

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 Стужук Данило Михайлович

(П.І.Б.)

академічної групи 151-18-1

(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 штучних алмазів

(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. Славінський Д.В.			

Дніпро  
2022

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**  
завідувач кафедри  
кіберфізичних та інформаційно-  
вимірювальних систем  
(повна назва)  
Бубліков А.В.  
(підпис) (прізвище, ініціали)  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 року

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

студенту Стужук Д.М.  
(прізвище та ініціали)

**академічної групи 151-18-1**  
(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 штучних алмазів**

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_

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)

Стужук Д.М.  
(прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Об'єкт розробки – система автоматичного керування технологічним обладнанням з виготовлення штучних алмазів.

Об'єкт дослідження – технологічне обладнання SYNTECHNO-Bars Press з використанням технології НРНТ для вирощування штучних алмазів.

Предмет дослідження – розробка моделі комірки вирощування алмазів регульованої по каналу «електричний струм - градієнт температури».

Підсистема керування має підтримувати заданий градієнт температури між зростаючим кристалом алмазу, який знаходиться у розплавленому металі та графітом, на який здійснюється високий тиск.

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.

Розглянуто техніко-економічного обґрунтування ефективності результатів розробки і впровадження автоматизованої підсистеми керування технологічним обладнанням з вирощування штучних алмазів.

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

ШТУЧНИЙ АЛМАЗ, КОМІРКА, ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ, ТЕМПЕРАТУРА, ДАТЧИК, СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, ВИКОНАВЧИЙ ПРИСТРІЙ ТИСК, СИНТЕЗ СИСТЕМИ, ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ.

## ЗМІСТ

Зміст	4
Перелік скорочень	7
Вступ	8
1 Стан питання та постановка завдання	9
1.1 Галузь промисловості	9
1.1.1 Високий тиск, висока температура	9
1.1.2 Хімічне осадження з газової фази	11
1.1.3 Детонація вибухівки	13
1.1.4 Ультразвукова кавітація	15
1.2 Технологічний процес	15
1.3 Об'єкт керування	17
1.3.2 Характеристика об'єкта керування	18
1.3.2 Структура об'єкту керування	19
1.3.3 Принцип функціонування об'єкту керування	20
1.4 Структура системи керування	20
1.5 Формулювання задачі дослідження	20
1.6 Висновки за розділом	21
2 Розробка апаратного забезпечення системи керування	22
2.1 Розробка структурної схеми підсистеми керування	22
2.2 Розробка структурної схеми інформаційних потоків	23
2.3 Вибір апаратного забезпечення підсистеми керування	24
2.3.1 Вибір датчиків	24
2.3.2 Вибір виконавчих пристроїв	27
2.3.3 Вибір пристроїв керування	28
2.3.4 Вибір джерел живлення	36
2.4 Розробка функціональної схеми автоматизації	38
2.5 Розробка схеми електричної принципової	40
2.6 Висновки за розділом	41

3	Визначення моделі об'єкта керування	42
3.1	Розробка структурної схеми інформаційних потоків дослідницької системи	42
3.2	Розробка методики дослідження об'єкта керування	44
3.3	Виконання експерименту	46
3.4	Обробка результатів експерименту	50
3.4.1	Підготовка даних	50
3.4.2	Структурна ідентифікація	52
3.4.3	Параметрична ідентифікація	56
3.4.4	Розробка моделі об'єкта керування в Simulink	60
3.4.5	Перевірка моделі на адекватність	62
3.5	Висновки за розділом	64
4	Економічна частина	66
4.1	Техніко-економічне обґрунтування впровадження системи керування	66
4.2	Розрахунок капітальних витрат пов'язаних з впровадженням системи керування	67
4.3	Розрахунок капітальних витрат на програмне забезпечення	68
4.3.1	Розрахунок часу на розробку програмного забезпечення	68
4.3.2	Розрахунок витрат на розробку програмного забезпечення	70
4.4	Розрахунок експлуатаційних витрат	72
4.4.1	Амортизація основних фондів	72
4.4.2	Розрахунок фонду заробітної плати	73
4.4.3	Відрахування на соціальні заходи	74
4.4.4	Розрахунок витрат на технічне обслуговування та ремонт	74
4.4.5	Витрати на електроенергію	74
4.4.6	Інші витрати	75
4.5	Висновки за розділом	76
5	Охорона праці	77
5.1	Характеристика об'єкту та умови його експлуатації	77
5.2	Оцінка небезпечних і шкідливих виробничих факторів.	80

5.2.1 Шум	80
5.2.2 Освітлення	81
5.2.3 Мікроклімат виробничого приміщення	82
5.2.4 Пожежна безпека при надзвичайних ситуаціях	84
5.5 Висновки за розділом	86
Висновки	87
Перелік посилань	90
Додаток А	94
Додаток Б	95
Відгуки консультантів кваліфікаційної роботи	96
Відгук	98
Рецензія	99

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АСК ТП	- автоматизована систему керування технологічним процесом
ОУ	- об'єкт керування;
САК	- система автоматичного керування;
ПЛК	- програмований логічний контролер;
ПІД	- регулятор – пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор;
ЕОМ	- електронна обчислювальна машина.
CVD	- chemical vapor deposition / хімічне осадження з пари;
HPHT	- high-pressure high-temperature / високі тиск і температура;

## ВСТУП

Алмази виділяються унікальною щільністю структури, що дозволяє каменю витримувати великі навантаження і високі температури. Ця властивість застосовується при космічних дослідженнях і розробках, у виробництві медичних приладів і точних годин, ядерної промисловості. Після огранювання красивий мінерал перетворюється в діамант, який високо оцінюється ювелірами. Сучасні технології дозволяють створити його в штучних умовах, знижуючи ціну без втрати якості [9].

У природі алмаз утворюється під впливом високих температур (більше 1 600 °C) та високого тиску (60...100 тисяч атмосфер). У природних умовах формування алмазів відбувається сотні тисяч, або навіть мільйони років. Штучні алмази, що за своїми фізичними характеристиками повністю відповідають натуральним, можна виростити за кілька місяців. Для цього необхідно відтворити природні умови їхнього утворення.

Синтетичні алмази, або штучні алмази, - це алмази, отримані в результаті штучного процесу, на відміну від натуральних алмазів, що утворюються під час геологічних процесів. Близько 97 % алмазів за вагою, що використовуються в промисловості, - синтетичні. Вони відомі як HPHT-алмази або CVD-алмази, названі так на честь двох популярних методів виробництва синтетичних алмазів. HPHT розшифровується як high-pressure high-temperature «високі тиск і температура», а CVD - chemical vapor deposition «хімічне осадження з пари». Термін «синтетичні» вважається досить невдалим. Федеральна торгова комісія США запропонувала альтернативні терміни: «вирощені в лабораторії», «створені в лабораторії», і «створені». За їх словами, ці терміни «будуть точніше описувати походження каменю», оскільки термін «синтетичні» зазвичай асоціюється у споживачів з продуктами, що імітують оригінал, тоді як зроблені штучно алмази є автентичними тобто чистим вуглецем, що кристалізувався в тривимірній ізотропній формі [7]



## **1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ**

### **1.1 Галузь промисловості**

В Україні технології отримання й використання синтетичних алмазів розроблені науковцями Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України. Тут уперше були запропоновані нові розчинники вуглецю, що забезпечують ефективний синтез алмазів: магній, цинк, оксиди, карбонати, гідроксиди лужних та лужно-земельних елементів, розроблено низку марок шліфувальних порошків (АС2, АС4, АС6, АС15, АС20, АС32, АС50, АС65, АС80, АС100, АС125, АС160), мікропорошків (АСМ, АСН) і субмікропорошків синтетичних алмазів із широким діапазоном фізико-механічних властивостей (міцність, крихкість, форма тощо). Розроблені технології одержання синтетичних алмазів упроваджено на заводах алмазної галузі в містах Полтаві, Львові, Бориславі.

Для виробництва штучних алмазів використовується декілька технологій. Історично перша, і основна на сьогодні, завдяки відносно невисокій вартості, - використання високого тиску і високої температури - НРНТ. Устаткування для цього методу - багатотонні преси, які можуть розвивати тиск до 5 ГПа за 1 500 °С. Другий метод - хімічне осадження з газової фази - CVD - коли над підкладкою створюється плазма з атомів вуглецю, з якої атоми поступово конденсуються на поверхню, утворюючи алмаз. Третій метод використовує формування нанорозмірних алмазів за допомогою ударної хвилі від вибухівки [7].

#### **1.1.1 Високий тиск, висока температура**

У НРНТ-методі використовуються три види компоновання пресів - стрічковий прес, кубічний прес і прес з розрізною сферою. Заготовки для алмазів закладаються на дно капсули, що закладається в прес. У пресі під тиском капсулу нагрівають до температури вище 1 400 °С і метал-розчинник плавиться [7, 9, 10].



Рисунок 1.1 – Виготовлення штучних алмазів за НРНТ-технологією

Розплавлений метал розчиняє вуглець, також закладений в капсулу, і дозволяє переміщатися атомам вуглецю до заготовки, завдяки чому заготовки ростуть, формуючи великі алмази. Синтез триває 4...10 днів в залежності від розмірів каменю.

В оригінальному винаході GE, зробленому Трейсі Холлом (Tracy Hall), використовувався стрічковий прес, де верхнє і нижнє ковадла стискали циліндричну комірку. Тиск всередині комірки в радіальному напрямку підтримувався за рахунок паса з попередньо напружених сталевих стрічок, які оперізують циліндричну капсулу. Ковадла також служили електродами, що пропускали струм через стиснуту капсулу. Деякі варіанти цього пресу використовують гідравлічний тиск замість сталевих стрічок для підтримки тиску в радіальному напрямку. Стрічкові преси все ще використовуються, але мають значно більші габарити, ніж оригінальна конструкція. Другий тип пресів - кубічні. Вони використовують шість ковадл для стиснення робочого об'єму, що має форму куба. Першим варіантом преса з декількома ковадлами був прес-тетраедр, що стискає робочий об'єм за допомогою чотирьох ковадл. Кубічні преси з'явилися дуже швидко, внаслідок спроб збільшити робочий об'єм, порівняно зі стрічковими пресами. Кубічні преси, як правило, мають менші габарити, ніж стрічкові, і швидше виходять на робочі режими за тиском і температурою, необхідні для отримання синтетичних алмазів. Проте кубічні преси не так просто збільшити для збільшення робочого об'єму. Збільшення робочого об'єму спричинить збільшення розміру ковадл, яке спричинить

збільшення сили, що прикладається до ковадла для отримання попереднього тиску. Можливим рішенням може бути зменшення відношення зовнішньої до внутрішньої площі ковадла за рахунок використання робочого обсягу іншої форми, наприклад, додекаедра. Але такі преси будуть складніші і дорожчі у виробництві. Третій, найдосконаліший тип пресів для вирощування алмазів - БАРС - Безпресова апаратура високого тиску «Розрізна Сфера», розроблена вченими в 1989...1991 р. Преси цієї конструкції найбільш компактні, ефективні, економічні серед установок для вирощування алмазів. У центрі пристрою міститься керамічна циліндрична капсула об'ємом близько декілька см<sup>3</sup>, в якій відбувається вирощування. Капсулу оточує кераміка на базі пірофіліту, що передає тиск, яка стискається пуансоном першого ступеня з твердого матеріалу, наприклад, карбиду вольфраму або сплаву ВК10. Восьмигранна збірка пуансонів першого ступеня стискається за допомогою восьми сталевих пуансонів другого ступеня. Після складання конструкція укладається між двох півсфер діаметром близько метра, що фіксуються разом напівмуфтами. Проміжок між напівсферами і сталевими пуансонами заповнюється гідравлічним маслом під тиском, передаючи зусилля через пуансони до капсули. Капсула нагрівається за допомогою вбудованого коаксіального графітового нагрівача, а температура контролюється за допомогою термопари.

### **1.1.2 Хімічне осадження з газової фази**

Хімічне осадження з газової фази - це метод отримання алмазів, за якого алмаз росте за рахунок осадження вуглецю на приманку з водень-вуглецевої газової суміші. Даний спосіб активно опрацьовували наукові групи в світі з 1980 років. Якщо НРНТ-процес використовується в промисловості для серійного виробництва алмазів, то простота і гнучкість CVD-технології зумовили популярність цього методу в лабораторіях. Під час вирощування алмазів за технологією осадження з газової фази можна тонко контролювати хімічний склад включень у підсумковий продукт, вирощувати алмазні плівки на заготовках великої площі. На відміну від НРНТ, CVD-процес не вимагає

високого тиску - процес росту відбувається за тисків менше 27 кПа. CVD-процес включає підготовку підкладки, заповнення робочої камери сумішшю газів і їх подальше збудження. Процес підготовки підкладки включає пошук відповідного матеріалу і правильну орієнтацію його кристалографічної площини, його очищення, що часто включає шліфування алмазними порошками, підбір оптимальної температури підкладки близько 800 °С. Газова атмосфера завжди містить джерело вуглецю зазвичай метан і водень, часто в співвідношенні 1 до 99. Водень необхідний, оскільки селективна травить вуглець у неалмазному стані.

Газова суміш у робочій камері іонізується для утворення хімічно активних радикалів за допомогою мікрохвильового випромінювання, електричної дуги, лазером або іншим способом. У процесі росту матеріал робочої камери може протравлюватись плазмою, що призводить до забруднення алмазу, який росте.

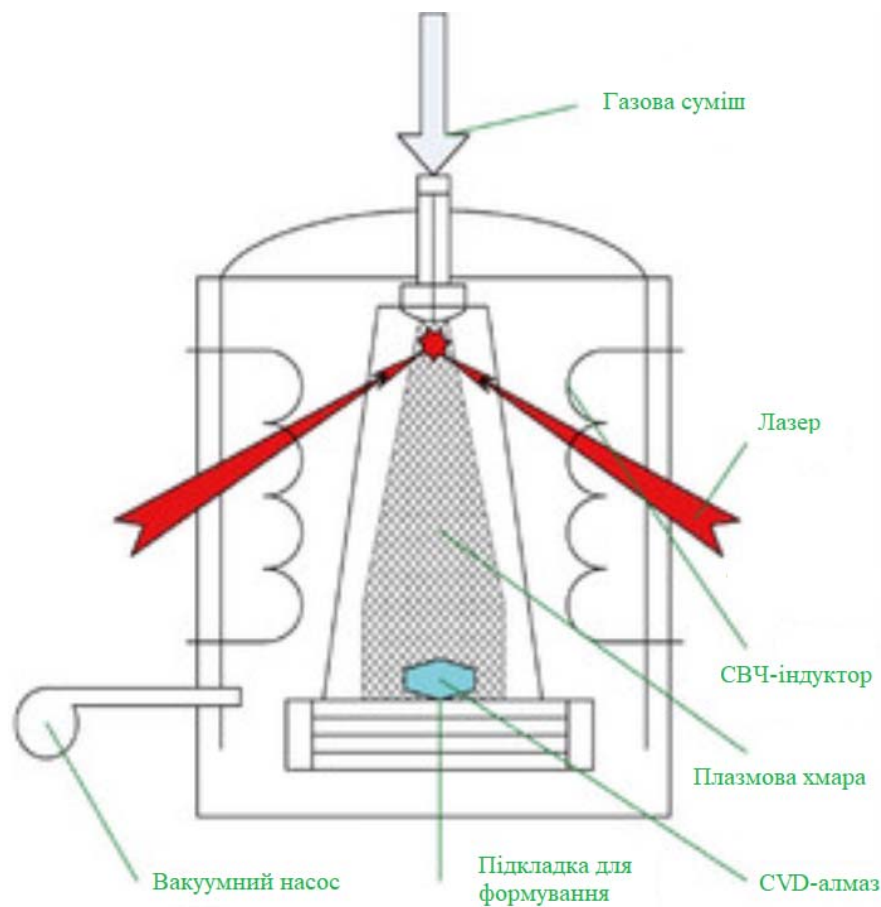


Рисунок 1.2 – Виготовлення штучних алмазів за CVD-технологією

Так, CVD-алмази дуже часто містять забруднення з кремнію від оглядових вікон робочої камери. З цієї причини в конструкціях робочих камер уникають кварцових віконць або виносять їх подалі від підкладки. Також наявність слідів бору робить неможливим вирощування чистих алмазів.

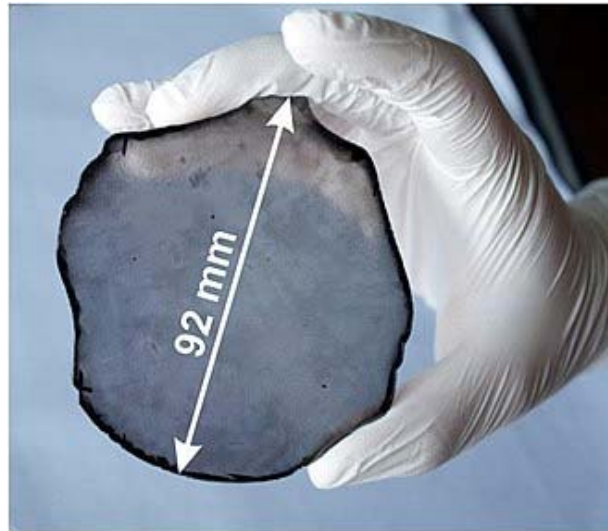


Рисунок 1.3 – Зразок алмазу виготовленого за CVD-технологією

Алмазний монокристалічний диск, отриманий за технологією хімічного осадження з газової фази. Діаметр диска — близько 9 см, товщина — близько 1,5 мм, вага — 155 карат.

### 1.1.3 Детонація вибухівки

Алмазні нанокристали діаметром 5 нм можна сформувати під час детонації відповідної вибухівки, яка містить вуглець, у металевій камері.

Під час вибуху виникає високий тиск і висока температура, якої достатньо для перетворення вуглецю з вибухівки в алмаз. Відразу після вибуху камеру з вибухівкою занурюють у воду, що пригнічує перехід алмазів на більш стабільний графіт. В одному з варіантів цієї технології металева трубка заповнюється порошком графіту і розміщується всередині камери, заповненої вибухівкою. Нагрівання і тиск, що розвивається від вибуху, достатні для перетворення графіту на алмаз.

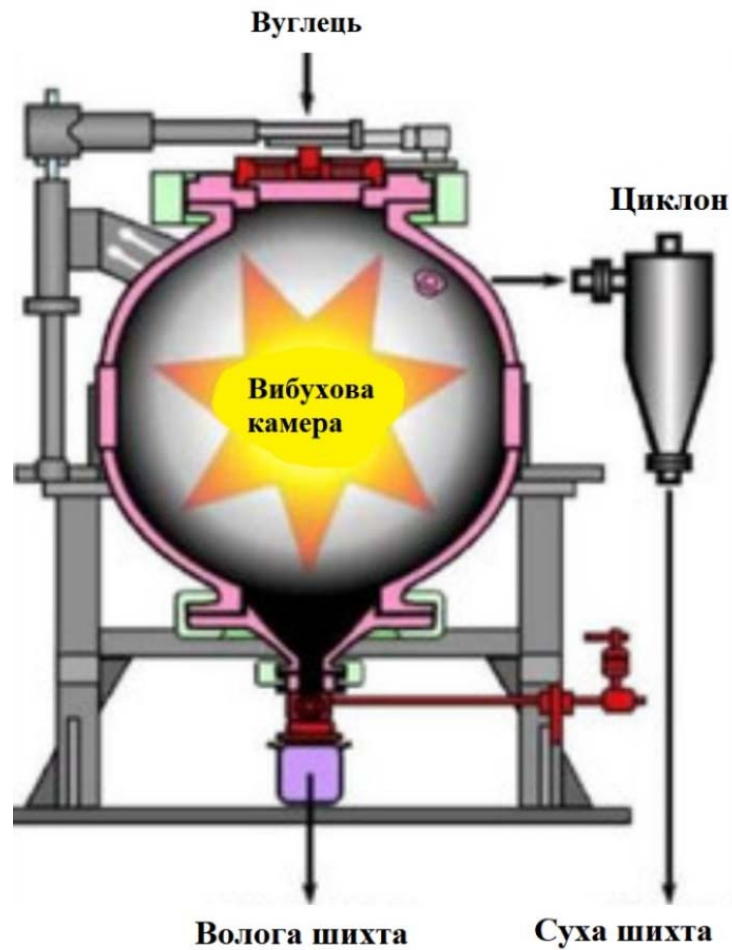


Рисунок 1.4 – Виготовлення штучних алмазів за технологією вибухового синтезу

Кінцевий продукт завжди міститься в графіті та інших неалмазних формах графіту, тому вимагає тривалого кип'ятіння в нітратній кислоті близько доби за

250 °С для вилучення. Отримані таким чином алмазні порошки використовуються переважно як абразив. Основний виробник - Китай. Надходження на ринок у великих обсягах почалося приблизно від початку 2000 років.

#### **1.1.4 Ультразвукова кавітація**

Алмазні кристали мікронного розміру можна отримати за нормальних умов у суспензії графіту в органічному розчиннику під впливом ультразвукової кавітації. На алмази перетворюється до 10 % вихідного графіту. Собівартість отримання алмазів таким способом можна порівняти з НРНТ-процесом, але якість одержуваних алмазів - помітно нижча. Ця методика синтезу алмазів дуже проста, але результати були отримані лише двома науковими групами і методика поки що не має промислового втілення. На процес впливає багато параметрів, зокрема підготовка графітової суспензії, підбір розчинника, джерела і режиму ультразвукових коливань, оптимізація яких може значно поліпшити і здешевити цю технологію отримання алмазів.

### **1.2 Технологічний процес**

«Бориславський завод штучних алмазів і алмазного інструменту» – підприємство з виробництва штучних алмазів, абразивних матеріалів та інструменту з них. Засновано у 1975 як Бориславська філія Львівського заводу алмазних інструменту. Від 1978 Бориславський завод штучних алмазів та алмазного інструменту. Від 1989 – самостійне державне підприємство Міністерства верстатобудування та інструмент. промисловості СРСР. Від 1994 – ВАТ із сучасною назвою, підпорядкованої компанії «Союз М».

У структурі заводу входять наступні цехи: синтезу, хімічної обробки продуктів синтезу та класифікації алмазів; відділення виготовлення та реставрації оснащення для синтезу; лабораторія; відділи управління, технічного, енергетичного й матеріального забезпечення. Завод випускає синтетичні алмази марок АС<sub>2</sub>, АС<sub>4</sub>, АС<sub>6</sub>, АС<sub>15</sub>, АС<sub>20</sub>, АС<sub>32</sub>, АС<sub>50</sub>, АС<sub>65</sub>, АС<sub>80</sub>, а також підвищеної якості



BR<sub>2</sub>, BRM<sub>4</sub>, BRM<sub>6</sub>, BRM<sub>15</sub>. Продукція підприємства використовується для виготовлення алмазів інструментів, суспензій і паст, що забезпечують ефективну обробку виробів зі скла, кераміки, напівпровідників та композиційних матеріалів, різальних інструментів із твердих сплавів, виробів із кольорових металів. Частка продукції у загально-українському обсязі виробництва становить 25 %. Станом на 2001 було випущено близько 6 млн карат синтетичних алмазів. На підприємстві впроваджено нові технології на основі власних патентів, що дало змогу досягти якості порошків синтетичних алмазів, яка не поступається аналогам провідним світовим виробників, зокрема «De Beers», «General Electric». Продукція заводу експортується до США, Німеччини, Румунії, Болгарії, Бельгії, Індії. Загальна кількість працівників – 200 осіб [15].

В даний час завод випускає синтетичні алмази, розміром до 8 мм, які використовуються в основному в нанотехнологіях.

Завод постійно вдосконалює і впроваджує вдосконалені методи виробництва з використанням технології НРНТ - градієнта температури.

В рамках процесу НРНТ є три основні інструменти, які використовуються для зміни параметрів синтезу.

Bars Press є найбільш ефективним інструментом для синтезу. Він використовує комбінацію внутрішніх і зовнішніх ковадл для нанесення гідравлічного тиску на камеру росту.

Belt Press є основною технологією для вирощування алмазів. Він може виробляти кілька алмазів за один цикл, використовуючи два великих ковадла, які стискаються для створення необхідного тиску.

Cubic Press – може використовувати шість окремих ковадл для створення необхідного тиску для росту алмазних кристалів.

В останній час адміністрацією заводу піднімає питання про розширення виробництва синтетичних алмазів, вивчення їх фізичних характеристик і більш ефективне використання їх в промисловості, виявлення нових синтетичних алмазів.



### 1.3 Об'єкт керування

Алмази вирощуються на обладнанні SYNTECHNO з використанням передової технології НРНТ на сучасному обладнанні Bars Press.



Рисунок 1.4 – Технологічне обладнання SYNTECHNO

Установка, яка являє собою гідравлічний прес з декількома пуансонами, які стискають спеціальний контейнер - комірку росту, всередині якої знаходиться каталізатор і графіт.

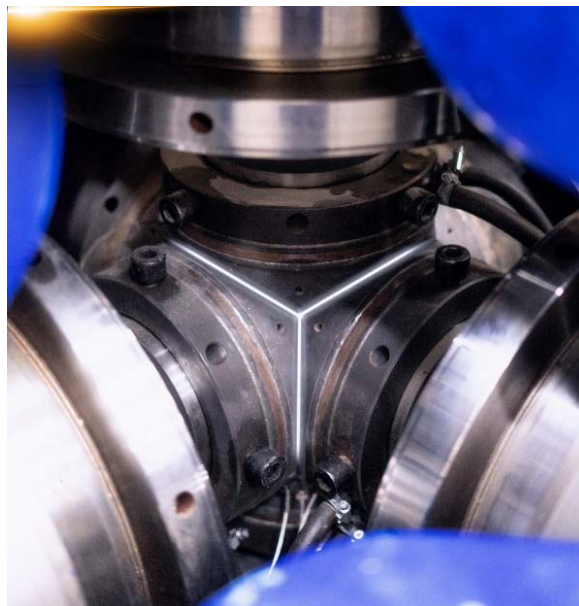


Рисунок 1.5 – Комірка росту

Комірка росту містить всі елементи, необхідні для вирощування алмазу, включаючи початковий алмаз, високо-очищений графіт і каталітичну суміш, що

складається з металів і порошків. Комірка розташована в центрі камери НРНТ. Застосовуються постійні температури, що досягають 1 400 °С і більше 50 000 атм. Каталізатори всередині комірки першими реагують на додане тепло і тиск, а початковий (ростовий) алмаз переходить від твердої до розплавленої форми.

Розплавлений розчин каталізатора змушує графіт розчинятися всередині комірки. Як тільки будуть виконані всі необхідні умови, починається процес охолодження.

Цей процес відбувається протягом декількох днів і дозволяє атомам вуглецю накопичуватися на початковому алмазі. Згодом комірка видаляється з преса НРНТ після завершення циклу росту. Новий необроблений алмаз видобувається і очищається для підготовки до остаточного різання і полірування.

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

У кваліфікаційній роботі, в якості об'єкту керування, обрано технологічне обладнання SYNTECHNO з використанням передової технології НРНТ на сучасному обладнанні типу Bars Press.

Весь процес вирощування НРНТ вимагає постійного контрольованого середовища для виробництва алмазів якості дорогоцінних каменів.



Рисунок 1.6 – Розташування технічних засобів автоматизації на комірці росту

Це дозволяє контролювати синтез і вносити зміни в структуру алмазу, дозволяючи отримувати алмазну сировину з заданими характеристиками. Кожен алмаз, в кінці всього циклу зростання, має передбачувані і постійні характеристики, включаючи колір, чистоту і розмір.

### 1.3.2 Структура об'єкту керування

Таким чином є гостра потреба для створення системи керування технологічним НРНТ-процесом з вирощування одиночних кристалів алмазу з варіативним налаштуванням параметрів.

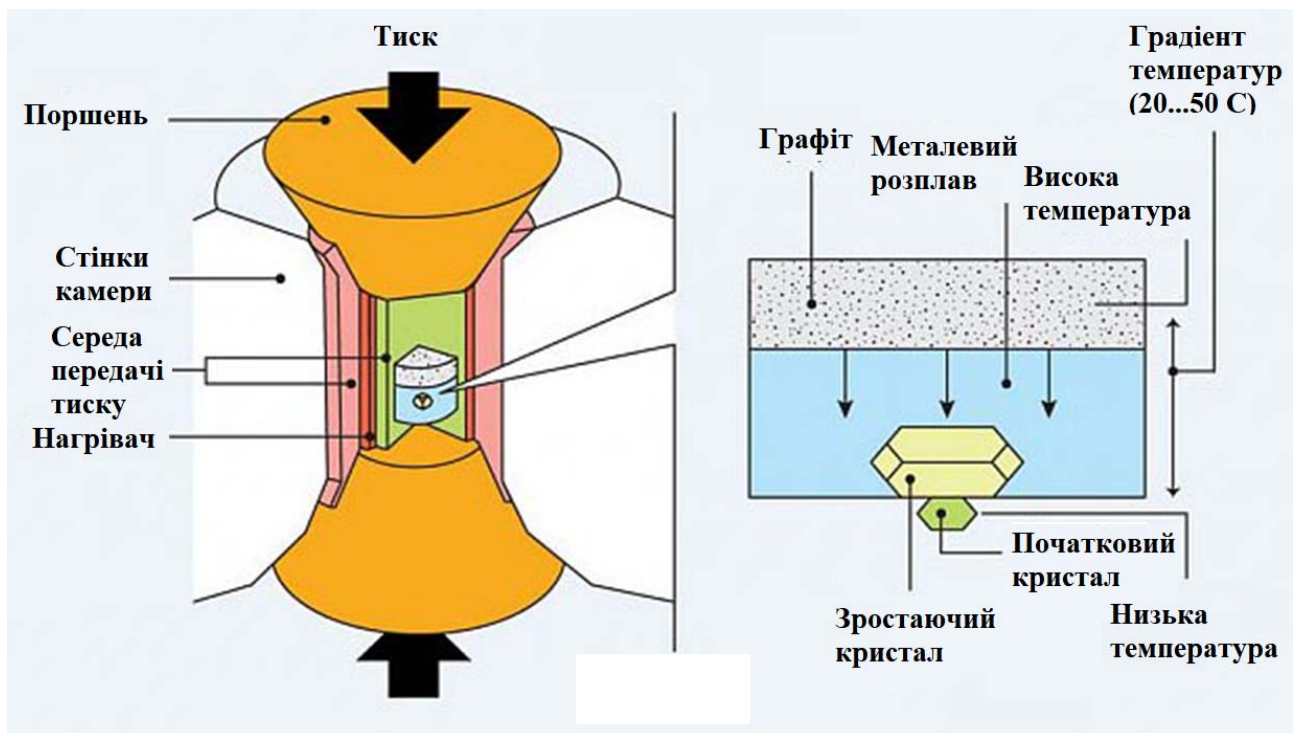


Рисунок 1.7 – Структурна схема виробництва синтетичних алмазів методом НРНТ

Основні параметри НРНТ-процесу:

- температури, °С: 1 400...1 500;
- градієнт, °С: 20...50;
- тиск, тисяч атм.: 50...70;
- діаметр початкового кристал, мм: до 0,5;
- електричний струм, В / А 36...50 / 150...300;
- цикл процесу вирощування, діб 12...24.

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

Гідравлічний прес обтискає спеціальну ємність, всередині якої знаходиться розплав металу (залізо, нікель, кобальт і т. д.) і графіт.

На субстраті є один або кілька початкових кристалів - дрібних кристалів алмазу. Через камеру протікає електричний струм, нагріваючи розплав до потрібної температури. У цих умовах метал служить розчинником і каталізатором процесу кристалізації вуглецю на зерні у вигляді алмазу. Процес вирощування одного великого або декількох менших кристалів триває декілька днів.

### **1.4 Структура системи керування**

Роботою технологічного обладнання SYNTECHNO керує автоматичний регулюючий прилад.

Основними каналами керування є канали:

- «електричний струм - градієнт температури»;
- «тиск – температура».

### **1.5 Формулювання задачі дослідження**

За рекомендацією керівника кваліфікаційної роботи обрано варіант розробки підсистема керування за каналом «електричний струм - градієнт температури».

Підсистема керування має підтримувати заданий градієнт температури між зростаючим кристалом алмазу, який знаходиться у розплавленому металі та графітом.

Підсистема керування має відповідати вимогам технологічного процесу, наведеного раніше при його огляді.

## 1.6 Висновки за розділом

Головною метою роботи є розробка моделі об'єкта керування для регульованого по температурі градієнту між зростаючим кристалом алмазу, який знаходиться у розплавленому металі та графітом, в залежності від величини струму, який тече через розплавлений метал.

Отримана модель може бути використана при синтезі системи керування для технологічного обладнання SYNTECHNO .

Актуальність роботи пояснюється необхідністю модернізації систем керування, які використовуються на підприємстві, так як весь процес вирощування НРНТ вимагає постійного контрольованого середовища для виробництва алмазів якості дорогоцінних каменів.

Сучасна система керування дозволить контролювати процес синтезу і вносити зміни в структуру алмазу, дозволяючи отримувати алмазну сировину з заданими характеристиками. Кожен алмаз, в кінці всього циклу зростання, матиме передбачувані і постійні характеристики, включаючи колір, чистоту і розмір.

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, обрано технологічне обладнання SYNTECHNO з використанням передової технології НРНТ на сучасному обладнанні типу Bars Press.

До складу структури підсистема керування входять наступні сигнали.

Вхідні сигнали:

- датчик температури розплавленого металу (1 400...1 600 °С);
- датчик температури графіту (1 400...1 600 °С);
- датчик тиску (50...70 тисяч атм.);
- датчик електричного струму (150...300 А).

Вихідні сигнали керування:

- підсистема регулювання струму (150...300 А)
- електродвигун масляного насосу (5,5 кВт, ~380 В);
- електродвигун відкриття / закриття комірки (1,0 кВт, ~380 В).

Роботою технологічним обладнанням SYNTECHNO-НРНТ-Bars Press керує програмований логічний контролер (рис. 2.1.).

Технологічним обладнання SYNTECHNO-НРНТ-Bars Press являє собою гідравлічний прес з декількома пуансонами, які стискають спеціальний контейнер - комірку росту, всередині якої знаходиться каталізатор і графіт.

Комірка росту містить всі елементи, необхідні для вирощування алмазу, включаючи початковий алмаз, високо-очищений графіт і каталітичну суміш, що складається з металів і порошків. Комірка розташована в центрі камери НРНТ. Застосовуються постійні температури, що досягають 1 400 °С і більше 50 000 атм. Каталізатори всередині комірки першими реагують на додане тепло і тиск, а початковий (ростовий) алмаз переходить від твердої до розплавленої форми. Розплавлений розчин каталізатора змушує графіт розчинятися всередині

комірки. Як тільки будуть виконані всі необхідні умови, починається процес охолодження.

Цей процес відбувається протягом декількох днів (12...24) і дозволяє атомам вуглецю накопичуватися на початковому алмазі. Згодом комірка видаляється з преса НРНТ після завершення циклу росту. Новий необроблений алмаз видобувається і очищається для підготовки до остаточного різання і полірування.

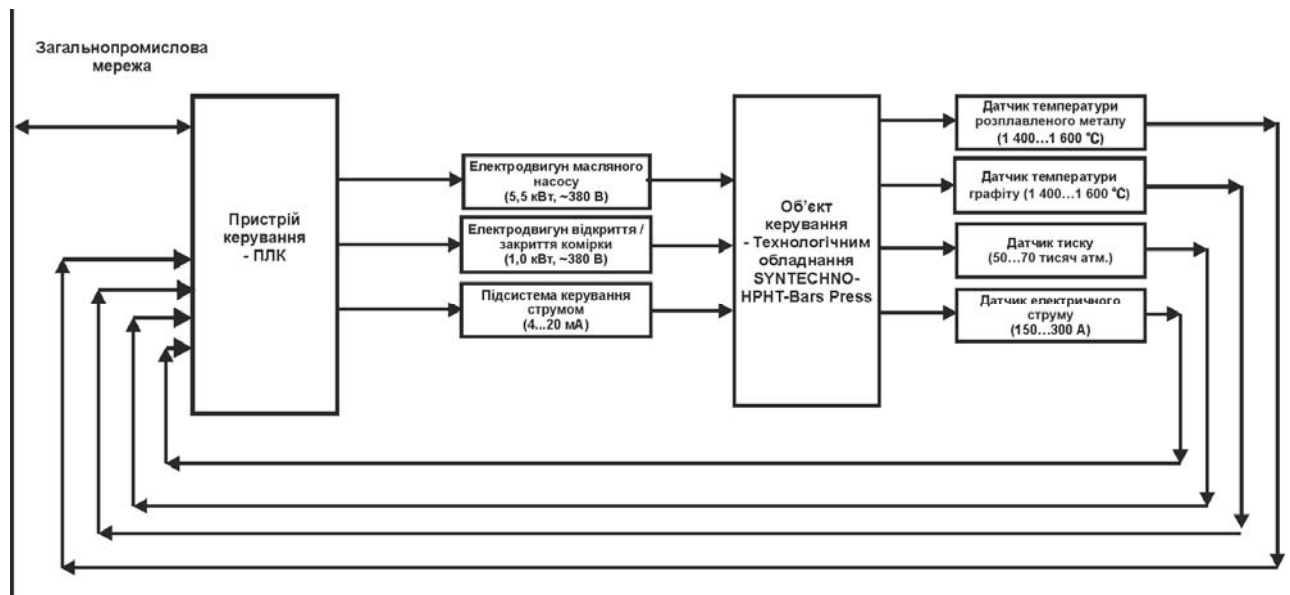


Рисунок 2.1 – Структурна схема підсистеми керування

Таким чином система керування має два канали керування:

Основними каналами керування є канали:

- «електричний струм - градієнт температури»;
- «тиск – температура».

## 2.2 Розробка структурної схеми інформаційних потоків

Підсистема керування обладнанням SYNTECHNO-HPHT-Bars Press відповідає класичним вимогам до підсистем автоматизованого керування технологічним обладнанням. До неї входять пристрої збору інформації (датчики температури, тиску, електричного струму), еталони стану обладнання (максимальна температура і тиск у комірці), система автоматичного контролю стану обладнання, програма керування, яка повинна реалізувати формування

керуючих впливів для підтримки градієнту температури та тиску на заданому рівні, протиаварійний захист, блок переводу до ручного режиму керування, та виконавчі пристрої - електродвигуни (масляного насосу, приводу відкриття / закриття комірки).

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

За технічними параметрами температура розплавленого металу та графіту лежить у діапазоні 1 400...1 600 °С. Крім того датчик температури повинен мати стандартний інтерфейс зв'язку для підключення до програмованого логічного контролера.

Датчик температури ТПР-1788 - високотемпературна термопара для вимірювання температури до 1 600 °С використовується як датчик температури в газових котлах, плавильних печах, в камерах спалювання газів і в тих місцях, де потрібно здійснити контроль температури 600...1 600 °С.

Термоперетворювач ТПР-1788 працює з вторинними приладами такими як вимірники температури і регулятори, які повинні мати в своїх характеристиках режим роботи забезпечує для вимірювання та підключення датчиків з характеристикою ТПП і ТПР.



В залежності від виконання довжина термопари (L) може становити 320...2 000мм, робоча довжина (високотемпературна керамічна частина, l) – 250 і 400 мм стандартно, або інші розміри - під замовлення.

Технічні характеристики датчика наведені в табл. 2.1.



Рисунок 2.3 – Датчик температури ТПР-1788

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики датчика температури ТПР-1788

№	Найменування параметра	Значення
1	Тип	ТПР
2	Діапазон вимірюваних температур, °С	600...1 600
3	Клас допуску	2,3
4	Точність, °С	±5 / ±0.004t
5	Вихідний сигнал, тип (характеристика)	ТПР
6	Напруга живлення, В	-
7	Потужність споживання, Вт	-
8	Показник теплової інерції, с, не більше	80
9	Матеріал захисної арматури	Кераміка КВПТ, С610, С799 d=7,5; 8;10;15;18;24
	Надлишковий тиск, МПа	0,3

Оскільки датчик температури ТПР-1788 має вимірювати температуру середовища з дуже високим тиском, то чутливий елемент датчика має бути вбудований у захисний конструктив, як правило, це непряме вимірювання через технологічні заглиблення – свердлення у корпусі середі вимірювання.

Датчики тиску UNIK 5700 мають сертифікати на використання в більшості областей, а також сертифікат конструктивної безпеки обладнання. Завдяки використанню технології кремнієвих датчиків Druck і макета аналогової електроніки, передавачі тиску мають найкращу в своєму класі стабільність, чуйність і низьке енергоспоживання [18].



Рисунок 2.4 – Датчик тиску UNIK 5700

Оскільки датчик тиску UNIK 5700 має вимірювати дуже високий тиск (перевищуючий максимальний у 100 разів), то чутливий елемент датчика має бути вбудований через понижуючий редуктор 1/100, або у ту частину насосного агрегату високого тиску, де з відповідний робочий тиск.

Таблиця 2.2 – Технічні параметри датчику тиску UNIK 5700

№	Найменування параметра	Значення
1	Тип	кремнієвий сенсор Druck
2	Діапазон вимірювання, °МПа	70
3	Точність, °%	±0,04%
4	Діапазон вихідного сигналу, мА	4...20
5	Частота відгуку, кГц	35
6	Напруга живлення, В	12...24
7	Потужність споживання, Вт	6
8	Діапазон температур, °С	-55 до 125

Датчик струму ДТТ-03Т складається з корпусу, магнітного ядра, електронної схеми обробки сигналів.



Рисунок 2.5 – Датчик струму ДТТ-03Т-300

Датчики доступні для декількох діапазонів вимірних струмів (змінного та постійного): 5 А, 10 А, 20 А, 50 А, 100 А, 100 А, 150 А, 200 А, 300 А.

Таблиця 2.3 – Технічні параметри датчику струму DTT-03T-300

№	Найменування параметра	Значення
1	Тип	Hall
2	Діапазон вимірювання, °А	0...300
3	Точність, °%	±0,1%
4	Діапазон вихідного сигналу, мА	4...20
5	Частота відгуку, Гц	100
6	Напруга живлення, В	12...24
7	Потужність споживання, Вт	4
8	Смуга вимірювання, Гц	30...20 000
8	Діапазон температур, °С	-55 до 125

На підставі обраних датчиків та їх технічних характеристик складена табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Датчики

№	Назва параметру	Принцип дії	Тип	Діапазон змінення	Точність	Значення виходу	Період оновлення	Напруга живлення	Потужність споживання
1	Температура розплавленого металу	Термопара	Аналоговий	600...1100°С	±5 %	ТПР	0.1 с	-	-т
2	Температура графіту	Термопара	Аналоговий	600...1100°С	±5 %	ТПР	0.1 с	-	-т
3	Тиск масла	Мікрохвильовий	Аналоговий	0...70 МПа	±0.04 %	4...20 мА;	0.1 с	12...24 В	6 Вт
4	Електричний струм	Hall	Аналоговий	0...300 А	±0.1 %	4...20 мА;	0.1 с	12...24 В	4 Вт

### 2.3.2 Вибір виконавчих пристроїв

Величина заданого струму забезпечуються відповідною підсистемою, яка входить до складу, обраного технологічне обладнання SYNTECHNO, що має канал струмовий керування 4...20 мА.

Для управління електродвигуном масляного насосного агрегату (5,5 кВт, ~380 В), та електродвигуном відкриття / закриття комірки (1,0 кВт, ~380 В) використовуємо трифазне твердотільне реле змінного струму Jotta SSR 25DA,

480 В змінного струму, з керуванням 0...24 В постійної напруги, яке будемо використовувати у дискретному режимі керування [20].



Рисунок 2.6 – Трифазне твердотільне реле Jotta SSR 40DA (3x~380 В, 0...24 В)

На підставі наведеного вище для виконавчих пристроїв, та їх технічних характеристик складена табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Виконавчих пристроїв

№	Назва параметру	Принцип дії	Тип	Діапазон змінення	Лінійність	Значення входу	Період оновлення	Напруга живлення	Потужність споживання
1	Регулювання електрострум	Вбудована підсистема регулювання	Пропорційне керування	0...300 А	лінійний	4...20 мА	0,1 с	24 В	10 Вт
2	Електродвигун масляного насосного	Твердотільне реле	Дискретний	вимк./вкл..	Не лінійний	0...24 В	0,1 с	24 В	1,0 Вт
3	Електродвигун відкриття комірки	Твердотільне реле	Дискретний	вимк./вкл..	Не лінійний	0...24 В	0,1 с	24 В	1,0 Вт
4	Електродвигун закриття комірки	Твердотільне реле	Дискретний	вимк./вкл..	Не лінійний	0...24 В	0,1 с	24 В	1,0 Вт

### 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 реакції на змінення температури. 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 три датчики - два датчики температури (тип виходу термопара, ТПР), та один датчик тиску та один струму (тип виходу 4...20 мА).

До контролеру також має бути підключено підсистема керування електричним струмом, яка інтегрована до технологічного обладнання SYNTECHNO, що має вхідний канал струмовий керування 4...20 мА.

До контролеру повинні бути підключені два дискретні канали управління (тип виходу 0, +24 В).

Так як підсистема керування технологічним обладнанням SYNTECHNO повинна інтегруватися у загально-заводську автоматизовану систему керування технологічним обладнанням (АСК ТП).

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. 2.7). Технічні характеристики контролеру наведені в табл. 2.5.



Рисунок 2.7 – Програмований логічний контролер VIPA 214-2BS33

Таблиця 2.5 – 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

Два датчика температури мають стандартний сигнал типу термопара-ТПР. Для підключення датчиків температури обрано модуль аналогового вводу VIPA 231-1BD53 (multiinput) який має чотири аналогові входи (рис. 2.8). Технічні характеристики модуля наведені в табл. 2.6.



Рисунок 2.8 – Модуль аналогового вводу VIPA 231-1BD53, multiinput

Таблиця 2.6 – Технічні характеристики модуля аналогового вводу VIPA 231-1BD53

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

Схема підключення датчика температури до модуля аналогового вводу наведена на рис. 2.9.

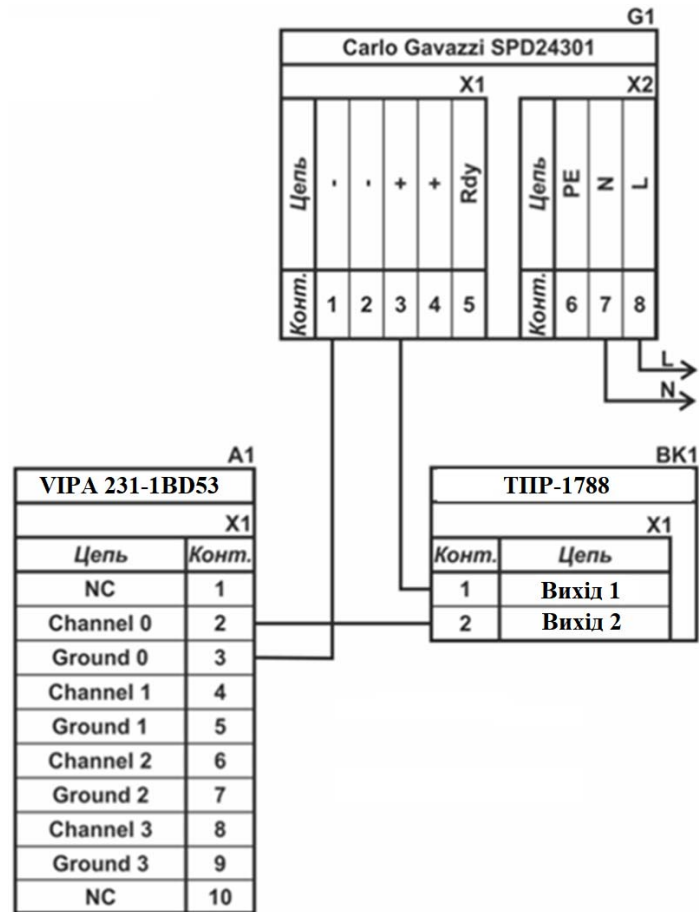


Рисунок 2.9 – Схема підключення датчика температури ТТР-1788

Два датчики (один та електричного струму) мають стандартний струмовий сигнал 4...20 мА. Для підключення датчиків температури обрано модуль аналогового вводу VIPA 231-1BD40 який має чотири аналогові входи (рис. 2.10). Технічні характеристики модуля наведені в табл. 2.7.



Рисунок 2.10 – Модуль аналогового вводу VIPA 231-1BD40

Таблиця 2.7 – 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

Схема підключення датчика температури до модуля аналогового вводу наведена на рис. 2.11.

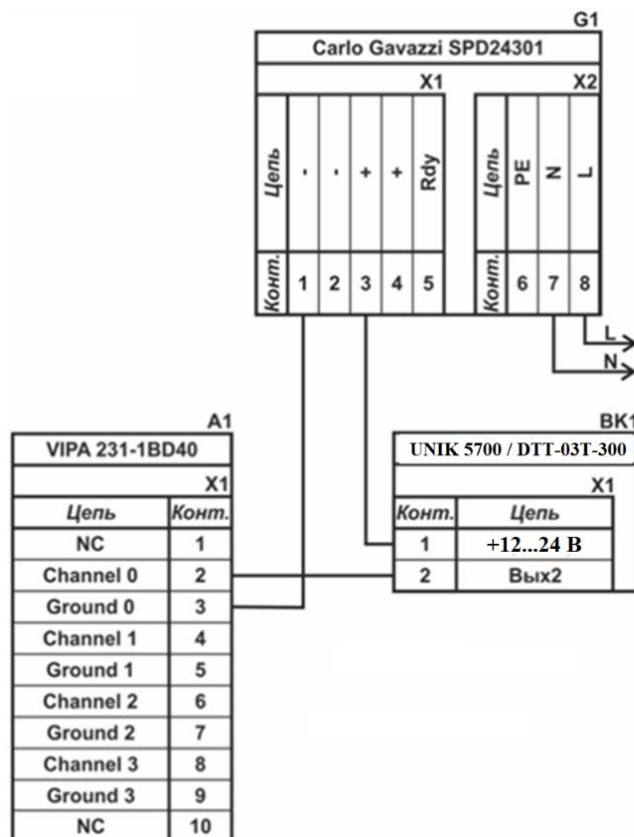


Рисунок 2.11 – Схема підключення датчика тиску або електричного струму

До контролеру повинні бути підключені два дискретні канали управління (тип виходу 0,  $\pm 24$  В), тому для підключення цих пристроїв обрано модуль дискретного вводу VIPA 222-1BF00 (рис. 2.12). Технічні характеристики модуля наведені в таблиці 2.8.





Рисунок 2.12 – Модуль дискретного виводу VIPA 222-1BF00

Таблиця 2.8 – 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 2.13.

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. Відповідний вихід модуля 2 підключено до входу пристрою узгодження. Земляний вихід пристрою узгодження підключено до земляного входу блока живлення. Аналогічно підключено інший пристрій узгодження навантаження (ПУН), але до відповідних до виходів цього модуля.

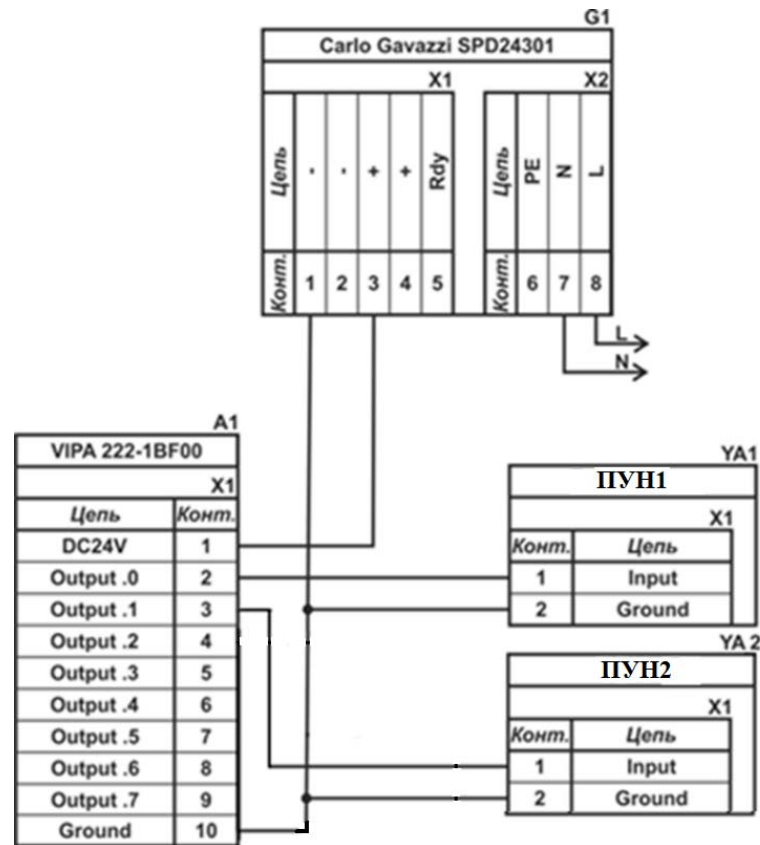


Рисунок 2.13 – Схема підключення дискретних пристроїв узгодження

До контролеру також має бути підключено підсистема керування електричним струмом, яка інтегрована до технологічного обладнання SYNTechno, що має вхідний канал струмовий керування 4...20 мА, тому потрібен один канал аналогового виводу з діапазоном аналогового сигналу 4...20 мА, скористаємося раніше обраним модулем VIPA 232-1BD40 у якому є чотирьох аналогових виходу 4...20 мА (рис. 2.14).

Технічні характеристики модуля наведені в таблиці 2.9.



Рисунок 2.14 – Модуль аналогового виводу VIPA 232-1BD40



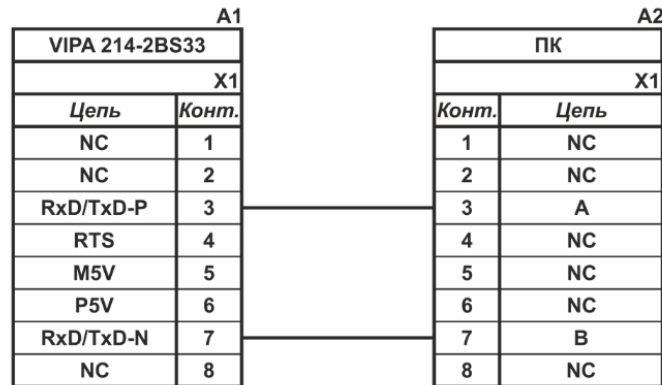


Рисунок 2.16 – Схема підключення по інтерфейсу RS-485

На підставі обраного програмованого логічного контролера та його модулів складена таблиця 2.10.

Таблиця 2.10 – Пристрій керування та його модулі

№	Назва модуля	Пристрій	Напруга живлення	Потужність споживання
1	VIPA 214-2BS33	Центральний процесорний модуль	24 В	5.00 Вт
		Зв'язок з АСК ТП		
2	VIPA 231-1BD53	Модуль аналогового вводу	24 В	0.60 Вт
		Температура ТПР-1788 розплавленого металу	24 В	1.00 Вт
		Температура ТПР-1788 графіту	24 В	1.00 Вт
3	VIPA 231-1BD40	Модуль аналогового вводу	24 В	0.60 Вт
		Тиск UNIK 5700	24 В	1.00 Вт
		Струму DTT-03T-300	24 В	1.00 Вт
4	VIPA 222-1BF00	Модуль дискретного виводу	24 В	2.00 Вт
		Електродвигуном масляного насосного агрегату	24 В	1.0 Вт
		Електродвигун відкриття комірки	24 В	1.0 Вт
		Електродвигун закриття комірки	24 В	1.0 Вт
5	VIPA 232-1BD40	Модуль аналогового виводу	24 В	2.00 Вт
		Підсистема керування струмом (технологічне обладнання SYNTECHNO)	-	-

### 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:

$$P = 5,0 + 2 * 0,6 + 2 * 2,0 = 10,2 \text{ Вт.} \quad (2.1)$$

Виходячи з потужності споживання контролера та його модулів у якості джерела живлення обрано блок живлення SPD24301 з вихідною напругою +24 В та потужністю 30 Вт (рис. 2.17). Технічні характеристики блока живлення наведені в табл. 2.11.



Рисунок 2.17 – Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301

Таблиця 2.11 – 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 2.18.

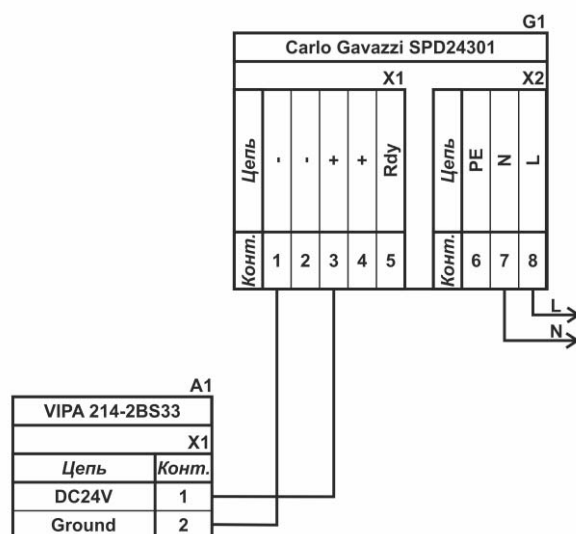


Рисунок 2.18 – Схема підключення програмованого логічного до блока живлення

Виконавши аналіз обраного обладнання можливо зробити вивід, що зовнішній блок живлення потрібен для датчиків температури та трифазних твердотільних реле, частотного перетворювача, які мають напругу живлення +24 В та потужність споживання:

$$P = 7 * 1,0 = 7,0 \text{ Вт.} \quad (2.2)$$

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 SYNTECHNO-HPHT-Bars Press розроблена функціональна схема автоматизації, яка наведена на рисунку 2.19.

У якості пристрою керування технологічним процесом використовується програмований логічний контролер (UY 9) – VIPA 214-2BS33. Програмований логічний контролер в складі підсистеми керування підключено до АСУ ТП, за що відповідає контролер більш високого рівня (UY 10), зв'язок між ними реалізовано за допомогою інтерфейсу RS-485.

Температура графіту вимірюється за допомогою датчика температури (TE 1-1 - ТПР-1788), виміряне значення за допомогою вбудованого до датчика перетворювача (ТТ 1-2 - ТПР-1788) трансформується в стандартний сигнал з характеристикою ТПП і ТПР.

Температура розплавленого металу вимірюється за допомогою датчика температури (TE 2-1 - ТПР-1788), виміряне значення за допомогою вбудованого до датчика перетворювача (ТТ 2-2 - ТПР-1788) трансформується в стандартний сигнал з характеристикою ТПП і ТПР.

Тиск у комірці вимірюється за допомогою відповідних технічних рішень по зниженню діючого тиску, датчиком тиску масла, встановленого у насосному агрегаті перед поршнем, (PE 3-1 – UNIK 5700), виміряне значення за допомогою

вбудованого до датчика перетворювача (PT 3-2 – UNIK 5700) трансформується в стандартний струмовий сигнал 4...20 мА.

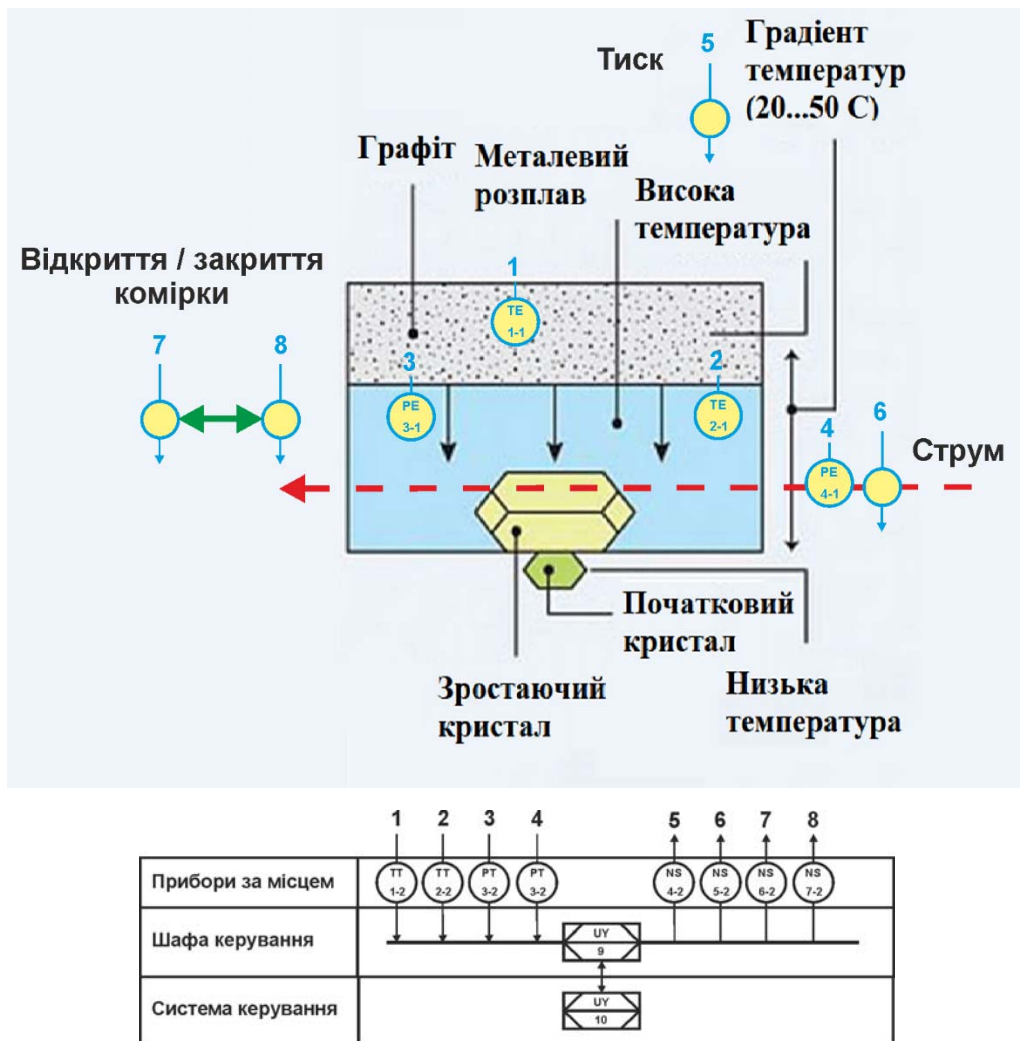


Рисунок 2.16 – Функціональна схема автоматизації підсистеми керування технологічним обладнанням SYNTechno-HPHT-Bars Press

Електричний струм через розплавлений метал у комірці вимірюється за допомогою датчика струму (EE 4-1 – DTT-03T-300), вимірне значення за допомогою вбудованого до датчика перетворювача (ET 4-2 – DTT-03T-300) трансформується в стандартний струмовий сигнал 4...20 мА.

На підставі отриманих первинних значень з відповідних датчиків програмований логічний контролер (UY 9 – VIPA 214-2BS33) формує керуючі впливи по підтримці заданого градієнту температури між розплавленим металом та графітом за допомогою керування струмом (NS 5-2 – підсистема керування струмом), та тиску (NS 6-2 - Jotta SSR 25DA, електродвигун – насосно агрегату),

також керує відкриттям / закриттям комірки за допомогою перетворювачів (NS 7-2, NS 9-2 - Jotta SSR 25DA).

## 2.5 Розробка схеми електричної принципової

На основі функціональної схеми автоматизації та обраного апаратного забезпечення розроблена схема електрична принципова підсистеми технологічним обладнанням SYNTechno-HPHT-Bars Press (рис. 2.17).

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 дискретного виводу VIPA 222-1BF00 (A1 – X6), к датчикам тиску (BK3), струму (BK4).

Вимірювання температури розплавленого металу та графіту виконують аналогові датчики ТПР-1788 (BK1...BK3), які підключені до модулю аналогового вводу VIPA 231-1BD53 (A1 – X3) до каналів 0, 1 допомогою стандартного сигналу ТПР.

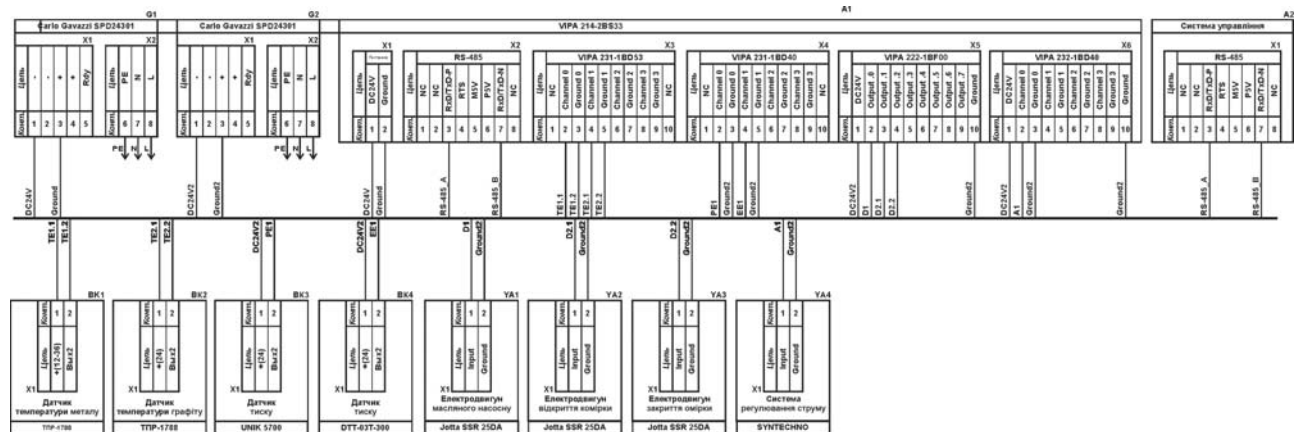


Рисунок 2.17 – Схема електрична принципова підсистеми керування

Вимірювання тиску та струму виконують аналогові датчики UNIK 5700 (BK3) та DTT-03T-300 (BK4), які підключені до модулю аналогового вводу VIPA 231-1BD40 (A1 – X4) до каналів 0, 1 допомогою стандартного сигналу струмового сигналу 4...20 мА.

Керування електродвигунами – масляного насосного агрегату, приводом відкриття закриття комірки здійснюється через модуль дискретного виводу



VIPA 222-1BF00 (A1 – X5) через ланцюжки D1,D2.1, D2.2 (YA1, YA2, YA3). При наявності на вході напруги +24 В вони підключають відповідні пристрої керування до трифазної мережі ~380 В, а при вимиканні напруги вони самостійно повертається до виключеного стану.

Управління струмом здійснюються через модуль аналогового виводу VIPA 232-1BD40 (A1 – X6) через ланцюжок A1 (YA4).

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 технологічне обладнання SYNTECHNO-HPHT-Bars Press .

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

## **3 ВИЗНАЧЕННЯ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ**

### **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 будуть розглядатися питання по створенню підсистеми керування технологічним обладнанням SYNTECHNO з використанням передової технології НРНТ виготовлення штучних алмазів на сучасному обладнанні типу Bars Press.

У кваліфікаційній роботі будуть розглядатися питання по створенню підсистеми керування для одного з каналів керування – «температура градієнту між зростаючим кристалом алмазу, який знаходиться у розплавленому металі та графітом, що знаходиться під великим тиском, в залежності від величини струму, який тече через розплавлений метал».

Згідно з завданням та розробленим апаратним забезпеченням підсистеми, до контуру керування процесом вирощування штучного алмазу, входять - об'єкт керування, в якості котрого виступає рости обладнання SYNTECHNO.

Комірка росту містить всі елементи, необхідні для вирощування алмазу, включаючи початковий алмаз, високо-очищений графіт і каталітичну суміш, що складається з металів і порошків. Комірка розташована в центрі камери НРНТ. Застосовуються постійні температури, що сягають 1 400 °С і більше при дуже великому тиску 50 000 атм. та більше. Каталізатори всередині комірки першими реагують на додане тепло і тиск, а початковий (ростовий) алмаз переходить від твердої до розплавленої форми.

Розплавлений електричним струмом 150...300 А, розчин каталізатора змушує графіт розчинятися всередині комірки. Як тільки будуть виконані всі необхідні умови, починається процес охолодження.

Цей процес відбувається протягом декількох днів, типове значення 12...24 дні, в залежності від розмірів штучного алмазу, і дозволяє атомам вуглецю накопичуватися на початковому алмазі. Згодом комірка видаляється з преса НРНТ після завершення циклу росту. Новий необроблений алмаз видобувається і очищається для підготовки до остаточного різання і полірування.

Пристрій керування, в якості якого виступає програмований логічний контролер VIPA 214-2BS33 з цифровим каналом передачі даних типу RS-485 у підсистему керування коміркою росту обладнання SYNTECHNO.

Контроль градієнту температур, типове значення якого 20...50 °С, контролюється за допомогою датчика температури розплавленого металу та датчика температури графіту.

Візуалізація процесу керування відбувається за допомогою персонального комп'ютера з 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 виступає електричний струм у діапазоні 150...300 А, тобто фактичне регулювання струму здійснюється у діапазоні 0...150 А (0...100 %), за рахунок якого виконується необхідна температура нагріву розплавленого металу.

Дійсне значення градієнту температур, 20...50 °С, контролюється за допомогою різниці значень датчика температури розплавленого металу та датчика температури графіту.

Програмований логічний контролер виконує керування величиною електричного струму відповідно з заданим та отриманим значенням градієнту температур.

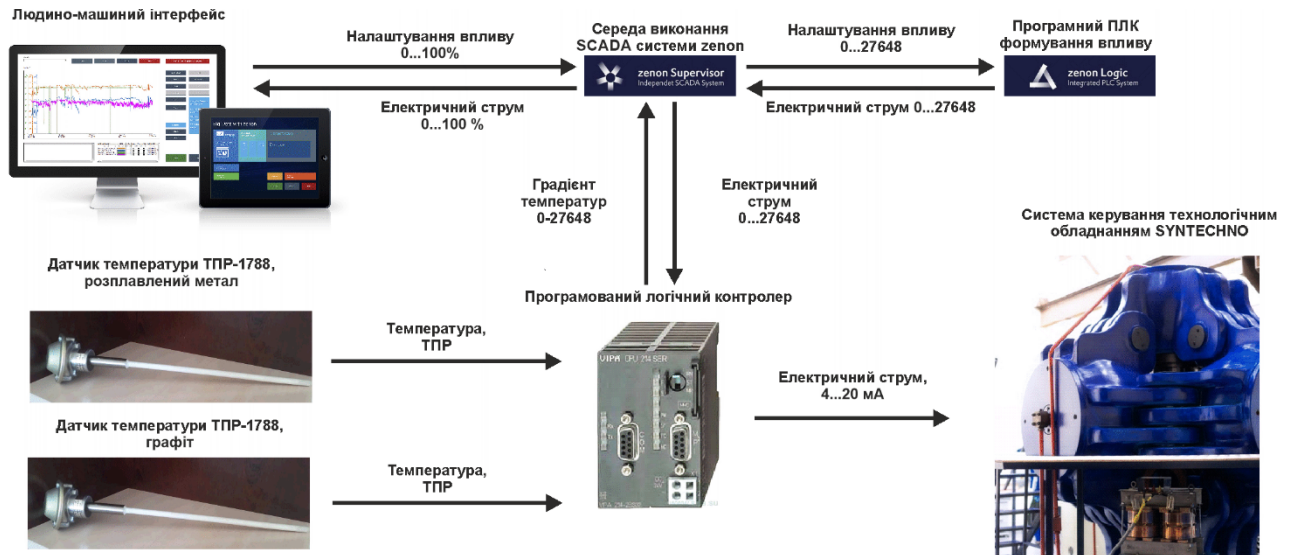


Рисунок 3.1 – Структурна схема інформаційних потоків дослідницької системи

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

### 3.2 Розробка методики дослідження об'єкта керування

Система дослідження дозволяє формування різноманітних керуючих впливів, та поданнях їх на підсистему керування пелетною топкою. 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, дані для побудови статичної характеристики, характеристику при П-образному керуючому впливі, та перевіірочні дані. 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 – електричний струм 150 А (0 %), градієнт температур 20 С (що дорівнює мінімально можливому значенню для каналу регулювання електричний струм – градієнт температур).

2.2. Запустити процес реєстрування.

2.3. Задати електричний струм 150 А (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 електричний струм 20 % (30 А), дочекатися досягнення усталеного режиму.

3.4. Задати електричний струм 40 % (60 А), дочекатися досягнення усталеного режиму.

3.5. Задати електричний струм 60 % (90 А), дочекатися досягнення усталеного режиму.

3.6. Задати електричний струм 80 % (120 А), дочекатися досягнення усталеного режиму.

3.7. Задати електричний струм 100 % (150 А), 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 електричний струм 100 % (150 А), дочекатися досягнення усталеного режиму.

4.4. Задати електричний струм 0 % (0 А), 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 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 в діапазоні 0...150 А (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**

Початковий градієнт температури становить 20 °С при електричному струмі 150 А (0 %).

На першому етапі проведення експерименту виконано налаштування системи дослідження таким чином, що керуючий вплив може знаходитися дискретно в діапазоні 0, 100 %, а фактичне значення електричного струму 150, 300 А, що забезпечується підсистемою керування електричним струмом, яка входить до складу технологічного обладнання SYNTECHNO.

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

Для цього було встановлено керуючий сигнал на струм 0 А (0 %). Після досягнення усталеного режиму – температурний градієнт 20 °С, керуючий сигнал було встановлено на струм 150 А (100 %). Після досягнення усталеного режиму – температурний градієнт 50 °С експеримент було закінчено.

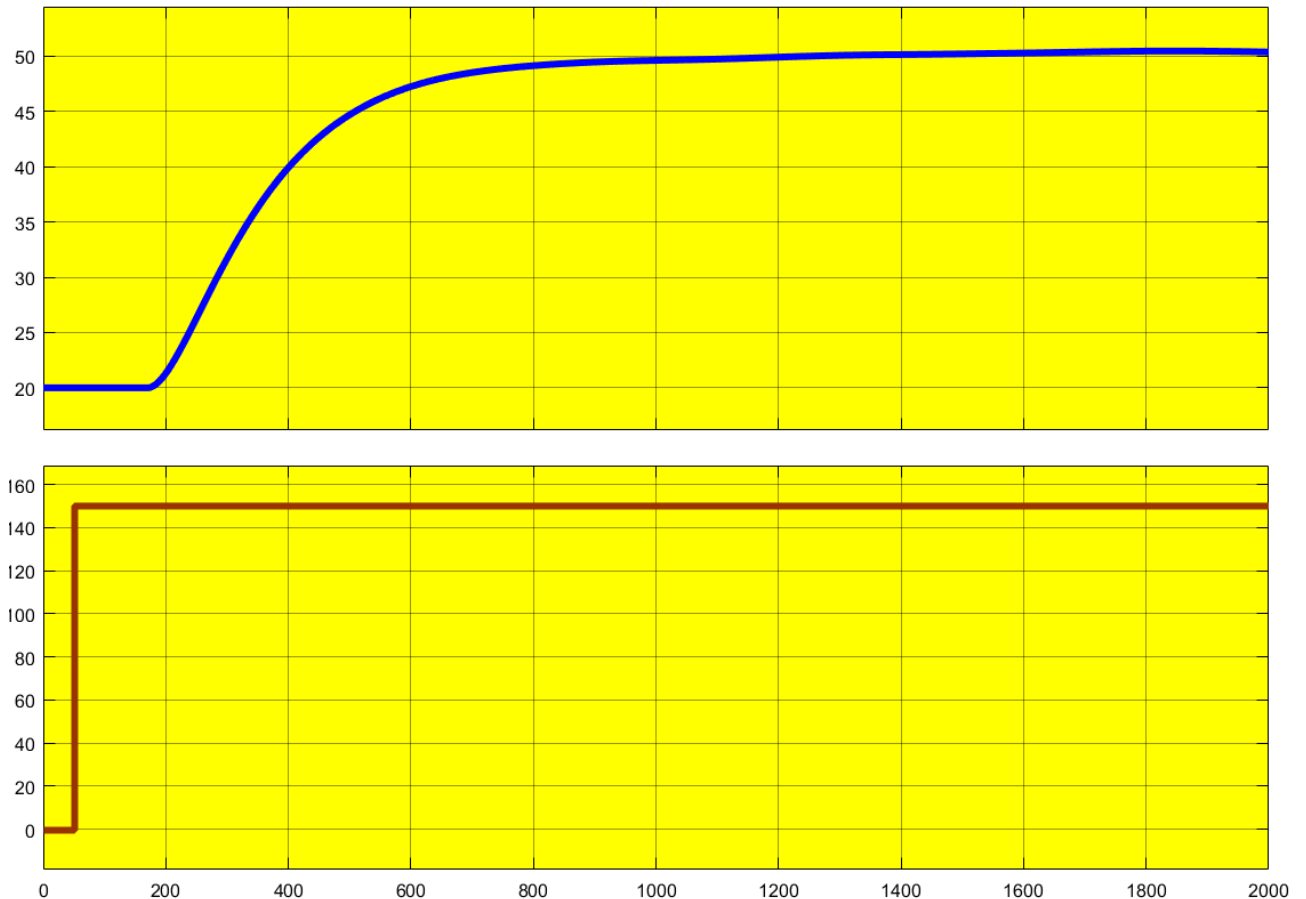


Рисунок 3.2 – Отримання динамічної характеристики

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

Для цього було встановлено керуючий сигнал на струм 0 А (0 %).

Після досягнення усталеного режиму керуючий сигнал було встановлено струм 30 А (20 %).

Після досягнення усталеного режиму керуючий сигнал було встановлено струм 60 А (40 %).

Після досягнення усталеного режиму керуючий сигнал було встановлено струм 90 А (60 %).

Після досягнення усталеного режиму керуючий сигнал було встановлено струм 120 А (80 %).

Після досягнення усталеного режиму керуючий сигнал було встановлено струм 150 А (100 %).

Після досягнення усталеного режиму експеримент було закінчено.

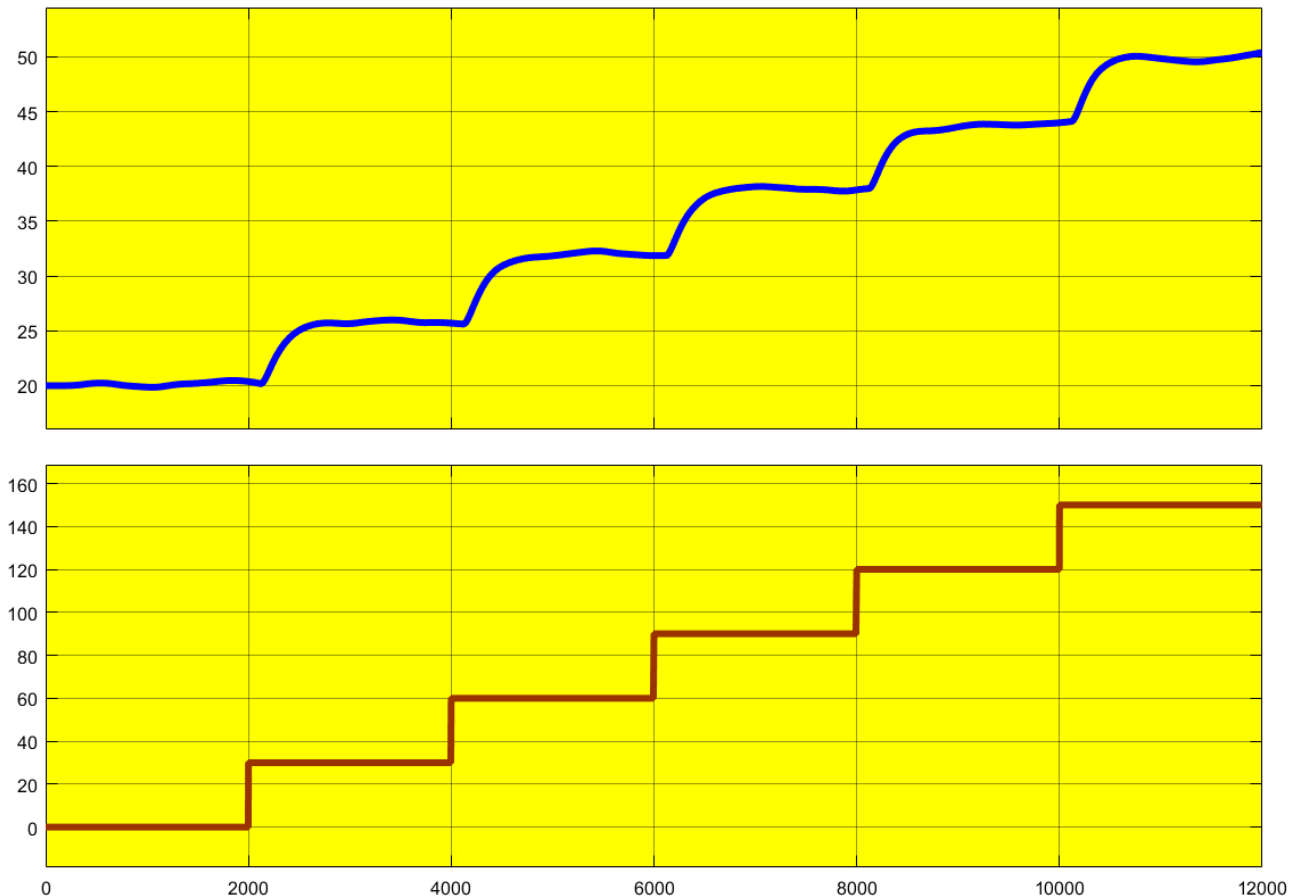


Рисунок 3.3 – Отримання даних для побудови статичної характеристики

На четвертому етапі було виконано отримання даних П-образному керуючому впливі (рис. 3.4). Для цього було встановлено керуючий вплив на струм 0 А (0 %). Після досягнення усталеного режиму було встановлено керуючий вплив на струм 150 А (100 %). Після досягнення усталеного режиму було встановлено керуючий вплив 0 А (0 %). Після досягнення усталеного режиму експеримент було закінчено.

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

Для цього після технологічного обладнання (електричний струм 150 А (0 %)) період псевдовипадкового дискретного впливу було налаштовано на випадкову послідовність керуючого впливу в діапазоні 0...150 А (0...100 %), з інтервалом зміни близько 300 с (з попереднього аналізу рис. 3.2 маємо - перехідний процес 1 000 с, постійна часу близько 200 с, затримка 120 с), а сама реєстрація відбувалася на протязі 15 000 с.



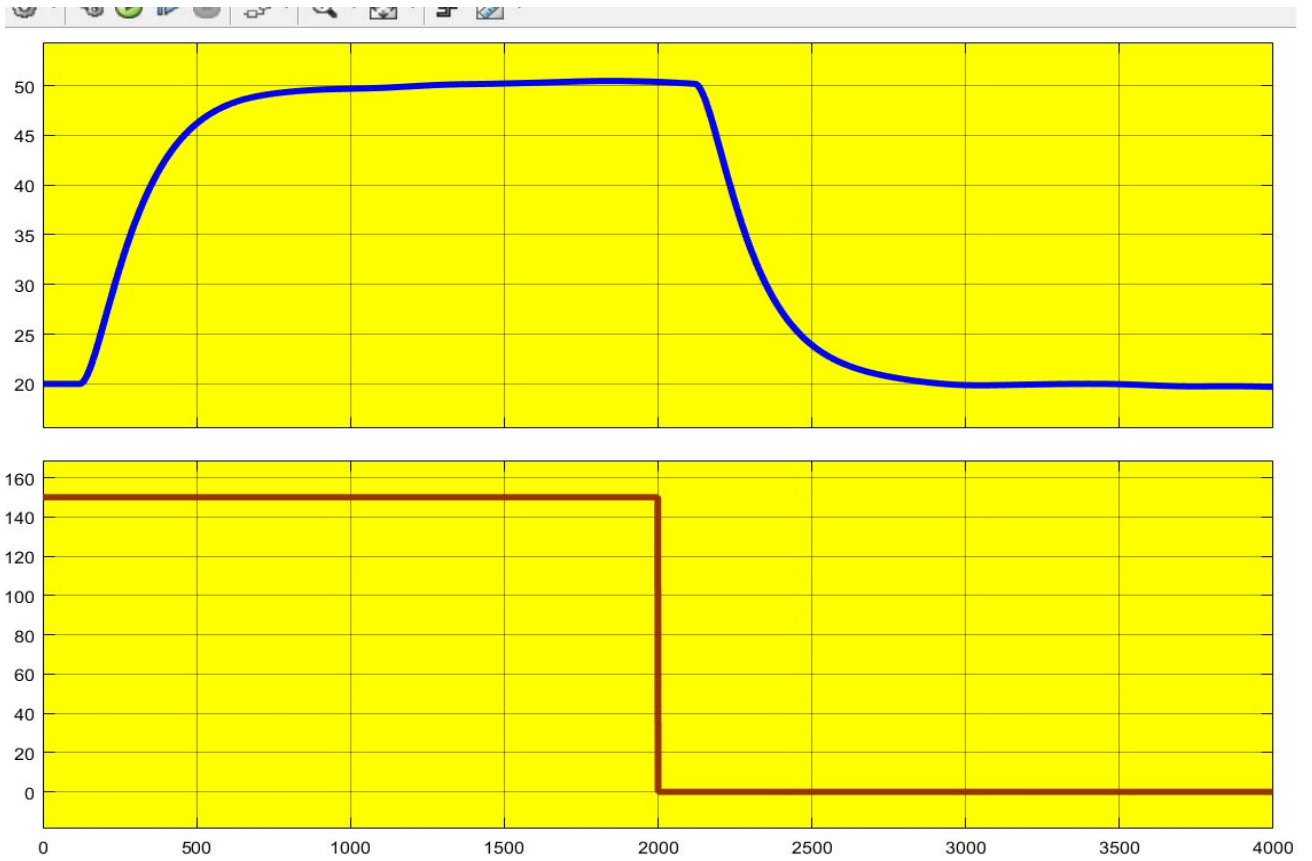


Рисунок 3.4 – Отримання даних при П-образному керуючому впливі

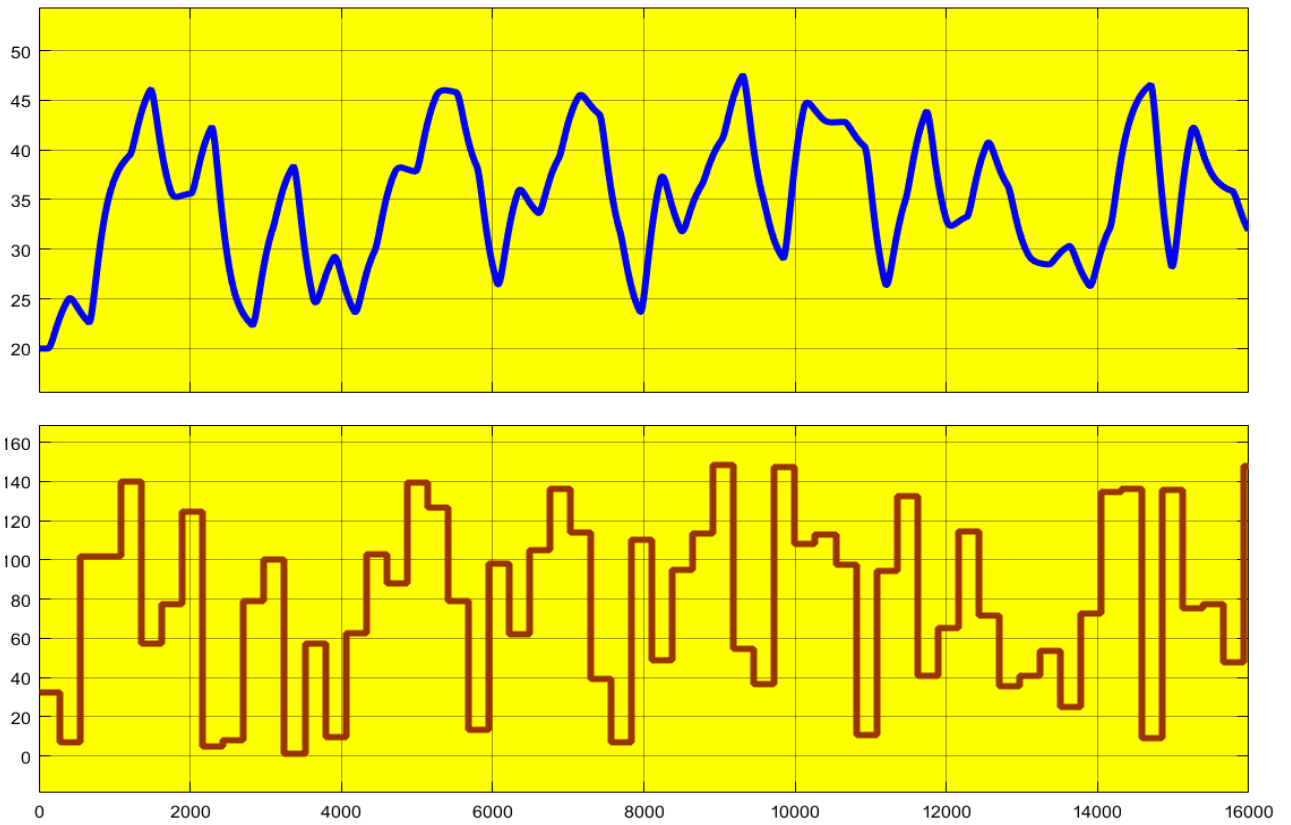


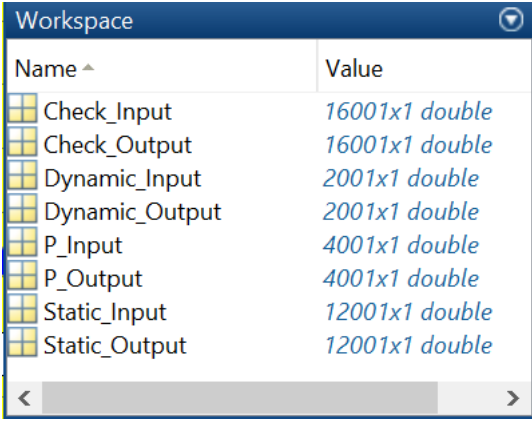
Рисунок 3.5 – Отримання перевірочних даних

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	16001x1 double
Check_Output	16001x1 double
Dynamic_Input	2001x1 double
Dynamic_Output	2001x1 double
P_Input	4001x1 double
P_Output	4001x1 double
Static_Input	12001x1 double
Static_Output	12001x1 double

Рисунок 3.6 – Імпортовані данні

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 = min(Dynamic_Raw.OutputData);
trend = getTrend(Dynamic_Raw);
trend.OutputOffset = offset;
Dynamic = detrend(Dynamic_Raw, trend);
```

```

offset = min(Static_Raw.OutputData);
trend = getTrend(Static_Raw);
trend.OutputOffset = offset;
Static = detrend(Static_Raw, trend);

offset = min(P_Raw.OutputData);
trend = getTrend(P_Raw);
trend.OutputOffset = offset;
P = detrend(P_Raw, trend);

offset = min(Check_Raw.OutputData);
trend = getTrend(Check_Raw);
trend.OutputOffset = offset;
Check = detrend(Check_Raw, trend);

```

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

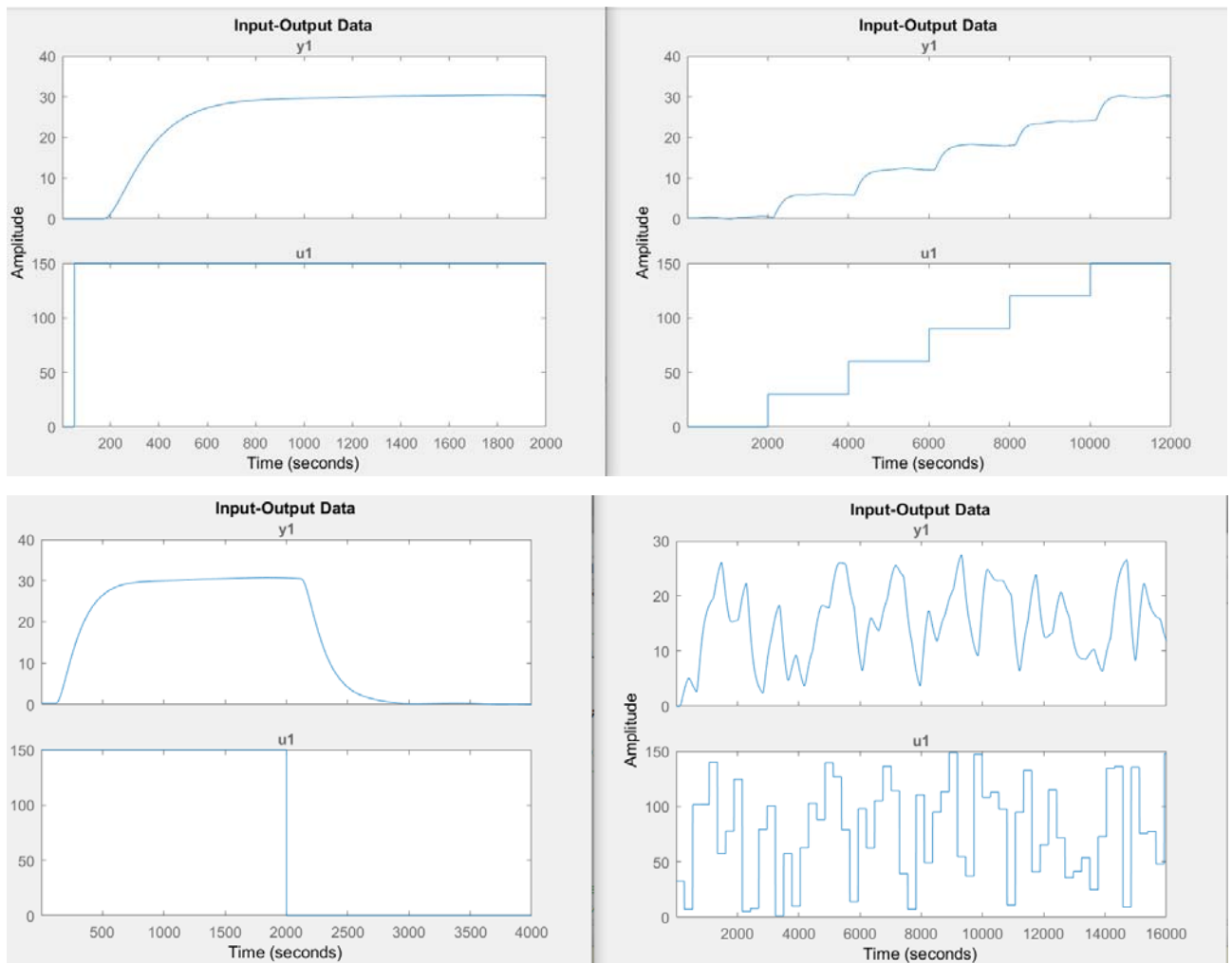


Рисунок 3.7 – Динамічна, статична, П-образна та перевірочна характеристики з видаленими статичними складовими

### 3.4.2 Структурна ідентифікація

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

Після подачі керуючого впливу (електричний струм) вихідний сигнал (градієнт температури) не зразу змінюється, виходячи з цього можливо зробити висновок, що об'єкт володіє доволі значним запізненням (приблизно 120 с, це пов'язано з інерційністю самих датчиків температури (паспортне значення 80 с) та процесу прогріву маси технологічного обладнання безпосередньо контактуючого з коміркою росту.

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



Рисунок 3.8 – Динамічна характеристика

Проаналізуємо об'єкт керування на лінійність для цього побудуємо його статичну характеристику (рис. 3.9).

```
Static_In = [ 30, 60, 90, 120, 150];
Static_Out = [ 5.9, 12.0, 18.0, 24.1, 30.5];
```

```

figure('Name', 'Статична характеристика');
plot(Static_In, Static_Out, 'LineWidth', 2.0, 'Color', 'k',...
     'Marker', 'o', 'MarkerSize', 10.0, 'MarkerEdgeColor', 'k',...
     'MarkerFaceColor', 'k');
xlabel('Температура, °C');
ylabel('Вологість, %');
set(findall(gcf, '-property', 'FontSize'), 'FontSize', 16);
set(findall(gcf, '-property', 'FontName'), 'FontName', 'Times New Roman');
set(findall(gcf, '-property', 'FontWeight'), 'FontWeight', 'bold');

```

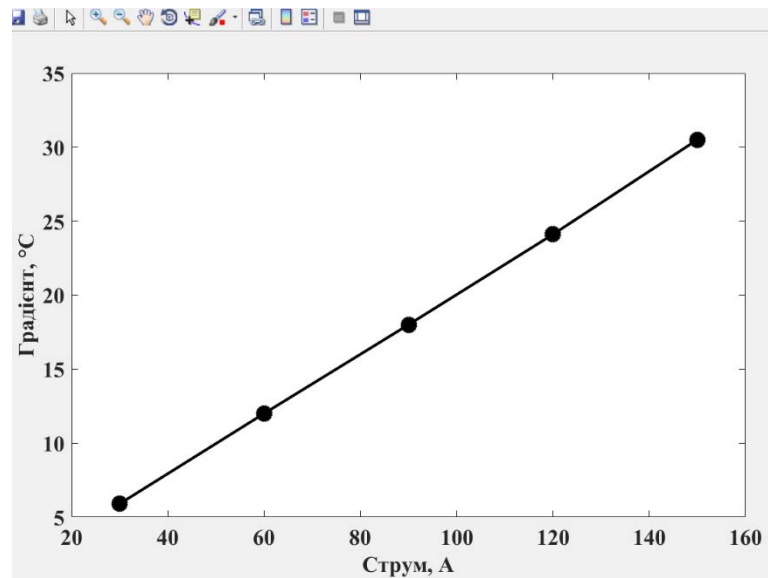
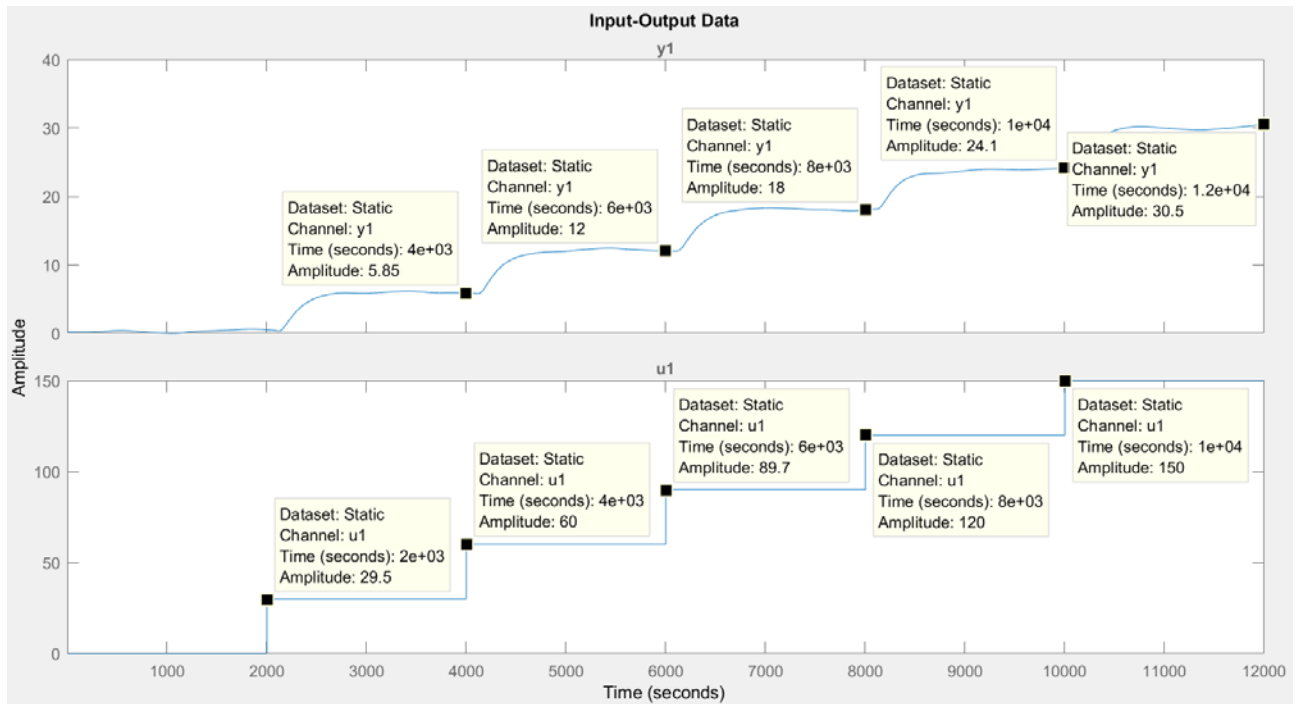


Рисунок 3.9 – Статична характеристика

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 =
        0.1967    0.2000    0.2000    0.2008    0.2033
Максимальне відхилення коефіцієнту підсилення: 3.28 %

```

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). Збільшення температури струму з 0 А (0 %) до 150 А (100 %) приводить до відповідного збільшення градієнту температури, а зменшення струму з 150 А (100 %) до 0 А (0 %) приводить до відповідного зменшення градієнту температури. 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', 2.0, 'Color', 'k');
plot(P_Fall, 'LineWidth', 2.0, 'Color', 'r');
hold('off');

```

```

xlabel('Час, с');
ylabel('Гradient, °C');
set(findall(gcf, '-property', 'FontSize'), 'FontSize', 16);
set(findall(gcf, '-property', 'FontName'), 'FontName', 'Times New Roman');
set(findall(gcf, '-property', 'FontWeight'), 'FontWeight', 'bold');

```

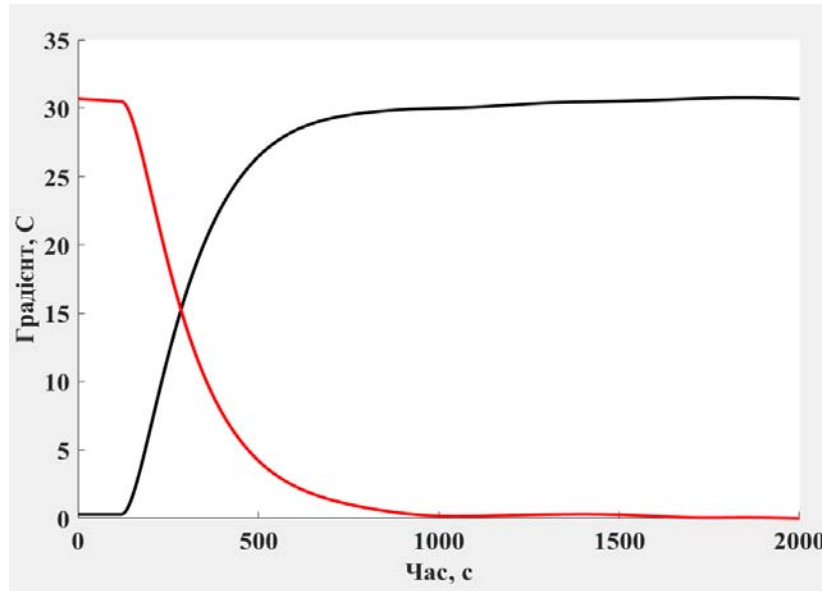


Рисунок 3.10 – Аналіз симетричності характеристика при П-образному керуючому впливі

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: 0.56 %

```

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

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

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

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

$s$  – оператор диференціювання;

$k$  – коефіцієнт посилення;

$\tau$  – час запізнення, с;

$T_1, T_2$  – постійні часу, с.

### 3.4.3 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 перевірочні дані «Check», для оцінки відповідності отриманої моделі до об'єкта керування.

Для визначення параметрів моделі об'єкта керування використано метод «Process Models». Налаштування параметрів ідентифікації наведено на рис. 3.12.

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

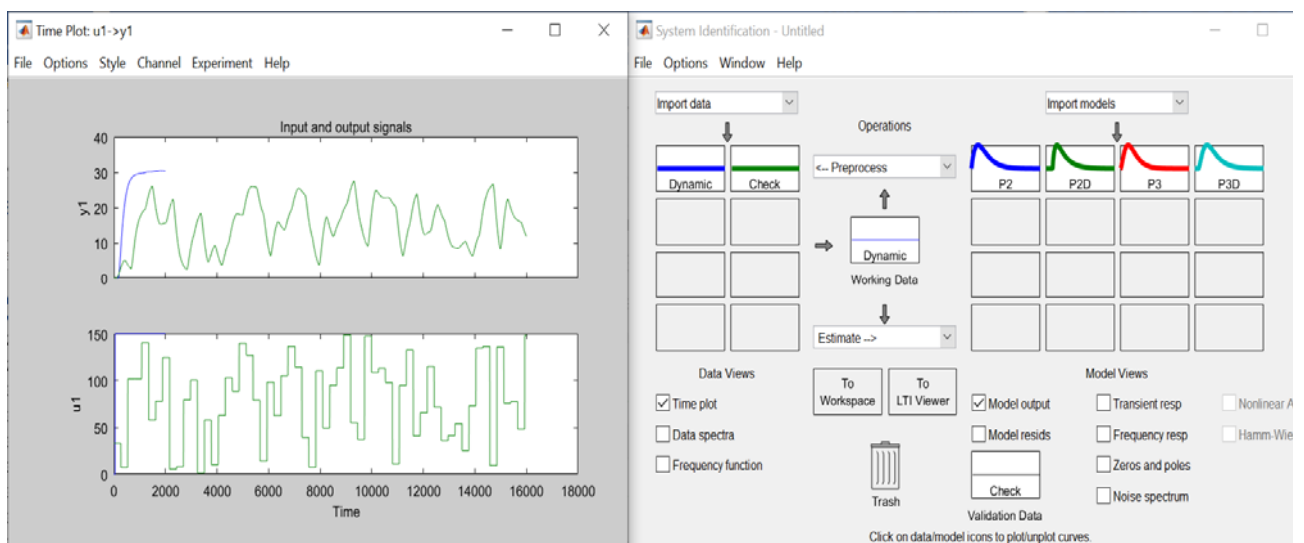


Рисунок 3.11 – Налаштування System Identification Toolbox



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 P2:

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

$$K_p = 0.19477 \pm 0.00052661$$

$$T_{p1} = 160.21 \pm 607.56$$

$$T_{p2} = 158.39 \pm 606.79$$

Fit to estimation data: 83.77%

FPE: 2.676, MSE: 2.663

Параметри ідентифікації за методом Process Models P2D:

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

$$K_p = 0.20123 \pm 3.516e-05$$

$$T_{p1} = 44.213 \pm 0.70341$$

$$T_{p2} = 164.19 \pm 0.48306$$

$$T_d = 122.7 \pm 0.45542$$

Fit to estimation data: 98.34%

FPE: 0.02807, MSE: 0.0279

Параметри ідентифікації за методом Process Models P3:

$$G(s) = \frac{K_p}{(1+T_{p1}s)(1+T_{p2}s)(1+T_{p3}s)}$$

$$K_p = 0.19956 \pm 0.00054211$$

$$T_{p1} = 149.35 \pm 281.79$$

$$T_{p2} = 165.7 \pm 246.37$$

$$T_{p3} = 65.076 \pm 50.072$$

Fit to estimation data: 88.51%

FPE: 1.343, MSE: 1.333

Параметри ідентифікації за методом Process Models P3D:

$$G(s) = \frac{K_p}{(1+T_{p1}s)(1+T_{p2}s)(1+T_{p3}s)} * \exp(-T_d*s)$$

$$K_p = 0.20083 \pm 0.0001566$$

$$T_{p1} = 165.8 \pm 6.838$$

$$T_{p2} = 59.486 \pm 1813.6$$

$$T_{p3} = 59.123 \pm 1812.9$$

$$T_d = 63.442 \pm 6.8627$$

Fit to estimation data: 94.1%  
 FPE: 0.355, MSE: 0.3521

За допомогою «Model output» показана відповідність отриманих моделей P2, P2D, P3 та P3D до перевірочних даних отриманих на об'єкті керування Check наведена на рис. 3.12 та представлена у табл. 3.1.

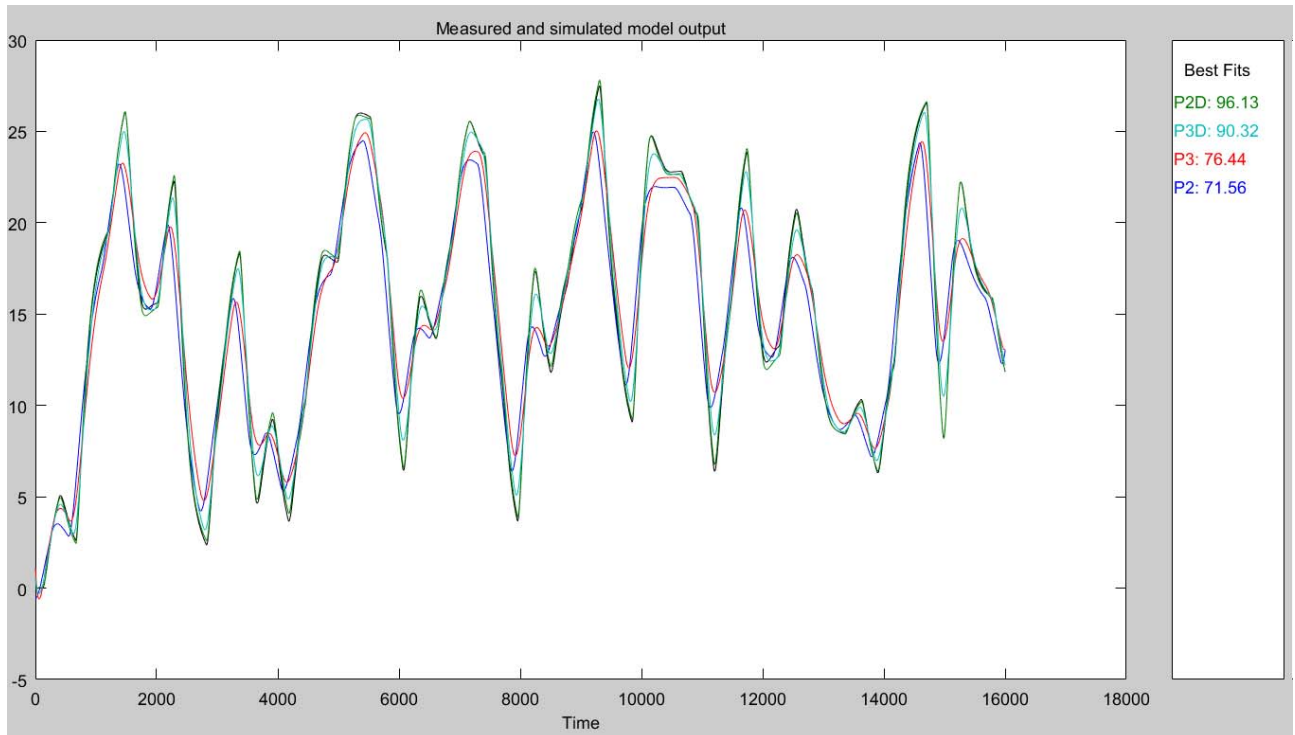


Рисунок 3.12 – Перевірка результатів розрахунків

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

Назва параметру	P2	P2D	P3	P3D
$k$	0,19477	<b>0,20123</b>	0,19956	0,20083
$T_1, c$	160,21	<b>44,213</b>	149,35	165,8
$T_2, c$	158,39	<b>164,19</b>	165,7	59,486
$T_3, c$	–	–	65,076	59,123
$\tau$	–	<b>122,7</b>	–	63,442
Динамічна характеристика				
НСКП, %	83,77	<b>98,34</b>	88,51	<b>94,1</b>
ПОП	2,676	<b>0,02807</b>	1,343	<b>0,355</b>
СКП	2,663	0,0279	1,333	0,3521
Перевірочні данні				
НСКП, %	71,56	<b>96,13</b>	76,44	<b>90,32</b>

Аналіз відмінностей між оцінками моделей P2 – другого порядку без затримки, P2D – другого порядку з затримкою, P3 – третього порядку без затримки та P3D – третього порядку з затримкою, по динамічній характеристиці показав, що за нормалізованим середньоквадратичним похибкам (НСКП), краще всього підходять моделі P2D (98,34 %) та P3D (94,1 %) вони відрізняються менше ніж чим на 4 %, помилка остаточного передбачення (ПОП) для P2D у  $0,355 / 0,02807 \approx 13$  рази більша за P3D.

Головним показником, який впливає на остаточний вибір між цими моделями є розбіжність у відповідності за перевірочними даними, найкращий показник має модель P2D з показником НСКП відповідності за перевірочними даними у 96,13 %.

Виходячи з усього, що наведе вище можна стверджувати, що обрана модель P2D 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  $\sim 1600 / 5 \approx 300$  с, затримка близько 120 с, а для отриманої моделі другого порядку постійна часу становить  $44,213 + 164,19 = 208,4$  с, а затримка 122,7 с, що додатково підтверджує об'єкту керування дійсно краще всього відповідає обрана модель P2D - аперіодична ланка другого 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.

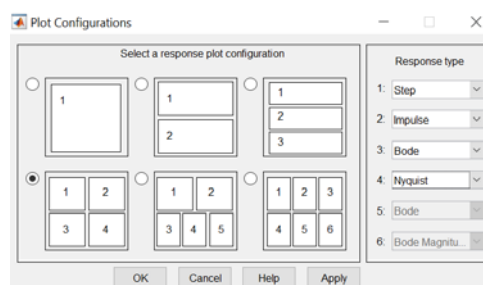


Рисунок 3.13 – Отримання характеристик моделі керування

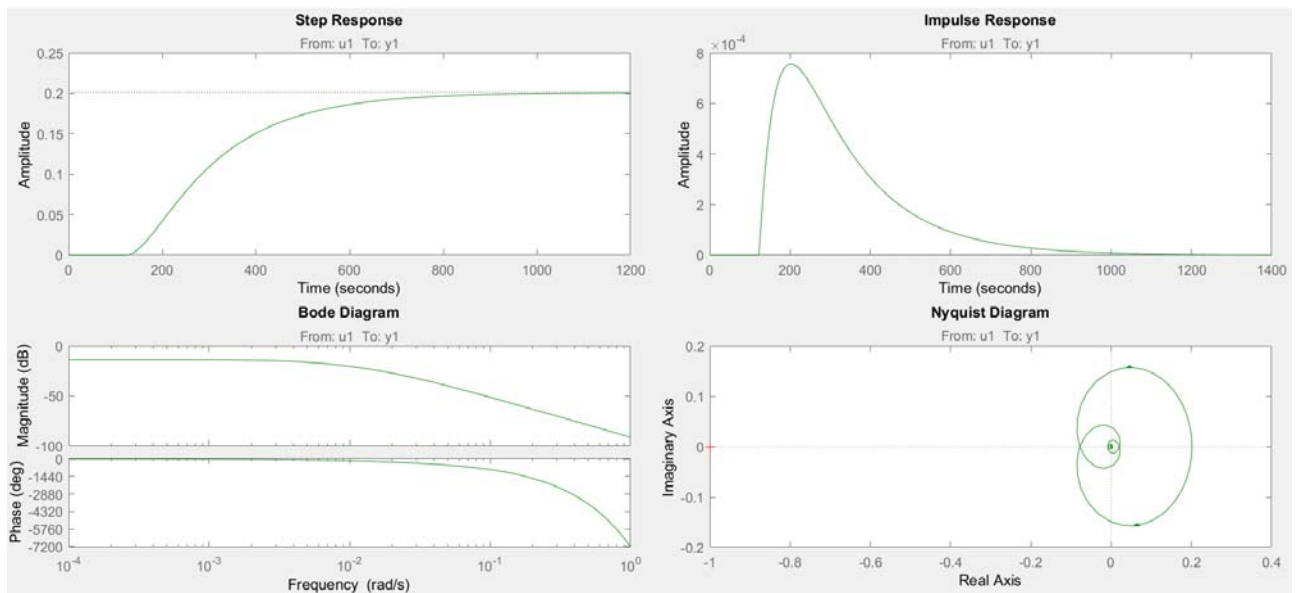


Рисунок 3.14 – Характеристики моделі керування

За результатами параметричної ідентифікації отримана модель у вигляді передавальної функції, яка відповідає об'єкту керування за перевірочними даними на 96,13 % (табл. 3.1):

$$W(s) = \frac{0,20123 \cdot e^{-122,7s}}{(44,213s + 1) \cdot (164,19s + 1)} \quad (3.2)$$

### 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 16 000 с, що дорівнює кількості перевірочних даних. Додані блоки запису перевірочних даних та результатів моделювання до змінних Object і Model відповідно. Крок запису задано 1 секунда, що відповідає первинним даним.

На рисунку 3.15 показана модель об'єкта керування. На вхід моделі додано статичний зсув величиною 150, який відповідає мінімально можливому струму 150 А на вході об'єкта керування. На виході додано статичний зсув характеристики -10, який є корегує вихідну характеристику відповідно до реальних даних, отриманих з об'єкта керування.

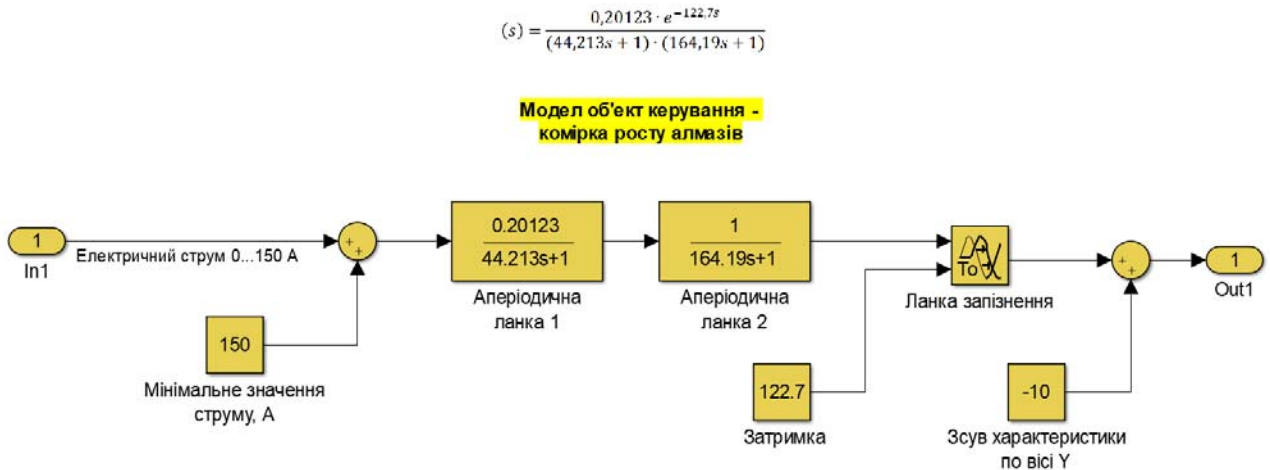


Рисунок 3.15 – Модель об'єкту керування

На рисунку 3.16 показана модель отримання даних для перевірки на адекватність. На вихід моделі P2D доданий статичний зсув, який відповідає за початковий градієнт 20 °C при початковому вхідному сигналі 0 % (150 А – мінімально можливий вхідний струм).

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

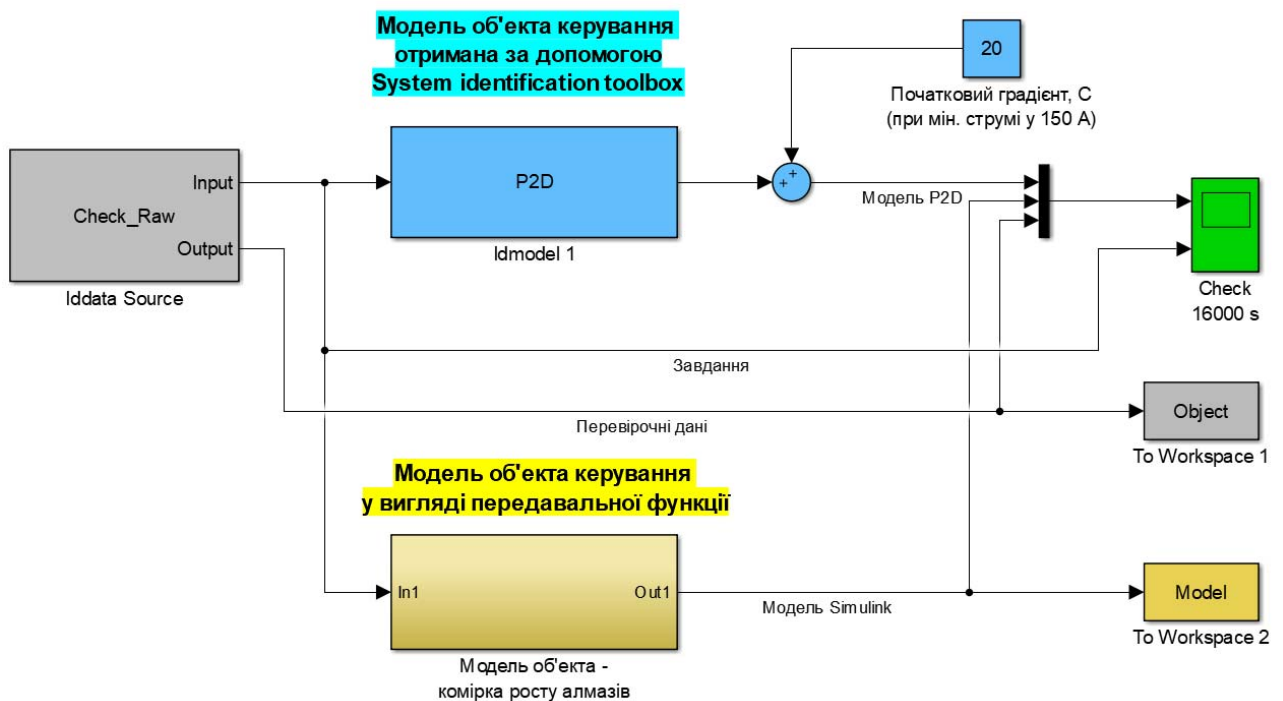


Рисунок 3.16 – Модель отримання даних для перевірки на адекватність

За результатами моделювання бачимо, що дійсні значення отримані на виході моделі System Identification Toolbox (сигнал – «Модель P2D») та моделі

розробленій на базі передавальної функції (сигнал – «Модель Simulink») співпадають з перевірочними даними (рис. 3.16).

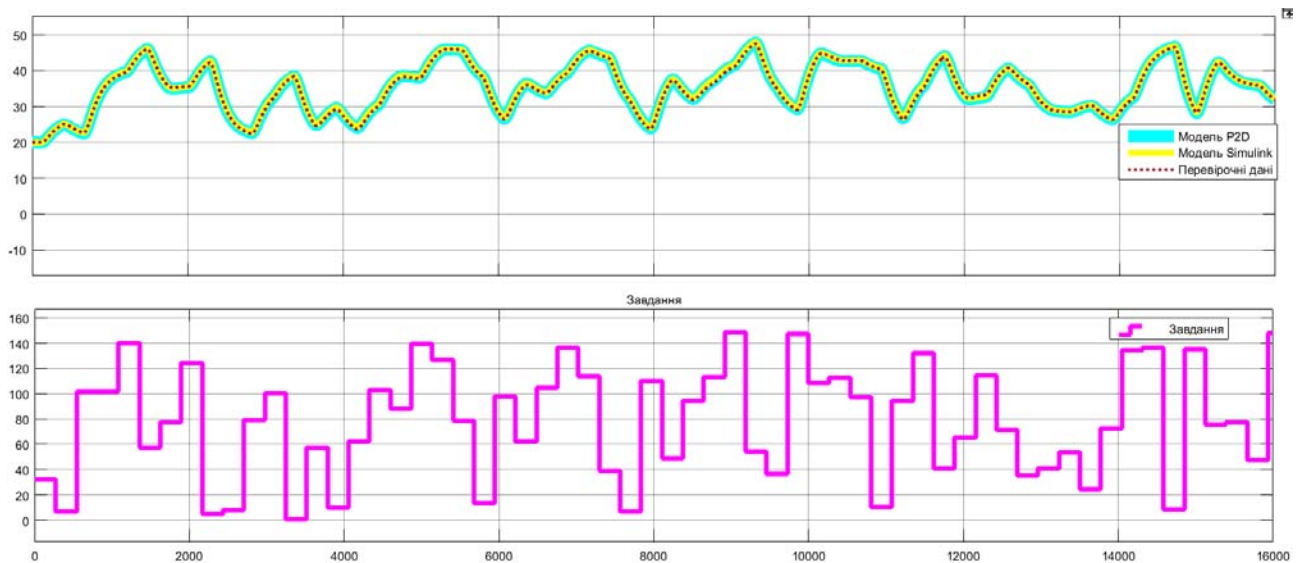


Рисунок 3.17 - Результат отримання даних для перевірки на адекватність  
Наступним етапом є перевірка моделі на адекватність.

### 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: 0.999
Статистичний критерій Фішера: 12517637.462
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 0,999 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 рис. 3.15, схема моделювання динамічної характеристики наведена на рис. 3.18, а результат моделювання динамічної характеристики об'єкта керування наведено на рис. 3.19.

$$(s) = \frac{0,20123 \cdot e^{-122,7s}}{(44,213s + 1) \cdot (164,19s + 1)}$$

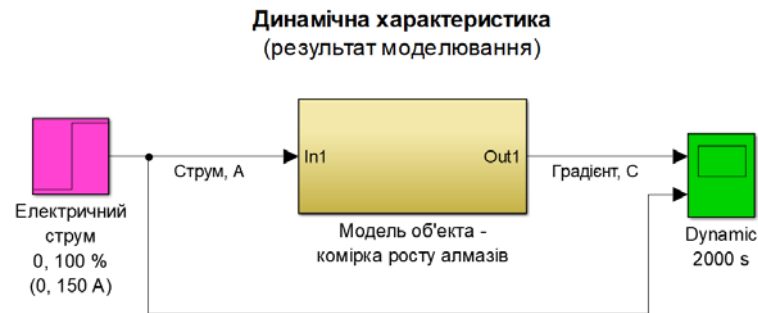


Рисунок 3.18 - Модель об'єкта керування

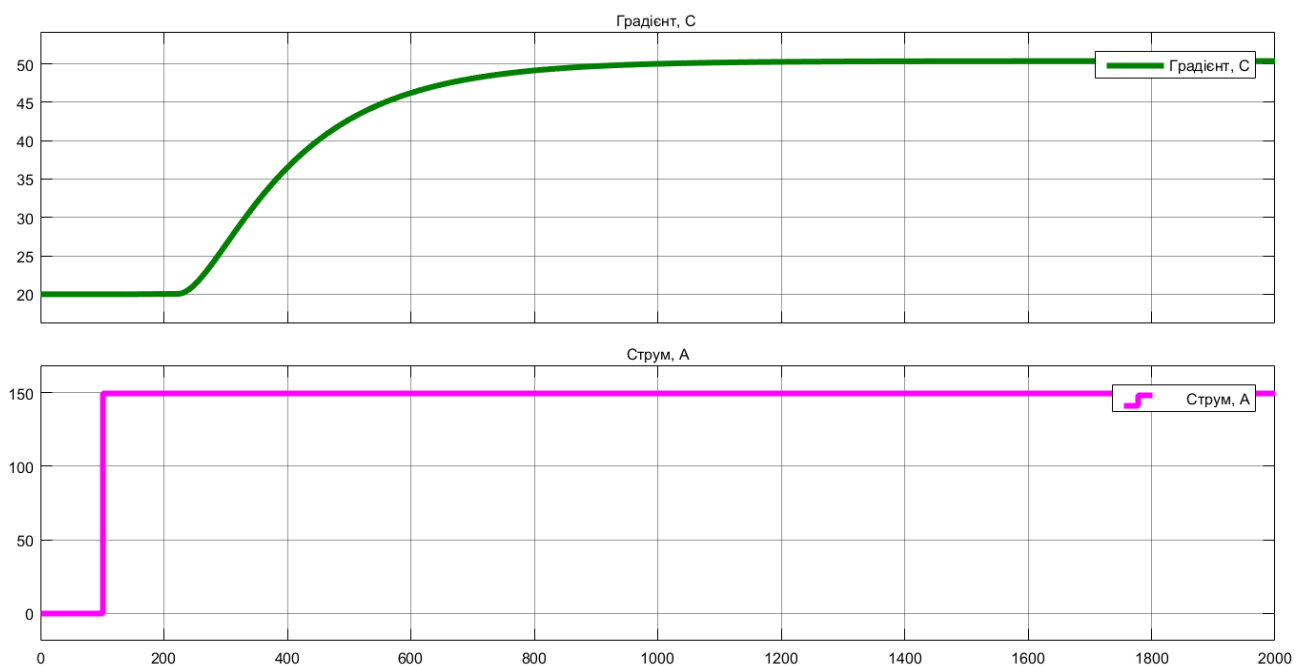


Рисунок 3.19 - Результат моделювання динамічної характеристики об'єкта керування

### 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 другого, 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 0,20123 і постійні часу 44,213 с та 164,19 с, а запізнення становить 122,7 с.

Комплексна перевірка на адекватність моделі до об'єкта керування за перевірочними даними об'єкта керування показала високу відповідність 96,13 %, сильний кореляційний зв'язок 0,999 та статистичний критерій Фішера 12 517 637 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 процесу з виготовлення штучних алмазів.

## 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 підсистеми керування технологічного обладнання для виробництва штучних алмазів. Розроблену систему можна використовувати на підприємствах, напрямом діяльності яких виробництво штучних алмазів як дорогоцінного каміння.

У цей час на підприємстві більша частина використовуваних систем керування мають у своїй основі морально та фізично застарілу елементної базу яка не забезпечує необхідні параметри технологічних процесів (занижена точність параметрів технологічного процесу, невисока продуктивність).

Автоматизована система керування процесом з вирощування штучних алмазів, що розроблена в кваліфікаційній роботі бакалавра, має такі переваги:

- дозволяє підвищити інформативність системи, що дає передумови до створення повністю автоматизованої системи керування підприємством;
- дозволяє підвищити надійність обладнання й безпеку праці за рахунок застосування сучасної високонадійної технічної бази, обміну інформації, підвищеної надійності.

## 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  $C_{\text{ОБ}}$  [17...24]

№	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 231-1BD53, multiinput	од.	1	6 149,30	6 149,30
3	Модуль аналогового вводу VIPA 231-1BD40	од.	1	4 740,30	4 740,30
4	Модуль дискретного виводу VIPA 222-1BF00	од.	1	2 335,80	2 335,80
5	Датчик температури ТПР-1788	од.	2	1 298,76	2 597,52
6	Датчики тиску UNIK 5700	од.	1	12 340,00	12 340,00
7	Датчики струму DTT-03T-300	од.	1	1 570,00	1 570,00
8	Реле твердотільне Jotta SSR 40DA	од.	4	1 023,00	4 092,00
9	Мережний кабель	м	160	22,00	3 520,00
10	Система управління, виконана на базі ПК	од.	1	48 200,00	48 200,00
11	Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301	од.	2	1 450,00	2 900,00
	Разом				102 219,32

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

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

Витрати на транспортно-заготівельні і складські роботи складають:

$$D_{TP} = 102\,219,32 \cdot 0,08 = 8\,177,55 \text{ (грн.)}.$$

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:

$$M_{MH} = 102\,219,32 \cdot 0,07 = 7\,155,35 \text{ (грн.)}.$$

### 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 витрати праці визначаються на підставі умовної кількості оброблюваних операторів у програмному забезпеченні:

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

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

$q$  – кількість операторів у програмному забезпеченні (виходячи з програмного забезпечення, як правило розробленого на мові

Structured Text типове значення має діапазон 100...400, приймаємо  $q = 350$ );

$c$  – коефіцієнт складності програми (приймаємо  $c = 1,35$ );

$p$  – коефіцієнт корекції програми в процесі її обробки (приймаємо  $p = 0,1$ ).

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$Q = 350 * 1,35 * (1 + 0,1) \approx 520$$

Витрат праці на підготовку і опис завдання в кваліфікаційній роботі складають  $t_o = 56$  (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:

$$t_u = 520 * 1,5 / (80 * 1,2) \approx 9 \text{ (люд. – год.)}.$$

Витрати на розробку алгоритму керування визначаються як:

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

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_a = 520 / (20 * 1,2) \approx 22 \text{ (люд. – год.)}.$$

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:

$$t_n = 520 / (20 * 1,2) \approx 22 \text{ (люд. – год.)}.$$

Витрати праці на налаштування програми розраховуються як:

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

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_n = 520 / (4 * 1,2) \approx 109 \text{ (люд. – год.)}.$$

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:

$$t_{др} = 520 / (15 * 1,2) \approx 29 \text{ (люд. – год.)}.$$

Трудомісткість редагування, друку та оформлення документації визначається як:

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

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_{до} = 0,75 * 29 = 22 \text{ (люд. – год.)}.$$

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

$$t_g = 29 + 22 = 51 \text{ (люд. – год.)}.$$

Таким чином трудомісткість розробки програмного забезпечення становить:

$$t = 56 + 9 + 22 + 22 + 109 + 51 = 269 \text{ (люд. – год.)}$$

### 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.);

$Z_{MI}$  – 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  $C_{ПР} = 91$  (грн./год.)).

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$Z_{зП} = 269 \cdot 91 = 24\,479,00 \text{ (грн.)}.$$

Вартість машинного часу, необхідного для налаштування програми визначається як:

$$Z_{MI} = t_n \cdot C_{MЧ}, \quad (4.15)$$

де  $t_n$  – час налаштування ПЗ, год;

$C_{MЧ}$  – вартість машинного часу (приймаємо  $C_{MЧ} = 13,55$  (грн./год.)).

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$Z_{MI} = 22 \cdot 13,55 = 298,10 \text{ (грн.)}.$$

Витрати на розробку програмного забезпечення системи керування становлять:

$$K_{ПЗ} = 24\,479,00 + 298,10 = 24\,777,1 \text{ (грн.)}.$$

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.)).

$$T = 269 / (1 \cdot 176) \approx 1,5 \text{ (міс.)}.$$

Таким чином проектні капітальні витрати:

$$K_{\text{ПКВ}} = 102\,219,32 + 8\,177,55 + 7\,155,35 + 24\,777,1 \approx \\ \approx 142\,329,32 \text{ (грн.)}.$$

#### 4.4 Розрахунок експлуатаційних витрат

Річні експлуатаційні витрати розраховуються як:

$$C_e = C_a + C_3 + C_c + C_{\text{РО}} + C_{ee} + C_{\text{ІНШ}}, \quad (4.17)$$

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

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

$C_3$  – заробітна плата обслуговуючого персоналу (грн.);

$C_c$  – відрахування на соціальні заходи (грн.);

$C_{\text{РО}}$  – витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт обладнання (грн.);

$C_{ee}$  – вартість електроенергії (грн.);

$C_{\text{ІНШ}}$  – інші витрати(грн.).

Визначимо експлуатаційні витрати при впровадженні системи керування.

##### 4.4.1 Амортизація основних фондів

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

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

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

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

де  $H_a$  – норма амортизації (%);

$T$  – термін корисного використання об'єкта (років).

Амортизація основних фондів визначається як:



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

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

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

Отже, норма амортизації для проекрованої системи керування складає:

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

Сума амортизації для проекрованої і базової системи становить:

$$C_a = 142\,329,32 \cdot 40/100 = 56\,931,728 \text{ (грн.)},$$

#### 4.4.2 Розрахунок фонду заробітної плати

Номінальний річний фонд робочого часу одного працівника:

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

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

$T_K$  – календарний фонд робочого часу ( $T_K = 365$  (днів));

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

$T_B$  – відпустка ( $T_B = 21$  (день));

$T_3$  – тривалість зміни ( $T_3 = 8$  (год.)).

Таким чином, річний фонд робочого часу працівника складе:

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

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

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

Таблиця 4.2 – Розрахунок заробітної плати персоналу

№ П/П	Найменування професії робітників	Число працюючих, чол.	Годинна тарифна ставка, грн./год.	Номинальний річний фонд робочого часу (год.)	Пряма заробітна плата, грн.	Додаткова заробітна плата (8%), грн.	Доплати (7%), грн.	Всього заробітна плата, грн.
1	Оператор	3	72	1 840	397 440,00	31 795,20	27 820,80	457 056,00
2	Інженер	3	80	1 840	441 600,00	35 328,00	30 912,00	507 840,00
3	Наладчик	3	76	1 840	419 520,00	33 561,60	29 366,40	482 448,00
Разом								1 447 344,00

Заробітна плата персоналу проектної системи керування

$$C_3 = 1\,447\,344,00 \text{ (грн.)},$$

#### 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:

$$C_c = 0,22 \cdot 1\,447\,344,00 = 318\,415,68 \text{ (грн.)}.$$

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

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

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

Відповідно до цього витрати становлять:

$$C_{PO} = 0,05 \cdot 142\,329,32 = 7\,116,47 \text{ (грн.)}$$

#### 4.4.5 Витрати на електроенергію

Вартість електроенергії, споживаної системою керування, розробленої у проекті:

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

де  $K_e$  – кількість електроенергії, спожите проектною системою керування (приймаємо  $K_e = 0,56$  (кВт · год. ));

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

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

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

Таким чином вартість електроенергії становить:

$$C_{ee} = 0,56 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 2,712 = 13\,303,99 \text{ (грн.)},$$

#### 4.4.6 Інші витрати

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

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

Таким чином інші витрати становлять:

$$C_{інш} = 0,04 \cdot 1\,447\,344,00 = 57\,893,76 \text{ (грн.)}.$$

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

$$C = 56\,931,728 + 1\,447\,344,00 + 318\,415,68 + 7\,116,47 + 13\,303,99 + 57\,893,76 = 1\,901\,005,62 \text{ (грн.)},$$

Таблиця 4.4 – Експлуатаційні витрати

№ п/п	Назва показника	Проектний варіант, грн.
1	Амортизація	56 931,728
2	Фонд заробітної плати	1 447 344,00
3	Відрахування на соціальні виплати	318 415,68
4	Ремонт та технічне обслуговування	7 116,47
5	Електроенергія	13 303,99
6	Інше	57 893,76
7	Загалом	1 901 005,63

#### **4.5 Висновки за розділом**

При впровадженні проектованої системи капітальні витрати складають 143 тис. грн., час розробки ПЗ становитиме 1,5 місяці.

Річні експлуатаційні витрати, пов'язані з впровадженням системи становитимуть трохи більше 1,9 млн. грн.

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 5.1 Характеристика об'єкту та умови його експлуатації

Усі заходи по охороні праці проводяться з метою захисту учасників трудового процесу від дії небезпечних і шкідливих виробничих чинників, що характеризують умови його проведення. У роботі розглядається розробка системи керування технологічним обладнанням з виготовлення штучних алмазів.

Система керування, що розробляється, містить блок контролера з модулями вводу / виводу зв'язку з периферійним устаткуванням що з'єднуються між собою за допомогою електричних роз'ємів і кабельних ліній.

Метою даного розділу є аналіз санітарно-гігієнічних умов праці, умов безпеки праці і пожежної безпеки для науково-дослідницької лабораторії в якій на персональному комп'ютері здійснюється розробка кваліфікаційної роботи.

У випадку невідповідності цих умов нормативним вимогам, розробляються заходи щодо їх оптимізації.

В науково-дослідницької лабораторії, що досліджується, відбувається дослідження, розробка, впровадження та супроводження програмного забезпечення. У робочій кімнаті розташовані 2 ПЕОМ та стенд, виконаний на базі програмованого логічного контролера.

Науково-дослідницька лабораторія знаходиться на першому поверсі. У ній відсутні шкідливі речовини та сильні вібрації. Лабораторія поділяється на 2 частини: робочий відсік та вимірювальний відсік.

Характеристика приміщення науково-дослідницької лабораторії вказані в таблиці 5.1., а характеристики обладнання - в таблиці 5.2.

У приміщенні знаходиться перший комплект ПЕОМ (лазерний принтер, сканер), а за перегородкою знаходиться другий комплект ПЕОМ дослідницький стенд виконаний на базі програмованого логічного контролера VIPA 200 та НМІ панелі zenon.

Таблиця 5.1 – Характеристики приміщення науково-дослідницької лабораторії

Параметри	Кількісна і візуальна характеристика
Розміри приміщення (всього)	3,5 м × 5 м × 3 м
Кількість працюючих	1 чол.
Площа кабінету	2,0 м × 5 м = 10 (м <sup>2</sup> )
Об'єм кабінету	2,0 м × 3,0 м × 5 м = (30 м <sup>3</sup> )
Площа вимірювального відсіку	5,0 м × 1,5 м = 7,5 (м <sup>2</sup> )
Об'єм вимірювального відсіку	5,0 м × 1,5 м × 3,0 м = 22,5 (м <sup>3</sup> )

Таблиця 5.2 – Характеристики обладнання

Обладнання	Характеристика
Дослідницький стенд виконаний на базі програмованого логічного контролера VIPA 200 та НМІ панелі zenon	ПЛЛ VIPA 214DPM (214-1BM02) – 1 од.; Модуль аналогового вводу VIPA 231-1BD53, multiinput – 1 од.; Модуль аналогового вводу VIPA 231-1BD40 – 1 од.; Модуль дискретного виводу VIPA 222-1BF00 – 1 од.; Датчик температури ТПР-1788 – 2 од.; Датчики тиску UNIK 5700 – 1 од.; Датчики струму DTT-03T-300 – 1 од.; Реле твердотільне Jotta SSR 40DA – 2 од.; Блок живлення Carlo Gavazzi – 2 одд. SPD24301
ПЕОМ (2 од.) Модель Core 5 Duo Processor E6750	Частота роботи процесора - 2.66 ГГц; Потужність, що розсіюється 65 Вт; Критична температура 72 °С; Напруга живлення 0.850 - 1.350 В. Windows 7, стандартне офісне ПЗ. Система управління, виконана на базі ПК зі SCADA zenon
TFT монітор LG Flatron L1750SQ (2 шт.)	Тип РК-матриці: TFT TN (ЖК дисплей (активна матриця)); Максимальна роздільна здатність, пікселі: 1280x1024; Яскравість: 250 кД/м <sup>2</sup> ; Контрастність: 550:1; Споживана потужність під час роботи, Вт: 40; Розмір кроку 0.264 мм; Колірна палітра 24-біта (16.2 млн. кольорів);
Стул (1 од.)	Габарити (ш х д х в): 600 х 600 х 1000 мм
Стіл (1 од.)	Габарити (ш х д х в): 1 800 х 1 000 х 1 000 мм
Принтер HP DeskJet F2483 (1 од.)	U= 110~220 В, P (при роботі)= 22,8 Вт
Сканер Epson GT-1500 (1 од.)	P (при роботі)= 12,5 Вт
Кондиціонер SAMSUNG AQ12UGF	Тип: спліт-система. Холод / Тепло, продуктивність: 3,5/3,8 кВт. Обігрів/охолодження: 1,053/1,09 кВт. Габарити зовнішнього блока: 470х660х240 мм. маса: 25 кг.

Науково-дослідницька лабораторія створена з дотриманням норм СН 512-78 “Інструкція з проектування будинків і приміщень для електронно-обчислювальних машин” та максимально наближена до міжнародного стандарту ЕІА/ТІА-569 (вимоги до телекомунікаційних приміщень) та ISO/IEC 17025:2005 (Вимоги для лабораторій в яких відбуваються дослідження).

На рисунку 5.1 зображена схема робочого приміщення та вимірювального відсіку лабораторії.

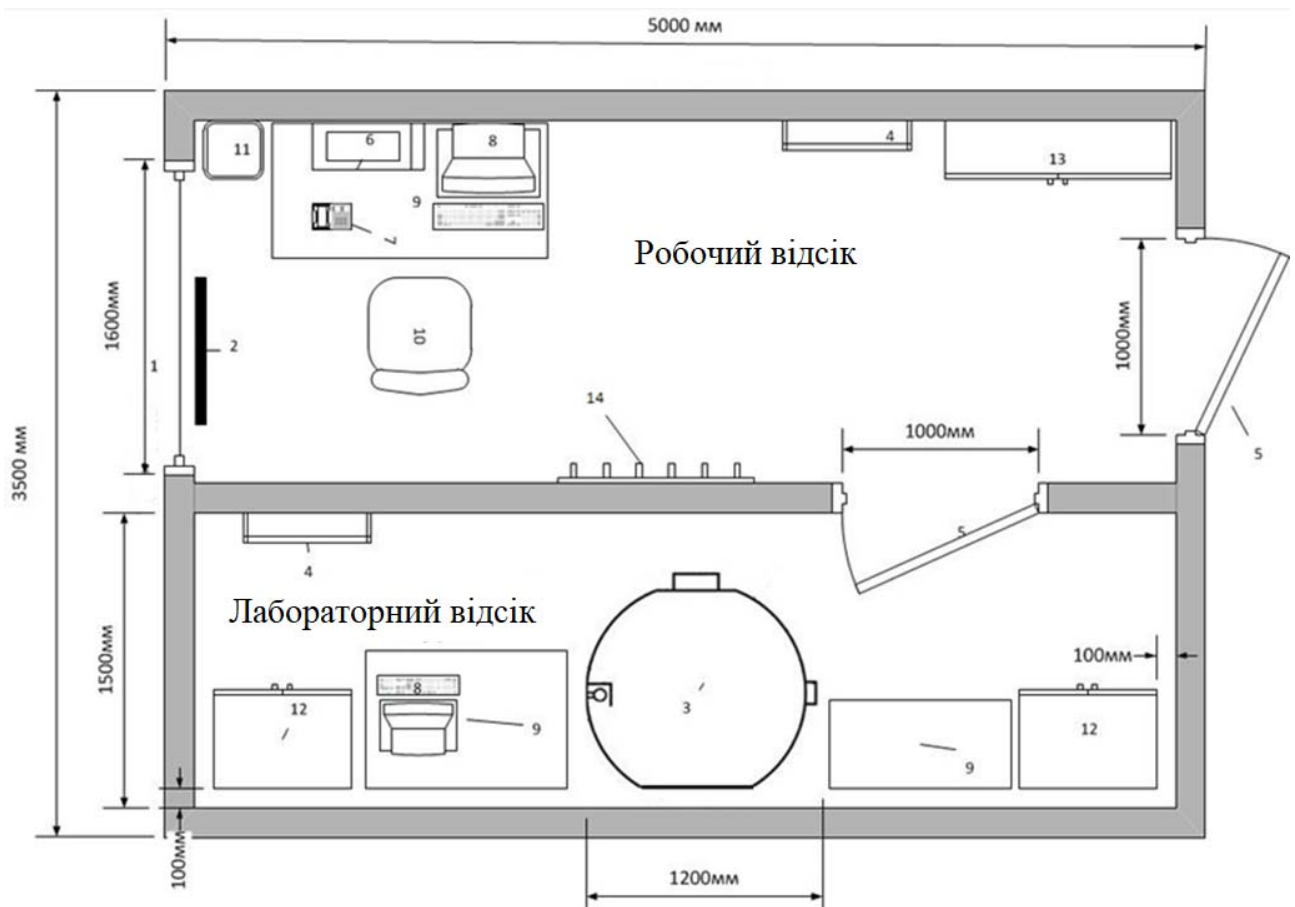


Рисунок 5.1 – План науково-дослідницької лабораторії

На плані науково-дослідницької лабораторії присутні наступні позначки: 1 – вікно, 2 – радіатор опалення, 3 – стенд з давачами та виконавчими пристроями, 4 – кондиціонер, 5 – двері, 6 – сканер, 7 – телефон, 8 – персональний комп'ютер, 9 – стіл, 10 – крісло, 11 – відро для сміття, 12 – стенд з контролером VIRA 200, 13 – шафа, 14 – вішалка.

При розміщенні обладнання в приміщенні слід дотримуватись норм ДСанПІН 5.5.2.007-98. У даному приміщенні норми розміщення та відстаней наведені у таблиці 5.3.

Реальні показники повністю відповідають вимогам всіх нормативних документів з охорони праці (ОП), крім відстаней стенду до стін – їх слід збільшити. Даний факт свідчить про те, що дане приміщення може

використовуватися як виробниче, та повністю задовольняти потреби працюючих.

Таблиця 5.3 – Норми відстаней за ДСанПІН 5.5.2.007-98

Параметр	Норма	Дані параметри
Відстань стенду від до стіни	90 (см)	10 (см)
Прохід	Не менше 1 (м)	1,7 (м)
Двері	1000 (мм) × 2100 (мм)	1000 (мм) × 2100 (мм)
Вікно	1200 (мм) × 2000 (мм)	1600 (мм) × 2000 (мм)
Відстань стенду до робочого місця	1500 (мм)	2000 (мм)
Площа, S <sub>каб</sub>	Не менше 6м <sup>2</sup>	10 м <sup>2</sup>
Об'єм, V <sub>каб</sub>	Не менше 20м <sup>3</sup>	30 м <sup>3</sup>

## 5.2 Оцінка небезпечних і шкідливих виробничих факторів.

Небезпечні та шкідливі виробничі чинники відповідно до ГОСТ 12.0.003-74 за природою дії поділяються на 4 групи (табл. 5.4).

Таблиця 5.4 – Небезпечні та шкідливі виробничі фактори

Фізичні	Хімічні	Біологічні	Психа-фізіологічні
Шум, освітлення, мікроклімат, пожежонебезпека	Паперовий пил, випари клею ПВА	Віруси, плісеневі гриби	Відсутні

Будуть проаналізовані найнебезпечніші шкідливі фактори.

### 5.2.1 Шум

Рівень звуку у приміщенні перевищує встановлені норми (за ДСН 5.5.6.037- 99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку»). Для того, щоб захистити працівників необхідна товща перегородка від вимірювального відсіку. Нижче розраховується товщина шлакобетонної перегородки.

Таблиця 5.5 – Джерела виникнення шуму і наслідки

Джерело шуму	Наслідки
Кондиціонер	Порушення слуху працівника
Сканер	Зниження рівня працездатності
Принтер	Втомлюваність і загальна роздратованість
Стенд	Втомлюваність і загальна роздратованість
ПК	Втомлюваність і загальна роздратованість
Зовнішній шум від транспорту	Вібро-акустичний дискомфорт



Таблиця 5.6 – Порівняння нормованого і фактичного шумів

Джерело шуму	Рівень звуку $L_i$ , дБА	Час впливу звуку $t_i$ , г	Кількість $n$ , од.	Нормований рівень шуму, дБА (ДСН 5.5.6.037-99 )	Фактичний рівень шуму, дБА
Стенд на базі VIPA 200	63	8	4	<50	84,11
Вентилятор ПЕОМ	18	8	4		
Жорсткий диск ПЕОМ	25	8	4		
Зовнішній шум (вулиця та внутрішній шум)	35	8	1		
Кондиціонер SAMSUNG AQ12UGF	30	4	2		

Розрахунок.

$L_o = 85$  дБ — фактичний шум,  $L_d = 50$  дБ — норма шуму.

$R = L_o - L_d - L_d = 85 - 10 - 50 = 25$  дБ — звукоізолююча здатність,

де  $L_d = 10 \lg(a_0 * S_0 / a_1 * S_1) = 10 \lg(0.31 * 8.4 / 0.032 * 8.4) = 10$

де  $a_0$  - коефіцієнт звукопоглинання шлакобетону;

$a_1$  - коефіцієнт звукопоглинання акустичної штукатурки;

$S_0, S_1$  - поверхня стінок (1,5\*2\*2,8) у м<sup>3</sup>.

Значенню  $R=25$ дБ по відповідає шлакобетонна стіна товщиною  $h_0 = 22$  (мм).

Таблиця 5.7 – Заходи для нормалізації параметрів шуму

Вид захисту	Засоби подолання небезпеки
Технічні заходи	Перегородка з шумоізоляцією для зменшення шуму в робочому місці (70%); Вентилятори для відсутності шуму від перегріву (30%).
Організаційні заходи	Своєчасна чистка системи охолодження (кондиціонер) та стенду з ПЛК VIPA 200 (85%); Перевірка на відсутність зазорів (15%).
Захисні індивідуальні засоби (ЗІЗ)	навушники, СОМЗ-1 (100%)

### 5.2.2 Освітлення

Основна частина роботи з програмним продуктом відбувається із зображеннями на екрані монітору.

Таблиця 5.8 – Джерела та наслідки

Джерела	Наслідки
Недостатнє місцеве освітлення	Порушення зору працівника
Дуже яскраве світло	Зниження рівня працездатності

Характеристика зорової роботи наведена у таблиці 5.9.

Таблиця 5.9 – Характеристика зорової роботи

Характеристика зорової роботи	Середньої точності
Найменший розмір об'єкту розрізнення (мм)	Понад 0,5 до 1
Розряд зорової роботи	IV
Підрозряд зорової роботи	в
Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Малий; Середній; Великий
Характеристика фону	Фон програми-середовища розробки – чорно-білий, шрифт програми – 4 – 6 (пк), яскравість 60%, 2...3 (мм), розмір мінімальних об'єктів 3 (ПК) – 1 (мм)
Яскравість	70%
Природне освітлення	Бокове
	1,5

Основні характеристики освітлення приміщення відповідають встановленим нормам ДБН В.2.5-28-2006 та ДСанПіН 5.5.2.007-98. Виконано наступні заходи і засоби для нормалізації параметрів освітлення (Таблиця 5.10).

Таблиця 5.10 – Заходи для нормалізації параметрів освітлення

Вид захисту	Заходи	
Технічні заходи	У технологічному обладнанні	Застосовується світлий фон, з яскравістю близько 60%.
	У робочому відсіку	Природне освітлення – бокове (однобічне), вікно на схід (1,6 (м) × 2,0 (м)), Склопакет двокамерний. Штучне освітлення – комбіноване (4 лампи ЛПО- 01, Р = 40 (Вт), висота 2,9 (м))
	У вимірювальному відсіку	Штучне освітлення – комбіноване (2 лампи ЛПО-01, Р = 40 (Вт), висота 2,9 (м))
Організаційні заходи	Вологе прибирання, підтримання чистоти вікон та світильників	
ЗІЗ	Не передбачені	

### 5.2.3 Мікроклімат виробничого приміщення

Для вимірювального відсіку лабораторії виділене окреме приміщення. В таблиці 5.11 представлені джерела мікроклімату.

Таблиця 5.11 – Джерела мікроклімату

Параметри мікроклімату	Джерела	Наслідки
Вологість	- Погана вентиляція приміщення - Повітря, видихуване людьми	- Піт краплями капає зі шкіри і може попасти на обладнання; - Можливість появи крапель у обладнанні
Температура	- Обладнання (стенд, ПЕОМ)	- Підвищення температури знижує працездатність людини; - Пластмасові частини корпусу ПЕОМ та стенду можуть поплавитися
Швидкість руху повітря	- Відкрите вікно та двері (протяг)	- Немає

Робота зі стендом виконується на місці адміністратора сидячи і не потребує фізичного навантаження, тому ці роботи відносяться до категорії «Легкі роботи – 1а». Людиною виділяється до 120ккал теплової енергії на годину.

Таблиця 5.12 – Оптимальні та реальні величини температури та відносної вологості повітря в робочій зоні (ДСН 5.5.6.042-99)

Період року	Категорія робіт	Температура повітря на, °С		Відносна, %		Швидкість руху, м/с	
		Оптимально.	Реально	Оптимально.	Реально	Оптимально.	Реально
Холодний період року	Легка 1а	22...24	22...25	40...60-	55	0,1	0,1
Теплий період року	Легка 1а	23...25	22...25	40...60	45	0,1	0,1

В таблиці 5.13 представлені параметри мікроклімату в вимірювальному відсіку.

Таблиця 5.13 – Параметри мікроклімату в вимірювальному відсіку

Атмосферний тиск, кПа	Температура повітря, °С	Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с
84...107	18...24	30...50	0,1

Температура повітря в вимірювальному відсіку знаходиться в межах від +18 до +24 градусів за Цельсієм.

Відносна вологість від 30 до 50%, що відповідає встановленим нормам. Виконано наступні заходи і засоби для нормалізації параметрів мікроклімату (таблиця 5.14).

Таблиця 5.14 – Засоби захисту

Вид захисту		Заходи
Технічні заходи	У технологічному обладнанні	Застосовуються вентилятори у персональному комп'ютері.
	У приміщенні і робочих місцях	Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату приміщення з ЕОМ обладнано системами опалення і припливно-втяжною вентиляцією. Для кондиціонування повітря в приміщенні використовуються кондиціонери типу спліт-системи, марки Delfa DSR-07HR
	У вимірювальному відсіку	Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату в вимірювальному відсіку використовуються кондиціонери типу спліт-системи, марки Delfa DSR-07HR (розміри: висота – 0,25 м, ширина – 0,71 м, глибина – 0,189 м; режим охолодження/обігрів/осушення; потужність, яка споживається – 0,73 кВт, потужність в режимі охолодження – 2,1 кВт). Стенд оснащений вентиляторами.
Організаційні заходи		Вологе прибирання, природна і механічна вентиляція, зволоження або осушення повітря
ЗІЗ		Не передбачені

Отже, основні характеристики мікроклімату робочого та вимірювального відсіків відповідають державним нормам, згідно з санітарно-гігієнічним нормуванням [39].

#### 5.2.4 Пожежна безпека при надзвичайних ситуаціях

Конструкція будинку виконана із залізобетонних плит, тобто його конструктивні елементи - не спалювані. Будинок відноситься до І-ІІ ступеня вогнестійкості. Межа вогнестійкості конструкції 0,5...2,5 г.

У вказаному приміщенні можливі горючі матеріали вказані у таблиці 5.15.

Таблиця 5.15 – Горючі матеріали

№	Тип матеріалу	Температура горіння
1	Папір	233 °С
2	Поліетилен	310-340 °С
3	Дерево	300 °С
4	ABS-пластик	450 °С

При вказаних горючих матеріалах приведена характеристика приміщення.

Таблиця 5.16 – Характеристика пожежонебезпечності приміщення

Клас пожежі	A2 – горіння твердих речовин, що не супроводжуються тлінням; E - горіння електроустановок, під напругою до 1000 В
Підклас пожежі	A1 горіння супроводжується тлінням (A2 обернено до A1)
Вибухо-пожежонебезпечна	Категорія В (пожежонебезпечна)
Клас робочої зони приміщення по пожежній безпеці	Клас - П-Па
Горючі матеріали та речовини	Волокнисті (папір), тверді (столи, стільці,

Таблиця 5.17 – Джерела та наслідки

Джерела	Небезпечний фактор	Наслідки
Стенд з ПЕОМ	Коротке змикання	Опіки живих тканин Виникнення пожежі Знищення необхідних речей
Матеріали і речовини схильні до займання	Загоряння матеріалів	

Для запобігання пожежі у приміщенні вжито наступні заходи протипожежної безпеки зазначені в таблиці 5.19.

Таблиця 5.19 – Заходи протипожежної безпеки

Вид захисту	Заходи подолання небезпеки
Технічні заходи	Кімната обладнана чотирма ручними вуглекислотними вогнегасниками ОУ-3 згідно з [6] (на кожні 20м <sup>2</sup> приміщення повинно бути 2 вогнегасники, але в жодному разі не менше двох). Вільний доступ до мережних рубильників та вимикачів. Використовуються сповіщувачі СП 212-45 (сповіщувачі типу «димні»), що встановлені в якості пожежної сигналізації у кількості 5 шт. рівномірно розподілених по всій поверхні стелі. У коридорі присутній спеціальний щит пожежного гідранта з відповідним рукавом.
Організаційні заходи	Керівником персоналу призначене відповідальна особа, яка відповідає за дотримання персоналом вимог пожежної безпеки. Розроблено план евакуації персоналу офісного приміщення. Вільний доступ до вимикача електроживлення.
ЗІЗ	Не передбачені

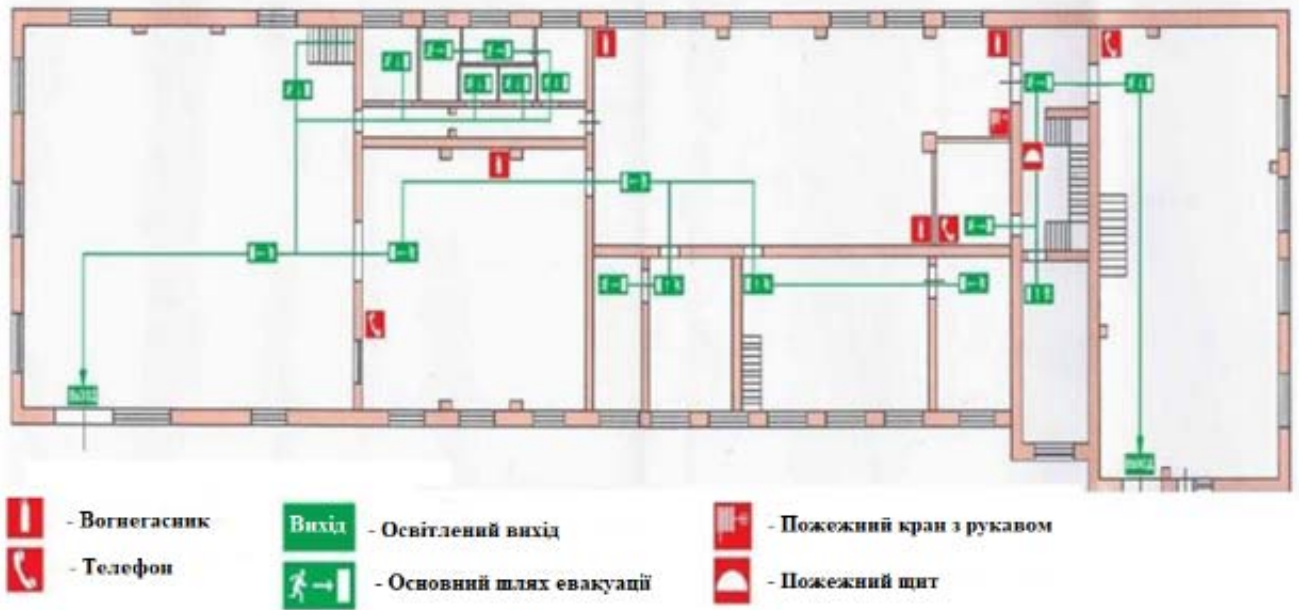


Рисунок 5.2 – План евакуації з першого поверху при пожежній небезпеці  
Висновки до розділу 5

### 5.5 Висновки за розділом

Параметри даного кабінету не відповідають встановленим нормам. Це приміщення не призначене для постійної роботи, а тільки для підтримання дослідницьких робіт. Підтримання відповідного рівня мікрокліматичних показників використовують необхідні засоби та здійснюють заходи їх контролю. Щоб зменшити вплив шкідливих речовин на організм людини приймають відповідні захисні міри. Для задовольняння ДНАОП 0.00.1.31-99 «Правила охорони праці на час експлуатації ЕОМ» і ДСанПіН 5.5.2-007-98 «Державні санітарні правила й норми роботи з візуальними дисплейними терміналами ЕОМ» між працівниками і стендом повинна стояти шлакобетонна стінка з товщиною 22 мм.

## ВИСНОВКИ

Головною метою роботи є розробка моделі об'єкта керування для регульованого по температурі градієнту між зростаючим кристалом алмазу, який знаходиться у розплавленому металі та графітом, в залежності від величини струму, який тече через розплавлений метал.

Отримана модель може бути використана при синтезі системи керування для технологічного обладнання SYNTECHNO .

Актуальність роботи пояснюється необхідністю модернізації систем керування, які використовуються на підприємстві, так як весь процес вирощування НРНТ вимагає постійного контрольованого середовища для виробництва алмазів якості дорогоцінних каменів.

Сучасна система керування дозволить контролювати процес синтезу і вносити зміни в структуру алмазу, дозволяючи отримувати алмазну сировину з заданими характеристиками. Кожен алмаз, в кінці всього циклу зростання, матиме передбачувані і постійні характеристики, включаючи колір, чистоту і розмір.

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

У якості об'єкта керування виступає технологічне обладнання SYNTECHNO-НРНТ-Bars Press .

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

При виконанні структурної ідентифікації, яка проведена на підставі експериментальних даних отриманих на об'єкті керування (динамічної характеристики, даних для побудови статичної характеристики, даних отриманих при П-образному керуючому впливі) встановлено, що структурно

модель об'єкта керування може бути представлена як аперіодична ланка другого, 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 0,20123 і постійні часу 44,213 с та 164,19 с, а запізнення становить 122,7 с.

Комплексна перевірка на адекватність моделі до об'єкта керування за перевірочними даними об'єкта керування показала високу відповідність 96,13 %, сильний кореляційний зв'язок 0,999 та статистичний критерій Фішера 12 517 637 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 процесу з виготовлення штучних алмазів.

При впровадженні проектованої системи капітальні витрати складають 143 тис. грн., час розробки ПЗ становитиме 1,5 місяці.

Річні експлуатаційні витрати, пов'язані з впровадженням системи становитимуть трохи більше 1,9 млн. грн.

Параметри кабінету де проводились роботи з дослідження не відповідають встановленим нормам. Це приміщення не призначене для постійної роботи, а тільки для підтримання дослідницьких робіт. Підтримання відповідного рівня мікрокліматичних показників використовують необхідні засоби та здійснюють заходи їх контролю. Щоб зменшити вплив шкідливих речовин на організм людини приймають відповідні захисні міри. Для задовольняння ДНАОП 0.00.1.31-99 «Правила охорони праці на час експлуатації ЕОМ» і ДСанПіН 5.5.2-007-98 «Державні санітарні правила й норми роботи з



візуальними дисплейними терміналами ЕОМ» між працівниками і стендом повинна стояти шлакобетонна стінка з товщиною 22 мм.

**ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

1. Методичні рекомендації для студентів бакалаврів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» Ткачов В.В., Бубліков 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/rVf8Zm>. – 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. Синтетические алмазы – будущее новейших технологий. Режим доступу: <https://www.rough-polished.com/ru/analytics/105822.html>
7. Синтетичні алмази. Режим доступу: <https://uk.xn----7sbiewaowdbfdjyt.pp.ua/3493023/1/sintetichni-almazi.html>

8. Штучні алмази: як вирощують синтетичні алмази? Історія їх отримання. Режим доступу: <https://porady.co.ua/shtuchn-almaz-27-foto-yak-viroschuyut-sintetichn-almaz-stor-ya-h-otrimannya/>
9. Презентація «Штучні алмази у техніці та способи їх отримання». Режим доступу: <https://naurok.com.ua/prezetaciya-shtuchni-almaz-u-tehnici-ta-sposobi-h-otrimannya-131230.html>
10. Синтетичні алмази. Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B8%D0%BD%D1%82%D0%B5%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%BD%D1%96\\_%D0%B0%D0%BB%D0%BC%D0%B0%D0%B7%D0%B8%D0%A2%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D1%97\\_%D0%B2%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BD%D0%B8%D1%86%D1%82%D0%B2%D0%B0](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B8%D0%BD%D1%82%D0%B5%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%BD%D1%96_%D0%B0%D0%BB%D0%BC%D0%B0%D0%B7%D0%B8%D0%A2%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D1%97_%D0%B2%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BD%D0%B8%D1%86%D1%82%D0%B2%D0%B0)
11. Сверхтвердые материалы. Получение и применение: в 6 т. Киев: Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2003. Т. 1. 316 с.
12. Новиков Н. В., Ивахненко С. А. Алмаз синтетический, монокристаллы // Неорганическое материаловедение: в 2 т. / Под ред. Г. Г. Гнесина, В. В. Скорохода. Киев: Наукова думка, 2008. Т. 2. Кн. 1. С. 41–46.
13. Шульженко А. А. Алмаз синтетический, порошки // Неорганическое материаловедение: в 2 т. / Под ред. Г. Г. Гнесина, В. В. Скорохода. Киев : Наукова думка, 2008. Т. 2. Кн. 1. С. 46–52.
14. Лавріненко В. І., Новіков М. В. Надтверді абразивні матеріали в механообробці. Київ : Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України, 2013. 456 с.
15. Бориславський завод штучних алмазів і алмазного інструменту. Режим доступу: [https://esu.com.ua/search\\_articles.php?id=37152](https://esu.com.ua/search_articles.php?id=37152)
16. Syntechno Режим доступу: <https://syntechno.ru/how-its-made-laboratory-grown-diamonds/>
17. ООО «ТК ПРОМЭЛ» Электрооборудование, насосы, вентиляция, КИПиА, датчики приборы, светотехника. Режим доступу:

- termopreobrazovatel.html<https://profmaster.com.ua/ua/p1146200653-tpr-1788-termopreobrazovatel.html>
18. Датчики давления серии UNIK 5000. Режим доступа. <https://m.pergam.ru/catalog/pci/calibration-equipment/datchiki-davleniya/unik-5000.htm>
  19. ДТТ-03Т (300А) — датчик измерения переменного тока. Режим доступа: [https://www.electronpribor.ru/catalog/850/dtt-03t\\_300a.htm#specification](https://www.electronpribor.ru/catalog/850/dtt-03t_300a.htm#specification)
  20. Электронный ресурс: <https://prom.ua/ua/p1363387438-dtshh5-termosoprotivleniya-kommutatsionnoj.html>
  21. Электронный ресурс: <https://prom.ua/ua/p230845067-datchiki-vlazhnosti-vlagomery.html?&primelead=MC40>
  22. Электронный ресурс: <https://delta-electronics.com.ua/ua/p43273672-preobrazovatel-chastoty-delta.html>
  23. Электронный ресурс: <https://prom.ua/ua/p195893058-chastotnyj-preobrazovatel-delta.html>
  24. Электронный ресурс: <https://aliradar.com/item/33024886141-Trehfaznoe-tverdotelnoe-rele-peremennogo-toka-Jotta-SSR-10DA25DA40DA60DA-480-V-peremennogo-toka-3-32-V-postoyannogo-toka>
  25. Міждержавний стандарт ГОСТ 12.0.003-74 (1999) ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».
  26. ДСН 3.3.6.042-99 „Державні санітарні норми параметрів мікроклімату” - К.: МОЗ України, 2000.
  27. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування.
  28. 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.
  29. Правила улаштування електроустановок Мінпаливвугілля України. – 2017 – 617с.

30. «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості на небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». № 528 - 2001.
31. Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями, затверджені наказом Мінсоцполітики від 14.02.2018 № 207.
32. Охорона праці в галузі. Конспект лекцій для студентів Інституту електроенергетики. / Уклад. В.І. Голінько, В.Ю. Фрундін, Ю.І. Чеберячко, М.Ю. Іконніков. - Дніпропетровськ: Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», 2013. – 86 с.
33. 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.
34. ДСанПіН 3.3.2-007-98 Державні санітарні правила і норми. Гігієнічні вимоги до організації роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин
35. ДСТУ 7234:2011 Дизайн і ергономіка. Обладнання виробниче. Загальні вимоги дизайну та ергономіки
36. ДСТУ 7950:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце під час виконання робіт стоячи. Загальні ергономічні вимоги.
37. ДСТУ 8604:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги
38. ДСТУ 3191-95 (ГОСТ 12 2.137-96) Обладнання для кондиціонування повітря та вентиляції
39. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу (затверджено наказом МОЗ України від 27.12.2001р № 528).

## ДОДАТОК 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.151.18.17.ПЗ	Пояснювальна записка		ПЗ		
4							
5			<b><u>Графічна частина</u></b>				
6							
7	A2	KIBС.KBP.151.18.17.E2	Функціональна схема				
8			автоматизації	1	E2		
9							
10	A2	KIBС.KBP.151.18.17.E3	Схема електрична				
11			принципова	1	E3		
12							
13	A4	KIBС.KBP.151.18.17.ПЕЗ	Перелік елементів	1	ПЕ		
14							
15	A4	KIBС.KBP.151.18.17.Д	Презентація		Д		
16							
17		KIBС.KBP.151.18.17.ВДЕ	Носій інформації	1	ВДЕ		
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
			Підп.	Дата	<b>KIBС.KBP.151.18.17.ТП</b>		
Зм.	Арк.	№ докум.			Літ.	Аркуш	Аркушів
Розробив		Стужук		17.05.22		1	1
П. конс.		Шевченко			Національний ТУ «Дніпровська політехніка», ЕТФ, 151-18-1		
Переірив.		Проценко					
Н. контр.		Славінський					
					Автоматизація технологічного процесу виробництва штучних алмазів. Відомість проекту		



**ВІДГУКИ КОНСУЛЬТАНТІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**





## ВІДГУК

кваліфікаційна робота бакалавра: «Автоматизація технологічного процесу виробництва штучних алмазів», студент гр. 151-18-1 Стужук Данило

Михайлович

Об'єкт розробки – система автоматичного керування технологічним обладнанням з виготовлення штучних алмазів.

Об'єкт дослідження – технологічне обладнання SYNTECHNO-Bars Press з використанням технології НРНТ для вирощування штучних алмазів.

Предмет дослідження – розробка моделі комірки вирощування алмазів регульованої по каналу «електричний струм - градієнт температури».

Підсистема керування має підтримувати заданий градієнт температури між зростаючим кристалом алмазу, який знаходиться у розплавленому металі та графітом, на який здійснюється високий тиск.

Підсистема керування включає датчики температури, пристрої керування електродвигунами. Система керування під'єднана до загально промислової мережі. 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. Підсистема дослідження формує керуючий вплив, у якості якого виступає електричний струм, за рахунок якого виконується нагрів комірки росту з заданим градієнтом температур.

Така система може бути затребувана для будь-яких технологічних процесів з виготовлення штучних алмазів для ювелірного виробництва.

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

Цілі, поставлені перед кваліфікаційною роботою, повністю виконані.

ПЗ і графічна частина кваліфікаційної роботи виконана відповідно до вимог 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» за спеціальністю «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

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

\_\_\_\_.06.2022

## РЕЦЕНЗІЯ

кваліфікаційна робота бакалавра: «Автоматизація технологічного процесу виробництва штучних алмазів», студент гр. 151-18-1 Стужук Данило

Михайлович

1. Завдання і зміст кваліфікаційної роботи ступеню бакалавра відповідає основній меті - перевірці знань і ступеня підготовленості студента за спеціальністю «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».
2. Актуальність роботи полягає в тому, що розробка та дослідження нової 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 Стужук Д.М. присвоєння йому кваліфікації «бакалавр» за спеціальністю «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

Рецензент, \_\_\_\_\_

\_\_\_\_.06.2022

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 штучних алмазів», здобувача вищої освіти, групи 151-18-1, Стужук Данило Михайлович.

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

Нормоконтролер,  
посада, ас. каф. КФІВС  
ступінь

\_\_\_\_\_

(підпис)

Славінський Д.В.

\_\_\_\_\_

(дата)

Ім'я користувача:  
Олег Бойко

ID перевірки:  
1011437406

Дата перевірки:  
02.06.2022 18:20:03 EEST

Тип перевірки:  
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:  
03.06.2022 17:21:07 EEST

ID користувача:  
100008838

Назва документа: 01\_151\_-18\_Стужук\_Д\_М\_-\_ПЗС

Кількість сторінок: 89 Кількість слів: 14608 Кількість символів: 106446 Розмір файлу: 3.10 MB ID файлу: 1011316953

Виявлено модифікації тексту (можуть впливати на відсоток схожості)

## 35.2% Схожість

Найбільша схожість: 12.1% з Інтернет-джерелом (<http://ir.nmu.org.ua/bitstream/handle/123456789/158789/%D0%9A%D..>)

35.2% Джерела з Інтернету

82

Сторінка 91

Не знайдено джерел з Бібліотеки

## 0% Цитат

Вилучення цитат вимкнене

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнене

## 24.6% Вилучень

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

0.33% Вилучення з Інтернету

73

Сторінка 92

24.6% Вилученого тексту з Бібліотеки

19

Сторінка 92

## Модифікації

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

Замінені символи

108

Підозріле форматування

20  
сторінок