

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

Навчально-науковий інститут електроенергетики  
 (інститут)

Електротехнічний факультет  
 (факультет)

Кафедра кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем  
 (повна назва)

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

студента Сміщенко Антон Олександрович

(П.І.Б.)

академічної групи 151-19ск-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 Автоматизація технологічного процесу виробництва поліетилену високого тиску

(назва за наказом ректора)

Консультанти	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинг.	інституційною	
Керівник кваліфікаційної роботи	ст. викл. Шевченко В.І.			
Провідний консультант	ст. викл. Шевченко В.І.			
Розробка апаратного забезпечення системи керування	ст. викл. Проценко С.М,			
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  
 2022

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

\_\_\_\_\_ Бублік В.В.  
(підпис) (прізвище, ініціали)  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 року

## ЗАВДАННЯ на кваліфікаційну роботу ступеня бакалавр

студенту Сміщенко А.О.  
(прізвище та ініціали)

академічної групи 151-19ск-1  
(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 технологічного процесу виробництва поліетилену високого тиску  
затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» № 217-с від 26.04.2022 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.	11.05.2022
Розробка апаратного забезпечення системи керування	Обрання датчиків, виконавчих пристроїв та пристрою керування, розробка структурних схем, функціональної схеми автоматизації та принципової схеми електричної.	18.05.2022
Визначення моделі об'єкта керування	Виконання експерименту. Обробка результатів експерименту. Створення моделі об'єкта керування. Перевірка отриманої моделі на адекватність.	25.05.2022
Економічна частина	Економічне обґрунтування доцільності витрат на створення системи керування.	01.06.2022
Охорона праці	Розробка організаційно-технічних заходів, щодо реалізації правил безпеки при експлуатації системи.	05.06.2022

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

ст. викл. Шевченко В.І.  
(прізвище, ініціали)

Дата видачі

04.05.2022

Дата подання до екзаменаційної комісії

10.06.2022

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

Сміщенко А.О.  
(прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Об'єкт розробки – система автоматичного керування технологічним процесом виробництва поліетилену високого тиску .

Об'єкт дослідження – холодильник зворотного етилену проміжного тиску серії КАЕ-250-300.

Предмет дослідження – здійснити структурну і параметричну ідентифікацію та визначити математичну модель об'єкта.

Одним з головних технологічних елементів виготовлення поліетилену високого тиску є холодильники охолодження зворотного етилену проміжного тиску. Від його стабільної роботи залежить якість кінцевої продукції і безпека виробництва.

По мірі охолодження в холодильнику, з газу виділяється поліетилен, який скидається з сепаратора у готову продукцію, а очищений і охолоджений етилен надходить на всмоктування компресора реакційного тиску для подачі його для повторної переробки у реакторі.

При значному коливанні охолодженого поліетилену у часі він може прилипати до стінок холодильника. Це збільшує падіння тиску в зворотній газовій системі і погіршує тепловіддачу, що викликає підвищення температури зворотного газу. Висока температура газу, що надходить в стиснення, знижує продуктивність компресорів. Тому питання стабільної роботи холодильника є дуже важливим.

У кваліфікаційній роботі, в якості об'єкту керування, обрано холодильник зворотного етилену проміжного тиску, серії КАЕ-250-300, з метою побудови підсистеми керування за обраним каналом керування «витрати води → температура етилену».

Виходячи з отриманих результатів можливо зробити висновок, що 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.

ЕТИЛЕН, ХОЛОДИЛНИК, ТИСК, ТЕМПЕРАТУРА, ДАТЧИК, ЗАСУВКА, СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, ВИКОНАВЧИЙ ПРИСТРІЙ, СИНТЕЗ СИСТЕМИ, ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ

## ЗМІСТ

Зміст	4
Перелік скорочень	7
Вступ	8
1 Стан питання та постановка завдання	10
Загальна інформація	10
1.1.1 Властивості, характеристики та види поліетилену високого тиску:	10
1.1.2 Сфера застосування поліетилену високого тиску	12
1.1.3 Основні параметри процесу синтезу поліетилену високого тиску	12
1.1.4 Різновиди ПЕВТ і способи їх переробки	13
1.2 Технологічна схема виробництва	14
1.2 Об'єкт керування	17
1.3.1 Очищення та охолодження зворотного етилену	18
1.3.2 Холодильник етилену зворотного проміжного тиску	19
1.3.2 Структура об'єкту керування	20
1.3.3 Принцип функціонування об'єкту керування	21
1.4 Структура системи керування	21
1.5 Формулювання задачі дослідження	21
1.6 Висновки за розділом	22
2 Розробка апаратного забезпечення системи керування	23
2.1 Розробка структурної схеми підсистеми керування	23
2.2 Розробка структурної схеми інформаційних потоків	24
2.3 Вибір апаратного забезпечення підсистеми керування	25
2.3.1 Вибір датчиків	25
2.3.2 Вибір виконавчих пристроїв	27
2.3.3 Вибір пристроїв керування	29
2.3.4 Вибір джерел живлення	35
2.4 Розробка функціональної схеми автоматизації	37
2.5 Розробка схеми електричної принципової	38

	5
2.6 Висновки за розділом	39
3 Визначення моделі об'єкта керування	40
3.1 Розробка структурної схеми інформаційних потоків дослідницької системи	41
3.2 Розробка методики дослідження об'єкта керування	43
3.3 Виконання експерименту	45
3.4 Обробка результатів експерименту	49
3.4.1 Підготовка даних	49
3.4.2 Структурна ідентифікація	51
3.4.3 Параметрична ідентифікація	55
3.4.4 Розробка моделі об'єкта керування в Simulink	59
3.4.5 Перевірка моделі на адекватність	61
3.5 Висновки за розділом	64
4 Економічна частина	65
4.1 Техніко-економічне обґрунтування впровадження системи керування	65
4.2 Розрахунок капітальних витрат пов'язаних з впровадженням системи керування	65
4.3 Розрахунок капітальних витрат на програмне забезпечення	67
4.3.1 Розрахунок часу на розробку програмного забезпечення	67
4.3.2 Розрахунок витрат на розробку програмного забезпечення	69
4.4 Розрахунок експлуатаційних витрат	70
4.4.1 Амортизація основних фондів	71
4.4.2 Розрахунок фонду заробітної плати	72
4.4.3 Відрахування на соціальні заходи	73
4.4.4 Розрахунок витрат на технічне обслуговування та ремонт	73
4.4.5 Витрати на електроенергію	73
4.4.6 Інші витрати	74
4.5 Висновки за розділом	74
5 Охорона праці	75

	6
5.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів та інженерно-технічні заходи з охорони праці	75
5.1.1 Повітря	75
5.1.2 Освітлення	76
5.1.3 Захист від шуму і вібрації	77
5.1.4 Електробезпека	78
5.1.5 Безпека технологічного процесу та обслуговування обладнання	80
5.2 Пожежна безпека	81
5.5 Висновки по розділу	83
Висновки	84
Перелік посилань	86
Додаток А	90
Додаток Б	91
Відгуки консультантів кваліфікаційної роботи	92
Відгук	94
Рецензія	96

**ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ**

АСК ТП	- автоматизована систему керування технологічним процесом
БП	- біологічне паливо;
ВВП	- внутрішній валовий продукт;
ЕОМ	- електронна обчислювальна машина;
ОУ	- об'єкт керування;
САК	- система автоматичного керування;
ПЛК	- програмований логічний контролер;

## ВСТУП

На сьогодні значну частину поліетиленової сировини, яка синтезується у світі, використовують для виробництва труб різного технологічного призначення, такого як будівництво напірних водопроводів та газопроводів і т. ін. За останні десять років розроблено велику кількість різних типів поліетиленів, які виробляються для цього, з істотно різними фізико-хімічними характеристиками.

Значну частину полімерної сировини, що синтезується у світі, використовують для виробництва проміжних конструкційних матеріалів – заготовок у вигляді труб, плівок, суцільних та плетених листів, з яких на наступному етапі виготовляють конкретні вироби. Такі конструкційні полімерні матеріали постійно удосконалюються, розробляються нові їх типи, підвищуються експлуатаційні властивості. За десятки років з початку будівництва трубопроводів із пластмас різного технологічного призначення було розроблено та застосовано для виробництва труб низку типів поліетиленової сировини, фізико-механічні характеристики яких істотно відрізняються [8].

Автоматизація виробничих процесів є основним засобом технічного прогресу, одним з найбільш ефективних шляхів підвищення продуктивності праці. Автоматичне управління і регулювання виробничих процесів дозволяє підвищити продуктивність обладнання і звільнити робітників від одноманітних і стомлюючих операцій по управлінню механізмами.

Автоматизація виробничих процесів може бути повною або частковою. Повна автоматизація передбачає автоматичний контроль і регулювання виробничих процесів, підтримання заданих або вибір автоматичних режимів роботи механізмів та агрегатів без участі обслуговуючого персоналу. При частковій автоматизації виробничих процесів ручна праця застосовується для управління виробничими операціями. В залежності від призначення пристроїв, які застосовують в системах автоматизації, виконують різні функції – контролю, захисту, сигналізації, керування, регулювання та ін. Пристрої автоматичного



контролю призначені для перевірки окремих машин, агрегатів або окремих ділянок технологічного процесу. Вони не тільки фіксують отримані результати, але й перетворюють їх в сигнали (імпульси) для автоматичного регулювання (виконують функції датчиків).

Використання сучасної цифрової техніки, дає можливість покращити точність і якість керування процесом, стабілізувати основні технологічні параметри.

Задачі керування безперервними та періодичними об'єктами керування значно відрізняються . Для перших характерні задачі стабілізації параметрів на заданих значеннях, а для других – проведення процесу за технологічною картою виготовлення продукції.

За динамічними характеристиками технологічні об'єкти дуже різні: в одних процеси протікають досить швидко, наприклад, синтез аміаку, полімеризація етилену під високим тиском, для яких сталі часу можуть дорівнювати від одиниць до десятків секунд, а інші технологічні об'єкти досить інерційні, а їх сталі часу вже становлять до десятків хвилин.

Для деяких технологічних об'єктів є істотна особливість - є значна не лінійність характеристик що ускладнює їх автоматизацію [9].

## 1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

### Загальна інформація

Поліетилен високого тиску – це матеріал, без якого життя людини була б куди менш проста і комфортна. Герметично упаковані або розфасовані в мішки продукти харчування, пластикові кришки, пакети давно стали звичайною справою.

Але ж все це і ще безліч інших предметів, використовуваних як в побуті, так і в різних галузях промисловості, виготовлено саме з такого типу поліетилену. Важко навіть уявити собі, скільки виробів виготовляється з поліетилену високого тиску. Для позначення даного полімеру застосовується кілька скорочень:

- ПЕНІЦ (поліетилен низької щільності);
- LDPE (low-density polyethylene);
- ПЕВТ (поліетилен високого тиску) [7].

### 1.1.1 Властивості, характеристики та види поліетилену високого тиску:

Поліетилен високого тиску випускається у формі гранул, структура яких складається з великого числа розгалужених макромолекул, що утворюють кристалічну решітку. Через слабкі міжмолекулярні зв'язки, цей матеріал має більш низьку щільність, за що він отримав другу назву – поліетилен низької щільності.

Основні характеристики ПЕВТ:

- |                             |                                   |
|-----------------------------|-----------------------------------|
| – молекулярна маса:         | 80 000...500 000;                 |
| – щільність:                | 0,910...0,930 г/см <sup>3</sup> ; |
| – температура розм'якшення: | +80...+90 °С;                     |
| – температура плавлення:    | +103...+115 °С;                   |
| – твердість за Бринеллем:   | 14...25 МПа.                      |

ПЕВТ має універсальні властивості, що дозволяють використовувати його для різних цілей.



Рисунок 1.1 – Поліетилен високого тиску

Відмінними особливостями гранул і виробів з цього матеріалу є:

- гнучкість, пластичність та м'якість, що роблять продукт приємними на дотик;
- хороша стійкість щодо впливу хімічно активних середовищ;
- можливість отримання виробів з блискучою та ідеально гладенькою поверхнею, що надає продукції більш привабливий зовнішній вигляд, у порівнянні з матовими виробами з ПНТ;
- непроницність для вологи та повітря;
- стійкість до ультрафіолетового випромінювання сонця;
- абсолютна інертність і відсутність запаху, в тому числі й у вторинних гранул;
- відмінні діелектричні властивості.

Крім того, ПЕВТ є нетоксичним та екологічно безпечним матеріалом для людини й навколишнього середовища, тому за санітарними нормами дозволяється його застосування у контакті з харчовими продуктами та для виготовлення дитячих іграшок.

Існують різні види гранул LDPE, що отримують шляхом його додаткової обробки.

Основними модифікаціями цього полімерного матеріалу є:

- ПЕ спінений, що має пористу структуру, завдяки введенню газової суміші вуглеводнів у ПВТ: це робить його пластичним і міцним

одночас; такий матеріал випускається листами, в рулонах або у вигляді джгутів;

- зшитий ПЕ високого тиску, що має підвищену щільність та міцність завдяки наявності поперечних зв'язків, утворених ланцюжком атомів водню між відгалуженням макромолекул – така структура досягається шляхом введення перекису водню до розплавленої сировини;
- полімери ПВТ з ПЕ іншого різновиду або різними мономерами [6].

### **1.1.2 Сфера застосування поліетилену високого тиску**

Сфера застосування гранул ПВТ досить різноманітна.

З цього матеріалу сьогодні виготовляють:

- труби для напірних магістралей та іригаційних мереж, а також фітинги до них;
- корпуси побутової техніки;
- вироби, отримані шляхом дуття, наприклад, каністри та пляшки;
- теплоізоляцію, для якої використовується спінений ПВТ;
- електроізоляційну оболонку для кабельної продукції;
- рукави, мішки, пакети та плівки різних видів, у тому числі термозбіжні;
- термоклей порошкоподібної форми, отриманий з подрібнених гранул;
- черепицю з полімер-піщаної суміші та руберойд;
- деталі та вузли для автомобілебудування;
- неткані матеріали, нитки для текстильної промисловості та інші вироби [6].

### **1.1.3 Основні параметри процесу синтезу поліетилену високого тиску**

ПЕНП є термопластичний матеріал, вихідним мономером для отримання якого є етилен. Виробництво поліетилену високого тиску супроводжується підвищенням температури до 300 °С і тиском до 1 000...3 500 кгс/см<sup>2</sup>.

Ініціаторами процесу полімеризації можуть виступати кисень або органічні перекиси.

Для отримання даного полімеру використовуються реактори автоклавного, а також трубчастого типів. Випускається даний матеріал у вигляді білих (натуральних) гранул або пофарбованих у різні кольори, які виходять після переробки розплаву первинних пластівців [7].

#### **1.1.4 Різновиди ПЕВТ і способи їх переробки**

Залежно від різновиду ПЕВТ і його призначення способи обробки полімеру можуть бути різними:

- литтям під тиском виробляються вироби господарського та загального призначення, в тому числі контактують з продуктами харчування, крупна- і малогабаритні вироби з товщиною стінки 0,5...3 мм, а також фітинги для труб;
- екструзія використовується для виробництва труб (напірних і безнапірних), фітингів, оболонок (ізоляції) проводів і кабелів, плівки (термоусадочної, пакувальної, загального і спеціального призначення, для виготовлення мішків, а також для сільськогосподарських потреб), покриттів, що наносяться на тканини і папір, профільно-погонних виробів;
- пресуванням виготовляють вироби, що мають технічне призначення (фітинги, листи, плити);
- видувне формування застосовують для виготовлення пластикових пляшок, судин, ємностей, об'ємом 10...30 дм<sup>3</sup>, в тому числі що контактують з харчовими продуктами;
- заливку використовують для заповнення окремих деталей електроустаткування;
- напиленням формуються спеціальні покриття на виробах різного роду;

- шляхом ротаційного формування виготовляються вироби, об'ємом до 200 дм<sup>3</sup>, що застосовуються в технічних цілях [7].

## 1.2 Технологічна схема виробництва

Способи отримання поліетилену при високому тиску відомі давно.

Найбільш часто ці способи здійснюють в трубчастих реакторах високого тиску.

Однією з причин обмеженої глибини екзотермічної полімеризації етилену при високому тиску є проблема відводу тепла. Тепловідведення при полімеризації в трубчастих реакторах високого тиску ускладнюється, зокрема, внаслідок утворення на внутрішніх стінках реактора відкладення, що перешкоджають ефективному теплообміну.



Рисунок 1.2 - Завод з поліетилену високого тиску

Стабілізація, фарбування і грануляція - загальні стадії для поліетилену низької і високої щільності. Отже процес виробництва поліетилену можна розбити на наступні частини:

- стиснення етилену;
- полімеризація етилену;
- поділ реакційної суміші і виділення поліетилену;
- підготовка ініціатора полімеризації;
- стабілізація, фарбування і грануляція.

На рисунку 1.3 приведена принципова технологічна схема установки синтезу поліетилену при високому тиску.

Етилен з установки газо-розділення під тиском 1...2 МПа і при температурі 10...40 °С подається в ресивер 1, де в нього вводиться зворотній етилен низького тиску і кисень (оксиген), який використовується як ініціатор. Суміш стискується компресором проміжного тиску 2 до 25...30 МПа, з'єднується з потоком зворотного етилену проміжного тиску, стискується компресором реакційного тиску 3 до 150...300 МПа і направляється в автоклавний реактор 5. У реакторі відбувається полімеризація етилену при температурі 200...275 °С.

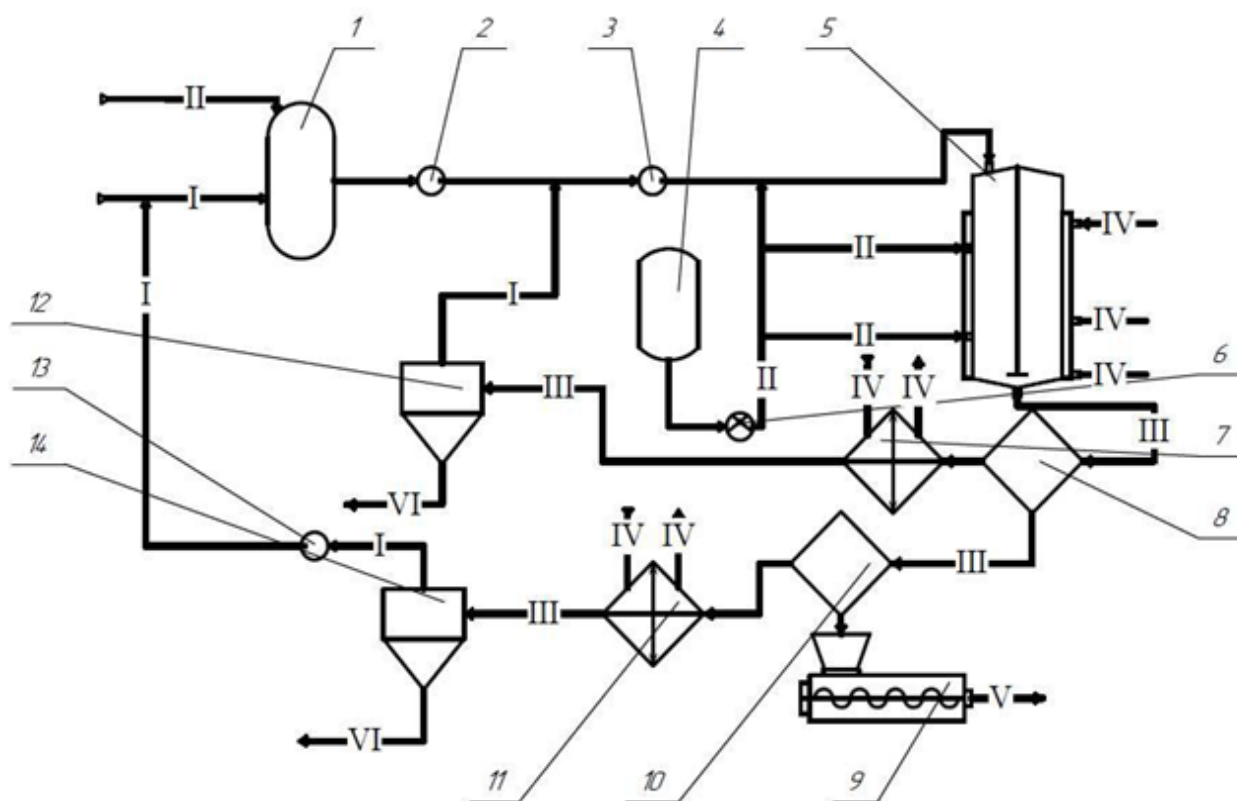


Рисунок 1.3 - Схема полімеризації етилену при високому тиску

- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| 1 - ресивер;                        | 2 - компресор проміжного тиску;            |
| 3 - компресор реакційного тиску;    | 4 - ємність для ініціатора;                |
| 5 - автоклавний реактор;            | 6 - дозувальний насос;                     |
| 7, 11 - холодильники;               | 8 - віддільник проміжного тиску;           |
| 9 - екструдер;                      | 10 - віддільник низького тиску;            |
| 12, 14 - циклон;                    | 15 - компресор для рециркулюючого етилену. |
| I - етилен;                         | IV - вода;                                 |
| III - суміш етилену та поліетилену; | VI - низькомолекулярний поліетилен.        |
| V - поліетилен;                     |  |

Поліетилен, який утворився в реакторі, розплавлений з етиленом, що не прореагував (конверсія етилену в полімер 18 %), безперервно виводиться з реактора через дроселюючий клапан і надходить у віддільник низького тиску 10. Етилен зворотного проміжного тиску з відділювача 8 проходить апарати охолодження 7 і сепарації (циклон) 12, де охолоджується до 30...40 °С і де відділяється низькомолекулярний поліетилен, і потім подається на всмоктування компресора 3.

У відділювача низького тиску 10 при тиску 0,1...0,5 МПа і температурі 200...250 °С з поліетилену виділяється розчинений етилен (зворотній газ низького тиску), який через апарати охолодження 11 і сепарації (циклон) 14 надходить у компресор 13 і далі на змішання зі свіжим етиленом. Розплавлений поліетилен з віддільника низького тиску 10 надходить у екструдер 9, а з нього у вигляді гранул – на забарвлення і додаткову обробку.

Таким чином у реакції беруть участь дві речовини – етилен  $C_2H_4$  та кисень  $O_2$ .

Для спрощення сприйняття технологічних потоків і даних, представимо їх на рисунку 1.4 і у таблиці 1.1 властивості кожного апарату. При складанні матеріального балансу враховуємо лише масообміні апарати.





### 1.3.1 Очищення та охолодження зворотного етилену

Не проредагований (зворотний) етилен, відокремлений від поліетилену в сепараторах середнього і низького тиску, охолоджується і очищається від низькомолекулярного поліетилену, що міститься в ньому. Поліетилен міститься в етилену у вигляді дрібних крапельок, що переносяться потоком газу з сепараторів, і в розчиненому вигляді.

Розчинність поліетилену при заданій температурі визначається його молекулярною масою: чим нижче молекулярна маса, тим вище розчинність.

Технологія очищення заснована на охолодженні, яке знижує розчинність поліетилену, і він виділяється з газу, і спочатку виділяються більш високі молекулярно-вагові фракції поліетилену з більш високою точкою заливки. Температура знижується крок за кроком для забезпечення оптимальних умов для посадки і зливу з системи поліетилену низької молекулярної маси.

Система очищення і охолодження зворотного газу проміжного тиску може складатися з декількох послідовних з'єднаних секцій (зазвичай 3...4), кожен з яких включає холодильник і сепаратор тип циклону. Гаряча вода використовується як охолоджуючий засіб в першому розділі газу, а в наступних секціях - перероблена вода. У міру охолодження в холодильнику з газу виділяється поліетилен, який періодично скидається з сепаратора. Потім газ відправляється на наступний розділ, де процес повторюється, але при більш низькій температурі. Температура газу на виході кожної секції становить: з першої 180 °С, з другої 90 °С, з останніх 30...40 °С. Очищений і охолоджений етилен надходить в всмоктування компресора реакційного тиску.

При значному коливанні охолодженого поліетилену у часі він може прилипати до стінок холодильника. Це збільшує падіння тиску в зворотній газовій системі і погіршує тепловіддачу, що викликає підвищення температури зворотного газу. Висока температура газу, що надходить в стиснення, знижує продуктивність компресорів. Тому питання стабільної роботи холодильника дуже важливо.

Для очищення холодильників використовуються різні методики. Так, робляться паралельні секції, які періодично відключаються для пропарювання. Ще один спосіб - періодично міняти послідовне з'єднання секцій. Наприклад, спочатку з'єднується остання секція газу, що надходить в нього гарячим газом, розплавляє відкладений на стінках шар поліетилену і переносить його в сепаратор.

### 1.3.2 Холодильник етилену зворотного проміжного тиску

В якості об'єкту керування обрано технологічний комплекс - холодильник етилену зворотного проміжного тиску (рис. 1.5).

Технологія очищення етилену основана на охолодженні, під час якого знижується розчинність поліетилену і він виділяється з газу, причому спочатку виділяються високомолекулярні фракції поліетилену з більш високою температурою застигання. Як охолоджувальний агент газу в секції холодильника застосовується вода.



Рисунок 1.4 - Холодильник зворотного етилену проміжного тиску серії

КАЕ-250-300

Технічні параметри холодильника зворотного етилену проміжного тиску серії КАЕ-250-300:

– вхідна температура газової суміші етилену, °С:	260...280;
– вихідна температура етилену, °С:	30...40;
– тиск газової суміші поліетилену, МПа:	200...250;
– об'єм газової суміші поліетилену, м <sup>3</sup> /хв:	70...75;
– продуктивність поліетилену, кг/хв:	220...240;
– об'єм води, м <sup>3</sup> /хв	8...16;
– тиск води, МПа	1,5...2,5.

### 1.3.2 Структура об'єкту керування

До контуру керування холодильником входить клапана подачі охолоджувального агента у холодильник, та датчика температури етилену на виході (рис. 1.3).

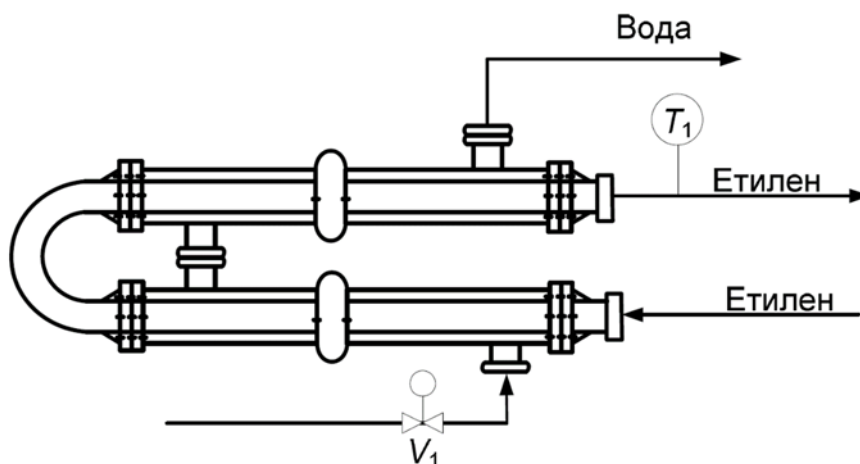


Рисунок 1.2 - Схема керування температурою на виході холодильника

$V_1$  – клапан подачі води в холодильник;  $T_1$  – датчик температури на виході холодильника

Регулювання кількості охолоджувального агента - води, яка подається в холодильник регулюється клапаном  $V_1$ , в залежності від поточної температури поліетиленової суміші. Чим вище температура газу поліетиленової суміші, тим більше треба витрати охолоджувальної води.

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

Згідно принципу роботи об'єкту керування - холодильнику зворотного етилену проміжного тиску серії КАЕ-250-300, можна визначити основні канали керування:

- «витрати води → температура етилену»;
- «продуктивність етилену → температура етилену».

### **1.4 Структура системи керування**

Головним елементом єдиної системи захисту процесу охолодження етилену у виробництві поліетилену високого тиску є система керування роботою холодильника. Будь-яка зупинка / запуск виробництва – це складні та відповідальні операції, навіть якщо не брати до уваги неминучі економічні витрати. Потенційна можливість неспрацювань датчика чи / та виконавчого механізму, хибної зупинки устаткування порушує основний аспект безпеки, пов'язаний із участю людини. Аналіз застосовуваних схем захисту показує, що підвищену ймовірність небезпечних відмов та хибних спрацювань має бути закладено в систему керування вже на перших етапах проектування.

Роботою холодильнику зворотного етилену проміжного тиску серії КАЕ-250-300 керує автоматичний регулюючий прилад, який має автоматично підтримувати задані технологічні параметри, які визначені технологічною картою.

### **1.5 Формулювання задачі дослідження**

В нашому випадку, для створення підсистеми автоматичного керування холодильником зворотного етилену проміжного тиску серії КАЕ-250-300, обрано один із головних каналів - «витрати води → температура етилену».

З метою побудови підсистеми керування за обраним каналом керування, необхідно провести активний експеримент для визначення параметрів передавальної функції об'єкту керування - холодильнику зворотного етилену проміжного тиску серії КАЕ-250-300.

Підсистема керування має підтримувати задану температуру етилену на виході холодильнику межах діапазону температур 30...40 °С завдяки регулюючим можливостям продуктивності подачі охолоджувальної води. Продуктивність подачі води в холодильник може змінюватись в межах 8...16 м<sup>3</sup>/хв.

### **1.6 Висновки за розділом**

Актуальність роботи пояснюється необхідністю модернізації систем керування, які використовуються на підприємствах з виготовлення поліетилену високо тиску. Сучасна система керування дозволить оперативно контролювати значну кількість технологічних параметрів, дозволяючи отримувати режими роботи технологічного обладнання з заданими показниками якості та надійності. Також ця система керування матиме можливість фіксації та збереження параметрів роботи технологічного обладнання.

## 2 РОЗРОБКА АПАРАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

### 2.1 Розробка структурної схеми підсистеми керування

У кваліфікаційній роботі, в якості об'єкту керування технологічним обладнанням обрано холодильник зворотного етилену проміжного тиску серії КАЕ-250-300.

До мінімального складу структури підсистема керування, за вхідними і вихідними сигналами, мають входити наступні сигнали.

Вхідні сигнали:

- об'єм газової суміші поліетилену, м<sup>3</sup>/хв: 70...75;
- об'єм води, м<sup>3</sup>/хв 8...16;

Вихідні сигнали керування:

- вхідна температура газової суміші етилену, °С: 260...280;
- вихідна температура газової суміші етилену, °С: 30...40;
- тиск газової суміші поліетилену на вході, МПа: 200...250;
- тиск газової суміші поліетилену на виході, МПа: 180...220;
- тиск води на вході, МПа 1,5...2,5.

Роботою технологічного обладнання - холодильником зворотного етилену проміжного тиску серії КАЕ-250-300. керує програмований логічний контролер (рис. 2.1).

Підсистема керування має підтримувати задану температуру етилену на виході холодильнику межах діапазону температур 30...40 °С завдяки регулюючим можливостям продуктивності подачі охолоджувальної води. Продуктивність подачі води в холодильник може змінюватись в межах 8...16 м<sup>3</sup>/хв., завдяки регулюючим можливостям. Основні канали керування:

- «витрати води → температура етилену»;
- «продуктивність етилену → температура етилену».

На рисунку 2.1 показана структурна схема підсистеми керування.

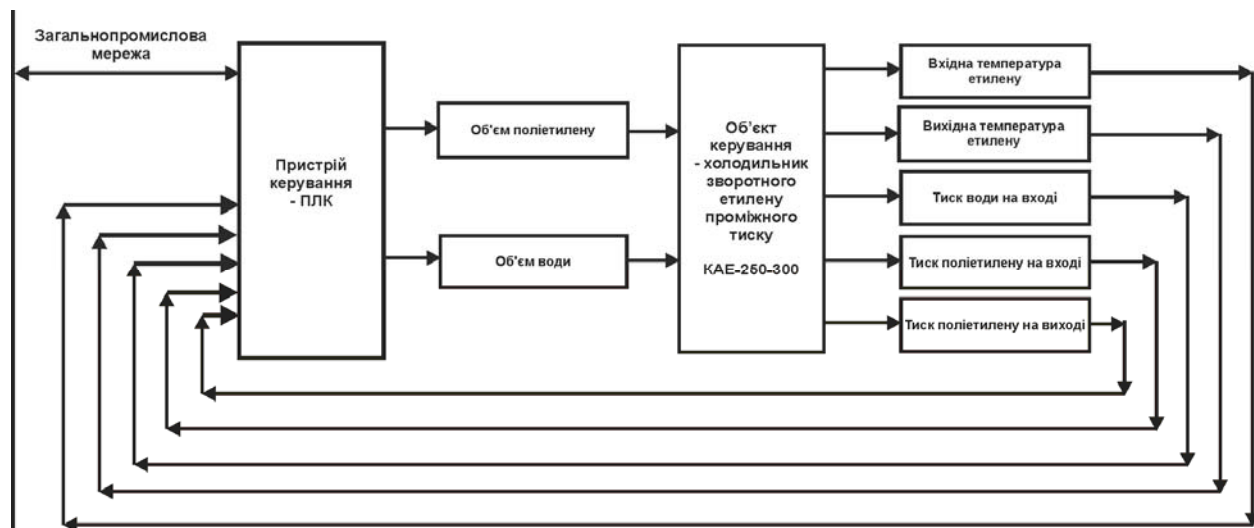


Рисунок 2.1 – Структурна схема підсистеми керування

Датчики тиску і температури забезпечують необхідною інформацією систему керування з метою підтримки режиму роботи технологічного обладнання.

Підсистема керування має підтримувати задану за технологічними параметрами температуру і тиск в холодильнику КАЕ-250-300. Роботою холодильнику керує автоматичний регулюючий прилад, який має вихідні сигнали керування:

- засувка газової суміші поліетилену;
- засувка води.

## 2.2 Розробка структурної схеми інформаційних потоків

Підсистема керування обладнанням відповідає класичним вимогам до підсистем автоматизованого керування технологічним обладнанням. До неї входять пристрої збору інформації (датчики температури, тиску), еталони стану обладнання (температура, тиск), система автоматичного контролю стану обладнання, програма керування, яка повинна реалізувати формування керуючих впливів для підтримки заданого тиску і температури у технологічному обладнанні – холодильнику КАЕ-250-300 на заданому рівні. Система керування має протиаварійний захист та блок переводу до ручного режиму керування, виконавчі пристрої – електрозасувки.



Розроблена структурна схема інформаційних потоків наведена на рисунку 2.2.



Рисунок 2.2 – Структурна схема інформаційних потоків

## 2.3 Вибір апаратного забезпечення підсистеми керування

### 2.3.1 Вибір датчиків

Для вимірювання тиску поліетилену на вході і на виході у діапазоні 180...250 МПа та води на виході у діапазоні 3,0...5,0 МПа будемо використовувати датчик тиску серії MBS 3000 з діапазонами вимірювання 0...250 МПа (рис. 2.3). Датчик тиску має стандартний вихід 4...20 мА для підключення до програмованого логічного контролера [12].



Рисунок 2.3 – Датчик тиску серії MBS 3000

Таблиця 2.1 – Технічні параметри датчику тиску серії MBS 3000

№	Найменування параметра	Значення
1	Тип	Комплексне вимірювання
2	Діапазон вимірювання, МПа	0...250 / 0...10
3	Похибка вимірювання, %	±0,5%
4	Частота відгуку, Гц	0,1
5	Напруга живлення, В	12...24
6	Потужність споживання, Вт	1
7	Діапазон температур, °С	-40 до 85
8	Вихідний сигнал, мА	4...20

Враховуючі діапазон робочих температур датчику  $-40\dots85\text{ }^{\circ}\text{C}$  та діапазон температур газової суміші етилену  $260\dots280\text{ }^{\circ}\text{C}$ , то треба передбачити термокомпенсуючий подовжувач (металева трубка для високого тиску 300 МПа).

За технічними параметрами необхідно вимірювати температуру газової суміші етилену на вході у діапазоні  $260\dots280\text{ }^{\circ}\text{C}$  і на виході - у діапазоні  $30\dots40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Використаємо датчик температури Т.ХА-420-Кл1-1 (рис. 2.4) з діапазоном вимірювання  $0\dots300\text{ }^{\circ}\text{C}$ , який має вихідний сигнал у стандартному струмовому діапазоні  $4\dots20\text{ mA}$ , який полегшить підключення його до програмованого логічного контролера.

Технічні характеристики датчика наведені в таблиці 2.2 [13].



Рисунок 2.4 – Датчик температури QAE3010.016

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики датчика температури QAE3010.016

№	Найменування параметра	Значення
1	Тип	НСХ: Pt100
2	Діапазон вимірюваних температур, $^{\circ}\text{C}$	$0\dots300 / 0\dots100$
3	Клас допуску	1
4	Точність, %	$\pm 0,5$
5	Тиск, МПа	5
6	Діапазон вихідного сигналу, мА	$4\dots20$
7	Напруга живлення, В	$12\dots36$
8	Потужність споживання, Вт	1

Враховуючі діапазон робочих тиску 5 МПа та діапазон тиску газової суміші етилену 250 МПа, то треба передбачити застосування захисної втулки (металева втулка для високого тиску 300 МПа).

На підставі обраних датчиків та їх технічних характеристик складена таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Датчики

№	Назва параметру	Принцип дії	Тип	Діапазон змінення	Точність	Значення виходу	Період оновлення	Напруга живлення	Потужність споживання
1	Тиск поліетилену на вході	Комплексне вимір.	Аналоговий	0...300 МПа	±0,5 %	4...20 мА	0.1 с	12...24 В	1 Вт
2	Тиск поліетилену на виході	Комплексне вимір.	Аналоговий	0...300 МПа	±0,5 %	4...20 мА	0.1 с	12...24 В	1 Вт
3	Тиск води	Комплексне вимір.	Аналоговий	0...10 МПа	±0,5 %	4...20 мА	0.1 с	12...24 В	1 Вт
4	Температура поліетилену на вході	НСХ: Pt100	Аналоговий	0...300° С	±0,5 %	4...20 мА	0.1 с	12...36 В	1 Вт
5	Температура поліетилену на виході	НСХ: Pt100	Аналоговий	0...300° С	±0,5 %	4...20 мА	0.1 с	12...36 В	1 Вт

### 2.3.2 Вибір виконавчих пристроїв

Для реалізації автоматичного керування продуктивністю подачі газової суміші поліетилену необхідна електрична засувка високого тиску та температури з поворотним затвором. Використаємо електрозасувку 5200LA/530М [14].



Рисунок 2.5 - Електрозасувка 5200LA/530М

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики електрозасувки 5200LA/530M

№	Найменування параметра	Значення
1	Тип	Клинова, високий тиск
2	Підключення, мм	350
3	Робочий тиск, МПа	500
4	Температура носія, °С	-196...+565
5	Керуюча напруга, В	~380
6	Потужність споживання, кВт	3,6

Для реалізації автоматичного керування продуктивністю подачі води електрична засувка з поворотним затвором. Використаємо електрозасувку 30ч939р Ду-125 [15].



Рисунок 2.6 - Електрозасувка 30ч939р Ду-125

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики електрозасувки 30ч939р Ду-125

№	Найменування параметра	Значення
1	Тип	Клинова, високий тиск
2	Підключення, мм	125
3	Робочий тиск, МПа	2,5
4	Температура носія, °С	5...+120
5	Керуюча напруга, В	~220
6	Потужність споживання, кВт	0,6

Для керування засувками використаємо трифазне твердотільне реле змінного струму Jotta SSR 10DA / 25DA, 480 В змінного струму, з керуванням 0...24 В постійної напруги, яке будемо використовувати у дискретному режимі керування [16]. У нашому випадку для керування застосуємо трифазне

твердотільне реле Jotta SSR 10DA.



Рисунок 2.7 – Трифазне твердотільне реле Jotta SSR 25DA (3x~380 В, 0...24 В)

На підставі наведеного вище для виконавчих пристроїв, та їх технічних характеристик складена таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Виконавчих пристроїв

№	Назва параметру	Принцип дії	Тип	Діапазон змінення	Лінійність	Період оновлення	Напряга живлення, В	Потужність споживання, Вт
1	Продуктивністю подачі газової суміші поліетилену	Реверсивне ~380 В	Дискретний	0...100 %	Не лінійний	0,1 с	24	2
2	Продуктивністю подачі води	Реверсивне ~380 В	Дискретний	0...100 %	Не лінійний	0,1 с	24	2

### 2.3.3 Вибір пристроїв керування

Відповідно вимогам до підсистеми керування, що розробляється, в якості пристрою керування, треба використовуватися програмований логічний контролер компанії VIPA. Цикл роботи контролера повинен бути не більше 100 мс, для забезпечення необхідної реакції на змінення стану технологічних датчиків. Крім того контролер повинен мати не менш 1 кбайт вільної робочої пам'яті для реалізації програми керування.

Контролер повинен мати модульну структуру, що забезпечить підключення тільки обраного обладнання, та забезпечить легке розширення подальшого функціоналу.

До контролеру повинні бути підключені датчики, які мають уніфікований стандартний тип виходу 4...20 мА – це датчику тиску та температури.

Для керування продуктивністю подачі газової суміші поліетилену та води використані електричні засувки з поворотним затвором, які мають реверсивне дискретне управління положенням засувки продуктивності (площі перетину) 0...100 % з параметрами керування 0; 24 В (0,5 Вт).

Так як підсистема керування технологічним обладнанням повинена інтегруватися у загально-заводську автоматизовану систему керування технологічним обладнанням всього підприємства, то треба мати стандартний послідовний канал зв'язку, визначений раніше - RS-485 з протоколом MODBUS, або мережевий канал Ethernet.

Наведеним вимогам відповідає програмований логічний контролер VIPA 214-2BS33. 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. 2.8). Технічні характеристики контролеру наведені в таблиці 2.7.



Рисунок 2.8 – Програмований логічний контролер VIPA 214-2BS33

Таблиця 2.7 – 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 двох аналогових датчиків, які мають стандартний струмовий сигнал 4...20 мА, обрано модуль аналогового вводу VIPA 231-1BD40, кожних з яких який має по чотири аналогові входи (рис. 2.9). Технічні характеристики модуля наведені в таблиці 2.8.



Рисунок 2.9 – Модуль аналогового вводу VIPA 231-1BD40

Таблиця 2.8 – 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 схеми підключення датчика з типом вихідного сигналу 4...20 мА до модуля аналогового вводу наведена на рисунку 2.10.

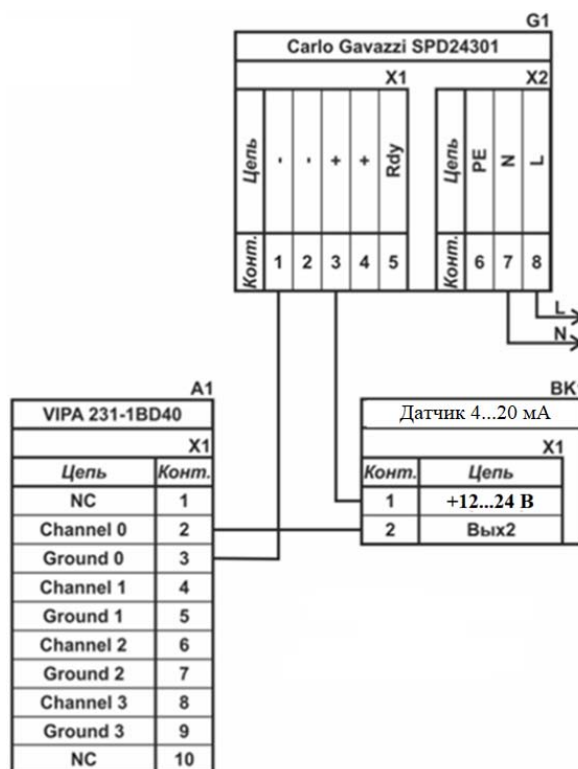


Рисунок 2.10 – Схема підключення датчика з типом вихідного сигналу 4...20 мА

До контролеру повинні бути підключені два дискретних канали керування (тип виходу 0, +24 В) – електрозасувки. Електрозасувки мають реверсивне управління, тому для підключення цих пристроїв треба по два незалежних канали керування для кожної. Для цього обрано модуль дискретного виводу VIPA 222-1BF00 який має вісім каналів (рис. 2.11). Технічні характеристики модуля наведені в таблиці 2.9.



Рисунок 2.13 – Модуль дискретного виводу VIPA 222-1BF00



Таблиця 2.9 – 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 рисунку 2.12.

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.

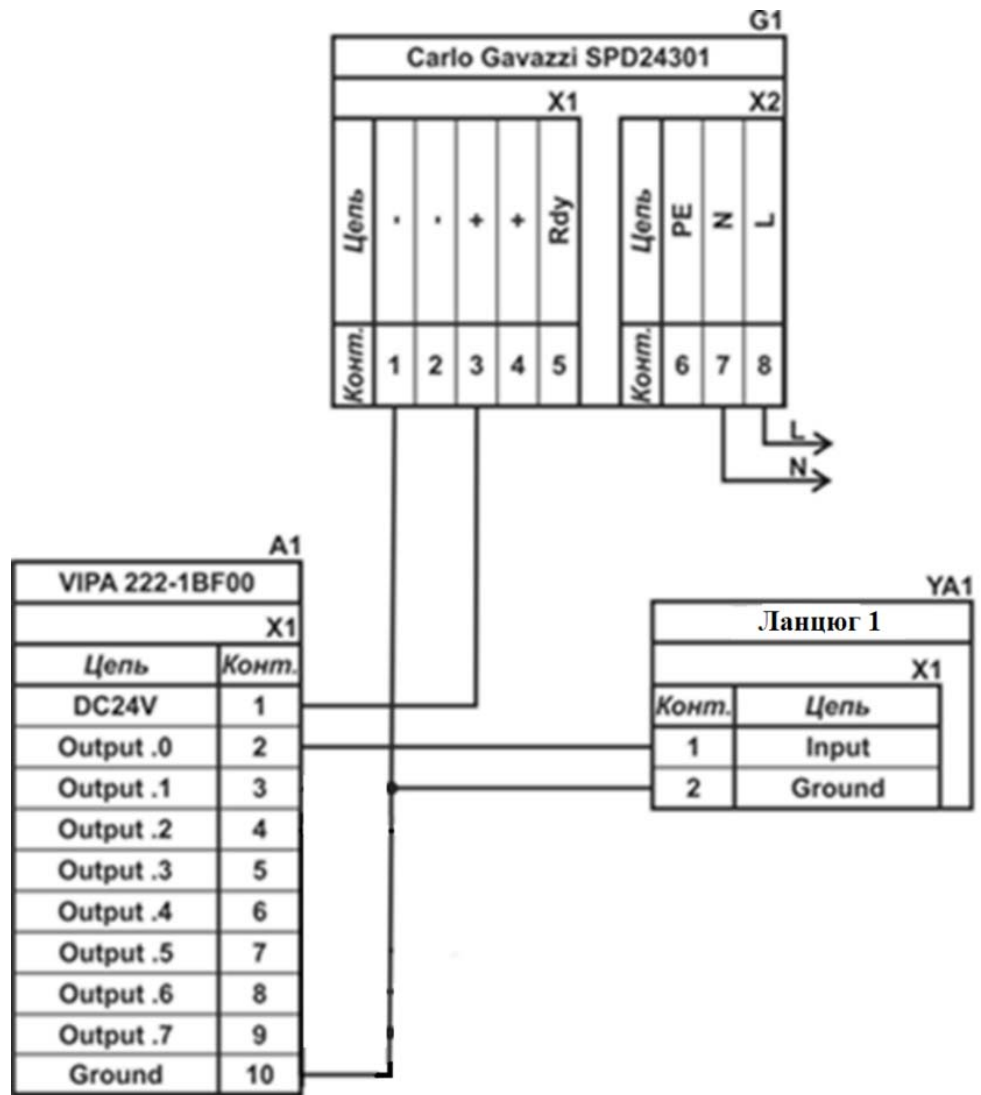


Рисунок 2.12 – Схема підключення дискретних пристроїв узгодження

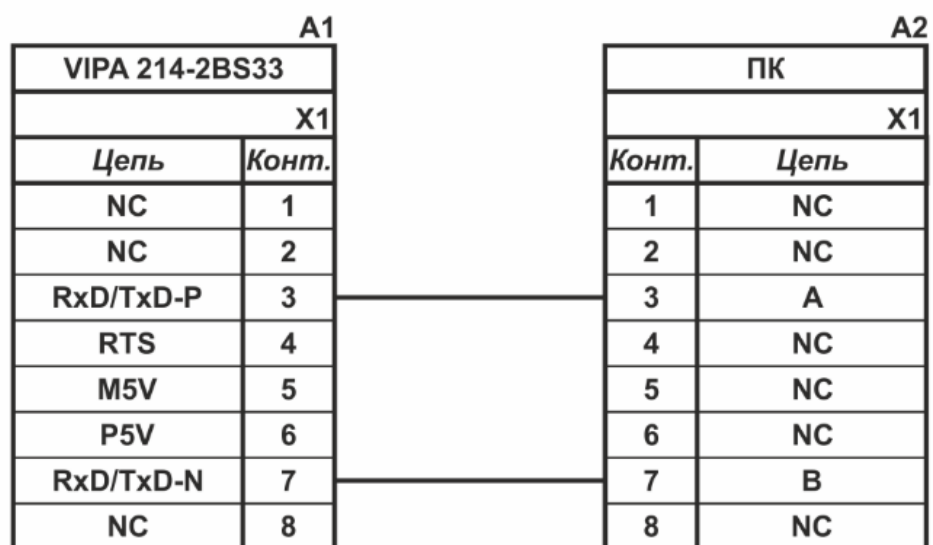


Рисунок 2.13 – Схема підключення по інтерфейсу RS-485

На підставі обраного програмованого логічного контролера та його модулів складена таблиця 2.9.

Таблиця 2.9 – Пристрій керування та його модулі

№	Назва модуля	Пристрій	Напруга живлення	Потужність споживання
1	VIPA 214-2BS33	Центральний процесорний модуль	24 В	5,0 Вт
		Зв'язок - АСК ТП		
2	VIPA 231-1BD40	Модуль аналогового вводу	24 В	0,6 Вт
		Тиску поліетилену на вході	24 В	1,0 Вт
		Тиску поліетилену на виході	24 В	1,0 Вт
		Температура поліетилену на вході	24 В	1,0 Вт
		Температура поліетилену на виході	24 В	1,0 Вт
3	VIPA 232-1BD40	Модуль аналогового виводу	24 В	0,6 Вт
		Тиск води на вході	24 В	1,0 Вт
4	VIPA 222-1BF00	Модуль дискретного виводу	24 В	2,0 Вт
		Електрозасувка поліетилену	24 В	2,0 Вт
		Електрозасувка поліетилену	24 В	2,0 Вт

### 2.3.4 Вибір джерел живлення

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

$$P = 5,0 + 1 * 0,6 + 1 * 2,0 = 7,6 \text{ Вт.} \quad (2.1)$$

Виходячи з потужності споживання контролеру та його модулів у якості джерела живлення обрано блок живлення SPD24301 з вихідною напругою +24 В та потужністю 30 Вт (рис. 2.14). Технічні характеристики блока живлення наведені в таблиця 2.10.



Рисунок 2.14 – Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301

Таблиця 2.10 – 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 2.11.

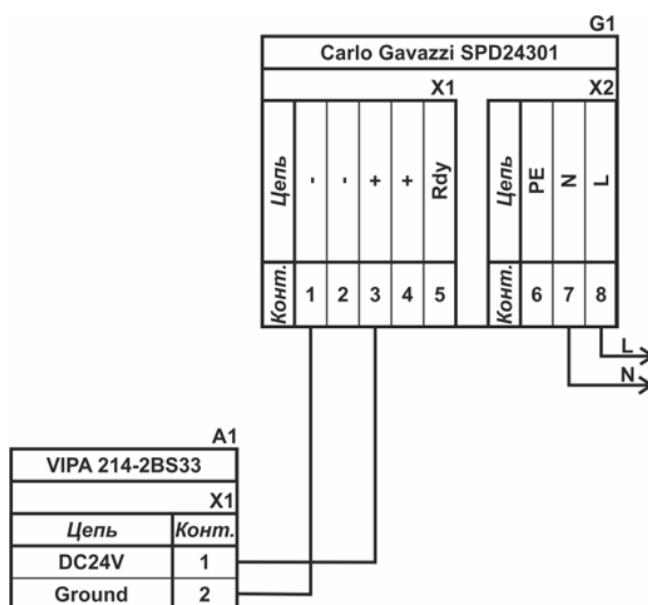


Рисунок 2.11 – Схема підключення програмованого логічного до блока живлення

Виконавши аналіз обраного обладнання можливо зробити вивід, що зовнішній блок живлення потрібен для чотирьох датчиків: тиску повітря, температури повітря, рівнів конденсату - нижнього та верхнього та трьох дискретних каналів керування – клапани скидання тиску, передачі насиченої пари, насосу видалення конденсату, та двох аналогових сигналів - перегріта пара, тиск перегрітої пари. Таким чином потужність споживання за напругу живлення +24 В становитиме:

$$P = 5 * 1,0 + 2 * 2,0 = 9,0 \text{ Вт.} \quad (2.2)$$

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.

## 2.4 Розробка функціональної схеми автоматизації

Виходячи з вимог до підсистеми керування технологічним обладнанням - холодильником зворотного етилену проміжного тиску серії КАЕ-250-300 розроблена функціональна схема автоматизації, яка наведена на рисунку 2.12.

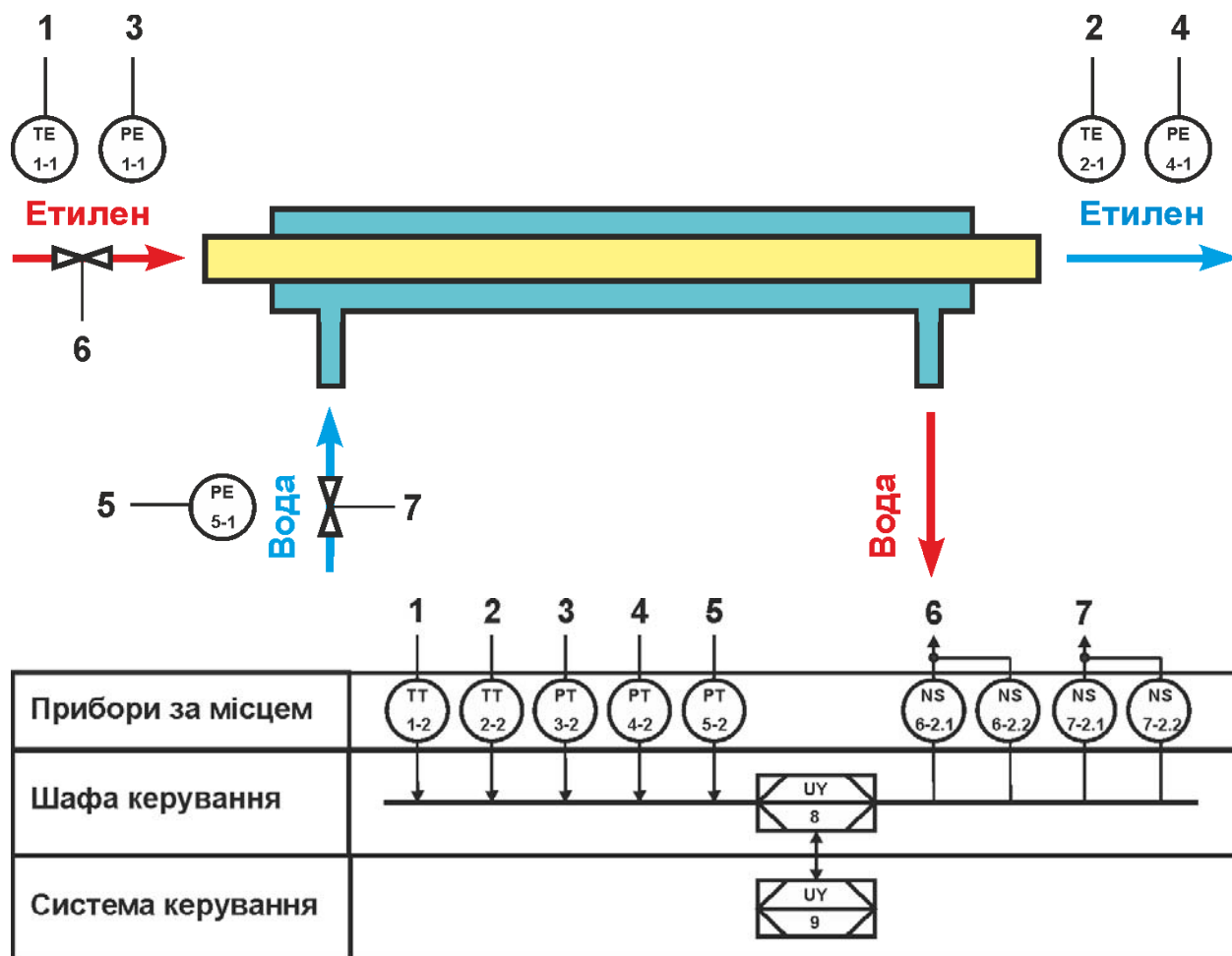


Рисунок 2.12 – Функціональна схема автоматизації КАЕ-250-300

У якості пристрою керування використовується програмований логічний контролер (UY 8) - VIPA 214-2BS33. Програмований логічний контролер підключено до технологічного обладнання АСУ ТП, за що відповідає система автоматизації більш високого рівня (UY 9), зв'язок між ними реалізовано за допомогою інтерфейсу RS-485.

Для вимірювання температури використовуються датчики (ТЕ 1.1, ТЕ 2.1 - Т.ХА-420-Кл1-1) та перетворювачів 4...20 мА (ТТ 1.2, ТТ 2.2, - Т.ХА-420-Кл1-1).

Для вимірювання тиску використовуються датчики (РЕ 3-1, РЕ 4-1, РЕ 5-1, - MBS 3000) та перетворювачі 4...20 мА (РТ 3-2, РТ 4-2, РТ 5-2, - MBS 3000).

На підставі отриманих первинних значень з відповідних датчиків програмований логічний контролер (UY 10 - VIPA 214-2BS33) формує керуючі впливи по підтримці заданого режиму роботи.

Для керування продуктивністю подачі етилену та води використовуються електрозасувки, для реверсивним керування якими використовуються трифазні твердотільні реле (NS-6.1, NS-6.2, NS-7.1, NS-7.2 - Jotta SSR 25D).

## **2.5 Розробка схеми електричної принципової**

На основі функціональної схеми автоматизації та обраного апаратного забезпечення розроблена схема електрична принципова підсистеми керування технологічним обладнанням - холодильником зворотного етилену проміжного тиску серії КАЕ-250-300 (рис. 2.13).

В підсистемі 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 аналогового виводу VIPA 232-1BF00 (A1 - X5), к усім п'яти датчикам тиску та температури (ВК1...ВК5).

Чотири аналогових датчика підключені до модулю аналогового вводу VIPA 231-1BD40 (A1 - X3) до каналів 0...3 за допомогою стандартного сигналу 4...20 мА - для аналогових датчиків.

Один аналоговий датчик підключені до модулю аналогового вводу VIPA 231-1BD40 (A1 - X1) до каналу 0 за допомогою стандартного сигналу 4...20 мА - для аналогових датчиків.

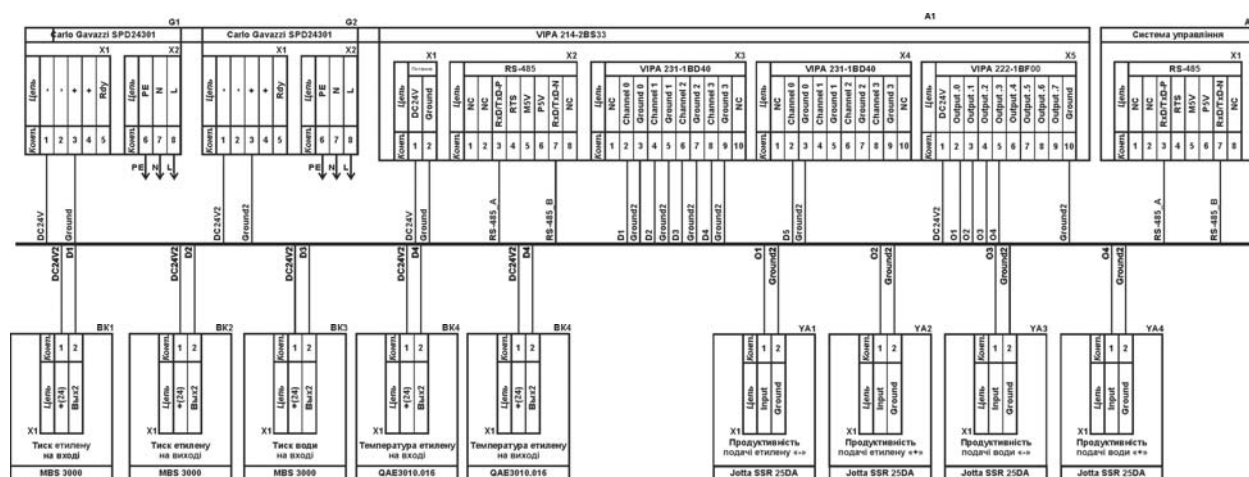


Рисунок 2.13 – Схема електрична принципова підсистеми керування

Для керування електросасувками продуктивності подачі етилену YA1, YA2 та продуктивності подачі етилену YA3, YA4 використовується модуль дискретного виводу VIPA 232-1BD00 (A1 – X5), керування YA1...YA4 здійснюється каналами каналів 0...3.

Зв'язок між програмованим логічним контролером VIPA 214-2BS33 (A1) та АСК ТП верхнього рівня (A2) реалізовано за допомогою інтерфейсу RS-485 (A1 – X2).

## 2.6 Висновки за розділом

У якості об'єкта керування виступає холодильник зворотного етилену проміжного тиску серії KAE-250-300.

У цьому розділі вибрано апаратно-програмні засоби для створення підсистеми керування, розроблена функціональна схема автоматизації, розроблена схема принципова підсистеми керування, складено перелік елементів до схеми електричної принципової.

### 3 ВИЗНАЧЕННЯ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

У кваліфікаційній роботі, в якості об'єкту керування технологічним обладнанням з виготовлення поліетилену високого тиску, обрано холодильник зворотного етилену проміжного тиску, серії КАЕ-250-300.

Одним з головних технологічних елементів виготовлення поліетилену високого тиску є холодильники охолодження зворотного етилену проміжного та низького тиску. Від їх стабільної роботи залежить якість кінцевої продукції і безпека виробництва.

Не прореагований (зворотний) етилен, відокремлений від поліетилену в сепараторах середнього і низького тиску, охолоджується і очищається від низькомолекулярного поліетилену, що міститься в ньому. Поліетилен міститься в етилену у вигляді дрібних крапельок, що переносяться потоком газу з сепараторів і в розчиненому вигляді.

Розчинність поліетилену при заданій температурі визначається його молекулярною масою: чим нижче молекулярна маса, тим вище розчинність.

Технологія очищення заснована на охолодженні, яка знижує розчинність поліетилену, і він виділяється з газу, і спочатку виділяються більш молекулярно-вагові фракції поліетилену. Температура знижується крок за кроком для забезпечення оптимальних умов для осадки і зливу поліетилену з системи охолодження.

По мірі охолодження в холодильнику, з газу виділяється поліетилен, який періодично скидається з сепаратора для кінцевої переробки у готову продукцію на подальшу технологічну ланку, а очищений і охолоджений етилен надходить на всмоктування компресора реакційного тиску для подачі його для повторної переробки у реакторі.

При значному коливанні охолодженого поліетилену у часі він може прилипати до стінок холодильника. Це збільшує падіння тиску в зворотній газовій системі і погіршує тепловіддачу, що викликає підвищення температури зворотного газу. Висока температура газу, що надходить в стиснення, знижує



продуктивність компресорів. Тому питання стабільної роботи холодильника є дуже важливим.

Технічні параметри холодильнику зворотного етилену проміжного тиску серії КАЕ-250-300 наступні:

– вхідна температура газової суміші етилену, °С:	260...280;
– вихідна температура етилену, °С:	30...40;
– тиск газової суміші поліетилену, МПа:	200...250;
– об'єм газової суміші поліетилену, м <sup>3</sup> /хв:	70...75;
– продуктивність поліетилену, кг/хв:	220...240;
– об'єм води, м <sup>3</sup> /хв	8...16;
– тиск води, МПа	1,5...2,5.

Згідно принципу роботи об'єкту керування - холодильнику проміжного етилену проміжного тиску серії КАЕ-250-300, обрано канал керування «витрати води → температура етилену».

Таким чином до контуру керування холодильником входить клапан подачі охолоджувального агенту у холодильник (води), та датчик температури етилену на виході холодильнику.

Кількість охолоджувального агенту - води, яка подається в холодильник, регулюється клапаном в залежності від поточної температури газу на виході холодильника. Чим вище температура газу, тим більше треба витрат охолоджувальної води.

Отже для визначення параметрів в моделі об'єкту керування – холодильнику зворотного етилену проміжного тиску, серії КАЕ-250-300, за керуючий вплив обрано витрати води, а дійсним значенням - температура етилену на виході з холодильнику.

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

Система дослідження призначена для збору інформації про об'єкт керування. Основними функціями системи є формування, або 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, в якості об'єкту керування, обрано холодильник зворотного етилену проміжного тиску, серії КАЕ-250-300, з метою побудови підсистеми керування за обраним каналом керування «витрати води → температура етилену».

Згідно з завданням та розробленим апаратним забезпеченням підсистеми, до контуру керування входить холодильник серії КАЕ-250-300, а в якості пристрою керування обрано програмований логічний контролер VIPA 214-2BS33 з цифровим каналом передачі даних типу RS-485, який необхідний для забезпечення інформаційного зв'язку з іншими системами автоматизації.

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

Виходячи з цього розроблена структурна схема інформаційних потоків дослідницької системи, яка наведена на рисунку 3.1.

Згідно зі структурною схемою, система дослідження може формувати керуючий вплив, в якості якого виступають витрати води, за рахунок чого виконується охолодження етилену. Витрати води можуть змінюватися у межах діапазону 8...16 м<sup>3</sup>/хв., а номінальна температура етилену, очікується в межах діапазону температур 30...40 °С.

Програмований логічний контролер виконує керування активним експериментом з метою отримання необхідних даних для побудови математичної моделі холодильнику зворотного етилену проміжного тиску, серії КАЕ-250-300, за обраним каналом керування «витрати води → температура етилену».

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

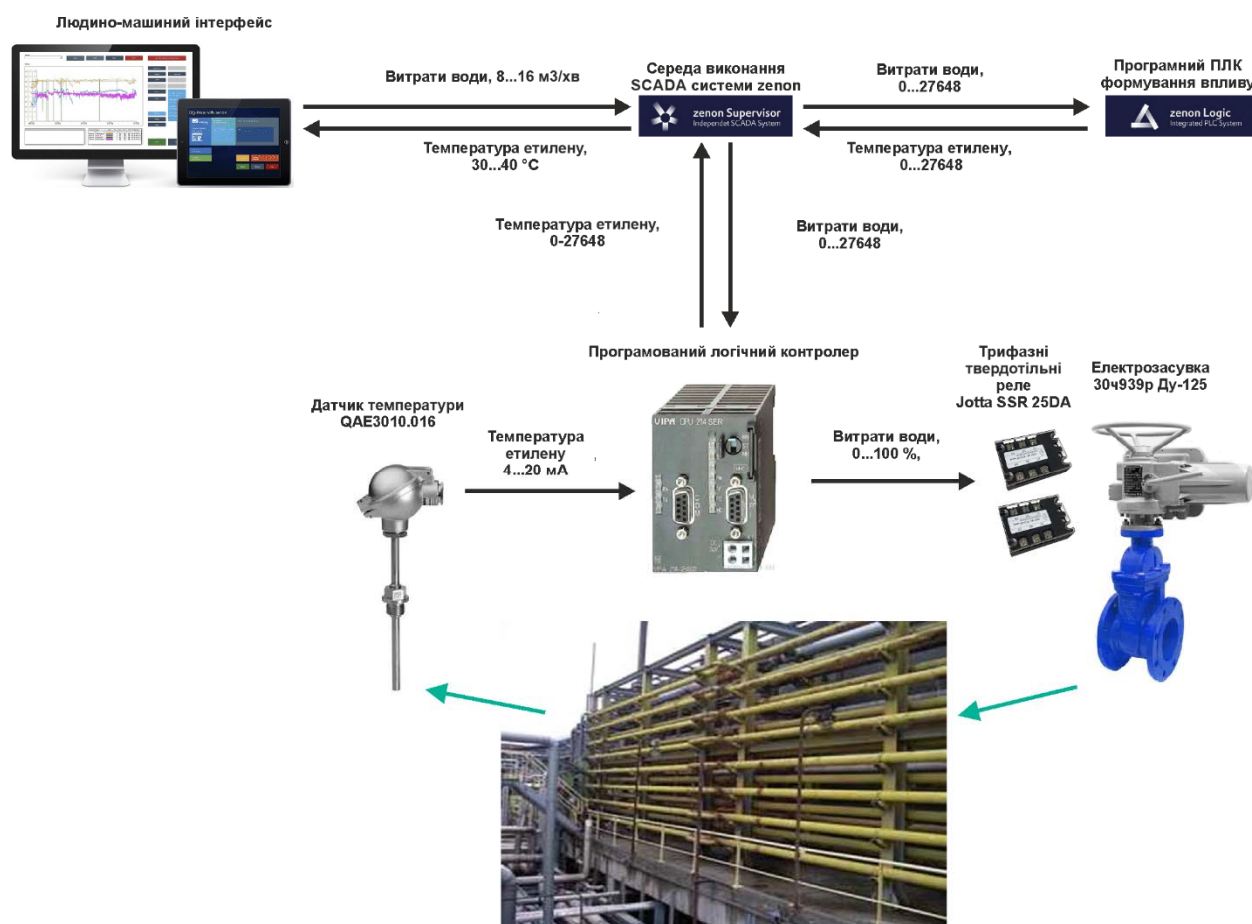


Рисунок 3.1 – Структурна схема інформаційних потоків дослідницької системи

### 3.2 Розробка методики дослідження об'єкта керування

Система дослідження дозволяє формування різноманітних керуючих впливів, та поданнях їх на підсистему керування холодильником зворотного етилену проміжного тиску, серії КАЕ-250-300. 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 перевіірочні данні. Виходячи з цього складено план експерименту:

1. Налаштувати систему дослідження.
2. Отримати динамічну характеристику.
  - 2.1. Привести об'єкт керування до початкових умов, дочекатися досягнення усталеного режиму – керуючий сигнал дорівнює мінімальному значенню.
  - 2.2. Запустити процес реєстрування.
  - 2.3. Задати керуючий сигнал на рівні 100 %, дочекатися досягнення усталеного режиму.
  - 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. Запустити процес реєстрування.
  - 3.3. Задати керуючий сигнал на рівні 0 %, дочекатися досягнення усталеного режиму.
  - 3.4. Задати керуючий сигнал на рівні 20 %, дочекатися досягнення усталеного режиму.
  - 3.5. Задати керуючий сигнал на рівні 40 %, дочекатися досягнення усталеного режиму.
  - 3.6. Задати керуючий сигнал на рівні 60 %, дочекатися досягнення усталеного режиму.
  - 3.7. Задати керуючий сигнал на рівні 80 %, дочекатися досягнення усталеного режиму.
  - 3.7. Задати керуючий сигнал на рівні 100 %, дочекатися досягнення усталеного режиму.
  - 3.8. 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 сигнал на рівні 100 %, дочекатися досягнення усталеного режиму.

4.4. Задати керуючий сигнал на рівні 0 %, дочекатися досягнення усталеного режиму.

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 керуючий вплив таким чином, щоб період зміни впливу бажано був у п'ять разів менший за час перехідного процесу та плюс два інтервали затримки, а амплітуда впливу змінювалася (бажано випадково) в дискретно на рівні 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 десяти перехідних процесів.

5.6. Зупинити процес реєстрації.

### **3.3 Виконання експерименту**

Мінімальна температура етилену на виході холодильника становить близько 30 °С при максимально можливій витраті води 16 м<sup>3</sup>/хв., яка використовується для охолодження етилену.

Максимальна температура етилену на виході холодильника має бути близько 40 °С при мінімально можливій витраті води 8 м<sup>3</sup>/хв., яка використовується для охолодження етилену. Таким чином керуючий сигнал змінюється в межах 0...8 м<sup>3</sup>/хв. (0...100 %).

Враховуючи властивості об'єкту керування – регулювання охолодженням здійснюється на вході холодильника, а вимірювання температури на виході і значну конструктивну протяжність холодильника, то очевидно буде присутнє значне транспортне запізнення, яке складатиме з десятків хвилин. При дослідженні властивостей об'єкту керування слід звернути на це особливу увагу.

На першому етапі проведення експерименту виконано налаштування системи дослідження таким чином, що керуючий вплив може знаходитися

дискретно в діапазоні 0; 100 %, а фактичне значення 0; 8 м<sup>3</sup>/хв, що забезпечується відповідним керуванням засувки подачі води.

На другому етапі було виконано отримання динамічної характеристики об'єкта керування (рис. 3.2).

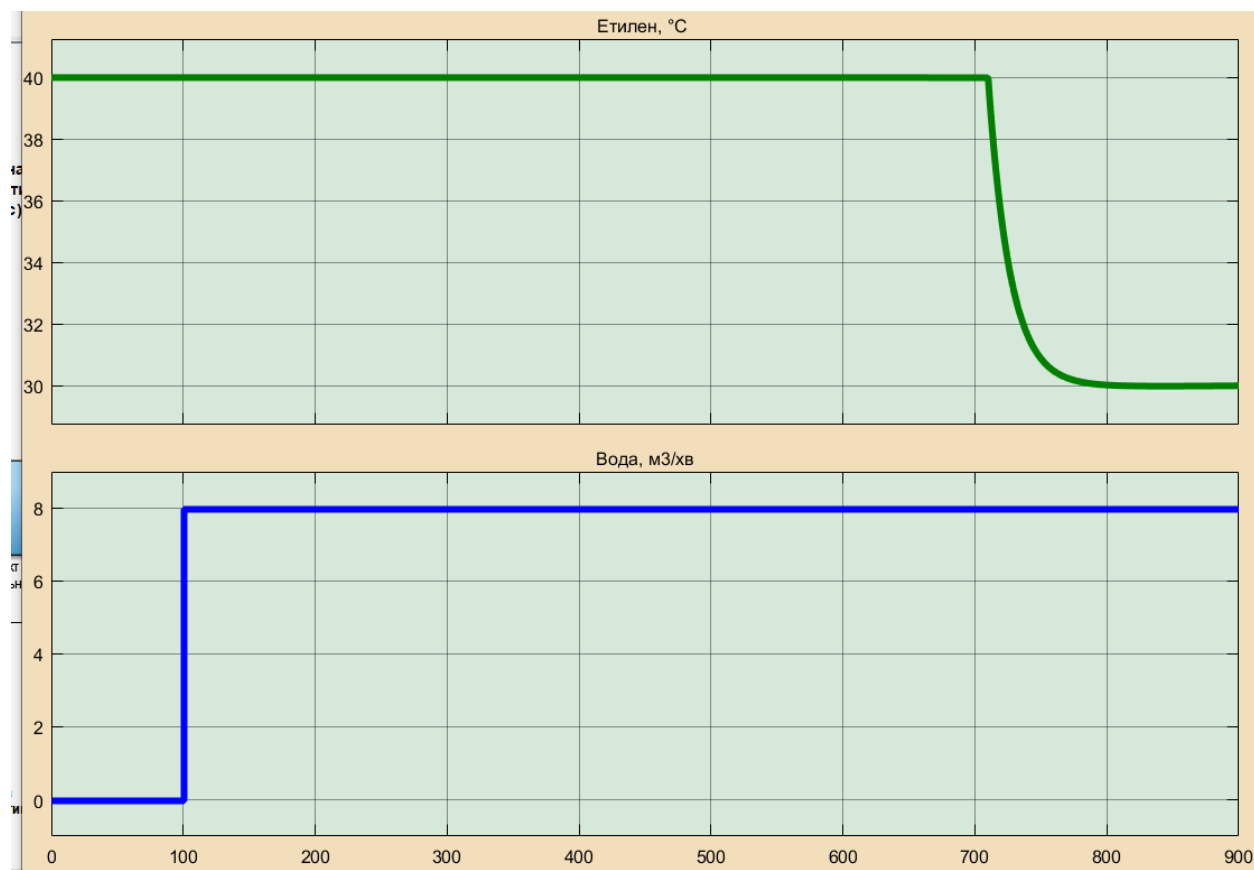


Рисунок 3.2 – Отримання динамічної характеристики

Для цього було встановлено керуючий сигнал 0 м<sup>3</sup>/хв (0 %). Після досягнення усталеного режиму – температура етилену 40 °С, керуючий сигнал було встановлено на 8 м<sup>3</sup>/хв (100 %). Після досягнення усталеного режиму – температури етилену близько 30 °С експеримент було закінчено.

На третьому етапі було виконано отримання даних для побудови статичної характеристики (рис. 3.3).

Для цього було встановлено керуючий сигнал 0 м<sup>3</sup>/хв (0 %).

Після досягнення усталеного режиму керуючий сигнал було встановлено на значення 1,6 м<sup>3</sup>/хв (20 %).

Після досягнення усталеного режиму керуючий сигнал було встановлено на значення 3,2 м<sup>3</sup>/хв (40 %).

Після досягнення усталеного режиму керуючий сигнал було встановлено на значення  $4,8 \text{ м}^3/\text{хв}$  (60 %).

Після досягнення усталеного режиму керуючий сигнал було встановлено на значення  $6,4 \text{ м}^3/\text{хв}$  (80 %).

Після досягнення усталеного режиму керуючий сигнал було встановлено на значення  $8,0 \text{ м}^3/\text{хв}$  (100 %).

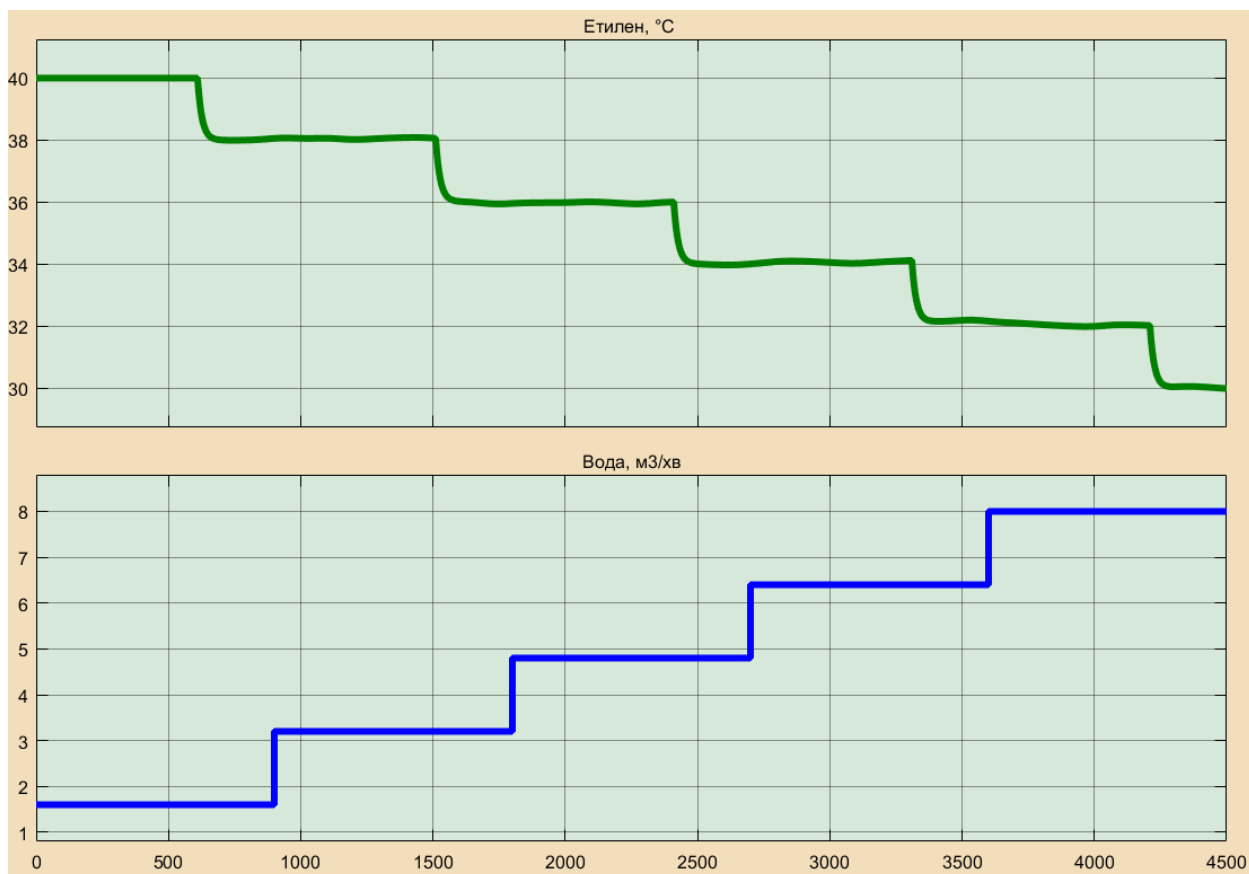


Рисунок 3.3 – Отримання даних для побудови статичної характеристики

Після досягнення усталеного режиму експеримент було закінчено.

На четвертому етапі було виконано отримання даних П-образному керуючому впливі (рис. 3.4). Для цього було встановлено керуючий вплив на значення  $0 \text{ м}^3/\text{хв}$  (0 %). Після досягнення усталеного режиму було встановлено керуючий вплив на значення  $8,0 \text{ м}^3/\text{хв}$  (100 %). Після досягнення усталеного режиму було встановлено керуючий вплив на значення  $0 \text{ м}^3/\text{хв}$  (0 %). Після досягнення усталеного режиму експеримент було закінчено.

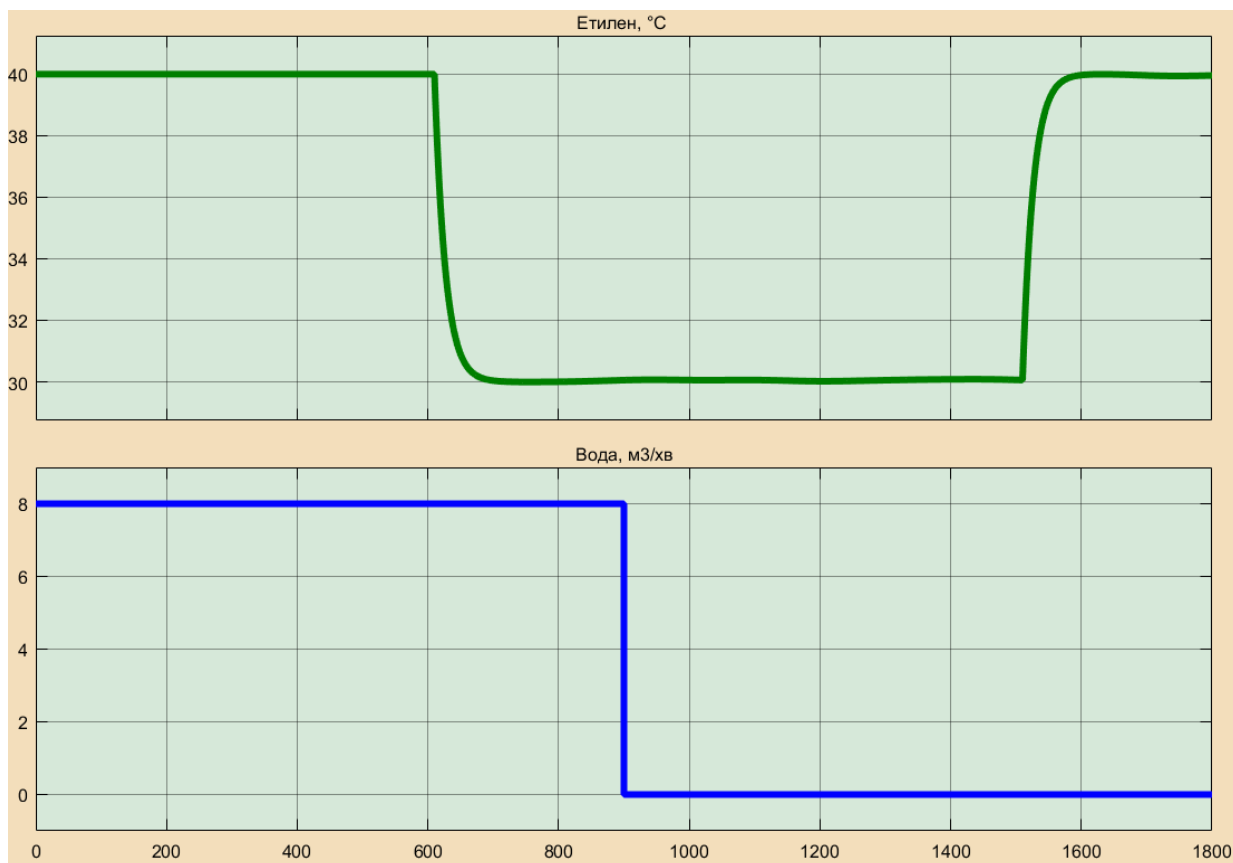


Рисунок 3.4 – Отримання даних при П-образному керуючому впливі

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

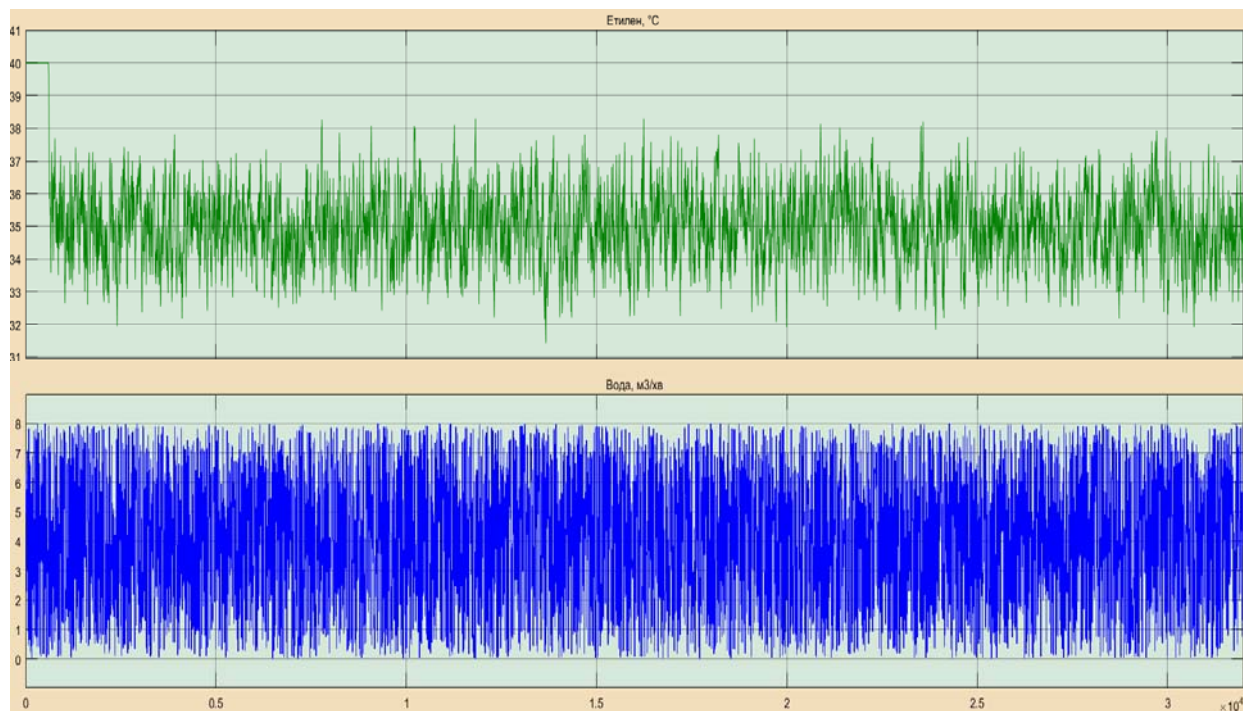


Рисунок 3.5 – Отримання перевірочних даних

Для цього було встановлено керуючий вплив на значення  $0 \text{ м}^3/\text{хв}$  (0 %). Після досягнення усталеного режиму було встановлено керуючий вплив на



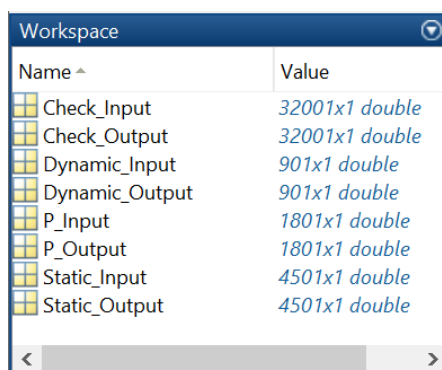
випадкову в діапазоні  $0 \dots 8,0 \text{ м}^3/\text{хв}$  ( $0 \dots 100 \%$ ), з інтервалом зміни  $5 \text{ с}$  (з попереднього аналізу рисунку 3.2 маємо - перехідний процес приблизно  $70 \dots 100 \text{ с}$ , тобто постійна часу близько  $(70 \dots 100) / 5 = \sim 15 \dots 20 \text{ с}$ , затримка  $\sim 600 \text{ с}$ ), а сама реєстрація відбувалася на протязі  $32\ 000 \text{ с}$ .

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.

### 3.4 Обробка результатів експерименту

#### 3.4.1 Підготовка даних

Дані отримані в SCADA системі zenon було імпортовано до математичного пакета MATLAB з метою подальшої обробки (рис. 3.6). 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.



Name ^	Value
Check_Input	32001x1 double
Check_Output	32001x1 double
Dynamic_Input	901x1 double
Dynamic_Output	901x1 double
P_Input	1801x1 double
P_Output	1801x1 double
Static_Input	4501x1 double
Static_Output	4501x1 double

Рисунок 3.6 – Імпортовані дані

Для спрощення подальшого аналізу дані були конвертовані до об'єктів типу "iddata":

```
Dynamic_Raw=iddata(Dynamic_Output, Dynamic_Input, 1);
Static_Raw=iddata(Static_Output, Static_Input, 1);
P_Raw=iddata(P_Output, P_Input, 1);
Check_Raw=iddata(Check_Output, Check_Input, 1);
```

З отриманих даних була видалена статична складова:

```

offset_DO = max(Dynamic_Raw.OutputData);
trend = getTrend(Dynamic_Raw);
trend.OutputOffset = offset_DO;
Dynamic = detrend(Dynamic_Raw, trend);

offset_SO = max(Static_Raw.OutputData);
trend = getTrend(Static_Raw);
trend.OutputOffset = offset_SO;
Static = detrend(Static_Raw, trend);

offset_PO = max(P_Raw.OutputData);
trend = getTrend(P_Raw);
trend.OutputOffset = offset_PO;
P = detrend(P_Raw, trend);

offset_CO = max(Check_Raw.OutputData);
trend = getTrend(Check_Raw);
trend.OutputOffset = offset_CO;
Check = detrend(Check_Raw, trend);

```

На рисунку 3.7 показані результати з видалення статичної складової для динамічної, статичної, П-образної та перевірочної характеристик.

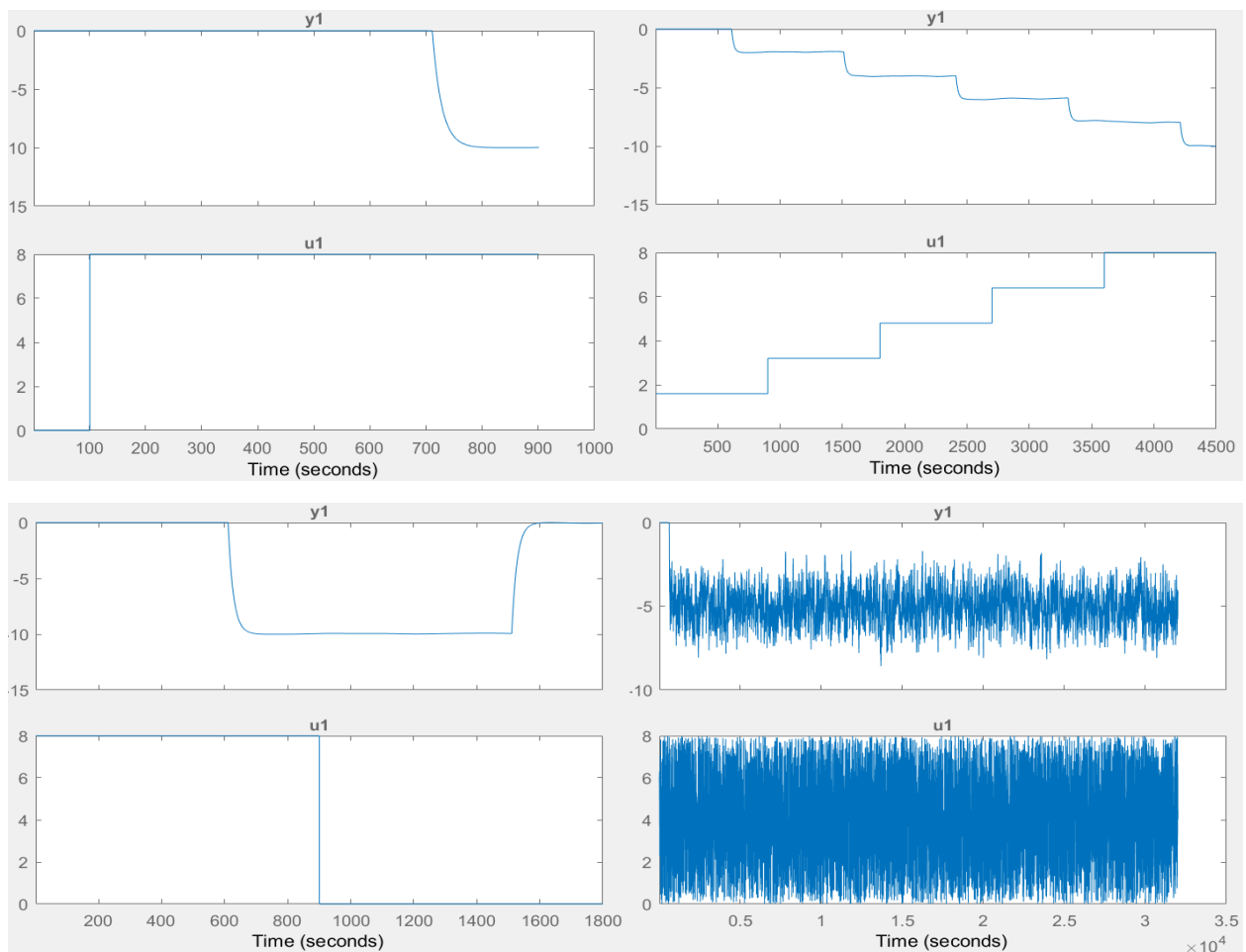


Рисунок 3.7 – Динамічна, статична, П-образна та перевірочна характеристики з видаленими статичними складовими

### 3.4.2 Структурна ідентифікація

З метою оцінки структури моделі об'єкта керування проаналізуємо динамічну характеристику об'єкта керування (рис. 3.8).

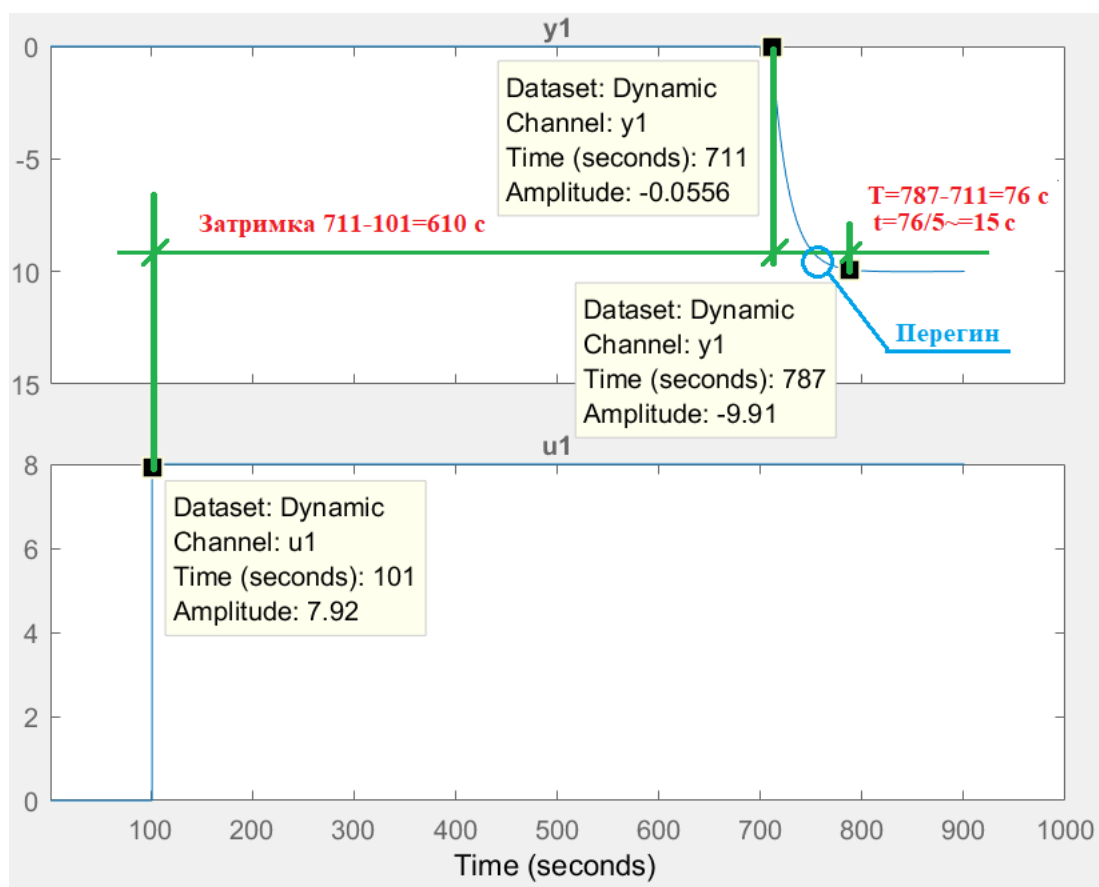


Рисунок 3.8 – Динамічна характеристика

Проаналізуємо об'єкт керування на лінійність для цього побудуємо його

Після подачі керуючого впливу - витрати води  $8,0 \text{ м}^3/\text{хв}$  (100 %) вихідний сигнал - температура етилену не зразу змінюється, виходячи з цього можливо зробити висновок, що об'єкт володіє значним запізненням приблизно 610 с, в основному це пов'язано конструктивними особливостями холодильника (велика протяжність труби - від початку дії керуючого впливу до контролю його впливу, вкінці труби, де встановлено датчик температури існує значна транспортна затримка).

Крім того на динамічній характеристиці відсутня інерція, характер перехідного процесу монотонний, а кількість перегинів дорівнює одному, час перехідного процесу  $\sim 76$  с, постійна часу  $\sim 15$  с. На підставі цього можливо

зробити висновок, що модель об'єкта керування може бути представлена у вигляді аперіодичної ланки першого порядку з запізненням.

Проаналізуємо об'єкт керування на лінійність для цього побудуємо його статичну характеристику, з урахуванням видалених постійних складових (рис. 3.9).

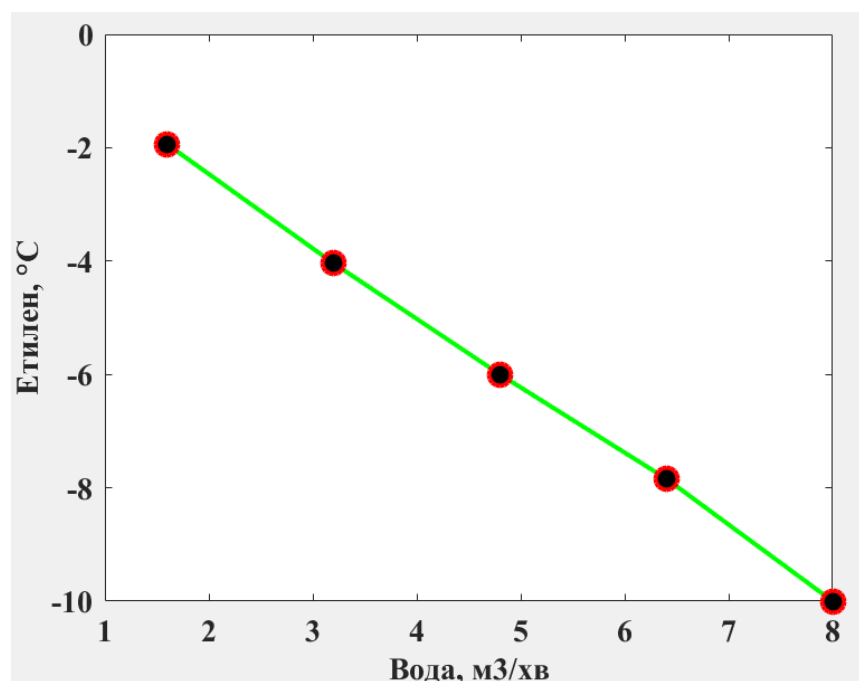
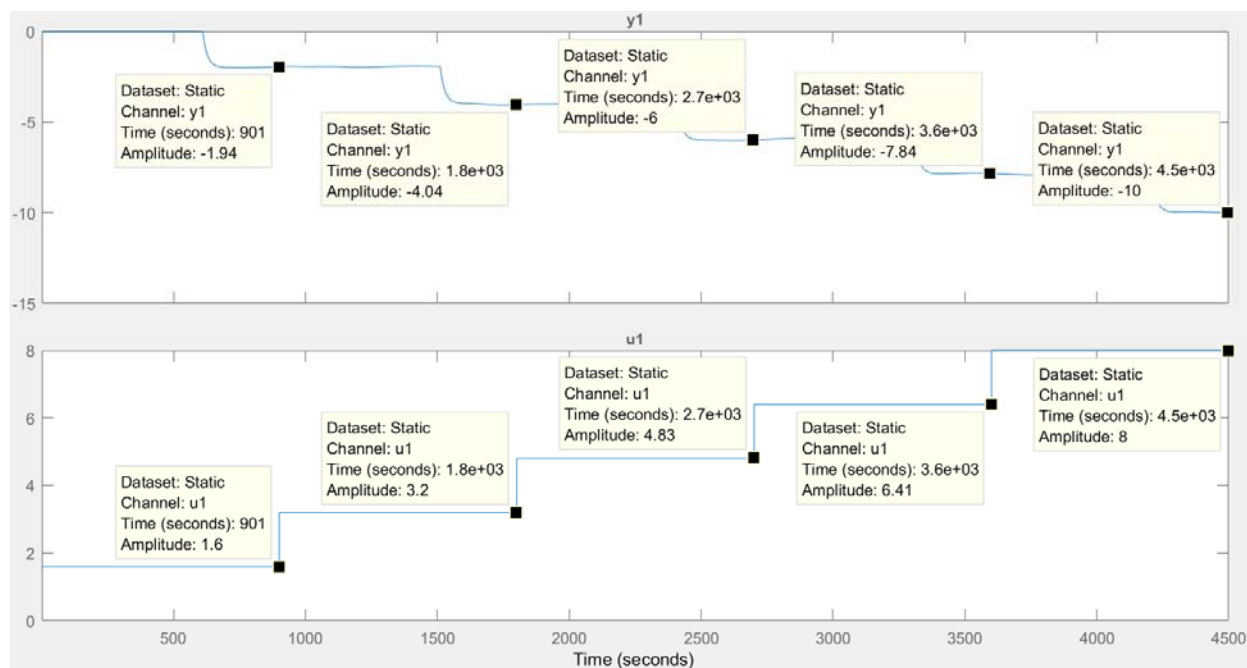


Рисунок 3.9 – Статична характеристика

```

YO = offset_SO;
YI = 0.8;
Static_Out = [-1.94, -4.04, -6.0, -7.84, -10.0];
Static_In = [ 1.6, 3.2, 4.8, 6.4, 8.0];

```

```

figure('Name', 'Статична характеристика');
plot(Static_In, Static_Out, 'LineWidth', 2.0, 'Color', 'g',...
     'Marker', 'o', 'MarkerSize', 10.0, 'MarkerEdgeColor', 'r',...
     'MarkerFaceColor', 'k');
xlabel('Вода, м3/хв');
ylabel('Етилен, °C');
set(findall(gcf, '-property', 'FontSize'), 'FontSize', 14);
set(findall(gcf, '-property', 'FontName'), 'FontName', 'Times New Roman');
set(findall(gcf, '-property', 'FontWeight'), 'FontWeight', 'bold');

```

Для перевірки статичної характеристики на лінійність розраховано коефіцієнти посилення для усіх потужностей крім нульової:

```
>> Static_Gain = Static_Out(2 : end) ./ Static_In(2 : end)
```

Максимальне відхилення коефіцієнту підсилення

```

Static_Gain_min = min(Static_Gain);
Static_Gain_max = max(Static_Gain);
Static_Gain_Compare = abs((Static_Gain_min - Static_Gain_max) /
Static_Gain_max * 100);
fprintf('\nМаксимальне відхилення коефіцієнту підсилення: %.2f %%\n\n',
Static_Gain_Compare);
Static_Gain =
-1.2125 -1.2625 -1.2500 -1.2250 -1.2500
Максимальне відхилення коефіцієнту підсилення: 4.12 %

```

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. 3.10). Як видно з рисунку, збільшення тиску з 0 м<sup>3</sup>/хв (0 %) до -8,0 м<sup>3</sup>/хв (100 %) приводить до зменшення температури з 0 °С до -10 °С, а відповідне зменшення цього ж тиску з 8,0 м<sup>3</sup>/хв (100 %) до 0 м<sup>3</sup>/хв (0 %), приводить до відповідного збільшення температури з -10 °С до 0 °С. 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. 3.10):

```

nRiseStart = find(P.InputData ~= 0, 1, 'first');
nRiseStop = find(P.InputData ~= 0, 1, 'last');

```

```

nFallStart = nRiseStop + 1;
nFallStop = length(P.InputData);

P_Rise = P.OutputDat(nRiseStart : nRiseStop);
P_Fall = P.OutputDat(nFallStart : nFallStop);

if (length(P_Rise) > length(P_Fall))
    P_Rise = P_Rise(1 : length(P_Fall));
else
    P_Fall = P_Fall(1 : length(P_Rise));
end

figure('Name', 'Аналіз симетричності П-характеристики');
hold('on');
plot(P_Rise, 'LineWidth', 4.0, 'Color', [0.75,0.5,0.25]);
plot(P_Fall, 'LineWidth', 4.0, 'Color', 'g');
hold('off');
xlabel('Час, с');
ylabel('Етилен, °C');set(findall(gcf, '-property', 'FontSize'),
'FontSize', 14);
set(findall(gcf, '-property', 'FontName'), 'FontName', 'Times New Roman');
set(findall(gcf, '-property', 'FontWeight'), 'FontWeight', 'bold');

```

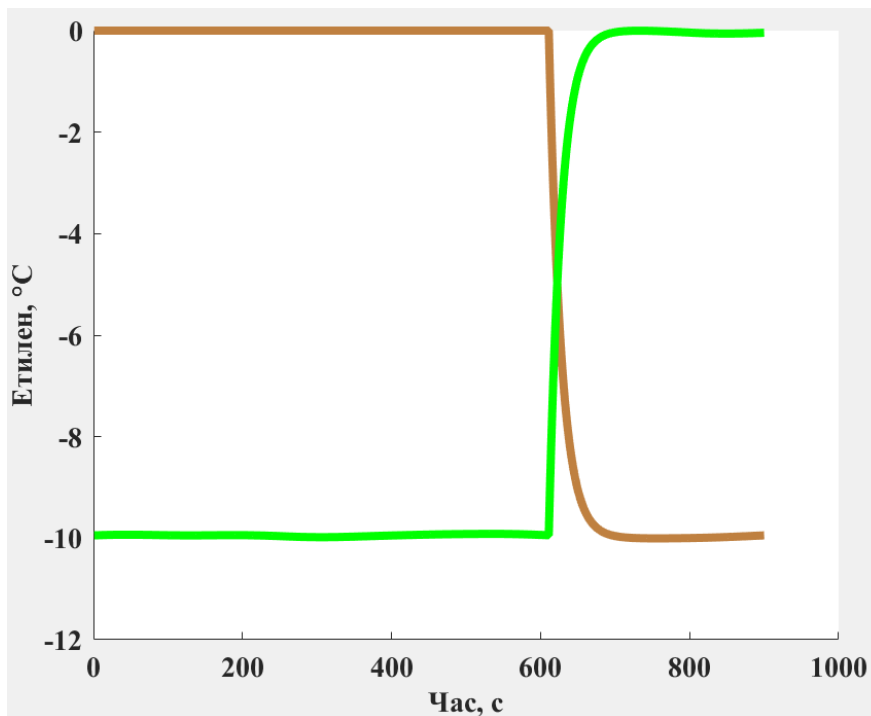


Рисунок 3.10 – Аналіз симетричності характеристика при П-образному керуючому впливі

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

```

compareRiseFall = abs(1 - (std(P_Fall) / std(P_Rise))) * 100;
fprintf('\nПорівняння ділянок підйому та спаду: %.2f %%\n\n',
compareRiseFall);

```

Порівняння ділянок підйому та спаду: 0.66 %

За отриманою П-характеристикою при аналізі симетричності середнє квадратичне відхилення менше ніж величина технічної похибки 10 %. Тобто можна стверджувати, що час перехідного процесу, форма та стандартне 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 з запізненням:

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

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

$s$  – оператор диференціювання;

$k$  – коефіцієнт посилення;

$\tau$  – час запізнення, с;

$T$  – постійна часу, с.

### 3.4.3 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. 3.11) імпортувалися підготовлені дані без статичної складової – «Dynamic». Дані динамічної характеристики використовувалися для розрахунку параметрів моделі об'єкта керування, а перевіірочні 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. 3.12.

Перевірка результатів розрахунків наведена на рис. 3.12 та в табл. 3.1.

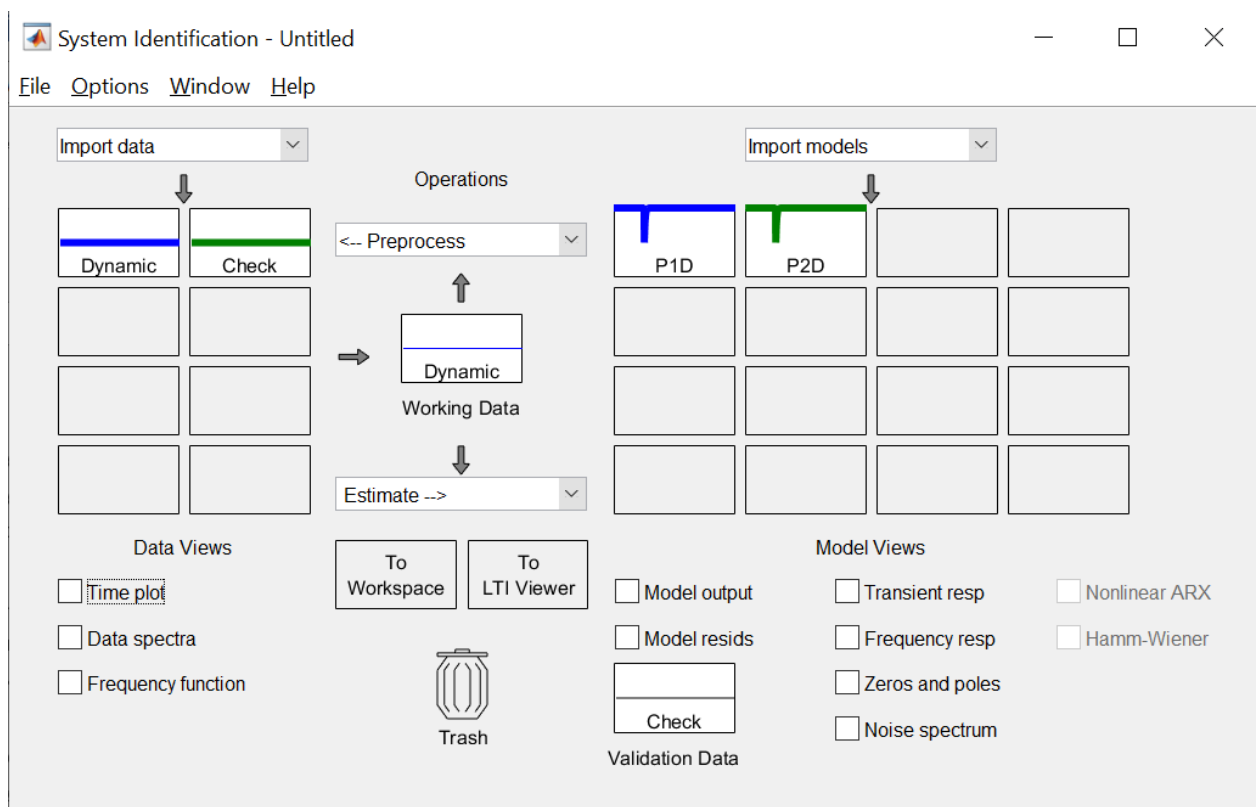
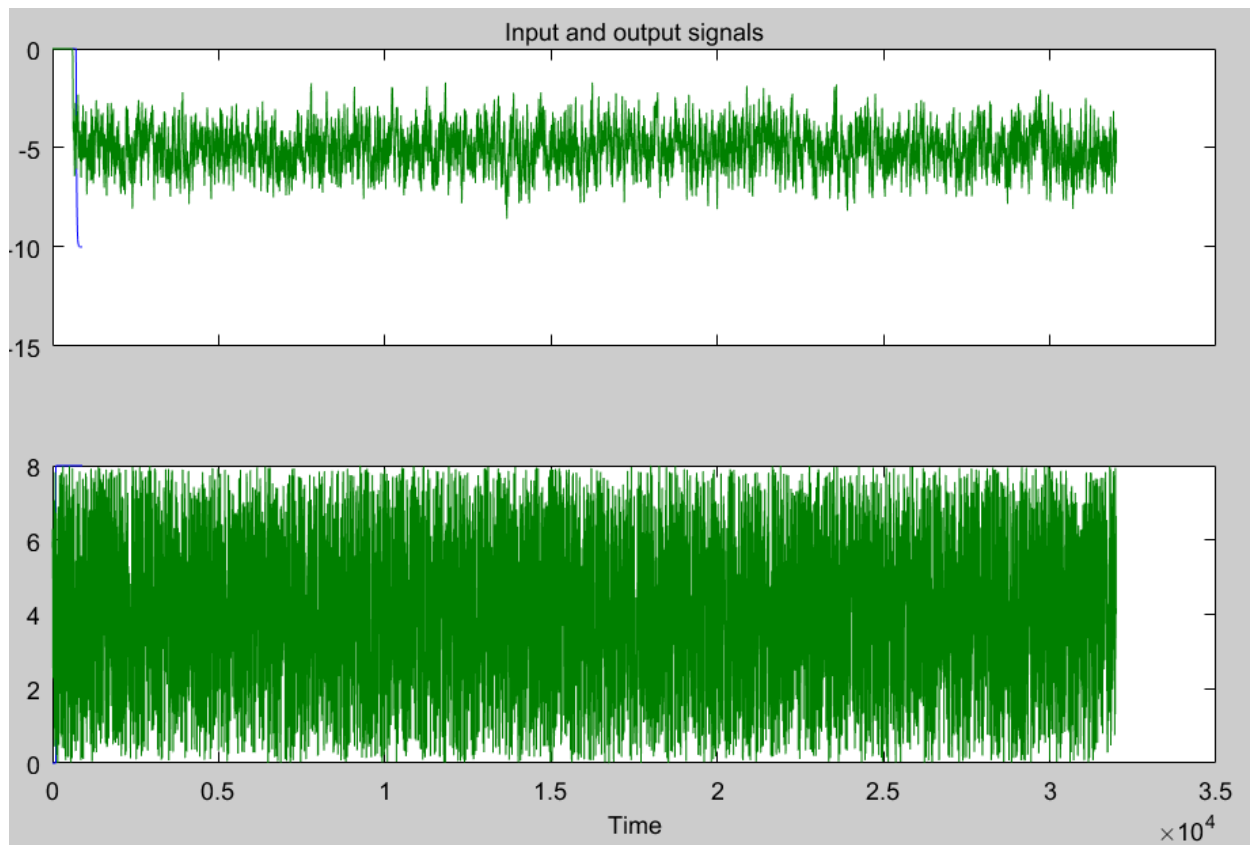


Рисунок 3.11 – Налаштування System Identification Toolbox

Розрахунок параметрів виконувався через метод Process Models для аперіодичних ланок другого та третього порядку без запізнення та с запізненням (рис. 3.12).



Параметри ідентифікації за методом Process Models P1D:

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

$$K_p = -1.2508 \pm 4.7223e-05$$

$$T_{p1} = 16.577 \pm 0.0039566$$

$$T_d = 610$$

Fit to estimation data: 99.94%

FPE: 5.943e-06, MSE: 5.916e-06

Параметри ідентифікації за методом Process Models P2D:

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

$$K_p = -1.2508 \pm 1.1483$$

$$T_{p1} = 1e-06 \pm 0.0037731$$

$$T_{p2} = 16.577 \pm 15.215$$

$$T_d = 610$$

Fit to estimation data: 99.94%

FPE: 5.956e-06, MSE: 5.916e-06

За допомогою «Model output» показана відповідність отриманих моделей P1D та P2D до перевірочних даних отриманих на об'єкті керування Check наведена на рисунку 3.12 та представлена у таблиці 3.1.

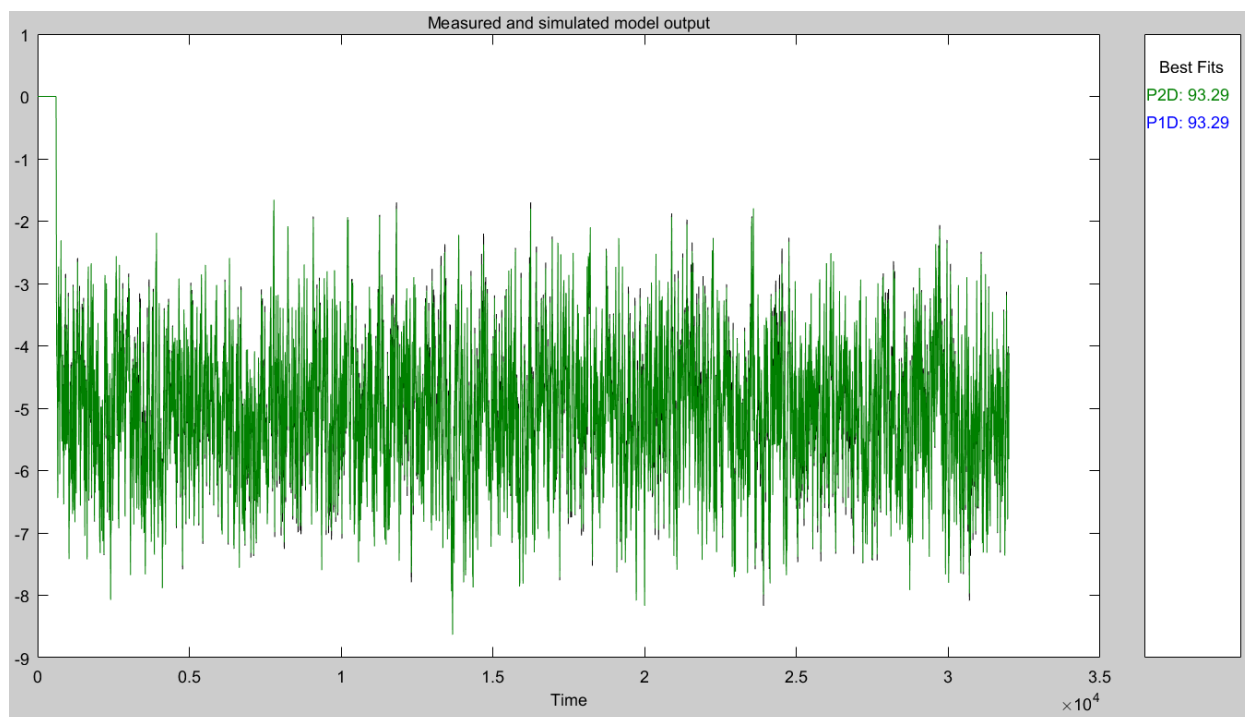


Рисунок 3.12 – Перевірка результатів розрахунків

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

Назва параметру	P1D	P2D
$k$	-1,2508	-1,2508
$T_1, c$	16,577	1e-06
$T_2, c$	–	16,577
$T_3, c$	–	–
$\tau$	610–	610
Динамічна характеристика		
НСКП, %	99,94	99,94
ПОП	5,943e-06	5,956e-06
СКП	5,916e-06	5,916e-06
Перевірочні данні		
НСКП, %	93,29	93,29

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), ці моделі ідентичні P1D (99,94 %) та P2D (99,94 %). Помилка остаточного передбачення (ПОП) для них теж однакова.

Головним показником, який впливає на остаточний вибір між моделями є розбіжність у відповідності за перевірочними даними за показником НСКП. Ці показники у них теж однакові і складають 93,29 %.

Виходячи з усього, що наведе вище можна сміливо пропонувати більш просту модель P1D і стверджувати, що обрана модель має достатню відповідність до перевірочних даних, яка і складає більше ніж граничне неприпустиме значення у 80 %.

Для параметричної перевірки обраної моделі (рис. 3.8) можна звернути увагу на наступне, що за динамічною характеристикою час перехідного процесу складає близько біля  $\sim 15$  с, затримка близько 610 с, а для отриманої моделі другого порядку постійна часу становить 16,577 с, а затримка 610 с, що додатково підтверджує об'єкту керування дійсно відповідає обрана модель P1D - аперіодична ланка першого порядку з запізненням.

І насамкінець необхідно отримати основні характеристики для моделі об'єкта керування P2D (рис. 3.14) за допомогою «To LTI Viewer», і через меню «Edit / Plot Configurations...» і налаштувати зображення відповідно до рис. 3.13.

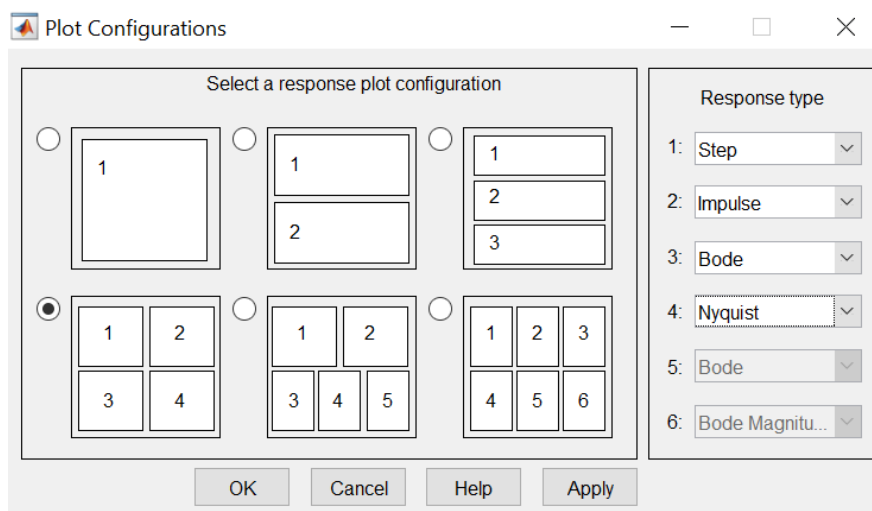


Рисунок 3.13 – Отримання характеристик моделі керування

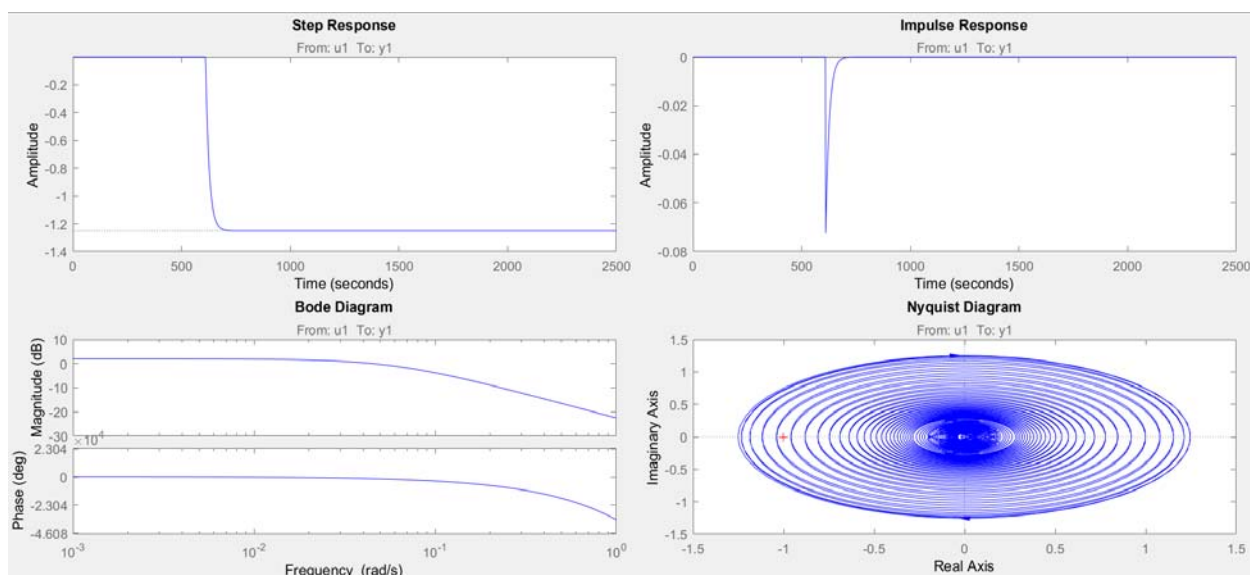


Рисунок 3.14 – Характеристики моделі керування

За результатами параметричної ідентифікації отримана модель P1D у вигляді передавальної функції, яка відповідає об'єкту керування за перевірочними даними на 93,29 % (табл. 3.1):

$$W(s) = \frac{-1,2508 \cdot e^{-610}}{16,577s + 1} \quad (3.2)$$

#### 3.4.4 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. 3.15).

При налаштуванні час моделювання задано 32 000 с, що дорівнює кількості перевірочних даних. Додані блоки запису перевірочних даних та результатів моделювання до змінних Object і Model відповідно. Крок запису задано 1 с, що відповідає первинним даним.

На рисунку 3.15 показана модель об'єкту керування.

На вході моделі додано статичний коригуючий зсув характеристики 8 м<sup>3</sup>/хв (мінімально можливі за технологічними умовами витрати води).

На виході моделей додано статичний коригуючий зсув характеристики 40 °С (до максимально можливої температури 40 °С етилену на виході холодильника), який корегує вихідну характеристику відповідно до реальних даних, отриманих з об'єкту керування.

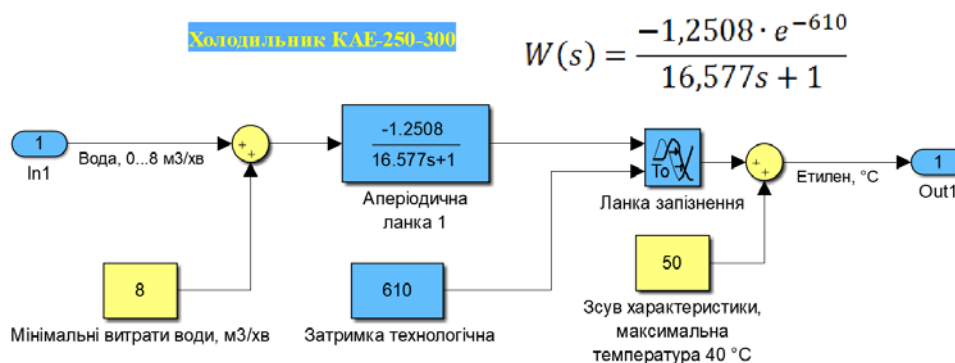


Рисунок 3.15 – Модель об'єкту керування

На рисунку 3.16 показана модель отримання даних для перевірки на адекватність.

На вихід моделі PID доданий статичний зсув характеристики 40 °С, який корегує вихідну характеристику відповідно до реальних даних, отриманих з об'єкту керування, так як для ідентифікації у System Identification Toolbox вони були видалені.

Порівняння характеристик отриманої моделі PID та моделі Simulink відбувається з чистими перевірочними даними над якими не виконувалися дії, які могли б їх «скомпрометувати».

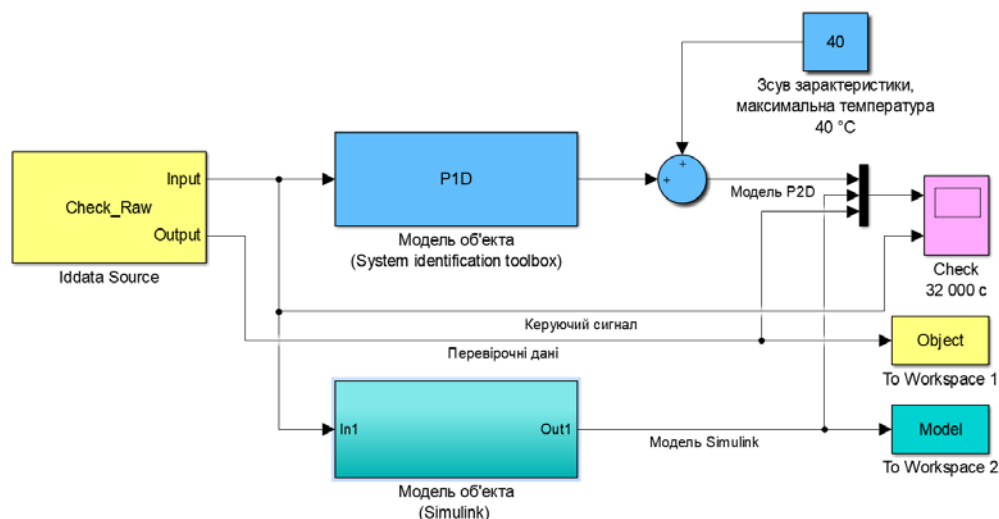


Рисунок 3.16 – Модель отримання даних для перевірки на адекватність

За результатами моделювання бачимо, що дійсні значення отримані на виході моделі System Identification Toolbox (сигнал – «Модель P1D») та моделі розробленій на базі передавальної функції (сигнал – «Модель Simulink») співпадають з перевірочними даними (рис. 3.16).

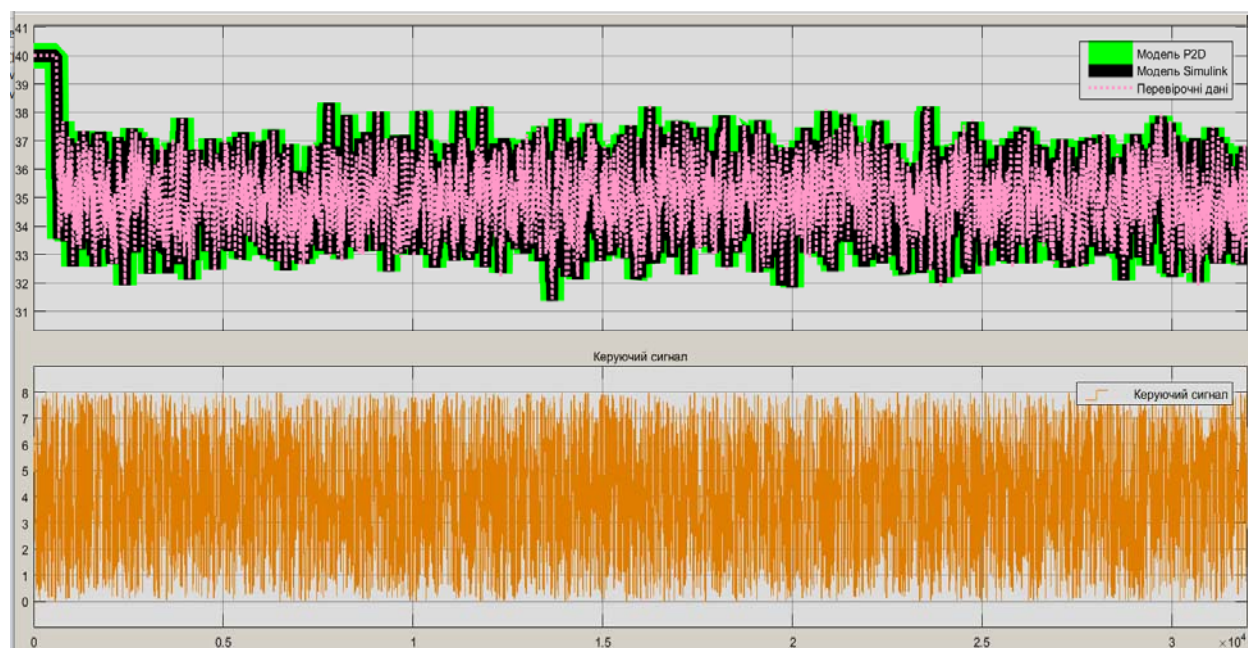


Рисунок 3.17 - Результат отримання даних для перевірки на адекватність

Наступним етапом є перевірка моделі на адекватність.

### 3.4.5 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:

```
function GetAdequacy(x, y)
    fprintf('\nПеревірка моделі об'єкта керування на адекватність
v1.0\n');
    nSX = sqrt(mean(x.^2) - mean(x)^2);
    nSXref = sqrt(mean(y.^2) - mean(y)^2);
    nR = (mean(x.*y) - mean(x) * mean(y)) / (nSX * nSXref);
    fprintf('\nКоефіцієнт кореляції: %.3f\n', nR);
    nN = size(x, 1);
    nM = size(x, 2);
    nV = nN - nM - 1;
    nF = nR^2 / (1 - nR^2) * nV / nM;
    nP = 0.90;
    nFk = finv(nP, nM, nV);
    fprintf('Статистичний критерій Фішера: %.3f\n', nF);
    fprintf('Критичне значення статистики Фішера: %.3f\n', nFk);
    if (nF > nFk)
        fprintf('\nСтатистичний критерій Фішера більший критичного
значення, модель є адекватною до об'єкта керування.\n\n');
    else
        fprintf('\nСтатистичний критерій Фішера менший критичного
значення, модель не є адекватною до об'єкта керування.\n\n');
    end
end
```

Результат виконання статистичного аналізу (виклику функції):

```
>> GetAdequacy(Model, Object)
Перевірка моделі об'єкта керування на адекватність v1.0
Коефіцієнт кореляції: 0.998
Статистичний критерій Фішера: 7209085.714
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 перевищує 0,998 та задовольняє вимогам, статистичний критерій Фішера перевищує критичне значення за відповідною статистикою, а отримана модель є адекватною до об'єкту керування за цим критерієм.

Статистичний критерій Фішера більший критичного значення, 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.

Остаточна модель об'єкта керування у графічному середовищі імітаційного моделювання Simulink наведена на рисунку 3.15, схема моделювання динамічної характеристики наведена на рисунку 3.18, а результат моделювання динамічної характеристики об'єкта керування наведено на рисунку 3.19.



Рисунок 3.18 - Модель об'єкта керування

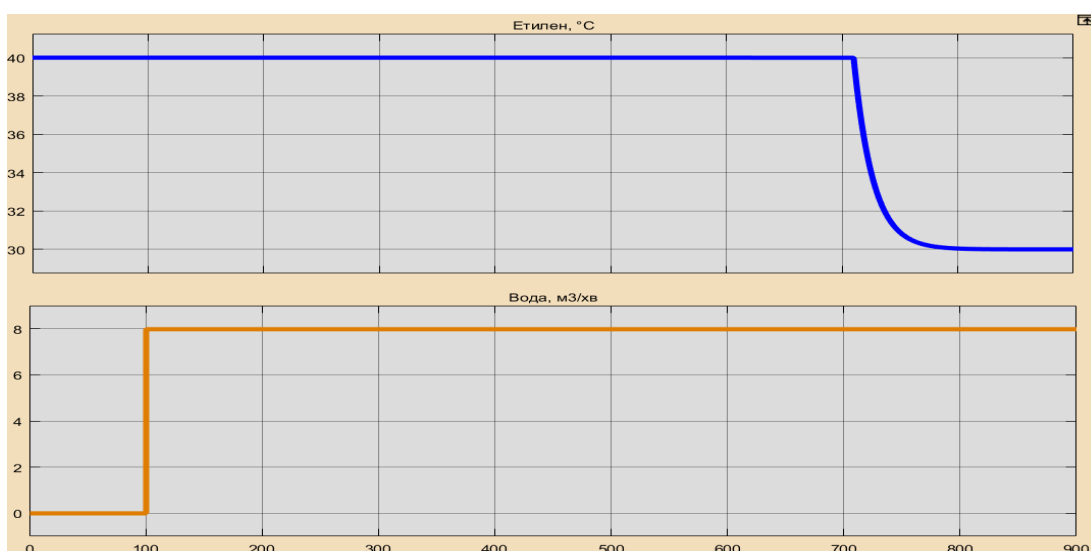


Рисунок 3.19 - Результат моделювання динамічної характеристики об'єкта керування

### 3.5 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 першого, або більш високого порядку 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  $-1,2508$  і постійні часу  $16,577$  с, а запізнення становить  $610$  с.

Комплексна перевірка на адекватність моделі до об'єкта керування за перевірочними даними об'єкта керування показала високу відповідність  $93,29$  %, сильний кореляційний зв'язок  $0,998$  та статистичного критерію Фішера  $7\ 209\ 085$  значно більшу критичного значення  $2,707$ . Велике значення статичного критерію адекватності Фішера обумовлено великою кількістю вибірових даних та близьким до  $1$  значенням коефіцієнта кореляції

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 та може бути використана у подальшому при синтезі системи керування в умовах досліджуваного технологічного обладнання – холодильнику зворотного етилену проміжного тиску, серії КАЕ-250-300.



## 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 4.1 Техніко-економічне обґрунтування впровадження системи керування

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

У кваліфікаційній роботі бакалавра розглядається економічна доцільність розробки системи автоматизації технологічного процесу виробництва поліетилену високого тиску.

Автоматизована система керування, що розроблена в кваліфікаційній роботі бакалавра, має такі переваги:

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

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

Розрахуємо капітальні витрати, що пов'язані з виготовленням та впровадженням автоматизованої системи керування. Визначення проектних капітальних витрат виконується відповідно до:

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

де  $K_{\text{ПКВ}}$  – проектні капітальні витрати (грв.);

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

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

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

$K_{\text{ПЗ}}$  – витрати на розробку програмного забезпечення (грн.).

Вартість основного та допоміжного обладнання наведена в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Зведення капітальних витрат  $C_{OB}$  [12...16]

№	Найменування	Одиниці виміру	Кількість	Вартість (грн.)	Сума (грн.)
1	ПЛЛ VIPA 214DPM (214-1BM02)	од.	1	13 774,40	13 774,40
2	Модуль аналогового вводу VIPA 231-1BD40	од.	2	4 740,30	9 480,60
3	Модуль дискретного виводу VIPA 222-1BF00	од.	1	4 110,30	4 110,30
4	Датчик температури QAE3010.016	од.	2	6 024,00	12 048,00
5	Датчик тиску MBS 3000	од.	3	6 040,38	18 121,14
6	Електрозасувка 5200LA/530M	од.	1	320 000,00	320 000,00
7	Електрозасувка 30ч939р Ду-125	од.	1	28 600,00	28 600,00
8	Трифазне твердотільне реле Jotta SSR 10DA	од.	4	1 173,00	4 692,00
9	Тиристорне джерело DPU 33C025R	од.	1	25 400,00	25 400,00
10	Мережний кабель	м	300	25,60	7 680,00
11	Система керування, виконана на базі ПК	од.	1	38 600,30	38 600,30
12	Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301	од.	2	1 450,00	2 900,00
	Разом				485 406,74

Вартість основного та допоміжного обладнання  $C_{OB} = 485\,406,74$  грн.

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

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

Витрати на транспортно-заготівельні і складські роботи складають:

$$D_{TP} = 485\,406,74 \cdot 0,08 = 38\,832,54 \text{ (грн.)}.$$

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

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

Витрати на монтажні-налагоджувальні роботи складають:

$$M_{MH} = 485\,406,74 \cdot 0,07 = 33\,978,48 \text{ (грн.)}.$$

### 4.3 Розрахунок капітальних витрат на програмне забезпечення

#### 4.3.1 Розрахунок часу на розробку програмного забезпечення

Трудомісткість розробки програмного забезпечення 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.);
- $t_n$  – 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;
- $c$  – коефіцієнт складності програми (приймаємо  $c = 1,35$ );
- $p$  – коефіцієнт корекції програми в процесі її обробки (приймаємо  $p = 0,1$ ).

Виходячи з програмного забезпечення, як правило розробленого на мові Structured Text типове значення для подібних систем керування має діапазон 300... 500, приймаємо  $q = 420$ );

Таким чином для програмного забезпечення, що розробляється, кількість операторів складає:

$$Q = 420 * 1,35 * (1 + 0,1) \approx 624$$

Витрат праці на підготовку і опис завдання в кваліфікаційній роботі складають  $t_o = 48$  (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  $B = 1,5$ );

$k$  – коефіцієнт кваліфікації програміста (приймаємо  $k = 1,2$ ).

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_u = 624 * 1,5 / (80 * 1,2) \approx 10 \text{ (люд. – год.)}.$$

Витрати на розробку алгоритму керування визначаються як:

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

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_a = 624 / (20 * 1,2) \approx 26 \text{ (люд. – год.)}.$$

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:

$$t_n = 624 / (20 * 1,2) \approx 26 \text{ (люд. – год.)}.$$

Витрати праці на налаштування програми розраховуються як:

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

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_h = 624 / (4 * 1,2) \approx 130 \text{ (люд. – год.)}.$$

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:

$$t_{др} = 624 / (15 * 1,2) \approx 35 \text{ (люд. – год.)}.$$

Трудомісткість редагування, друку та оформлення документації визначається як:

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

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_{до} = 0,75 * 35 = 27 \text{ (люд. – год.)}.$$

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

$$t_g = 35 + 27 = 62 \text{ (люд. – год.)}.$$

Таким чином трудомісткість розробки програмного забезпечення становить:

$$t = 48 + 10 + 26 + 26 + 130 + 62 = 302 \text{ (люд. – год.)}$$

#### 4.3.2 Розрахунок витрат на розробку програмного забезпечення

Витрати на розробку програмного забезпечення (ПЗ) визначається як:

$$K_{ПЗ} = Z_{зп} + Z_{мі}, \quad (4.13)$$

де  $Z_{зп}$  – витрати на заробітну плату розробника ПЗ (грн.);

$Z_{мі}$  – вартість машинного часу, необхідного для налаштування ПЗ (грн.).

Заробітна плата розробника програмного забезпечення визначається як:

$$Z_{зп} = t \cdot C_{пр}, \quad (4.14)$$

де  $t$  – час розробки ПЗ, год;

$C_{пр}$  – середня годинна тарифна ставка розробника програмного забезпечення (приймаємо  $C_{пр} = 110,00$  (грн./год.)).

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$З_{зп} = 302 * 125,00 = 37\,750,00 \text{ (грн.)}$$

Вартість машинного часу, необхідного для налаштування програми визначається як:

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

де  $t_n$  – час налаштування ПЗ, год;

$C_{мч}$  – вартість машинного часу (грн./год.).

Приймаємо  $C_{мч} = 13,00$  (грн./год.), тоді вартість витрат на програмне забезпечення, що розробляється становить:

$$З_{мі} = 26 * 13,00 = 338,00 \text{ (грн.)}$$

Витрати на розробку програмного забезпечення системи керування становлять:

$$K_{пз} = 37\,750,00 + 338,00 = 38\,088,00 \text{ (грн.)}$$

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.)).

$$T = 302 / (1 * 176) \approx 2 \text{ (міс.)}$$

Таким чином проектні капітальні витрати:

$$\begin{aligned} K_{пкв} &= 485\,406,74 + 38\,832,54 + 33\,978,48 + 38\,088,00 \approx \\ &\approx 596\,305,76 \text{ (грн.)} \end{aligned}$$

#### 4.4 Розрахунок експлуатаційних витрат

Річні експлуатаційні витрати розраховуються як:

$$C_e = C_a + C_з + C_c + C_{ро} + C_{еe} + C_{інш}, \quad (4.17)$$

де  $C_e$  – річні поточні витрати, пов'язані із застосуванням системи керування (грн.);

- $C_a$  – амортизація основних фондів (грн.);  
 $C_3$  – заробітна плата обслуговуючого персоналу (грн.);  
 $C_c$  – відрахування на соціальні заходи (грн.);  
 $C_{PO}$  – 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:

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

де  $C_a$  – річна амортизація основних фондів (грн.);

ПВ – первинна вартість (ПВ =  $K_{\text{ПКВ}}$ ) (грн).

Отже, норма амортизації для проекрованої системи керування складає:

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

Сума амортизації для проекрованої і базової системи становить:

$$C_a = 596\,305,76 \cdot 40/100 = 238\,522,31 \text{ (грн.)},$$

#### 4.4.2 Розрахунок фонду заробітної плати

Номінальний річний фонд робочого часу одного працівника:

$$T_{\text{НР}} = (T_{\text{К}} - T_{\text{ВС}} - T_{\text{В}}) \cdot T_{\text{З}}, \quad (4.20)$$

де  $T_{\text{НР}}$  – номінальний річний фонд робочого часу одного працівника (год.);

$T_{\text{К}}$  – календарний фонд робочого часу ( $T_{\text{К}} = 365$  (днів));

$T_{\text{ВС}}$  – вихідні дні та свята ( $T_{\text{ВС}} = 114$  (днів));

$T_{\text{В}}$  – відпустка ( $T_{\text{В}} = 21$  (день));

$T_{\text{З}}$  – тривалість зміни ( $T_{\text{З}} = 8$  (год.)).

Таким чином, річний фонд робочого часу працівника складе:

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

У процесі керування задіяний 1 оператор людино-машинного інтерфейсу та - кожна зміну та 1 інженер-технолог і 1 наладчик електроустаткування - одна зміна на добу. Графік роботи у три зміни, так як процес безперервний.

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.	Річний фонд робочого часу (год.)	Пряма заробітна плата, грн.	Додаткова заробітна плата (8%), грн.	Доплати (7%), грн.	Всього заробітна плата, грн.
1	Оператор	3	108,00	1 840	596 160,00	47 692,80	41 731,20	685 584,00
2	Технолог	1	124,00		228 160,00	18 252,80	15 971,20	262 384,00
3	Наладчик	1	115,00		211 600,00	16 928,00	14 812,00	243 340,00
Разом								1 191 308,00

Заробітна плата персоналу проектної системи керування



$$C_3 = 1\,191\,308,00 \text{ (грн.)}$$

#### 4.4.3 Відрахування на соціальні заходи

Відрахування на соціальні заходи визначаються як:

$$C_c = 0,22 \cdot C_3. \quad (4.21)$$

Відповідно до цього відрахування становлять:

$$C_c = 0,22 * 1\,191\,308,00 = 262\,087,76 \text{ (грн.)}$$

#### 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:

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

Відповідно до цього витрати становлять:

$$C_{PO} = 0,05 * 596\,305,76 = 29\,815,29 \text{ (грн.)}$$

#### 4.4.5 Витрати на електроенергію

Вартість електроенергії, споживаної системою керування, розробленої у проекті:

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

де  $K_e$  – кількість електроенергії, спожите проектною системою керування (приймаємо  $K_e = 0,45$  (кВт · год.));

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

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

$T_e$  – тариф на електроенергію для підприємств (для користувачів електроенергії 2 класу тариф складає 2,26 грн.·кВт без ПДВ, з урахуванням ПДВ тариф  $T_e = 2,712$  (грн.)).

Таким чином вартість електроенергії становить:

$$C_{ee} = 0,45 * 365 * 24 * 2,712 = 10\,690,71 \text{ (грн.)}$$

#### 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:

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

Таким чином інші витрати становлять:

$$C_{\text{ІНШ}} = 0,04 * 1\,191\,308,00 = 47\,652,32 \text{ (грн.)}.$$

Річні експлуатаційні витрати становлять (4.17), (табл. 4.3):

$$C = 238\,522,31 + 1\,191\,308,00 + 262\,087,76 + 29\,815,29 + 10\,690,71 + 47\,652,32 = 1\,780\,076,39 \text{ (грн.)}.$$

Таблиця 4.4 – Експлуатаційні витрати

№ п/п	Назва показника	Сума, грн.
1	Амортизація	238 522,31
2	Фонд заробітної плати	1 191 308,00
3	Відрахування на соціальні виплати	262 087,76
4	Ремонт та технічне обслуговування	29 815,29
5	Електроенергія	10 690,71
6	Інше	47 652,32
7	Загалом	1 780 076,39

#### 4.5 Висновки за розділом

При впровадженні проектованої системи капітальні витрати складають 485,5 тис. грн., час розробки ПЗ становитиме 2 місяці.

Річні експлуатаційні витрати, пов'язані з впровадженням системи становитимуть приблизно 1,8 млн. грн.

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

У кваліфікаційній роботі бакалавра розглядається розробка системи автоматизації технологічного процесу виробництва поліетилену високого тиску.

Виробництво поліетилену високого тиску містить в обігу шкідливі вибухонебезпечні речовини. Також в даному об'єкті передбачено використання електроенергії та теплової енергії.

Завданням охорони праці є зведення до мінімуму імовірності пошкодження або захворювання працівників з одночасним забезпеченням комфорту при максимальній продуктивності праці.

Навчання працівників безпеці праці проводять відповідно до вимог, які встановлюють порядок і види навчання. На всіх підприємствах і в організаціях незалежно від характеру і ступеню небезпеки виробництва навчання працівників проводять при підготовці нових робітників, проведенні різноманітних видів інструктажів і підвищенні кваліфікації.

Контроль за своєчасним і якісним навчанням виконує відділ охорони праці чи інженер з охорони праці, або інженерно технічний персонал, на якого наказом керівника підприємства покладено ці обов'язки. Ті, що вперше поступають на роботу, навчання проходять згідно з "Типовим положенням про підготовку і підвищення кваліфікації робітників". В журналі обліку навчальної роботи реєструють навчальну тему, за якою проводилось навчання.

### **5.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів та інженерно-технічні заходи з охорони праці**

#### **5.1.1 Повітря**

Роботи, що виконуються в цеху за важкістю, згідно ДСН 3.3.6.042-99, відносяться до категорії Іа. Санітарні та фактичні норми параметрів мікроклімату для робіт, які виконуються в приміщенні, наведені в таблиці 5.1.

З метою забезпечення нормативних рівнів параметрів мікроклімату і чистоти робочої зони передбачені наступні засоби та заходи: механізація і

автоматизація тяжких і праце-містких робіт; дистанційне управління процесами й апаратами; раціональне розміщення устаткування, агрегатів і т.п., наявність теплоізоляції устаткування, агрегатів комунікації й інших джерел, що випромінюють на робочих місцях тепло.

Таблиця 6.1 – Санітарні норми параметрів мікроклімату цеху

Період роботи	Категорія робіт	Температура, °С		Вологість повітря, %		Швидкість руху повітря, м/с	
		Опт.	Допуст.	Опт.	Допуст.	Опт.	Допуст.
Холодний	Па	18-20	15-24	40-60	75	0,2	0,3
Теплий		21-23	17-29		65	0,3	0,2-0,4

В таблиці 5.2 наведено основні санітарні характеристики підприємства, а саме цеху отримання поліетилену високого тиску.

Таблиця 5.2 – Коротка санітарна характеристика виробництва

Назва виробничої дільниці	Цех полімеризації
Шкідливі речовини, що виділяються, причини їх виділення	Етилен
Група шкідливої речовини, характеристика шкідливої дії	Речовини малої небезпечності. Загально-токсична речовина викликає задуху, головний біль, ураження ЦНС
ГДК шкідливої речовини у повітрі робочої зони, мг/м <sup>3</sup>	100
Клас небезпечності шкідливої речовини	IV малотоксична речовина
Засоби індивідуального захисту: тип, марка, ГОСТ	Респіратор фільтруючий РПГ-67, промисловий проти газ марки "СО", провітрювання приміщення.
Засоби долікарняної допомоги	Винести на свіже повітря, відновити прохідність дихальних шляхів, безперервна інгаляція кисню
Методи контролю вмісту шкідливих речовин у повітрі робочої зони	Автоматичний стаціонарний сигналізатор і газоаналізатор

### 5.1.2 Освітлення

Згідно ДБН В.2.5-28-06, роботи в цеху за зоровими умовами відносяться до розряду VII-б. В таблиці 5.3 наведені санітарно-гігієнічні норми параметрів освітлення.

Природне освітлення використовується в світлий час доби, і створюється в виробничих приміщеннях через вікна або інші засклені прорізи. У вечірній і нічний час, згідно ДБН В.2.5-28-06, в корпусах виробництва використовується штучне освітлення, що створюється світильниками типу ВЗГ-200, виконаними у вибухозахисному виконанні.

Таблиця 5.3 – Норми штучного освітлення коефіцієнта природної освітленості КПО виробничих приміщень

Характеристика зорової роботи	Загальне спостереження за ходом виробничого процесу: періодичне при постійному перебуванні людей у приміщенні		
Розряд здорової роботи	VII-б		
Штучне освітлення	Освітленість, лк	При системі загального освітлення	100
		При системі комбінованого освітлення	
Природне освітлення	КПО, ен, %	При боковому освітленні	0,3
		При верхньому освітленні	0,7

Виробництво поліетилену оснащена освітлювальним обладнанням відповідно до зазначених вище норм. Проводка освітлювальної мережі виконується кабелем з алюмінієвими жилами в лотках. Освітленість виробничих приміщень становить 30 лк.

Освітлення побутових приміщень, лабораторій, приміщень КВП становить 200 лк і здійснюється люмінесцентними лампами денного освітлення типу Л.Д.

Передбачено також і аварійне освітлення. Аварійне освітлення має незалежні джерела живлення і включається або автоматично, або вручну. Аварійне освітлення повинно створювати освітлення на поверхнях не менше 5 % від мінімальної норми для цих поверхонь і не менше 0,5 лк, при евакуації людей всередині приміщень не менше 2 лк і на території 1 лк для продовження робіт.

Раз на рік здійснюється контроль освітленості люксметром ю-117.

### 5.1.3 Захист від шуму і вібрації

Джерелами вібрації на виробництві, що проектується, є вентилятор. Джерелами шуму на виробництві є реактор, сепаратори, дільники, компресори,

насоси. Допустимі рівні звукового тиску у октавних смугах частот, еквівалентні рівні звуку на робочих місцях наведені у таблиці 5,4.

Таблиця 5,4 – Допустимі рівні вібрації на робочих місцях

Вид трудової діяльності, робоче місце	Рівні звукового тиску в дБ в октавних смугах з середньо-геометричними частотами, Гц									Рівні шуму еквівалентні і рівні шуму, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Виконання всіх видів робіт на постійних робочих місцях у виробничих приміщеннях та території підприємств	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Згідно ДСН 3.3.6.037-99 у виробничих приміщеннях рівень звуку не повинен перевищувати повинен 80 дБА. Згідно ДСН 3.3.6.039-99, допустимий рівень вібрації в приміщенні 1-го ступеня – 3 дБ, а для 2-ї ступені шкідливості – до 3,1 дБ, для 3-ї ступені шкідливості – більше 3,1 дБ. Дане виробництво належить до 2-го ступеня шкідливості за вібрацією.

Основними організаційними заходами боротьби з шумом і вібрацією є: розташування відділення компресії етилену з підвищеним рівнем шуму на відстані від малозумних приміщень; дистанційне керування вібро-акустичним обладнанням з кабін; застосування індивідуальних засобів захисту від шуму і вібрацій, проведення санітарно - профілактичних заходів для робітників, зайнятих на вібро-акустичному активному обладнанні; ізоляція фундаменту під вібро-активним обладнанням від несучих конструкцій та інженерних комунікацій; активна і пасивна віброізоляція компресорів і насосів, робочих місць операторів і машиністів.

#### 5.1.4 Електробезпека

Електричне устаткування на виробництві живиться від трифазної чотирьох-провідної електричної мережі змінного струму промислової частоти

напругою 380/220 В з глухозаземленою нейтраллю. Для змінного струму із частотою 50 Гц гранично допустимі значення напруги дотику й струму, що проходить через тіло людини, при аварійному режимі  $I_{\text{л}} = 6 \text{ мА}$ ,  $U_{\text{дот}} = 36 \text{ В}$ ; при нормальному режимі роботи електричного обладнання  $I_{\text{л}} = 0,3 \text{ мА}$ ,  $U_{\text{дот}} = 3 \text{ В}$ .

Порівняємо розрахункові значення із гранично допустимим значенням струму:

$$I_{\text{л}} = \frac{\phi \cdot 10}{R_{\text{л}} + R_{\text{о}}} = \frac{220 \cdot 10}{4000 + 4} = 0,05 \text{ А}$$

де  $R_{\text{л}} = 2 \dots 4 \text{ кОм}$ , опір тіла людини;

$R_{\text{о}} = 4 \text{ Ом}$ , опір нейтралі заземлення;

$U_{\text{ф}} = 220 \text{ В}$ , фазова напруга.

Напруга дотику розраховується за формулю:

$$U_{\text{л}} = I_{\text{л}} \cdot R_{\text{л}} \cdot 10 = 0,05 \cdot 4000 = 220 \text{ А}$$

Для захисту людей від ураження електричним струмом в умовах виробництва застосовуються такі заходи струмоведучих систем, всі електроустановки мають додаткове заземлення, захисне відключення та ізоляцію.

Застосовуваний в цеху етилен і одержуваний поліетилен мають високі об'ємна-питомі опори, рівні в середньому 1 015 Ом.

При переміщенні в апаратах і трубопроводах етилену, рідин, гранульованого поліетилену відбувається виникнення зарядів статичної електрики. У процесі транспортування і перемішування гранул поліетилену утворюється його пил. При наявності вибухонебезпечної концентрації етилену або поліетиленовою пилу в повітрі розряди статичної електрики можуть призвести до вибуху.

Для забезпечення надійності захисту від статичної електрики передбачаються наступні заходи:

- відведення статичної електрики здійснюється шляхом заземлення устаткування і комунікацій;

- обладнання, трубопроводи, вентиляційні короба і кожухи термоізоляції повинні представляти собою на всій довжині безперервний ланцюг, яка в межах цеху приєднана до контуру заземлення не менше, ніж в двох точках;
- для транспортування гранульованого поліетилену застосовуються труби з металу;
- для запобігання можливості виникнення вибухонебезпечних концентрацій етилену і поліетиленовою пилю здійснюється подача азоту в апарати і трубопроводи;
- проведення робіт усередині апаратів, де можливе виникнення вибухонебезпечної концентрації, забороняється працювати в одязі з синтетичних тканин;
- лабораторна перевірка справності пристроїв захисту від статичної електрики проводиться не рідше одного разу на рік за графіком, затвердженим головним інженером заводу.

### **5.1.5 Безпека технологічного процесу та обслуговування обладнання**

До виконання робіт з етиленом допускаються особи, які досягли 18-років і пройшли медичний огляд відповідно та не мають медичних протипоказань, пройшли навчання, інструктаж з питань охорони праці і за наявності розписки про безпеку етилену. При роботі з етиленом можливе подразнення слизових оболонок очей та дихальних шляхів, головний біль, дзвін у вухах, неврити, розлади зору.

Перед початком роботи передбачено:

- включити загально-обмінну припливно-витяжну вентиляцію. Перевірити: наявність і справність засобів індивідуального та колективного захисту; справність технологічного обладнання, при виявленні несправностей обладнання та засобів колективного захисту сповіщається керівник;



- транспортування етилену здійснюється засобом, який виключає можливість попадання його у виробниче та навколишнє середовище. Етилен зберігається у спеціальній залізній тарі;
- етилен зберігається у спеціальних приміщеннях з підлогами, що легко змиваються водою. Приміщення обладнано вентиляцією;
- по закінченню робіт передбачено: прибрати робоче місце. Залишок етилену (від добового запасу), що не повністю витратився під час роботи, здається на склад.

Безпека в цеху під час проведення технологічного процесу і ремонтних роботах забезпечується засобами колективного захисту в справному стані.

## **5.2 Пожежна безпека**

На виробництві, що проектується, можливими джерелами пожежі є перенавантаження електроустаткування, нагріті стінки обладнання, іскри електрообладнання та від тертя деталей машин, виникнення електричної дуги при обриві ланцюгів високої напруги, перегріву електроустаткування.

На установці передбачені такі засоби пожежогасіння:

- дренажна установка для створення зрошення займистих предметів і конструкцій. Автоматичне включення відбувається при плавленні легкоплавкого замка троса дренчерній установки. Ручне включення установки відбувається відкриттям відповідної запірної арматури. У зимовий час колектор дренчерної арматури на зовнішній установці для уникнення заморожування, звільняється від води. За необхідністю, відкривають арматури загального трубопроводу пожежної води, заповнюють колектор водою і приводять секції в дію, як зазначено вище.
- на установці є вогнегасники ОУ-2, ОПУ-5 для гасіння локального займання, пожежний водопровід, пісок, лопати, носилки, пожежні сповіщувачі.

- для уникнення утворення вибухонебезпечних концентрацій етилену в повітрі на установці встановлені газоаналізатори з пристроєм світлової та звукової сигналізації СВК-3М, що сигналізує про наявність в повітрі горючих газів, парів і їх сумішей.

У таблиці 5.5 наведені показники пожежо- і вибухонебезпечності речовин і матеріалів і класифікація цеху за пожежо- і вибухонебезпечністю.

Встановлюється охоронно – пожежна сигналізація автоматичного типу.

Перед початком роботи трубопроводи будуть продуватись повітрям з перевіркою результатів продувки. Для захисту електроустаткування від загоряння використовують регулярне технічне обслуговування, фарбування електроустаткування негорючими матеріалами.

Таблиця 5.5 - Показники пожежо- і вибухонебезпечності речовин та матеріалів

Речовини, що мають обіг у виробництві		Етилен
Агрегатний стан речовин у нормальному стані		Газ
Горючість, займистість		Вибухонебезпечна, горюча
Показники пожежної вибухонебезпечності	Температура спалаху, °С	135,1
	Температура займання, °С	136,1
	Температура самозаймання, °С	540
Межа запалення	% об'ємних	3-34
	мг/м <sup>3</sup>	3
Вибухонебезпечні суміші з повітрям	Категорія	II
	Група	T2
Вогнегасні засоби		Вуглекислотні вогнегасники типу ОУ- 2
Категорія приміщення за ОНТП 24-86		A
Клас приміщення / зона/ і зовнішніх установок згідно з ПУЕ		B-1a
Категорія об'єкта і тип зони захисту щодо влаштування блискавкозахисту згідно з СН 305-77		2А-Т2 2В-Т2

Небезпечні потенціали можуть виникати також в результаті прямих і вторинних проявів блискавки. Розряди атмосферної електрики здатні викликати вибухи, загоряння, руйнування наземної частини об'єктів, тому в слід передбачити систему захисних заходів безпеки від дії блискавок. Від прямих ударів блискавки, споруди захищають блискавковідводи стрижневого типу. Для

захисту від вторинних проявів блискавок, все обладнання і апаратура з'єднуються між собою таким чином, щоб вони склали єдиний безперервний ланцюг, який заземлюється у кількох місцях. Перевірка заземлення та замір опору проводиться не рідше одного разу на рік, розтин заземлення - раз на 10 років. Опір заземлення не повинен перевищувати 20 Ом.

### **5.5 Висновки по розділу**

В даному розділі на підставі аналізу небезпечних і шкідливих виробничих факторів, виявлених на проектованому об'єкті, розроблено заходи, направлені на створення здорових і безпечних умов праці та розглянуті питання пожежної безпеки.

## ВИСНОВКИ

Актуальність роботи пояснюється необхідністю модернізації систем керування, які використовуються на підприємствах з виготовлення поліетилену високо тиску. Сучасна система керування дозволить оперативно контролювати значну кількість технологічних параметрів, дозволяючи отримувати режими роботи технологічного обладнання з заданими показниками якості та надійності. Також ця система керування матиме можливість фіксації та збереження параметрів роботи технологічного обладнання.

У якості об'єкта керування виступає холодильник зворотного етилену проміжного тиску серії КАЕ-250-300, для створення системи керування вибрано апаратно-програмні 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 першого, або більш високого порядку 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  $-1,2508$  і постійні часу  $16,577$  с, а запізнення становить  $610$  с.

Комплексна перевірка на адекватність моделі до об'єкта керування за перевірочними даними об'єкта керування показала високу відповідність  $93,29$  %, сильний кореляційний зв'язок  $0,998$  та статистичного критерію Фішера  $7\ 209\ 085$  значно більшу критичного значення  $2,707$ . Велике значення статичного критерію адекватності Фішера обумовлено великою кількістю вибірових даних та близьким до  $1$  значенням коефіцієнта кореляції

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 та може бути використана у подальшому при синтезі системи керування в умовах досліджуваного технологічного обладнання – холодильнику зворотного етилену проміжного тиску, серії КАЕ-250-300.

При впровадженні проекрованої системи капітальні витрати складають 485,5 тис. грн., час розробки ПЗ становитиме 2 місяці.

Річні експлуатаційні витрати, пов'язані з впровадженням системи становитимуть приблизно 1,8 млн. грн.

В розділі охорона праці на підставі аналізу небезпечних і шкідливих виробничих факторів, виявлених на проектованому об'єкті, розроблено заходи, направлені на створення здорових і безпечних умов праці та розглянуті питання пожежної безпеки.

**ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

1. Методичні рекомендації для студентів бакалаврів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» Ткачов В.В., Бубликов А.В., Цвіркун Л.І., Проценко С.М., Бойко О.О., Славинський Д.В., – Д.: «НГУ», 2016. – 27 с.
2. Бойко О.О. Методичні вказівки до лабораторних робіт з проектування систем автоматизації для студентів напрямку підготовки «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / О.О. Бойко – Д.: Державний ВНЗ «НГУ», 2017. – 109 с. – Режим доступу: <https://goo.gl/Ev6J4Z>. – Назва з домашньої сторінки Інтернету.
3. Бойко О.О., Проценко С.М. Методичні вказівки до лабораторних робіт з програмування систем реального часу для студентів напрямків підготовки «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», «Комп'ютерна інженерія» / О.О. Бойко, С.М. Проценко – Д.: Державний ВНЗ «НГУ», 2017. – 168 с. – Режим доступу: <https://goo.gl/rBf8Zm>. – Назва з домашньої сторінки Інтернету.
4. Бойко О.О. Методичні вказівки до лабораторних робіт з теорії автоматичного управління для студентів напрямку підготовки «Комп'ютерна інженерія» / Укл.: О.О. Бойко – Д.: Державний ВНЗ «НГУ», 2017. – 107 с. – Режим доступу: <https://goo.gl/nUMtFE>. – Назва з домашньої сторінки Інтернету.
5. Голінько В.І., Фрундін В.Ю. Охорона праці в галузі електротехніки та електромеханіки – Д.: Державний ВНЗ «НГУ», 2011. – 235 с.
6. Поліетилен високого тиску (LDPE). Режим допуску: <https://flexx.com.ua/ua/pe/ldpe>
7. Поліетилен високого тиску: технічні характеристики. Режим допуску: <https://irren.com.ua/polietylen-vysokogo-tysku-tehniczni-harakterystyky.html>
8. М.В. Юрженко Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, м. Київ, Україна. Аналіз виробництва та використання

- поліетиленових труб для будівництва трубопроводів різного призначення (огляд). Режим допуску: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2019/29\\_2/25.pdf](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2019/29_2/25.pdf)
9. Голубятников В.А., Шувалов В.В. «Автоматизация производственных процессов в химической промышленности. - М.: Химия, 1991.
  10. УДК 631.363, Аналіз надійності можливих схем керування процесом охолодження етилену, Кравченко І.Ю., Лукінюк М.В., Національний технічний університет України «КПІ», 2016
  11. Очистка и охлаждение возвратного этилена. Режим допуску: <https://msd.com.ua/polietilen-vysokogo-davleniya/ochistka-i-oxlazhdenie-vozvratnogo-etilena/>
  12. Датчик давления MBS 3000. Режим допуску: [https://ianv.com.ua/datchik-davlenija-mbs-3000?gclid=Cj0KCQjw37iTbhCWARIsACBt1IwiKrnGwbNm8pO8opXgmD ouS-Qx9tEh0R2lu8jAIUxcE1vaBeaSn6oaAjNIEALw\\_wcB](https://ianv.com.ua/datchik-davlenija-mbs-3000?gclid=Cj0KCQjw37iTbhCWARIsACBt1IwiKrnGwbNm8pO8opXgmD ouS-Qx9tEh0R2lu8jAIUxcE1vaBeaSn6oaAjNIEALw_wcB)
  13. QAE3010.016 ДАТЧИК ТЕМПЕРАТУРИ Режим допуску: [https://simat.com.ua/product-qae3010-016?gclid=Cj0KCQjw37iTbhCWARIsACBt1Iz\\_iymMG9chdbQ64GpdczylQt P8KfNCke9N33eU2vAfoEuGcEqBSWsaAh-hEALw\\_wcB](https://simat.com.ua/product-qae3010-016?gclid=Cj0KCQjw37iTbhCWARIsACBt1Iz_iymMG9chdbQ64GpdczylQt P8KfNCke9N33eU2vAfoEuGcEqBSWsaAh-hEALw_wcB)
  14. General catalog For Process Automation COSO. Режим допуску: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.shinni.co.kr/catalogue/valve\\_koso\\_general\\_en.pdf](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.shinni.co.kr/catalogue/valve_koso_general_en.pdf)
  15. Задвижка 30ч939р Ду-125 с электроприводом ГЗ Режим допуску: <https://gremir.ru/zadvizhki/klinovye-s-elektroprivodom-el-privodom/30ch939r-s-elektroprivodom/laz-gz-du-dn-125/>
  16. Трехфазное твердотельное реле SSR / SJGX-3 D4840A Режим доступу: [https://tim-market.com.ua/p1453055376-trehfaznoe-tverdotelnoe-rele.html?source=merchant\\_center&utm\\_source=google&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=13754443417&utm\\_term=&utm\\_content=531305295765&utm](https://tim-market.com.ua/p1453055376-trehfaznoe-tverdotelnoe-rele.html?source=merchant_center&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=13754443417&utm_term=&utm_content=531305295765&utm)

m\_position=&utm\_matchtype=&utm\_placement=&utm\_network=u&gclid=CjwKCAjwjZmTBhB4EiwAynRmD2Bqvh8ZZlDVlns7N0KKTa3Zhh7nHvmYDQuHYVX778SQVIowWWWavBoCx4oQAvD\_BwE

17. Міждержавний стандарт ГОСТ 12.0.003-74 (1999) ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».
18. ДСН 3.3.6.042-99 „Державні санітарні норми параметрів мікроклімату” - К.: МОЗ України, 2000.
19. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування.
20. 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.
21. Правила улаштування електроустановок Мінпаливвугілля України. – 2017 – 617с.
22. «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості на небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». № 528 - 2001.
23. Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями, затверджені наказом Мінсоцполітики від 14.02.2018 № 207.
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 сидячи. Загальні ергономічні вимоги
29. ДСТУ 3191-95 (ГОСТ 12 2.137-96) Обладнання для кондиціонування повітря та вентиляції
30. ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень».
31. Внутренние санитарно-технические устройства / Под ред. И. Г. Староверова: Ч.2. Вентиляция и кондиционирование воздуха. - М.: Стройиздат, 1978.-509.
32. ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення».
33. ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку».
34. ДСН 3.3.6.039-99 «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації».
35. ДСТУ ГОСТ 26568: 2009 «Вибрация методы и средства защиты».
36. ДСТУ ІЕС 61140: 2015 «Захист проти ураження електричним струмом. Загальні аспекти щодо установок та обладнання».
37. ДБН В.1.1-7-2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва».
38. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухо-пожежною та пожежною небезпекою».
39. ДСТУ 3675-98 «Пожежна техніка. Вогнегасники переносні. Загальні технічні вимоги та методи випробувань».
40. ДБН В.2.5-56-2014 «Системи протипожежного захисту».
41. ДСТУ Б В.2.5-38:2008 «Улаштування блискавкозахисту будівель та споруд».

## ДОДАТОК А

## Відомість матеріалів кваліфікаційної роботи

№ рядка	Формат	Позначення	Найменування	Кількість аркушів	Шифр документу	Примітка	
1			<b><u>Документація</u></b>				
2							
3	A4	KIBС.KBP.151.19.11.ПЗ	Пояснювальна записка		ПЗ		
4							
5			<b><u>Графічна частина</u></b>				
6							
7	A2	KIBС.KBP.151.19.11.E2	Функціональна схема				
8			автоматизації	1	E2		
9							
10	A2	KIBС.KBP.151.19.11.E3	Схема електрична				
11			принципова	1	E3		
12							
13	A4	KIBС.KBP.151.19.11.ПЕЗ	Перелік елементів	1	ПЕ		
14							
15	A4	KIBС.KBP.151.19.11.Д	Презентація		Д		
16							
17		KIBС.KBP.151.19.11.ВДЕ	Носій інформації	1	ВДЕ		
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
			Підп.	Дата	<b>KIBС.KBP.151.19.14.ТП</b>		
Зм.	Арк.	№ докум.					
Розробив		Сміщенко		02.05.22	Літ.	Аркуш	Аркушів
П. конс.		Шевченко				1	1
Н. контр.					Національний ТУ «Дніпровська політехніка», ЕТФ, 151-19ск-1		
					Автоматизація технологічного процесу виробництва поліетилену високого тиску. Відомість проекту		



**ВІДГУКИ КОНСУЛЬТАНТІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**



## ВІДГУК

кваліфікаційна робота бакалавра: «Автоматизація технологічного процесу виробництва поліетилену високого тиску»,

студент гр. 151-19ск-1 Сміщенко Антон Олександрович

Об'єкт розробки – система автоматичного керування технологічним процесом виробництва поліетилену високого тиску .

Об'єкт дослідження – холодильник зворотного етилену проміжного тиску серії КАЕ-250-300.

Предмет дослідження – здійснити структурну і параметричну ідентифікацію та визначити математичну модель об'єкта.

Одним з головних технологічних елементів виготовлення поліетилену високого тиску є холодильники охолодження зворотного етилену проміжного тиску. Від його стабільної роботи залежить якість кінцевої продукції і безпека виробництва.

По мірі охолодження в холодильнику, з газу виділяється поліетилен, який скидається з сепаратора у готову продукцію, а очищений і охолоджений етилен надходить на всмоктування компресора реакційного тиску для подачі його для повторної переробки у реакторі.

При значному коливанні охолодженого поліетилену у часі він може прилипати до стінок холодильника. Це збільшує падіння тиску в зворотній газовій системі і погіршує тепловіддачу, що викликає підвищення температури зворотного газу. Висока температура газу, що надходить в стиснення, знижує продуктивність компресорів. Тому питання стабільної роботи холодильника є дуже важливим.

У кваліфікаційній роботі, в якості об'єкту керування, обрано холодильник зворотного етилену проміжного тиску, серії КАЕ-250-300, з метою побудови підсистеми керування за обраним каналом керування «витрати води → температура етилену».

Виходячи з отриманих результатів можливо зробити висновок, що 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.

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 ГОСТ і ЕСКД, 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 привласнення освітнього рівня «бакалавр» в галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування.

**Керівник кваліфікаційної роботи, \_\_\_\_\_** ст. викл. Шевченко В.І.  
\_\_\_\_.06.2022

## РЕЦЕНЗІЯ

кваліфікаційна робота бакалавра: «Автоматизація технологічного процесу виробництва поліетилену високого тиску»,

студент гр. 151-19ск-1 Сміщенко Антон Олександрович

1. Завдання і зміст кваліфікаційної роботи ступеню бакалавра відповідає основній меті - перевірки знань і ступеня підготовленості студента за спеціальністю «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».
2. Актуальність роботи полягає в тому, що розробка та дослідження нової підсистеми керування дозволить зменшити вплив основних недоліків технологічного обладнання.
3. Отримана модель може бути використана за для розробки програмного забезпечення підсистеми 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 Сміщенко А.О. присвоєння йому кваліфікації «бакалавр» за спеціальністю «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

Рецензент, \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_.06.2022



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

\_\_\_\_\_ Бубліковим А.В.

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 року

### **ВИСНОВОК**

Про рівень запозичень у кваліфікаційній роботі бакалавра на тему «Автоматизація технологічного процесу виробництва поліетилену високого тиску», здобувача вищої освіти, групи 151-19ск-1, Сміщенко Антон Олександрович.

Загальний обсяг кваліфікаційної роботи без переліку посилань складає \_\_\_\_\_ сторінок. Програмне забезпечення використане для перевірки роботи “<https://unichesk.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)

Ім'я користувача:  
Олег Бойко

ID перевірки:  
1011440637

Дата перевірки:  
02.06.2022 21:35:51 EEST

Тип перевірки:  
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:  
02.06.2022 21:38:04 EEST

ID користувача:  
100008838

Назва документа: 01\_151\_-19ск\_Сміщенко\_А\_О\_-\_ПЗС

Кількість сторінок: 85 Кількість слів: 13872 Кількість символів: 103010 Розмір файлу: 2.51 MB ID файлу: 1011320141

Виявлено модифікації тексту (можуть впливати на відсоток схожості)

## 35.5% Схожість

Найбільша схожість: 13.4% з Інтернет-джерелом ([https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/28375/1/Osyrov\\_bakalavr.pdf](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/28375/1/Osyrov_bakalavr.pdf))

35.5% Джерела з Інтернету

191

Сторінка 87

Не знайдено джерел з Бібліотеки

## 0% Цитат

Вилучення цитат вимкнене

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнене

## 34.9% Вилучень

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

Немає вилучених Інтернет-джерел

34.9% Вилученого тексту з Бібліотеки

23

Сторінка 87

## Модифікації

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

Замінені символи

111

Підозріле форматування

15  
сторінок