

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 Васюков Ярослав Юрійович

(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 коксу

(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)

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

ЗАВДАННЯ на кваліфікаційну роботу ступеня бакалавр

студенту Васюков Я.Ю. _____ академічної групи 151-18-1 _____
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології _____

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

на тему Автоматизація технологічного процесу виробництва коксу
затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» № 217-с від 26.04.2022 р.

Розділ	Зміст	Термін виконання
Стан питання та постановка завдання	Вступ. Опис технологічного процесу для об'єкта автоматизації. Огляд існуючих систем автоматизації. Стан питання. Вибір напрямку створення автоматизованої системи.	11.05.2022
Розробка апаратного забезпечення системи керування	Обрання датчиків, виконавчих пристроїв та пристрою керування, розробка структурних схем, функціональної схеми автоматизації та принципової схеми електричної.	18.05.2022
Визначення моделі об'єкта керування	Виконання експерименту. Обробка результатів експерименту. Створення моделі об'єкта керування. Перевірка отриманої моделі на адекватність.	25.05.2022
Економічна частина	Економічне обґрунтування доцільності витрат на створення системи керування.	01.06.2022
Охорона праці	Розробка організаційно-технічних заходів, щодо реалізації правил безпеки при експлуатації системи.	05.06.2022

Завдання видано _____
(підпис керівника)

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

Дата видачі

04.05.2022

Дата подання до екзаменаційної комісії

10.06.2022

Прийнято до виконання _____
(підпис студента)

Васюков Я.Ю.
(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Об'єкт розробки – система автоматичного керування ланками технологічного процесу виробництва коксу.

Об'єкт дослідження – електрична піч для прожарювання сировини - електрокальцинатор ИЕТ-10.

Предмет дослідження – проведення структурної і параметричної ідентифікації та визначення математичної моделі об'єкта керування.

Режим прожарювання проводиться за показаннями струму джерела живлення і за встановленим по технологічним параметрам значенням. Вивантаження чергової порції матеріалу з печі проводиться при встановленому значенню сили струму. Після того як свіжий матеріал під дією сил гравітації надійде в робочу зону, опір завантаження зростає і сила струму зменшується, оскільки значення напруги живлення для обраного технологічного процесу залишається постійним. Через деякий час завантаження нагріється до заданої температури, опір матеріалу знизиться, показники струму знову зростуть до максимальної межі і знову проводиться вивантаження і т. д. Системи керування має підтримувати процес вивантаження постійним.

Для створення ефективної системи керування за обраним каналом керування «швидкість вивантаження матеріалу - «сила струму» необхідно провести активний експеримент з метою отримання параметрів об'єкта керування.

Виходячи з отриманих результатів можливо зробити висновок, що модель відповідає об'єкту керування, та може бути використана для подальшої розробки підсистеми керування.

ЕЛЕКТРОКАЛЬЦИНАТОР, ТЕМПЕРАТУРА, СТРУМ, ДОЗАТОР,
ДАТЧИК, СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, СИНТЕЗ СИСТЕМИ, ІМІТАЦІЙНА
МОДЕЛЬ

ЗМІСТ

Зміст	4
Перелік скорочень	7
Вступ	8
1 Стан питання та постановка завдання	9
1.1 Загальна інформація	9
1.1.1 Технологія отримання штучного графіту	12
1.1.2 Термічна обробка сировини	13
1.2 Об'єкт керування	20
1.2.1 Процес прожарювання вуглецевої сировини в електрокальцинаторі шахтного типу	26
1.3 Структура об'єкту керування	29
1.4 Принцип функціонування об'єкту керування	31
15 Формулювання задачі дослідження	31
2 Розробка апаратного забезпечення системи керування	32
2.1 Розробка структурної схеми підсистеми керування	32
2.2 Розробка структурної схеми інформаційних потоків	33
2.3 Вибір апаратного забезпечення підсистеми керування	34
2.3.1 Вибір датчиків	34
2.3.2 Вибір виконавчих пристроїв	35
2.3.3 Вибір пристроїв керування	36
2.3.4 Вибір джерел живлення	41
2.4 Розробка функціональної схеми автоматизації	42
2.5 Розробка схеми електричної принципової	43
2.6 Висновки за розділом	45
3 Визначення моделі об'єкта керування	46
3.1 Розробка структурної схеми інформаційних потоків дослідницької системи	47
3.2 Розробка методики дослідження об'єкта керування	49

	5
3.3 Виконання експерименту	51
3.4 Обробка результатів експерименту	54
3.4.1 Підготовка даних	54
3.4.2 Структурна ідентифікація	56
3.4.3 Параметрична ідентифікація	61
3.4.4 Розробка моделі об'єкта керування в Simulink	66
3.4.5 Перевірка моделі на адекватність	68
3.5 Висновки за розділом	70
4 Економічна частина	71
4.1 Техніко-економічне обґрунтування впровадження системи керування	71
4.2 Розрахунок капітальних витрат пов'язаних з впровадженням системи керування	71
4.3 Розрахунок капітальних витрат на програмне забезпечення	72
4.3.1 Розрахунок часу на розробку програмного забезпечення	72
4.3.2 Розрахунок витрат на розробку програмного забезпечення	75
4.4 Розрахунок експлуатаційних витрат	76
4.4.1 Амортизація основних фондів	77
4.4.2 Розрахунок фонду заробітної плати	77
4.4.3 Відрахування на соціальні заходи	78
4.4.4 Розрахунок витрат на технічне обслуговування та ремонт	79
4.4.5 Витрати на електроенергію	79
4.4.6 Інші витрати	79
4.5 Висновки за розділом	80
5 Охорона праці	81
5.1 Інженерно-технічні заходи з безпеки праці	81
5.1.1 Електробезпека	81
5.1.1.1 Приміщення оператора	81
5.1.1.2 Місце розміщення система керування	83
5.1.2 Виробниче освітлення	86
5.1.3 Виробничий шум та вібрація	86

	6
5.1.4 Повітря робочої зони	88
5.2 Пожежна небезпека	89
5.3 Висновки по розділу	90
Висновки	91
Перелік посилань	93
Додаток А	98
Додаток Б	99
Відгуки консультантів кваліфікаційної роботи	100
Відгук	102
Рецензія	104

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

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

ВСТУП

У сучасній промисловості виробництво вуглецевих виробів є важливим процесом, оскільки продукція даного виробництва широко використовується в різноманітних галузях промисловості, які нерозривно пов'язані з необхідністю використання електротермічних процесів. Зокрема, до таких виробництв відносяться підприємства чорної та кольорової металургії, машинобудування, хімічної промисловості та інші.

Виробництво вуглецевих виробів є досить ресурсо- та енергозатратним. Окрім того, існує необхідність суворого дотримання великої кількості технологічних параметрів. Саме тому актуальною є задача ведення технологічних процесів в оптимальних режимах на ключових етапах виробництва з метою зменшення затрат та забезпечення високої якості продукції.

Одним з визначальних технологічних процесів виробництва вуглецевої продукції є термічна обробка вуглецевої сировини в електричній печі шахтного типу (електрокальцинаторі), під час якої формуються властивості вуглецевої сировини, що впливають як на перебіг наступних технологічних процесів виробництва, так і, в решті решт, на якість готової продукції [1, 2]. Тому задача підвищення ефективності процесу термообробки в електрокальцинаторі є дуже актуальною і в сучасних умовах може бути розв'язана шляхом створення ефективної системи оптимального керування даним процесом.

Для розв'язання поставленої задачі керування у подальших дослідженнях потрібно розробити математичну модель процесу термообробки вуглецевої сировини в електрокальцинаторі. [6].

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

1.1 Загальна інформація

Кокс (англ. coke, нім. Koks) — вид твердого палива, яке одержують нагріванням кам'яного вугілля, торфу тощо до високих температур без доступу повітря. Найчастіше застосовують кокс з кам'яного вугілля — твердий поруватий міцний високовуглецевий продукт сірого кольору отриманий при коксуванні (нагріві без доступу повітря) суміші кам'яного вугілля. Застосовують переважно як паливо й відновник у металургійній промисловості.

Залежно від виду сировини розрізняють кокс:

- кам'яновугільний кокс;
- електродний пековий кокс;
- нафтовий кокс.
- голчатий кокс;
- кальцинований кокс.

Кокс кам'яновугільний - різновид коксу, твердий шпаристий (шпаристість 49...53 %) грудкоподібний продукт коксування вугілля. Має сірий колір. Вміст вуглецю у вугіллі становить від 78...89 до 90...95 %, вміст вуглецю в кам'яновугільному коксі – 96...98 %. Зольність до 9...11 %. Вологість 0,5...4,0 %. Теплота згоряння 29...33 МДж/кг. Вихід кам'яновугільного коксу при коксуванні становить 75...78 %. Є бездимним паливом у металургії, при виплавці чавуну слугує також відновником залізної руди й розпушувачем шихти. Доменний кам'яновугільний кокс повинен мати розмір грудок не менше 10 мм, ливарний кокс використовується для ливарного виробництва, вміст сірки у ньому не повинен перевищувати 1,2...1,3 %. Кокс для газогенераторних установок повинен мати тугоплавку золу (температура плавлення не нижче за 1 250 °C).

Електродний пековий кокс - продукт коксування пеку. Питома витрата середньотемпературного пеку з урахуванням пекової смоли і важких дистилатів складає 1,262...1,307 тон на тонну коксу. Пековий кокс повинен мати певні

фізико-хімічні властивості. В процесі коксування високотемпературного пеку відбувається істотна зміна елементного складу, збільшується дійсна густина і знижується питомий електроопір. Пековий кокс знаходить застосування в основному у виробництві вуглеграфітових матеріалів і анодної маси.

Кокс нафтовий - тверда пориста речовина від темно-сірого до чорного кольору, що є продуктом коксування (прожарювання) важких залишків нафти, застосовується: у виробництві анодів для виплавки алюмінію, спеціальних графітованих електродів для одержання електролітичної сталі тощо. Як сировину для нафтового коксу використовують відбензинені нафти, залишки первинної переробки - мазути, напівгудрони і гудрони, продукти вторинного походження - крекінг-залишки, важкі газойлі каталітичного крекінгу, смоли піролізу, а також природні асфальти і залишки масляного виробництва (асфальти, екстракти). Промислові процеси коксування поділяють на три типи: безперервні, напівбезперервні і періодичні, найбільше поширення на сьогодні має напівбезперервний процес в установках уповільненого коксування, що протікає при 505...515 °С під тиском 0,2...0,3 МПа. У результаті коксування, крім нафтового коксу, одержують бензин, газ, середні й важкі коксові дистиляти, вихід і якість яких залежить від хімічного і фракційного складу сировини.

Голчатий кокс - у вуглехімії: загальноживаний термін для одного з типів коксу з винятково високою графітизовністю, яка є результатом переважно паралельної орієнтації його шарових структур і особливої фізичної форми зерен. Отримують з чистої (без гетероатомів та твердих домішок) високоароматичної сировини.

Кальцинований кокс - нафтовий чи вугільний смоляний кокс, що отримується при тепловій обробці зеленого коксу. Звичайно вміст водню в ньому становить менше від 0,1 вагового процента. Такий кокс є основною сировиною для виробництва продуктів полігранулярного вуглецю та полігранулярного графіту (вугільних чи графітних електродів). [7].

Удосконалення процесів і обладнання для отримання та обробки вугільного матеріалу на основі впровадження новітніх досягнень науки і техніки

є найважливішою умовою забезпечення народного господарства високоякісною вуглецевою продукцією.

Найбільше споживання в Україні припадає на промислові вуглецеві вироби, оскільки продукція даного виробництва широко використовується в різноманітних галузях промисловості, які нерозривно пов'язані з необхідністю використання електротермічних процесів. Виробництво вуглеграфітової електродної продукції - важлива складова важкої промисловості, яка забезпечує економічну незалежність держави. Розвиток виробництва вугільної продукції в значній мірі визначає виробництво алюмінію, магнію, сталі, феросплавів, сірого і ковкого чавуну, карбїду кальцію, спеціальних марок сталей, тобто виробництво чорних та кольорових металів, машинобудування, хімічну промисловість та інші. За останні роки фахівцями науково-дослідних, проектно-конструкторських інститутів досліджено багато робіт щодо вдосконалення технології та обладнання процесів отримання і обробки вуглецевого матеріалу, який за своїми механічними і фізичними показниками задовольняє потреби багатьох галузей народного господарства.

Якість металургійної продукції багато в чому визначається властивостями вуглецевих виробів (графітових блоків, графітованих електродів, анодів і анодних мас), що застосовуються в технології її виробництва. Особливе значення це має в технологіях виробництва алюмінію і сталей в електродугових печах, де споживають відповідно 450...500 кг і 4,5...10 кг вуглецевих виробів на 1 т готової продукції [9...11]. Виробництво вуглецевих матеріалів є самостійним напрямком хімічної промисловості, оскільки ці матеріали все ширше використовуються в техніці, наприклад, при виготовленні акумуляторних батарей для електронних приладів, електромобілів і т. д. У зв'язку з цим одним з основних завдань розвитку вуглецевої промисловості є підвищення якості продукції шляхом мінімізації шкідливих домішок в вуглецевих матеріалах [14...16].

Виробництво вуглецевих виробів є досить ресурсо- та енергозатратним. Окрім того, існує необхідність суворого дотримання великої кількості

технологічних параметрів. Саме тому актуальною є задача ведення технологічних процесів в оптимальних режимах на ключових етапах виробництва з метою зменшення затрат та забезпечення високої якості продукції.

Таким чином, підвищення якості вуглецевих матеріалів безпосередньо впливає на основні показники і вдосконалення виробничих технологій. Основними тенденціями розвитку виробництва вуглецевих матеріалів є підвищення їх якості, в першу чергу, за рахунок підвищення чистоти самих матеріалів, а також розробка і впровадження енергоефективних методів їх термічної обробки.

1.1.1 Технологія отримання штучного графіту

Графіт є найбільш стійкою і поширеною формою вуглецю за звичайних умов. Підвищені механічні властивості графіту при нагріванні до високих температур і обумовлюють його вибір як матеріалу для умов, де необхідні висока термостійкість і електропровідність. Це, наприклад, електротермія, чорна та кольорова металургія, хімічна промисловість, атомна енергетика та ін.

Штучний графіт отримують з вуглевмісних матеріалів – твердого наповнювача і зв'язувального. Основними вимогами, які ставлять до наповнювачів, є необхідність гарного змочування зв'язувальним, висока електропровідність, механічна та термічна міцність. Властивості наповнювача суттєво впливають на експлуатаційну стійкість одержуваних вуглеграфітових електродів. Сировиною для наповнювача слугує різні види коксу (нафтові, пекові, кам'яновугільні та ін.), антрацити, термоантрацити. Основною функцією зв'язувального є надання зв'язаності та пластичності електродній масі під час її формування. У якості зв'язувального застосовуються кам'яновугільні пеки (м'який, середньо-температурний та високо-температурний), які відрізняються температурами розм'якшення.

Згідно з технологічною схемою отримання вуглеграфітових виробів (рис. 1.1) спочатку сирі вуглецеві матеріали (наповнювач) попередньо

подрібнюють, а потім здійснюють їх термічну обробку до високих температур без доступу повітря в різноманітних печах прожарювання.

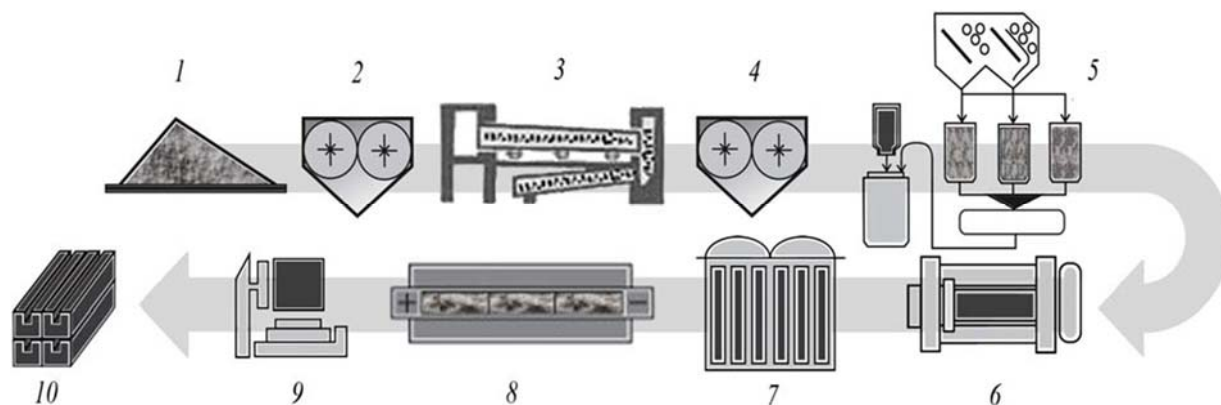


Рисунок 1.1 Технологічна схема виробництва електродних виробів:

- | | |
|-----------------------------------|----------------------------------|
| 1 – сировина; | 2 – подрібнення; |
| 3 – прожарювання; | 4 – подрібнення; |
| 5 – приготування вуглецевої маси; | 6 – пресування; |
| 7 – випалювання; | 8 – графітування; |
| 9 – механічна обробка; | 10 – складування готових виробів |

Після охолодження прожарений матеріал подрібнюється, здійснюється його помел та наступне змішування зі зв'язувальним. Отримана вуглецева маса після попереднього охолодження пресується у так звані «зелені» заготівлі, які потім випалюються у спеціальних печах типу Рідгамера. При виробництві вуглеграфітових електродних виробів (ЕВ) стадія випалу є завершальною.

Завершальною стадією технологічного процесу виробництва графітованих виробів є процес графітування, сутність якого полягає у високотемпературній обробці цих матеріалів за температури 2 500...3 000 °С у печах. [8].

1.1.2 Термічна обробка сировини

Одним з визначальних технологічних процесів виробництва вуглецевої продукції є термічна обробка вуглецевої сировини в електрокальцинаторі шахтного типу, де утворюються властивості вуглецевої сировини, що впливають як на хід наступних технологічних процесів виробництва, так і на якість готової продукції. Тому задача підвищення ефективності процесу термообробки в

електрокальцинаторі є дуже актуальною і в сучасних умовах може бути розв'язана шляхом створення ефективної системи керування даним процесом.

Початковою сировиною для виробництва вуглеграфітових виробів є нафтовий кокс, антрацит, природний графіт. Суть технологічного процесу зводиться до нагрівання вихідного матеріалу до температури 2 000...7 500 °С з наступною витримкою, в процесі якої спостерігається часткова графітизація вихідної сировини, видалення сірки, летючих продуктів, металів і їх оксидів, що входять в склад золи, в тому числі ванадію, потрапляння якого, наприклад, в алюміній призводить до зниження його електропровідності [17].

Матеріали, що використовуються в складі електродної маси, повинні мати мінімальну кількість золи, сірки, вологи і високий вміст вуглецю, а також низький питомий електричний опір, високу механічну міцність і термостійкість, які визначають область їх використання. При неправильній і неякісній технології підготовки сировини для виготовлення електродної продукції можуть виникати збої та поламавання в металургійних агрегатах, що веде до збільшення витрат, тому дуже важливо підвищувати якість сировини для вуглеграфітової електродної продукції.

Для стабілізації властивостей вуглецевої сировини, що визначають її поведінку при подрібненні, пресуванні, випалу та графітизації, її потрібно піддавати термічній обробці (прожарювати).

Матеріал піддається термічній обробці для поліпшення комплексу фізико-механічних властивостей і підвищення термічної стійкості, зменшення електроопору і реакційної здібності, підвищення щільності структури. Необхідність проведення процесу прожарювання, в першу чергу, підтверджується об'ємної його усадкою на 10...16 % при високотемпературній обробці. В процесі прожарювання збільшується в ньому кількість вуглецю і знижується сумарний вміст летких речовин.

Прожарювання – термічна обробка сировини за високих температур без доступу повітря чи у відновлювальній атмосфері. В процесі прожарювання із сировини повністю видаляється волога та значна частина летючих речовин, що

складаються здебільшого з горючих газів, збільшується густина, підвищується електропровідність та механічна міцність матеріалів.

Прожарювання є одним з найважливіших процесів, впродовж якого відбувається формування якісних характеристик та експлуатаційних властивостей вуглеграфітових матеріалів різного призначення. Після прожарювання матеріали стають стійкими до механічних впливів, збільшують свою стійкість до атмосферних впливів, а також різко збільшується їх теплопровідність, електропровідність та термоопір. Вибір температурно-часових режимів прожарювання, найбільш придатних для отримання термоматеріалу, визначається з одного боку необхідністю отримання матеріалу з більш високими показниками якості, а з іншого - досягненням високих якісних показників при менших питомих витратах енергоносіїв [20]

На рисунку 1.2 наведені температурні залежності зміни властивостей при нагріванні нафтового коксу і антрациту. Результати досліджень показують, що при нагріванні вуглецевого матеріалу розміри шматків змінюються паралельно зміни його маси. Найбільші зміни об'єму відбуваються при температурах, при яких виділяється найбільша кількість летючих [9].

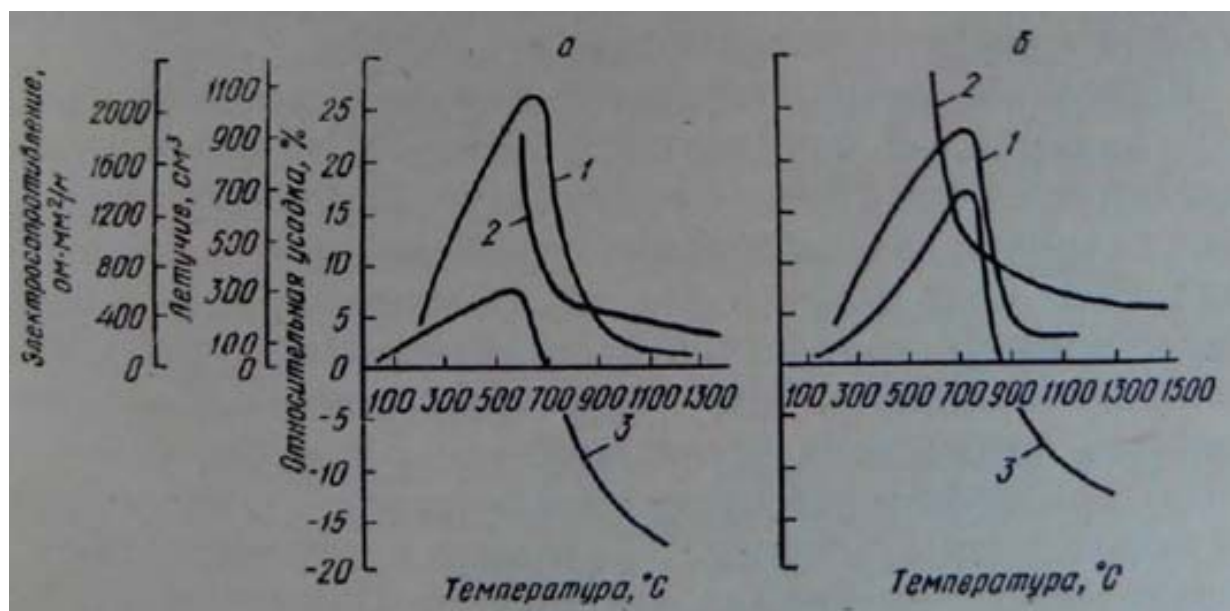


Рисунок 1.2 - Зміна характеристик матеріалу, що прожарюється:

а - нафтовий крекінговий кокс; б - антрацит;
1 - виділення летючих; 2-питомий електроопір; 3 - відносна усадка

При нагріванні вуглецевих матеріалів відбуваються не тільки усадкові явища, а й глибокі структурні зміни, а також зміни фізичних і механічних властивостей матеріалів. При прожарюванні відбувається зміна розмірів та маси частинок вуглецевої сировини. Зменшення маси пов'язана з видаленням з матеріалу вологи та летючих речовин. Зміна розмірів, пов'язана з ущільненням структури, є досить складним фізико-хімічним процесом, в якого на ранніх стадіях переважають хімічні зміни, а потім структурні перетворення [11].

При нагріві в інтервалі температур 100...400 °С сировина ніби повертається до температури коксування (піролізний та крекінговий кокс – до 420...460 °С, пековий кокс – до 850...1000 °С), матеріал стає неміцним, кокс розм'якшується та здимається, спостерігається збільшення об'єму заготівля, причому зменшення маси не відбувається. Від 400 °С починається постійне виділення летючих, спостерігаються перші ознаки цементації виробів, однак механічна міцність їх дуже низька. Приблизно біля 500 °С – об'ємна усадка коксу відбувається затвердіння матеріалу, збільшення електропровідності і механічної міцності. Найбільш інтенсивні ефекти усадки в крекінговому та піролізному коксі проходять при температурах максимального виділення летючих (550...700 °С). Об'ємна усадка цього коксу, що містять в середньому 6,5 % та більше летючих речовин, складає 20...24%, а для окремих частинок, як наслідок неоднорідності їх по умовах коксування – до 30 % чи більше. У пекового коксу, що містить близько 1 % летючих, при 700 °С усадка мінімальна (до 0,3 %), оскільки вона частково вже пройшла в процесі коксування. Основна маса летючих речовин виділяється до 600 °С. При подальшому нагріванні різко зростає електропровідність. Чорний колір поверхні заготівля переходить в однорідний сірий колір [9].

Вище 700 °С зміна властивостей сповільнюється, хімічні процеси поступово згасають. Зовнішня і внутрішня усадка поступово зменшується, а справжня щільність, пористість, а також міцність, твердість і електропровідність збільшуються.

В інтервалі температур 700...1000 °С летючі речовини, що виділяються, майже повністю пірогенетична розкладаються до елементарного вуглецю та водню. В цьому інтервалі швидкість газовиділення зменшується, але зростає глибина піролізу, і як наслідок, відбувається ущільнення структури коксу.

Цьому також сприяє одночасне (вище 700 °С) деяке впорядкування молекулярної структури коксу. Відомо, що чим більше здатний кокс до трьохмірного упорядкування, тим при більш низькій температурі прожарювання спостерігається його максимальна усадка і густина матеріалу, що визначається усадкою. При прожарюванні вуглецевої сировини до 1 200 °С її електропровідність зростає на 3...5 порядків. На зміну електропровідності при незмінних температурах прожарювання суттєво впливає швидкість нагріву та час витримки при максимальній температурі. Показниками, що характеризують степінь прожарювання вуглецевої сировини, можуть бути його питомий електричний опір, пікнометрична густина та залишковий вміст в ньому водню.

Для більшості вуглецевих матеріалів оптимальну температуру прожарювання обирають, виходячи з умов зниження вмісту водню до 0,05 %.

Було б неправильно вважати, що структурна перебудова вуглецевих матеріалів визначається тільки в результаті хімічних процесів, що протікають при тих чи інших температурах. Спостерігаючи за зміною електричного опору нафтового коксу при нагріві, можна легко помітити різке зменшення опору при температурі близько 700 °С. Це явище спричинене утворенням карбідної структури. На цій стадії ущільнення починається різка зміна характеру молекулярної структури. Розміри плоских молекулярних шарів при цій температурі досягають великих розмірів. Внаслідок великої анізотричності ці шари намагаються розміститись паралельно одне одному, утворюючи невеликі стопки. Цей процес також призводить до ущільнення структури. Зниження електричного опору є наслідком того, що електрони четвертих валентностей атомів вуглецю виходять в простір між атомними шарами, що складені в стопки, і стають легко рухомими [11].

Отже, процес ущільнення структури вуглецевої сировини при прожарюванні потрібно розглядати як складний фізико-хімічний процес, в якого на ранній стадії переважають хімічні процеси, але з підвищенням температури роль хімічних процесів зменшується.

Також було б неправильно робити висновок, що за межами температур 1 300...1 400 °C припиняються фізико-хімічні процеси, а отже, ущільнення та зміна об'єму вуглецевої сировини. При подальшому нагріві вуглецевих матеріалів їх ущільнення також буде протікати доволі інтенсивна. Але сутність цих процесів вже буде іншою. При прожарюванні закінчуються в основному процеси, що відповідають утворенню плоских вуглецевих сіток. При більш високих температурах проходять процеси, що призводять до трьох-вимірного впорядкування атомів вуглецю.

Зміна фізико-хімічних властивостей вуглецевих матеріалів в процесі їх прожарювання також визначається характером газовиділення та первинною усадкою матеріалів. Різне збільшення електропровідності, дійсної густини, механічної міцності є результатом доволі інтенсивного процесу піролізу вуглеводнів, з яких складається матеріал та обумовленого цим процесом ущільнення матеріалів. При завершенні процесу піролізу та стабілізації усадки стабілізуються також фізико-хімічні властивості матеріалів.

Під час прожарювання антрациту в міру підвищення температури відбувається упорядкування його структури (аж до кристалічної решітки графіту) і, як наслідок, змінюються фізико-хімічні властивості.

Відбуваються такі структурні перетворення:

- видаляються леткі сполуки (в тому числі і S-містять сполуки);
- збільшується щільність і механічна міцність;
- впорядковується вуглецева структура;
- збільшується електропровідність.

Збільшення щільності та механічної щільності:

- при температурах 700...750 °C летючі продукти виділяються в результаті прямої дистиляції з частковим піролізом. Пористість збільшується приблизно до 1 200 °C;
- утворений вуглець відкладається щільним шаром в порах і на поверхні матеріалу, прожарюється, збільшуючи щільність матеріалу;
- одночасно з піролізом відбувається конденсація і полімеризація вуглеводнів із збагаченням їх вуглецем, що і обумовлює усадку;
- цей процес завершується утворенням плоских вуглецевих сіток (плоских вуглецевих гексагональних решіток), але на цьому етапі ще не відбувається утворення тривимірної впорядкованої структури

Зміна електроопору матеріалу в залежності від температури прожарювання показана на рисунку 1.3.

Можна виділити чотири температурні інтервали:

- 500...700 °C - дуже високий електричний опір;
- 700...1 200 °C - різке падіння опору;
- 1 200...2 100 °C - зміна відсутня;
- вище 2 100 °C - нове падіння опору (початок процесу графітації) [20].

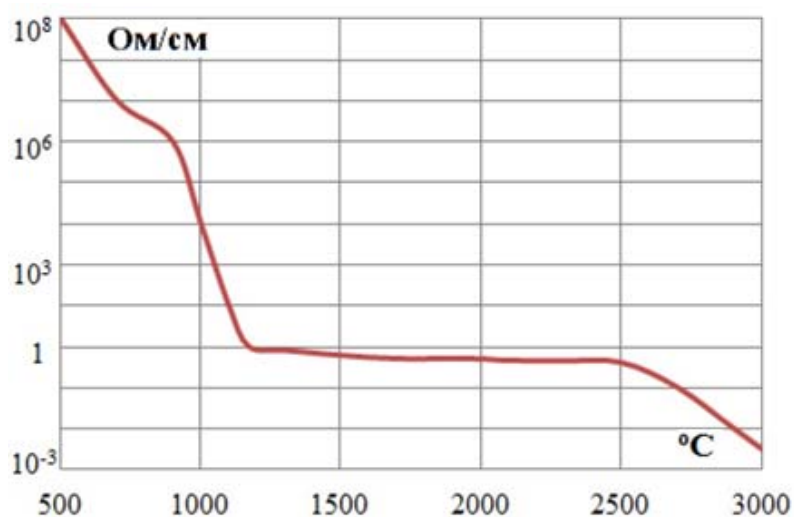


Рисунок 1.3 - Зміна електроопору антрациту в залежності від температури прожарювання

Виходячи з цього положення в промисловій практиці встановлюються оптимальні температури, а також показники для якісної оцінки процесу

прожарювання вуглецевих матеріалів. Показники, що характеризують степінь прожарювання, можуть бути різними – електропровідність, дійсна густина, вміст водню та інші. Вибір методу для оперативного керування процесом прожарювання визначається виходячи з міркувань мінімального часу, потрібного для визначення, точність визначення та його відтворюваність. В промисловій практиці частіше всього використовують визначення електропровідності обробленого матеріалу [11].

Постійне вдосконалення технологій виплавки чавуну, сталі, феросплавів, кольорових металів і сплавів обумовлює необхідність подальшого розвитку виробництва, підвищення якості і конкурентоспроможності вуглеграфітових виробів [14]. Як наслідок підвищуються вимоги, що ставляться до матеріалів з яких виготовляються ці вироби. В даний момент розроблена та удосконалюється технологія графітування нафтового коксу в електричних печах шахтного типу [13], що дозволяє при витримці коксу впродовж 2 годин на рівні 2 200 °C отримувати оброблений матеріал з питомим електричним опором < 150 мкОм·м [14]. За свідченням авторів [13] мінімальний рівень температур в зоні прожарювання визначає якісні характеристики матеріалу, що вивантажується:

- понад 1 300 °C - видалення летючих з матеріалу;
- понад 1 700 °C - видалення сірки з прожарюемого матеріалу;
- понад 2 200 °C - часткове або повне графітування матеріалу.

За умови рівномірного прожарювання матеріалу даним методом вироби з такого матеріалу матимуть менший електричний опір (що є одним з основних якісних показників даних виробів [15] в порівнянні з виробами з матеріалів, оброблених іншими методами.

1.2 Об'єкт керування

Вуглецеві заготовки прожарюють в спеціальних печах відмінних за будовою. Структуру печі вибирають з урахуванням технології виробництва, економічної оцінки і місцевих заводських умов.

Прожарювання матеріалу здійснюють в барабанних обертових печах, в електрокальцинаторах або в ретортних печах, також існує змішана технологія. Основним завданням процесу прожарювання матеріалу є зменшення кількості летючих речовин, яке покращить фізико-хімічні властивості антрациту, які в подальшому стануть корисними у виробництві електродної продукції. Оскільки початкові матеріали є сировиною, яка важко прожарюється, то для отримання на його основі електродної продукції, необхідно вдосконалювати технології його розжарювання [12, 17, 19].

Ці печі різні за конструкцією та за технологічними умовами прожарювання сировини. Вони відрізняються за видом теплоносія, умовами теплопередачі і атмосферою, в якій відбувається прожарювання. Атмосфера при прожарюванні дуже впливає на поверхневі властивості матеріалів.

У кваліфікаційній роботі розглядається технологічне обладнання для прожарювання сировини в електричній печі.

Електричні печі використовують головним чином для прожарювання антрацитів і нафтових коксів. Незважаючи на різноманітність конструкцій печей, технологічні умови обслуговування їх зводяться до одних і тих же операцій в – завантаження і розвантаження матеріалу і температурний режим.

Завантаження всіх печей повинно проводитися рівномірно і невеликими порціями, такий режим завантаження забезпечує рівномірність прожарювання. Найбільш жорсткі вимоги ставляться до гранулометричного складу матеріалу, що прожарюється. Основна вимога полягає в сталості гранулометричного складу матеріалу. Також гранулометричний склад визначає електричний опір завантаженого матеріалу і, отже, електричний режим (в кінцевому рахунку – тепловий режим). При порушенні прийнятого гранулометричного складу змінюється опір завантаження і, отже, порушується температурний режим.

Робота рядових електрокальцинаторів (рис. 1.4, *a*) характеризується значною нерівномірністю температурного поля в робочому просторі печі, що призводить до значних коливань теплофізичних властивостей вуглецевого наповнювача. Тому в таких агрегатах прожарювання відбувається у дві стадії,

що спричинює низьку продуктивність та значні питомі витрати електроенергії. Електричні печі з додатковою утилізацією летючих газів (рис. 1.4, в), що виділяються із оброблюваного матеріалу, знижують нерівномірність температурного поля, але вимагають додаткового очисного та пальникового обладнання. Враховуючи, що температура між центром та периферією печі може коливатися в діапазоні від 700 °С до 2 300 °С, електропеч, що має можливість відбирати лише центральну, найбільш прогріту частину матеріалу (рис. 1.4, г), використовується для отримання звичайного прожареного вуглецевого наповнювача, а також високоякісного графітованого матеріалу.

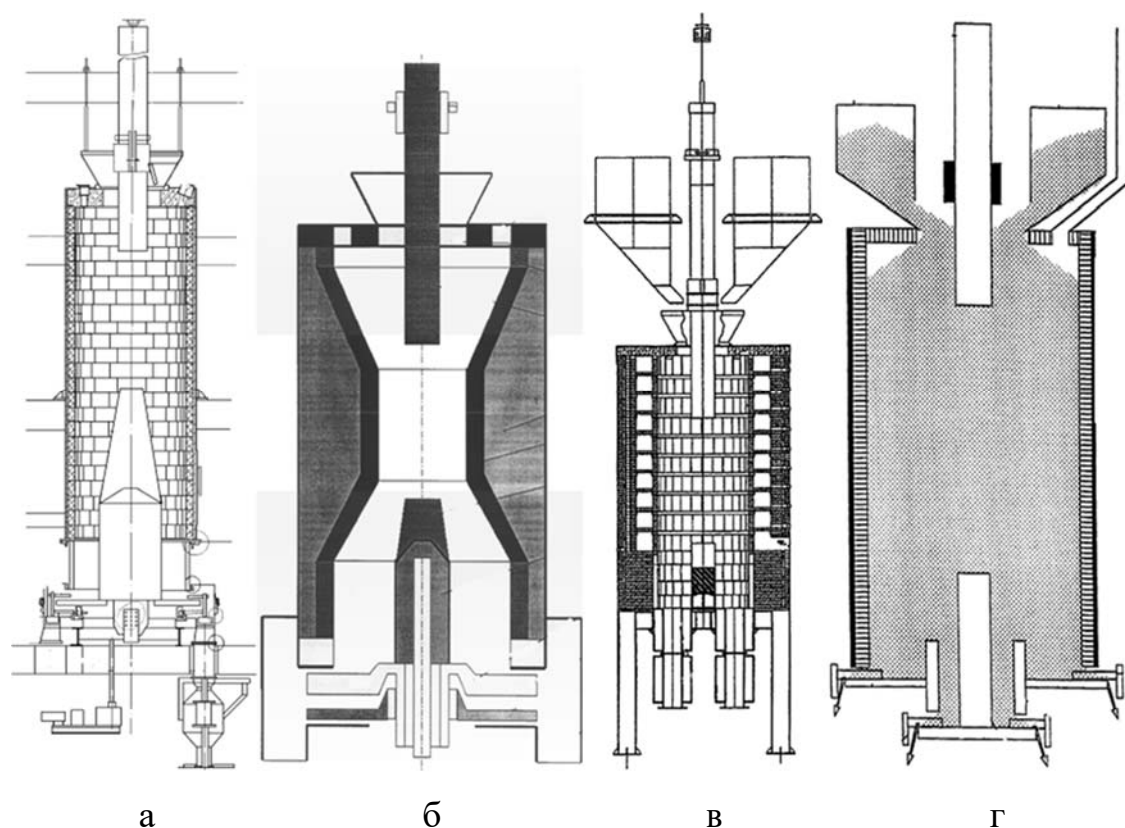


Рисунок - 1.4 Конструкції електрокальцинаторів:

- а* – рядовий двостадійний електрокальцинатор;
- б* – електрокальцинатор з дроселювальним пристроєм;
- в* – електрокальцинатор з периферійним нагрівом теплою згоряння летючих газів;
- г* – електрокальцинатор з подвійним вивантаженням матеріалу

Високотемпературне оброблення сипучих вуглецевих матеріалів в електрокальцинаторі має значні переваги перед іншими аналогічними процесами:

- менші габаритні розміри;
- більш висока температура прожарювання, відповідно більш якісний кінцевий продукт;
- менший відсоток втрати матеріалу через вигорання;
- більший тепловий ККД;
- використання електричної енергії як основного джерела теплоти;
- можливість часткового або повного графітування оброблюваної сировини.

На рисунку 1.5 показана конструкція електрокальцинатора ІЕТ-10, який обрано в якості об'єкта керування.

Позитивним фактором є наявність в печі камери термостатування, що дозволяє більш-менш вирівняти температуру між окремими частинами і усереднити властивість матеріалу, що прожарюється.

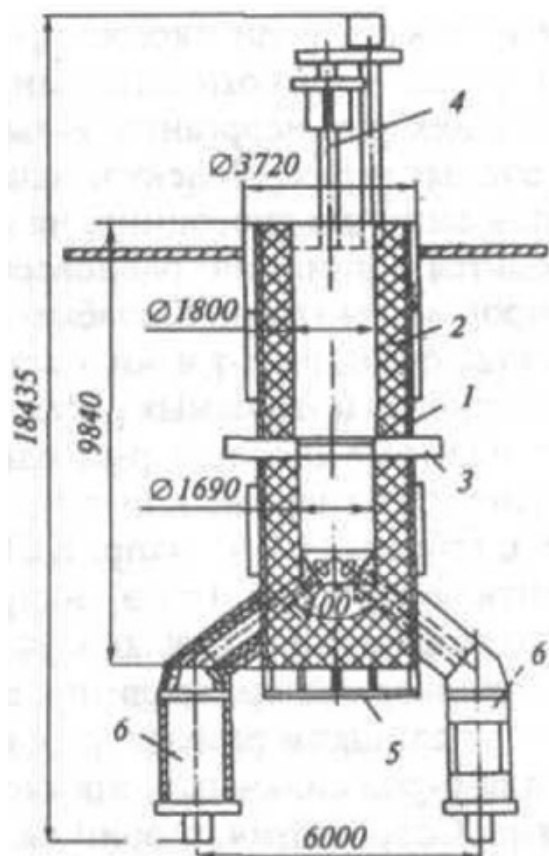


Рисунок 1.4 – Електрокальцинатор ІЕТ-10:

- | | |
|---------------------------------|---|
| 1 - верхній підвісний електрод; | 2 - камера, де відбувається прожарювання; |
| 3 - нижній кільцевий електрод; | 4 - камера термостатування; |
| 5 - холодильник; | 6 - розвантажувальний пристрій |

Нагрівання матеріалу в електрокальцинаторі здійснюється внаслідок перетворення електричної енергії в теплову. Електрокальцинатор є однофазною піччю опору. Між окремими частинами матеріалу, що прожарюється, можуть утворитися електричні дуги, в результаті чого виникають місцеві перегріву, і в цих місцях відбувається графітація матеріалу. Зазвичай ступінь графітації становить 10...15 %, але в окремих випадках може досягати і 40 % [9].

Велике значення надають стабільності і однорідності гранулометричного складу, тому розміри частинок матеріалу не можуть перевищувати 25 мм, також зерна не повинні бути дрібніше 6 мм. Діапазон 6...25 мм для величини частинок занадто великий. Він повинен бути значно вужче, наприклад, 6...12 або 15...25 мм.

Для антрациту зазвичай приймають розміри зерен такими, щоб після прожарювання, без додаткової операції подрібнення, він надходив до наступного етапу виробництва. Необхідний гранулометричний склад матеріалу для прожарювання готується на заводі. Економніше отримувати з шахт готовий відсортований антрацит необхідного гранулометричного складу. Видалення дрібних фракцій необхідно ще й для того, щоб забезпечити рівномірне проходження матеріалів по перерізу стовпа завантаженого матеріалу. Особливо важливо це зауваження для печі з підвісним електродом, в якій переріз шахти дуже великий. Дрібні фракції нафтового коксу мають велику схильність до спікання, що також негативно впливає на процес.

Для забезпечення нормальних умов роботи печі необхідне симетричне проходження матеріалу навколо електрода. Це є ознакою того, що матеріал проходить рівномірно по всьому об'єму печі. Якщо порушується нормальний хід матеріалу, то в місцях зависання температура сильно підвищується, збільшується провідність матеріалу і відповідно зростає струм, що може привести до перегріву частини матеріалу і навіть до сплавлення футеровки. У цих випадках амперметр майже не зазначає падіння сили струму при завантаженні свіжого матеріалу. Для виправлення ходу печі рекомендується зупинити її, трохи остудити і видалити частини, що спеклися [11].

Технологічні умови обслуговування електрокальцинаторів зводяться до завантаження та розвантаження матеріалу і підтримці теплового режиму регулюванням кількості електроенергії, введеної в піч. Завантаження і вивантаження здійснюють періодично малими порціями по 10...20 кг або постійно. Тепловий режим регулюють за показаннями амперметра або лічильника електроенергії. При періодичному завантаженні вивантаження виконують при максимальних показаннях амперметра, що вказує на зниження електроопору матеріалу.

Витрата електроенергії на 1 т матеріалу, що прожарюється становить 400...1 200 кВт·год. Летючі речовини, які виділилися рекомендується спалювати в утилізаційних установках [9].

Матеріал для прожарювання знаходиться в бункері над піччю. У печі повинен бути постійно надлишок матеріалу, що забезпечить відсутність згоряння матеріалу і електрода. Як часто здійснювати вивантаження чергової порції матеріалу, визначається, як вище сказано, заданими умовами прожарювання.

Про температурний режим взагалі не доводиться говорити, тому що неможливо проводити вимірювання температури в зоні прожарювання. Тому режим зазвичай ведеться за показаннями електричних приладів, припускаючи, що встановлений режим введення електроенергії в піч забезпечує задану температуру прожарювання. Тому режим прожарювання буде залежати від кількості енергії, введеної в піч, а також від швидкості руху матеріалу в печі. Оскільки потужності встановлених трансформаторів обмежені, то і швидкість руху матеріалу також має межу. Отже, обидві величини пов'язані між собою і для досягнення найбільшого економічного ефекту слід проводити процес, використовуючи всю встановлену трансформаторну потужність. У цьому випадку продуктивність печі буде найбільшою [11].

1.2.1 Процес прожарювання вуглецевої сировини в електрокальцинаторі шахтного типу

Конструктивно шахтна електропіч являє собою сталеву обичайку (кожух) (рис. 1.5), яка всередині футерована вогнетривкими і теплоізоляційними матеріалами, у верхній та нижній торцевих частинах якої знаходяться графітові або вуглеграфітові електроди.

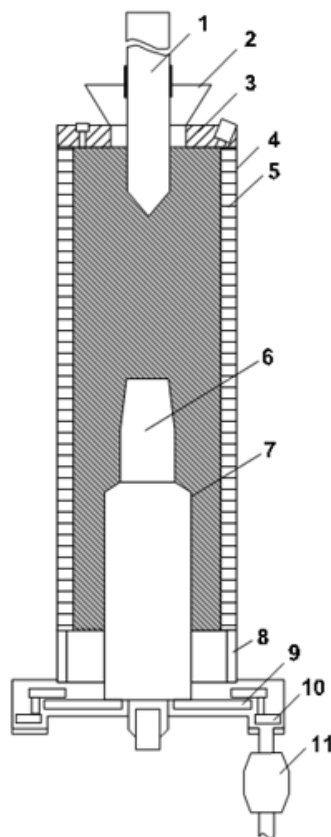


Рисунок 1.5 - Схема промислового електрокальцинатора ИЕТ-10-УХЛ-4 для отримання термоантрациту:

- | | |
|---------------------------------------|-----------------------------------|
| 1 - верхній графітований електрод; | 2 - завантажувальна воронка; |
| 3 - пробка; | 4 - металевий кожух; |
| 5 - футеровка; | 6 - нижній графітований електрод; |
| 7 - опора; 8 - обичайка; | 9 - стіл; |
| 10 - лопатки механізму розвантаження; | 11 - дозатор ДТА-200 |

Шахтна піч оснащується системою водяного охолодження п'єдесталу нижнього електрода, розвантажувального стола та бічної поверхні кожуха, а також системою газовідводу. В нижній частині розміщується розвантажувальний стіл з системою дозування готового продукту. Нафтовий кокс, який є сипучим матеріалом, рухається вниз вздовж вертикальної осі печі у

порожнині, утвореній конструкційними елементами печі, а гази, які утворюються у процесі виділення залишкових летючих та часткового окислення коксу за рахунок підсмоктування повітря через систему розвантаження, навпаки, рухаються вгору.

Тому робочий простір печі являє собою двофазне середовище. Електричний струм безпосередньо проходить через електропровідний кокс та спричинює його нагрівання за рахунок виділення джоулевої теплоти. Швидкість руху сипучого матеріалу є змінною величиною і визначається, дозою та частотою його вивантаження. Для забезпечення неперервності процесу на заміну вивантаженого готового продукту у нижній частині печі подається вихідний матеріал у верхню її частину через живильник. Внаслідок того, що нафтовий кокс є сипучим матеріалом, фізичні його властивості приймаються як ефективні значення, які залежать від температури і тиску. Процес графітування коксу супроводжується фізичними процесами, які пов'язані між собою: складний рух сипучого матеріалу, спричинений дією сил гравітації; рух газів у зворотному напрямку; протікання електричного струму по електропровідним елементам конструкції, включаючи кокс; складний теплообмін всередині печі і зовні з оточуючим середовищем. Електричне поле в печі вважається безвихровим, термоелектричні ефекти також не враховуються. Фізичні властивості усіх матеріалів печі приймаються ізотропними.

В процесі графітування коксу, як було вище відзначено, відбувається вихід залишкових летючих органічних компонентів та часткове окислення коксу аналогічно процесу прожарювання антрациту, що спричинює виділення теплоти за рахунок хімічних реакцій.

Електрокальцинатор ефективний агрегат для проведення високотемпературних процесів прожарювання вуглецевих матеріалів. Сутність цих процесів полягає в розвитку і формуванні кристалічної решітки графіту [11] при температурі 2 000...2 500 °С. В електрокальцинаторі процеси теплообміну і нагрівання матеріалу роблять основний вплив на інтенсивність і результат цього процесу.

Нагрівання в основному здійснюється за рахунок виділення теплоти в шарі матеріалу, що прожарюється при проходженні через нього електричного струму. Теплота також виділяється при горінні оброблюваного матеріалу і летючих речовин, що виділяються з нього [18].

Теплове поле у внутрішньому просторі електрокальцинатора розподілено вкрай нерівномірно. Встановлено, що концентрація силових ліній струму і найбільший розігрів (понад $2\ 500\text{ }^{\circ}\text{C}$) проходить в зонах, розташованих в міжелектродному просторі поблизу осьової лінії, а матеріал біля стінок електрокальцинатора нагрівається (від 800 до $1\ 200\text{ }^{\circ}\text{C}$) за рахунок потоку тепла, що йде від центральних найбільш нагрітих електричним струмом зон. Цієї температури недостатньо для отримання продукту необхідної якості, що призводить до зниження техніко-економічних показників через необхідність відділення непрожареної частини продукту для повторної обробки [18]. Прямий контроль температури всередині електрокальцинатора практично здійснити важко.

Весь робочий простір електрокальцинатора можна умовно поділити на три зони (рис. 1.6). Будемо досліджувати зміну температурного поля робочого простору електрокальцинатора, використовуючи непрямий метод вимірювання температури – за показниками сили струму, що підводиться в залежності від швидкості завантаження / вивантаження матеріалу.

В першій зоні за рахунок теплообміну з більш нагрітими шарами матеріалу та частинами електрокальцинатора відбувається нагрів тільки що завантаженого матеріалу. Густина струму, що проходить по матеріалу в даній зоні не значна, тому й нагрів за рахунок джоулевого тепла є досить не значним.

Друга зона є найважливішою, адже безпосередньо в ній відбувається графітування вуглецевого матеріалу за рахунок нагріву до температур $2\ 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ джоулевим теплом, що виділяється при проходженні струму по матеріалу.

Температурне поле в даній зоні визначає якісні показники обробленого матеріалу, тому в першу чергу в дослідженні буде розглядатись саме ця зона. Для забезпечення заданої якості матеріалу необхідно, щоб в II зоні встановилась

температура 2 200 °С [12] при цьому значною проблемою є зниження перепаду температур в даній зоні [21...23]. Тому доцільно в дослідженнях розглядати як самі температурні поля даної зони, так і мінімальні та максимальні температури в ній.

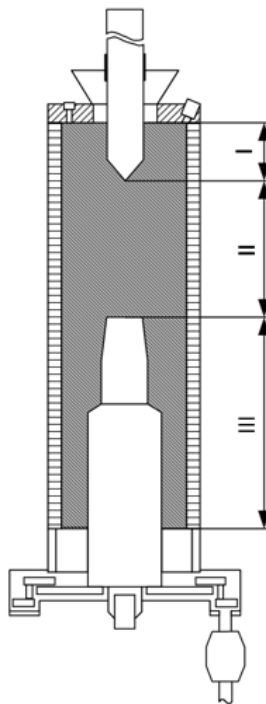


Рисунок 1.6 - Розташування температурних зон у промисловому електрокальцинаторі ИЕТ-10-УХЛ-4 для отримання термоантрациту:

I – зона нагріву; II – зона графітування; III – зона охолодження

В третій зоні відбувається охолодження обробленого матеріалу та нижнього електроду за рахунок протікання води по об'єму опори.

Для дослідження залежності температурного поля від технологічних параметрів необхідно спочатку провести моделювання процесу за номінальних значень даних параметрів. Номінальне значення струму складає 15 кА, максимальне значення – 20 кА [14].

Номінальна продуктивність електрокальцинатора складає 1,2...1,5 т/год.

Початкова температура в усьому об'ємі апарата приймається температура 27 С, тривалість розгону складає 40 год [14].

1.3 Структура об'єкту керування

Для ефективного керування процесом термічної обробки вуглецевої

сировини необхідно провести дослідження впливу технологічних параметрів на фізичні поля робочого простору електрокальцинатора, що показано на рисунку 1.4.

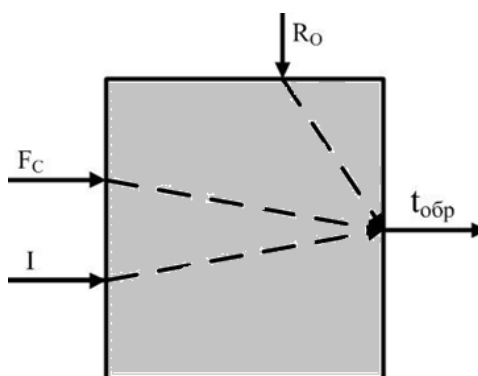


Рисунок 1.4 - Структурно-параметрична схема досліджуваних каналів регулювання в електрокальцинаторі

На схемі присутні наступні позначення:

- F_c – вхідний параметр, це витрата сировини [кг/с], від цього параметру залежить швидкість подачі матеріалу, а відтак і продуктивність апарату (тим більша продуктивність, чим більша швидкість подачі матеріалу). Цей параметр є вимірювальним, оскільки його ми можемо стабілізувати.
- I – керування, це струм [А], від току залежить якість виробленої продукції (розмір, густина, однорідність матеріалу).
- R_0 – збурення, це є опір матеріалу [Ом], цей параметр пов'язаний з характеристикою матеріалу. Також він є невимірювальним, тому постійно маємо матеріал брати на пробу. Опір необхідно зменшувати, оскільки він впливає на температуру обробки матеріалу, а відтак і на якість готової продукції.

Таким чином об'єкт керування має наступні канали керування:

- «сила струму - температурного поля робочого простору електрокальцинатора»;
- «швидкість вивантаження (завантаження) матеріалу - температурного поля робочого простору електрокальцинатора».

1.4 Принцип функціонування об'єкту керування

Режим прожарювання проводиться за показаннями струму (див. рис.1.3). Вивантаження чергової порції матеріалу проводиться при максимальній силі струму, допустимої для трансформатора живлення. Після того як свіжий матеріал під дією сил гравітації надійде в робочу зону, опір завантаження зростає і сила струму зменшиться, оскільки значення напруги залишається постійним. Через деякий час завантаження нагріється до заданої температури, опір матеріалу знизиться, показники струму знову зростуть до максимального межі і знову проводиться вивантаження і т. д.

15 Формулювання задачі дослідження

У кваліфікаційній роботі слід розробити систему керування, яка б виготовляла продукцію високої якості, з мінімальними енерговитратами на виробництво. Для реалізації цієї мети необхідно створити високоточну математичну модель процесу прожарювання вуглецевої сировини в електрокальцинаторі шахтного типу. Оскільки процес має досить складну та нелінійну (динамічну) характеристику, то для розробки системи керування необхідно розробити спрощену модель процесу, яка зможе доволі точно відтворювати результати моделювання початкової (складної) моделі, але при цьому матимете значно менший час розрахунку.

Для створення ефективної системи керування необхідно на основі отриманої математичної моделі провести дослідження динаміки об'єкту.

Обрано канал керування «швидкість вивантаження (завантаження) матеріалу - «сила струму (непрямий метод вимірювання температурного поля робочого простору електрокальцинатора)».

Для дослідження залежності температурного поля від технологічних параметрів обрано наступні параметри:

- вивантаження матеріалу, т/год 1,2...1,6 (дозатор ДТА-200);
- значення змінного струму, кА 15...20 кА.

2 РОЗРОБКА АПАРАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

2.1 Розробка структурної схеми підсистеми керування

У кваліфікаційній роботі, в якості об'єкту керування технологічним обладнанням процесу виробництва коксу обрано електричну піч для прожарювання сировини - електрокальцинатор ИЕТ-10.

Режим прожарювання проводиться за показаннями струму джерела живлення за встановленим за технологічними параметрами значенням. Вивантаження чергової порції матеріалу з печі проводиться при встановленому значенню сили струму. Після того як свіжий матеріал під дією сил гравітації надійде в робочу зону, опір завантаження зростає і сила струму зменшиться, оскільки значення напруги живлення для обраного технологічного процесу залишається постійним. Через деякий час завантаження нагріється до заданої температури, опір матеріалу знизиться, показники струму знову зростуть до максимального межі і знову проводиться вивантаження і т. п. Системи керування має підтримувати процес вивантаження постійним.

Для створення ефективної системи керування за обраним каналом керування «швидкість вивантаження (завантаження) матеріалу - «сила струму (непрямий метод вимірювання температурного поля робочого простору електрокальцинатора)».

Система керування має наступні параметри:

- вхідний сигнал – значення змінного струму 15...20 кА;
- вихідний сигнал – пропорційне керування продуктивністю вивантаження матеріалу 1,2...1,6 т/год.

Дозатор ДТА-200 вивантаження матеріалу має трифазний електропривод ~380 / 3,0 кВт.

Слід зазначити, що система живлення електрокальцинатора ИЕТ-10 має нормований вихідний сигнал струму 0...5 А, який відповідає силовому струму 0...20 кА, який подається на електроди електрокальцинатора ИЕТ-10.

Роботою технологічного обладнання - електрокальцинатора ИЕТ-10 керує програмований логічний контролер (рис. 2.1).

На рисунку 2.1 показана структурна схема підсистеми керування.



Рисунок 2.1 – Структурна схема підсистеми керування

Датчики струму забезпечує необхідною інформацією систему керування з метою підтримки заданого режиму роботи технологічного обладнання.

Підсистема керування має підтримувати заданий за технологічними параметрами струм електрокальцинатора ИЕТ-10-УХЛ-4.

Система керування має вихідний сигнал керування дозатором ДТА-200 вивантаження матеріалу.

2.2 Розробка структурної схеми інформаційних потоків

Підсистема керування обладнанням відповідає класичним вимогам до підсистем автоматизованого керування технологічним обладнанням. До неї входять пристрої збору інформації (датчик струму), еталони стану обладнання (струм), система автоматичного контролю стану обладнання, програма керування, яка повинна реалізувати формування керуючого впливу продуктивності вивантаження матеріалу для підтримки заданого струму, визначеного технологічним завданням. Система керування має протиаварійний захист та блок переводу до ручного режиму керування, виконавчі пристрої – електрозасувки. Розроблена структурна схема інформаційних потоків наведена на рисунку 2.2.



Рисунок 2.2 – Структурна схема інформаційних потоків

2.3 Вибір апаратного забезпечення підсистеми керування

2.3.1 Вибір датчиків

За технічними параметрами в системі керування необхідно вимірювати змінний електричний струм у діапазоні $0 \dots 5$ А. Для цього використаємо датчик T201. Це безконтактний датчик змінного струму з вихідним сигналом $4 \dots 20$ мА пропорційним вимірюваному значенню. Наявність мікро-вимикачів на корпусі дозволяє швидко підлаштуватися під один з восьми заданих діапазонів вимірювань. Передбачена фільтрація вимірюваних значень. Кріплення А-DIN-T201 для установки поставляється з датчиком, він дозволяє монтуватися перетворювачем на стандартну рейку DIN [24].



Рисунок 2.3 – Датчик струму T201

Технічні характеристики датчика струму T201 наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики датчика струму T201

№	Найменування параметра	Значення
1	Тип	Ефект Хола
2	Діапазон вимірювання, А	0...5
3	Точність, %	0,2
4	Діапазон вихідного сигналу, мА	4...20
5	Напруга живлення, В	12...36
6	Потужність споживання, Вт	1

На підставі обраних датчиків та їх технічних характеристик складена таблиця 2.2.

Таблиця 2.2 – Датчики

№	Назва параметру	Принцип дії	Тип	Діапазон змінення	Точність	Значення виходу	Період оновлення	Напруга живлення	Потужність споживання
1	Електричний струм	Ефект Хола	Аналоговий	0...5°А	±0,2 %	4...20 мА	0.1 с	12...36 В	1 Вт

2.3.2 Вибір виконавчих пристроїв

Згідно з завданням система керування повинна реалізовувати регулювання продуктивності дозатора ДТА-200 вивантаження матеріалу, який має трифазний електропривод ~380 / 3,0 кВт. Тобто управління електроприводом повинно бути безперервним, щоб забезпечувати пропорційне керування. Виходячи з цього для керування електроприводом обрано трьох фазний частотний перетворювач IDS Drive Z402T4B потужністю 5,5 кВт з аналоговим входом 4...20 мА для керування (рис. 2.3) [25].



Рисунок 2.4 – Частотний перетворювач IDS Drive Z402T4B

Технічні характеристики частотного перетворювача наведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики частотного перетворювача IDS Drive Z402T4B

Найменування параметра	Значення
Тип	Скалярний
Напруга живлення, В	~320...~550
Потужність, кВт	5,5
Діапазон частот, Гц	0...240
Діапазон аналогового сигналу управління, мА	4...20
Ступінь захисту	IP20

На підставі наведеного вище для виконавчих пристроїв, та їх технічних характеристик складена таблиця 2.4.

Таблиця 2.4 – Виконавчих пристроїв

№	Назва параметру	Принцип дії	Тип	Діапазон змінення	Лінійність	Період оновлення	Напруга живлення, В	Потужність споживання, Вт
1	Продуктивність вивантаження матеріалу	4...20 мА	Аналоговий	0...100 %	Лінійний	0,1 с	24	1,0

2.3.3 Вибір пристроїв керування

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

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

До контролеру треба під'єднати датчик струму, який має уніфікований стандартний тип виходу 4...20 мА.

Для керування продуктивністю вивантаження матеріалу треба аналогове управління 0...100 % з параметрами керування 4...20 мА.

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

Наведеним вимогам відповідає програмований логічний контролер VIPA 214-2BS33. Контролер має час арифметичної операції над речовим числом 40 мкс, об'єм пам'яті програм 144 кбайт, об'єм робочої пам'яті 96 кбайт та інтерфейс RS-485 (рис. 2.5). Технічні характеристики контролера наведені в таблиці 2.5.



Рисунок 2.5 – 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

Для підключення аналогових датчику струму, який має стандартний струмовий сигнал 4...20 мА, обрано модуль аналогового вводу VIPA 231-1BD40, кожних з яких який має по чотири аналогові входи (рис. 2.6). Технічні характеристики модуля наведені в таблиці 2.6.



Рисунок 2.6 – Модуль аналогового вводу VIPA 231-1BD40

Таблиця 2.6 – Технічні характеристики модуля аналогового вводу VIPA 231-1BD40

№	Найменування параметра	Значення
1	Тип	SM 231, ECO
2	Кількість каналів	4
3	Тип каналу	Аналоговий
4	Діапазон вхідного сигналу, мА	4...20
5	Довжина екранованого провідника, м	200
6	Споживана потужність, Вт	0,6

Приклад схеми підключення датчика з типом вихідного сигналу 4...20 мА до модуля аналогового вводу наведена на рисунку 2.7.

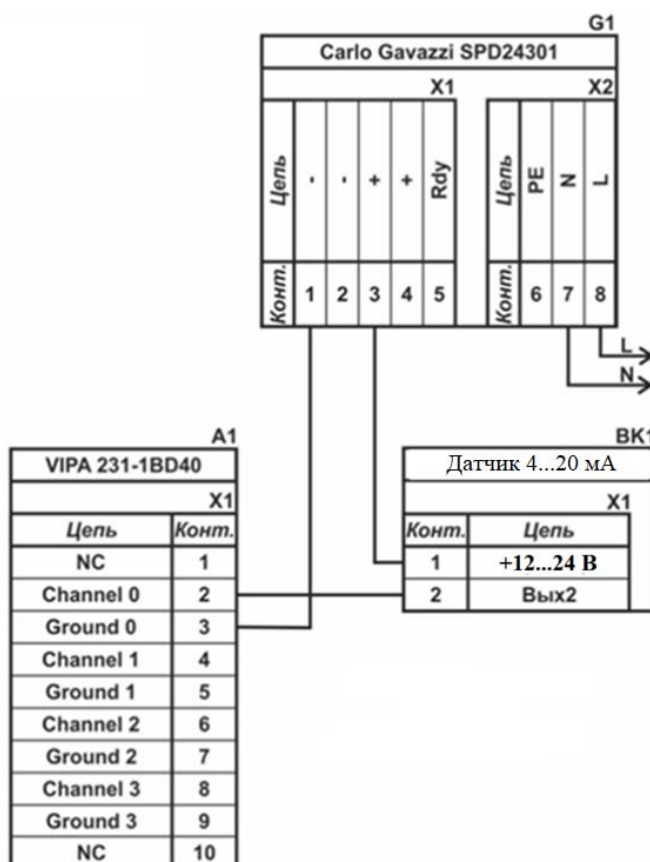


Рисунок 2.7 – Схема підключення датчика з типом вихідного сигналу 4...20 мА

До контролера також має бути під'єднано дозатор вивантаження матеріалу, частотний перетворювач якого має вхідний струмовий канал керування 4...20 мА, тому потрібен модуль аналогового виводу з діапазоном аналогового вихідного сигналу 4...20 мА. Для підключення цього пристрою оберем модуль VIPA 232-1BD40 у якому є чотири аналогових виходи 4...20 мА (рис. 2.8).

Технічні характеристики модуля наведені в таблиці 2.7.



Рисунок 2.8 – Модуль аналогового виводу VIPA 232-1BD40

Таблиця 2.7 – Технічні характеристики модуля аналогового виводу VIPA 232-1BD40

№	Найменування параметра	Значення
1	Тип	SM 231, ECO
2	Кількість каналів	4
3	Тип каналу	аналоговий
4	Параметри каналу	4...20 мА
5	Діапазон вхідного сигналу	комбінований
6	Довжина екранованого провідника, м	200
7	Споживана потужність, Вт	0,6

Схема підключення до модуля аналогового виводу наведена на рисунку 2.9.

Згідно з вимогами до підсистеми керування, в якості котрого виступає програмований логічний контролер, та пультом оператора, в якості якого виступає персональний комп'ютер, необхідно організувати мережу за допомогою інтерфейсу RS-485. Обраний програмований логічний контролер VIPA 214-2BS33 має інтерфейс RS-485. Схема підключення персонального комп'ютера до програмованого логічного контролера наведена на рисунку 2.10.

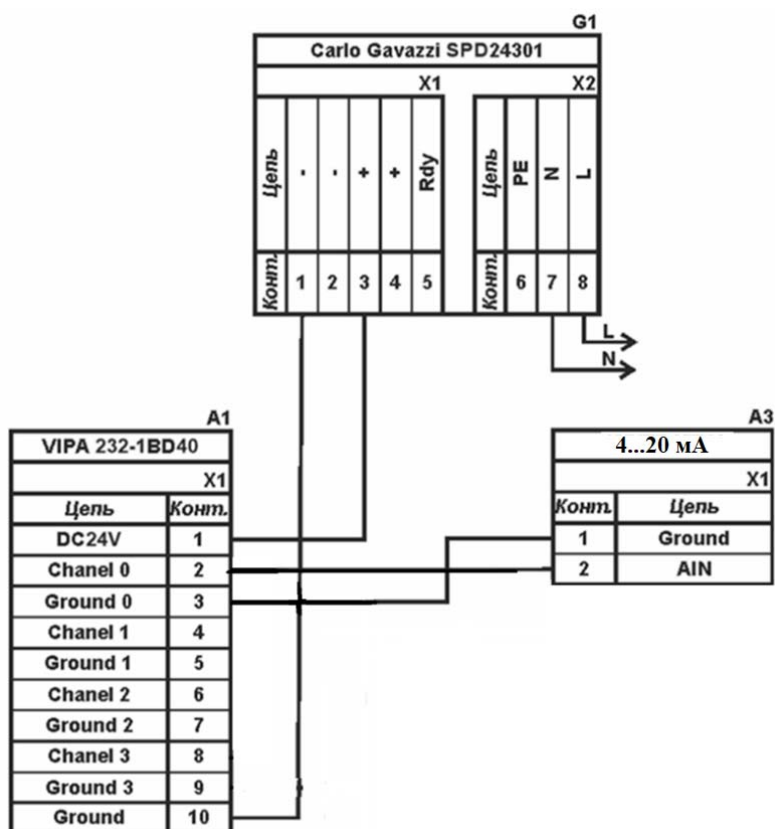


Рисунок 2.9 – Схема підключення до модуля аналогового виводу

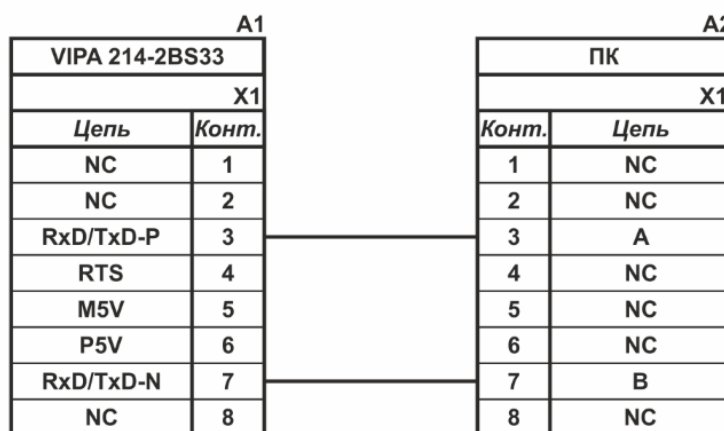


Рисунок 2.10 – Схема підключення по інтерфейсу RS-485

На підставі обраного програмованого логічного контролера та його модулів складена таблиця 2.8.

Таблиця 2.8 – Пристрій керування та його модулі

№	Назва модуля	Пристрій	Напруга живлення	Потужність споживання
1	VIPA 214-2BS33	Центральний процесорний модуль	24 В	5,0 Вт
		Зв'язок - АСК ТП		
2	VIPA 231-1BD40	Модуль аналогового вводу	24 В	0,6 Вт
		Дозатор вивантаження матеріалу	24 В	1,0 Вт

2.3.4 Вибір джерел живлення

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

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

Виходячи з потужності споживання контролеру та його модулів у якості джерела живлення обрано блок живлення SPD24301 з вихідною напругою +24 В та потужністю 30 Вт (рис. 2.11). Технічні характеристики блока живлення наведені в таблиці 2.9.



Рисунок 2.11 – Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301

Таблиця 2.9 – 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 2.12.

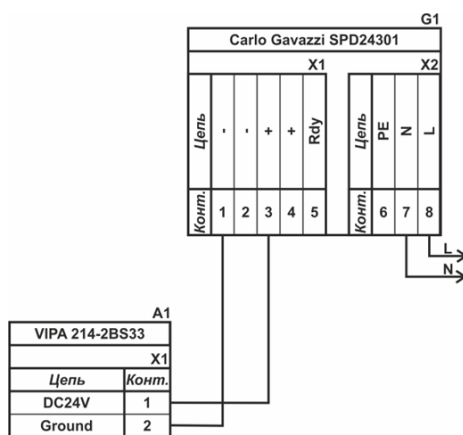


Рисунок 2.12 – Схема підключення програмованого логічного контролера до блока живлення

Виконавши аналіз обраного обладнання можливо зробити вивід, що зовнішній блок живлення потрібен для аналогового датчика струму та ланцюгу управління дозатором. Таким чином потужність споживання за напругу живлення +24 В становитиме:

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

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 - електрокальцинометром ИЕТ-10 розроблена функціональна схема автоматизації, яка наведена на рисунку 2.13.

У якості пристрою керування використовується програмований логічний контролер (UY 3) - VIPA 214-2BS33. Програмований логічний контролер під'єднано до технологічного обладнання АСУ ТП, за що відповідає система автоматизації більш високого рівня (UY 4), зв'язок між ними реалізовано за допомогою інтерфейсу RS-485.

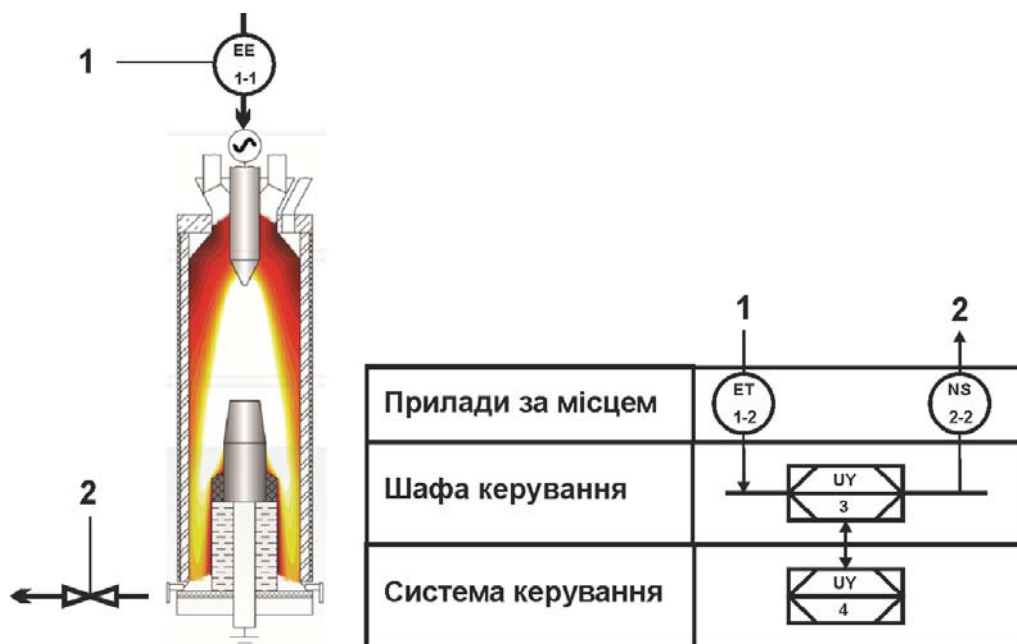


Рисунок 2.13 – Функціональна схема автоматизації

Для вимірювання електричного струму використовуються датчик струму (EE 1.1 - T201) та перетворювач 4...20 мА (ET 2.2 - T201).

На підставі отриманого значення з датчика струму програмований логічний контролер (UY 6 - VIPA 214-2BS33) формує керуючий вплив по підтримці заданого режиму роботи.

Для керування продуктивністю вивантаження матеріалу з електрокальцинатора використовуються частотний перетворювач (NS-2.1 - IDS Drive Z402T4B) з перетворювачем 4...20 мА (NS-2.2 - IDS Drive Z402T4B).

2.5 Розробка схеми електричної принципової

На основі функціональної схеми автоматизації та обраного апаратного забезпечення розроблена схема електрична-принципова підсистеми керування технологічним обладнанням - електрокальцинатором ИЕТ-10 (рис. 2.14).

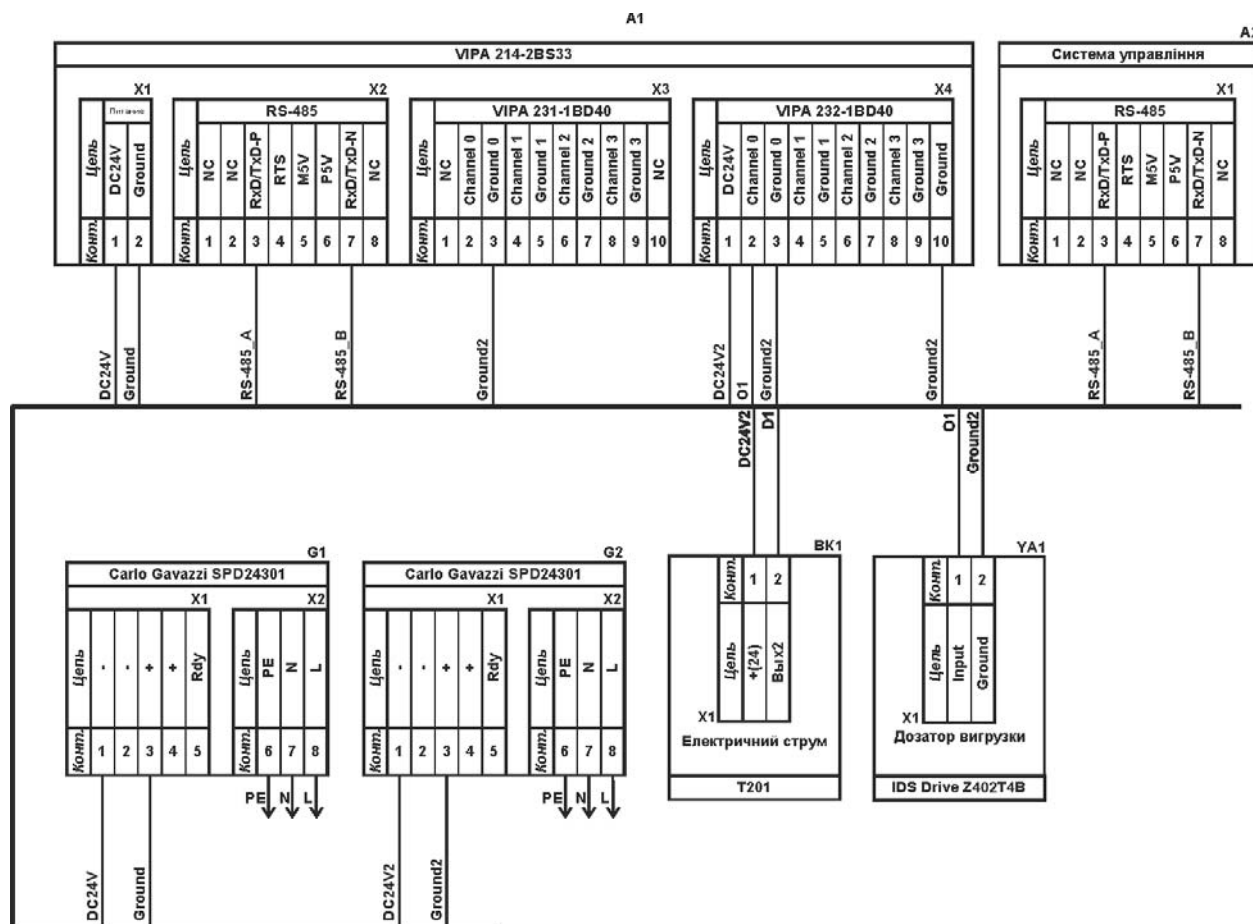


Рисунок 2.14 – Схема електрична-принципова підсистеми керування

В підсистемі використовуються два блоки живлення. Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301 (G1) під'єднано до програмованого логічного контролера VIPA 214-2BS33 (A1). Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301 (G2) підключено до модуля аналогового виводу VIPA 232-1BD40 (A1 – X4), до датчику струму (BK1).

Датчик струму під'єднано до модуля аналогового вводу VIPA 231-1BD40 (A1 – X3) до каналу 0 за допомогою стандартного сигналу 4...20 мА.

Для керування дозатором вивантаження YA1 використовується модуль аналогового виводу VIPA 232-1BD40 (A1 – X4), керування YA1 здійснюється по каналу 0 за допомогою стандартного сигналу 4...20 мА.

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 електрокальцинатор ИЕТ-10.

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

3 ВИЗНАЧЕННЯ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

У кваліфікаційній роботі, в якості об'єкту керування технологічним обладнанням процесу виробництва коксу обрано електричну піч для прожарювання сировини - електрокальцинатор ИЕТ-10.

Режим прожарювання проводиться за показаннями струму джерела живлення і за встановленим по технологічним параметрам значенням. Вивантаження чергової порції матеріалу з печі проводиться при встановленому значенню сили струму. Після того як свіжий матеріал під дією сил гравітації надійде в робочу зону, опір завантаження зростає і сила струму зменшується, оскільки значення напруги живлення для обраного технологічного процесу залишається постійним. Через деякий час завантаження нагріється до заданої температури, опір матеріалу знизиться, показники струму знову зростуть до максимальної межі і знову проводиться вивантаження і т. д. Системи керування має підтримувати процес вивантаження постійним.

Для створення ефективної системи керування за обраним каналом керування «швидкість вивантаження (завантаження) матеріалу - «сила струму (непрямий метод вимірювання температурного поля робочого простору електрокальцинатора)» необхідно провести активний експеримент з метою отримання параметрів об'єкту керування

Система керування має працювати з наступними сигналами:

- вхідний сигнал – значення змінного струму 15...20 кА;
- вихідний сигнал – пропорційне керування продуктивністю вивантаження матеріалу 1,2...1,6 т/год.

Система живлення електрокальцинатора ИЕТ-10 має нормований вихідний сигнал струму 0...5 А, який відповідає силовому струму 0...20 кА, що подається на електроди електрокальцинатора ИЕТ-10. Вимірювання змінного струму 0...5 А здійснюється за допомогою безконтактного датчика струму Т201 з вихідним сигналом 4...20 мА пропорційним вимірюваному значенню.

Дозатор ДТА-200 вивантаження матеріалу має трифазний електропривод $\sim 380 / 3,0$ кВт, який керується частотним перетворювачем IDS Drive Z402T4B з каналом керування 4...20 мА.

Роботою технологічного обладнання - електрокальцинатора ИЕТ-10 керує програмований логічний контролер (рис. 2.1).

Обрано канал керування «швидкість вивантаження матеріалу - «сила струму прожарювання (непрямий метод вимірювання температурного поля робочого простору електрокальцинатора)».

З метою побудови підсистеми керування за обраним каналом керування, необхідно провести активний експеримент для визначення параметрів передавальної функції об'єкту керування.

Таким чином до контуру керування електрокальцинатором ИЕТ-10 входить дозатор вивантаження матеріалу, та датчик струму розжарювання. Чим вище струм, тим більше треба вивантажувати матеріалу з електрокальцинатора для його зменшення і навпаки.

Отже, для визначення параметрів в моделі об'єкту керування, за керуючий вплив обрано кількість матеріалу для вивантаження, а дійсним значенням – змінний струм електродів розжарювання.

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.

Для електрокальцинатора ИЕТ-10 з метою побудови підсистеми керування за обраним каналом керування «масова витрата вивантаження - «сила струму» треба розробити структурну схему інформаційних потоків для проведення дослідження.

Згідно з завданням та розробленим апаратним забезпеченням підсистеми, до контуру керування входить електрокальцинатор ИЕТ-10, а в якості пристрою керування обрано програмований логічний контролер VIPA 214-2BS33 з цифровим каналом передачі даних типу RS-485, який необхідний для забезпечення інформаційного зв'язку з іншими системами автоматизації.

Візуалізація процесу керування відбувається за допомогою персонального комп'ютера зі SCADA системою zenop. 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.

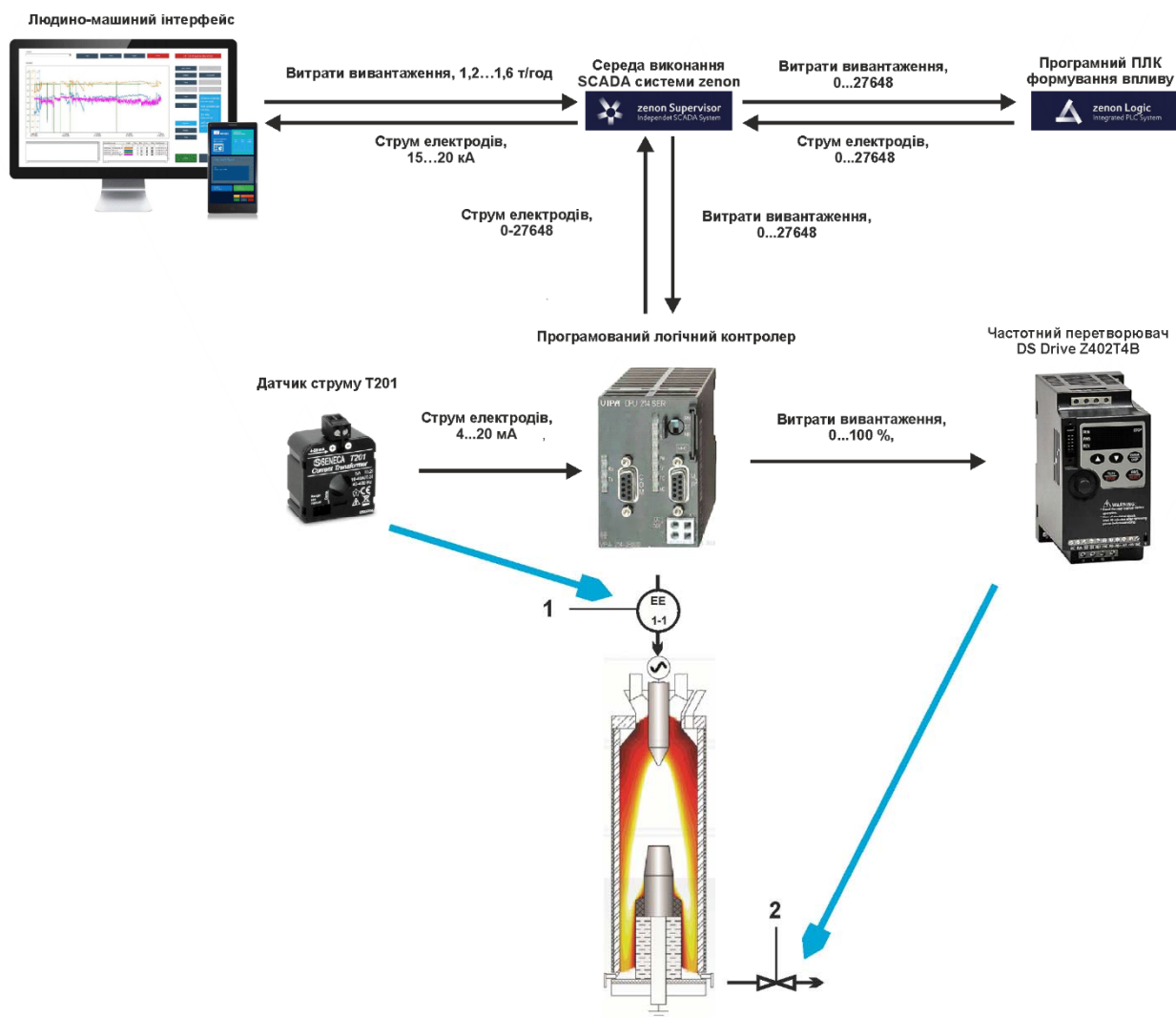


Рисунок 3.1 – Структурна схема інформаційних потоків дослідницької системи

Згідно зі структурною схемою, система дослідження може формувати керуючий вплив, в якості якого виступають масові витрати вивантаження, за рахунок чого регулюється струм розжарювання в електрокальцинаторі. Витрати вивантаження можуть змінюватися у межах діапазону 1,2...1,6 т/год, а номінальний струм очікується в межах діапазону 15...20 кА.

Програмований логічний контролер виконує керування активним експериментом з метою отримання необхідних даних для побудови математичної моделі електрокальцинатора ИЕТ-10, за обраним каналом керування «масова витрата вивантаження - «сила струму».

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 електрокальцинатора ИЕТ-10. При цьому об'єкт керування не накладає ні яких обмежень на керуючий вплив. Виходячи з цього об'єкт керування можливо дослідити за допомогою метода активного експерименту.

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

1. Налаштувати систему дослідження.
2. Отримати динамічну характеристику.
 - 2.1. Привести об'єкт керування до початкових умов, дочекатися досягнення усталеного режиму – керуючий сигнал дорівнює мінімальному значенню.
 - 2.2. Запустити процес реєстрування.

2.3. Задати керуючий сигнал на рівні 100 %, дочекатися досягнення усталеного режиму.

2.5. Зупинити процес реєстрації.

3. Отримання даних за для побудови статичної характеристики.

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

3.2. Запустити процес реєстрування.

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

3.4. Задати керуючий сигнал на рівні 20 %, дочекатися досягнення усталеного режиму.

3.5. Задати керуючий сигнал на рівні 40 %, дочекатися досягнення усталеного режиму.

3.6. Задати керуючий сигнал на рівні 60 %, дочекатися досягнення усталеного режиму.

3.7. Задати керуючий сигнал на рівні 80 %, дочекатися досягнення усталеного режиму.

3.7. Задати керуючий сигнал на рівні 100 %, дочекатися досягнення усталеного режиму.

3.8. Зупинити процес реєстрації.

4. Отримання даних при П-образному впливі.

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

4.2 Запустити процес реєстрування.

4.3. Задати керуючий сигнал на рівні 100 %, дочекатися досягнення усталеного режиму.

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

4.5. Зупинити процес реєстрації.

5. Отримання перевірочних даних.

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

5.2. Налаштувати псевдовипадковий керуючий вплив таким чином, щоб період зміни впливу бажано був у п'ять разів менший за час перехідного процесу та плюс два інтервали затримки, а амплітуда впливу змінювалася (бажано випадково) в дискретно на рівні 0...100 %.

5.3. Запустити процес реєстрування.

5.4. Запустити формування псевдовипадкового впливу.

5.5. Виконувати реєстрацію бажано упродовж часу не менш ніж за десяти перехідних процесів.

5.6. Зупинити процес реєстрації.

3.3 Виконання експерименту

Згідно технічних параметрів технологічного обладнання, максимальна сила струму у 20 кА можлива при мінімальній масовій витраті вивантаження 1,2 т/год.

Мінімальна сила струму у 15 кА можлива при максимальній масовій витраті вивантаження 1,6 т/год.

Таким чином керуючий сигнал змінюється в межах 1,2...1,6 т/год.

Оскільки перехідний процес очікується близько 40 годин, то всі потрібні нам характеристики об'єкта керування будуть зніматися з кроком 100 с. Тобто при моделюванні у MATLAB час буде стиснутий у 100 разів, оскільки крок моделювання дорівнює 1 с. При отриманні кінцевої моделі всі розраховані її часові показники слід збільшити у 100 разів.

На першому етапі проведення експерименту виконано налаштування системи дослідження таким чином, що керуючий вплив може знаходитися дискретно 0 або 100 %, а фактичне значення 0 або 0,4 т/год, що забезпечується відповідним керуванням частотного перетворювача дозатора вивантаження матеріалу з електрокальцинатора. Мінімальні витрати вивантаження 1,2 т/год задані в системі керування як нижня границя обмеження вхідного сигналу.

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

Для цього було встановлено керуючий сигнал 0 т/год (0 %). Після досягнення усталеного режиму – струм 20 кА, керуючий сигнал було встановлено на 0,4 т/год (100 %) і після досягнення усталеного режиму – сили струму 15 кА експеримент було закінчено.

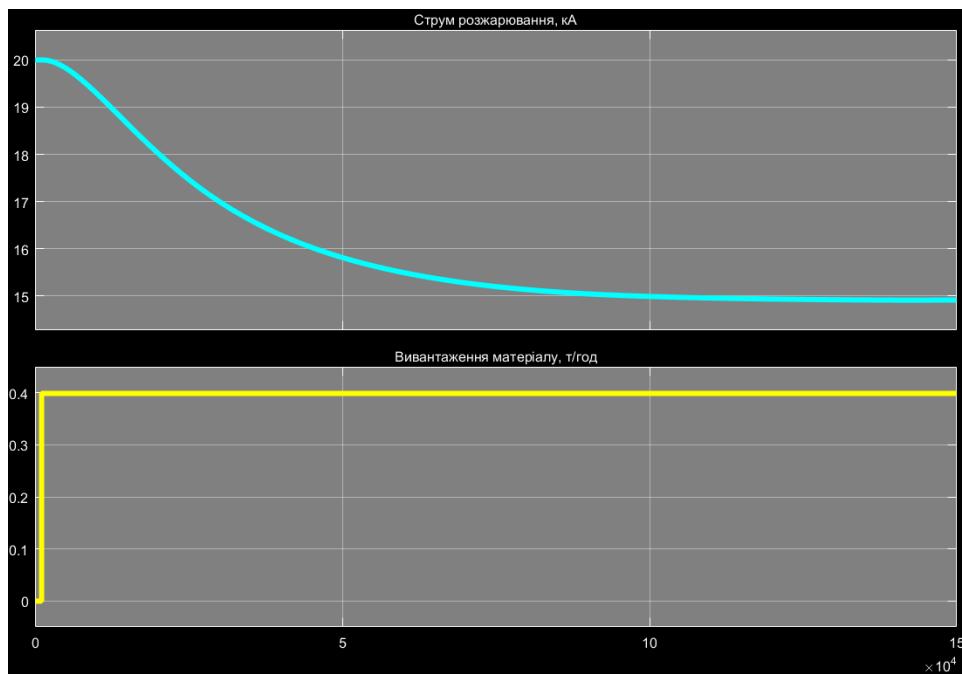


Рисунок 3.2 – Отримання динамічної характеристики

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

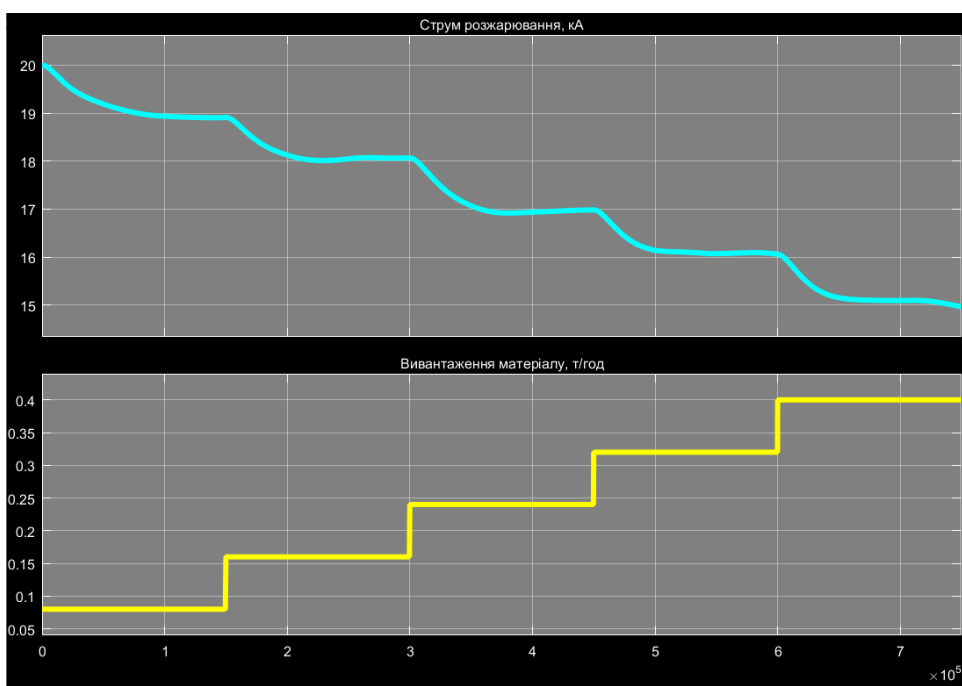


Рисунок 3.3 – Отримання даних для побудови статичної характеристики

Для цього було встановлено керуючий сигнал 0 т/год (0 %).

Після досягнення усталеного режиму керуючий сигнал було встановлено на значення 0,08 т/год (20 %).

Після досягнення усталеного режиму керуючий сигнал було встановлено на значення 0,16 т/год (40 %).

Після досягнення усталеного режиму керуючий сигнал було встановлено на значення 0,24 т/год (60 %).

Після досягнення усталеного режиму керуючий сигнал було встановлено на значення 0,32 т/год (80 %).

Після досягнення усталеного режиму керуючий сигнал було встановлено на значення 0,40 т/год (100 %).

Після досягнення усталеного режиму експеримент було закінчено.

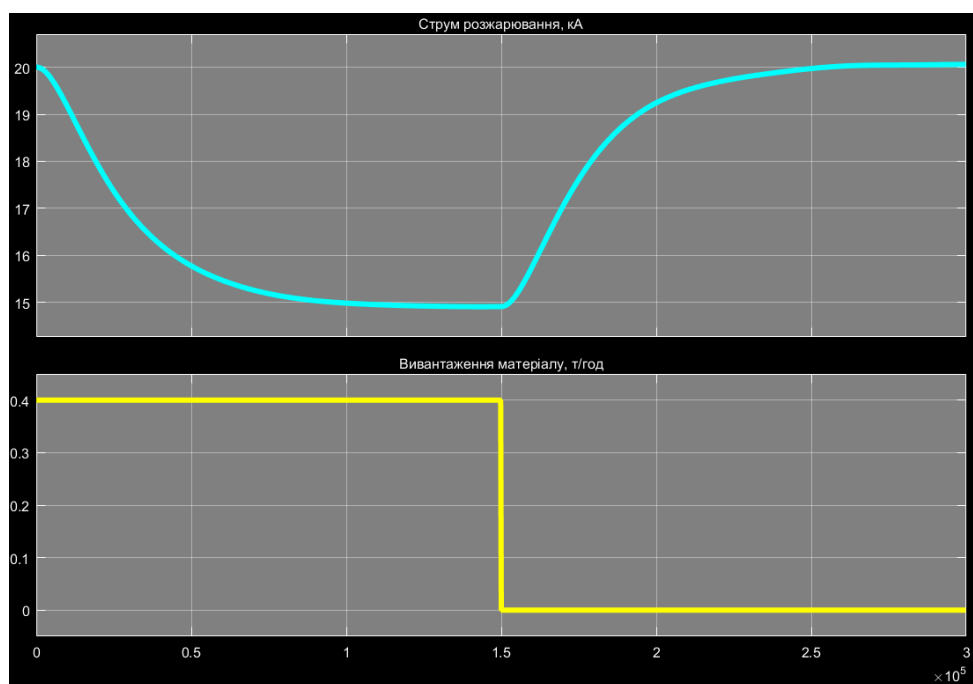


Рисунок 3.4 – Отримання даних при П-образному керуючому впливі

На четвертому етапі було виконано отримання даних П-образному керуючому впливі (рис. 3.4).

Для цього було встановлено керуючий вплив на значення 0 кг/с (0 %). Після досягнення усталеного режиму було встановлено керуючий вплив на значення 0,4 т/год (100 %). Після досягнення усталеного режиму було встановлено

керуючий вплив на значення 0 т/год (0 %). Після досягнення усталеного режиму експеримент було закінчено.

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

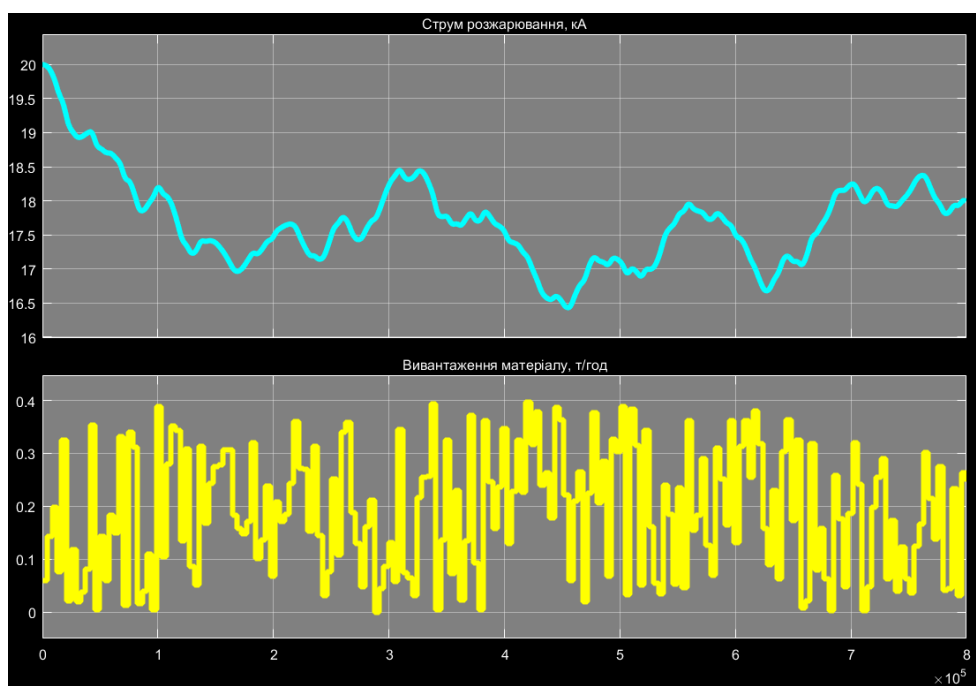


Рисунок 3.5 – Отримання перевірочних даних

Для цього було встановлено керуючий вплив на значення 0 т/год (0 %). Після досягнення усталеного режиму було встановлено керуючий вплив на випадкову в діапазоні 0...0,4 т/год (0...100 %), з інтервалом зміни 4 100 с (з попереднього аналізу рисунка 3.2 маємо - перехідний процес приблизно 150 000 с, тобто постійна часу близько $150\,000 / 5 = \sim 30\,000$ с, затримка $\sim 100...200$ с), а сама реєстрація відбувалася упродовж 800 000 с.

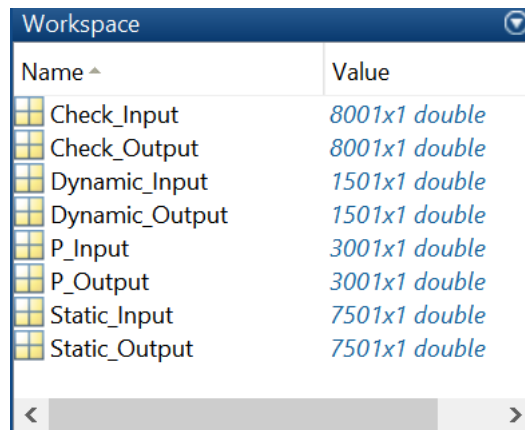
У результаті виконання плану експерименту проведено всеосяжне дослідження об'єкта керування та отримані динамічна характеристика, дані для побудови статичної характеристики, дані при П-образному керуючому впливі та перевірочні дані.

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_Ounput”, даним для побудови статичної характеристики “Static_Input”, “Static_Ounput”, даним отриманим при П-образному керуючому впливі “P_Input”, “P_Output”, перевірочним даним “Check_Input”, “Check_Otput”. Суфікс “_Input” позначає керуючий вплив, а суфікс “_Output” дійсне значення.



Name ^	Value
Check_Input	8001x1 double
Check_Output	8001x1 double
Dynamic_Input	1501x1 double
Dynamic_Output	1501x1 double
P_Input	3001x1 double
P_Output	3001x1 double
Static_Input	7501x1 double
Static_Output	7501x1 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_DO = max(Dynamic_Raw.OutputData);
trend = getTrend(Dynamic_Raw);
trend.OutputOffset = offset_DO;
Dynamic = detrend(Dynamic_Raw, trend);
```

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

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

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

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

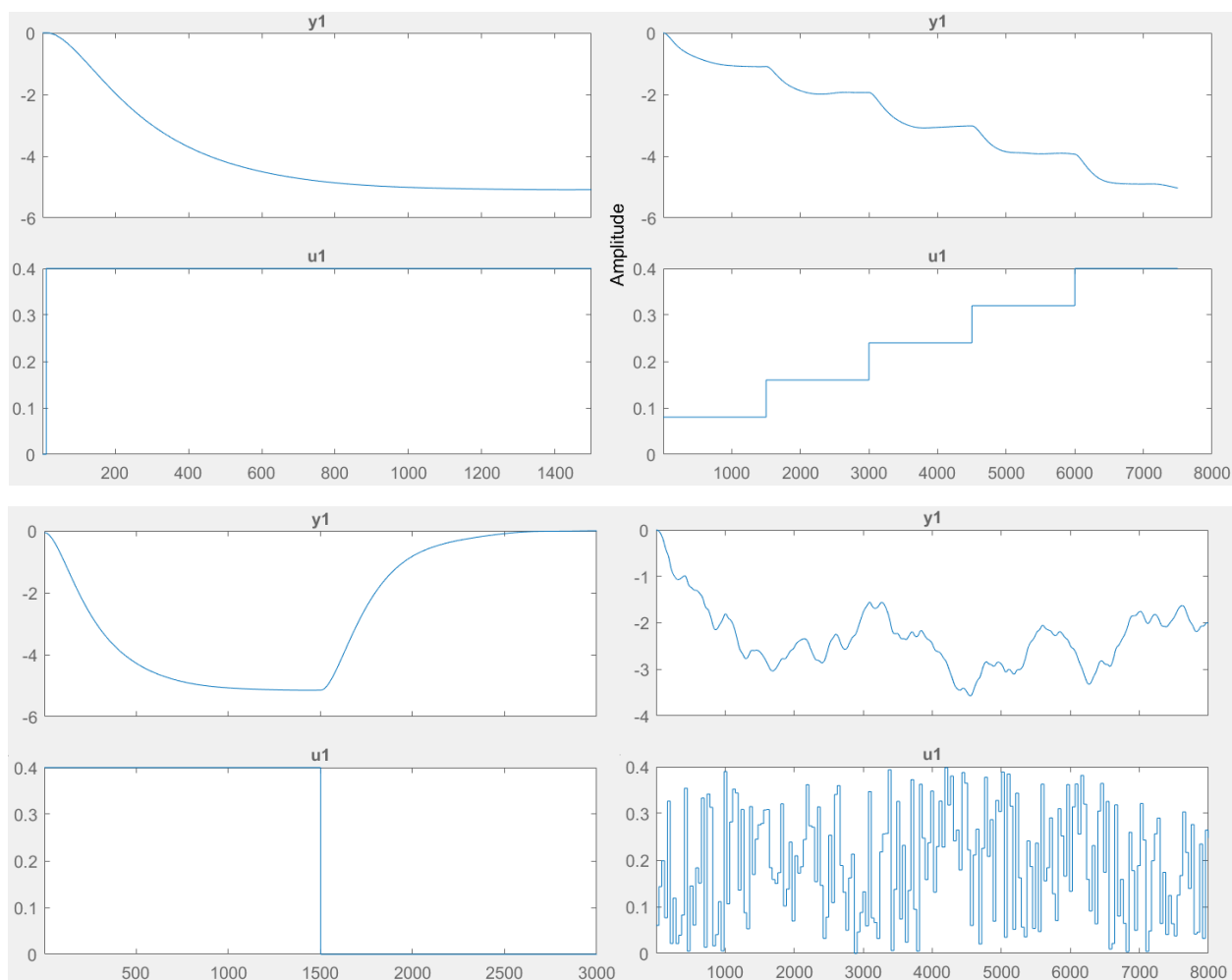


Рисунок 3.7 – Динамічна, статична, П-образна та перевірочна характеристики з видаленими статичними складовими

3.4.2 Структурна ідентифікація

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

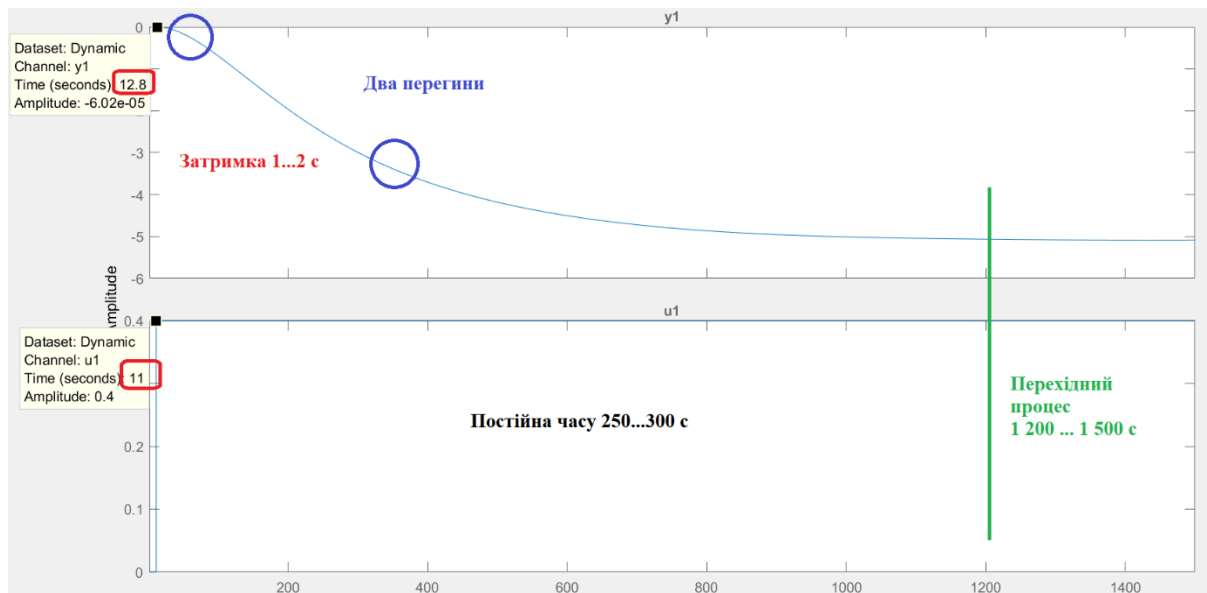


Рисунок 3.8 – Динамічна характеристика

Проаналізуємо об'єкт керування на лінійність для цього побудуємо його

Після подачі керуючого впливу - вивантаження матеріалу 0,4 т/год (100 %) вихідний сигнал – струм розжарювання не зразу змінюється, виходячи з цього можливо зробити висновок, що об'єкт володіє незначним запізненням приблизно 1...2 с, як правило це пов'язано з інерційністю датчика температури, часом реакції дозатора вивантаження та конструктивними особливостями технологічного обладнання.

Крім того, на динамічній характеристиці відсутня інерція, характер перехідного процесу монотонний, а кількість перегинів дорівнює двом, час перехідного процесу ~1 500 с, постійна часу ~250...300 с. На підставі цього можливо зробити висновок, що модель об'єкта керування може бути представлена у вигляді аперіодичної ланки другого порядку з запізненням.

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

```
Static_Out = [-1.09, -1.94, -3.02, -3.94, -5.03];
Static_In = [ 0.08, 0.16, 0.24, 0.32, 0.40];
```

```
figure('Name', 'Статична характеристика');
plot(Static_In, Static_Out, 'LineWidth', 2.0, 'Color', [0.15,0.1,0.75],...
     'Marker', 'o', 'MarkerSize', 16.0, 'MarkerEdgeColor', 'y',...
     'MarkerFaceColor', [0.75,0.1,0.15]);
xlabel('Вивантаження матеріалу, т/год');
```

```
ylabel('Струм розжарювання, А');
set(findall(gcf, '-property', 'FontSize'), 'FontSize', 14);
set(findall(gcf, '-property', 'FontName'), 'FontName', 'Times New Roman');
set(findall(gcf, '-property', 'FontWeight'), 'FontWeight', 'bold');
```

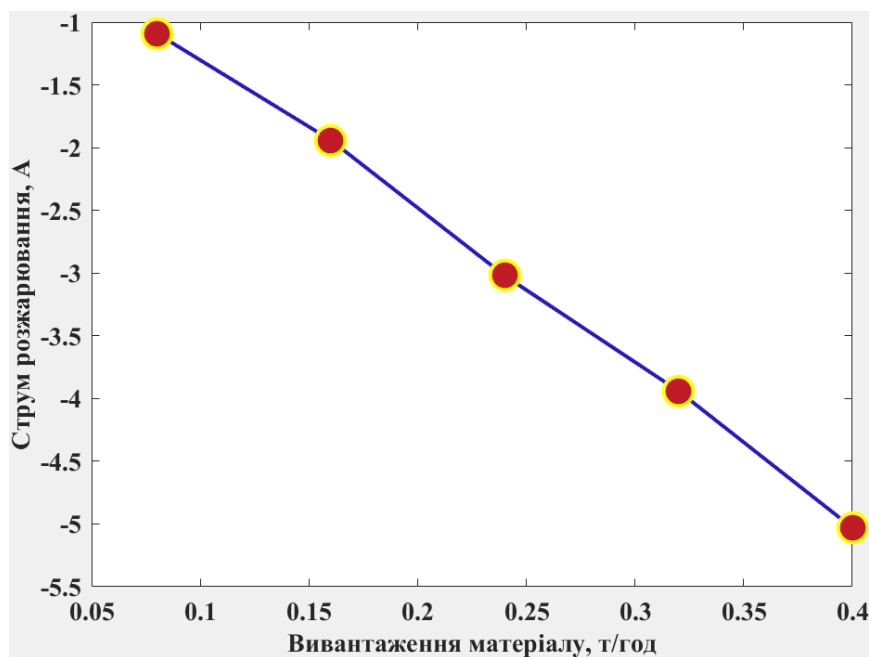
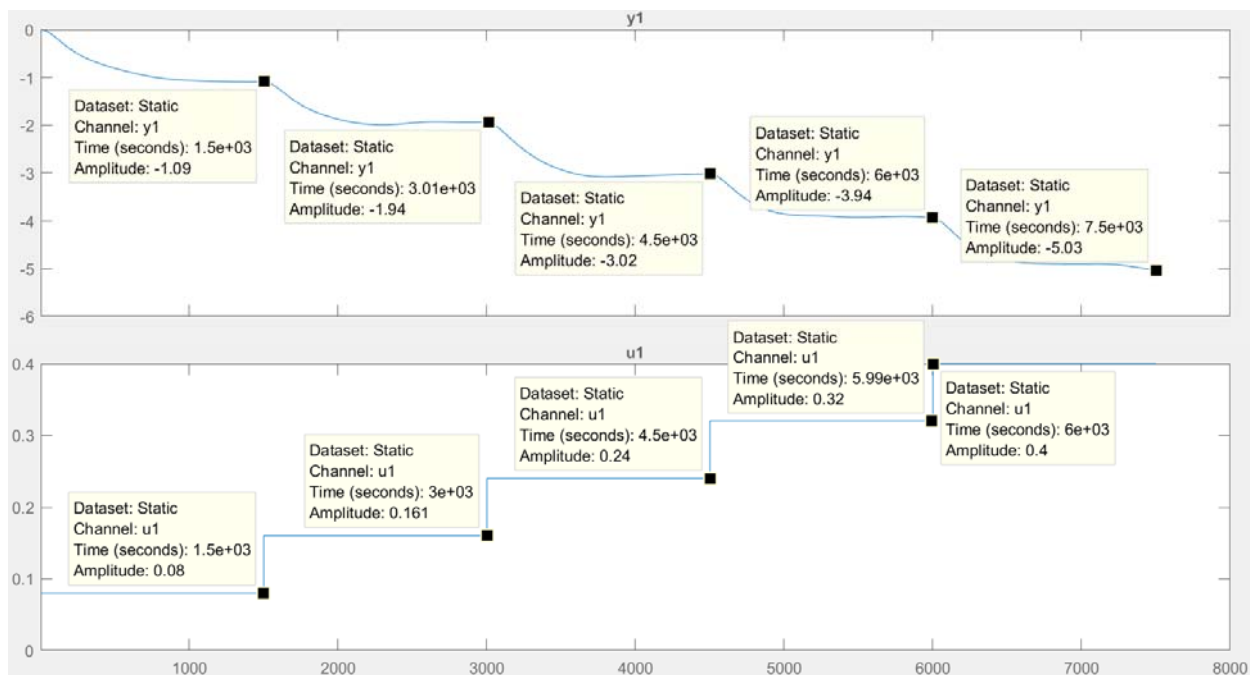


Рисунок 3.9 – Статична характеристика

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_min * 100);
fprintf('\nМаксимальне відхилення коефіцієнту підсилення: %.2f %%\n\n',
Static_Gain_Compare);
-13.2500 -12.1250 -12.5833 -12.3125 -12.5750
Максимальне відхилення коефіцієнту підсилення: 8.49 %

```

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).

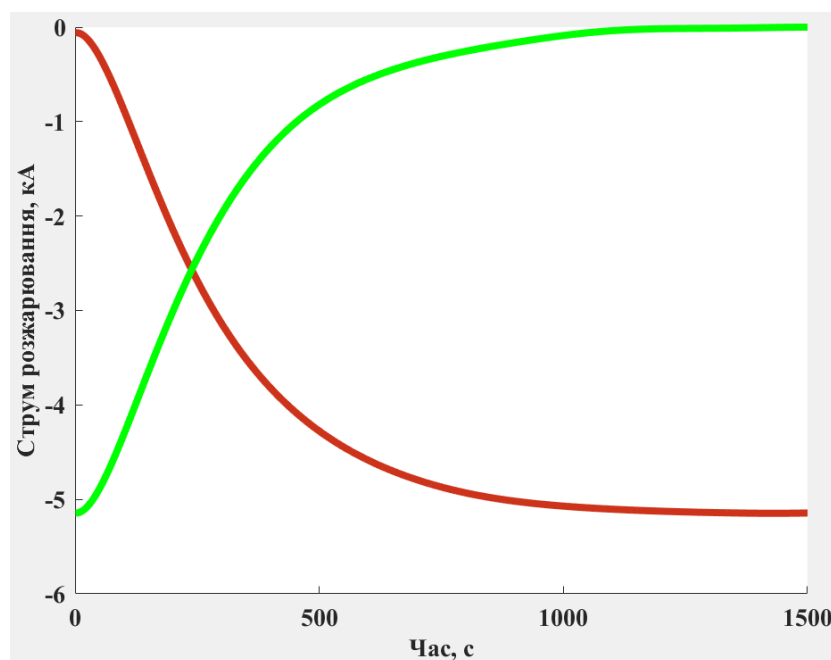


Рисунок 3.10 – Аналіз симетричності характеристика при П-образному керуючому впливі

Як видно з рисунку, збільшення вивантаження матеріалу з 0 т/год (0 %) до 0,4 т/год (100 %) приводить до зменшення струму розжарювання з 0 кА до -5 кА, а відповідне зменшення цього ж показника вивантаження матеріалу з 0,4 т/год (100 %) до 0 т/год (0 %), приводить до відповідного збільшення струму розжарювання з -5 кА до 0 кА. На підставі цього можливо зробити висновок, що об'єкт не володіє інтегруючими властивостями і є об'єктом з самовирівнюванням.

З метою аналізу симетричності об'єкта керування його характеристика отримана при П-образному впливі була поділена на ділянки підйому та спаду (рис. 3.10):

```
nRiseStart = find(P.InputData ~= 0, 1, 'first');
nRiseStop = find(P.InputData ~= 0, 1, 'last');
nFallStart = nRiseStop + 1;
nFallStop = length(P.InputData);

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

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

figure('Name', 'Аналіз симетричності П-характеристики');
hold('on');
plot(P_Rise, 'LineWidth', 4.0, 'Color', [0.80,0.20,0.10]);
plot(P_Fall, 'LineWidth', 4.0, 'Color', 'g');
hold('off');
xlabel('Час, с');
ylabel('Струм розжарювання, кА');

set(findall(gcf, '-property', 'FontName'), 'FontName', 'Times New Roman');
set(findall(gcf, '-property', 'FontWeight'), 'FontWeight', 'bold');
```

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: 0.43 %
```

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

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

τ – 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.

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.

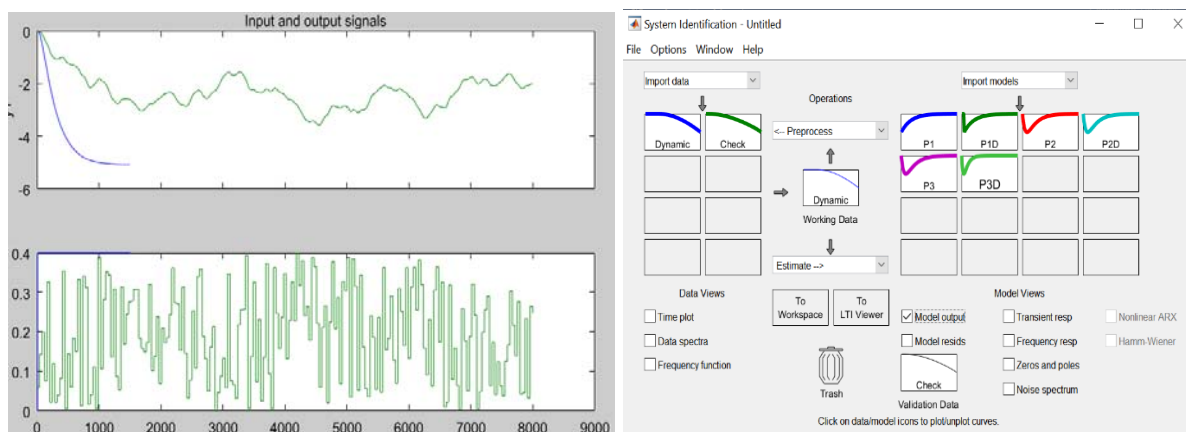


Рисунок 3.11 – Налаштування System Identification Toolbox

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

Параметри ідентифікації за методом Process Models P1:

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

$$K_p = -13.038 \pm 0.014372$$

$$T_{p1} = 298.66 \pm 1.4174$$

Fit to estimation data: 92.29%

FPE: 0.01308, MSE: 0.01303

Параметри ідентифікації за методом Process Models P1D:

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

$$K_p = -12.881 \pm 0.0057594$$

$$T_{p1} = 264.4 \pm 0.63007$$

$$T_d = 59.662 \pm 0.40867$$

Fit to estimation data: 96.77%

FPE: 0.0023, MSE: 0.002288

Параметри ідентифікації за методом Process Models P2:

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

$$K_p = -12.783 \pm 0.00081626$$

$$T_{p1} = 235.35 \pm 0.17499$$

$$T_{p2} = 70.959 \pm 0.21921$$

Fit to estimation data: 99.59%

FPE: 3.636e-05, MSE: 3.612e-05

Параметри ідентифікації за методом Process Models P2D:

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

$$K_p = -12.783 \pm 0.00082301$$

$$T_{p1} = 235.51 \pm 0.1822$$

$$T_{p2} = 70.585 \pm 0.25158$$

$$T_d = 3.159 \pm 0.89654$$

Fit to estimation data: 99.59%

FPE: 3.62e-05, MSE: 3.591e-05

Параметри ідентифікації за методом Process Models P3:

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

$$K_p = -12.783 \pm 0.00081511$$

$$T_{p1} = 235.5 \pm 0.17475$$

$$T_{p2} = 70.61 \pm 0.21422$$

$$T_{p3} = 2.6142 \pm 0.11758$$

Fit to estimation data: 99.59%

FPE: 3.61e-05, MSE: 3.591e-05

Параметри ідентифікації за методом Process Models P3D:

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

$$K_p = -12.783 \pm 0.00082687$$

$$T_{p1} = 235.53 \pm 0.18535$$

$$T_{p2} = 70.552 \pm 0.26492$$

$$T_{p3} = 1.5334 \pm 1.4358$$

$$T_d = 2$$

Fit to estimation data: 99.59%

FPE: 3.625e-05, MSE: 3.591e-05

За допомогою «Model output» показана відповідність отриманих моделей P1, P1D, P2, P2D, P3 та P3D до перевірочних даних отриманих на об'єкті керування Check наведена на рисунку 3.12 та представлена у таблиці 3.1.

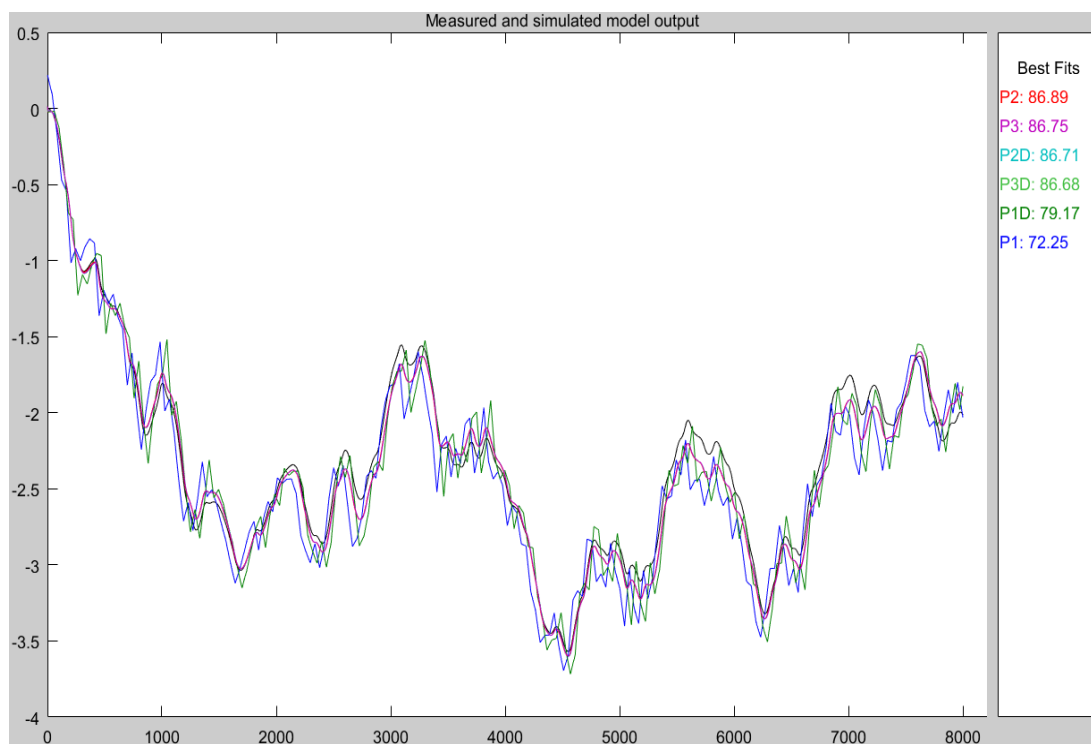


Рисунок 3.12 – Перевірка результатів розрахунків

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

Параметр	P1	P1D	P2	P2D	P3	P3D
k	-13,038	-12,881	-12,783	-12,783	-12,783	-12,783
T_1, c	298,66	264,4	235,35	235,51	235,5	235,53
T_2, c	-	-	70,959	70,585	70,61	70,552
T_3, c	-	-	-	-	-	1,5334
τ	-	59,662	-	3,159	2,6142	2,0
Динамічна характеристика						
НСКП, %	92,29	96,77	99,59	99,59	99,59	99,59
ПОП	0,01308	0,0023	3,636e-05	3,62e-05	3,61e-05	3,625e-05
СКП	0,01303	0,002288	3,612e-05	3,591e-05	3,591e-05	3,591e-05
Перевірочні данні						
НСКП, %	72,25	79,17	86,89	86,71	86,75	86,68

Аналіз відмінностей між оцінками моделей P1, P1D, P2, P2D, P3 та P3D по динамічній характеристиці показав, що за нормалізованим середньоквадратичним похибкам (НСКП), що кращою моделлю є P2 (99,59%) та P2D (99,59 %) – як найпростішу з P2D, P3 та P3D які мають однакові показники. Помилка остаточного передбачення (ПОП) для P2 (3,636e-05) майже однакова з моделями P2D, P3 та P3D. Тобто на даний момент аналізу можна рекомендувати для використання модель другого порядку без затримки – P2.

Головним показником, який впливає на остаточний вибір між моделями є розбіжність у відповідності за перевірочними даними за показником НСКП. Ці показники майже однакові для моделей P2 (86,89 %) та P3 (86,75%) – тобто знов у пріоритеті модель P2.

Виходячи з усього, що наведе вище можна сміливо пропонувати модель P2 що має достатню відповідність до перевірочних даних, яка 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 затримки $\sim 1 \dots 2$ с, постійна часу 250...300 с, а за результатами моделювання ці показники складають відповідно 0 с та $235,35 + 70,959 = 306,309$ с, що додатково підтверджує об'єкту керування дійсно відповідає обрана модель P2 - аперіодична ланка другого порядку без запізнення (незначна затримка не вносить суттєвих відмінностей у параметри моделі).

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.

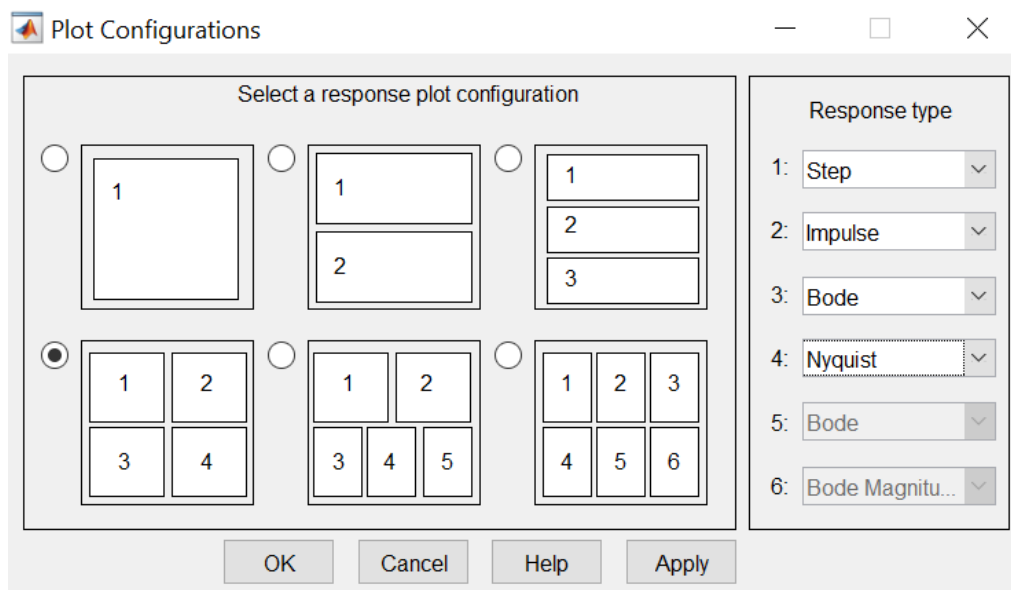


Рисунок 3.13 – Отримання характеристик моделі керування

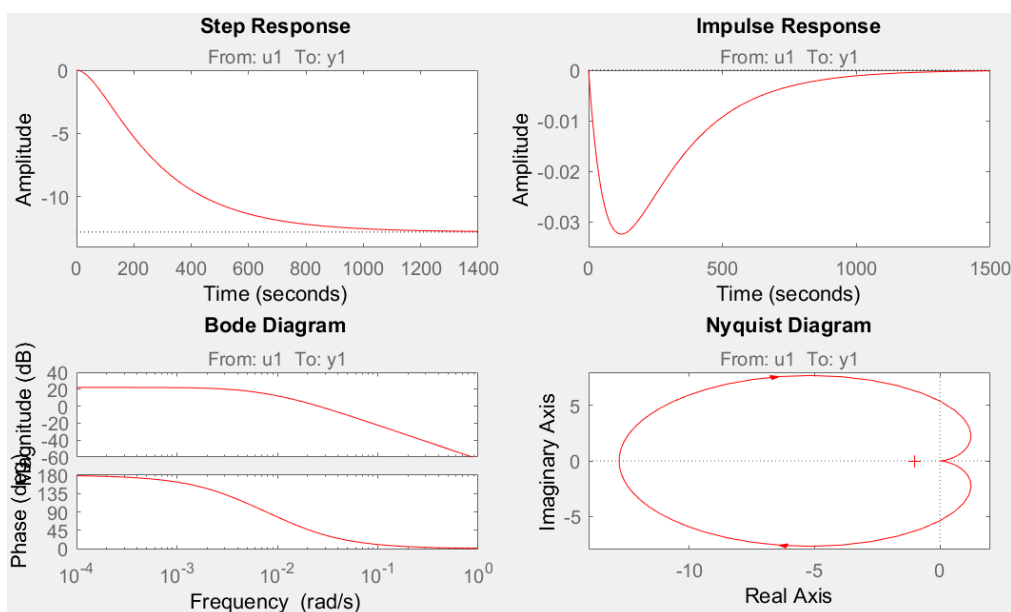


Рисунок 3.14 – Характеристики моделі керування

За результатами параметричної ідентифікації отримана модель P2 у вигляді передавальної функції, яка відповідає об'єкту керування за перевірочними даними на 86,89 % (табл. 3.1):

$$W(s) = \frac{-12,783}{(235,35s + 1) \cdot (70,959s + 1)} \quad (3.2)$$

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 8 000 с, що дорівнює кількості перевірочних даних. Додані блоки запису перевірочних даних та результатів моделювання до змінних Object і Model відповідно. Крок запису задано 1 с, що відповідає первинним даним з масштабом часу 1:100.

На рисунку 3.15 показана модель об'єкта керування.

На вході моделі додано статичний коригуючий зсув характеристики 1,2 т/год (мінімально можливе за технологічними вивантаження матеріалу з електрокальцинатору).

На виході моделі додано статичний коригуючий зсув характеристики, який зміщує мінімально можливе значення струму розжарювання до значення 15 кА.

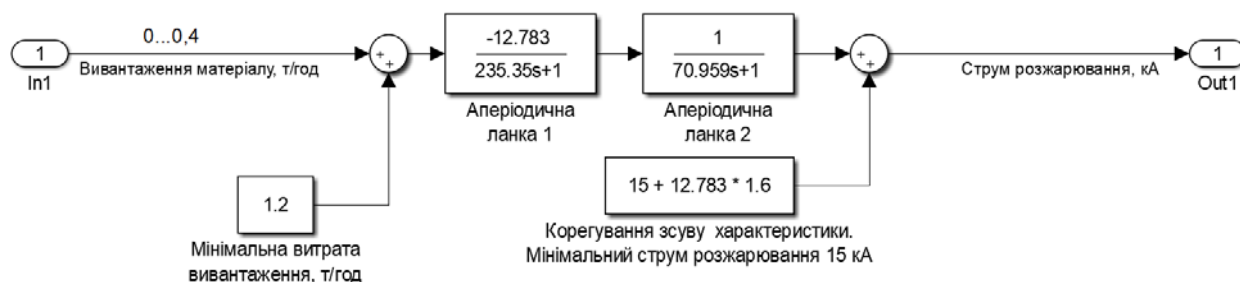


Рисунок 3.15 – Модель об'єкта керування

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

На вихід моделі P2 доданий статичний зсув характеристики, який корегує вихідну характеристику відповідно до реальних даних, отриманих з об'єкта керування, так як для ідентифікації у System Identification Toolbox вони були видалені.

Порівняння характеристик отриманої моделі P2 та моделі Simulink відбувається з чистими перевірочними даними над якими не виконувалися дії, які могли б їх «скомпрометувати».

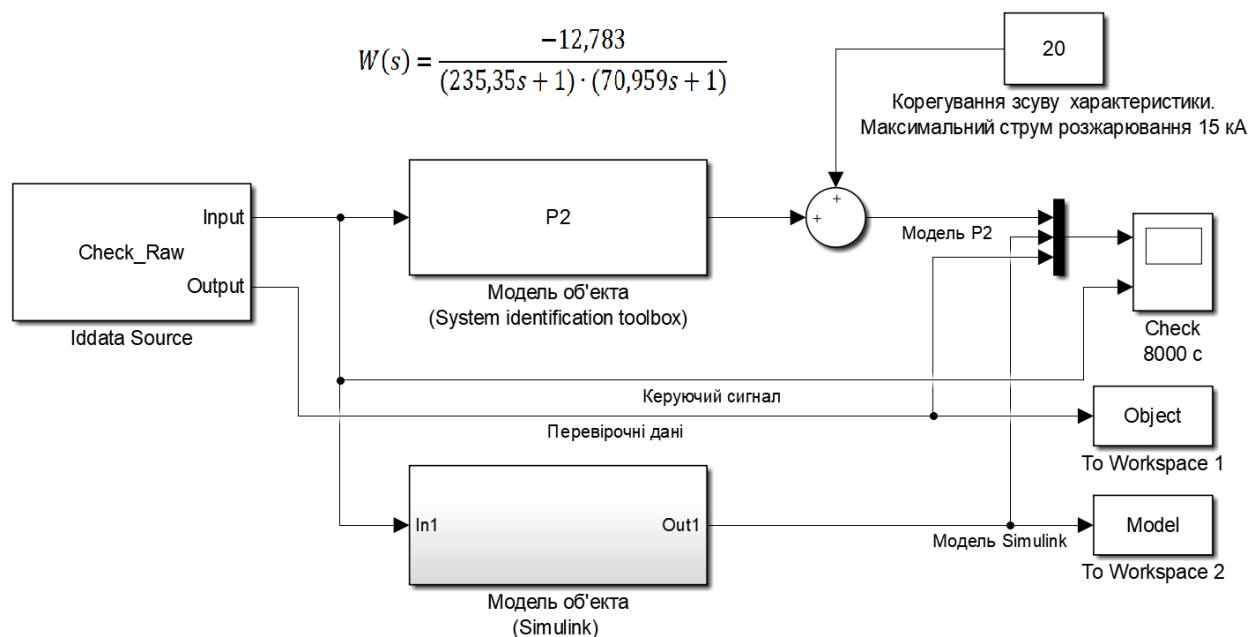


Рисунок 3.16 – Модель отримання даних для перевірки на адекватність

За результатами моделювання бачимо, що дійсні значення отримані на виході моделі System Identification Toolbox (сигнал – «Модель P2») та моделі розробленій на базі передавальної функції (сигнал – «Модель Simulink») співпадають з перевірочними даними (рис. 3.16).

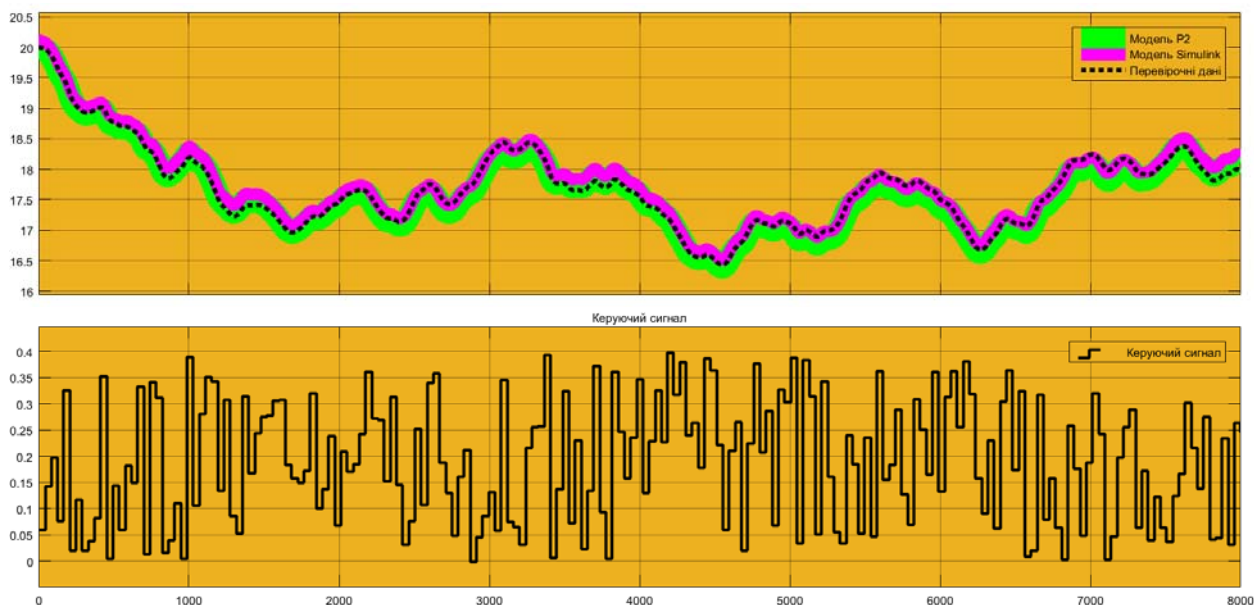


Рисунок 3.17 - Результат отримання даних для перевірки на адекватність

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.

Результат виконання скрипту GetAdequacy.m:

```
>> GetAdequacy(Model, Object)
Перевірка моделі об'єкта керування на адекватність v1.0
Коефіцієнт кореляції: 0.993
Статистичний критерій адекватності фішера: 601484.143
Критичне значення статистичного критерія адекватності фішера: 2.706
Статистичний критерій адекватності фішера більший критичного значення,
модель є адекватною до об'єкта керування.
```

Використовуючи скрипт GetAdequacy.m встановлено, що між перевірочними даними та результатами моделювання присутній дуже високий зв'язок, коефіцієнт кореляції перевищує 0,993 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.

Враховуючи крок часу у MATLAB 1 с і те що реальні дані з об'єкту керування були записані з кроком 100 с, то параметри часу для моделі, отриманій у Simulink треба збільшити у 100 разів:

$$W(s) = \frac{-12,783}{(23535s + 1) \cdot (7095,9s + 1)} \quad (3.3)$$

Остаточна модель об'єкта керування у графічному середовищі імітаційного моделювання Simulink наведена на рисунку 3.19, схема моделювання динамічної характеристики наведена на рисунку 3.20, а результат моделювання динамічної характеристики об'єкта керування наведено на рисунку 3.21.



Рисунок 3.20 – Остаточна модель об'єкта керування

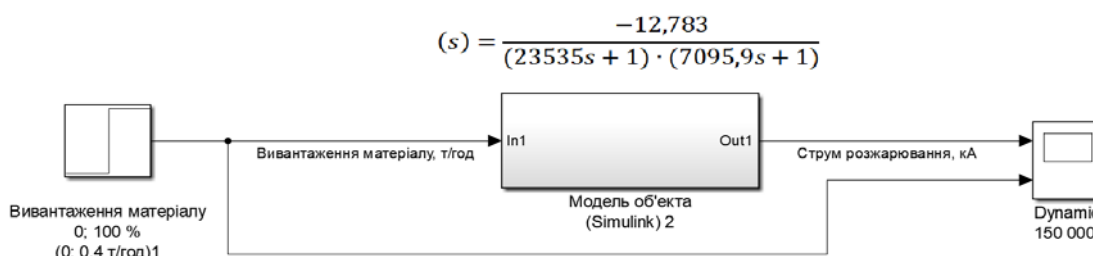


Рисунок 3.20 - Модель об'єкта керування

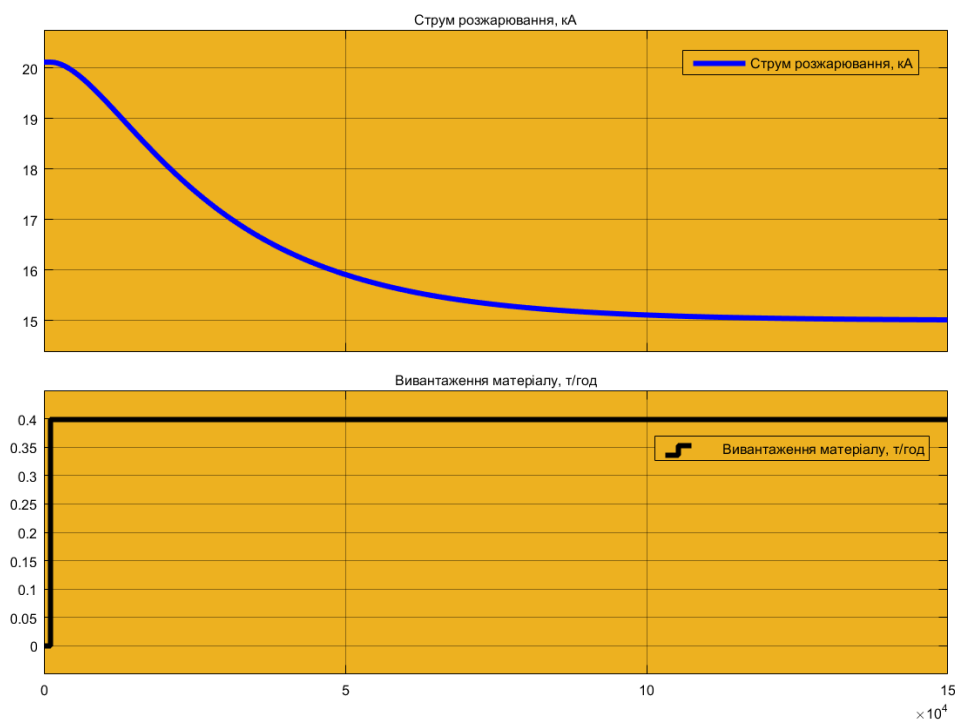


Рисунок 3.21 - Результат моделювання динамічної характеристики об'єкта керування

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 незначним запізненням.

За результатами параметричної ідентифікації встановлено, що структура моделі об'єкта керування відповідає аперіодичній ланці другого порядку без запізнення, яка має наступні розраховані параметри: коефіцієнт підсилення -12,783 і постійні часу 23 535 с та 7 095,9.

Комплексна перевірка на адекватність моделі до об'єкта керування за перевірочними даними об'єкта керування показала високу відповідність 86,89 %, сильний кореляційний зв'язок 0,993 та статичний критерій адекватності Фішера 601 484 значно більше критичного значення 2,706. Велике значення статичного критерію адекватності Фішера обумовлено великою кількістю вибірових даних та близьким до 1 значенням коефіцієнта кореляції.

Враховуючи аналіз технологічного процесу, структури об'єкта керування, характеристик отриманих за результатами експериментів, результатів структурної та параметричної ідентифікації та статистичного аналізу модель є адекватною до об'єкта керування та може бути використана у подальшому при синтезі системи керування в умовах досліджуваного технологічного обладнання – електрокальцинатору ИЕТ-10.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Техніко-економічне обґрунтування впровадження системи керування

У кваліфікаційній роботі бакалавра розглядається економічна доцільність розробки системи автоматизації технологічного процесу виробництва коксу.

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

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

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

4.2 Розрахунок капітальних витрат пов'язаних з впровадженням системи керування

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

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

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

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

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

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

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

Вартість основного та допоміжного обладнання наведена в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Зведення капітальних витрат C_{OB} [24, 25]

№	Найменування	Одиниці виміру	Кількість	Вартість (грн.)	Сума (грн.)
1	ПЛЛ VIPA 214DPM (214-1BM02)	од.	1	13 774,40	13 774,40
2	Модуль аналогового вводу VIPA 231-1BD40	од.	1	4 740,30	4 740,30
3	Модуль аналогового виводу VIPA 232-1BD40	од.	1	7 210,30	7 210,30
4	Датчик струму T201	од.	1	1 755,00	1 755,00
5	Частотний перетворювач IDS Drive Z402T4B	од.	1	16 000,00	16 000,00
6	Мережний кабель	м	150	27,45	4 117,50
7	Система керування, виконана на базі ПК	од.	1	38 600,30	38 600,30
8	Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301	од	2	1 450,00	2 900,00
	Разом				89 097,80

Вартість основного та допоміжного обладнання $C_{OB} = 89\,097,80$ грн.

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

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

Витрати на транспортно-заготівельні і складські роботи складають:

$$D_{TP} = 89\,097,80 \cdot 0,08 = 7\,127,83 \text{ (грн.)}.$$

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

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

Витрати на монтажні-налагоджувальні роботи складають:

$$M_{MN} = 89\,097,80 \cdot 0,07 = 6\,236,85 \text{ (грн.)}.$$

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_h – витрати праці на налаштування програмного забезпечення (люд.-год.);

t_g – витрати праці на підготовку документації по завданню (люд.-год.).

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

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

де Q – умовна кількість операторів в програмному забезпеченні;

q – кількість операторів у програмному забезпеченні;

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

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

Виходячи з програмного забезпечення, як правило розробленого на мові Structured Text типове значення для подібних систем керування має діапазон 1500... 250, приймаємо $q = 350$);

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

$$Q = 180 * 1,35 * (1 + 0,1) \approx 268$$

Витрат праці на підготовку і опис завдання в кваліфікаційній роботі складають $t_o = 24$ (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:

$$t_u = 268 \cdot 1,5 / (80 \cdot 1,2) \approx 5 \text{ (люд. – год.)}.$$

Витрати на розробку алгоритму керування визначаються як:

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

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_a = 268 / (20 \cdot 1,2) \approx 12 \text{ (люд. – год.)}.$$

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:

$$t_n = 268 / (20 \cdot 1,2) \approx 12 \text{ (люд. – год.)}.$$

Витрати праці на налаштування програми розраховуються як:

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

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_h = 268 / (4 \cdot 1,2) \approx 56 \text{ (люд. – год.)}.$$

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:

$$t_{др} = 268 / (15 * 1,2) \approx 15 \text{ (люд. - год.)}.$$

Трудомісткість редагування, друку та оформлення документації визначається як:

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

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_{до} = 0,75 * 15 = 12 \text{ (люд. - год.)}.$$

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

$$t_g = 15 + 12 = 27 \text{ (люд. - год.)}.$$

Таким чином трудомісткість розробки програмного забезпечення становить:

$$t = 24 + 5 + 12 + 12 + 56 + 27 = 136 \text{ (люд. - год.)}$$

4.3.2 Розрахунок витрат на розробку програмного забезпечення

Витрати на розробку програмного забезпечення (ПЗ) визначається як:

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

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

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

Заробітна плата розробника програмного забезпечення визначається як:

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

де t – час розробки ПЗ, год;

$C_{пр}$ – середня годинна тарифна ставка розробника програмного забезпечення (приймаємо $C_{пр} = 125,00$ (грн./год.)).

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$Z_{зп} = 136 * 125,00 = 17\,000,00 \text{ (грн.)}.$$

Вартість машинного часу, необхідного для налаштування програми визначається як:

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

де t_n – час налаштування ПЗ, год;

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

Приймаємо $C_{\text{мч}} = 16,50$ (грн./год.), тоді вартість витрат на програмне забезпечення, що розробляється становить:

$$З_{\text{мі}} = 12 * 16,50 = 198,00 \text{ (грн.)}.$$

Витрати на розробку програмного забезпечення системи керування становлять:

$$K_{\text{пз}} = 17\,000,00 + 198,00 = 17\,198,00 \text{ (грн.)}.$$

Очікувана тривалість розробки програмного забезпечення:

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

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

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

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

$$T = 136 / (1 * 176) \approx 0,75 \text{ (міс.)}.$$

Таким чином проєктні капітальні витрати:

$$K_{\text{пкв}} = 89\,097,80 + 7\,127,83 + 6\,236,85 + 17\,198,00 \approx 119\,660,48 \text{ (грн.)}.$$

4.4 Розрахунок експлуатаційних витрат

Річні експлуатаційні витрати розраховуються як:

$$C_e = C_a + C_3 + C_c + C_{\text{р0}} + C_{ee} + C_{\text{інш}}, \quad (4.17)$$

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.);

$C_{\text{р0}}$ – витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт обладнання (грн.);

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

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

Визначимо експлуатаційні витрати при впровадженні системи керування.

4.4.1 Амортизація основних фондів

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

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

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

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

де H_a – норма амортизації (%);

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

Амортизація основних фондів визначається як:

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

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

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

Отже, норма амортизації для проекрованої системи керування складає:

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

Сума амортизації для проекрованої і базової системи становить:

$$C_a = 119\,660,48 \cdot 40/100 = 47\,864,20 \text{ (грн.)},$$

4.4.2 Розрахунок фонду заробітної плати

Номінальний річний фонд робочого часу одного працівника:

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

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

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

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

T_B – відпустка ($T_B = 21$ (день));

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

Таким чином, річний фонд робочого часу працівника складе:

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

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

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

Таблиця 4.2 – Розрахунок заробітної плати персоналу

№ п/п	Найменування професії робітників	Число працюючих, чол.	Годинна тарифна ставка, грн./год.	Річний фонд робочого часу (год.)	Пряма заробітна плата, грн.	Додаткова заробітна плата (8%), грн.	Доплати (7%), грн.	Всього заробітна плата, грн.
1	Оператор	3	95,50	1 840	527 160,00	42 172,80	36 901,20	606 234,00
2	Технолог	1	105,50		194 120,00	15 529,60	13 588,40	223 238,00
3	Наладчик	1	98,20		180 688,00	14 455,04	12 648,16	207 791,20
Разом								1 037 263,20

Заробітна плата персоналу проектної системи керування

$$C_3 = 1\,037\,263,20 \text{ (грн.)}.$$

4.4.3 Відрахування на соціальні заходи

Відрахування на соціальні заходи визначаються як:

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

Відповідно до цього відрахування становлять:

$$C_C = 0,22 * 1\,037\,263,20 = 228\,197,91 \text{ (грн.)}$$

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:

$$C_{PO} = 0,05 * 119\,660,48 = 5\,983,03 \text{ (грн.)}$$

4.4.5 Витрати на електроенергію

Вартість електроенергії, споживаної системою керування, розробленої у проєкті:

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

де K_e – кількість електроенергії, спожите проєктною системою керування (приймаємо $K_e = 1,25$ (кВт · год.));

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

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

T_e – тариф на електроенергію для підприємств (для користувачів електроенергії 2 класу тариф складає 0,93998 грн.-кВт з ПДВ).

Таким чином вартість електроенергії становить:

$$C_{ee} = 1,25 * 365 * 24 * 0,93998 = 10\,292,79 \text{ (грн.)}$$

4.4.6 Інші витрати

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

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

Таким чином інші витрати становлять:

$$C_{ІНШ} = 0,04 * 1\,037\,263,20 = 41\,490,53 \text{ (грн.)}$$

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

$$C = 47\,864,20 + 1\,037\,263,20 + 228\,197,91 + 5\,983,03 + 10\,292,79 + 41\,490,53 = 1\,371\,091,66 \text{ (грн.)}$$

Таблиця 4.4 – Експлуатаційні витрати

№ п/п	Назва показника	Сума, грн.
1	Амортизація	47 864,20
2	Фонд заробітної плати	1 037 263,20
3	Відрахування на соціальні виплати	228 197,91
4	Ремонт та технічне обслуговування	10 292,79
5	Електроенергія	5 983,03
6	Інше	41 490,53
7	Загалом	1 371 091,66

4.5 Висновки за розділом

При впровадженні проєктованої системи капітальні витрати складають 120 тис. грн., час розробки ПЗ становитиме 0,75 місяці.

Річні експлуатаційні витрати, пов'язані з впровадженням системи становитимуть приблизно 1,4 млн. грн.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

У кваліфікаційній роботі бакалавра розглядається економічна доцільність розробки системи автоматизації технологічного процесу виробництва коксу.

Умови праці мають велике значення практично для всіх виробничих показників - продуктивності праці, якості робіт, безпеки працівників та інше. Санітарно-гігієнічні умови праці характеризуються показниками виробничого середовища - рівнем освітлення, мікрокліматичними параметрами, загазованістю і запиленістю повітряного середовища, рівнем шуму і вібрації, наявністю іонізуючого випромінювання та інше.

5.1 Інженерно-технічні заходи з безпеки праці

5.1.1 Електробезпека

5.1.1.1 Приміщення оператора

Приміщення операторської з точки зору небезпеки враження людини електричним струмом у відповідності з ПУЕ-76 відноситься до класу 1 (без підвищеної небезпеки). Умови, що визначають клас даного приміщення – це наявність струмопровідних підлог, перекриття.

На пульті управління оператора напруга $U = 220 / 380$ В, частота $f = 50$ Гц.

Параметри напруги, що використовуються в мережі для пристроїв автоматизації та сигналізації:

- струм – змінний;
- режим нейтралі – глухо-заземлений;
- тип електромережі – трьохфазна, чотирьохпровідникова мережа із глухо-заземленою нейтраллю.

Можливі причини ураження людей електричним струмом:

коротке замикання;

- відсутність або старіння ізоляції;
- неузгодженні включення/відключення обладнання;
- порушення наряду-допуску до ремонту електромереж.

Для забезпечення електробезпеки передбачені організаційні і технічні заходи:

- інструктаж і навчання безпечним методам праці;
- встановлення блокування безпеки та огорожі;
- встановлення плакатів і знаків безпеки;
- недоступність елементів установки, що знаходяться під напругою (кабелі вкладаємо в полівінілхлоридові труби, піддати захисту: недоступність кабелів на висоті $h_{min} = 2,7 \dots 3$ м, застосування огорожувальних пристроїв);
- ізоляція струмопровідних частин пульта керування ($R \geq 0,5$ МОм);
- електророзділення мережі за допомогою спеціальних роздільних трансформаторів;
- рубильники включення замкнені в спеціальних шафах, різні кольори пускового та робочого обладнання (табл. 5.1).
- при роботі з електроінструментом ($U \leq 42$ В), застосовуються індивідуальні засоби захисту, такі як діелектричні рукавички і калоші, гумові килимки, ізольовані підставки.

Таблиця 5.1 - Кольори маркування та розміщення шин у електроустановках

Шина	Колір маркування шин	Розміщення шин		
		При розміщенні ошиновки		У відгалуженнях
		Вертикальному	Горизонтальному	
Фаза А	Жовтий	Верхня	Найбільш віддалена	Ліва
Фаза В	Зелений	Середня	Середня	Середня
Фаза С	Червоний	Нижня	Ближня	Права
Нульова робоча	Блакитний	-	-	-
Нульова захисна	Продольні жовті та зелені полоси	-	-	-

До обслуговування електрообладнання допускаються особи, що склали кваліфікаційній комісії іспит з ПУЕ електроустановок будь-якого типу, а також пройшли відповідний інструктаж на робочому місці.

Під час роботи лінії забороняється виконувати ремонт, наладку та змащування частин, що рухаються, доторкатись до гарячих та рухомих частин, працювати при відкритих щитках та огороженнях.

В випадку якої-небудь небезпеки або поміченої несправності необхідно негайно зупинити установку натисканням аварійної кнопки “СТОП” та повідомити про це майстра.

В аварійному режимі використовується пристрій занулення і захисне

5.1.1.2 Місце розміщення система керування

Електричні установки, з якими доводиться мати справу практично всім працюючим по встановленню та налагодженню засобів автоматизації, виявляють для людини велику потенційну небезпеку, яка збільшується у зв'язку з тим, що органи чуття людини не можуть на відстані виявити присутність електричної напруги на обладнанні.

Степінь ураження електричним струмом залежить від цілого ряду факторів: значення сили струму, електричного опору тіла людини та тривалості протікання через неї струму, виду та частоти струму, індивідуальних властивостей людини та умов навколишнього середовища.

Конструкція електроустановок має відповідати умовам їх експлуатації та забезпечувати захист персоналу від дотику зі струмопровідними та рухомими частинами, а обладнання - від попадання всередину зайвих твердих тіл та води.

Конструкція, вид виконання, спосіб встановлення, клас ізоляції застосовуваних провідників, кабелів, пристроїв та іншого електрообладнання відповідають вимогам електробезпеки. За ступенем ураження людей електричним струмом котельня відноситься згідно ПУЕ 1.1.13 до категорії приміщень з підвищеною небезпекою (висока температура, можливість одночасного дотику до металевих елементів технологічного обладнання або металоконструкцій будинку та металевих корпусів електрообладнання).

У нормальному режимі роботи обладнання - можливість ураження працівників електричним струмом виключена. Але на випадок аварії для запобігання ураження струмом людей передбачене захисне заземлення.

Згідно ПУЕ 1.7.65 допустимий опір заземлення повинен бути не більшим 10 Ом.

При виконанні монтажних робіт використовуються переносні електроінструменти (електродрилі, електрошліфувальні установки, тощо). Для забезпечення безпечної праці корпуси однофазних електроприймачів повинні загулюватись.

Захист людини від ураження електричним струмом в мережах з зануленням здійснюється тим, що при замиканні одної з фаз на занулений корпус в ланці цієї фази виникає струм короткого замикання, що діє на струмовий захист (плавкий запобіжник, автомат), в результаті чого відбувається відключення аварійної ділянки від мережі. Крім того, ще до спрацювання захисту струм короткого викликає перерозподіл напруги в мережі, що приводить до зниження напруги корпусу відносно землі. Таким чином, занулення зменшує напругу дотику та обмежує час, на протязі якого людина, що доторкнулася до корпусу, може потрапити під дію напруги.

Для того, щоб забезпечити швидке (на протязі декількох секунд) відключення аварійної ділянки, струм короткого замикання повинен бути достатньо великим. Відповідно до вимог ПУЕ струм короткого замикання повинен не менше ніж в три рази перевищувати номінальний струм плавкої вставки найближчого запобіжника або номінальний струм нерегульованого розчеплювача автоматичного вимикача. При використанні автоматичних вимикачів, що мають тільки електромагнітний розчеплювач (відсічку), струм короткого замикання повинен перевищувати значення струму встановлення миттєвого спрацювання в 1,25...1,4 рази в залежності від номінального струму.

В однофазних електроприймачів, що включені між фазним та нульовим робочим проводами, занулення корпусів слід виконувати з допомогою

окремого (третього) провідника, який повинен з'єднувати корпус електроприймача з нульовим захисним проводом. В таких випадках під'єднувати корпуси електроприймачів для забезпечення електробезпеки до нульового робочого проводу недопустимо, оскільки при його розриві (перегоранні запобіжника) всі під'єднані до нього корпуси виявляться під фазною напругою відносно землі.

В мережі з зануленням недопустимо використовувати заземлення окремих електроприймачів, не під'єднавши їх перед цим до нульового захисного провідника. В цьому випадку при замиканні фази на заземлений, але не приєднаний до нульового захисного провідника корпус створюється коло струму через заземлення цього корпусу та заземлення нейтралі джерела струму. Такий випадок небезпечний, оскільки засоби захисту не зможуть відключити такий електроприймач через мале значення струму і тому небезпечна напруга на всіх корпусах може зберігатися тривалий період, поки заземлений приймач не буде відключений вручну.

Важливо відмітити, що якщо занулений корпус одночасно заземлений, то це тільки покращує умови безпеки, оскільки забезпечує додаткове заземлення нульового захисного проводу.

Для ізоляції людини від частин електроустановок, що знаходяться під напругою, використовуються основні та допоміжні ізолюючі засоби, а саме слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками, килимки, ізолюючі підставки, тощо.

У приміщеннях, де знаходяться вимірювальні прилади, необхідно забезпечити виконання заходів по боротьбі з статичною електрикою (тобто прилади повинні бути заземлені). Найпростішим засобом є підтримка відносної вологості повітря на рівні 50...60 % за допомогою побутового електрозволожувача.

Підлогу слід виконувати відповідно до ГОСТ 12.4.124-83, використовуючи антистатичне покриття на проходах і біля робочих місць.

Робітникам рекомендовано носити одягу з природних матеріалів або з комбінованих - природних і штучних волокон. Для зняття електростатичних зарядів з одяжі слід використовувати антистатики побутового призначення.

Оскільки корпуси приладів виконані з металу, то для усунення небезпеки ураження людини електричним струмом (можливий пробій на корпус приладу) використовується захисне заземлення.

5.1.2 Виробниче освітлення

Виробництво, що розглядається потребує зорової уваги. В операторній використовуються лампи денного світла. В приладах використовується підсвічування шкали. В цеху використовується змішаний тип освітлення (природне освітлення доповнюється штучним). Проектом передбачене робоче, евакуаційне, аварійне і ремонтне освітлення. Тип джерела світла для системи загального освітлення – лампа LED (виробник – АХІОМА energy), потужність $W = 10$ Вт, потік $\Phi = 1\ 000$ лм, термін служби – 25 000 годин, кількістю 40 од., так як висота цеху понад 10 метрів і доцільно використовувати цей тип лампи. Передбачається штучне освітлення у всіх приміщеннях і на всіх майданчиках установки, нормована освітленість повинна становити: комбінованого освітлення – $E_{нор1} = 200$ лк, загального освітлення – $E_{нор2} = 150$ лк, фактична становить $E_{факт} = 240$ лк що відповідає вимогам ДБНВ 2.5.28 – 2006.

5.1.3 Виробничий шум та вібрація

Джерелами шуму та вібрації в даному виробництві виступають електродвигуни. Шум класифікується як постійний. Рівень шуму – $L = 100$ дБ, що не відповідає вимогам.

Оператор, що здійснює спостереження за технологічним процесом, знаходиться в операторній, в цьому приміщенні необхідно забезпечити рівень шуму згідно з регламентом. Для зменшення виробничого шуму передбачено проведення наступних заходів:

- операторська повинна бути виконана цегляною кладкою, оштукатуреною з обох сторін ($\Delta L = 15$ дБ).
- встановлення екранів, за допомогою футеровки корпусів двигунів і насосів ($\Delta L = 15$ дБ).
- своєчасне змащування всіх поверхонь, що труться ($\Delta L = 6$ дБ).
- своєчасний ремонт всіх механічних вузлів за регламентом ($\Delta L = 8$ дБ).

Фактичний рівень шуму – $L = 60$ дБА, що відповідає вимогам згідно з ДСН 3.3.6.037-99.

Персонал необхідно забезпечити індивідуальними засобами захисту – протишумові навушники ПШН – Б та протишумові вкладиші «Беруши СТ – 1». Технологічний об'єкт керування витримує рівень вібрації з частотою до 25 Гц та з амплітудою не більш ніж 0,1 мм.

Вібрації виникають внаслідок неточності установки обертаючих частин, нещільного з'єднання корпусів обертаючих частин до фундаменту.

Заходи проти вібрацій:

- обладнання лінії встановлено на фундаменти, маса яких набагато перевищує масу встановленого обладнання;
- використання гумових прокладок в якості амортизаторів;
- проектування додаткових ребер жорсткості.

Рівень технологічної вібрації у приміщенні не перевищує 90 дБ при частоті 4 Гц, що відповідає ДСН 3.3.6.039 – 99.

Для захисту рук від впливу загальної вібрації передбачене взуття на товстій гумовій підошві, відповідно до ГОСТ 12.4.002-74.

Для контролю рівня шуму і вібрації передбачений прилад ВШВ-003 і шумо-віброзамірний комплекс ШВК-1.

Сумарний час роботи в контакті з вібрацією не перевищує 2/3 робочої зміни. Тривалість неперервної дії вібрації не перевищує 15..20 хв. При такому режимі обідня перерва не менше 40 хвилин.

5.1.4 Повітря робочої зони

Робота оператора по обслуговуванню апарата належить до категорії легких робіт (категорія Іб) по ГОСТ 12.1.005-88, тому що вона проводиться сидячи, не потребує систематичного фізичного навантаження або підняття ваги.

Енерговитрати людини досягають 150 ккал/год (категорія робіт – легкі фізичні роботи: категорія Іб).

Згідно з ГОСТ фізичні параметри умов відповідають нормам:

- температура, фактична допустима – 21...23 °С (для холодного періоду року), 22...24°С (для теплого періоду року);
- відносна вологість – 40...60% (для холодного й теплого періодів року);
- швидкість руху повітря – 0,1 м/с (для холодного періоду року), 0,2 м/с (для теплого періоду року);
- у холодний період року, нагрівання помешкання відбувається батареями з теплоносієм водою, нагрітою до температури 50...60°С;
- у теплий час року – вентиляцією.

Умови повітря робочої зони відповідають ДСН 3.3.6.042-99.

Місце роботи оператора обладнано замкнутою системою вентиляції і кондиціонування, для яких використовуються осьові вентилятори Ц4-70.

Нижче наведені гранично дозволена концентрація (ГДК) шкідливих речовин в повітрі робочої зони за ГОСТ 12.1.005-88/98 (у мг/м³):

Таблиця 5.1 - Значення ГДК шкідливих речовин в повітрі робочої зони

Речовина	Значення ГДК, мг/м ³	Клас небезпеки
Аміак	20	IV
Оксид вуглецю	20	IV

Тому застосовується експрес-метод, який дозволяє з достатньою точністю визначати концентрацію шкідливих речовин, безпосередньо, на робочому місці. Суть його полягає в протягуванні певного обсягу повітря через контрольні трубки з індикаторним порошком, який реагує зміною кольору на вміст шкідливих речовин у повітрі. До приладів експрес-методу відносяться газоаналізатори: УГ-2; ГХ-100; ГХ-4 та ін. Метод безперервного автоматичного

контролю застосовується на робочих місцях з постійним впливом шкідливих речовин, які можуть викликати серйозні порушення в стані здоров'я людей або привести до аварій за рахунок виникнення вибухонебезпечності та пожежонебезпеки. Контроль проводиться автоматизованими системами із записом змін шкідливості в повітрі у часі із застосуванням газоаналізаторів: Сирена-2 для аміаку і т. д. У зв'язку з цим, цех поділу повітря постачається устаткуванням припливно-витяжної вентиляції.

Технічні засоби, що забезпечують безпеку органів дихання: респіратор газо-пилозахисний «Клен - ГП», та респіратор ШБ – 1 «Лепесток – 200».

5.2 Пожежна безпека

Оскільки в процесі формування вуглецевих виробів приймають участь легкозаймисті речовини (кам'яно-вугільний пек), та відбувається процес прожарювання, то дане виробництво належить до категорії Б (вибухопожежонебезпечне). Клас вибухонебезпечної зони 2 (відповідно до ПУЕ).

Виходячи з категорії пожежної безпеки виробництва (категорія Б) визначаємо потрібну ступінь вогнестійкості будівлі – клас 2 (згідно з СНиП2.01.02-85).

На основі вибраної ступені вогнестійкості обираємо найменшу допустиму межу вогнебезпечності основних будівельних конструкцій.

Протипожежні перегородки виконуються з матеріалів, що не горять і мають спиратися на фундаменти, встановлюватися на всю висоту цеху. В залежності від категорії пожежної безпеки та ступені вогнестійкості будівлі (А) визначаємо максимально допустиму відстань від найбільш віддаленого робочого місця до найближчого експлуатаційного виходу для об'єму приміщення $48\ 600\ \text{м}^3$ - при густині людського потоку в спільному проході до 1 чол/м - найбільш допустима відстань 40 метрів. Кількість евакуаційних виходів - 2. Ширину тамбурів евакуаційних виходів слід приймати більшу, ніж ширина дверних проходів на 0,5 (по 0,25 м з кожного боку): ширина дверей найменша – 0,8 м, найбільша – 2,4 м.

Вибираємо тип та кількість первинних засобів пожежогасіння: На 400...500 м вуглекислотних вогнегасників - 2 (типу ручних: ВВБ-7, ВВ-8), пінні, хімічні, повітряно-пінні та порошкові вогнегасники – 4 од.; бочка з водою та відро, ящики з піском, совкові лопати, протипожежні покривала. Також повинні бути передбачені вогнегасники – САМ-9 з установкою в місцях розташування ємності та апаратів з ЛЗР, також передбачені щити з протипожежним інвентарем. Вогнегасники та пожежний інвентар мають червоне пофарбування, а бочки з водою та ящики з піском ще й відповідні написи білою фарбою. Пожежний інструмент фарбується в чорний колір. Бочки для зберігання води з метою пожежогасіння встановлюються у виробничому приміщенні. Такі бочки повинні бути укомплектовані пожежним відром місткістю не менше 8 л. Ящики з піском місткістю 0,5, 1,0 та 3,0 м³ та повинні бути укомплектовані совковою лопатою. Протипожежні покривала, виготовлені з негорючого теплоізоляційного полотна, грубо бавовняної тканини повинні мати не менш як 2 x 1 м та 2 x 2 м. Передбачена система виявлення пожежі та її гасіння. Система виявлення пожежі забезпечує відключення системи живлення та кондиціонування повітря.

Системи звукової та візуальної сигналізації забезпечують негайне оповіщення основного персоналу. По попередженню вибухів передбачене герметичне устаткування, автоматичні локальні засоби пожежогасіння. Приміщення відділені від цеху негорючими перегородками з межею вогнестійкості 0,75 години.

Це приміщення захищене від атмосферної електрики по категорії-1 згідно з СН-305-77.

5.3 Висновки по розділу

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

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі слід було розробити систему керування, яка б виготовляла продукцію високої якості, з мінімальними енерговитратами на виробництво. Для реалізації цієї мети необхідно створити високоточну математичну модель процесу прожарювання вуглецевої сировини в електрокальцинаторі шахтного типу. Оскільки процес має досить складну та нелінійну (динамічну) характеристику, то для розробки системи керування необхідно розробити спрощену модель процесу, яка зможе доволі точно відтворювати результати моделювання початкової (складної) моделі, але при цьому матимете значно менший час розрахунку.

Для створення ефективної системи керування необхідно на основі отриманої математичної моделі провести дослідження динаміки об'єкту.

Обрано канал керування «швидкість вивантаження (завантаження) матеріалу - «сила струму (непрямий метод вимірювання температурного поля робочого простору електрокальцинатора)».

Для дослідження залежності температурного поля від технологічних параметрів обрано наступні параметри:

- вивантаження матеріалу, т/год 1,2...1,6 (дозатор ДТА-200);
- значення змінного струму, кА 15...20 кА.

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 незначним запізненням.

За результатами параметричної ідентифікації встановлено, що структура моделі об'єкта керування відповідає аперіодичній ланці другого порядку без запізнення, яка має наступні розраховані параметри: коефіцієнт підсилення -12,783 і постійні часу 23535 с та 7095,9.

Комплексна перевірка на адекватність моделі до об'єкта керування за перевірочними даними об'єкта керування показала високу відповідність 86,89 %, сильний кореляційний зв'язок 0,993 та статичний критерій адекватності Фішера 601 484 значно більше критичного значення 2,706. Велике значення статичного критерію адекватності Фішера обумовлено великою кількістю вибірових даних та близьким до 1 значенням коефіцієнта кореляції.

Враховуючи аналіз технологічного процесу, структури об'єкта керування, характеристик отриманих за результатами експериментів, результатів структурної та параметричної ідентифікації та статистичного аналізу модель є адекватною до об'єкта керування та може бути використана у подальшому при синтезі системи керування в умовах досліджуваного технологічного обладнання – електрокальцинатору ИЕТ-10..

При впровадженні проекрованої системи капітальні витрати складають 120 тис. грн., час розробки ПЗ становитиме 0,75 місяці.

Річні експлуатаційні витрати, пов'язані з впровадженням системи становитимуть приблизно 1,4 млн. грн.

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

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Методичні рекомендації для студентів бакалаврів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» Ткачов В.В., Бубликов А.В., Цвіркун Л.І., Проценко С.М., Бойко О.О., Славинський Д.В., – Д.: «НГУ», 2016. – 27 с.
2. Бойко О.О. Методичні вказівки до лабораторних робіт з проектування систем автоматизації для студентів напрямку підготовки «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / О.О. Бойко – Д.: Державний ВНЗ «НГУ», 2017. – 109 с. – Режим доступу: <https://goo.gl/Ev6J4Z>. – Назва з домашньої сторінки Інтернету.
3. Бойко О.О., Проценко С.М. Методичні вказівки до лабораторних робіт з програмування систем реального часу для студентів напрямків підготовки «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», «Комп'ютерна інженерія» / О.О. Бойко, С.М. Проценко – Д.: Державний ВНЗ «НГУ», 2017. – 168 с. – Режим доступу: <https://goo.gl/rBf8Zm>. – Назва з домашньої сторінки Інтернету.
4. Бойко О.О. Методичні вказівки до лабораторних робіт з теорії автоматичного управління для студентів напрямку підготовки «Комп'ютерна інженерія» / Укл.: О.О. Бойко – Д.: Державний ВНЗ «НГУ», 2017. – 107 с. – Режим доступу: <https://goo.gl/nUMtFE>. – Назва з домашньої сторінки Інтернету.
5. Голінько В.І., Фрундін В.Ю. Охорона праці в галузі електротехніки та електромеханіки – Д.: Державний ВНЗ «НГУ», 2011. – 235 с.
6. 2017р. Серія: Технічні науки. Вип. 34 ISSN 2225-6733 Автоматизація процесів та систем. УДК 62-503.56 Жученко О.А., Хібеба М.Г. Постановка задачі керування електрокальцинатором у виробництві вуглецевих виробів.
7. Кокс. Режим доступу:
<https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BA%D1%81>

8. 3-19 Закономірності процесу високотемпературного оброблення сипучих вуглецевих матеріалів в електричних печах: монографія / Т.В.Лазарєв, А.Я.Карвацький, Є.М.Панов та ін. – К.: НТУУ «КПІ», 2016. – 154 с. – Бібліогр.: с. 144–151. – 300 прим. ISBN
9. Санников А. К. Производство электродной продукции / А. К.Санников, А. Б. Сомов, В. В. Ключников и др. – М.: Металлургия, 1985 г. – 129 с.
10. Чалых А.Ф. Графитация углеродистых материалов А.Ф.Чалых, В.П. Соседов – М.:Металлургия, 1987 г. – 176 с. – Библиогр.: с. 176. – 1230 экз.
11. Чалых А.Ф. Технология и оборудование электродных и электроугольных предприятий / А.Ф.Чалых – М.:Металлургия, 1987 г. – 432 с. – Библиогр.: с. 176. – 1230 экз.
12. Гринев А.Ф. Металлургическая и горнорудная промышленность 2009 г.
13. Карвацкий А.Я., Панов Е.Н., Кутузов С.В., Шилович И.Л., Васильченко Г.Н., Лелека С.В. Теоретические и экспериментальные исследования теплоэлектрического и механического состояния высокотемпературных агрегатов, Киев НТУУ «КПИ» 2012.
14. Лазарєв Т. В. Закономірності процесу високотемпературного оброблення рухомого шару сипучих вуглецевих матеріалів в електричних печах – електрокальцинаторах. – Автореферат.
15. Жученко О.А. Statement of the optimization problem of carbon products production / О.А.Жученко // Міжнародний науково-виробничий журнал «Автоматизація технологічних і бізнес-процесів» Vol. 8, issue 2/2016. С. 39-44.
16. Шулепов С.В. Физика углеграфитовых материалов / А. К. Санников, А. Б. Сомов, В. В. Ключников и др. – М.: Металлургия, 1985 г. – 129 с. – Библиогр.: с. 128. – 1230 экз.
17. М.В. Губинский М.В., Федоров С.С., Ливитан Н.В. Гогоци А.Г. Анализ энергетической эффективности печей для высокотемпературной термической обработки углеродных материалов / Металлургическая и горнорудная промышленность. №2, 2013.

18. Дикарева А.В., Герасименко Т.Е., Мешков Е.И. Математическая модель тепловой работы электрокальцинатора [Текст] / ФГБОУ ВПО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)», г. Владикавказ 2012.
19. Панов Е. Н., Карвацкий А. Я., Лелека С. В., Кутузов С. В., Степура П. В. Моделювання процесу графітування нафтового коксу в шахтній електропечі неперервної дії [Текст] / Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ Відкрите акціонерне товариство «Український графіт», Запоріжжя.
20. Цыбуля Е.И. Повышение качественных характеристик термоантрацита для производства угольной продукции металлургического назначения / Журнал Весник 2014 г.
21. Бородуля В.А. Высокотемпературные процессы в электротермическом кипящем слое / В. А. Бородуля – Минск.: Наука и техника, 1973 г. – 173 с.
22. Петров Б. Ф. Энергосбережение при производстве электродного термоантрацита / Б.Ф. Петров – К.: Екотехнология, 2006 г. – 144 с.
23. Губинский М. В. Анализ энергетической эффективности печей для высокотемпературной термической обработки углеродных материалов / М.В.Губинский, С.С.Федоров, Н.В.Ливитан, А.Г.Гогоци и др./ Металлургическая и горнорудная промышленность, №2, 2013.
24. Трансформатор переменного тока Seneca T201. Режим доступа: <https://kipservis.ru/seneca/izmeritelnyi-transformator-toka-t-201.htm>
25. Частотный преобразователь 5,5 кВт Режим доступа: <https://www.electrotechnica.ru/i13.html/srednyaya-moschnost/5-5-kvt/chastotnyj-preobrazovatel-5-5-kvt>
26. Міждержавний стандарт ГОСТ 12.0.003-74 (1999) ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».
27. ДСН 3.3.6.042-99 „Державні санітарні норми параметрів мікроклімату” - К.: МОЗ України, 2000.
28. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування.

29. 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.
30. Правила улаштування електроустановок Мінпаливвугілля України. – 2017 – 617с.
31. «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості на небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». № 528 - 2001.
32. Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями, затверджені наказом Мінсоцполітики від 14.02.2018 № 207.
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. ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень».

40. Внутренние санитарно-технические устройства / Под ред. И. Г. Староверова: Ч.2. Вентиляция и кондиционирование воздуха. - М.: Стройиздат, 1978.-509.
41. ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення».
42. ДСН 3.3.6.037–99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку».
43. ДСН 3.3.6.039-99 «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації».
44. ДСТУ ГОСТ 26568: 2009 «Вибрация методы и средства защиты».
45. ДСТУ ІЕС 61140: 2015 «Захист проти ураження електричним струмом. Загальні аспекти щодо установок та обладнання».
46. ДБН В.1.1-7-2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва».
47. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухо-пожежною та пожежною небезпекою».
48. ДСТУ 3675-98 «Пожежна техніка. Вогнегасники переносні. Загальні технічні вимоги та методи випробувань».
49. ДБН В.2.5-56-2014 «Системи протипожежного захисту».
50. ДСТУ Б В.2.5-38:2008 «Улаштування блискавкозахисту будівель та споруд».

ВІДГУКИ КОНСУЛЬТАНТІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

ВІДГУК

кваліфікаційна робота бакалавра: «Автоматизація технологічного процесу виробництва коксу»,

студент гр. 151-18-1 Васюков Ярослав Юрійович

Об'єкт розробки – система автоматичного керування ланками технологічного процесу виробництва коксу.

Об'єкт дослідження – електричну піч для прожарювання сировини - електрокальцинатор ИЕТ-10.

Предмет дослідження – проведення структурної і параметричної ідентифікації та визначення математичної моделі об'єкта керування.

Режим прожарювання проводиться за показаннями струму джерела живлення і за встановленим по технологічним параметрам значення. Вивантаження чергової порції матеріалу з печі проводиться при встановленому значенню сили струму. Після того як свіжий матеріал під дією сил гравітації надійде в робочу зону, опір завантаження зростає і сила струму зменшується, оскільки значення напруги живлення для обраного технологічного процесу залишається постійним. Через деякий час завантаження нагріється до заданої температури, опір матеріалу знизиться, показники струму знову зростуть до максимальної межі і знову проводиться вивантаження і т. д. Системи керування має підтримувати процес вивантаження постійним.

Для створення ефективної системи керування за обраним каналом керування «швидкість вивантаження матеріалу - «сила струму» необхідно провести активний експеримент з метою отримання параметрів об'єкту керування .

Виходячи з отриманих результатів можливо зробити висновок, що модель відповідає об'єкту керування, та може бути використана для подальшої розробки підсистеми керування.

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

Цілі, поставлені перед кваліфікаційною роботою, повністю виконані. ПЗ і графічна частина кваліфікаційної роботи виконана відповідно до вимог ГОСТ і ЕСКД, зауважень до проекту немає.

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

Оцінки по розділах кваліфікаційної роботи - « _____ ».

Кваліфікаційна робота в цілому заслуговує оцінку « _____ », а студент привласнення освітнього рівня «бакалавр» 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 коксу»,

студент гр. 151-18-1 Васюков Ярослав Юрійович

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

Рецензент, _____

_____.06.2022

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувачем кафедри
кіберфізичних та інформаційно-
вимірювальних систем

_____ Бубліковим А.В.

« _____ » _____ 2022 року

ВИСНОВОК

Про рівень запозичень у кваліфікаційній роботі бакалавра на тему «Автоматизація технологічного процесу виробництва коксу», здобувача вищої освіти, групи 151-18-1, Васюков Ярослав Юрійович.

Загальний обсяг кваліфікаційної роботи без переліку посилань складає _____ сторінок. Програмне забезпечення використане для перевірки роботи “<https://unichек.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:
1011437405

Дата перевірки:
02.06.2022 18:20:22 EEST

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:
02.06.2022 18:29:26 EEST

ID користувача:
100008838

Назва документа: 01_151_-18_Васюков_Я_Ю_-_ПЗС

Кількість сторінок: 92 Кількість слів: 16070 Кількість символів: 123433 Розмір файлу: 2.23 MB ID файлу: 1011316988

48.6% Схожість

Найбільша схожість: 29.2% з Інтернет-джерелом (https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/29018/1/Barchan_bakalavr.pdf)

48.6% Джерела з Інтернету

86

Сторінка 94

Не знайдено джерел з Бібліотеки

0% Цитат

Вилучення цитат вимкнене

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнене

24.1% Вилучень

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

2.6% Вилучення з Інтернету

74

Сторінка 95

24.1% Вилученого тексту з Бібліотеки

18

Сторінка 95

Модифікації

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

Замінені символи

59