінімально 0 л/с.

Паровий котел складається з циліндричної печі з омиваним дном, в якій утворюється полум'я і спалюється факел пальника. Димові гази потрапляють в жаротрубну частину передньої стінки труби і направляються в сторону задньої стінки через наступну жаротрубну частину, з якої виходять через з'єднання до

димоходу, передаючи тепло отоючій їй воді. Конструкція котла забезпечує низькі теплові і поверхневі навантаження в камері згоряння.

В процесі експлуатації парового котла необхідно підтримувати де кілька основних технологічних параметрів. Основними з них є регулювання рівня води і тиску перегрітої пари в залежності від поточних витрат пару.

Призначення відповідних датчиків и виконавчих пристроїв описано у попередньому розділі.

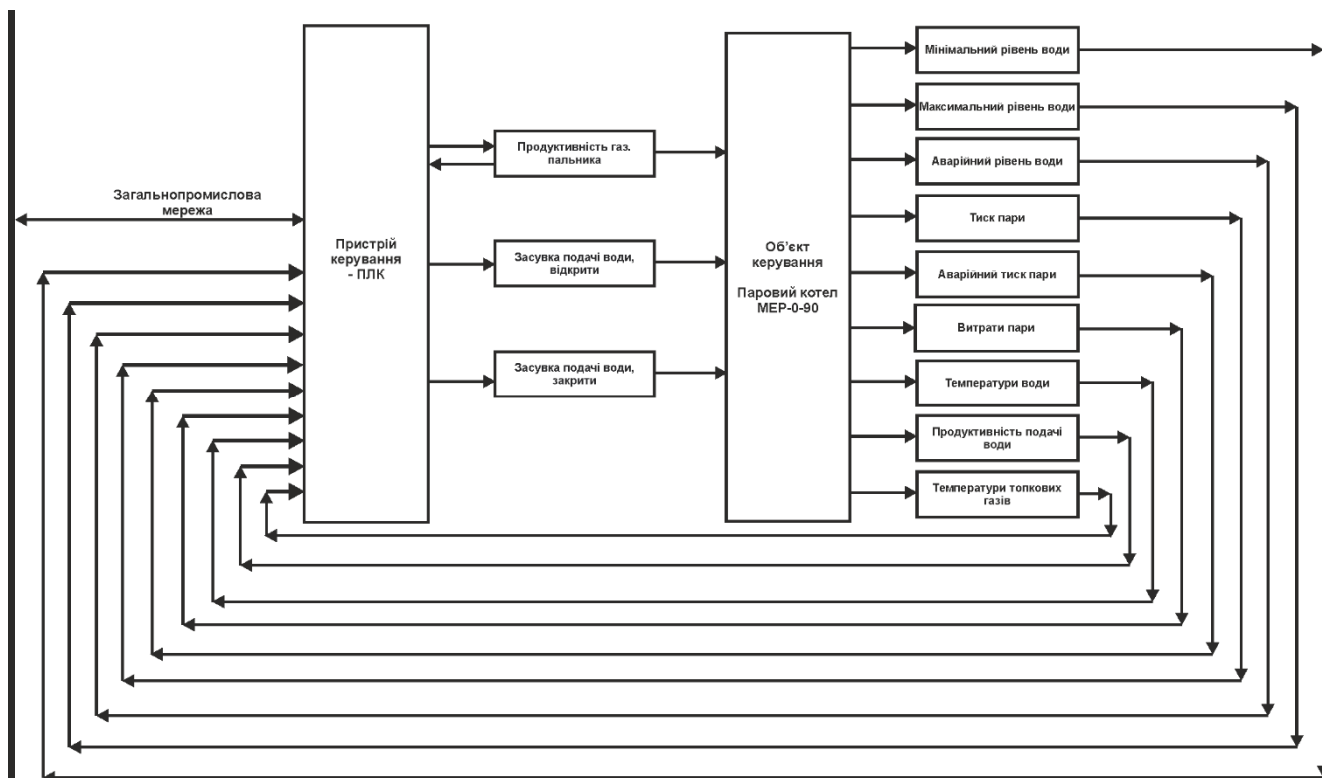


Рисунок 2.1 – Структурна схема системи керування

Основними каналами керування є канали:

- «продуктивність газового пальника – тиск пару»;
- «витрати пари – рівень води»;

Основними збурючими факторами є:

- коливання температури води яка подається у котел;
- витрати пари;
- коливання продуктивності пальника в залежності від хімічного складу газу і його тиску.

Вибір пристроїв автоматизації для побудови системи керування необхідно робити на основі серійних засобів автоматизації.

Якщо є можливість, то необхідно вибирати з пристроїв, вироблених в Україні, або які вже поставляються в Україну.

Вибір приладів буде проводитися відповідно до необхідного діапазону вимірювань.

## 2.2 Вибір апаратного забезпечення підсистеми керування

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

### 2.2.1 Вибір датчиків

Для контролю робочого (0...10 бар) і аварійного (16 бар) тиску розглянемо сімейство вимірювальних перетворювачів SIEMENS SITRANS P, яке служить для вимірювання надлишкового, вакууметричного, абсолютного і диференціального тиску рідких, газо- і пароподібних середовищ, а також застосовується для вимірювання гідростатичного рівня рідини в ємностях [9].

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

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики датчику тиску SITRANS P ZD

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

Датчик SIEMENS SITRANS P серії ZD має всі необхідні сертифікати та допуски. Особливо важливо - підрозділ згідно з манометром ручним 97/23/ЕК, для

газів рідинної групи 1 та рідин групи рідини 1; відповідає вимогам, передбаченим частиною 3 статті 3 (належна інженерна практика).



Рисунок 2.2 – Датчик тиску SITRANS P ZD

Для вимірювання температури води у котлу при тиску до 16 бар нам, згідно табл. 2.1, треба датчик температури з діапазоном вимірювання 0...200 °С.

Таблиця 2.1 - Тиск насиченої пари води при температурах вищих температури кипіння [12].

°С	р в ат	°С	р в ат	°С	р в ат
100	1,0000	140	3,567	270	54,291
101	1,0362	150	4,698	280	63,295
102	1,0735	160	6,100	290	73,42
103	1,1120	170	7,817	300	84,78
104	1,1514	180	9,895	310	97,40
105	1,1922	190	12,386	320	111,43
106	1,2341	200	15,341	330	126,99
107	1,2771	210	18,823	340	144,20
108	1,3216	220	22,889	350	163,16
109	1,3670	230	27,603	360	184,07
110	1,4139	240	33,027	370	207,49
120	1,9594	250	39,234	374	217,72
130	2,6660	260	46,300		(критичний тиск)

Розглянемо сімейство вимірювальних перетворювачів температури фірми SIEMENS, яке представлено перетворювачами SITRANS T, термоперетворювачами опору і термопарами для якісного вимірювання температури в будь-яких, навіть самих екстремальних, умовах. Датчики

застосовуються в хімічній, фармацевтичній, харчовій, енергетичній та інших галузях промисловості.

Існують варіанти термометрів з цифровою індикацією показань. Також доступні вибухозахищене виконання датчиків.

Використаємо перетворювач SITRANS T серії: TW – універсальний перетворювач з виходом 4...20 мА + HART, з можливістю перепрограмування за допомогою персонального комп'ютеру (ПК) [10].

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики датчику температури SITRANS T TW

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



Рисунок 2.3 – Датчик температури SITRANS T TW

За технічними параметрами нам слід вимірювати наступні параметри:

- витрати пари, діапазон вимірювання 0...3 кг/с;
- продуктивність подачі води, діапазон вимірювання 0...3 л/с.

Для вимірювання витрати розглянемо сімейство витратомірів SIEMENS SITRANS F X [11].



Вихровий витратомір SITRANS F X призначений для вимірювання об'ємної і масової витрати пари, газу, струмопровідних і непровідних рідин за допомогою єдиного приладу з можливістю компенсації температури і тиску. Основні переваги: 2-х провідна схема підключення; вимірювання як об'ємних, так і масових витрат пари, газу і струмопровідних і непровідних рідин навіть при коливаннях температури і тиску; вбудований датчик температури; вбудований датчик тиску (опція); можливість виконання пристрою двома перетворювачами.

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики вихровий витратомір SITRANS F X

№	Найменування параметра	Значення
1	Тип	SITRANS F X
2	Номінальний діапазон вимірювання, °C	Пара 0...10 кг/с; Рідина 0...15 л/с
3	Принцип вимірювання	Вихровий витратомір
4	Точність, %	0,025
5	Вихідний сигнал, мА	4...20
6	Напруга живлення, В	14...36
7	Потужність споживання, Вт	2
8	Температура експлуатації, °C	-25...+85
9	Температура вихрового потоку, °C	-25...+240
10	Номінальний тиск, бар	1...100
11	Матеріал корпусу	Сталь 1.4404/316L
12	З'єднання	Фланець DN 15 ... 300



Рисунок 2.4 – Вихровий витратомір SITRANS F X

Для вимірювання мінімального, максимального і аварійного рівня води будемо використовувати вібраційні дискретні сигналізатори рівня SITRANS

LVL200E з опцією високої температури експлуатації (-50 ... +250 °C) і виходим сигналом – двох-провідний вихід 8 / 16 мА, з наступною розшифровкою:

- пустий (не занурений) – 8 мА;
- повний (занурений)- 16 мА;
- повідомлення про несправність- < 1,8 мА.

SITRANS LVL200 - це стандартний вібраційний сигналізатор рівня для виявлення рідин і суспензій в таких застосуваннях, як контроль переливу, виявлення високого або низького рівня, а також захист насоса.

Переваги:

- перевірена технологія вібраційного сигналізатора рівня для рідин;
- компактна глибина занурення 40 мм для застосування в умовах обмеженого простору;
- контроль несправності на предмет корозії, втрати вібрації або обриву лінії до п'єзоприводу.

Сигналізатор LVL200 може бути використаний для вимірювання продуктів з мінімальною густиною > 0,5 г/см<sup>3</sup>.

LVL200 можна використовувати в складних умовах, включаючи турбулентність, бульбашки повітря, утворення піни, налипання або зовнішню вібрацію [14].

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики сигналізатора рівня SITRANS LVL200E

№	Найменування параметра	Значення
1	Тип	SITRANS LVL200E
2	Діапазон вимірювання	Місце встановлення: горизонтально або вертикально
3	Принцип вимірювання	Резонансна вилка
4	Точність, мм	<= 2
5	Вихідний сигнал, мА	8 /16
6	Напруга живлення, В	14...36
7	Потужність споживання, Вт	2
8	Температура експлуатації, °C	-25...+250
9	Максимальний тиск, бар	160
11	Матеріал корпусу	Сталь нержавіюча
12	З'єднання	Різьба 1''

SITRANS LVL200 безперервно контролює несправності за допомогою оцінки частоти, забезпечуючи раннє виявлення сильної корозії або пошкодження сенсорної вилки, втрати вібрації або обриву лінії п'єзоприводу. Сенсорна вилка збуджується п'єзоелектричним елементом і вібрує з механічною резонансною частотою приблизно 1 200 Гц. Коли вилка покривається середовищем, частота вібрації змінюється. Ця зміна виявляється інтегрованим осцилятором і перетворюється на команду перемикачання. Вбудована електроніка обробляє сигнал рівня і відає сигнал перемикачання на підключені пристрої.



Рисунок 2.5 – Сигналізатор рівня SITRANS LVL200E

Для вимірювання температури топкових газів у діапазоні 0...400 °C будемо використовувати вимірювальний перетворювач SITRANS TF.

SITRANS TF польовий перетворювач температури для важких промислових умов із двох-провідною системою.

SITRANS TF вимірює та перетворює сигнали термометрів опору та термопар, сигнали резистивних сенсорів та сенсорів напруги в незалежний від навантаження постійний струм, що відповідає характеристиці датчика, або польовий цифровий сигнал - HART-протокол.

Функції SITRANS TF залежить від типів застосовуваних перетворювачів SITRANS TH, має наступні переваги:

- універсальне використання як вимірювального перетворювача для термометрів опору, елементів термопар, сигналів Ом або мВ;
- може монтуватися поза точкою вимірювання, якщо місце встановлення важкодоступне, піддається впливу високих температур, піддається впливу вібрацій від обладнання або при необхідності уникнути довгих консолей та/або захисних труб;
- може монтуватись безпосередньо на сенсорах;
- велика кількість дозволів для використання у потенційно вибухонебезпечних середовищах;

SITRANS TF застосовується у всіх галузях промисловості. Міцний корпус захищає електронні схеми, що знаходяться в ньому. Модель із корпусом із нержавіючої сталі практично повністю захищена від впливу морської води та інших агресивних речовин. Робочі елементи, розташовані всередині корпусу, забезпечують високу точність вимірювань, універсальний вхід та широкий діапазон способів діагностики.

SITRANS TF використовується в умовах промислових підприємств та польових умов. Ступінь захисту IP67.

Пристрій SITRANS TF комплектується вбудованими перетворювачами: SITRANS TH200, TH300 або SITRANS TH400.



Рисунок 2.6 – Вимірювальний перетворювач SITRANS TF

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики вимірювального перетворювача SITRANS TF

Параметр	Значення
Тип підключення	2-х, 3-х або 4-х провідне
Тип входу	Pt25 до Pt1000, Ni25 до Ni1000, Cu25 до Cu1000
Діапазон вимірювання	-200 ... 850 °С
Вихід	4...20 мА, 2-х провідний
Зовнішня температура	от -40 до +85 °С
Відносна вологість повітря	можливе утворення конденсату
Вага	1,5 кг

В якості первинного датчика для вимірювального перетворювача SITRANS TF будемо використовувати FGT-PT1000 Siemens - датчик температури топкових газів, який призначений для вимірювання температури топкових газів в димоходах [14].

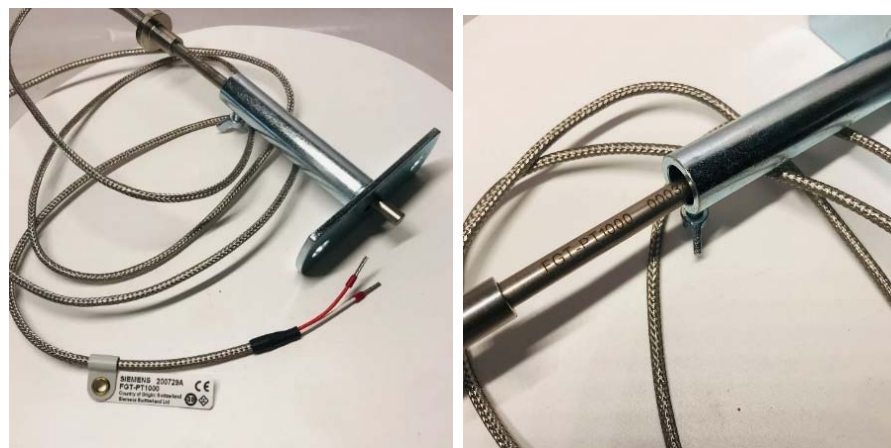


Рисунок 2.7 - Датчик температури топкових газів Siemens FGT-PT1000

Таблиця 2.6 – Технічні дані Датчик температури топкових газів Siemens FGT-PT1000

Чутливий елемент, температура	Pt1000
Діапазон вимірювання температури	-20...400 °С
Глибина занурення	65 мм
Матеріал занурюваної гільзи	Гільза з нержавіючої сталі
З'єднувальний кабель	Подвійний, 1.5 м, тефлон з арматурою із дроту сталевий
Довжина кабелю	1.5 м
Матеріал	Нержавіюча сталь V4A
Розміри (Ш x В x Г)	150 x 80 x 30 мм
Опис	N1846

Ступінь відкриття засувок будемо контролювати за допомогою енкодера E40H 012 2000 2 N 24 з 2 000 імпульсами на обороті і напругою живлення 24 В (рис. 2.8) які будуть змонтований на кожну з засувок [15].



Рисунок 2.8 – Енкодер E40H-012-2000-2-N-24

В табл. 2.7 наводяться технічні характеристики енкодера.

Таблиця 2.7 - Технічні характеристики енкодера E40H-012-2000-2-N-24

№	Найменування параметру	Значення
1	Тип з'єднання	Прохідний отвір
2	Діаметр отвору, мм	12
3	Чутливість, імп. / об	2 000
4	вихідні фази	A, B
5	Тип виходу	NPN
6	Напруга живлення, В	12...24

На підставі обраних датчиків та їх технічних характеристик складена табл. 2.8.

Таблиця 2.8 – Датчики

№	Назва параметру	Принцип дії	Тип	Діапазон зміння	Точність	Значення виходу	Період оновлення	Напруга живлення	Потужність споживання, Вт
1	Мінімальний рівень води	Резонансна вилка	Дискретний	Місце встановлення	-2 мм	8 / 16 мА	0,1 с	12...30 В	2
2	Максимальний рівень води	Резонансна вилка	Дискретний	Місце встановлення	-2 мм	8 / 16 мА	0,1 с	12...30 В	2
3	Аварійний рівень води	Резонансна вилка	Дискретний	Місце встановлення	-2 мм	8 / 16 мА	0,1 с	12...30 В	2
4	Тиск пари	Тонкоплівковий	Аналоговий	0...16°бар	< 0,025	4...20 мА	0.1 с	12...30 В	2
5	Аварійний тиск пари	Тонкоплівковий	Аналоговий	0...16°бар	< 0,025	4...20 мА	0.1 с	12...30 В	2
6	Витрати пари	Вихровий витратомір	Аналоговий	0...5 кг/с	±0.025 %	4...20 мА	0,1 с	14...36 В	2
7	Продуктивність подачі води	Вихровий витратомір	Аналоговий	0...5 л/с	±0.025 %	4...20 мА	0,1 с	14...36 В	2
8	Температура води	Cu25 ... Cu1000	Аналоговий	0...200 °С	±0,01 °С	4...20 мА	0,1 с	12...30 В	2
9	Температура топкових газів	Pt1000	Аналоговий	0...400 °С	±0,02 °С	4...20 мА	0,1 с	12...30 В	2
10	Положення засувки подачі води	Електромагнітний	Імпульсний	2 000 імп./об.	-	вихідні фази А, В	-	12...24	2

## 2.2.2 Вибір виконавчих пристроїв

Для регулювання температури води котла і відповідно тиску пари будемо використовувати газовий пальник з можливістю регулювання продуктивності пальника у межах не гірше ніж 0; 20...100 %.

Згідно з технічними показниками для котла МЕР-0-90 слід підібрати газовий пальник з потужністю не гірше ніж 6300 кВт (5,42 Гкал/год).

Газові моноблочні пальники R512A, R515A, R520A, R525A серії Cinquesento призначені для котлів середньої та великої потужності та працюють у діапазоні потужності від 600 кВт до 8 000 кВт. Пальники мають моноблочну конструкцію корпусу з вбудованим повітряним вентилятором та пультом керування, змонтований

на корпусі пальника, що забезпечує максимальну компактність та зручність у процесі обслуговування.

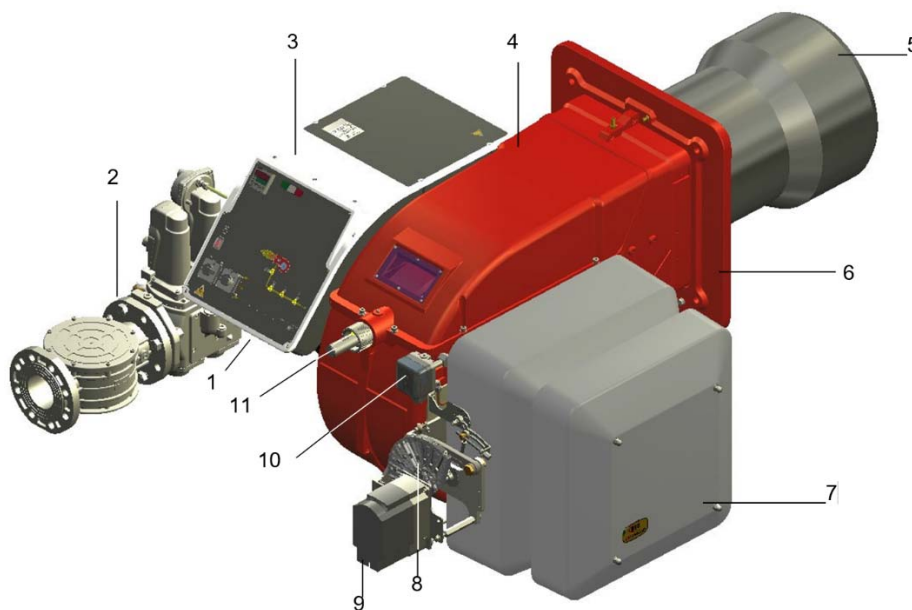


Рисунок 2.9 – Газовий пальник R520A L-RP-S

- |  |                          |
|--|--------------------------|
| 1 - Панель керування з мнемосхемою;        | 2 - Газова рампа;        |
| 3 - Електричний щит;                       | 4 - Кришка;              |
| 5 - Сопло + голова згоряння;               | 6 - Фланець;             |
| 7 - Глушник;                               | 8 - Варіюваний сектор;   |
| 9 - Сервопривід;                           | 10 - Реле тиску повітря; |
| 11 - Регульовальне кільце голови згоряння. |                          |

Електричний сервопривід, який керує пропорційна на заслінки регулювання витрати повітря горіння і на газовий дросельний клапан, використовує кулачок з профілем, що варіюється, який дозволяє поліпшити показники газів і досягти ефективного горіння. Панель з мнемосхемою відображає різні фази роботи пальника і дозволяє тримати постійно під контролем правильну роботу пальників.

Дані моделі підходять для установки на жаротрубні, водотрубні котли та парогенератори.

Пальники можуть бути використані для використання природного газу, зрідженого газу, попутного нафтового газу, також для біогазу.

Варіанти типу регулювання: прогресивне та модульуюче.

Доступна комплектація постачання різними опціями:

- механічне або електронне регулювання (на базі системи контролю Siemens LMV 2x/3x, а також LMV 5x) співвідношення повітря / паливо;



- контроль кисню в димарі з безперервним регулюванням системи спалювання;
- окрема панель керування, шафа або настінний монтаж;
- двигун вентилятора з інвертором;
- з вхідними та вихідними сигналами потужності 0...10 В та 4...20 мА;
- протокол MODBUS.

Газ надходить з розподільної мережі, проходить через клапанну групу, укомплектовану фільтром та стабілізатором. Стабілізатор підтримує тиск у межах, необхідних для роботи, значень. Електричний сервопривід, який діє пропорційно на заслінки регулювання витрати повітря горіння і на дросельний клапан газу, використовує один кулачок з профілем, що варіюється, який дозволяє оптимізувати показники по газовим викидам і, отже, досягти ефективного спалювання палива.

Положення головки згоряння визначає потужність пальника. Головка згоряння визначає кількість теплової енергії та геометричну форму полум'я. Паливо та повітря подаються окремо по геометричних каналах доки не перетинаються в зоні утворення полум'я (камера згоряння). У камері згоряння відбувається примусова подача повітря та газу.

Мнемосхема на панелі керування, що знаходиться на лицьовій частині пальника, відображає фази роботи.

Газовий пальник R520A L-RP-S має канал регулювання 4...20 мА потужності у межах 1 000...6 400 кВт (15,6...100 %), витрати газу становлять 37...238 м<sup>3</sup>/год.

Для керування продуктивністю подачі води (0...3 л/с) будемо використовувати засувку клинову ЗКЛ 15-80-01 з електроприводом, яка представлена на рис. 2.8, а технічні параметри у табл. 2.8 [16].

Таблиця 2.9 – Технічні характеристики засувки клинової ЗКЛ 15-80-01

Найменування параметра	Значення
Тип	клиновий
Напруга живлення, В	~220 В
Потужність, кВт	0,25 кВт
Діаметр, Ду	80
Час відкриття закриття, с	30



Рисунок 2.10 – Засувка клинова ЗКЛ 15-80-01

Керування електродвигуном засувки клинової ЗКЛ 15-80-01 (~220 В/ 0,25 кВт) - продуктивності подачі води, будемо здійснювати за допомогою однофазного твердотільного реле змінного струму Jotta SSR 60DA, 220 В змінного струму, з керуванням 0...24 В постійної напруги, яке будемо використовувати у дискретному режимі керування [17].



Рисунок 2.11 – Твердотільне реле SSR-240A50 (1x~220 В, 0...24 В)

Таблиця 2.10 – Технічні характеристики твердотільне SSR-240A50

Найменування параметра	Значення
Тип	NBR
Напруга навантаження, В	~280 В
Струм навантаження, А	0...50
Напруга керування, В	0...24
Струм керування, мА	0...20

На підставі наведеного вище для виконавчих пристроїв, та їх технічних характеристик складена табл. 2.11.

Таблиця 2.11 – Виконавчих пристроїв

№	Назва параметру	Принцип дії	Тип	Діапазон змінення	Лінійність	Значення входу	Період оновлення	Напруга живлення	Потужність
1	Продуктивність газового пальника	Система регулювання	Аналоговий	15,6...100 %	Лінійний	4...20 мА	0,1 с	-	-
2	Продуктивність (відкриття)	Час відкриття 30 с	Дискретний	0...100 %	Лінійний	24 В	0,1 с	24 В	1 Вт
3	Продуктивність (закриття)	Час відкриття 30 с	Дискретний	0...100 %	Лінійний	24 В	0,1 с	24 В	1 Вт

### 2.2.3 Вибір пристроїв керування

В якості пристрою керування, обрано програмований логічний контролер компанії VIPA. Цикл роботи контролера 100 мс, контролер має 1 кбайт вільної робочої пам'яті для реалізації програми керування. Контролер має модульну структуру, яка забезпечує підключення обраного обладнання і має легке розширення подальшого функціоналу.

До контролеру повинні бути підключені дев'ять аналогових датчиків з типом вихідного сигналу 4...20 мА:

- мінімальний рівень води;
- максимальний рівень води;
- аварійний рівень води;
- тиск пари;
- аварійний тиск пари;
- витрати пари;
- температури води;
- продуктивність подачі води;
- температури топкових газів.

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

- засувка подачі води, відкрити: дискретний, максимально 3,0 л/с.

– засувка подачі води, закрити: дискретний, мінімально 0 л/с.

До контролеру мають бути підключено один аналоговий виконавчий пристрій з типом входу керування 4...20 мА:

– продуктивність газового пальника.

Так як система керування технологічним апаратом – паровим котлом типу МЕР-0-90, який використовується для живлення епюраційної колони BTS 1600-32, то вона повинна інтегруватися у загально-заводську автоматизовану систему керування технологічним обладнанням (АСК ТП) з виготовлення біоетанолу, то у контролера має бути інтерфейс RS-485.

Наведеним вимогам відповідає програмований логічний контролер VIPA 214-2BS33. Контролер має час арифметичної операції над речовим числом 40 мкс, об'єм пам'яті програм 144 кбайт, об'єм робочої пам'яті 96 кбайт та інтерфейс RS-485 (рис. 2.12). Технічні характеристики контролеру наведені в табл. 2.12.



Рисунок 2.12 – Програмований логічний контролер VIPA 214-2BS33

Таблиця 2.12 – Технічні характеристики програмованого логічного контролеру VIPA 214-2BS33

№	Найменування параметра	Значення
1	Тип	CPU 214SER
2	Пам'ять, кбайт	144
3	Робоча пам'ять, кбайт	96
4	Максимальна кількість модулів, штук	32
5	Час виконання команди над бітом, мкс	0,18
6	Час виконання команди над байтом, мкс	0,78
7	Час виконання команди над словом, мкс	1,8
8	Час виконання команди над двійним словом, мкс	40,0
9	RS-485 інтерфейс	Присутній
10	Напруга живлення, В	24
11	Споживана потужність, Вт	5

Для підключення усіх дев'яти аналогових датчиків, які мають стандартний струмовий сигнал 4...20 мА, обрано три модулі аналогового вводу VIPA 231-1BD40, кожних з яких має по чотири аналогових входів (рис. 2.13). Технічні характеристики модуля наведені в табл. 2.13.



Рисунок 2.13 – Модуль аналогового вводу VIPA 231-1BD40

Таблиця 2.13 – Технічні характеристики модуля аналогового вводу VIPA 231-1BD40

№	Найменування параметра	Значення
1	Тип	SM 231, ECO
2	Кількість каналів	4
3	Тип каналу	Аналоговий
4	Діапазон вхідного сигналу, мА	4...20
5	Довжина екранованого провідника, м	200
6	Споживана потужність, Вт	0.6

Приклад схема підключення датчика з типом вихідного сигналу 4...20 мА до модуля аналогового вводу наведена на рис. 2.14.

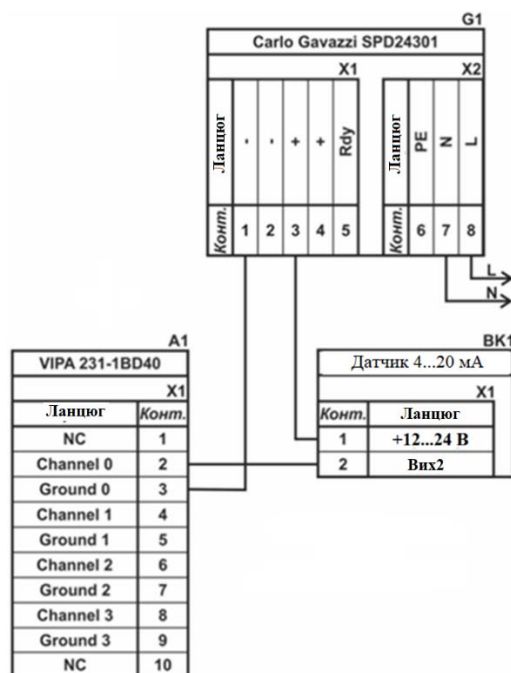


Рисунок 2.14 – Схема підключення датчика з типом вихідного сигналу 4...20 мА

До контролеру повинні бути підключені два дискретних каналів керування (тип виходу 0, +24 В), тому для підключення цих пристроїв обрано модуль дискретного вводу VIPA 222-1BF00, який має по вісім незалежних каналів керування (рис. 2.15). Технічні характеристики модуля наведені в табл. 2.14.



Рисунок 2.15 – Модуль дискретного виводу VIPA 222-1BF00

Таблиця 2.14 – Технічні характеристики модуля дискретного виводу VIPA 222-1BF40

№	Найменування параметра	Значення
1	Тип	SM 222
2	Кількість каналів	8
3	Тип каналу	Дискретний
4	Діапазон вихідного сигналу, В	0...24
5	Максимальний струм вихідного сигналу, А	1
6	Довжина екранованого провідника, м	600
7	Споживана потужність, Вт	2

Схема підключення до модуля дискретного виводу наведена на рис. 2.16.

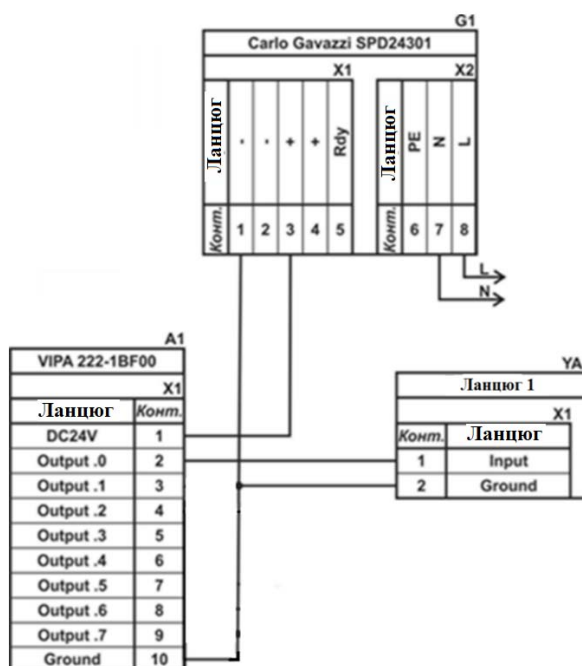


Рисунок 2.16 – Схема підключення дискретних пристроїв узгодження

Відповідно до схеми підключення модуль має вісім незалежних каналів, кожний з яких може бути використаний для керування дискретним виконавчим пристроєм з напругою +24 В. Блок живлення підключено до 1 та 10 входів модуля. Для прикладу показана схема підключення умовного ланцюга 1 (одного з п'яти). Відповідний вихід модуля 2 підключено до входу пристрою узгодження (Ланцюг 1). Земляний вихід пристрою узгодження підключено до земляного входу блока живлення. Аналогічно підключено інші ланцюги пристроїв узгодження навантаження, але до відповідних до виходів цього модуля.

Датчики контролю положення засувки за допомогою енкодерів E40H-012-2000-2-N-24 обрано функціональний модуль лічильника VIPA 250-1BA00 (рис. 2.17). Технічні характеристики модулю наведені в табл. 2.14.



Рисунок 2.17 – Функціональний модуль 250-1BS00

Таблиця 2.14 – Технічні характеристики функціонального модуля 250-1BS00

Найменування параметра	Значення
Тип	FM 250S
Кількість каналів	2/4
Розрядність лічильника, біт	32/16
Довжина екранованого провідника, м	600
Споживана потужність, Вт	2.5

Згідно з технічною документацією модуль має два або чотири лічильні канали. В якості лічильників будуть використовуватися 32 бітні регістри тому у цьому режимі він має два канали. До входів модуля підключені виходи енкодера A, B та Z, що забезпечує отримання програмованим логічним контролером від лічильника кількості імпульсів енкодера, при цьому лічильник автоматично визначає напрям обертання енкодера.

Схема підключення датчика до функціонального модуля VIPA 250-1BS00 наведена на рис. 2.18.

До контролеру є бути підключено один аналоговий виконавчий пристрій з типом входу керування 4...20 мА продуктивність газового пальника.

Таким чином потрібен модуль аналогового виводу з діапазоном аналогового сигналу 4...20 мА. Даним вимогам відповідає модуль VIPA 232-1BD40 який має чотири аналогових виходи 4...20 мА (рис. 2.19). Технічні характеристики модулю наведені в табл. 2.15.

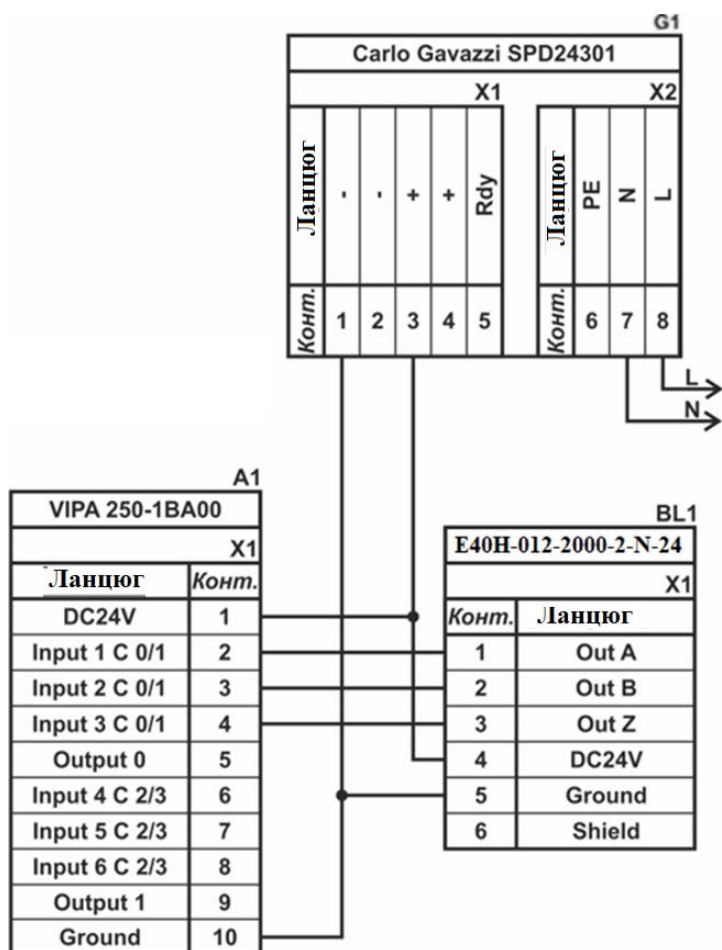


Рисунок 2.18 – Схема підключення датчика положення засувки



Рисунок 2.19 – Модуль аналогового виводу 232-1BD40



Таблиця 2.15 – Технічні характеристики модуля аналогового виводу 232-1BD40

Найменування параметра	Значення
Тип	SM 232, ECO
Кількість каналів	4
Тип каналу	аналоговий
Діапазон вхідного сигналу, мА	4...20, -20...+20
Довжина екранованого провідника, м	200
Споживана потужність, Вт	1,5

Схема підключення частотного перетворювача до модуля аналогового виводу наведена на рис. 2.20.

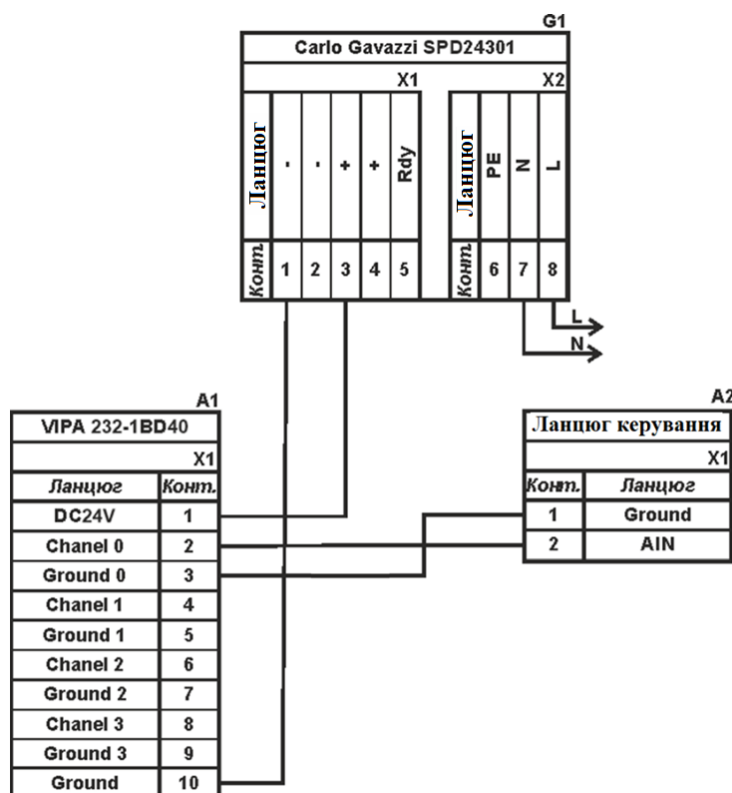


Рисунок 2.20 – Схема підключення частотного перетворювача

Згідно з вимогами до підсистеми керування, в якості котрого виступає програмований логічний контролер, та пультом оператора, в якості якого виступає персональний комп'ютер, повинна бути організована мережа за допомогою інтерфейсу RS-485. Обраний програмований логічний контролер VIPA 214-2BS33 має інтерфейс RS-485. Схема підключення персонального комп'ютеру до програмованого логічного контролеру наведена на рис. 2.21.

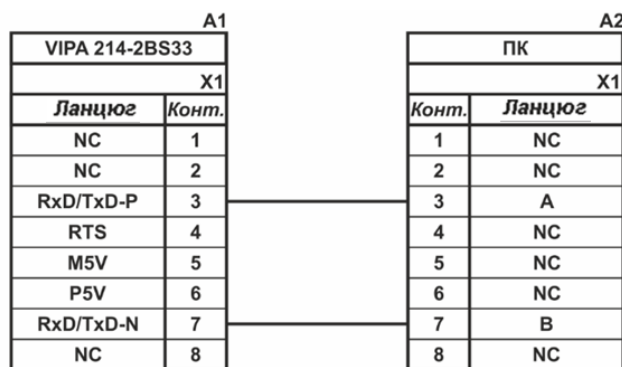


Рисунок 2.21 – Схема підключення по інтерфейсу RS-485

На підставі обраного програмованого логічного контролера та його модулів складена табл. 2.16.

Таблиця 2.16 – Пристрій керування та його модулі

№	Назва модуля	Пристрій	Напруга живлення	Потужність споживання
1	VIPA 214-2BS33	<b>Центральний процесорний модуль</b>	24 В	5,0 Вт
		Зв'язок з АСК ТП		
2	VIPA 231-1BD40	<b>Модуль аналогового вводу 1</b>	24 В	0,6 Вт
		Датчик мінімального рівня води	24 В	1,0 Вт
		Датчик максимального рівня води	24 В	1,0 Вт
		Датчик аварійного рівня води	24 В	1,0 Вт
3	VIPA 231-1BD40	<b>Модуль аналогового вводу 2</b>	24 В	0,6 Вт
		Датчик тиску пари	24 В	1,0 Вт
		Датчик аварійного тиску пари	24 В	1,0 Вт
		Датчик продуктивності витрати пари	24 В	1,0 Вт
		Датчик продуктивності подачі води	24 В	1,0 Вт
4	VIPA 231-1BD40	<b>Модуль аналогового вводу 3</b>	24 В	0,6 Вт
		Датчик температури води	24 В	1,0 Вт
		Датчик температури топкових газів	24 В	1,0 Вт
5	VIPA 250-1BS00	<b>Функціональний модуль 1</b>	24 В	2,5 Вт
		Енкодер засувки подачі води	24 В	2,0 Вт
6	VIPA 232-1BD40	<b>Модуль аналогового виводу 1</b>	24 В	1,5 Вт
		Керування газовим пальником	24 В	1,0 Вт
7	VIPA 222-1BF00	<b>Модуль дискретного виводу 1</b>	24 В	2,0 Вт
		Засувка продуктивності води (відкриття)	24 В	1,0 Вт
		Засувка продуктивності води (закриття)	24 В	1,0 Вт

## 2.2.4 Вибір джерел живлення

Програмований логічний контролер та його модулі мають напругу живлення +24 В. Загальна потужність споживання програмованого логічного контролера та його модулів:

$$P = 5,0 + 3 * 0,6 + 1 * 2,5 + 1 * 1,5 + 1 * 2,0 = 12,8 \text{ Вт.} \quad (2.1)$$

Виходячи з потужності споживання контролера та його модулів у якості джерела живлення обрано блок живлення SPD24301 з вихідною напругою +24 В та потужністю 30 Вт (рис. 2.22). Технічні характеристики блока живлення наведені в табл. 2.17.



Рисунок 2.22 – Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301

Таблиця 2.17 – Технічні характеристики блока живлення Carlo Gavazzi SPD24301

№	Найменування параметра	Значення
1	Напруга живлення, В	~85...~264
2	Вихідна напруга, В	24
3	Потужність, Вт	30
4	Максимальний вихідний струм, А	1,25

Схему підключення програмованого логічного контролера до блока живлення наведена на рисунку 2.23.

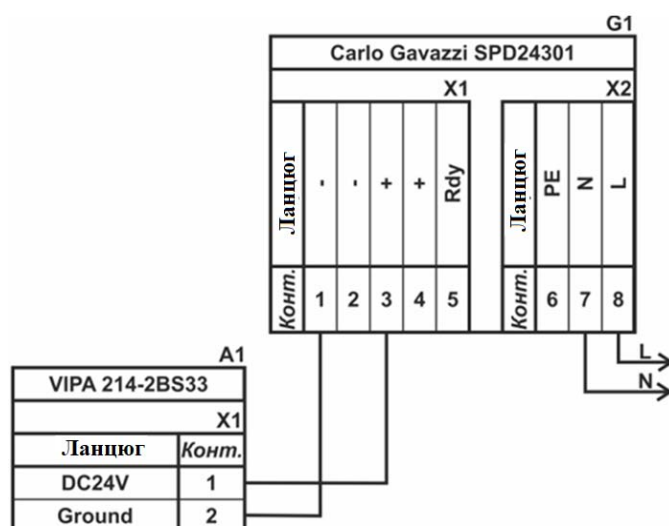


Рисунок 2.23 – Схема підключення програмованого логічного до блока живлення

Виконавши аналіз обраного обладнання можливо зробити вивід, що зовнішній блок живлення потрібен для дев'яти аналогових датчиків, одного енкодера, одного аналогового ланцюга керування та одного однофазного твердотільного реле, які мають напругу живлення +24 В та потужність споживання:

$$P = 12 * 1,0 + 1 * 2,0 = 14,0 \text{ Вт.} \quad (2.2)$$

Виходячи з потужності споживання датчиків та виконавчого пристрою у якості джерела живлення обрано блок живлення такий самий як і для програмованого логічного контролера SPD24301 з вихідною напругою +24 В та потужністю 30 Вт.

### **2.3 Розробка функціональної схеми автоматизації**

Виходячи з вимог до підсистеми керування паровим котлом типу МЕР-0-90 розроблена функціональна схема автоматизації, яка наведена на рис. 2.24.

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

Для вимірювання аварійного рівня води використовуються вібраційні дискретні сигналізатори рівня (LE 1-1 – SITRANS LVL200E), вимірне значення за допомогою вбудованого до датчика перетворювача (LT 1-2 - SITRANS LVL200E) трансформується в стандартний сигнал 4...20 мА.

Для вимірювання максимального рівня води використовуються вібраційні дискретні сигналізатори рівня (LE 2-1 – SITRANS LVL200E), вимірне значення за допомогою вбудованого до датчика перетворювача (LT 2-2 - SITRANS LVL200E) трансформується в стандартний сигнал 4...20 мА.

Для вимірювання мінімального рівня води використовуються вібраційні дискретні сигналізатори рівня (LE 3-1 – SITRANS LVL200E), вимірне значення за

допомогою вбудованого до датчика перетворювача (LT 3-2 - SITRANS LVL200E) трансформується в стандартний сигнал 4...20 мА.

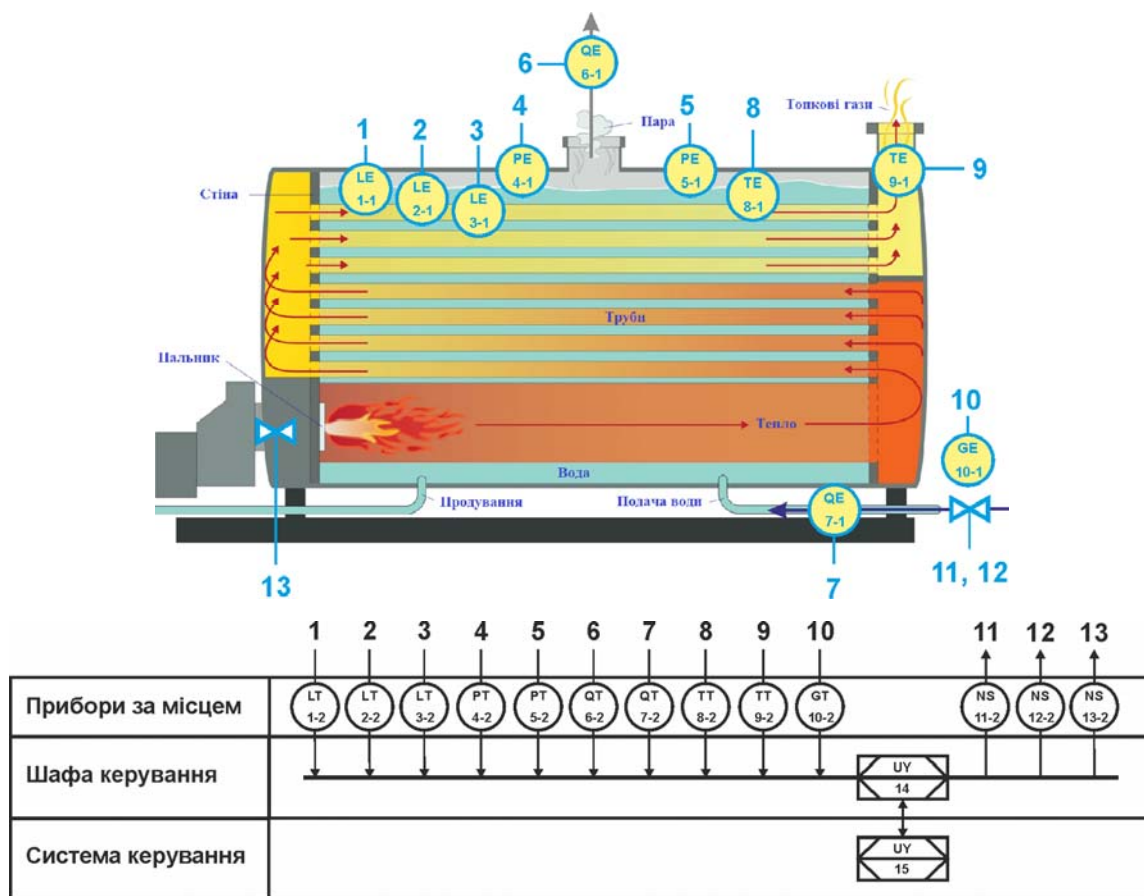


Рисунок 2.24 – Функціональна схема автоматизації системи керування котлом типу MEP-0-90

Тиск пари вимірюється за допомогою датчика тиску, встановленого на трубопроводі (TE 4-1 – SITRANS P ZD), вимірні значення за допомогою вбудованого до датчика перетворювача (TT 4-2 – SITRANS P ZD) трансформується в стандартний сигнал 4...20 мА.

Аварійний тиск пари вимірюється за допомогою датчика тиску, встановленого на трубопроводі (TE 5-1 – SITRANS P ZD), вимірні значення за допомогою вбудованого до датчика перетворювача (TT 5-2 – SITRANS P ZD) трансформується в стандартний сигнал 4...20 мА.

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

Продуктивність подачі води у котел вимірюється за допомогою датчику витрат, встановленого на трубопроводі (TE 7-1 – SITRANS F X), вимірне значення за допомогою вбудованого до датчика перетворювача (TT 7-2 – SITRANS F X) трансформується в стандартний сигнал 4...20 мА.

Температура води вимірюється у верхній частині котлу за допомогою датчика температури (TE 8-1 – SITRANS T TW), вимірне значення за допомогою вбудованого до датчика перетворювача (TT 8-2 - SITRANS T TW) трансформується в стандартний сигнал 4...20 мА.

Температура топкових газів вимірюється за допомогою датчика температури (TE 9-1 – FGT-PT1000), вимірне значення за допомогою вбудованого до датчика перетворювача (TT 9-2 – SITRANS TF) трансформується в стандартний сигнал 4...20 мА.

Ступінь відкриття / закриття засувки подачі води контролюється енкодером (GE10-1 E40H 012 2000 2 N 24) спеціалізованим перетворювачем (GT10-2 E40H 012 2000 2 N 24).

Регулювання продуктивності витрати пару здійснюються засувка клинковою ЗКЛ 15-80-01 з реверсивним керуванням за допомогою дискретних модулів твердотільних реле (NS 11-2 - SSR-240A50) та (NS 12-2 - SSR-240A50).

Регулювання продуктивності газового пальника здійснюється по каналу керування (NS 13-2 – 4...20 мА).

На підставі отриманих первинних значень з відповідних датчиків програмований логічний контролер (UY 14 – VIPA 214-2BS33) за допомогою виконавчих пристроїв формує керуючі впливи по підтримці заданого режиму роботи паровим котлом типу МЕР-0-90.

## **2.4 Розробка схеми електричної принципової**

На основі функціональної схеми автоматизації та обраного апаратного забезпечення розроблена схема електрична принципова системи керування паровим котлом типу МЕР-0-90 (рис. 2.25).

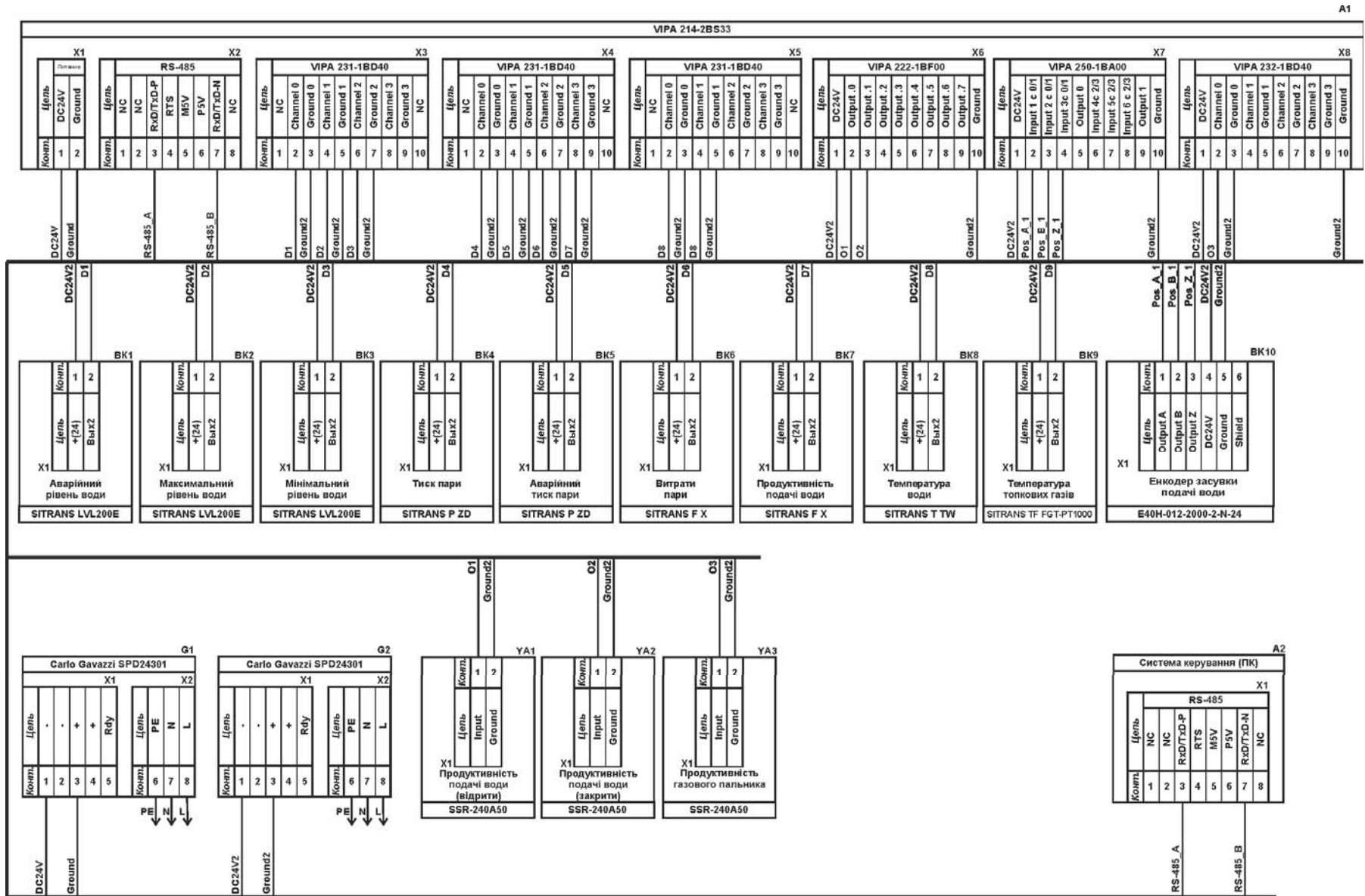


Рисунок 2.25 – Схема електрична принципова підсистеми керування

В системі керування використовуються два блока живлення. Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301 (G1) підключено до програмованого логічного контролеру VIPA 214-2BS33 (A1). Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301 (G2) підключено до модулю дискретного виводу VIPA 222-1BF00 (A1 – X5), к усім семи датчикам (BK1...BK7).

Усі шість аналогових датчиків мають уніфікований сигнал 4...20 мА, а дискретні датчики мають теж токовий вихід 8 / 16 мА, таким чином ці датчики підключені до модулів аналогового вводу VIPA 231-1BD40 (A1 – X3) до каналів 0, 1, 3 та VIPA 231-1BD40 (A1 – X4) до каналів 0, 1, 3, 4, та VIPA 231-1BD40 (A1 – X5) до каналів 0, 1.

Керування засувкою подачі води здійснюється за принципом дискретного реверсивного керування за допомогою твердотільних реле (YA1, YA2) типу SSR-240A50 які підключені до дискретного модуля VIPA 231-1BF40 (A1 – X6) до каналів 0, 1. Ступінь відкриття / закриття засувки контролюється енкодерами BK8...BK9 за допомогою спеціалізованого модуля A1 – X7 типу VIPA 250-1BA00.

Керування продуктивністю газового пальника здійснюється по каналу керування 4...20 мА який підключено до підключені до модуля аналогового виводу VIPA 232-1BD40 (A1 – X8) до каналу 0.

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

## **2.5 Висновки за розділом**

У якості об'єкта керування виступає паровий котел типу МЕР-0-90, який використовується для живлення епюраційної колони BTS 1600-32.

Для синтезу системи керування паровим котлом типу МЕР-0-90 обрані необхідні апаратні засоби, розроблена функціональна схема автоматизації, розроблена схема принципова системи керування, складено перелік елементів до схеми електричної принципової.



### 3 ВИЗНАЧЕННЯ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

#### 3.1 Загальні відомості

У кваліфікацій роботі бакалавра в якості об'єкту керування був обраний один з енергоємних апаратів технологічної ланки виробництва етилового спирту – паровий котел МЕР-0-90 продуктивністю до 3 кг/с перегрітої пари, який використовується для живлення епіюраційної колони BTS 1600-32, яка використовується на Гнідавському біоетанольному заводі.

Паровий котел складається з циліндричної печі, в якій утворюється полум'я і спалюється факел пальника. Димові гази потрапляють в жаротрубну частину передньої стінки труби і направляються в сторону задньої стінки через наступну жаротрубну частину, з якої виходять через з'єднання до димоходу, передаючи тепло отоючій їй воді для перетворення її у пару.

В процесі експлуатації парового котла необхідно підтримувати де кілька основних технологічних параметрів. Основними з них є тиску перегрітої пари в залежності від поточних витрат пару.

Таким чином для синтезу системи керування, моделювання її роботи для перевірки її працездатності перш за все треба мати модель об'єкту керування - парового котла МЕР-0-90 для регульованого тиску пару, в залежності від потужності газового пальника за каналом керування: «продуктивність газового пальника – тиск перегрітої пари». При цьому інші вхідні і вихідні параметри об'єкту керування мають бути не змінними і знаходитись у номінальному стані.

Тиск перегрітої пари у котлу контролюється аналоговим датчиком SIEMENS SITRANS P, який призначено для вимірювання абсолютного тиску пароподібних середовищ у діапазоні 0...10 бар і який має вбудований перетворювач з нормованим вихідним сигналом 4...20 мА.

Газовий пальник R520A L-RP-S серії Cinquesento призначений для котлів великої потужності та лінійна працює у діапазоні потужності від 1,0 ...6,4 МВт. Пальник має моноблочну конструкцію корпусу з вбудованим повітряним

вентилятором та пультом керування, змонтованим на корпусі пальника, що забезпечує максимальну компактність та зручність у процесі обслуговування.

Варіанти типу регулювання: прогресивне (лінійне) та модульуюче (вкл. /викл.). на заданому рівні потужності.

Продуктивність газового пальника лінійна керується нормованим аналоговим сигналом 4...20 мА у межах 1,0...6,4 МВт (15...100 %).

### **3.2 Розробка структурної схеми інформаційних потоків дослідницької системи**

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

У кваліфікаційній роботі будуть розглядатися питання по створенню системи керування для одного з каналів керування паровим котлом МЕР-0-90 «продуктивність газового пальника – тиск перегрітої пари».

Для отримання математичної моделі об'єкту керування треба провести комплексні заходи по дослідженню поведінки об'єкту керування під впливом ряду стандартних вхідних впливів.

Візуалізація процесу керування у дослідницькій системі відбувається за допомогою персонального комп'ютера зі SCADA системою zenon. Така система дозволяє, крім функцій керування, виконувати функції дослідження об'єкта - для чого достатньо використати дослідницьке програмне забезпечення. Виходячи з цього розроблена структурна схема системи керування, яка і наведена на рис. 3.1.

Згідно зі структурною схемою, система дослідження має формувати керуючий вплив, в якості якого виступає продуктивність газового пальника, яка змінюється у діапазоні 15...100 % за рахунок чого виконуються необхідні зміни значення тиску перегрітої пари. При вказаному діапазоні змін продуктивності

пальника, зміни дійсного значення – тиску перегрітої можуть сягати діапазону приблизно 3...9 бар.

Програмований логічний контролер виконує керування продуктивністю газового пальника R520A L-RP-S, яка керується нормованим аналоговим сигналом 4...20 мА.

Для усунення різких термоударів для конструкції парового котла (найбільш чутливі елементи конструкції – місця зварювання), час повного відкриття регулюючих заслінок пальника, необхідний для виходу на максимальний режим потужності обмежений у часі і за замовчуванням становить 180 с (для вбудованої системи керування пальником можна програмно обрати любое необхідне значення часу виходу з мінімальної потужності до максимальної потужності, з можливого діапазону значень - 0,5...15 хв. з кроком 10 с).

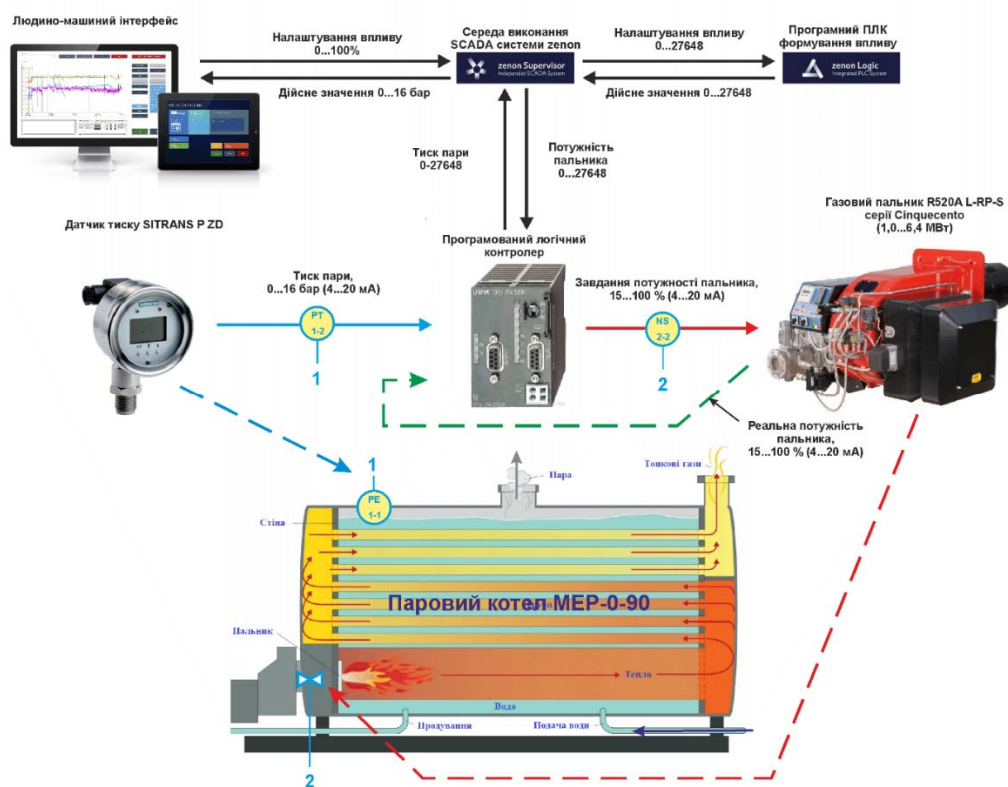


Рисунок 3.1 – Структурна схема інформаційних потоків дослідницької системи

Контроль реальної потужності газового пальника здійснюється за допомогою сигналу зворотного зв'язку від вбудованої системи керування пальником, який майже нормований аналоговий сигнал 4...20 мА. Цей сигнал буде використовуватися

при побудові моделі газового пальника, модель якого буде використовуватися при синтезі системи керування газовим котлом – комплексна модель газового котла.

Зв'язок між програмованим логічним контролером та персональним комп'ютером зі SCADA системою zenon також реалізується за допомогою інтерфейсу RS-485.

### **3.3 Розробка методики дослідження об'єкта керування**

Система дослідження дозволяє формування різноманітних керуючих впливів для подання їх через систему керування на об'єкт керування. При цьому об'єкт керування не накладає ні яких обмежень на керуючий вплив. Виходячи з цього об'єкт керування можливо дослідити за допомогою метода активного експерименту.

З метою виконання ідентифікації об'єкта керування, використовуючи метод активного експерименту, необхідно отримати його динамічну характеристику, данні для побудови статичної характеристики, характеристику при П-образному керуючому впливі, та перевірочні данні. Виходячи з цього і складено наступний план експерименту:

1. Налаштувати систему дослідження.
2. Отримати динамічну характеристику.
  - 2.1. Привести об'єкт керування до початкових умов, дочекатися досягнення усталеного режиму дійсного значення.
  - 2.2. Запустити процес реєстрування.
  - 2.3. Задати максимальну амплітуду керуючого впливу (100 %), дочекатися досягнення усталеного режиму дійсного значення.
  - 2.5. Зупинити процес реєстрації.
3. Отримання даних за для побудови статичної характеристики.
  - 3.1. Привести об'єкт керування до початкових умов (дивись п. 2.1).
  - 3.2. Розбити весь діапазон керуючого впливу на 5...10 рівних частин. Далі запустити процес реєстрування та поетапно подавати ці значення керуючого впливу на об'єкт керування, поетапно дочекавшись усталеного режиму дійсного значення фіксувати його.

3.3. Зупинити процес реєстрації.

4. Отримання даних при П-образному впливі.

4.1 Привести об'єкт керування до початкових умов (дивись п. 2.1).

4.2 Запустити процес реєстрування.

4.3. Задати керуючий вплив на рівні 100 %, обов'язково дочекатися досягнення усталеного режиму дійсного значення, зафіксувати його.

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

4.5. Зупинити процес реєстрації.

5. Отримання перевірочних даних.

5.1. Привести об'єкт керування до початкових умов (дивись п. 2.1).

5.2. Налаштувати псевдовипадковий вплив таким чином, щоб період зміни впливу був бажано у 5...10 разів менший за час перехідного процесу, а амплітуда керуючого впливу змінювалася дискретно (бажано випадково) в діапазоні 0...100 %.

5.3. Запустити процес реєстрування.

5.4. Запустити формування псевдовипадкового впливу.

5.5. Виконувати реєстрацію бажано на протязі часу не менш ніж за 5...10 інтервалів часу перехідного процесу плюс час затримки.

5.6. Зупинити процес реєстрації.

### **3.4 Виконання експерименту**

На першому етапі проведення експерименту виконано налаштування системи дослідження таким чином, що керуючий вплив – потужність газового пальника буде змінюватися дискретно з мінімального можливого значення до максимального, а відповідне дійсне значення – тиск перегрітої пари, під впливом керуючого значення з часом буде теж змінюватися дискретно з мінімального значення до максимального.

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

Враховуючи той факт, що газовий палиник, за технічними параметрами, лінійна регулюється у межах 15...100 % (1,0...6,4 МВт), то враховуючі постійну складову керуючого сигналу у 15 %, реальний діапазон регулювання складатиме 0...85 %.

Для цього було встановлено керуючий сигнал на рівні 0 % (фактичне значення 15 %). Після досягнення усталеного режиму – тиск перегрітої пари приблизно 3 бар, керуючий сигнал було встановлено на рівні 85 % (фактичне значення 100 %), після досягнення усталеного режиму – тиск перегрітої пари приблизно 9 бар експеримент було закінчено.

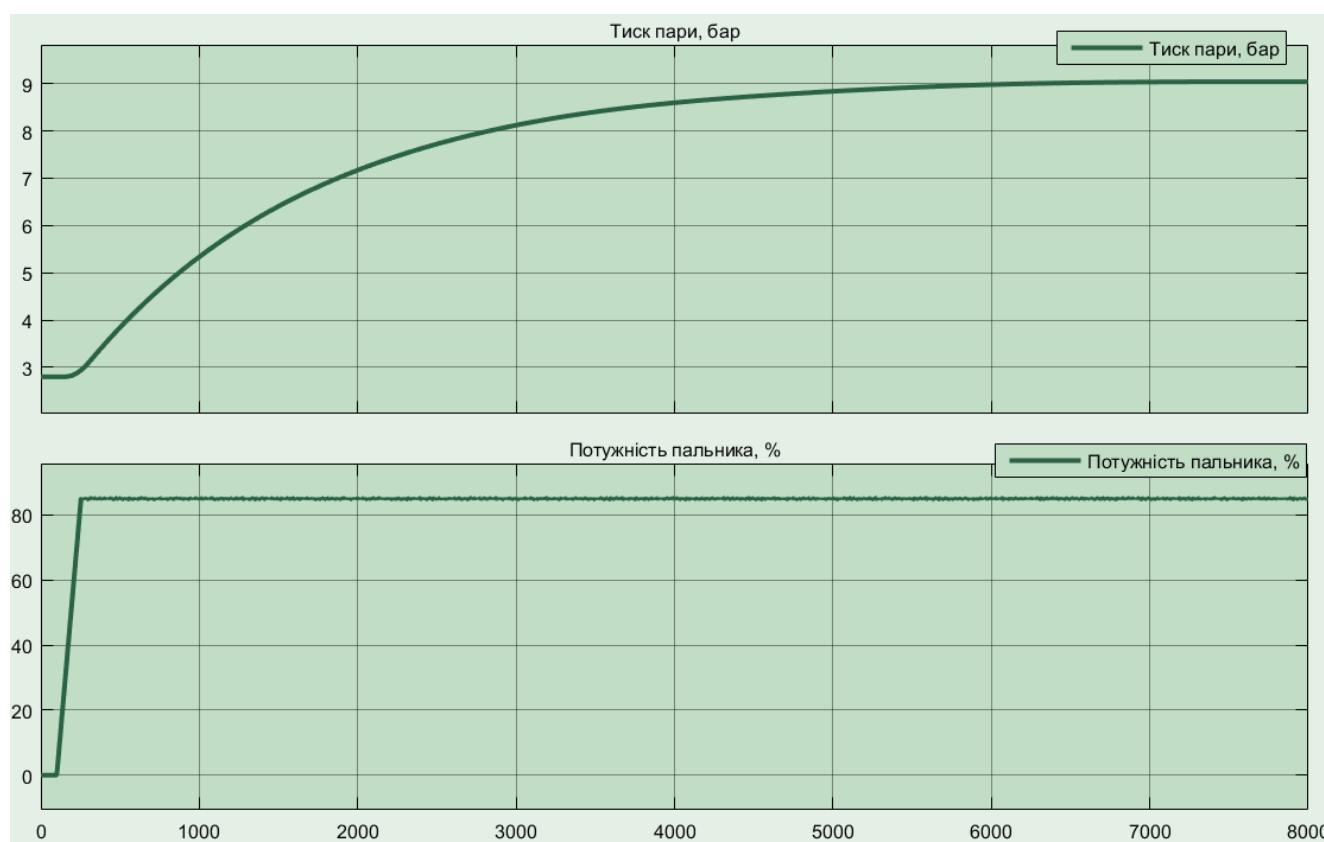


Рисунок 3.4 – Отримання динамічної характеристики

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

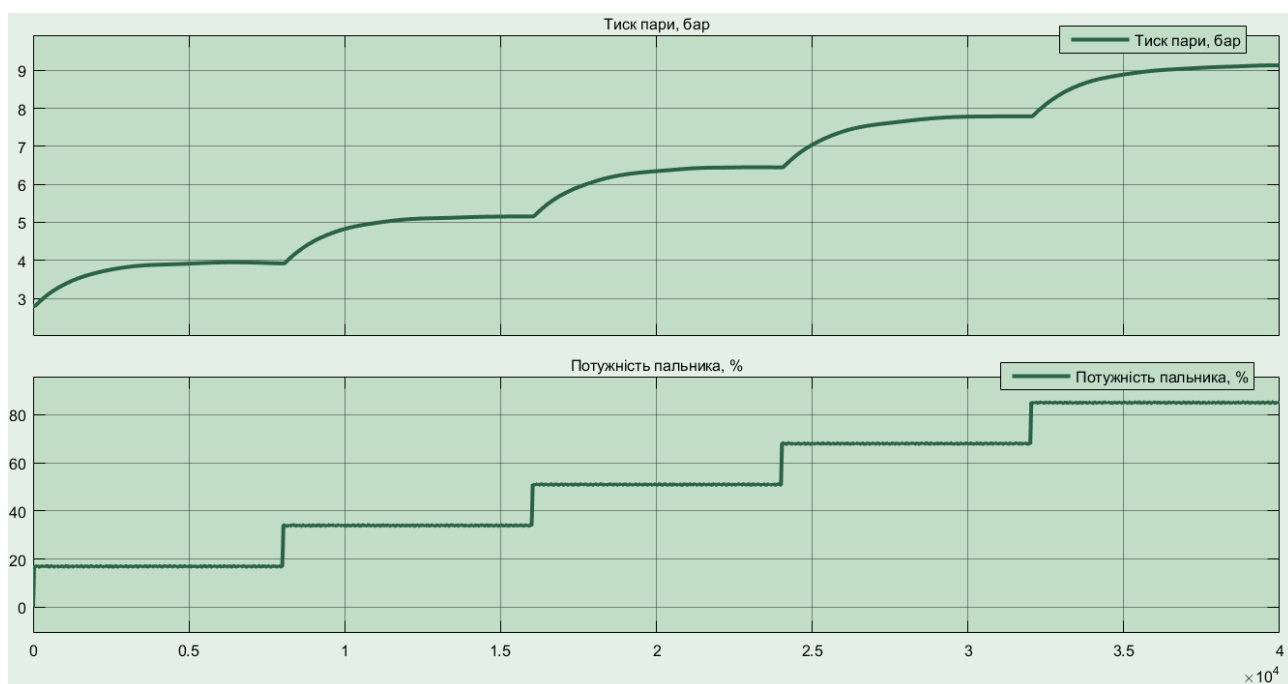


Рисунок 3.5 – Отримання даних для побудови статичної характеристики

Для цього було встановлено керуючий сигнал на рівні 17 % (фактичне значення 32 %), після досягнення усталеного режиму для дійсного значення, було зафіксована його величина.

Далі було встановлено керуючий сигнал на рівні 34 % (фактичне значення 49 %), після досягнення усталеного режиму для дійсного значення, було зафіксована його величина.

Далі було встановлено керуючий сигнал на рівні 51 % (фактичне значення 66 %), після досягнення усталеного режиму для дійсного значення, було зафіксована його величина.

Далі було встановлено керуючий сигнал на рівні 68 % (фактичне значення 83 %), після досягнення усталеного режиму для дійсного значення, було зафіксована його величина.

Далі було встановлено керуючий сигнал на рівні 85 % (фактичне значення 100 %), після досягнення усталеного режиму для дійсного значення, було зафіксована його величина.

Після цього експеримент було закінчено.

На четвертому етапі було виконано отримання даних П-образному керуючому впливі (рис. 3.6).

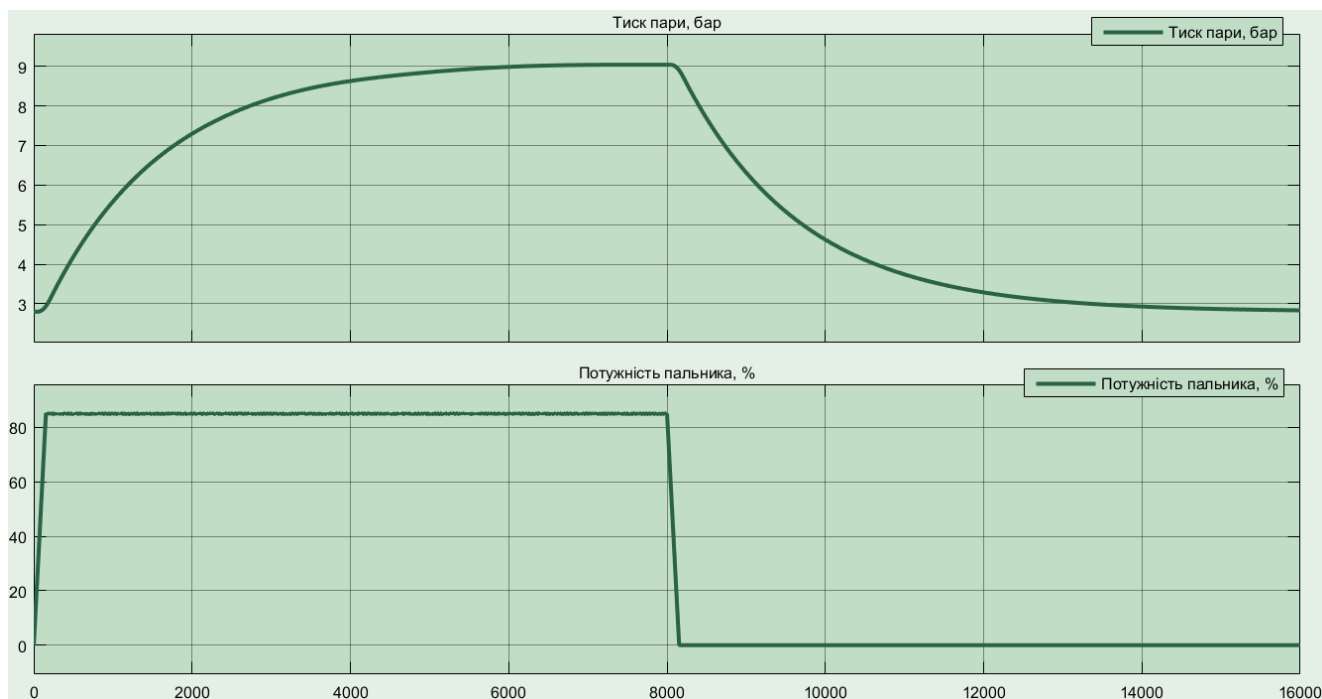


Рисунок 3.6 – Отримання даних при П-образному керуючому впливі

Для цього було встановлено керуючий вплив на рівні 0 % (фактичне значення 15 %), після досягнення усталеного режиму для дійсного значення, було зафіксована його величина, після досягнення усталеного режиму дійсного значення було встановлено керуючий вплив на рівні на рівні 85 % (фактичне значення 100 %), після досягнення усталеного режиму було встановлено керуючий вплив на рівні 0 % (фактичне значення 15 %), після досягнення усталеного режиму експеримент було закінчено.

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

Для цього керуючий вплив було налаштовано на випадкову послідовність в діапазоні 0...85 % (фактично 15...100), з інтервалом зміни близько 220 с (з попереднього аналізу рис. 3.4 маємо - перехідний процес близько 1 500 с, затримка 20...50 с, а сама реєстрація відбувалася на протязі 62 000 с.

У результаті виконання плану експерименту проведено всеосяжне дослідження об'єкта керування та отримані динамічна характеристика, дані для побудови статичної характеристики, дані при П-образному керуючому впливі та перевірочні дані.



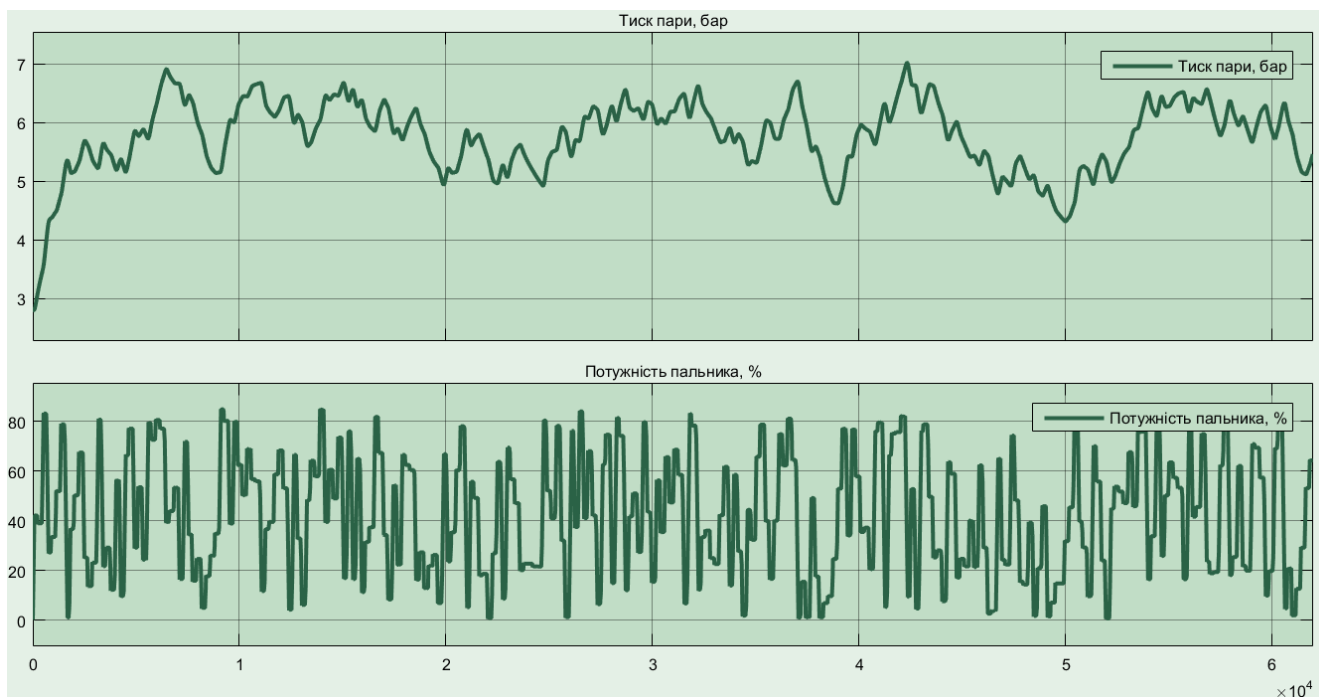


Рисунок 3.7 – Отримання перевірочних даних

### 3.5 Обробка результатів експерименту

#### 3.5.1 Підготовка даних

Дані отримані в SCADA системі zenon було імпортовано до математичного пакета MATLAB з метою подальшої обробки (рис. 3.8).

Workspace	
Name ^	Value
Check_Input	62001x1 double
Check_Output	62001x1 double
Dynamic_Input	8001x1 double
Dynamic_Output	8001x1 double
P_Input	16001x1 double
P_Output	16001x1 double
Static_Input	40001x1 double
Static_Output	40001x1 double

Рисунок 3.8 – Імпортовані данні

Змінні які відповідають даним динамічної характеристики “Dynamic\_Input”, “Dynamic\_Output”, даним для побудови статичної характеристики “Static\_Input”, “Static\_Output”, даним отриманим при П-образному керуючому впливі “P\_Input”, “P\_Output”, перевірочним даним “Check\_Input”, “Check\_Output”. Суфікс “\_Input” позначає керуючий вплив, а суфікс “\_Output” дійсне значення.

Для спрощення подальшого аналізу дані були конвертовані до об'єктів типу “iddata”. Та з отриманих даних була видалена статична складова.

На рис. 3.9 та рис. 3.10 показані результати моделювання з видалення статичної складової для динамічної, статичної, П-образної та перевірконої характеристик.

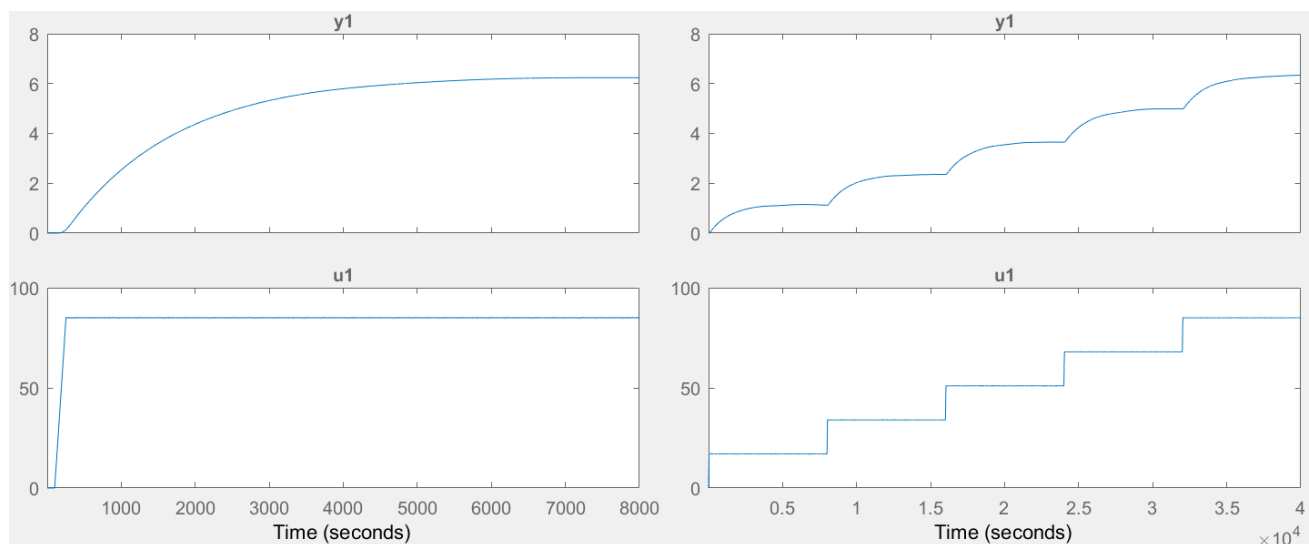


Рисунок 3.9 – Динамічна і статична характеристики з видаленими статичними складовими

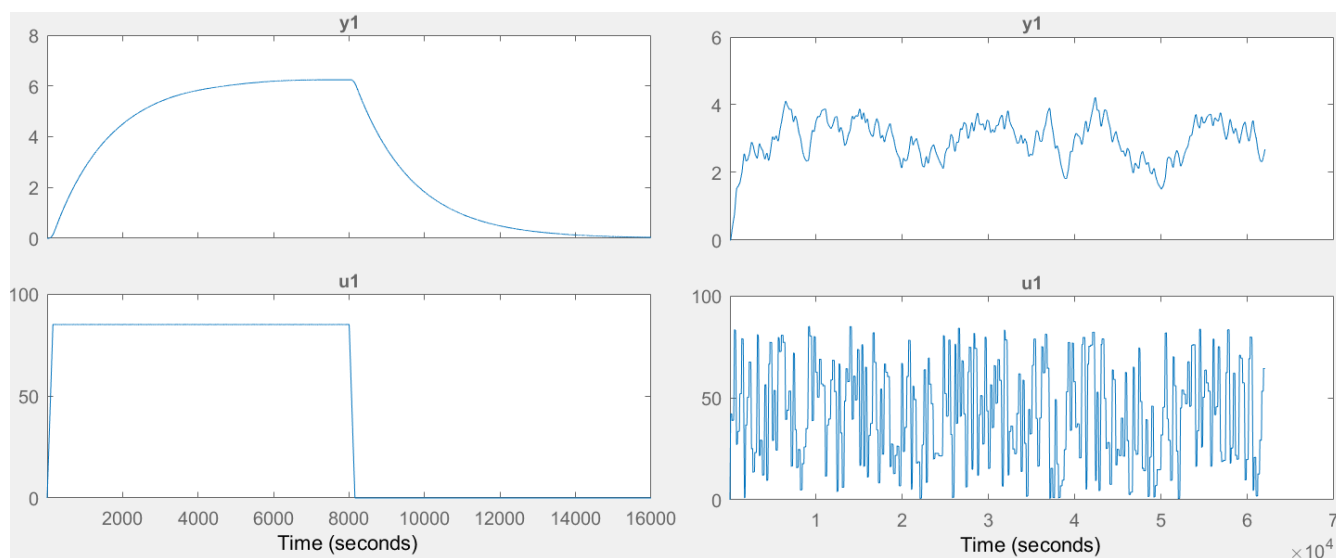


Рисунок 3.10 – П-образна та перевіркона характеристики з видаленими статичними складовими

### 3.5.2 Структурна ідентифікація

З метою оцінки структури моделі об'єкта керування проаналізуємо динамічну характеристику об'єкта керування (рис. 3.11).

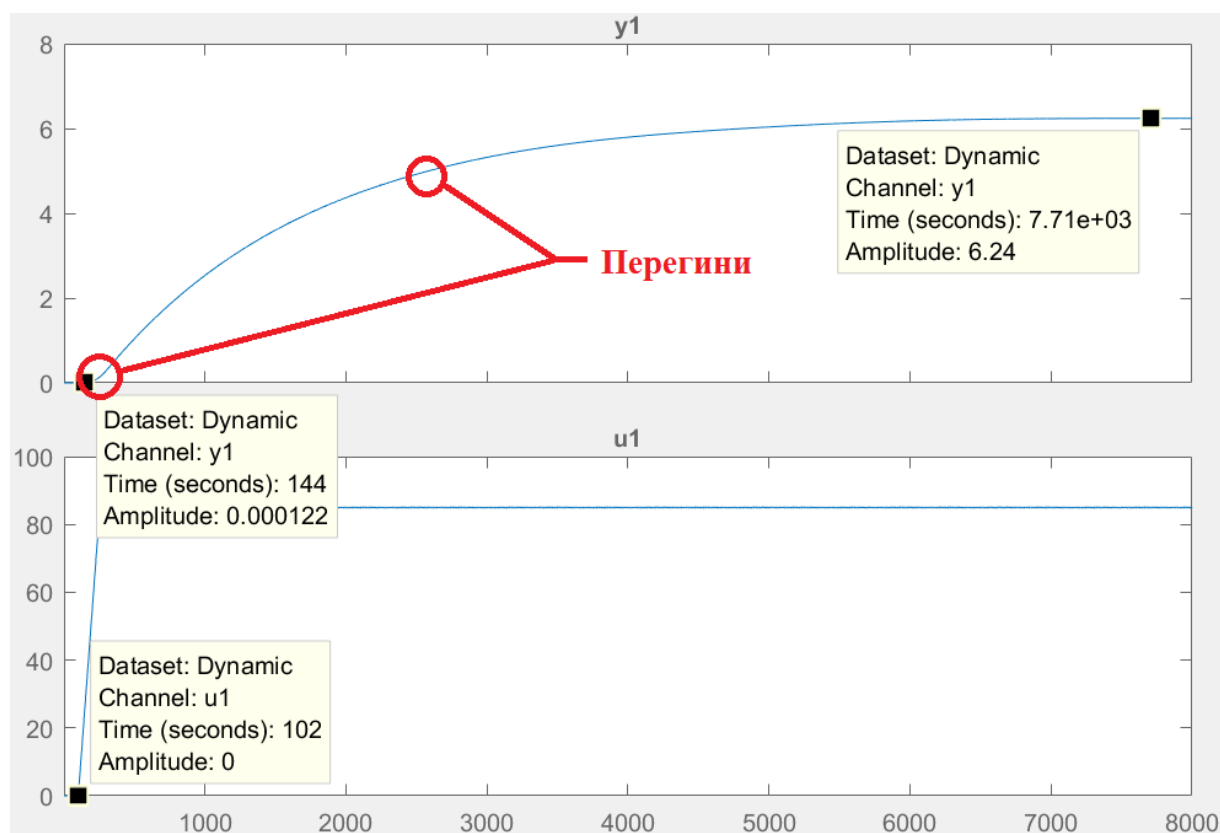


Рисунок 3.11 – Аналіз динамічної характеристики

Після подачі керуючого впливу дійсно значне змінюється з незначним запізненням, виходячи з цього можливо зробити висновок, що об'єкт володіє запізненням - приблизно десь  $144 - 102 \approx 42$  с. Це може бути пов'язано з особливістю розповсюдження гріючих топкових газів вдовж шляху жаротрубного конструктиву котла.

Крім того на динамічній характеристиці відсутня інерція, характер перехідного процесу монотонний, а кількість перегинів дорівнює двом. На підставі цього можливо зробити висновок, що модель об'єкта керування може бути представлена у вигляді аперіодичної ланки другого порядку з запізненням.

Коефіцієнт посилення  $K \approx 6,24 / 85 = 0,074$ .

Час перехідного процесу 8 000 с, а постійна часу  $8\,000 / 5 \approx 1\,600$  с.

Проаналізуємо об'єкт керування на лінійність для цього побудуємо його статичну характеристику (рис. 3.12).

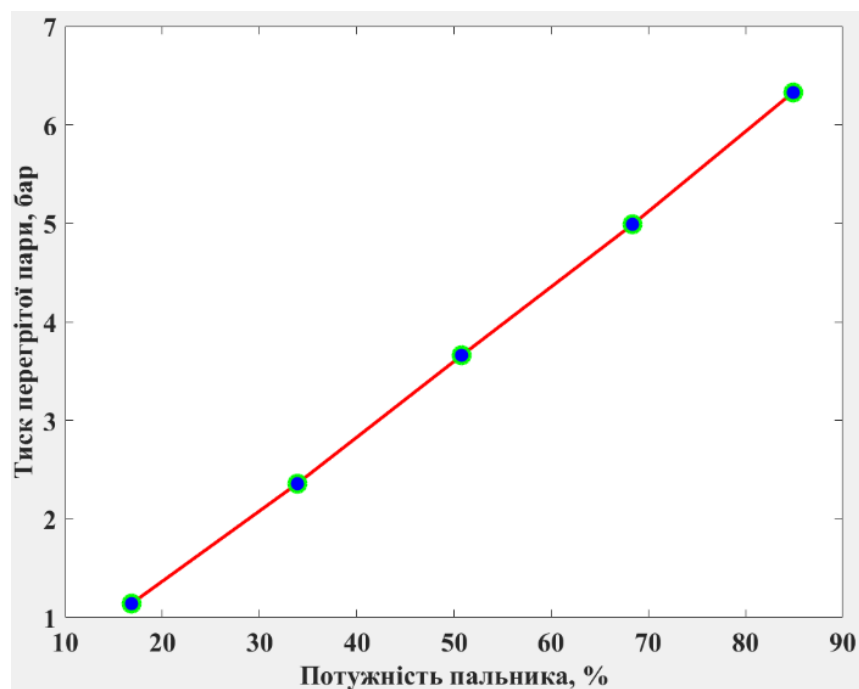
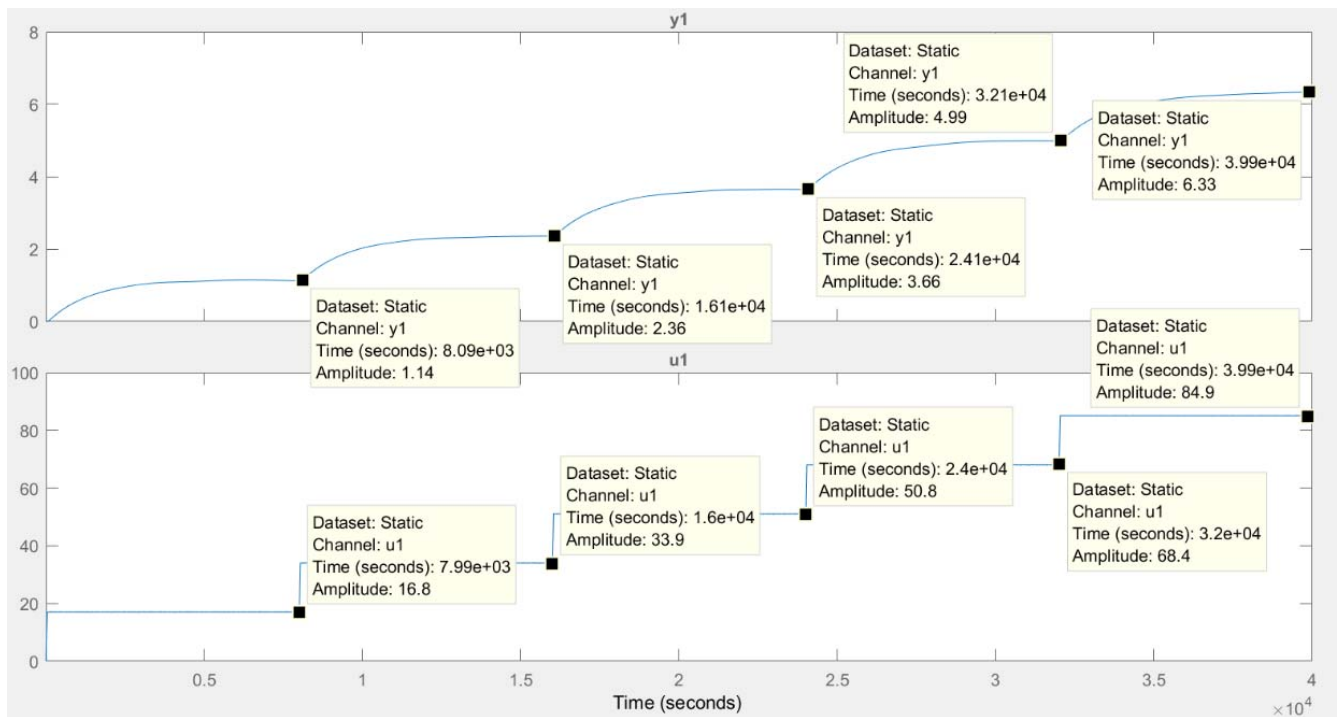


Рисунок 3.12 – Статична характеристика

Для перевірки статичної характеристики на лінійність розраховано коефіцієнти посилення для усіх точок крім нульових:

$$\text{Static\_Gain} = \begin{matrix} 0.0679 & 0.0696 & 0.0720 & 0.0730 & 0.0746 \end{matrix}$$

Максимальне відхилення коефіцієнту підсилення: 8.99

За статичною характеристикою та отриманими коефіцієнтами посилення об'єкт керування є лінійним в усьому досліджуваному діапазоні керуючих впливів

та для його опису можуть бути використані лінійні моделі, так як відхилення коефіцієнту посилення у всьому діапазоні менше ніж величина технічної похибки 10 %.

Проаналізуємо характеристику отриману при П-образному керуючому впливі (рис. 3.13).

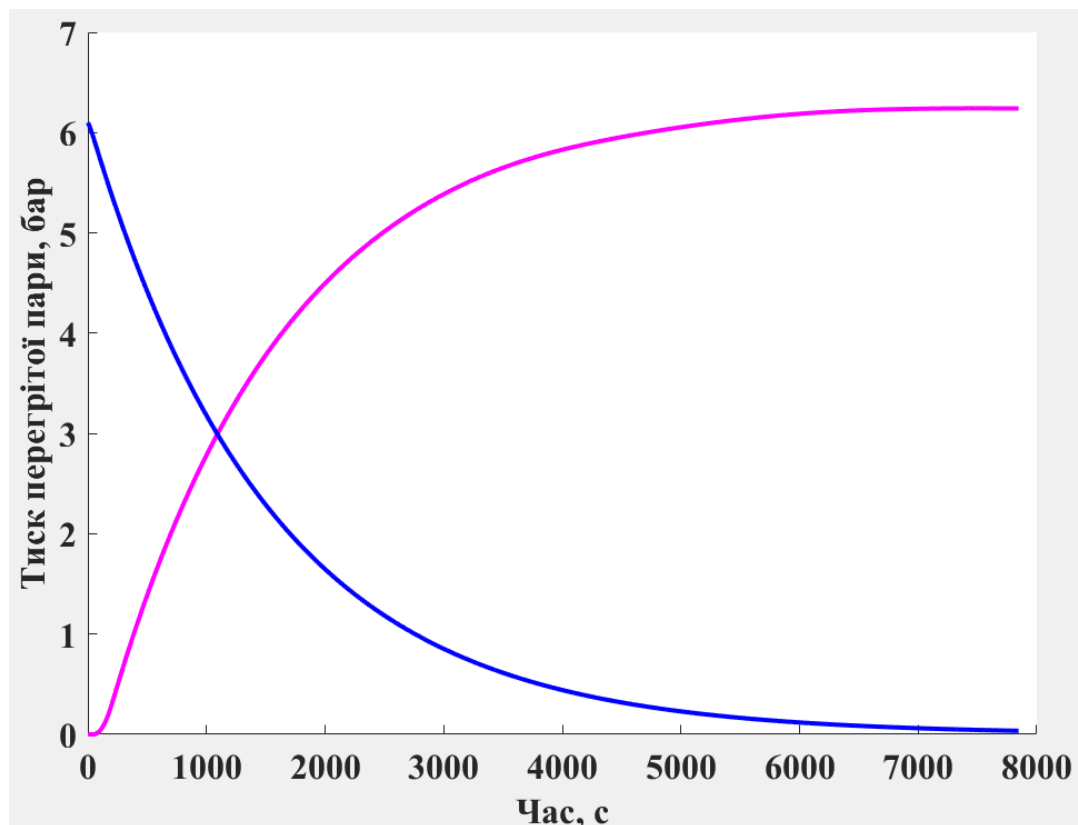


Рисунок 3.13 – Аналіз симетричності характеристика при П-образному керуючому впливі

Збільшення керуючого впливу з 0 % (дійсне значення 15 %) до 85 % (дійсне значення 100 %) приводить до відповідного збільшення дійсного значення, а зменшення керуючого впливу з 100 % (дійсне значення 100 %) до 0 % (дійсне значення 15 %) приводить до відповідного зменшення дійсного значення. На підставі цього можливо зробити висновок, що об'єкт не володіє інтегруючими властивостями і є об'єктом з самовирівнюванням.

З метою аналізу симетричності об'єкта керування його характеристика отримана при П-образному впливі була поділена на ділянки підйому та спаду (рис. 3.13).

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

**Порівняння ділянок підйому та спаду: 9.46 %**

За отриманою П-характеристикою при аналізі симетричності середнє квадратичнє відхилення менше ніж величина технічної похибки 10 %. Тобто можна стверджувати, що час перехідного процесу, форма та стандартнє середнє квадратичні відхилення ділянок підйому та спаду співпадають, таким чином об'єкт керування є симетричним та може бути представлений однією лінійною моделлю.

За результатами структурної ідентифікації встановлено, що об'єкт керування є лінійним, симетричним, має два дійсні від'ємні домінуючі корені та ланку чистого запізнення. На підставі цього об'єкт керування може бути описано аперіодичною ланкою другого, або більш високого порядку с запізненням:

$$W(s) = \frac{k \cdot e^{-\tau s}}{(T_1 s + 1) \cdot (T_2 s + 1)}, \quad (3.1)$$

де  $W(s)$  – передавальна функція моделі об'єкта керування;

$s$  – оператор диференціювання;

$k$  – коефіцієнт посилення;

$\tau$  – час запізнення, с;

$T_1, T_2$  – постійні часу, с.

### 3.5.3 Параметрична ідентифікація

Параметрична ідентифікація виконувалася у програмному забезпеченні System Identification Toolbox яке входить до складу математичного пакета MATLAB та запускається командою `ident`.

До програмного забезпечення System Identification Toolbox (рис. 3.14) імпортувалися підготовлені дані без статичної складової – «Dynamic». Дані динамічної характеристики використовувалися для розрахунку параметрів моделі об'єкта керування, а перевірочні дані «Check», для оцінки відповідності отриманої моделі до об'єкта керування.

Для визначення параметрів моделі об'єкта керування використано метод «Process Models». Налаштування параметрів ідентифікації наведено на рис. 3.15.

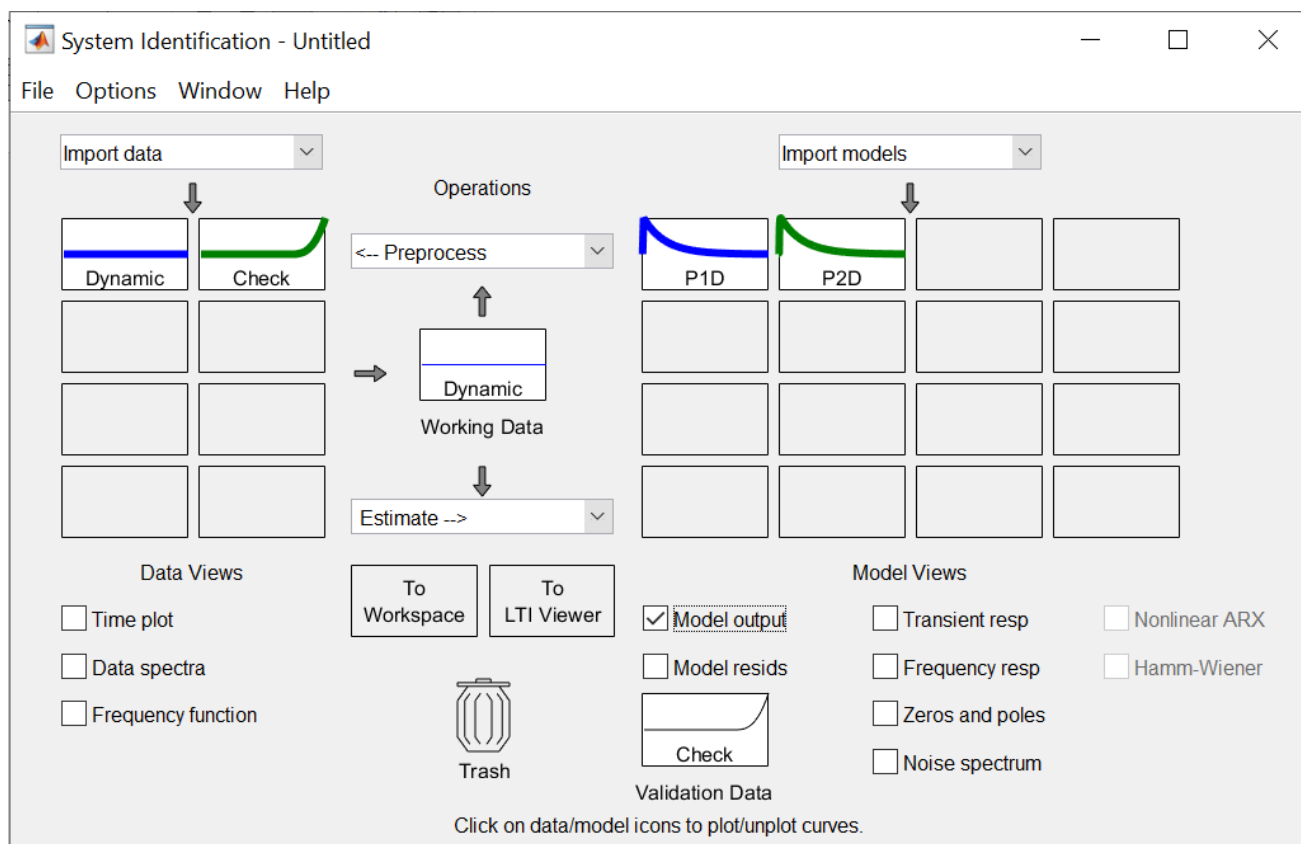
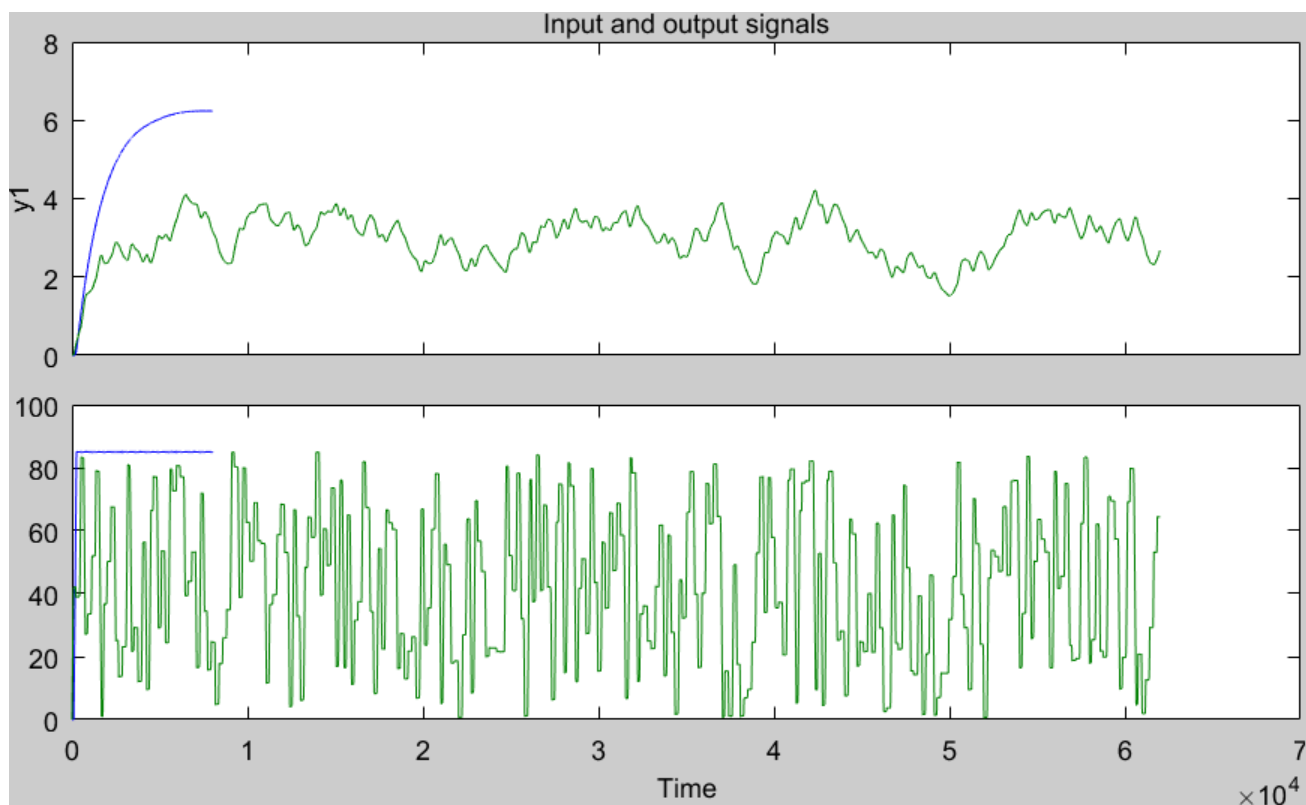


Рисунок 3.14 – Налаштування System Identification Toolbox

Перевірка результатів розрахунків наведена на рис. 3.15 та в табл. 3.1.

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

Параметри ідентифікації за методом Process Models P1D:

P1D =

Process model with transfer function:

$$G(s) = \frac{K_p}{1+T_{p1}s} * \exp(-T_d*s)$$

$$\begin{aligned} K_p &= 0.074255 \text{ +/- } 5.1566e-06 \\ T_{p1} &= 1524.5 \text{ +/- } 0.5402 \\ T_d &= 30 \text{ +/- } 0.45294 \end{aligned}$$

Fit to estimation data: 99.04%

FPE: 0.0002785, MSE: 0.0002782

Параметри ідентифікації за методом Process Models P2D:

P2D =

Process model with transfer function:

$$G(s) = \frac{K_p}{(1+T_{p1}s)(1+T_{p2}s)} * \exp(-T_d*s)$$

$$\begin{aligned} K_p &= 0.0741 \text{ +/- } 1.9148e-06 \\ T_{p1} &= 1492.2 \text{ +/- } 0.20835 \\ T_{p2} &= 22.519 \text{ +/- } 1.3309 \\ T_d &= 29.62 \text{ +/- } 1.3722 \end{aligned}$$

Fit to estimation data: 99.57%

FPE: 5.575e-05, MSE: 5.567e-05

За допомогою «Model output» показана відповідність отриманих моделей P1D та P2D до перевірочних даних отриманих на об'єкті керування Check наведена на рис. 3.15 та представлена у табл. 3.1.

Аналіз відмінностей між оцінками моделей P1D – першого порядку з затримкою та P2D – другого порядку з затримкою по динамічній характеристиці показав, що за нормалізованим середньоквадратичним похибкам (НСКП), краще всього підходять модель P2D (99,57 %), помилка остаточного передбачення (ПОП) для P1D у 0,0002785 / 0,00005575  $\approx$  5 разів більша ніж у P2D.

Головним показником, який впливає на остаточний вибір між цими моделями є розбіжність у відповідності за перевірочними даними, найкращий показник має модель P2D з показником НСКП відповідності за перевірочними даними у 83,22 %.



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

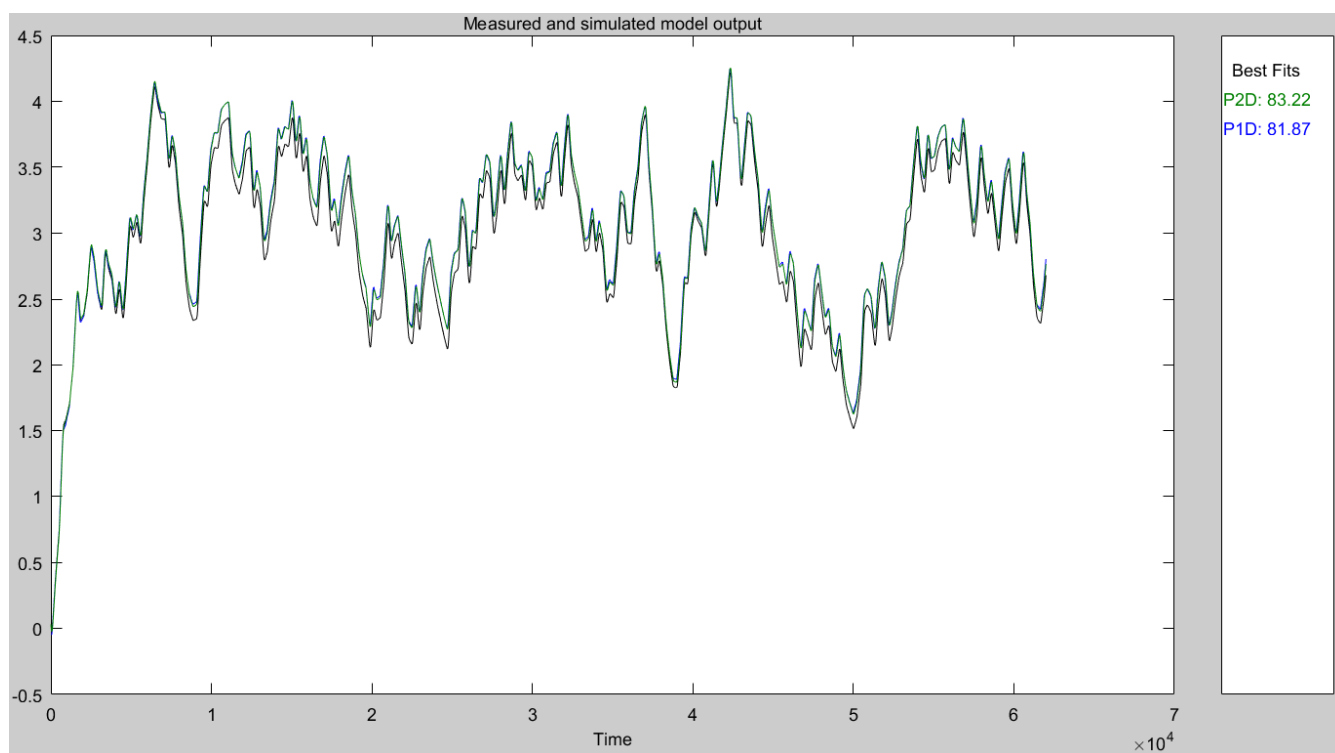


Рисунок 3.15 – Перевірка результатів розрахунків

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

Назва параметру	P1D	P2D
$k$	0,074255	0,0741
$T_1, c$	1524,5	1492,2
$T_2, c$	-	22,519
$\tau$	30,0	29,62
НСКП, %	99,04	99,57
ПОП	0,0002785	0,00005575
СКП	0,0002782	0,00005567
НСКП, %	81,87	83,22

Для параметричної перевірки обраної моделі можна звернути увагу на наступне, що за динамічною характеристикою (рис. 3.8) коефіцієнт посилення 0,074, час перехідного процесу складає близько біля  $\sim 8\ 000$  с, постійна часу 1 600 с, затримка близько 42 с. Для отриманої моделі другого порядку коефіцієнт посилення дорівнює 0,0741, постійна часу становить  $1492,2 + 22,519 = 1514,719$  с, а затримка 29,62 с, що додатково підтверджує, що об'єкту керування дійсно краще

всього відповідає обрана модель P2D - аперіодична ланка другого порядку з запізненням.

За результатами параметричної ідентифікації отримана модель у вигляді передавальної функції, яка відповідає об'єкту керування за перевірочними даними на 83,2 % (табл. 3.1):

$$W(s) = \frac{0,074 \cdot e^{-29,6s}}{(1492s + 1) \cdot (22,5s + 1)} \quad (3.2)$$

### 3.5.4 Розробка моделі об'єкта керування в Simulink

Використовуючи передавальну функцію (3.2) у графічному середовищі імітаційного моделювання Simulink математичного пакету MATLAB розроблена модель отримання даних для перевірки на адекватність (рис. 3.16).

При налаштуванні час моделювання задано 62 000 с, що дорівнює кількості перевірочних даних. Додані блоки запису перевірочних даних та результатів моделювання до змінних Object і Model відповідно. Крок запису задано 1 секунда, що відповідає первинним даним. На виході додано статичний зсув характеристики дійсного значення, який є корегує вихідну характеристику відповідно до реальних даних, отриманих з об'єкту керування: потужність газового пальника вході моделі об'єкту керування 0...85 % (реально 15...100 %), а тиск пари на виході моделі об'єкту керування: 2,8...9,3 бар (дійсне значення).

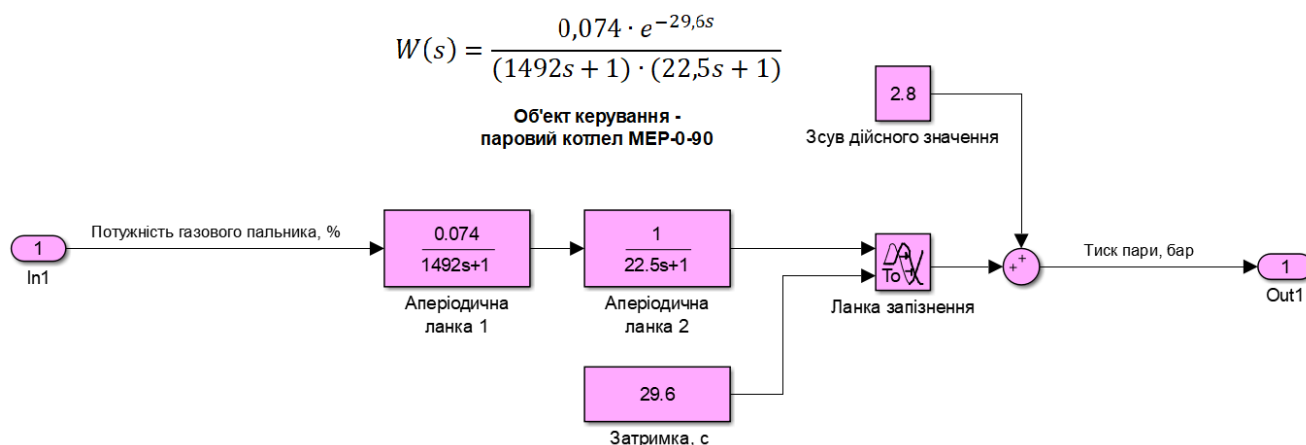


Рисунок 3.16 – Модель об'єкту керування (паровий котел МЕР-0-90)

На рис. 3.16 показана модель отримання даних для перевірки на адекватність. На вихід моделі P2D доданий статичний зсув дійсного значення, який відповідає за

початкове значення дійсного сигналу – мінімальний тиск пари 2,8 бар при початковому вхідному сигналі 0 % (фактичне значення 15 % – мінімально можливої потужності газового пальника).

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

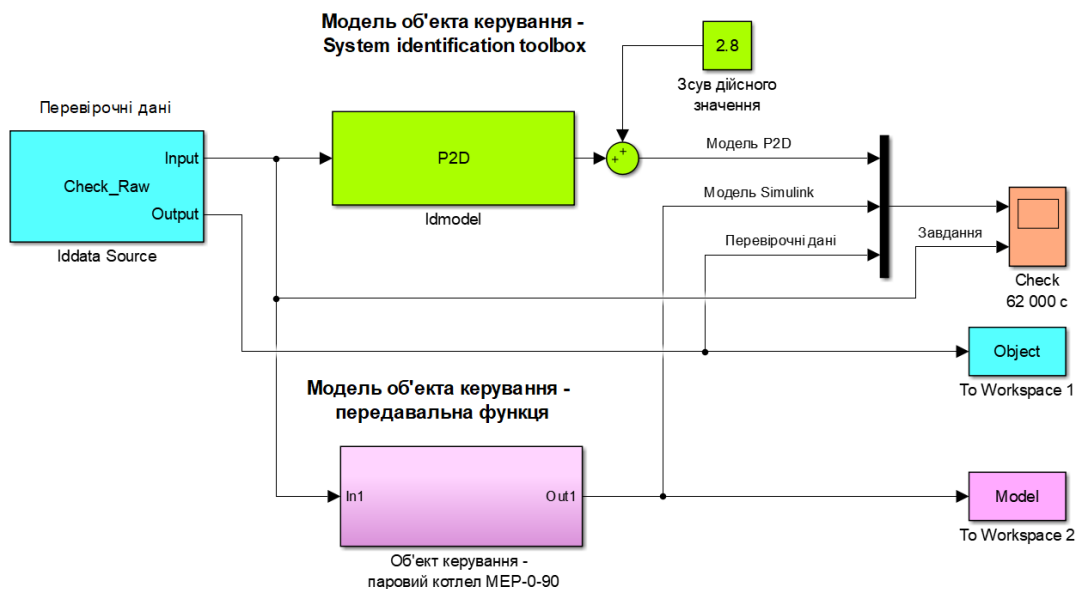


Рисунок 3.16 – Модель отримання даних для перевірки на адекватність

За результатами моделювання бачимо, що дійсні значення отримані на виході моделі System Identification Toolbox (сигнал – «Модель P2D») та моделі розробленій на базі передавальної функції (сигнал – «Модель Simulink») співпадають з перевірочними даними (рис. 3.17).

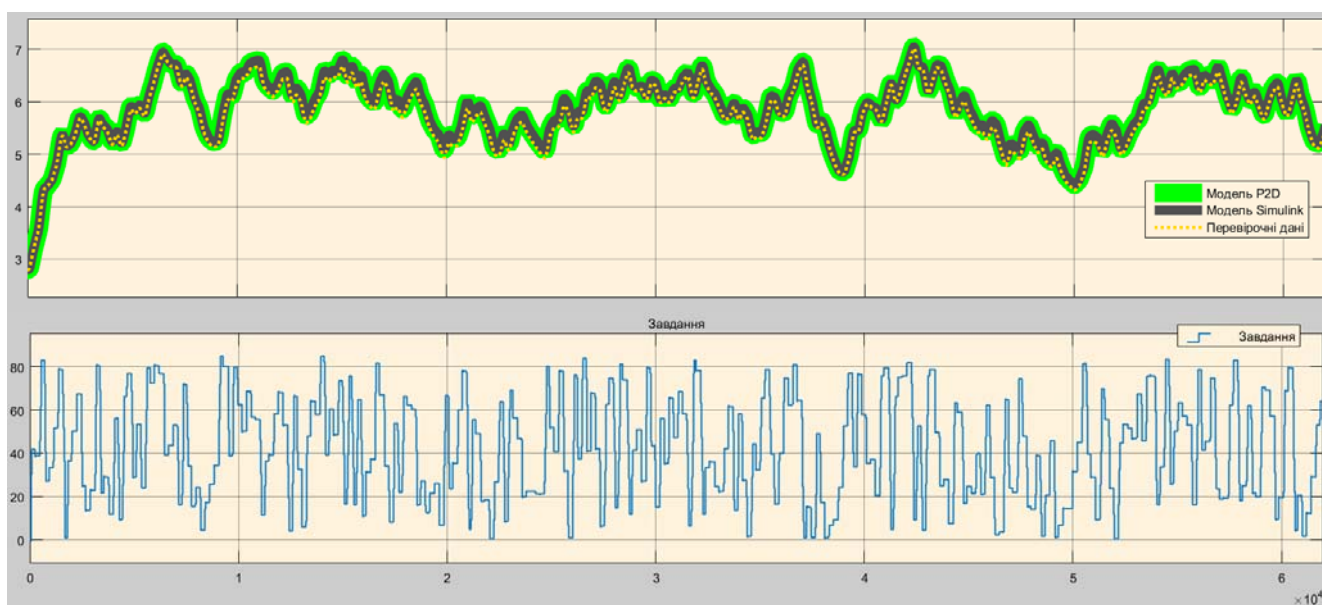


Рисунок 3.17 - Результат отримання даних для перевірки на адекватність

Наступним етапом є перевірка моделі на адекватність.

### 3.5.5 Перевірка моделі на адекватність

При перевірці на відповідність її значення у більшості випадків повинно бути вище 80 %, при перевірці на адекватність коефіцієнт кореляції повинен бути вище 0,8, а довірчий інтервал відповідати 0,9. У деяких випадках ці значення можуть бути змінені.

Перевірка на адекватність виконувалася за допомогою скрипту GetAdequacy.m, який реалізує відповідний розрахунок перевірки на адекватність.

Результат виконання статистичного аналізу (виклику функції):

```
Перевірка моделі об'єкта керування на адекватність v1.0
Коефіцієнт кореляції: 0.998
Статистичний критерій Фішера: 16755108.654
Критичне значення статистики Фішера: 2.706
Статистичний критерій Фішера більший критичного значення, модель є
адекватною до об'єкта керування.
```

Використовуючи скрипт GetAdequacy.m встановлено, що між перевірочними даними та результатами моделювання присутній дуже високий зв'язок, коефіцієнт кореляції 1,0. Статистичний критерій Фішера 16755108 більший критичного значення 2,706, тобто модель є адекватною до об'єкта керування.

Враховуючи аналіз технологічного процесу, структури об'єкта керування, характеристик отриманих за результатами експериментів, результатів структурної та параметричної ідентифікації та перевірки на адекватність зроблено висновок, що розроблена модель є адекватною до об'єкта керування та може бути використана у подальшому при синтезі системи керування в умовах досліджуваного технологічного процесу.

### 3.6 Розробка схеми моделі засувки

Для усунення різких термоударів конструкції парового котла, час повного відкриття регулюючих заслінок пальника обмежено у часі.

З графіку динамічної характеристики рис. 3.11 видно що керуючий вплив потужності газового пальника має не східчастий характер, а похилий – час

наростання потужності з 0 до 85 (реально з 15 до 100 %) складає  $255 - 102 = 153$  с, тобто для зміни потужності з 0 до 100 %, знадобиться  $153 * 100 / 85 = 180$  с (рис. 3.18). Тобто в вбудованій системі керування газовим пальником використовується час наростання потужності пальника, який дорівнює значенню за замовчуванням.

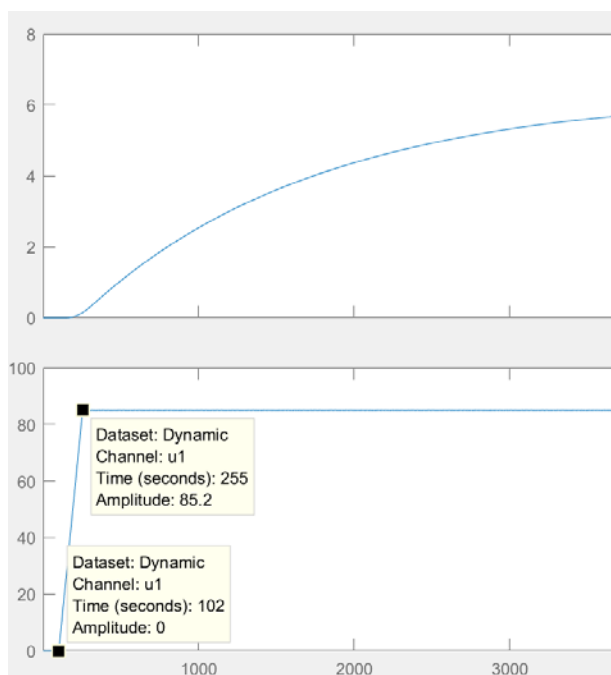


Рисунок 3.18 – Час наростання потужності газового пальника

Програмований логічний контролер виконує керування потужністю пальника за допомогою уніфікованого аналогового каналу керування. Тому на даному етапі роботи розробимо схему моделі газового пальника R520A L-RP-S.

З аналізу параметрів газового пальника відомо, що час виходу на максимальний режим потужності складає 180 с, а типова постійна часу електроприводу заслінки становить в середньому 0,15 с. Відповідно з цією інформацією складена схема засувки, яка представлена блоком інтегрування та аперіодичною ланкою першого порядку (рис. 3.19).

Система керування пальником представлена блоком з зоною нечутливості та двома релейними блоками - реверсивними дискретними сигналами, відповідно на відкриття та закриття засувки.

Графік роботи моделі пальника представлено на рис. 3.20.

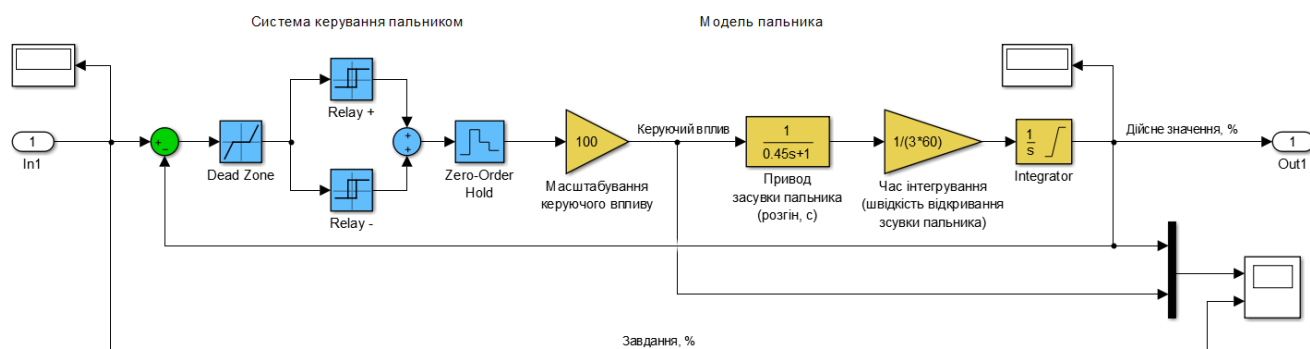


Рисунок 3.19 – Схема моделі газового пальника R520A L-RP-S

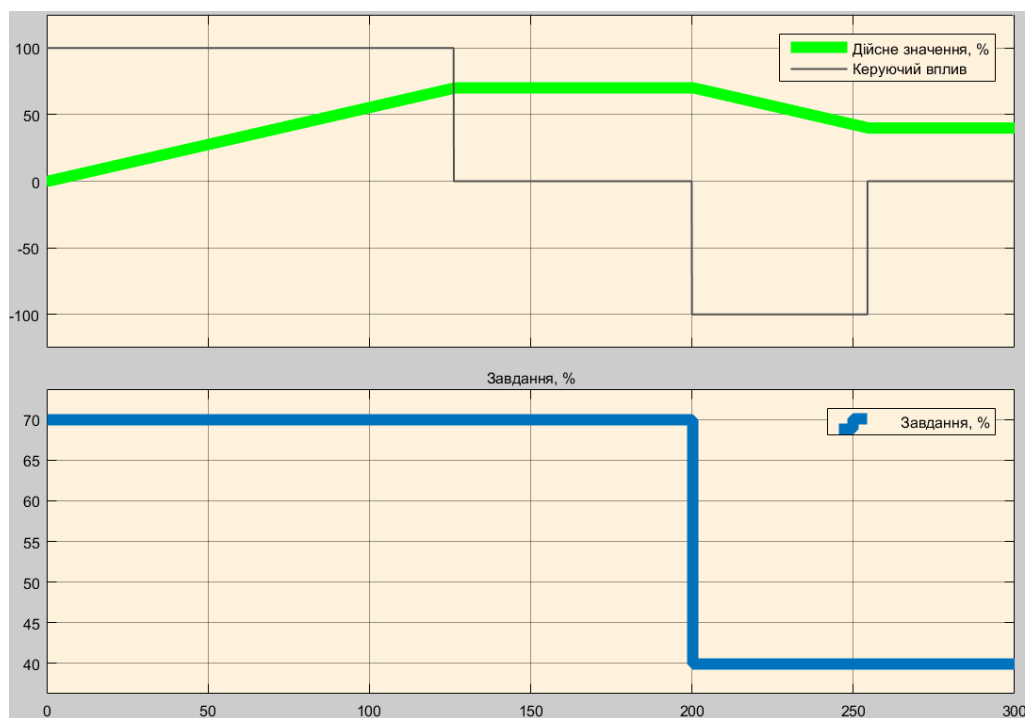


Рисунок 3.20 – Результат моделювання газового пальника R520A L-RP-S

### 3.7 Остаточна комплексна модель об'єкту керування

Остаточна модель об'єкта керування у графічному середовищі імітаційного моделювання Simulink наведена на рис. 3.21, яка складається з моделі газового пальника R520A L-RP-S (рис. 3.20) та моделі парового котла МЕР-0-90 (рис. 3.16).

Результат моделювання динамічної характеристики для остаточної комплексної моделі об'єкта керування наведено на рис. 3.22.

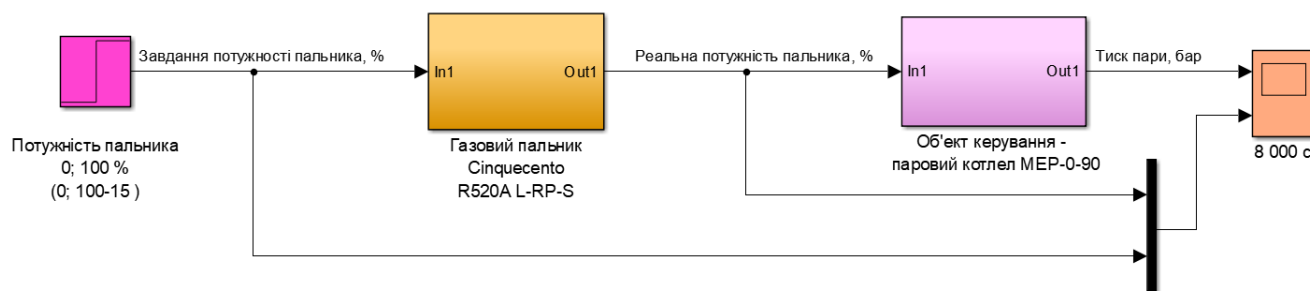


Рисунок 3.21 - Остаточна комплексна модель об'єкта керування

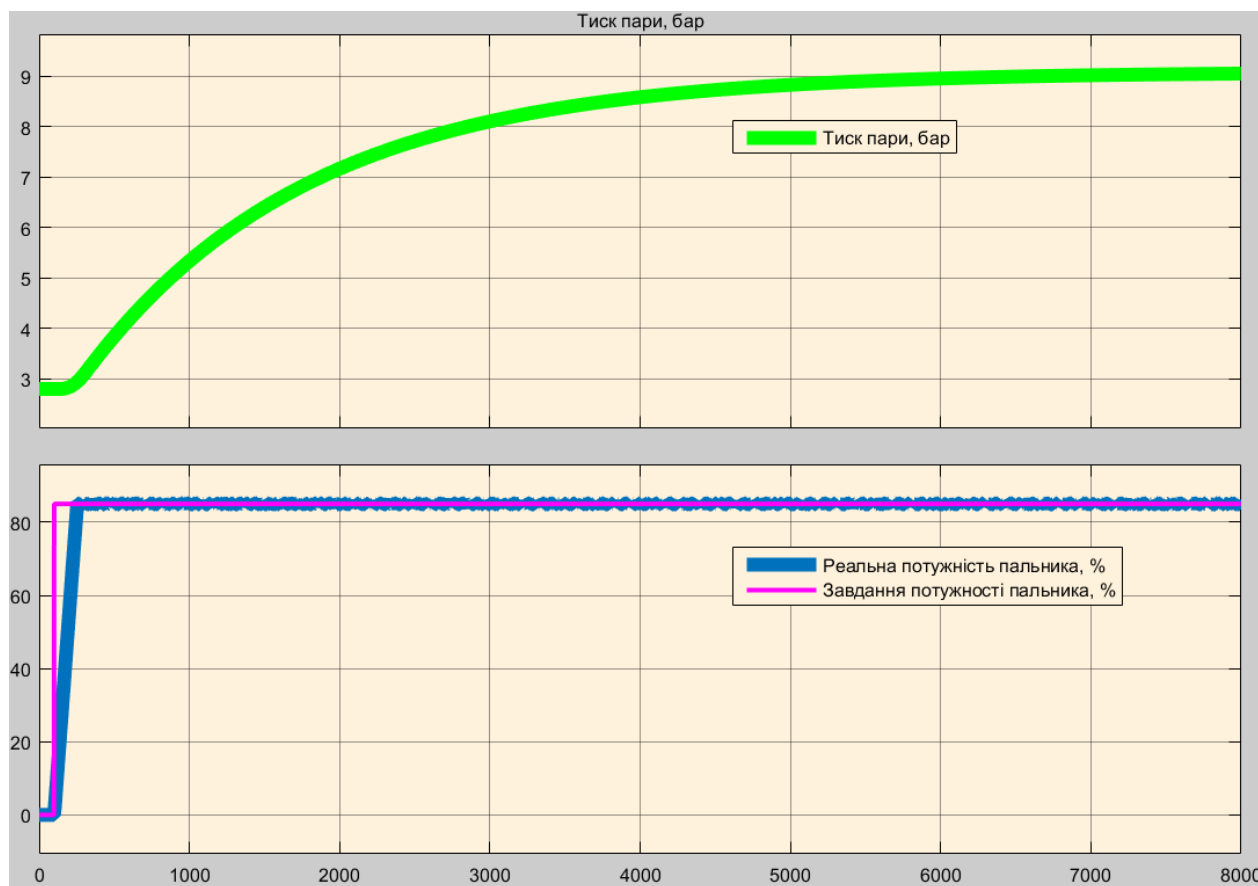


Рисунок 3.22 - Динамічна характеристика остаточної комплексної моделі об'єкта керування

### 3.8 Висновки за розділом

При виконанні структурної ідентифікації, яка проведена на підставі експериментальних даних отриманих на об'єкті керування (динамічної характеристики, даних для побудови статичної характеристики, даних отриманих при П-образному керуючому впливі) встановлено, що структурно модель об'єкта керування може бути представлена як аперіодична ланка другого з запізненням.

За результатами параметричної ідентифікації встановлено, що структура моделі об'єкта керування відповідає аперіодичній ланці другого порядку з запізненням та розраховані параметрами моделі: коефіцієнт підсилення 0,074, постійні часу 1 492 с та 22,5 с, а запізнення становить 29,6 с.

Комплексна перевірка на адекватність моделі до об'єкта керування за перевірочними даними об'єкта керування показала високу відповідність у 83,2 %, сильний кореляційний зв'язок 1,0 та статистичний критерій Фішера 16755108 значно більшу критичного значення 2,706. Велике значення статичного критерію адекватності Фішера обумовлено великою кількістю вибірових даних та одиничним значенням коефіцієнта кореляції.

Так як у вбудованій системі керування газовим пальником використовується автоматичне обмеження часу наростання потужності пальника, то була також розроблена модель газового пальника R520A L-RP-S.

Таким чином остаточною моделлю об'єкта керування складається з моделі самого газового пальника R520A L-RP-S та моделі парового котла МЕР-0-90.

Враховуючи аналіз технологічного процесу, структури об'єкта керування, характеристик отриманих за результатами експериментів, результатів структурної та параметричної ідентифікації та статистичного аналізу модель є адекватною до об'єкта керування - парового котла МЕР-0-90 з технологічного процесу виробництва етилового спирту.



## 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 4.1 Техніко-економічне обґрунтування впровадження системи керування

У кваліфікаційній роботі бакалавра розглянемо економічні показники розробки системи керування паровим котлом МЕР-0-90, який використовується для живлення епіюраційної колони BTS 1600-32, яка використовується на Гнідавському біоетанольному заводі.

Паровий котел складається з циліндричної печі, в якій утворюється полум'я і спалюється факел палика. Димові гази потрапляють в жаротрубну частину передньої стінки труби і направляються в сторону задньої стінки через наступну жаротрубну частину, з якої виходять через з'єднання до димоходу, передаючи тепло отоючій їй воді для перетворення її у пару.

В процесі експлуатації парового котла необхідно підтримувати де кілька основних технологічних параметрів. Основними з них є тиску перегрітої пари в залежності від поточних витрат пару.

Система керування наступні переваги:

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

### 4.2 Розрахунок капітальних витрат пов'язаних з впровадженням системи керування

Розрахуємо капітальні витрати:

$$K_{\text{ПКВ}} = C_{\text{ОБ}} + D_{\text{ТР}} + M_{\text{МН}} + K_{\text{ПЗ}}, \quad (4.1)$$

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

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

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

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

$K_{ПЗ}$  – витрати на розробку програмного забезпечення, грн.

Вартість основного та допоміжного обладнання наведена в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Зведення капітальних витрат  $C_{ОБ}$  [9...17]

№	Найменування	Одиниці виміру	Кількість	Вартість (грн.)	Сума (грн.)
1	Модуль ПЛК VIPA 214-2BS33	од.	1	32 774,40	32 774,40
2	Модуль аналогового вводу VIPA 231-1BD40	од.	3	24 149,30	72 447,90
3	Модуль дискретного виводу VIPA 222-1BF00	од.	1	16 740,30	16 740,30
4	Модуль функціональний 250-1BS00	од.	1	23 710,50	23 710,50
5	Модуль аналогового виводу VIPA 232-1BD40	од.	1	28 045,50	28 045,50
6	Система керування, виконана на базі ПК	од.	1	42 335,80	42 335,80
7	Датчик рівня SITRANS T LWL 200E	од.	1	27 245,45	27 245,45
8	Датчики тиску SITRANS P ZD	од.	1	39 340,00	39 340,00
9	Датчик витрати SITRANS F X	од.	2	47 570,00	95 140,00
10	Датчик температури SITRANS T TW	од.	1	42 298,76	42 298,76
11	Датчик Siemens FGT-PT1000	од.	1	4 133,76	4 133,76
12	Перетворювач SITRANS T F	од.	1	39 888,76	39 888,76
13	Енкодер E40H 012 2000 2 N 24	од.	3	23 871,00	71 613,00
14	Реле твердотільне SSR-240A50	од.	2	1 276,00	2 552,00
15	Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301	од.	2	2 200,00	4 400,00
16	Шафа монтажна	од.	1	4 000,00	4 000,00
17	Монтажні дроти	м	80	8,50	680,00
18	Мережний кабель	м	220	22,00	4 840,00
19	Засувка клинова ЗКЛ 15-80-01	од.	2	22 000,00	44 000,00
20	Програмне забезпечення	разом	1	80 000,00	80 000,00
	Разом				676 186,13

Вартість основного та допоміжного обладнання складає  
 $C_{ОБ} = 676\ 186,13$  грн.

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

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

Витрати на транспортно-заготівельні і складські роботи складають:

$$D_{ТР} = 676\ 186,13 \cdot 0,08 = 54\ 094,90 \text{ (грн.)}$$

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

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

Витрати на монтажна-налагоджувальні роботи складають:

$$M_{МН} = 676\ 186,13 \cdot 0,07 = 47\ 333,03 \text{ (грн.)}$$

### 4.3 Розрахунок капітальних витрат на програмне забезпечення

#### 4.3.1 Розрахунок часу на розробку програмного забезпечення

Трудомісткість розробки програмного забезпечення (ПЗ) розраховується як:

$$t = t_o + t_u + t_a + t_n + t_{OT} + t_g. \quad (4.4)$$

де  $t$  – трудомісткість розробки програмного забезпечення (люд.-год.);  $t_o$  – витрати праці на підготовку і опис поставленого завдання (люд.-год.);  $t_u$  – витрати праці на дослідження алгоритму керування (люд.-год.);  $t_a$  – витрати праці на розробку схеми алгоритму (люд.-год.);  $t_n$  – витрати праці на програмування по готовій схемі алгоритму (люд.-год.);  $t_{OT}$  – витрати праці на налаштування програмного забезпечення (люд.-год.);  $t_g$  – витрати праці на підготовку документації по завданню (люд.-год.).

Складові витрат праці визначаються на підставі умовної кількості оброблюваних операторів у програмному забезпеченні:

$$Q = q \cdot c \cdot (1 + p), \quad (4.5)$$

де  $Q$  – умовна кількість операторів в програмному забезпеченні;

$q$  – кількість операторів у програмному забезпеченні (виходячи з програмного забезпечення, як правило розробленого на мові Structured Text типове значення має діапазон 400... 600, приймаємо  $q = 525$ );

$c$  – коефіцієнт складності програми (приймаємо  $c = 1,55$ );

$p$  – коефіцієнт корекції програми в процесі її обробки (приймаємо  $p = 0,2$ ).

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$Q = 525 \cdot 1,55 \cdot (1 + 0,2) \approx 977$$

Витрати праці на підготовку і опис завдання в кваліфікаційній роботі складають  $t_o = 72$  (люд.-год.).

Витрати праці на вивчення опису завдання визначаються з урахуванням уточнення опису та кваліфікації програміста як:

$$t_u = \frac{Q \cdot B}{(75 \dots 85) \cdot k}, \quad (4.6)$$

де  $B$  – коефіцієнт збільшення витрат праці (приймаємо  $B = 1,7$ );

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

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_u = 977 * 1,7 / (80 * 1,3) \approx 16 \text{ (люд. –год.)}.$$

Витрати на розробку алгоритму керування визначаються як:

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

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_a = 977 / (20 * 1,3) \approx 38 \text{ (люд. –год.)}.$$

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

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

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_n = 977 / (20 * 1,3) \approx 38 \text{ (люд. –год.)}.$$

Витрати праці на налаштування програми розраховуються як:

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

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_h = 977 / (4 * 1,3) \approx 188 \text{ (люд. –год.)}.$$

Витрати праці на підготовку документації по завданню визначаються як:

$$t_g = t_{др} + t_{до}, \quad (4.10)$$

де  $t_{др}$  – трудомісткість підготовки матеріалів до написання;

$t_{до}$  – трудомісткість редагування, друку та оформлення документації.

Трудомісткість підготовки матеріалів до написання визначається як:

$$t_{др} = \frac{Q}{(15 \dots 20) \cdot k}. \quad (4.11)$$

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_{др} = 977 / (15 * 1,3) \approx 51 \text{ (люд. –год.)}.$$

Трудомісткість редагування, друку та оформлення документації визначається як:

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

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_{до} = 0,75 * 51 = 39 \text{ (люд. – год.)}.$$

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

$$t_g = 51 + 39 = 90 \text{ (люд. – год.)}.$$

Таким чином трудомісткість розробки програмного забезпечення становить:

$$t = 72 + 16 + 38 + 38 + 188 + 90 = 442 \text{ (люд. – год.)}$$

#### 4.3.2 Розрахунок витрат на розробку програмного забезпечення

Витрати на розробку ПЗ визначається як:

$$K_{ПЗ} = З_{зп} + З_{мі}, \text{ грн.} \quad (4.13)$$

де  $З_{зп}$  – витрати на заробітну плату розробника ПЗ, грн.;  $З_{мі}$  – вартість машинного часу, необхідного для налаштування ПЗ, грн.

Заробітна плата розробника програмного забезпечення визначається як:

$$З_{зп} = t \cdot C_{пр}, \text{ грн.}, \quad (4.14)$$

де  $t$  – час розробки ПЗ, год;  $C_{пр}$  – середня годинна тарифна ставка розробника програмного забезпечення (приймаємо  $C_{пр} = 130$  грн./год.).

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$З_{зп} = 442 * 130 = 57\,460,00. \text{ грн.},$$

Вартість машинного часу, необхідного для налаштування програми визначається як:

$$З_{мі} = t_n \cdot C_{мч}, \text{ грн.}, \quad (4.15)$$

де  $t_n$  – час налаштування ПЗ, год;

$C_{мч}$  – вартість машинного часу (приймаємо  $C_{мч} = 16,5$  грн./год.).

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$З_{мі} = 38 * 16,5 = 627,00 \text{ грн.}$$

Витрати на розробку програмного забезпечення системи керування становлять:

$$K_{\text{ПЗ}} = 57\,460,00 + 627,00 = 58\,087,00 \text{ грн.}$$

Очікувана тривалість розробки програмного забезпечення:

$$T = \frac{t}{B_k \cdot F_p}, \quad (4.16)$$

де  $T$  – тривалість розробки програмного забезпечення (міс.);

$B_k$  – кількість розробників (приймаємо  $B_k = 1$ );

$F_p$  – місячний фонд робочого часу ( $F_p = 176$  (год./міс.)).

$$T = 442 / (1 \cdot 176) = 1,86 \approx 2,5 \text{ (міс.)}$$

Таким чином проектні капітальні витрати:

$$K_{\text{ПКВ}} = 676\,186,13 + 54\,094,90 + 47\,333,03 + 58\,087,00 \approx \\ \approx 835\,701,06 \text{ грн.}$$

#### 4.4 Розрахунок експлуатаційних витрат

Річні експлуатаційні витрати розраховуються як:

$$C_e = C_a + C_z + C_c + C_{\text{РО}} + C_{ee} + C_{\text{ІНШ}}, \quad (4.17)$$

де  $C_e$  – річні поточні витрати, пов'язані із застосуванням системи керування, грн.;  $C_a$  – амортизація основних фондів, грн.;  $C_z$  – заробітна плата обслуговуючого персоналу, грн.;  $C_c$  – відрахування на соціальні заходи, грн.;  $C_{\text{РО}}$  – витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт обладнання, грн.;  $C_{ee}$  – вартість електроенергії, грн.;  $C_{\text{ІНШ}}$  – інші витрати, грн.

Визначимо експлуатаційні витрати при впровадженні системи керування.

##### 4.4.1 Амортизація основних фондів

Залежно від групи, до якої віднесено той, чи інший об'єкт основних засобів, встановлено мінімально-допустимі строки їх амортизації.

Обладнання, розробленої в кваліфікаційній роботі системи керування, належить до 4 групи (машини та обладнання). Передбачуваний термін експлуатації системи становить 5 років.

При використанні методу прискореного зменшення залишкової вартості норма амортизації визначається як:

$$H_a = \frac{2}{T} \cdot 100 \%, \quad (4.18)$$

де  $H_a$  – норма амортизації, %;  $T$  – термін корисного використання об'єкта, років.

Амортизація основних фондів визначається як:

$$C_a = \frac{ПВ \cdot H_a}{100 \%}, \quad (4.19)$$

де  $C_a$  – річна амортизація основних фондів, грн.; ПВ – первинна вартість (ПВ =  $K_{ПКВ}$ ), грн.

Отже, норма амортизації для проектованої системи керування складає:

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

Сума амортизації для проектованої і базової системи становить:

$$C_a = 835\,701,06 \cdot 40 / 100 = 334\,280,43 \text{ грн.}$$

#### 4.4.2 Розрахунок фонду заробітної плати

Номінальний річний фонд робочого часу одного працівника:

$$T_{НР} = (T_K - T_{ВС} - T_B) \cdot T_3, \quad (4.20)$$

де  $T_{НР}$  – номінальний річний фонд робочого часу одного працівника, год.;  $T_K$  – календарний фонд робочого часу, днів ( $T_K = 365$ );  $T_{ВС}$  – вихідні дні та свята, днів ( $T_{ВС} = 114$ );  $T_B$  – відпустка, днів ( $T_B = 21$ );  $T_3$  – тривалість зміни, год ( $T_3 = 8$ ).

Таким чином, річний фонд робочого часу працівника складе:

$$T_{НР} = (365 - 114 - 21) \cdot 8 = 1\,840 \text{ год.}$$

У процесі керування задіяний 1 оператор людино-машинного інтерфейсу на зміну, 1 інженер-технолог на зміну та 1 наладчик електроустаткування на добу. Процес безперервний – 3 зміни на добу.

Розрахунок річного фонду заробітної плати виробничих робітників здійснюється у відповідності з формою, наведеною в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Розрахунок заробітної плати персоналу

№ п/п	Найменування професії робітників	Число працюючих, чол.	Годинна тарифна ставка, грн./год.	Номінальний річний фонд робочого часу (год.)	Пряма заробітна плата, грн.	Додаткова заробітна плата (8%), грн.	Доплати (7%), грн.	Всього заробітна плата, грн.
1	Оператор НМІ	3	115	1 840	634 800,00	50 784,00	44 436,00	730 020,00
2	Інженер-технолог	3	135	1 840	745 200,00	59 616,00	52 164,00	856 980,00
3	Наладчик	1	105	1 840	193 200,00	15 456,00	13 524,00	222 180,00
Разом								1 809 180,00

Заробітна плата персоналу проектної системи керування

$$C_3 = 1\,809\,180,00 \text{ грн.}$$

#### 4.4.3 Відрахування на соціальні заходи

Відрахування на соціальні заходи визначаються як:

$$C_c = 0,22 \cdot C_3, \text{ грн.} \quad (4.21)$$

Відповідно до цього відрахування становлять:

$$C_c = 0,22 \cdot 1\,809\,180,00 = 398\,019,6 \text{ грн.}$$

#### 4.4.4 Розрахунок витрат на технічне обслуговування та ремонт

Витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт обладнання та мережі приймаємо на рівні 5 % від величини капітальних витрат:

$$C_{PO} = 0,05 \cdot K_{KB} \cdot (K_{ПКВ}) \quad (4.22)$$

Відповідно до цього витрати становлять:

$$C_{PO} = 0,05 \cdot 835\,701,06 = 41\,785,06 \text{ грн.}$$

#### 4.4.5 Витрати на електроенергію

Вартість електроенергії, споживаної системою керування, розробленої у проекті:



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

де  $K_e$  – кількість електроенергії, спожите проектною системою керування (приймаємо  $K_e = 0,9$  (кВт · год.));

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

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

$T_e$  – тариф на електроенергію для підприємств (для користувачів електроенергії 2 класу тариф складає 2,86 грн·кВт без ПДВ, з урахуванням ПДВ тариф  $T_e = 2,86 * 1,2 = 3,432$  (грн.).

Таким чином вартість електроенергії становить:

$$C_{ee} = 0,9 * 365 * 24 * 3,432 = 27\,057,89 \text{ грн.}$$

#### 4.4.6 Інші витрати

Інші витрати з експлуатації об'єкта проектування включають витрати з охорони праці, на спецодяг та інше згідно практики, ці витрати визначаються в розмірі 4 % від річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу:

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

Таким чином інші витрати становлять:

$$C_{інш} = 0,04 * 1\,809\,180,00 = 72\,367,20 \text{ грн.}$$

Річні експлуатаційні витрати становлять (табл. 4.4):

$$C = 334\,280,43 + 1\,809\,180,00 + 398\,019,6 + 41785,06 + 27\,057,89 \\ + 72\,367,2 = 2\,682\,690,18 \text{ грн.}$$

Таблиця 4.4 – Експлуатаційні витрати

№ п/п	Назва показника	Проектний варіант, грн.
1	Амортизація	334 280,43
2	Фонд заробітної плати	1 809 180,00
3	Відрахування на соціальні виплати	398 019,6
4	Ремонт та технічне обслуговування	41785,06
5	Електроенергія	27 057,89
6	Інше	72 367,2
7	Загалом	2 682 690,18

#### **4.5 Висновки за розділом**

При впровадженні проектованої системи капітальні витрати складають 0,84 млн. грн., час розробки ПЗ становитиме 2,5 місяці.

Річні експлуатаційні витрати, пов'язані з впровадженням системи становитимуть трохи менше 2,7 млн. грн.

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 5.1 Аналіз шкідливих та небезпечних факторів при процесу виготовлення етилового спирту

У процесі виробництва етилового спирту виникають шкідливі та отруйні, вибухові та пожежонебезпечні речовини, тому необхідне точне дотримання правил техніки безпеки, санітарних норм, технологічних режимів проведення процесу та вимог технологічних інструкцій. Працівники при виробництві спирту, які виконують роботи підвищеної небезпеки, проходять попереднє спеціальне навчання та перевірку знань з питань охорони праці в строк, встановлений нормативним документом.

Першочерговою повинна бути безпека для співробітників від виникнення небезпечних і шкідливих виробничих факторів:

- токсичність сировини, напівфабрикатів, кінцевого продукту;
- запиленість та забрудненість повітря;
- виникнення пожеж і вибухів;
- рівень шуму та вібрації на робочому місці;
- недоліки освітлення;
- відхилення від оптимальних норм температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні;
- електробезпека машин, що використовуються і обладнання.

Заради поліпшення стану охорони праці на підприємствах, зокрема на спиртозаводах під час виробництва, необхідно розробляти комплексні програми заходів. Ці програми повинні включати організаційні, технічні, технологічні та психологічні заходи та методи для вирішення цієї нагальної проблеми.

Найшкідливішими для здоров'я людини є наступні речовини:

- отруйний аміак ( $\text{NH}_3$ );
- етиловий спирт (етанол);
- сірчистий ангідрид ( $\text{SO}_2$ ).

Сірчистий ангідрид належить до небезпечних речовин, що можуть негативно впливати на здоров'я людини, безбарвний газ з вираженим задушливим запахом. Вона важча за повітря більш ніж вдвічі. При охолодженні до  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  діоксид сірки переходить у безбарвну прозору рідину, а під тиском 2,5 атм. зі скрапленого стану при нормальних умовах він може зберігатися та транспортуватися у сталевих балонах. Випаровування рідкого  $\text{SO}_2$  супроводжується значним охолодженням, досягаючи навіть  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Етиловий спирт ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ) є небезпечною речовиною, яка використовується на підприємстві спиртозаводу. Він має наркотичну дію та відноситься до четвертого класу небезпечних речовин. Гранично допустима концентрація (ГДК) парів етилового спирту в повітрі робочої зони виробничих приміщень становить  $1\ 000\ \text{мг/м}^3$ .

Отруйний аміак ( $\text{NH}_3$ ) є сильнодіючою отруйною речовиною з групи речовин, що мають задушливу і нейротропну дію. Він має гострий запах нашатирю і може викликати серйозні наслідки для здоров'я при високих концентраціях у повітрі.

Рідкий аміак не підтримує горіння. Запах аміаку стає вловимим при концентрації  $0,035\ \text{мг/л}$ , що вважається порогом сприйняття. Аміак може впливати на людину при наступних концентраціях:

- $0,3\ \text{мг/л}$ : викликає подразнення верхніх дихальних шляхів;
- $0,5\ \text{мг/л}$ : спричиняє подразнення очей;
- $0,7\ \text{мг/л}$ : викликає подразнення шкіри (проявляється червоніння та поява пухирів);
- $1,25\ \text{мг/л}$ : спричиняє задушливий кашель;
- $1,5\ \text{мг/л}$ : токсична доза, при якій протягом однієї години 50 % персоналу може померти від набряку легень;
- $3,5\ \text{мг/л}$  і більше: призводить до смерті.

Сірчистий ангідрид ( $\text{SO}_2$ ) також належить до небезпечних речовин, що можуть негативно впливати на здоров'я людини. Його наявність може бути пов'язана з виробничими процесами на підприємстві. Високі концентрації

сірчистого ангідриду в повітрі можуть мати шкідливий вплив на дихальну та серцево-судинну системи.

Описаний розділ має на меті проаналізувати поточний стан охорони праці і розробити пропозиції, спрямовані на підвищення безпеки праці на спиртзаводах під час виробництва спирту.

## **5.2 Інженерно-технічно заходи з охорони праці**

Для забезпечення нормальних і безпечних умов праці в кожному приміщенні спиртзаводу необхідно проводити контроль за повітряним середовищем, щоб виявляти шкідливі гази та пари. Ці речовини можуть потрапляти в повітря з інших загазованих приміщень підприємства, де порушуються технологічні процеси, такі як аміак, фреон або діоксид вуглецю з компресорних станцій чи бродильних відділень, пари спиртів, ефір з браго-ректифікаційних установок та інші.

Шкідливі речовини, коли потрапляють на шкіру або у дихальні шляхи, мають негативний вплив на здоров'я людини, якщо їх концентрація в повітрі робочої зони перевищує гранично допустиму концентрацію (ГДК). Тому необхідно встановлювати безперервний контроль за вмістом шкідливих речовин у повітрі робочої зони для речовин 1-го класу небезпеки, а також періодичний контроль для речовин 2-го, 3-го і 4-го класів небезпеки.

Етиловий ректифікований спирт є токсичною речовиною з наркотичними властивостями. За ступенем впливу на організм людини він відноситься до четвертого класу небезпечних речовин. Гранично допустима концентрація (ГДК) парів ректифікованого етилового спирту в повітрі робочої зони виробничих приміщень становить  $1\ 000\ \text{мг/м}^3$ , згідно з ГОСТ 12.1.005.

Фактичні метеорологічні умови в операторській відносяться до робіт середньої важкості:

1. температура повітря, °С;
  - перехідний та холодний період року: 8...24;
  - теплий період року: 19...28;
  - фактичні метеорологічні умови: 21...24;

- |    |                                |            |
|----|--------------------------------|------------|
| 2. | відносна вологість повітря, %; |            |
| –  | холодний період року:          | 45...65 %; |
| –  | теплий період року:            | 40...75;   |
| –  | фактичні метеорологічні умови: | 35...60;   |
| 3. | швидкість руху повітря, м/с:   |            |
| –  | холодний період року:          | 0,15;      |
| –  | теплий період року:            | 0,25;      |
| –  | фактичні метеорологічні умови: | 0,08.      |

Тому необхідно вибрати засоби для нормалізації мікроклімату в приміщенні лабораторії з розмірами  $3,7 \times 6,8 \times 3$ , яке розміщується на другому поверсі дев'ятиповерхового будинку з південної сторони. Площа вікон з дерев'яними плетіннями складає  $F = 5,3 \text{ м}^2$ . На вікнах розміщені жалюзі. В приміщенні з кількістю людей  $n = 7$  розташовано  $N_{ПК} = 6$  персональних ЕОМ, 1 холодильник та 1 електрочайник ( $800 \text{ Вт}$ ). Для штучного освітлення використовується  $N_{ЕЛ} = 10$  електричних ламп накаливання.

Джерелами тепловиділень в цьому приміщенні є штучне освітлення, електроприлади, люди, що знаходяться в приміщенні, сонячне тепло, яке потрапляє через вікна і стіни.

1. Виділення тепла від джерел штучного освітлення;

Розрахунок виділення тепла від джерел штучного освітлення  $Q_{ОСВ}$ , кВт, визначається по формулі

$$Q_{ОСВ} = N\eta \cdot,$$

де  $N$  - сумарна потужність джерел освітлення, кВт;  $\eta$  - коефіцієнт теплових витрат ( $\eta = 0,92...0,97$  для ламп накаливання,  $0,55$  - для люмінесцентних ламп).

$$Q_{ОСВ} = 10 \cdot 100 \cdot 0,95 = 950 \text{ Вт}$$

2. Виділення тепла від радіотехнічних приладів і комп'ютерних систем;

Для розрахунку виділення тепла від комп'ютерних систем, радіотехнічних установок і пристроїв обчислювальної техніки використовується попередня

формула, у якій  $\eta=0,3\dots0,5$  для радіотехнічних пристроїв і  $0,4\dots0,7$  для пристроїв обчислювальної техніки і комп'ютерних систем.

$$Q_{кс} = 6 \cdot 250 \cdot 0,6 + 300 \cdot 1 \cdot 0,3 + 800 \cdot 1 \cdot 0,3 = 1230 \text{ Вт}$$

3 Виділення тепла від людей;

Кількість тепла, що виділяється від однієї людини визначається за формулою

$$Q_{л} = nq, \text{ кВт},$$

де  $q$  – кількість загального тепла, що виділяє одна людини, кВт;  $n$  – кількість людей в приміщенні.

З табл. 3.1 обираємо тепловиділення. Припустимо, що роботи виконуються при спокійній праці (громадські заклади, вузи, офіси та ін.) та  $t_{п}, ^\circ\text{C} = 20$ , отримаємо тепловиділення в 130 Вт.

$$Q_{л} = 7 \cdot 130 = 910 \text{ Вт}$$

4 Виділення тепла від сонячної радіації;

Оскільки, розглядуване приміщення розташоване не на останньому поверсі тепло, що надходить через покриття не враховується.

Згідно з орієнтацією вікон з дерев'яними плетіннями на південь питома тепловиділення  $q_{зас}=145 \text{ Вт/м}^2$  (табл. 3.2). Значення коефіцієнта  $A_{зас}=0,6$  (табл. 3.3). Оскільки на вікнах приміщення є жалюзі, то в формулу (2.2.3) вводиться коефіцієнт  $k=0,5$ .

Кількість тепла, що надходить у приміщення від сонячної радіації:

$$Q_{оск} = 5,3 \cdot 145 \cdot 0,6 \cdot 0,5 = 231 \text{ Вт}$$

5 Визначення зовнішніх теплових надходжень;

$$Q_1 = 40 \cdot 3,7 \cdot 6,8 \cdot 3 + 231 = 3250,2 \text{ Вт}$$

Вважаємо, що вікна розташовані на південь  $q=40$  – якщо всі вікна розташовані з сонячної сторони.

6 Визначення внутрішніх теплових надходжень;

$$Q_2 = 950 + 1230 + 910 = 3090 \text{ Вт}$$

7. Визначення загальних теплових надходжень в приміщення;

$$Q_3 = 3250,2 + 3090 = 6340,2 \text{ Вт}$$

$Q_m=0$  (оскільки в завданні не передбачено іншого, розрахунок ведеться для літнього періоду)

$$Q_{надл} = 6,3 \text{ кВт.}$$

Для вибору кондиціонера необхідно визначити його потужність, яка забезпечить необхідні кліматичні умови.

8 Необхідна потужність кондиціонера;

Потужність кондиціонера можна визначити за формулою

$$L = kQ_{надл}; \text{ кВт,}$$

де  $k$  – коефіцієнт, що враховує величину втрат холодопродуктивності кондиціонера,  $k = 1,1$  – якщо кондиціонер встановлений в приміщенні,  $k = 1,15$  – якщо кондиціонер встановлений поза приміщенням.

$$L = 1,1 \cdot 6,3 = 6,93 \text{ кВт}$$

### 5.3 Вибір кондиціонера

Визначивши необхідну потужність кондиціонера, за табл. 5.1 вибираємо клас кондиціонерів, який здатен забезпечити необхідні кліматичні умови.

Згідно з цільовим призначенням і характеристиками приміщення вибираємо настінний кондиціонер. Марку кондиціонера можна підібрати за ціновим фактором з каталогів підприємств, що випускають кондиціонери.

Таблиця 5.1 – Типи кондиціонерів

Тип кондиціонера	Потужність охолодження в кВт							
	1.5	2	2.6	3.5	5.5	7	10	>13
Настінні кондиціонери	X	X	X	X	X	X		

Відповідно каталогу в табл. 5.2 обираємо тип кондиціонеру.

Таблиця 5.2 – Параметри кондиціонеру

Спліт-системи	Потужність		Розміри ШхВхГ, мм	Кількість повітря, м <sup>3</sup> /год.	Рівень шуму, дБ	Площа приміщення, м <sup>2</sup>
	охолодж., кВт	нагрівання, кВт				
Настінні						
<u>S24LHT</u> <u>telefon</u>	7.0	7.0	1090x314x172	890	44	до 70



#### 5.4 Пожежна профілактика

Етиловий ректифікований спирт є легкозаймистою прозорою рідиною. Під час горіння його полум'я має блакитний колір. Продукти згорання ректифікованого етилового спирту є нетоксичними і складаються з парів води і діоксиду вуглецю.

Температура спалаху ректифікованого етилового спирту становить 13 °С (в закритому тиглі), а температура самозаймання 400 °С.

Концентраційні межі поширення полум'я у сумішах спиртової пари з повітрям (в об'ємних частках) складають: нижню межу - 3,6 та верхню межу - 17,7 за тисячу сто три кілопаскалів (760 міліметрів ртутного стовпа).

З метою забезпечення безпеки праці на спиртових заводах необхідно проводити систематичний контроль за вмістом шкідливих газів та парів у повітрі. Контроль повинен бути постійним для речовин першого класу небезпеки та періодичним для речовин другого, третього та четвертого класів небезпеки. Такий підхід допоможе забезпечити нормальні та безпечні умови праці для працівників спиртозаводів та запобігти негативним наслідкам для їх здоров'я.

У зв'язку з тим, що пожежа на підприємстві може завдати великої матеріальної шкоди (включаючи загибель людей), важливе значення мають протипожежні заходи.

Одне з провідних місць із забезпечення пожежної безпеки займає профілактика. Керівники мають організувати: проведення на об'єктах протипожежного інструктажу; добровільну пожежну дружину та пожежно-технічну комісію; періодичні перевірки стану пожежної безпеки ділянки наявності та справності технічних засобів боротьби з пожежами.

Щоб уникнути пожеж, необхідно здійснювати нагляд за пожежними пристроями та виробничим обладнанням. На ділянці не дозволяється зберігати порожню тару з-під палива та мастильних матеріалів. У приміщенні необхідно проводити ретельне прибирання після закінчення робіт кожної зміни, розлите масло та паливо прибирати за допомогою піску, збирати використані обтиральні матеріали, після закінчення роботи виносити їх у відведене та безпечне у пожежному відношенні місце. Ділянка має бути, в повному обсязі, обладнана

засобами первинного пожежогасіння: відрами, сокирами, баграми, ящиком з піском, вогнегасниками ОП-5, ОП-10. На видному місці має бути закріплена табличка з телефоном аварійної пожежної команди.

### **5.5 Висновки за розділом**

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

## ВИСНОВКИ

Об'єктом керування виступає паровий котел МЕР-0-90, який використовується у діючому технологічному процесі на Гнідавському біоетанольному заводу (м. Луцьк) для живлення епіюраційної колони BTS 1600-32.

Автоматизація парогенератора включає в себе автоматичне керування, дистанційне керування, технологічний захист, тепловий контроль, технологічні блокування і сигналізацію. Експлуатація котлів повинна забезпечувати надійне і ефективне виробництво пари для заданих параметрів і безпечні умови праці для персоналу. Для виконання цих вимог експлуатація повинна здійснюватися в суворій відповідності з законами, правилами, стандартами і директивами.

Автоматизація роботи парового котла повинна здійснюватися за такими основними параметрами:

- підтримка постійного тиску пари;
- підтримка постійного рівню води в котлу.

Для підвищення ефективності роботи технологічного обладнання треба модернізувати систему керування. Таким чином є гостра потреба у математичних моделях об'єктів технологічного обладнання, працюючого у допустимих технологічних межах, які у наступному мають бути використані при синтезі нової системи керування технологічним обладнанням.

Головною метою роботи є розробка моделі об'єкта керування - парового котла МЕР-0-90 для регульованого тиску пару, в залежності від потужності газового пальника. При цьому інші вхідні і вихідні параметри мають бути не змінними і знаходитись у номінальному стані.

Сучасна система керування дозволить контролювати процес виробництва і отримати кінцевий продукт з заданими характеристиками.

Також ця система керування матиме можливість фіксації та збереження параметрів роботи всього технологічного обладнання.

У якості об'єкта керування виступає паровий котел типу МЕР-0-90, який використовується для живлення епіюраційної колони BTS 1600-32.

Для синтезу системи керування паровим котлом типу МЕР-0-90, який використовується для живлення епіраційної колони ВТS 1600-32, обрано необхідні апаратно засоби, розроблена функціональна схема автоматизації, розроблена схема принципова підсистеми керування, складено перелік елементів до схеми електричної принципової.

При виконанні структурної ідентифікації, яка проведена на підставі експериментальних даних отриманих на об'єкті керування (динамічної характеристики, даних для побудови статичної характеристики, даних отриманих при П-образному керуючому впливі) встановлено, що структурно модель об'єкта керування може бути представлена як аперіодична ланка другого з запізненням.

За результатами параметричної ідентифікації встановлено, що структура моделі об'єкта керування відповідає аперіодичній ланці другого порядку з запізненням та розраховані параметрами моделі: коефіцієнт підсилення 0,074, постійні часу 1 492 с та 22,5 с, а запізнення становить 29,6 с.

Комплексна перевірка на адекватність моделі до об'єкта керування за перевірочними даними об'єкта керування показала високу відповідність у 83,2 %, сильний кореляційний зв'язок 1,0 та статистичний критерій Фішера 16755108 значно більшу критичного значення 2,706. Велике значення статичного критерію адекватності Фішера обумовлено великою кількістю вибірових даних та одиничним значенням коефіцієнта кореляції.

Так як у вбудованій системі керування газовим пальником використовується автоматичне обмеження часу наростання потужності пальника, то була також розроблена модель газового пальника R520A L-RP-S.

Таким чином остаточно модель об'єкта керування складається з моделі самого газового пальника R520A L-RP-S та моделі парового котла МЕР-0-90.

Враховуючи аналіз технологічного процесу, структури об'єкта керування, характеристик отриманих за результатами експериментів, результатів структурної та параметричної ідентифікації та статистичного аналізу модель є адекватною до об'єкта керування - парового котла МЕР-0-90 з технологічного процесу виробництва етилового спирту.

При впровадженні проектованої системи капітальні витрати складають 0,84 млн. грн., час розробки ПЗ становитиме 2,5 місяці.

Річні експлуатаційні витрати, пов'язані з впровадженням системи становитимуть трохи менше 2,7 млн. грн.

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

**ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

1. Ethanol and the Environment. [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://ethanolrfa.org/ethanol-101/why-is-ethanol-important>
2. Технології виробництва біоетанолу. [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://utc.bio/bioetanolnyj-zavod-ukraine/tehnologiyi-vyrobnyczstva-bioetanolu/etapy-efektyvnoyi-tehnologiyi/>
3. Gasoline Ethanol Blends and the Classic Auto. [Електронний ресурс], Режим доступу: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://d35t1syewk4d42.cloudfront.net/file/280/RFA-Gas-Ethanol-Blends-and-Classic-Auto1.pdf>.
4. Ресурсо- та енергозберігаюча технологія ректифікованого етилового спирту. А.І. Українець, Ю.В. Булій, П.Л. Шиян, А.М. Куц, Національний університет харчових технологій. Scientific Works of NUFT 2017. Volume 23, Issue 6.
5. Технологія спирту. В.О. Маринченко, В.А. Домарецький, П.Л. Шиян, В.М. Швець, П.С. Циганков, І.Д. Жолнер / Під ред. проф. В.О. Маринченко. — Вінниця: «Поділля-2000», 2003. – 496 с.
6. Ефективні біорефінерії за допомогою ультразвукової ітензії процесу [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://www.hielscher.com/uk/more-efficient-biorefineries-by-ultrasonic-process-intensification>.
7. Гнідавський біоетанольний завод, [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://utc.bio/zavod-biopek-pereroblyaye-melasu/>
8. What is a Boiler? Different Types of Boiler. [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://www.mechanicalbooster.com/2016/07/what-is-a-boiler-different-types-of-boiler.html>
9. ЕЛІТЕН, SITRANS P Z, ZD и P КОМПАКТ. [Електронний ресурс], Режим доступу: [http://www.eleten.com.ua/SITRANS\\_P\\_Z,\\_ZD\\_P\\_КОМПАКТ.html](http://www.eleten.com.ua/SITRANS_P_Z,_ZD_P_КОМПАКТ.html)
10. Infocom Ltd, Контрольно-вимірювальні прилади. [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://ia.ua/uk/delivery-ua/kontrolno-vimiryuvalni-priladi/>

11. ELTA Вихровий витратомір SITRANS F X. [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://eltald.com.ua/catalog/siemens-sitrans-fx300>
12. Заняття по темі «Вологість». [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://naurok.com.ua/uroki-po-temi-vologist-9434.html>
13. Вимірювання рівня Siemens FI 01 2021. [Електронний ресурс], Режим доступу: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:ac52fa76-7769-4c54-b3f2-1aa01a44fed7/fi01-level-ua.pdf>
14. FGT-PT1000 Siemens датчик температури топкових газів. [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://tdfavorit.com.ua/ua/p508508132-fgt-pt1000-siemens.html>
15. E40S\_E80H\_en\_EP-KE-09-006. [Електронний ресурс], Режим доступу: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.svaltera.ua/upload/manuals/E40S\\_E80H\\_en\\_EP-KE-09-0060M\\_110526.pdf](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.svaltera.ua/upload/manuals/E40S_E80H_en_EP-KE-09-0060M_110526.pdf)
16. Засувки клинові. [Електронний ресурс], Режим доступу: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://pac-company.nt-rt.ru/images/manuals/5.pdf>
17. MOUSER, SSR-240A50 [Електронний ресурс], Режим доступу: [https://www.mouser.fr/ProductDetail/TE-Connectivity-AMP/SSR-240A50?qs=K9Yj7M8cmB7ISkZYhrRVrg%3D%3D&mgh=1&vip=1&gclid=CjwKCAiAqaWdBhAvEiwAGAQltk6Q0KIPeNgwLQRvv72kkfXBvd3ewFaMDdp5DIPLal27g2Q9\\_X1dbRoCv2YQAvD\\_BwE](https://www.mouser.fr/ProductDetail/TE-Connectivity-AMP/SSR-240A50?qs=K9Yj7M8cmB7ISkZYhrRVrg%3D%3D&mgh=1&vip=1&gclid=CjwKCAiAqaWdBhAvEiwAGAQltk6Q0KIPeNgwLQRvv72kkfXBvd3ewFaMDdp5DIPLal27g2Q9_X1dbRoCv2YQAvD_BwE)
18. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування.
19. ДСТУ Б.А.3.2-12:2009. Система стандартів безпеки праці. Системи вентиляційні. Загальні вимоги ДНАОП 0.03-33.14-85. Санітарні норми допустимих рівнів шуму на робочих місцях.
20. Правила улаштування електроустановок Мінпаливвугілля України. – 2017 – 617с.

21. «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості на небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». № 528 - 2001.
22. Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями, затверджені наказом Мінсоцполітики від 14.02.2018 № 207.
23. Охорона праці в галузі. Конспект лекцій для студентів Інституту електроенергетики. / Уклад. В.І. Голінько, В.Ю. Фрундін, Ю.І. Чеберячко, М.Ю. Іконніков. - Дніпропетровськ: Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», 2013. – 86 с.
24. Методичні рекомендації з виконання заходів стосовно охорони праці при роботі з ПЕОМ та розрахунку освітлення у дипломних проектах студентів усіх спеціальностей/ Уклад. В.І. Голінько, В.Ю. Фрундін, Ю.І. Чеберячко, М.Ю. Іконніков. - Дніпропетровськ: ДВНЗ «Національний гірничий університет», 2013.- 12 с.
25. ДСанПіН 3.3.2-007-98 Державні санітарні правила і норми. Гігієнічні вимоги до організації роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин
26. ДСТУ 7234:2011 Дизайн і ергономіка. Обладнання виробниче. Загальні вимоги дизайну та ергономіки
27. ДСТУ 7950:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце під час виконання робіт стоячи. Загальні ергономічні вимоги.
28. ДСТУ 8604:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидючи. Загальні ергономічні вимоги
29. ДСТУ 3191-95 (ГОСТ 12 2.137-96) Обладнання для кондиціонування повітря та вентиляції
30. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу (затверджено наказом МОЗ України від 27.12.2001р № 528).





## ДОДАТОК Б

## Перелік компонентів для схеми електричної принципової

Позиційне позначення	Найменування	Кількість	Примітка
A1	ПЛК VIPA 214-2BS33	1	
A1-X3...A1-X5	Модуль аналогового вводу VIPA 231-1BD40	3	
A1-X6	Модуль дискретного виводу VIPA 222-1BF00	1	
A1-X7	Модуль функціональний 250-1BS00	1	
A1-X8	Модуль аналогового виводу VIPA 232-1BD40	1	
A2	Система керування, виконана на базі ПК	1	
BK1...BK3	Датчик рівня SITRANS T LWL 200E	3	
BK4, BK5	Датчики тиску SITRANS P ZD	2	
BK6, BK7	Датчик витрати SITRANS F X	2	
BK8	Датчик температури SITRANS T TW	1	
BK9	Датчик температури SITRANS T F FGT-PT1000	1	
BK10	Енкодер E40H 012 2000 2 N 24	1	
YA1, YA2	Реле твердотільне SSR-240A50	2	
G1, G2	Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301	2	

			Підп.	Дата	<b>КІВС.КВР.151.19.16.ПЕЗ</b>			
Зм.	Арк.	№ докум.			Автоматизація генератора пари технологічного процесу виготовлення етилового спирту.  Перелік елементів	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розробив	Малюжонок		06.05.23				1	1
Перевірив	Надточий							
Н. контроль	Воскобойник					НТУ «Дніпровська політехніка», ЕТФ, 151-19-1		
Перевірив	Соснін							

**ВІДГУКИ КОНСУЛЬТАНТІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**



## ВІДГУК

кваліфікаційна робота бакалавра: «Автоматизація генератора пари технологічного процесу виготовлення етилового спирту», студент гр. 151-19-1  
Малюженок Єгор Олександрович.

Об'єкт розробки – система автоматичного керування генератором пари технологічного процесу виготовлення етилового спирту, продуктивністю до 3 кг/с перегрітої пари, який використовується для живлення епіюраційної колони BTS 1600-32, яка використовується на Гнідавському біоетанольному заводі

Об'єкт дослідження паровий котел МЕР-0-90 продуктивністю до 3 кг/с перегрітої пари.

Предмет дослідження – модель паровий котел МЕР-0-90 продуктивністю до 3 кг/с перегрітої пари.

Головною метою роботи є розробка моделі об'єкта керування для регульованого тиску перегрітої пари, в залежності від потужності газового пальника. При цьому інші вхідні і вихідні параметри мають бути не змінними і знаходитись у номінальному стані.

Виходячи з отриманих результатів можливо зробити висновок, що розроблена модель відповідає об'єкту керування, та може бути використана для подальшої розробки підсистеми керування. Подальше вдосконалення моделі можливе у рамках більш детального аналізу впливів збурення, та модифікації програмного коду з метою підвищення швидкодії. Отримана модель може бути використана для розробки програмного забезпечення підсистеми керування.

Розглянуто техніко-економічного обґрунтування ефективності результатів розробки і впровадження автоматизованої системи керування генератором пари технологічного процесу виготовлення етилового спирту.

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

Така система може бути затребувана для будь-яких технологічних процесів з виготовлення етилового спирту виробництва.

Тема кваліфікаційної роботи безпосередньо пов'язана з професійною діяльністю фахівця спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології.

Цілі, поставлені перед кваліфікаційною роботою, повністю виконані.

ПЗ і графічна частина кваліфікаційної роботи виконана відповідно до вимог з оформлення кваліфікаційної роботи, зауважень до проекту немає.

При виконанні кваліфікаційної роботи і ухваленні рішень проявлена висока міра самостійності, технічної грамотності.

Оцінки по розділах кваліфікаційної роботи - « \_\_\_\_\_ ».

Кваліфікаційна робота в цілому заслуговує оцінку « \_\_\_\_\_ », а студент Малюжонок Є.О. привласнення освітнього рівня «бакалавр» в галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування.

**Керівник кваліфікаційної роботи, \_\_\_\_\_ ст. викл. Надточий В.В.**

\_\_\_.06.2023

**РЕЦЕНЗІЯ**

кваліфікаційна робота бакалавра: «Автоматизація генератора пари технологічного процесу виготовлення етилового спирту», студент гр. 151-19-1  
Малюжонок Єгор Олександрович.

1. Завдання і зміст кваліфікаційної роботи ступеню бакалавра відповідає основній меті - перевірці знань і ступеня підготовленості студента за спеціальністю «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».
2. Актуальність роботи полягає в тому, що розробка та дослідження нової системи керування дозволить зменшити вплив основних недоліків технологічного обладнання.
3. Отримана модель може бути використана за для розробки програмного забезпечення системи керування.
4. Повнота і глибина вирішення завдань, поставлених в завданні на кваліфікаційну роботу достатня.
5. В рамках кваліфікаційної роботи було визначено структуру об'єкта керування та побудована його модель.
6. В цілому кваліфікаційна робота ступеню бакалавра заслуговує оцінки «\_\_\_\_\_», за умови відповідного захисту.
7. Студент Малюжонок Є.О. присвоєння їй кваліфікації «бакалавр» за спеціальністю «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

Рецензент, \_\_\_\_\_

\_\_\_\_.06.2023

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

\_\_\_\_\_ Бубліковим А.В.

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 року

### **ВИСНОВОК**

Про рівень запозичень у кваліфікаційній роботі бакалавра на тему «Автоматизація генератора пари технологічного процесу виготовлення етилового спирту», здобувача вищої освіти, групи 151-19-1, Малюжонок Є.О.

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

Нормоконтролер,  
посада, ас. каф. КФІВС  
ступінь

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Воскобойник Є.К.

\_\_\_\_\_  
(дата)