

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій,
автоматизації, електроінженерії та радіоелектроніки

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра автоматики та телекомунікацій

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри автоматики та
телекомунікацій

І.С. Лактіонов

(підпис) (ініціали, прізвище)

«__» _____ 2021 р.

Випускна кваліфікаційна робота

бакалавра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему «Розробка системи автоматизації коксування вугільної шихти»

Виконав: студент 4 курсу, групи АКТ-17

(шифр групи)

спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(шифр і назва спеціальності)

Яценко Єгор Миколайович

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник старший викладач кафедри АТ

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

О.М. Бурлака

(підпис)

Рецензент _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

*Засвідчую, що у цій випускній кваліфікаційній
роботі немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.*

Студент _____

(підпис)

Покровськ – 2021 р.

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій,
автоматизації, електроінженерії та радіоелектроніки

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра автоматики та телекомунікацій

(повна назва кафедри)

Захист відбувся _____

(дата)

з оцінкою _____

Секретар ДЕК _____

(підпис)

Випускна кваліфікаційна робота

бакалавра

Тема: «Розробка системи автоматизації коксування вугільної шихти»

—

Спецчастина: _____

Виконавець, студент

гр. АКТ – 17

Яценко Є.М.

(підпис, дата, П.І.П)

Керівник

ст. викл. Бурлака О.М.

(підпис, дата, П.І.П)

Консультанти:

доц. Лактіонов І.С.

(підпис, дата, П.І.П)

ст. викл. Бурлака О.М.

(підпис, дата, П.І.П)

доц. Поцєпаєв В.В.

(підпис, дата, П.І.П)

ст. викл. Тюрін Є.А.

(підпис, дата, П.І.П)

Нормоконтроль

ас. Жуковська Д.О.

(підпис, дата, П.І.П)

Покровськ – 2021

**Державний вищий навчальний заклад
"Донецький національний технічний університет"**

Інститут, факультет Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації, електроінженерії та радіоелектроніки

Кафедра Автоматика та телекомунікації

Освітній ступінь _____ бакалавр

Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри АТ
Лактіонов І.С.

« _____ » 2021 року

З А В Д А Н Н Я
НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Яценко Єгор Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Розробка системи автоматизації коксування вугільної шихти

керівник проекту (роботи) Бурлака Олександр Миколайович

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від 16.04.2021 року № 173

2. Строк подання студентом проекту (роботи).

3. Вихідні дані до проекту (роботи)

Технічна документація та матеріали з переддипломної практики

4.Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) кількісний і якісний аналіз; оцінка характеристик; обґрунтування предмету та об'єкту автоматичного контролю; обґрунтування компонентної бази та алгоритмів роботи; розробка структурної схеми системи автоматичного контролю; комп'ютерне моделювання системи.

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

—

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	ст. викл. каф. АТ Бурлака О.М.		
2	зав. каф. АТ, к.т.н., доц., Лактіонов І.С.		
3	доц., доц. каф. АТ, к.т.н., Поцєпаєв В.В.		
А	ст. викл. каф. ОП, Тюрін Є.А.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Огляд відомих систем автоматизації технологічного процесу коксування шихти та обґрунтування завдання на розробку САУ	05.05.2021 р.	
2	Обґрунтування структурної схеми, принципів роботи та програмно-апаратного забезпечення автоматизації технологічного процесу вивантаження коксу з печі	21.05.2021 р.	
3	Результати розробки і моделювання системи автоматизації технологічного процесу вивантаження коксу з печі	08.06.2021 р.	

Студент

(підпис)

Яценко Є.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Бурлака О.М.

(прізвище та ініціали)

ЛИСТ ЗАУВАЖЕНЬ

Посада П.І.Б.	Суть зауваження, оцінка та підпис

АНОТАЦІЯ

Яценко Є.М. Розробка системи автоматизації коксування вугільної шихти / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття ОС «Бакалавр» за спеціальністю 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології. – ДВНЗ «ДонНТУ», м. Покровськ, 2021 р.

Пояснювальна записка: 59 стор., 25 рис., 1 табл., 18 посилань, 1 додаток.

В умовах коксохімічних підприємств, з точки зору, впровадження засобів автоматизації одним із основних етапів технологічного процесу приготування коксу є процес виштовхування готового коксу із камер печі. Отже, розробка засобів автоматизації технології вивантаження коксу з печей є актуальною і важливою задачею. Наведена кваліфікаційна робота направлена на розробку рекомендацій що обґрунтування можливих шляхів і напрямків вирішення актуальної проблеми безпаперової реєстрації, обробки й інтерпретації вимірювальної інформації в умовах ПРАТ «АКХЗ». Основна мета цієї бакалаврської роботи полягає в розробці науково-практичних підходів до удосконалення засобів і пристроїв автоматизації процедури коксування вугільної шихти шляхом обґрунтування структурної схеми, а також вибору апаратних компонент і розробки програмних засобів точного і оперативного контролю та безпаперової реєстрації вимірювальних даних.

Основні результати роботи: критичний аналіз сучасного стану розробки програмно-апаратних засобів автоматизації технологічної операції вивантаження коксу; структурна схема та алгоритми роботи системи автоматичного керування процесом вивантаження коксу з камер печі; обґрунтований вибір апаратних компонент та стандартизованих програмних засобів контролю й керування технологічним процесом вивантаження коксу з камер печі; оцінка результатів із розробки програмно-апаратних засобів системи автоматичного керування процесом вивантаження коксу з камер печі.

Ключові слова: САК, КОКС, ДАТЧИК, ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА, МОДЕЛЬ, ВИШТОВХУВАЧ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1 ОГЛЯД ВІДОМИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ КОКСУВАННЯ ШИХТИ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАВДАННЯ НА РОЗРОБКУ САУ	11
1.1 Аналіз технологічного процесу коксування вугільної шихти	11
1.2 Аналіз характерних особливостей технологічного процесу вивантаження коксу з печі	17
1.3 Аналіз відомих програмно-апаратних засобів автоматизації технологічної операції вивантаження коксу	23
1.4 Постановка задачі дослідження бакалаврської роботи.....	28
Висновки до розділу 1.....	30
2 ОБҐРУНТУВАННЯ СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ, ПРИНЦИПІВ РОБОТИ ТА ПРОГРАМНО-АПАРАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИВАНТАЖЕННЯ КОКСУ З ПЕЧІ.....	31
2.1 Структурна схема та базові принципи роботи системи автоматизації процесу вивантаження коксу з печі.....	31
2.2 Датчики та мікропроцесорні засоби системи автоматизації процесу вивантаження коксу з печі	35
2.3 Програмна компонента обробки й інтерпретації результатів вимірювального контролю.....	41
Висновки до розділу 2.....	42
3 РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРОБКИ І МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИВАНТАЖЕННЯ КОКСУ З ПЕЧІ.....	43
3.1 Результати комп'ютерного моделювання контуру керування силою струму електродвигуна машини виштовхування коксу	43
3.2 Результати імітаційного моделювання контуру керування швидкістю переміщення коксовиштовхувача	46

Висновки до розділу 3.....	49
ВИСНОВКИ.....	50
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	52
ДОДАТОК А.....	54

ВСТУП

Кокс кам'яновугільний виступає на теперішній час головною сировиною для генерування енергії в умовах більшості металургійних комбінатів України та інших країн світу.

Сировинною основою вугільної шихти є коксівні марки вугілля. Такий тип кам'яного вугілля є найбільш коштовним сортом. На сьогоднішній день металургійні комбінати і заводи України забезпечуються коксівним вугіллям, яке видобувають у західному Донбасі.

В умовах коксохімічних підприємств, з точки зору, впровадження засобів автоматизації одним із основних етапів технологічного процесу приготування коксу є процес виштовхування готового коксу із камер печі. Отже, розробка засобів автоматизації технології вивантаження коксу з печей є актуальною і важливою задачею.

Ця кваліфікаційна робота направлена на розробку рекомендацій що обґрунтування можливих шляхів і напрямків вирішення актуальної проблеми безпаперової реєстрації, обробки й інтерпретації вимірювальної інформації в умовах ПРАТ «Авдіївський коксохімічний завод».

Основна мета цієї бакалаврської роботи полягає в розробці науково-практичних підходів до удосконалення засобів і пристроїв автоматизації процедури коксування вугільної шихти шляхом обґрунтування структурної схеми, а також вибору апаратних компонент і розробки програмних засобів точного і оперативного контролю та безпаперової реєстрації вимірювальних даних щодо параметрів і характеристик технологічного процесу вивантаження коксу з печі.

Задля досягнення поставленої основної мети роботи виникає потреба у вирішенні **наступних задач**:

— провести критичний аналіз та виконати логічне узагальнення сучасного стану розробки програмно-апаратних засобів автоматизації технологічної

операції вивантаження коксу;

- розробити структурну схему та обґрунтувати алгоритми роботи системи автоматичного керування процесом вивантаження коксу з камер печі;

- реалізувати обґрунтований вибір апаратних компонент і блоків та стандартизованих програмних засобів контролю й керування технологічним процесом вивантаження коксу з камер печі;

- оцінити методами моделювання та проаналізувати отримані результати з розробки програмно-апаратних засобів системи автоматичного керування процесом вивантаження коксу з камер печі.

Об'єкт дослідження і розробки – структурно-алгоритмічна організація системи автоматичного керування технологічним процесом вивантаження коксу з печі.

Предмет дослідження і розробки – апаратно-програмні засоби бездротового обміну та безпаперової реєстрації вимірювальної інформації щодо параметрів і характеристик технологічного процесу вивантаження коксу з печі.

Структура і обсяг представленої кваліфікаційної бакалаврської роботи є наступним. Пояснювальна записка у вигляді рукопису складається зі вступу, трьох розділів, висновків і переліку використаних літературних джерел. Загальний обсяг пояснювальної записки: 59 стор., із яких 48 стор. основного тексту, 25 рис., 1 табл., 18 посилань, 1 додаток.

1 ОГЛЯД ВІДОМИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ КОКСУВАННЯ ШИХТИ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАВДАННЯ НА РОЗРОБКУ САУ

1.1 Аналіз технологічного процесу коксування вугільної шихти

Сировинною базою для виробництва коксу слугують різноманітні типи кам'яного вугілля, в основному коксові. Шихтою для виробництва коксу служать різні сорти кам'яного вугілля: коксові, худі, жирні, газові та інші. Основу вугільної шихти складає коксівне вугілля. Цей тип вугілля є найбільш дорогим сортом. На теперішній час металургійні заводи України забезпечуються коксівним вугіллям західного Донбасу. Перед початком процесу коксування вугілля має бути подрібненим і збагаченим. Із нього прагнуть видалити частки мінеральних порід, що призводить до загального зниження вмісту золи в коксі. Після цього кам'яновугільну шихту зволожують та направляють до коксових печей.

Під час нагрівання без доступу повітря дрібні частинки вугілля починають переходити до пластичного стану та поступово розм'якшуються. Отримана пластична маса починає обволікати тверді гранули вугілля, що не коксується. За температури більше 450 °C у суцільній пластичній клейкій масі починає протікати процес розкладання вугілля на складові частини. До таких складових відносяться: аміак, вуглеводневі сполуки та багато інших органічних сполук. Також під час протікання процесу коксування виділяються газоподібні речовини, які спучують розм'якшену масу вугілля, що призводить до утворення в ній численних пор. У процесі протікання сухої перегонки маса вугілля, що коксується, все більш збагачується вуглецем, а також втрачає пластичність і за температур від 590 °C до 640 °C переходить у стан напівкоксу. Після підвищення температури до значення 1150 °C починається процес утворення коксу [1].

Кам'яновугільний кокс отримують у камерних печах, що за відомою технологією об'єднані в коксові батареї. Загальна продуктивність типових коксових батарей становить до 1 млн тон коксу на рік. Батарея може мати в своєму складі до 75 коксувальних камер. Стінки камер викладають із вогнетривкої динасової цегли.

Об'єм камери має становити до 42 м^3 . Такі розміри дозволяють виготовлювати в ній до 20 т коксу за один цикл завантаження. Типова коксова камера має форму сірникової коробки з наступними розмірами: ширина – 0,5 м, висота – 5 та довжина – 15 м [1].

Загальний вигляд типової коксової батареї в розрізі наведений на рисунку 1.1.

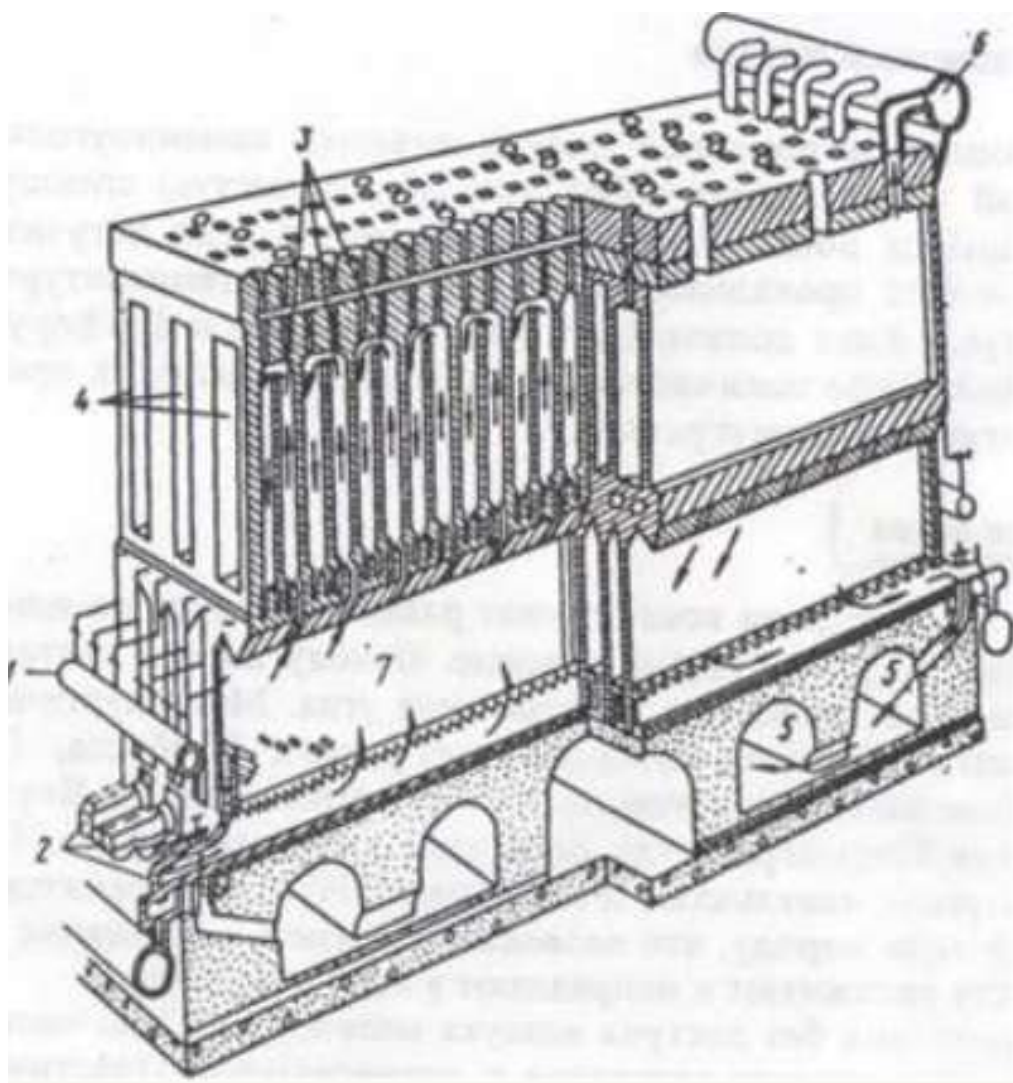


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд коксової батареї в розрізі

На рисунку 1.1 позначено:

- 1 – канал подавання повітря;
- 2 – канал подавання газу;
- 3 – канали опалювальні вертикальні;
- 4 – камери для коксування;
- 5 – технологічний відсік для зберігання продуктів згоряння;
- 6 – канал для відведення газоподібних продуктів, що утворюються в процесі коксування;
- 7 – регенератори.

У верхній частині коксової камери вбудовані люки, через які виконується завантаження шихти. У передній та задній частинах камера закривається дверима, які відкриваються за допомогою спеціальних пристроїв.

Печі для коксування вугілля опалюються доменним та / або коксовим газом, який спалюється у простінках між камерами. Тепло, що виділяється в результаті спалювання газу, передається цегляній кладці стін камер печі та витрачається на нагрів вугільної маси. Для забезпечення і підтримання процесу коксування температура всередині камери коксової печі повинна становити не менше 1100 °С, а температура вертикалі – не менше 1400 °С [2].

Продукти, які утворюються під час спалювання газу, з вертикалу надходять до камери регенератора. Через ґратчасту насадку в регенераторі циркулюють розпечені пічні гази.

Повітря, яке проходить через регенератор, підлягає нагріванню, а вогнетривка кладка, навпаки, охолоджується. Дим, що утворюється в результаті протікання такого процесу, направляють до іншого регенератора. Після цього відбувається штучна зміна напрямків потоків повітря і газу. Отже, такий принцип регенерації тепла з метою нагрівання повітря й повернення тепла назад до коксового агрегату широко використовується в коксохімічній промисловості.

Часовий інтервал нагрівання коксового пирога триває від 14 год. до

16 год. За цей проміжок часу вугільна маса проходить поступово всі необхідні стадії коксування. Процес нагрівання відбувається від зовнішньої стінки коксової камери до її центру. Спочатку спостерігається прогрівання вугілля, яке знаходиться біля стінок камери. Цей шар вугільної шихти швидко спікається та перетворюється в кокс. Середні шари шихти перетворюються в кокс значно пізніше. Тільки через проміжок часу від 8 год. до 9 год. спостерігається розм'якшення та коксування вугілля, яке знаходиться у середніх шарах коксової камери [1, 2].

Одним із основних етапів технологічного процесу приготування коксу, актуальність модернізації засобами автоматизації якого була встановлена під час проходження переддипломної практики на підприємстві ПРАТ «Авдіївський коксохімічний завод», є процедура вивантаження коксу з камер печі.

Задля вивантаження коксу попередньо камера печі має бути відключена від трубопроводу, до якого спрямовано газоподібні продукти коксування вугільної шихти. Далі відкриваються дверцята по обидва боки. З передньої частини камери вздовж рейок підкочується коксовиштовхувальна машина (коксовиштовхувач). Горизонтальна штанга коксовиштовхувач занурює до камери черевик та плавно поглиблює його всередину коксового пирога, що призводить до поступового видавлювання готового коксу до вагону гасіння та збирання коксу.

Під час технологічної операції виштовхування до вагону коксовий пиріг починає розламуватись вздовж смоляних швів на дві половини та розсипається на значно дрібніші частки. Вагон із гарячим коксом рухається до гасільної вежі, в якій гарячий кокс піддається процедурі інтенсивного охолодження за мокрою або сухою технологією.

Варто зазначити, що у теперішній час великого розповсюдження та впровадження набуває спосіб сухого гасіння коксу із використання азоту. Такий метод гасіння дозволяє використовувати теплоту розпеченого коксу і отримувати в подальшому значно міцніший кокс.

Гази, що були нагріті під час протікання процесу гасіння коксу, у подальшому використовують для отримання пари та генерування електричної енергії. Іншими прийомами щодо підвищення продуктивності показників роботи коксових батарей є використання методики брикетування вугільної шихти перед початком процесу коксування у шматки, що мають розміри волоського горіху, з подальшим ущільненням шихти, яка завантажується до коксову камеру. Під час такого способу варто враховувати той факт, що шихта має бути попередньо підігріта.

Попередній підігрів вугільної шихти реалізується з використанням гарячого азоту, який нагрівається в процесі сухого гасіння коксу до температур від 1000 °C до 1100 °C. Після того, як азот пройшов технологічну ланку котла-утилізатора, його температура має бути знижена до 400 °C та він направляється в технологічні камери для нагріву шихти. Охолоджений азот після цього знову застовується під час гасіння коксу. Нагрівання вугільної шихти відбувається в реакторах киплячого шару в підвішеному стані. Часовий інтервал цього нагріву становить від 3 хв. до 5 хв.

Після цього вугільна шихта із використанням пневмотранспорту, за допомогою того ж азоту, надходить до коксової печі задля завантаження.

Задля оцінки готового коксу приймають до уваги різні його показники і властивості. Одним із основних параметрів є вміст золи в коксі, який має бути мінімально можливим, адже зола є не тільки баластом, який призводить до зменшення вмісту вуглецю в готовому коксі, але в подальшому потребує додаткових витрат вапняку для виведення шлаків, а також додаткової витрати тепла задля розплавлення шлаку.

Також негативним фактором є те, що зола зменшує міцність коксу. Орієнтовний нормальний вміст золи у коксі має варіюватись у діапазоні від 8 % до 12 %. Також важливим є вміст сірки, що має становити від 0,5 % до 2,0 %. Високий вміст сірки є небажаним явищем, адже використання сірчистого коксу під час доменної плавки металів потребує підвищеного додавання флюсу задля зниження граничної концентрації сірки в чавуні, що, в свою чергу, зменшує

1.2 Аналіз характерних особливостей технологічного процесу вивантаження коксу з печі

До основних коксових агрегатів, що становлять основну сукупність, яка підлягає процесам автоматизації, відносяться: машини завантаження вугілля, виштовхувачі коксу, машини для знімання дверей, електровози. Усі ці засоби мають бути поєднані системами автоматики з дотриманням функціоналу взаємного блокування.

Виштовхувач коксу є однією з найбільш важливих і функціональних машин коксового цеху. В умовах коксохімічних підприємств України на теперішній час прийнято до експлуатації декілька конструкцій коксовиштовхувальних машин. Ці машини було виготовлено на різних машинобудівних заводах та вони відрізняються між собою облаштуванням окремих вузлів і механізмів.

Опорна конструкція виштовхувача коксу являє масивну залізну багатоярусну конструкцію, яка виготовляється з профільного металу (двотаврових і швлерних балок). На нижньому ярусі такої конструкції розташовано функціональний механізм, який призначено для пересування виштовхувача коксу; на другому ярусі розташований пристрій для виштовхування коксу; на третьому ярусі – пристрій для знімання дверей і кабіна пульту керування. На четвертому (верхньому) ярусі облаштовані колії, вздовж яких рухається балка, що котиться, з показником вантажопідйомності до трьох тон. Цей ярус використовується для монтажних і ремонтних задач. Усі яруси, за виключенням верхнього, перекриті майданчиками, які поєднані між собою сходами. В кутах нижнього ярусу вбудовані коробки для фіксації балансирних візків. Із передньої сторони таких коробок закріплені буфери залізничного типу [4].

Пересування коксовиштовхувальної машини вздовж рейкового шляху відбувається з використанням чотирьох балансирних візків. Дві з яких є провідного типу та мають шестерні для зчеплення з приводним механізмом.

Основними структурними блоками механізму пересування є електромотор, редуктор та еластична муфта. Редуктор призначений для обертання головного наскрізного валу, на кінцях якого закріплені шестерні, що зачіпляються з шестернями на балансирних провідних візках. Ходові колеса візків облаштовані по обидва боки ребордами. На задніх балансирах вмонтовані горизонтальні ролики, що впираються у рейки й витримують значні бічні зусилля, які виникають під час видачі печей. На головному валу коксової машини розміщується автоматичний гонг, який генерує звукові сигнали під час пересування машини.

Таким чином, можна сказати, що коксовиштовхувач – це спеціалізована машина коксової батареї, яка призначена для виштовхування коксу з камер печі.

Такі машини здатні обслуговувати батареї коксових печей з одиничним обсягом камер коксування в діапазоні від 10 м³ до 52 м³. Також коксовиштовхувальні машини здатні виконувати від 10 до 30 основних і допоміжних операцій, а також технологічних переходів із різними додатковими супроводжуючими опціями, такими як [5]:

- переміщення і транспортування;
- знімання та встановлення дверей коксової печі;
- видача готового коксу з камери коксової печі;
- розрівнювання шару вугільної шихти;
- очищення та поточне обслуговування рам і дверей;
- піднімання, опускання та очищення дверей люка;
- приймання, вивантаження і зберігання шихти, що виштовхується з печі під час планування завантаження;
- піднімання та опускання персоналу, який обслуговує двері камер коксових печей;
- прибирання коксу, що просипається.

Серед вітчизняних підприємств, які виготовляють подібні машини виштовхування коксу, зарекомендував себе Слов'янський машинобудівний

завод. Він виготовлює дві типові конструкції таких машин, як показано на рисунках 1.3 і 1.4 [5].

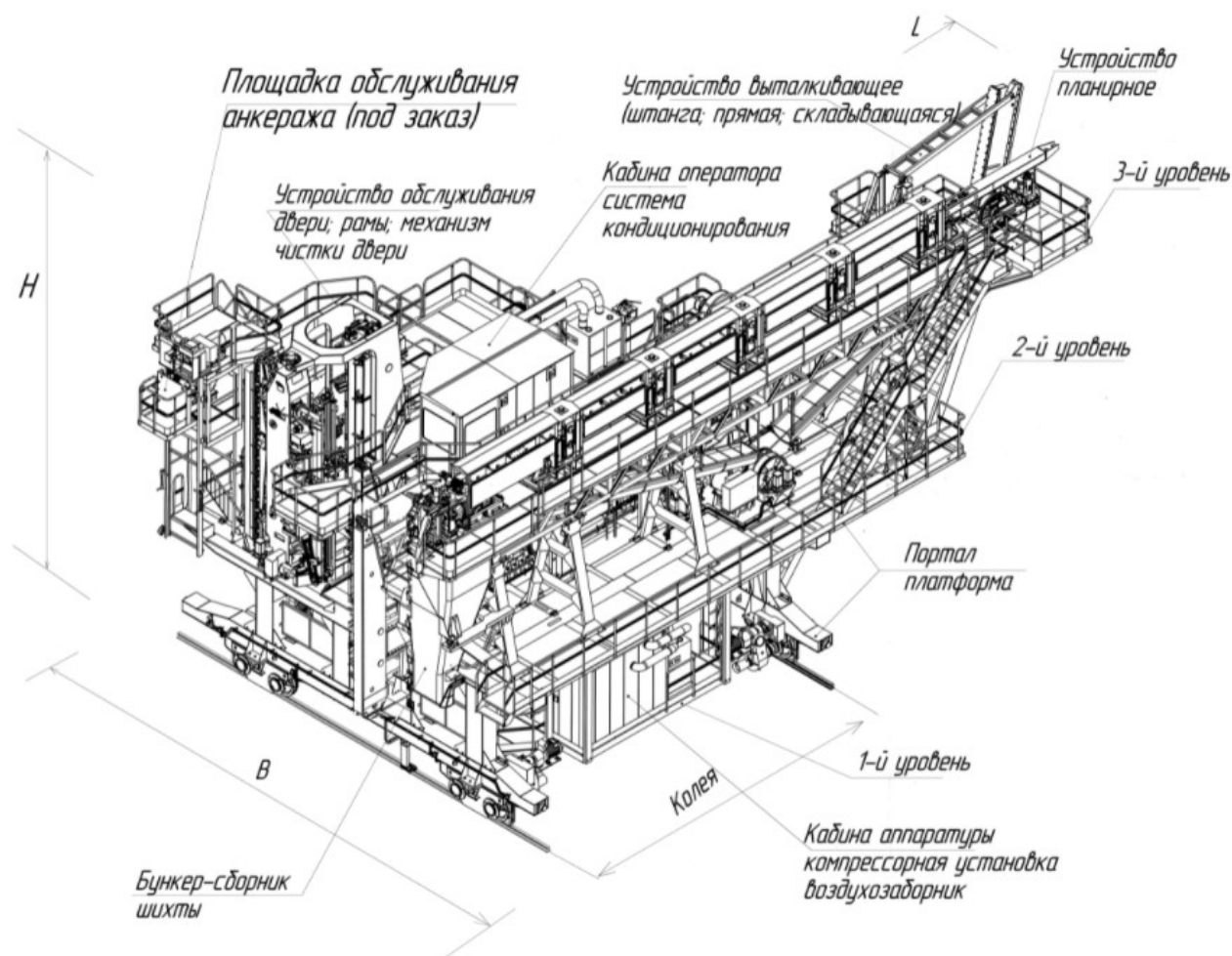


Рисунок 1.3 – Креслення з позначеннями типового трьохповерхового виштовхувача коксу

Компонування та інтеграція функціональних пристроїв, агрегатів і механізмів забезпечують можливість одночасної роботи з однієї або декількох позицій. Енергозабезпечення таких машин і типи приводів є наступними: електричний, пневматичний і гідравлічний. Наявний принцип керування – релейно-контактна система, а також вбудовані частотні перетворювачі та логічні контролери. Основний режим роботи – автоматизований за групами операцій. Номінальний показник продуктивності: від 5 до 7 видавань / годину. Типовий час одного циклу обслуговування становить до 12 хвилин.

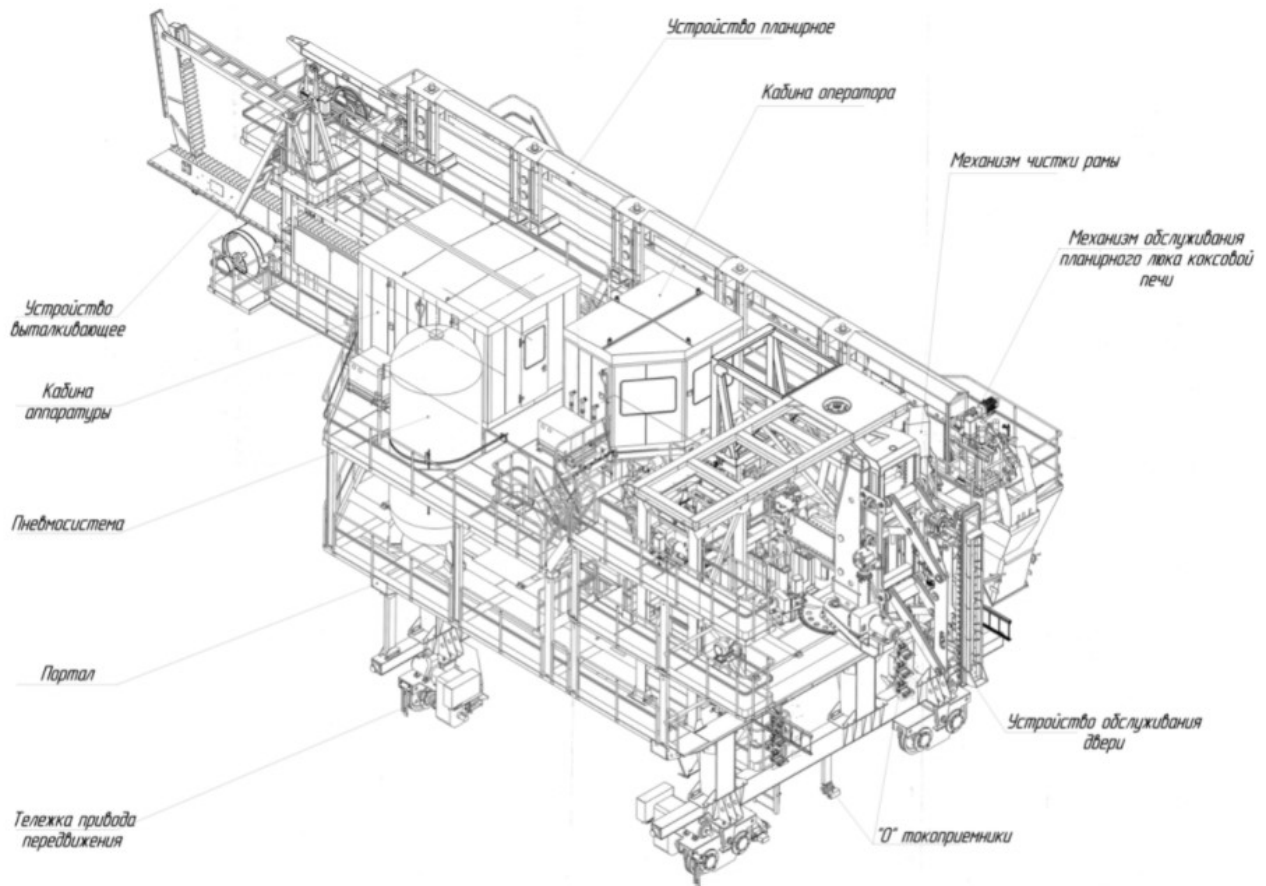


Рисунок 1.4 – Креслення з позначеннями типового виштовхувача коксу
однопозиційного порталного

Таким чином, на підставі аналізу схем типових конструкцій коксовиштовхувачів, які наведено на рисунках 1.3 і 1.4, було встановлено, що коксовиштовхувач складається з наступних функціональних вузлів, блоків і механізмів:

- механізм переміщення виштовхувача коксу;
- пристрій, що виконує функції виштовхування та обезграфічування;
- пристрій для обслуговування рами та дверей;
- механізм знімання дверей;
- пневматична система;
- система керування та блокувань;
- пристрій повітряного екранування.

Варто зазначити, що в умовах ПРАТ «Авдіївський коксохімічний завод»

використовується вдосконалена типова конструкція коксовиштовхувача RSP 6, як показано на рисунку 1.5.

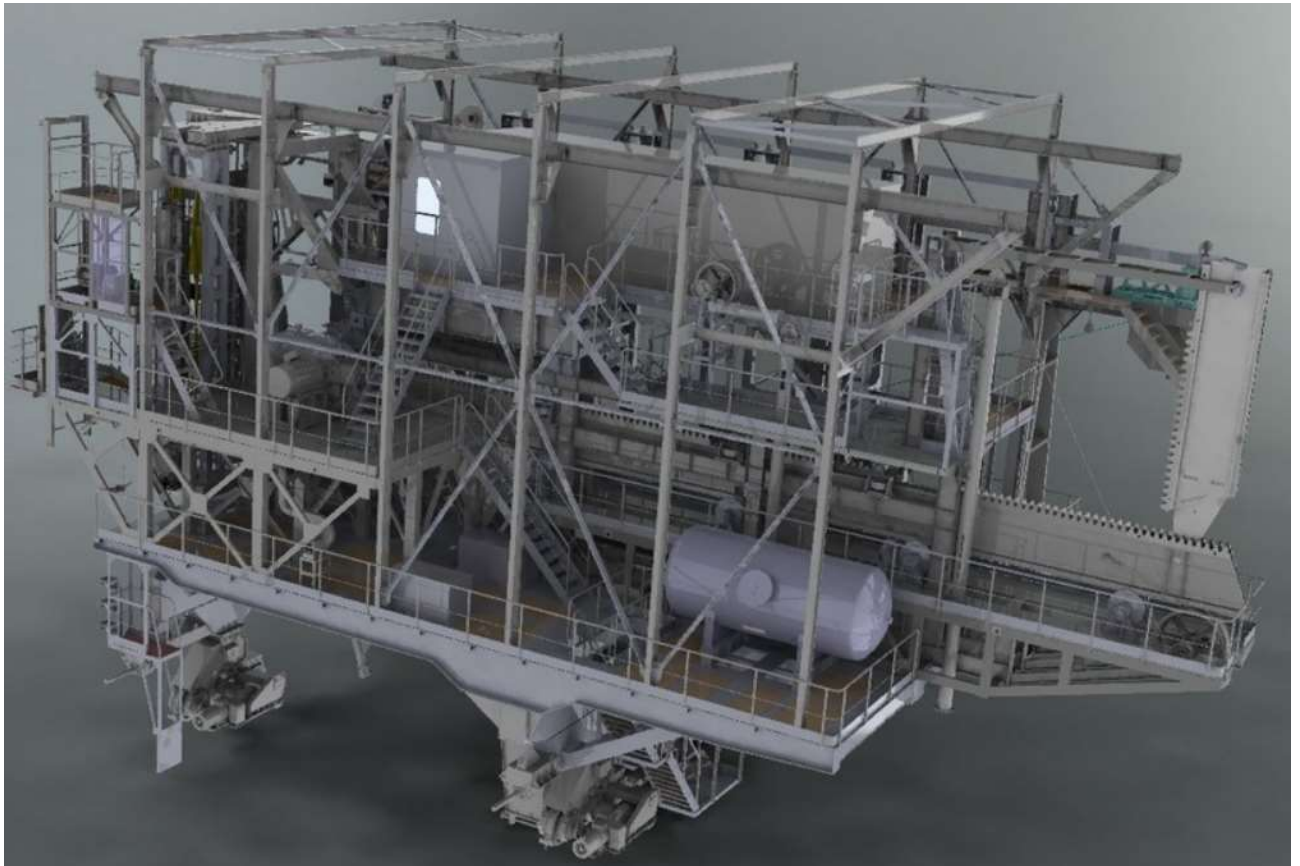


Рисунок 1.5 – Зовнішній вигляд конструкції виштовхувача коксу на
ПРАТ «АКХЗ»

Механізм руху коксовиштовхувальної машини реалізується за наступною кінематичною схемою, яку наведено на рисунку 1.6.

Основними вимогами, які пред'являються до електропривода, що забезпечує рух виштовхувача коксу, є [6, 7]:

- має бути забезпечена задовільна продуктивність механізму (не менше семи циклів за годину);
- показник переміщення виконавчого робочого органу має реалізовуватись у межах заданого періоду часу (не має перевищувати 70 с за один цикл);
- параметр прискорення машини не повинен перевищувати заданого

граничного значення – $0,15 \text{ м/с}^2$;

– відхилення швидкості руху у встановленому режимі не повинно перевищувати допустимого значення – від 1 м/с до $1,7 \text{ м/с}$;

– має бути забезпечений функціонал оперативного переходу на понижену швидкість – $0,45 \text{ м/с}$;

– значення еквівалентного струму (моменту) має варіюватись у межах від $0,85$ до $1,1$ від гранично допустимого значення;

– двигун має витримувати короточасні перевантаження, що періодично виникають під час роботи;

– мають прийматись до обліку умови енергозбереження робочої коксовиштовхувальної машини (допустимі коливання напруги від -15% до $+10 \%$ від номінальної напруги), а також можливі зміни, масштабування та адаптації технологічного процесу.

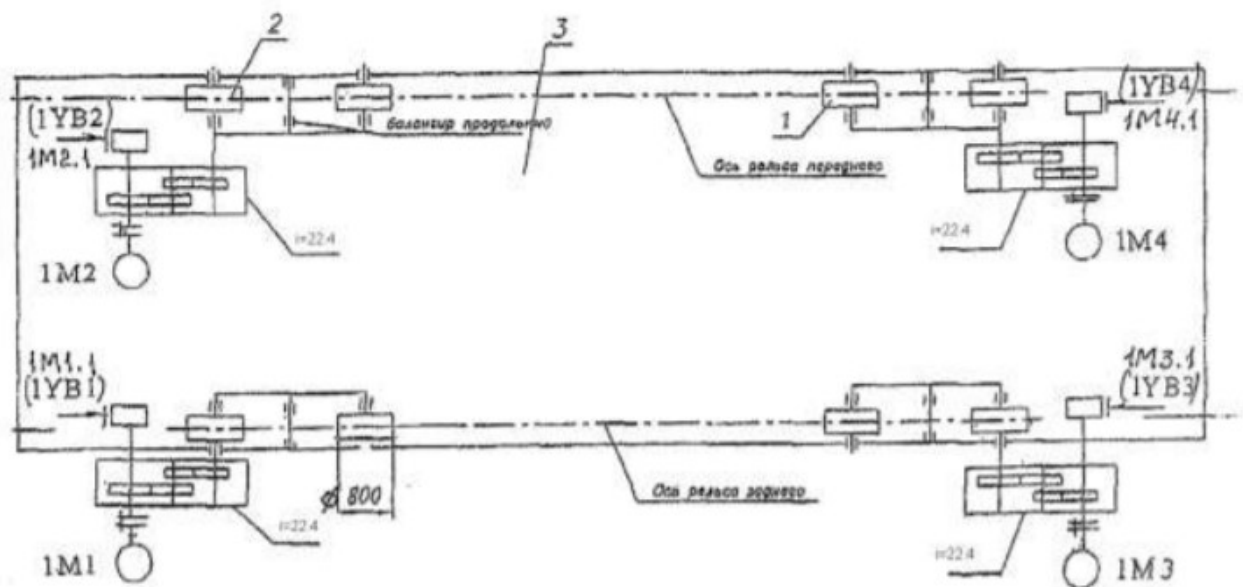


Рисунок 1.6 – Кінематична схема механізму руху коксовиштовхувальної машини

Таким чином, на підставі аналізу отриманих результатів відомих бібліографічних досліджень, які наведено в п. 1.2 «Аналіз характерних особливостей технологічного процесу вивантаження коксу з печі», а також із

урахуванням експертних оцінок, що були отримані під час проходження переддипломної практики в умовах ПРАТ «Авдіївський коксохімічний завод» було встановлено, що більшість використовуваних на сьогоднішній день коксовиштовхувальних машин є достатньо досконалими технічними агрегатами. Головна проблема забезпечення високої ефективності технологічної операції вивантаження коксу з камер печі, що може бути вирішена з використанням засобів автоматизації та комп'ютерно-інтегрованої техніки, полягає у відсутності високоефективних програмно-апаратних технічних рішень із оперативного, точного та надійного збору, обміну й інтерпретації результатів моніторингу за поточним станом виштовхувачів коксу.

Отже, наступним етапом бібліографічних досліджень бакалаврської роботи є аналіз відомих програмно-апаратних рішень із автоматичного контролю поточного стану технологічного процесу вивантаження коксу з камер печі.

1.3 Аналіз відомих програмно-апаратних засобів автоматизації технологічної операції вивантаження коксу

Під час аналізу існуючих програмних і апаратних технічних засобів із автоматизації технологічних операцій вивантаження коксу в умовах коксохімічних підприємств основну увагу було приділено сучасних SCADA- та інфокомунікаційним комп'ютерно-інтегрованим технологіям автоматизації, що дозволяють стимулювати вирішення проблеми безпаперової реєстрації інформації.

Типовим прикладом існуючої впровадженої системи автоматичного контролю та управління машиною вивантаження коксу є САК від компанії ЭЛАКС [8].

Графічний інтерфейс такої системи промислової автоматики наведений

на рисунку 1.7.

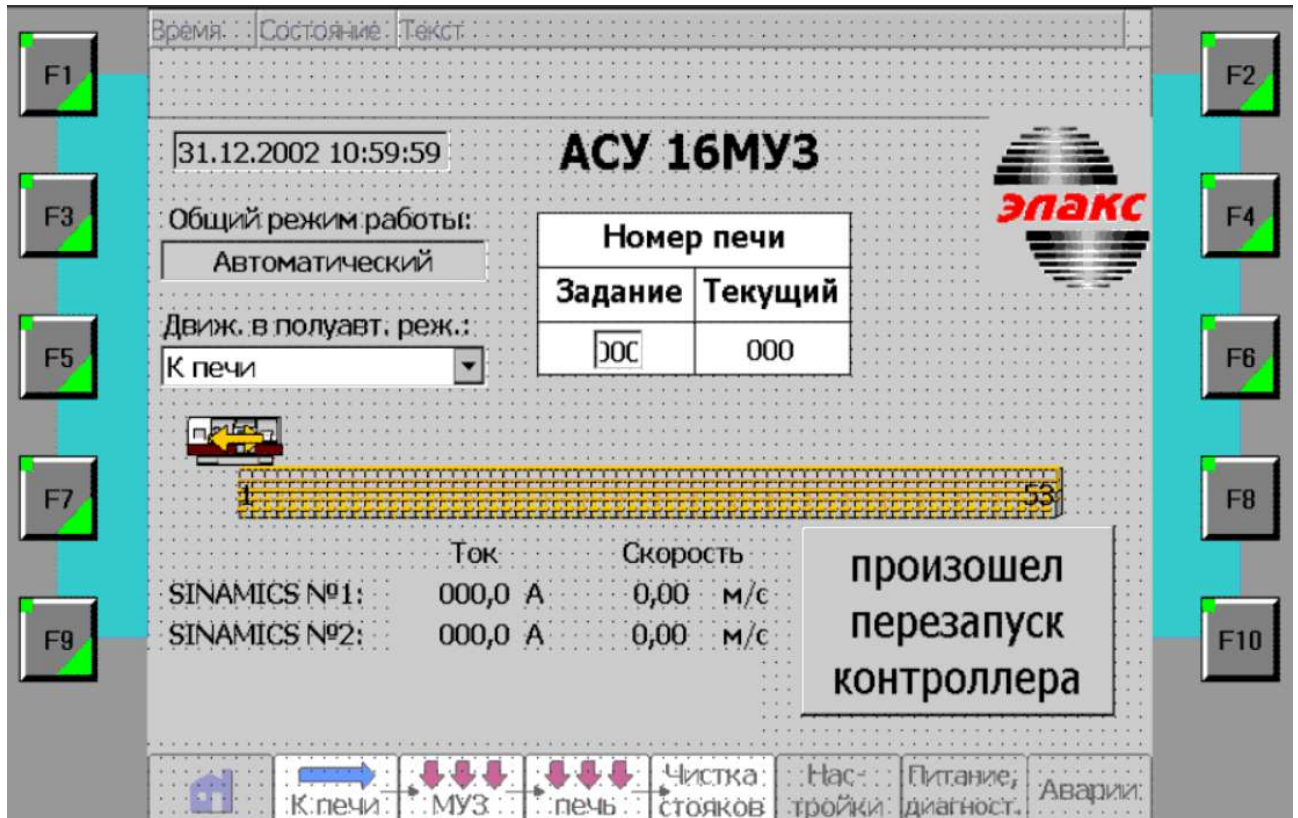


Рисунок 1.7 – Графічний інтерфейс системи промислової автоматики наведений процесу виштовхування коксу від фірми ЭЛАКС

В автоматичному режимі функціонування команду на роботу з конкретною піччю та машиною вивантаження коксу генерує панель видає АСК ТП коксової батареї. Ядром системи керування є промисловий логічний, що інтегрований до складу кожної коксовиштовхувальної машини, як було описано вище. В даному програмно-апаратному рішенні використано логічні контролери Siemens серії S7-300. Таким чином, отримавши завдання на підставі згенерованих команд контролера коксовиштовхувальна машина починає переміщення на конкретну позицію вказаної печі та відпрацьовує весь комплекс робіт.

Електричні приводи переміщення коксовиштовхувальної машини керуються за допомогою частотних перетворювачів серії SINAMICS, що виробляються фірмою Siemens, а отже, є апаратно, конструктивно і програмно сумісними з котролерами Siemens S7-300. Такий підхід до побудови системи

керування дозволяє реалізувати плавний пуск, розгін і гальмування машини, а також, за допомогою інформації, яка надходить від датчика кута повороту (енкодера), дозволяє реалізувати позиціонування коксовиштовхувача відносно конкретної заданої печі з фіксованою точністю для роботи наступних механізмів.

Також ця система оснащена частотними перетворювачами, що керують приводами штанг коксовиштовхувальних машин. Використання частотних перетворювачів дозволяє забезпечити плавне регулювання швидкості переміщення машини на різних етапах виштовхування коксового пирога з печі коксової батареї.

Характерною особливістю цієї системи є те, що всі технологічні операції керування коксовиштовхувачем виконуються під контролем оператора машини, який має можливість у будь-який момент технологічного процесу перервати автоматичний режим функціонування та перейти в автоматизований або ручний режим роботи. З метою забезпечення безперервного моніторингу та контролю за ходом виконанням операцій коксовиштовхувальні машини мають бути обладнані системами відеоспостереження з виведенням зображень із відеокамер на монітор оператора та можливістю запису процесу роботи на жорсткий диск для подальшого аналізу.

Керування машиною оператором у автоматизованому або ручному режимі здійснюється за допомогою графічної панелі оператора або центрального пульта управління.

Загальний принцип керування в автоматизованому режимі полягає у введенні даних і уставок технологічних параметрів до логічного контролера через графічний інтерфейс. На операторській панелі для цього передбачено вікна для керування та поточного моніторингу за ходом протікання технологічного процесу. Перемикання між вікнами відбувається за рахунок відповідних кнопок під екраном.

В автоматизованому поопераційному режимі оператор має обирати на панелі екрана (пульта керування) з переліку необхідних до виконання

операцій. Через специфіку жорстких умов функціонування приводів та механізмів в цій системі було реалізовано можливість програмного моделювання роботи сенсорів системи. У випадку виходу з робочого режиму будь-якого сенсора оператор має можливість імітувати його роботу та продовжувати виконання операцій в автоматизованому або ручному режимах (у залежності від датчика).

Загальний вигляд функціональної схеми вищеописаної системи, яку було впроваджено до умов коксохімічного підприємства «МЕЧЕЛ КОКС», наведений на рисунку 1.8 [8].

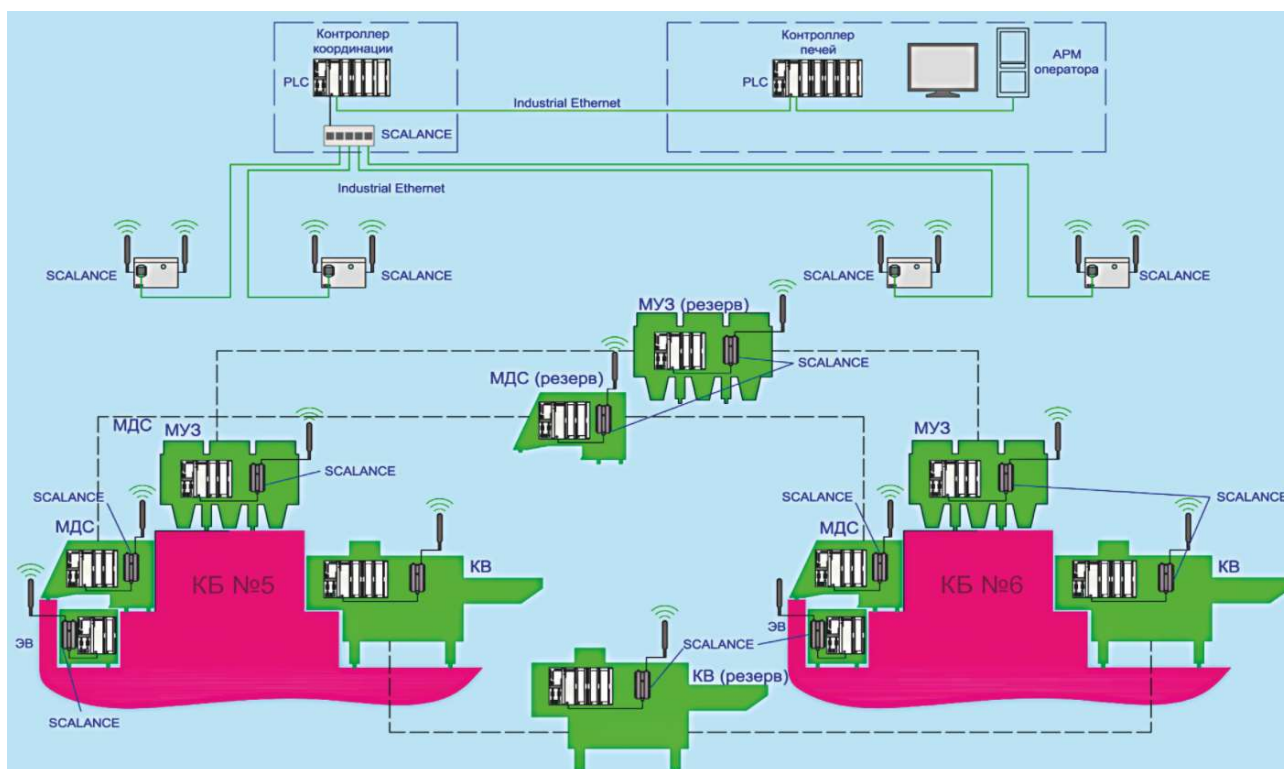


Рисунок 1.8 – Функціональна схема системи автоматизації процесу виштовхування коксу

Під час функціонування такої системи в ручному режимі всі механізми керуються за одним алгоритмом. Режим пуску розпочинається натисканням відповідної кнопки на операторському пульті керування або шляхом переміщення джойстика. Зупинка відбувається через спрацювання кінцевого вимикача або шляхом натискання кнопки «СТОП».

Координацію, синхронізацію та взаємне блокування коксовиштовхувальних машин реалізує логічний контролер координації, який введений до мережі машин із використанням стандартизованих протоколів Industrial Ethernet через Wi-Fi мережу.

Аналогічним апаратно-програмним рішенням з автоматизації технологічного процесу вивантаження коксу з використання коксовиштовхувальних машин є розробка, яка описана в джерелі [9]. Зовнішній вигляд графічного інтерфейсу, який відображає основні принципи дії такої системи наведений на рисунку 1.9, а структурна схема цієї системи представлена на рисунку 1.10.

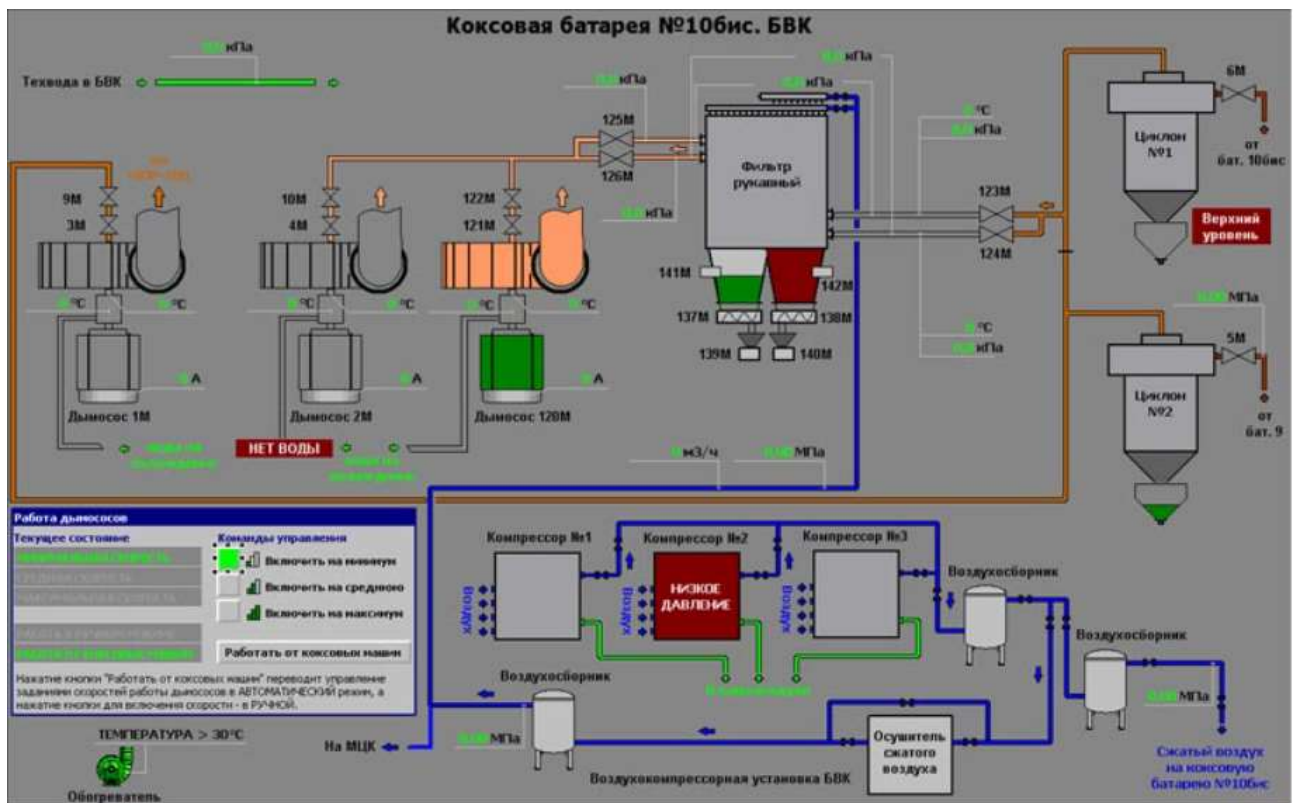


Рисунок 1.9 – Графічний інтерфейс типової системи автоматизації технологічного процесу приготування коксу

Характерною особливістю цієї системи є те, що в ній враховано факт зв'язку операції виштовхування коксу з викидом досить значної кількості коксового пилу в атмосферу, що у подальшому негативно позначається на стані

навколишнього середовища та екологічних аспектах протікання технологічного процесу приготування коксу.

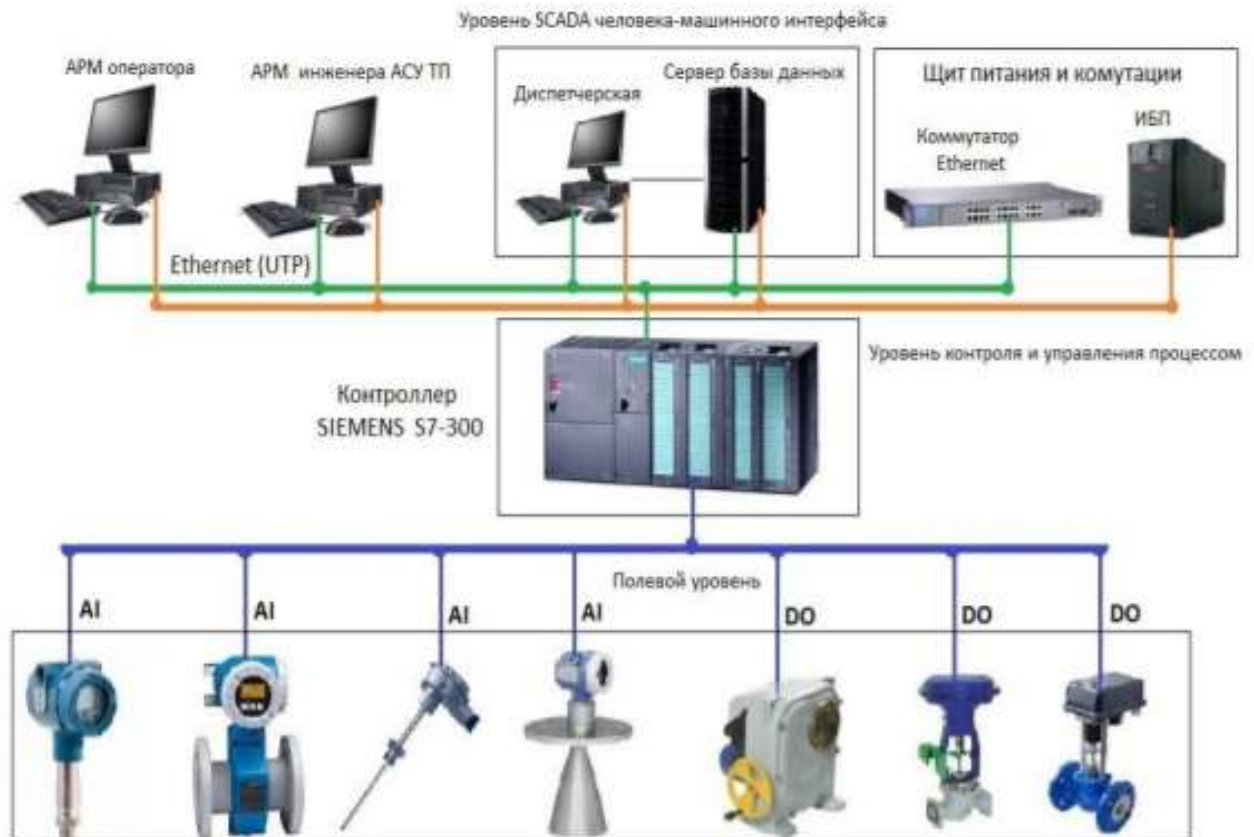


Рисунок 1.10 – Структурна схема типової системи автоматизації технологічного процесу приготування коксу

Таким чином, на підставі проведено і описаного аналізу відомих програмно-апаратних засобів автоматизації технологічної операції вивантаження коксу, було встановлено, що актуальною науково-практичною задачею є впровадження до складу відомих систем автоматики засобів бездротового обміну інформацією щодо контролю параметрів і характеристик технологічної операції виштовхування коксу з подальшою її безпаперовою реєстрацією та інтелектуальною обробкою на хмарних сервісах.

1.4 Постановка задачі дослідження бакалаврської роботи

На підставі проведених і описаних у даному розділі бакалаврської роботи досліджень на предмет огляду відомих систем автоматизації технологічного процесу коксування шихти було встановлено необхідність розробки програмно-апаратних рішень із підвищення ефективності процесу видачі коксу з камер коксових печей.

Таким чином, основна мета даної бакалаврської роботи полягає в розробці підходів до вдосконалення засобів автоматизації коксування вугільної шихти за рахунок обґрунтування структурної схеми, вибору апаратних компонент і розробки програмних засобів точного і оперативного контролю та безпаперової реєстрації даних щодо характеристик і параметрів технологічного процесу вивантаження коксу з печі.

Заявлена основна мета обґрунтована нагальною потребою в модернізації систем автоматичного контролю і керування виробничим процесом, який протікає в умовах ПРАТ «Авдіївський коксохімічний завод».

Задля досягнення поставленої основної мети роботи виникає потреба у вирішенні наступних задач:

- провести критичний аналіз та виконати логічне узагальнення сучасного стану розробки програмно-апаратних засобів автоматизації технологічної операції вивантаження коксу;
- розробити структурну схему та обґрунтувати алгоритми роботи системи автоматичного керування процесом вивантаження коксу з камер печі;
- реалізувати обґрунтований вибір апаратних компонент і блоків та стандартизованих програмних засобів контролю й керування технологічним процесом вивантаження коксу з камер печі;
- оцінити методами моделювання та проаналізувати отримані результати з розробки програмно-апаратних засобів системи автоматичного керування процесом вивантаження коксу з камер печі.

Об'єктом досліджень наведеної кваліфікаційної бакалаврської роботи є

структурно-алгоритмічна організація системи автоматичного керування технологічним процесом вивантаження коксу з печі.

Предметом досліджень наведеної кваліфікаційної бакалаврської роботи є апаратно-програмні засоби бездротового обміну та безпаперової реєстрації вимірювальної інформації щодо параметрів і характеристик технологічного процесу вивантаження коксу з печі.

Отже, можна стверджувати, що такий підхід дозволить обґрунтувати можливі шляхи вирішити актуальної проблеми безпаперової реєстрації, обробки та інтерпретації інформації в умовах ПРАТ «Авдіївський коксохімічний завод».

Висновки до розділу 1

У представленому розділі бакалаврської роботи було вирішено задачу критичного аналізу та логічного узагальнення сучасного стану розробки програмно-апаратних засобів автоматизації технологічної операції вивантаження коксу. Основні результати, які було отримано та описано в даному розділі полягають у наступному:

- проаналізовано загальні особливості технологічного процесу коксування вугільної шихти;
- проаналізовано характерні особливості технологічного процесу вивантаження коксу з печі;
- проаналізовано відомі програмно-апаратні засоби автоматизації технологічної операції вивантаження коксу;
- сформульовано основну мету та постановлено задачі дослідження бакалаврської роботи.

2 ОБҐРУНТУВАННЯ СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ, ПРИНЦИПІВ РОБОТИ ТА ПРОГРАМНО-АПАРАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИВАНТАЖЕННЯ КОКСУ З ПЕЧІ

2.1 Структурна схема та базові принципи роботи системи автоматизації процесу вивантаження коксу з печі

До базових принципів роботи, які буде враховано під час розробки структурної схеми та алгоритмів функціонування, системи автоматизації процесу вивантаження коксу з печі відносяться:

- діагностування режиму готовності машини виштовхування коксу до початку роботи;
- вибір режиму роботи ручний / автоматизований / автоматичний;
- вимірювальний контроль основних параметрів коксової машини: обертаючий момент електродвигуна, сила струму обмоток електродвигуна, вигин штанги коксовиштовхувача та швидкість переміщення коксовиштовхувача;
- передача даних щодо результатів вимірювального контролю вищевказаних параметрів;
- безпаперова реєстрація та архівування результатів вимірювального контролю;
- передача результатів вимірювального контролю до віддалених хмарних сервісів задля подальшої інтелектуальної обробки та генерування рекомендацій;
- забезпечення можливості генерування звукових і графічних сигналів щодо аварійних режимів;
- графічна інтерпретація та візуалізація результатів вимірювального контролю.

Таким чином, розроблена з урахуванням описаних вище базових функцій

системи автоматизації процесу виштовхування коксу з камер печі, наведена на рисунку 2.1

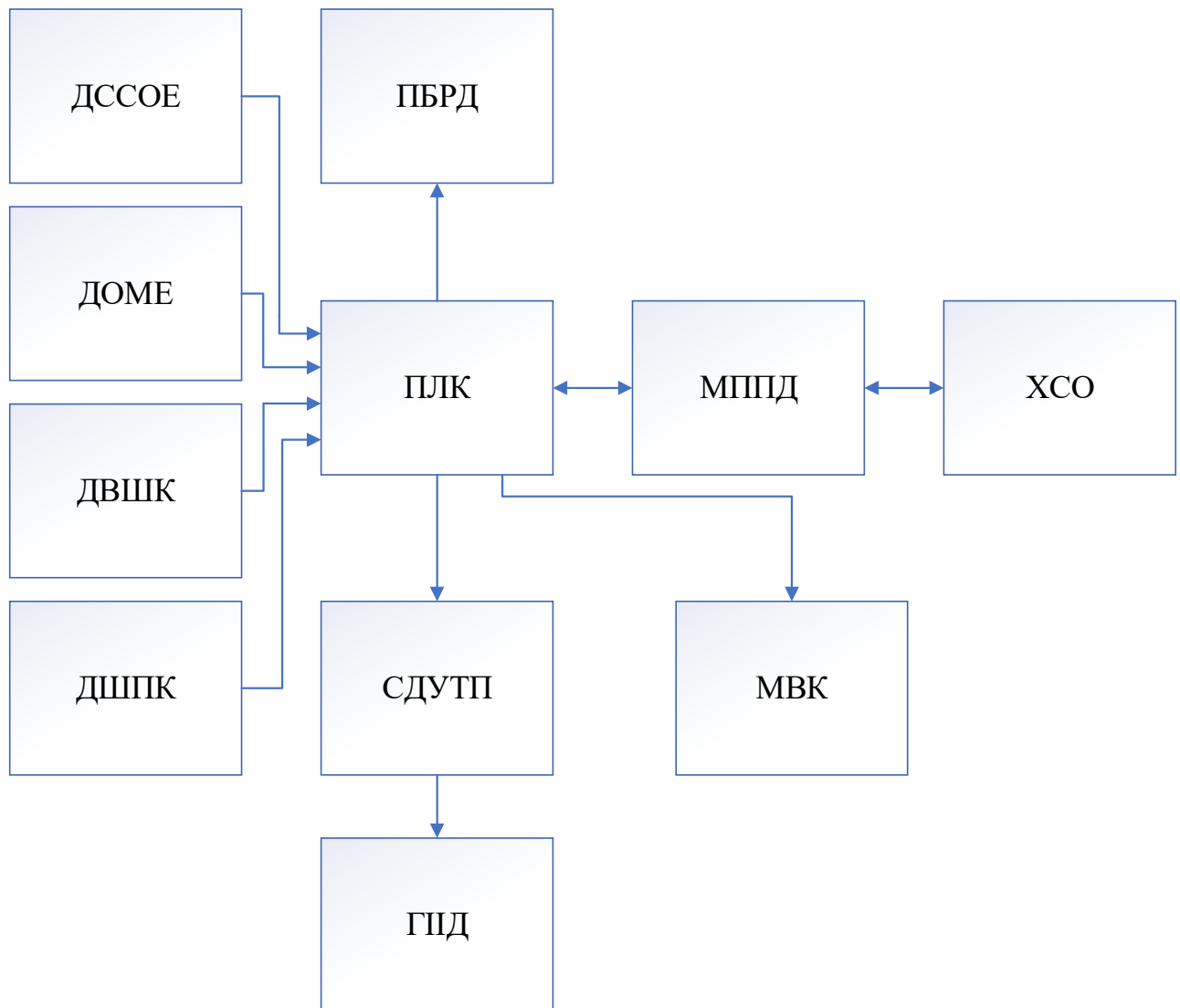


Рисунок 2.1 – Структурна схема системи автоматизації процесу виштовхування коксу з камер печі

На рисунку 2.1 введено такі умовні позначення:

- ДССОЕ – датчик сили струму обмоток електродвигуна;
- ДОМЕ – датчик обертаючого моменту електродвигуна;
- ДВШК – датчик вигину штанги коксовиштовхувача;
- ДШПК – датчик швидкості переміщення коксовиштовхувача;
- ПЛК – промисловий логічний контролер;
- ПБРД – пристрій безпаперової реєстрації даних;

- МППД – мікропроцесорний пристрій передачі даних;
- ХСО – хмарний сервіс обчислень;
- СДУТП – система диспетчерського управління технологічним процесом;
- МВК – машина виштовхування коксу;
- ГІД – графічний інтерфейс інтерпретації даних.

Таким чином, розроблена і обґрунтована структурна схема системи автоматизації процесу виштовхування коксу з камер печі, яку наведено на рисунку 2.1, здатна реалізувати описаний вище перелік базового функціонального забезпечення, а також відповідає сучасним тенденціям автоматизації промислових підприємств у рамках концепцій Industry 4.0 та Internet of Things [9].

Варто акцентувати увагу на тому, що основними структурними елементами такої системи автоматизації є: блок датчиків основних параметрів машини виштовхування коксу; мікропроцесорний блок цифрової обробки, реєстрації та передачі даних; блок диспетчеризації з графічним SCADA-інтерфейсом та спеціалізованим програмним забезпеченням; блок віддаленої хмарної обробки даних.

У процесі обґрунтування алгоритму роботи основного циклу системи автоматизації процесу виштовхування коксу з камер печі було прийнято той факт, що вимірювальний контроль обертаючого моменту електродвигуна, сили струму обмоток електродвигуна, показника вигину штанги коксовиштовхувача та швидкості переміщення коксовиштовхувача має виконуватись безперервно під час протікання відповідного технологічного процесу.

Отже, обґрунтований і запропонований до впровадження до розроблюваної системи автоматизації алгоритм роботи полягає в паралельно-послідовному (з обліком перевірки умов) виконанні базових функцій, які було заявлено вище. Реалізований у вигляді блок-схеми алгоритм роботи системи автоматизації процесу виштовхування коксу з камер печі наведений на рисунку 2.2.

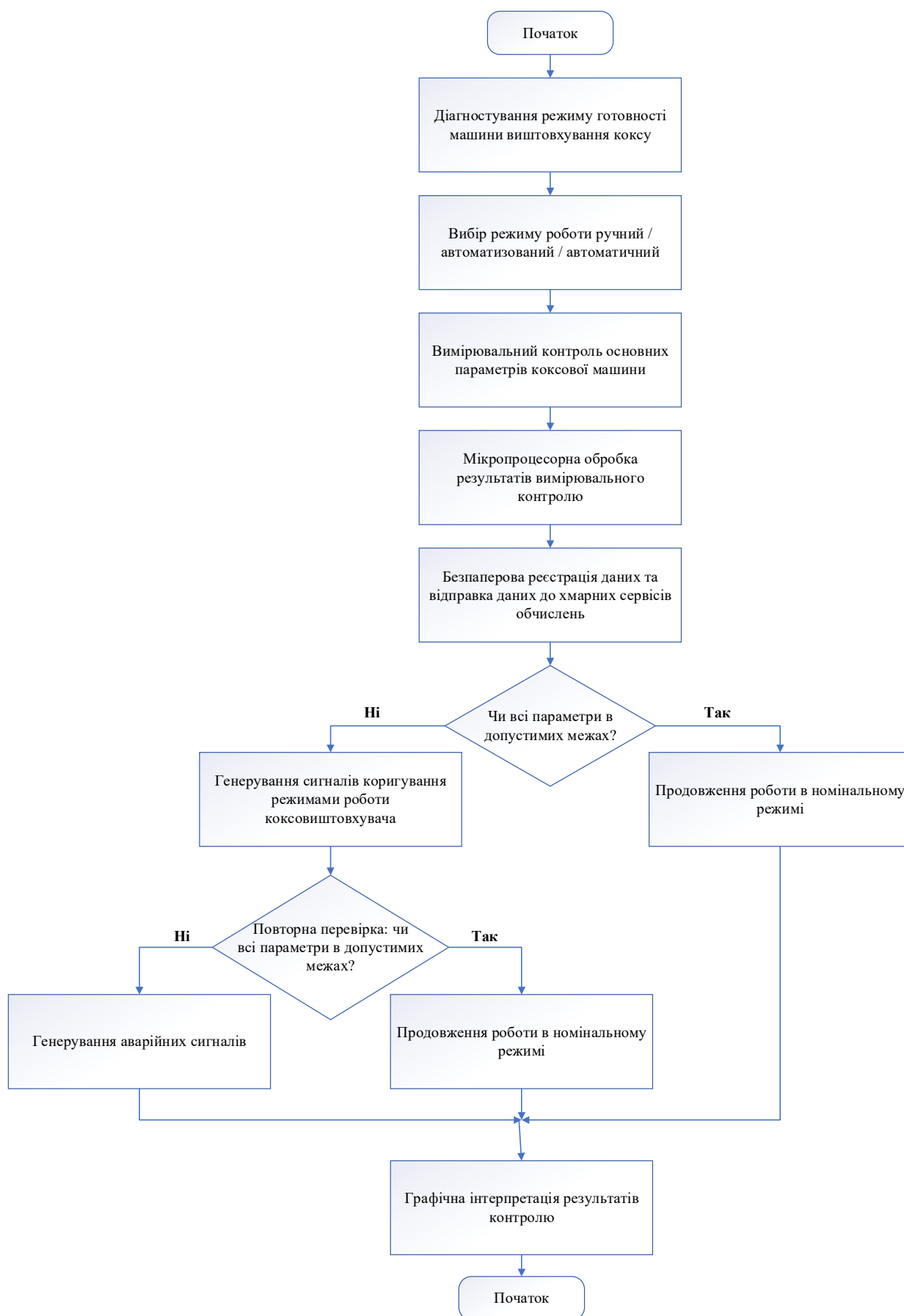


Рисунок 2.2 – Блок-схема алгоритму роботи системи автоматизації процесу виштовхування коксу з камер печі

Отже, наведена на рисунку блок-схема алгоритму роботи системи автоматизації процесу виштовхування коксу з камер печі, може бути використана як базова при розробці програмного забезпечення досліджуваної системи. Також варто зазначити, що цей алгоритм виконується в тілі безкінечного циклу, до появи зовнішніх переривань, таких як: примусове вимкнення, аварійний режим роботи, перезавантаження системи, спрацьовування блокування та інше.

2.2 Датчики та мікропроцесорні засоби системи автоматизації процесу вивантаження коксу з печі

Наступною задачею, яка потребує вирішення під час розробки системи автоматизації вивантаження коксу з печі, що є функціональною складовою загального комплексу автоматизації коксохімічного підприємства, є обґрунтування вибору датчиків сили струму обмоток електродвигуна, обертаючого моменту електродвигуна, вигину штанги коксовиштовхувача, швидкості переміщення коксовиштовхувача, а також промислового логічного контролера, пристрою безпаперової реєстрації даних та пристрою бездротвого обміну інформацією.

Таким чином, на підставі характерних особливостей коксохімічного виробництва в якості датчика сили струму обмоток електродвигуна було обрано модель НСМЕ від фірми-виробника Harting, що була розроблена у відповідності до стандарту EN 50178 (електронне автоматичне обладнання для силових агрегатів). Основними параметрами такого датчика є [10]:

- вимірювання постійного та змінного струму в динамічному діапазоні частот від 0 кГц до 50 кГц;
- динамічний діапазон вимірювання сили струму від 0 А до 5,5 кА;
- придатність до застосування в жорстких умовах промислових підприємств за температури від -40°C до $+125^{\circ}\text{C}$;

– принцип вимірювання базується прямому підсиленні без зворотного зв'язку.

Зовнішній вигляд такої моделі датчика сили струму представлений на рисунку 2.3.



Рисунок 2.3 – Зовнішній вигляд датчика сили струму типу HSMC від фірми-виробника Harting

В якості датчика обертаючого моменту електродвигуна було обрано модель T 22, зовнішній вигляд якої наведений на рисунку 2.4. Така модель задовольняє вимогам до експлуатації у виробничих умовах коксохімічних підприємств.



Рисунок 2.4 – Зовнішній вигляд датчика обертаючого моменту T 22

До основних характеристик цього датчика обертаючого моменту електродвигуна відносяться:

- динамічний діапазон вимірювань становить від 0,5 Нм до 1 кНм;
- гранична швидкість обертання – 25000 об./хв.;
- гранична відносна похибка – 0,5 %;
- температурний діапазон роботи становить від 0 °С до +85 °С.

В якості датчика вигину штанги коксовиштовхувача запропоновані до використання в даній роботі промислові балочні тензодатчики типу F 3833, як показано на рисунку 2.5 [11].



Рисунок 2.5 – Зовнішній вигляд балочного тензодатчика типу F 3833

До основних параметрів такого тензодатчика вигину штанги коксовиштовхувача можна віднести:

- динамічний діапазони вимірювання – від 0 кг до 500 кг;
- має повністю зварні сильфони;
- клас пиловологозахисту – IP 68;
- температурний діапазон роботи складає від 0 °С до +90 °С.

Швидкість переміщення коксовиштовхувача в даній роботі на підставі попереднього аналізу літературних джерел, як було описано в першому розділі бакалаврської роботи, запропоновано вимірювати опосередковано через детектування швидкості обертання валу електродвигуна із використанням енкодера. В даній роботі до використання прийнято промислову модель

енкрементального енкодера типу E40S8-15-3-T-24, що має такі основні характеристики:

- ступінь захисту – IP 50;
- максимальна механічна швидкість – 50000 об. / хв.;
- роздільна здатність – 15 імп. / об.;
- температурний діапазон роботи складає від 0 °С до +80 °С.

Зовнішній вигляд такої моделі енкрементального енкодера приведений на рисунку 2.6.



Рисунок 2.6 – Зовнішній вигляд енкрементального енкодера типу E40S8-15-3-T-24

Отже, обрані моделі датчиків, які наведено на рисунках 2.3 – 2.6, становлять необхідний базис сенсорного блоку системи автоматизації вивантаження коксу з печі. Та дозволяють отримувати точну вимірну інформацію щодо контрольованого процесу в умовах коксохімічного підприємства.

Під час вибору промислового логічного контролера було прийнято до уваги наступні фактори: достатня кількість аналогових і цифрових портів для підключення датчиків; наявність стандартизованих інтерфейсів для підключення периферійних пристроїв; придатність до застосування в жорстких умовах коксохімічного виробництва. В якості такої моделі промислового логічного контролера було обрано контролер типу VIPA SLIO CPU 017PN [12], зовнішній вигляд якого представлено на рисунку 2.7.



Рисунок 2.7 – Зовнішній вигляд промислового логічного контролера типу VIPA SLIO CPU 017PN

До основних характеристик і параметрів такої моделі промислового логічного контролера відносяться:

- модель PROFINET IO контролер;
- можливість підключення до 128 периферійних пристроїв;
- підтримка інтерфейсів: PROFINET, ModbusTCP, Ethernet PG / OP, RS485, PROFIBUS (опціонально);
- базова технологія роботи – SPEED 7;
- номінальне живлення – 24 В DC;
- наявність вбудованої пам'яті – 512 КБайт (50 % робоча / 50 % завантажувальна).

Як було зазначено раніше, то однією з основних вимог, що пред'являється до розроблюваної системи автоматизації процесу виштовхування коксу, є можливість бездротвого обміну інформації. Задля цього було обрано периферійний пристрій на базі промислової технології Xbee, що узгоджений на апаратному і програмному рівнях із наведеною вище

моделлю ПЛК, а саме пристрій моделі WBE2R-R-ZIGBEE. Цей пристрій відноситься до бездротових модулів розширення, що функціонує на частоті 2,4 ГГц. Зовнішній вигляд такої моделі бездротового пристрою наведений на рисунку 2.8.



Рисунок 2.8 – Зовнішній вигляд бездротового пристрою WBE2R-R-ZIGBEE

Останнім апаратним блоком, який необхідно обрати до використання в розроблюваній системі, як було вказано на структурній схемі (див. рис. 2.1), є пристрій безпаперової реєстрації даних. В якості такої моделі обрано модель OMR 700, як показано на рисунку 2.9 [13].



Рисунок 2.9 – Зовнішній вигляд пристрою реєстрації даних OMR 700

Така модель була обрана на підставі критеріїв роботи за стандартизованими протоколами Ethernet і RS 485, а також високої надійності та бюджетної цінової категорії.

Отже, описані в даному розділі моделі датчиків та мікропроцесорних засобів, становлять апаратний базис системи автоматизації процесу вивантаження коксу з печі.

2.3 Програмна компонента обробки й інтерпретації результатів вимірювального контролю

З метою ефективної агрегації, надійної і оперативної обробки та ергономічної інтерпретації та візуалізації результатів контролю інформативних параметрів під час автоматизації процесу вивантаження коксу з печі, виникає потреба у впровадженні сучасних ERP-систем на базі інтелектуальних хмарних обчислень. Додатково подібні програмні рішення також дозволяють вирішувати задачі резервного архівування даних та формування рішень щодо оптимізації подальшого протікання технологічного процесу в умовах промислових підприємств.

У наведеній бакалаврській роботі в якості такої програмної компоненти запропоновано використовувати MATLAB Parallel Server (див. рис. 2.10) [14].

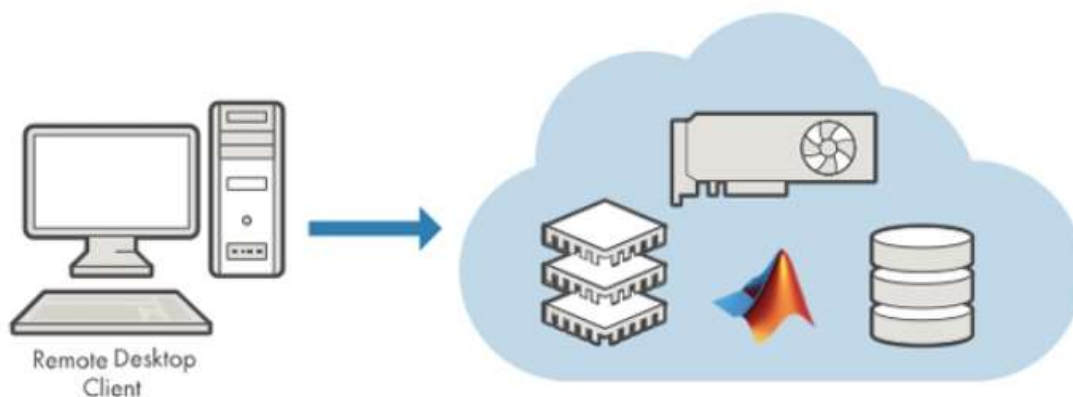


Рисунок 2.10 – Функціональна схема принципу дії сервісу Matlab Parallel Server

Інтеграція такого сервісу до складу системи автоматизації процесу приготування коксу в якості програмного модуля дозволяє адаптувати і масштабувати обчислення в середовищі Matlab до хмарних серверів, що значно підвищує ефективність протікання виробничого процесу в умовах коксохімічного підприємства за рахунок оперативного генерування рішень на підставі аналізу вимірювальної інформації.

Висновки до розділу 2

У другому розділі представленої бакалаврської роботи було проведено дослідження на предмет обґрунтування структурної схеми, принципів роботи та програмно-апаратного забезпечення автоматизації технологічного процесу вивантаження коксу з печі. Основні результати полягають у тому, що:

- розроблена структурна схема та обґрунтовані базові принципи роботи системи автоматизації процесу вивантаження коксу з печі;
- реалізовано обґрунтований вибір датчиків і мікропроцесорних засобів системи автоматизації процесу вивантаження коксу з печі;
- описано програмну компонента обробки й інтерпретації результатів вимірювального контролю системи автоматизації процесу вивантаження коксу з печі.

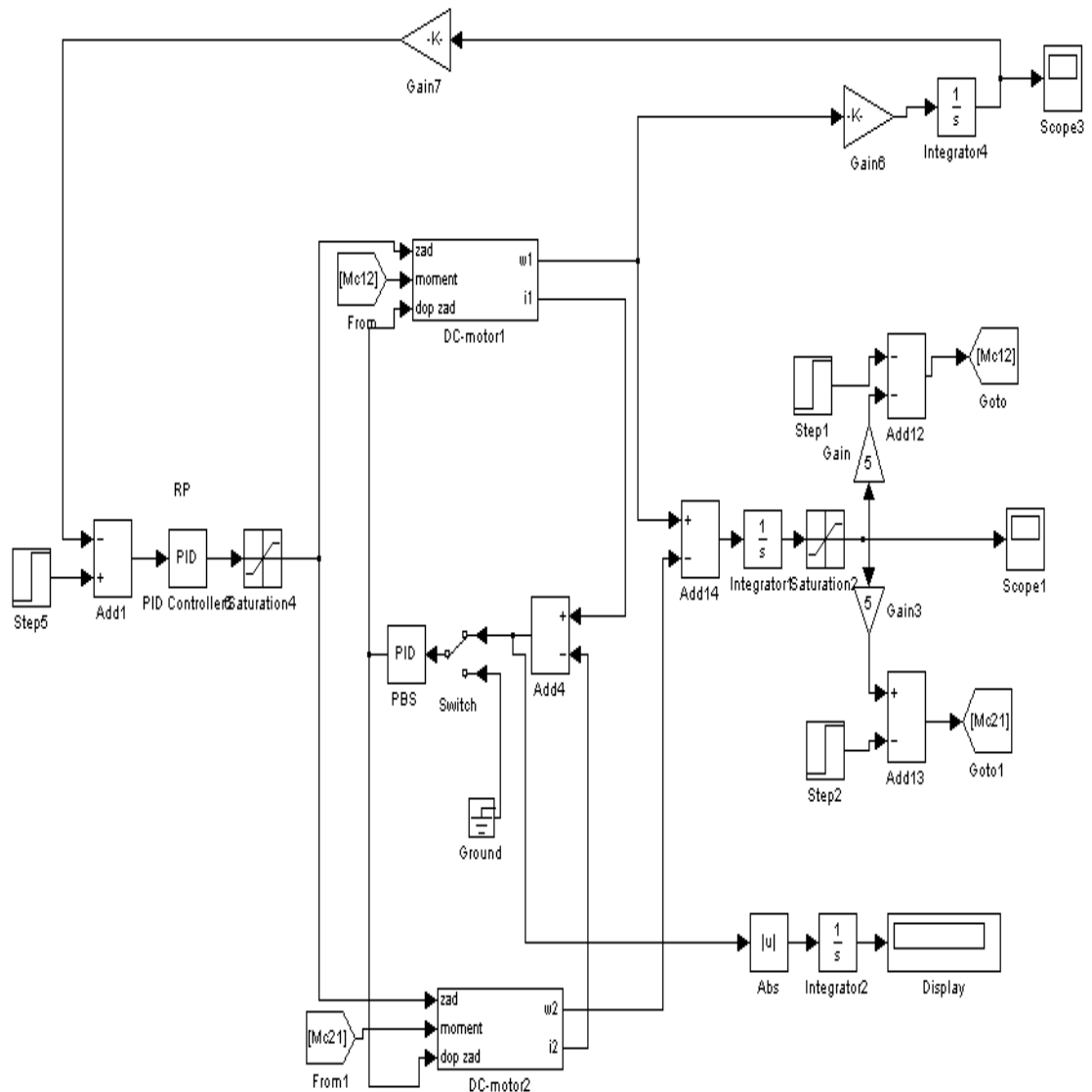


Рисунок 3.2 – Деталізована імітаційна модель системи керування електричним двигуном за струмом

Покладений у основу принцип регулювання струму на обмотках електричного двигуна, який наведено у вигляді функціональної схеми на рисунку 3.1, використовує принцип електричної примусової комутації на базі IGBT і MOSFET транзисторів.

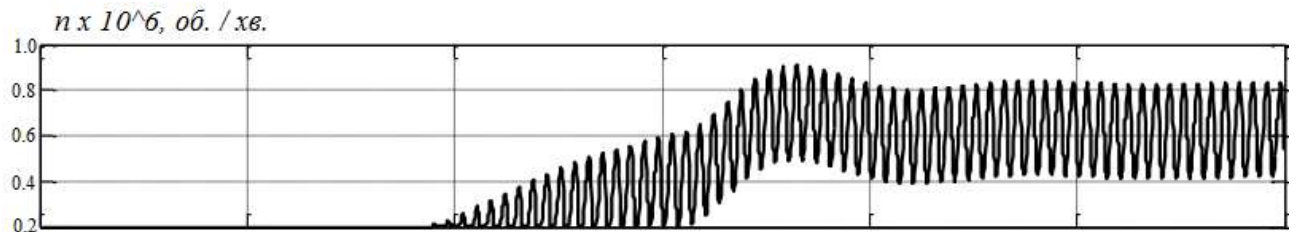
Асинхронні двигуни, які керуються з використанням принципу широтно-імпульсної модуляції за рахунок перетворювачів напруги, на сьогоднішній день активно замінюють тиристорні мости і двигуни постійного струму за рахунок простоти програмного керування на базі нечіткої логіки. За допомогою

широотно-імпульсної модуляції в поєднанні з сучасними методами керування задовольняються принципи адаптивності, масштабованості й гнучкості керування.

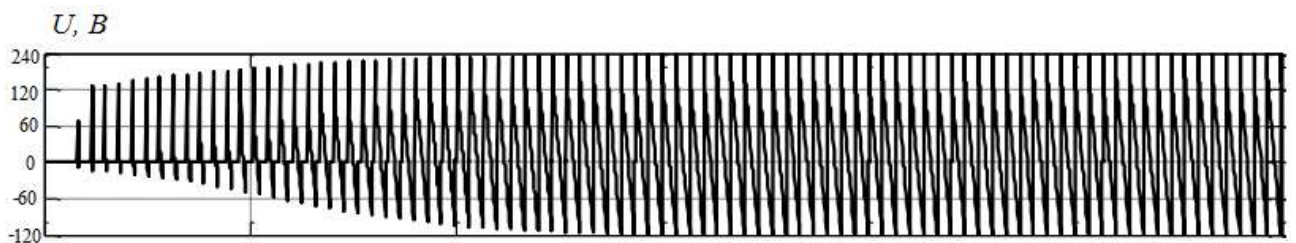
Параметри досліджуваної моделі, яку наведено на рисунку 3.1, представлені в таблиці 3.1 [16].

Результати досліджень системи автоматичного керування сили струму електричного двигуна коксовиштовхувача (див. рис. 3.1) наведено на рисунку 3.2.

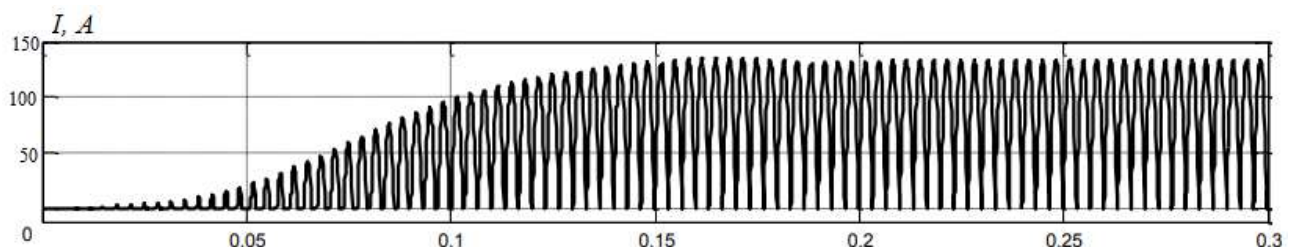
На рисунку 3.2 позначено: n – частота обертання; I – сила струму двигуна; U – напруга на двигуні.



а) n – частота обертання



б) U – напруга на двигуні



в) I – сила струму двигуна

Рисунок 3.2 – Результати комп'ютерного моделювання режимів керування електричним двигун машини виштовхування коксу з печей коксових батарей

Таблиця 3.1 – Параметри налаштування імітаційної моделі електричного двигуна

Налаштування	Параметр	Значення
Конфігурація	Тип ротора	Squirrel-cage
Параметри	Номинальна потужність, напруга (лінійна лінія) і частота [Pn (VA), Vn (Vrms), fn (Гц)]	[3*746 220 60]
	Опір і індуктивність статора [Rs (ом) Lls (H)]	[1.115 0.005974]
	Опір та індуктивність ротора [Rr '(ом) Llr' (H)]	[1.083 0.005974]
	Взаємна індуктивність Lm (H)	0.2037
	Інерція, коефіцієнт тертя, пари полюсів [J (кг.м ^ 2) F (Нмс) p ()]	[0.02 0.005752 2]
	[slip, th (град), ia, ib, ic (A), pha, phb, phc (град)]	[1 0 0 0 0 0 0]

Таким чином, на підставі проведеного аналізу результатів моделювання, які наведено на рисунку 3.2, дозволяють стверджувати про доцільність впровадження принципу широтно-імпульсного керування на базі постійного вимірювального контролю сили струму обмоток електричного двигуна коксовиштовхувача.

3.2 Результати імітаційного моделювання контуру керування швидкістю переміщення коксовиштовхувача

Аналогічні до описаних вище досліджень, результати яких були наведені в п. 3.1 «Результати комп'ютерного моделювання контуру керування силою струму електродвигуна машини виштовхування коксу», було проведено для контуру регулювання швидкості переміщення коксовиштовхувача на базі вимірювальної інформації від відповідних сенсорів. Моделювання такого функціонального вузла було проведене в середовищі комп'ютерного імітаційного моделювання ППП Matlab Simulink [17].

Такий контур керування розроблено на базі інтегратора задавальних значень, як показано у вигляді функціональної схеми імітаційної моделі на

рисунку 3.3.

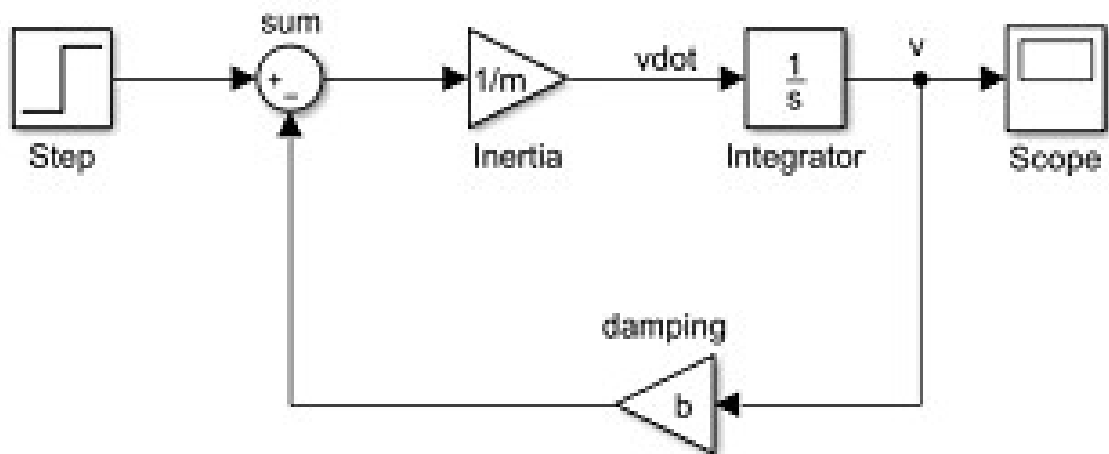


Рисунок 3.3 – Імітаційна модель контуру регулювання швидкості переміщення коксовиштовхувача

Під час чисельного моделювання перехідних процесів, які протікають у даному контурі використано значення параметрів [18], які представлені на рисунку 3.4.

★ Commonly Used Parameters ≡ All Parameters

Select:

- Solver
- Data Import/Export
- Optimization
 - Signals and Param...
 - Stateflow
- Diagnostics
 - Sample Time
 - Data Validity
 - Type Conversion
 - Connectivity
 - Compatibility
 - Model Referencing
 - Stateflow
- Hardware Implementa...
- Model Referencing
- Simulation Target
- Code Generation
 - Report
 - Comments
 - Symbols
 - Custom Code
 - Interface

Simulation time

Start time: 0.0 Stop time: 120

Solver options

Type: Variable-step Solver: ode45 (Dormand-Prince)

Additional options

Max step size: auto Relative tolerance: 1e-3

Min step size: auto Absolute tolerance: auto

Initial step size: auto Shape preservation: Disable All

Number of consecutive min steps: 1

Zero-crossing options

Zero-crossing control: Use local settings Algorithm: Nonadaptive

Time tolerance: 10*128*eps Signal threshold: auto

Number of consecutive zero crossings: 1000

Tasking and sample time options

☐ Automatically handle rate transition for data transfer

☐ Higher priority value indicates higher task priority

Рисунок 3.4 – Вихідні дані під час моделювання контуру керування швидкістю коксовиштовхувача

Результати імітаційного моделювання перехідних процесів, які відбуваються в контурі регулювання швидкості переміщення коксовиштовхувача в результаті дії керуючого імпульсного сигналу, наведені у графічному вигляді на рисунку 3.5.

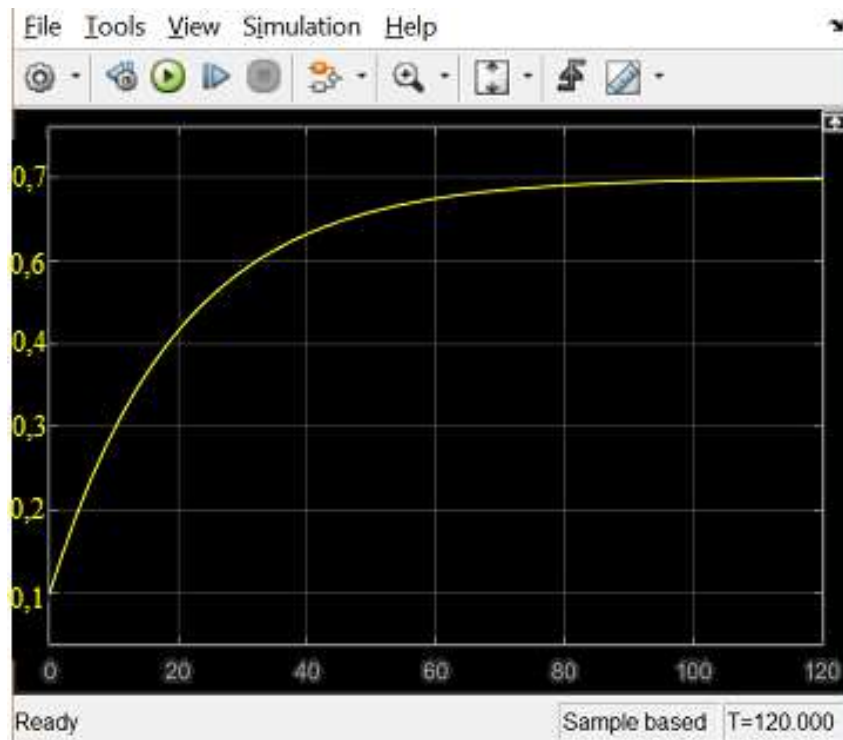


Рисунок 3.5 – Графік перехідних процесів у контурі керування швидкістю переміщення коксовиштовхувача

Отже, на підставі аналізу якісних і кількісних результатів імітаційного моделювання, що представлені на рисунку 3.5, було встановлено, що принцип пропорційно-інтегрального регулювання швидкості переміщення машини виштовхування коксу, є задовільним і рекомендується до впровадження до складу системи автоматизації коксового виробництва.

Висновки до розділу 3

У третьому розділі наведеної бакалаврської роботи представлено основні результати розробки і тестування системи автоматизації технологічного процесу вивантаження коксу з печі, які було отримано методами імітаційного комп'ютерного моделювання. До основних результатів даного розділу відносяться:

- задовільні показники розробленого і промодельованого контуру керування силою струму електродвигуна машини виштовхування коксу;
- задовільні результати імітаційного моделювання контуру керування швидкістю переміщення коксовиштовхувача.

Отримані в даному розділі бакалаврської роботи результати доводять доцільність обраних методів і засобів під час розробки функціональних вузлів і блоків підсистеми керування машиною виштовхування коксу, що є обов'язковою технологічною операцією при автоматизації коксування вугільної шихти.

ВИСНОВКИ

В наведеній бакалаврській роботі була досягнута основна мета, яка полягає в розробці теоретико-практичних прийомів і підходів до процедури вдосконалення й модернізації засобів автоматизації коксування вугільної шихти за рахунок обґрунтування структурної схеми, вибору апаратних компонент і розробки програмних засобів точного і оперативного контролю та безпаперової реєстрації даних щодо характеристик і параметрів технологічного процесу вивантаження коксу з печі.

Основні результати бакалаврської роботи полягають у наступних пунктах:

1. В першому розділі бакалаврської роботи була вирішена науково-практична задача критичного аналізу та логічного узагальнення сучасного стану розробки програмно-апаратних засобів автоматизації технологічної операції вивантаження коксу, а саме:

- проаналізовано загальні особливості технологічного процесу коксування вугільної шихти;
- проаналізовано характерні особливості технологічного процесу вивантаження коксу з печі;
- проаналізовано відомі програмно-апаратні засоби автоматизації технологічної операції вивантаження коксу;
- сформульовано основну мету та постановлено задачі дослідження бакалаврської роботи.

2. В другому розділі були проведено та проаналізовані дослідження на щодо обґрунтування структурної схеми, програмно-апаратного забезпечення та принципів роботи системи автоматизації технологічного процесу вивантаження коксу з печі, а саме:

- розроблена структурна схема та обґрунтовані базові принципи роботи системи автоматизації процесу вивантаження коксу з печі;

- реалізовано обґрунтований вибір датчиків і мікропроцесорних засобів системи автоматизації процесу вивантаження коксу з печі;

- описано програмну компонента обробки й інтерпретації результатів вимірювального контролю системи автоматизації процесу вивантаження коксу з печі.

3. В третьому розділі роботи наведені та проаналізовані основні результати розробки і тестування методами комп'ютерно-імітаційного моделювання системи автоматизації технологічного процесу вивантаження коксу з печі, а саме:

- отримано задовільні показники розробленого і промодельованого контуру керування силою струму електродвигуна машини виштовхування коксу;

- отримано задовільні результати імітаційного моделювання контуру керування швидкістю переміщення коксовиштовхувача.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Metal Journal. Политехнический журнал URL: <https://www.metaljournal.com.ua/coke-coke-production/> (дата звернення 11.04.2021).
2. Рудыка В.И. Энерго- и ресурсосберегающие технологии в проектах ГП «Гипрококс» / В.И. Рудыка // Энерготехнологии и ресурсосбережение. Вып. 1, 2016. – С. 4 – 10.
3. Коксохимическое производство. URL: <https://amk.lg.ua/kompaniya/koksohimicheskoe-proizvodstvo/> (дата звернення 14.04.2021).
4. Коксовыталькиватель коксового цеха. URL: http://www.svarmet.ru/new_koksovyitalkivatel_koksovogo_tseha_printsip_raboty_i_konstruktsiya_230.html (дата звернення 15.04.2021).
5. Славянский машиностроительный завод. Коксовыталькиватель. URL: <http://smz.ua/koksovitalkivatel/> (дата звернення 17.04.2021).
6. Ключев В.И. Теория электропривода: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 560 с.
7. Усынин Ю.С. Системы управления электроприводов. – Челябинск. Издательство ЮУрГУ, 2001. – 343 с.
8. ЭЛАКС. Коксовые машины: машины углезгрузочная и двересъемная, коксовыталькиватель. URL: <https://elaks.ua/solutions/koksovye-masiny-masiny-uglezagruzocnaa-i-dveresemnaa-koksovyitalkivatel> (дата звернення 19.04.2021).
9. Юдина М.А. Индустрия 4.0: перспективы и вызовы для общества / М.А. Юдина // Государственное управление. Электронный вестник. Вып. 60, 2017. – С. 197 – 215.
10. HARTING. Датчики тока: точные, надежные, безопасные. URL: <https://www.harting.com/RU/ru/solutions/current-sensors> (дата звернення 29.04.2021).

11. WIKA. Тензодатчики балочные. URL: https://www.wika.ua/f3833_ru_ru.WIKA (дата звернення 05.05.2021).

12. VIPA SLIO ПЛК. URL: <https://www.svaltera.ua/catalog/718/> (дата звернення 08.05.2021).

13. Графический безбумажный регистратор OMR700. URL: <https://isup.ru/articles/3/9665/> (дата звернення 14.05.2021).

14. Сервіс PARALLEL MATLAB SERVER. URL: <https://exponenta.ru/matlab-parallel-server> (дата звернення 18.05.2021).

15. Терехин В.Б. Моделирование систем электропривода в Simulink: учебное пособие / В.Б. Терехин. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 320 с.

16. MathWorks. Simulate Variable Speed Motor Control. URL: <https://www.mathworks.com/help/physmod/sps/powersys/ug/simulating-variable-speed-motor-control.html> (дата звернення 29.05.2021).

17. Петрова К.Ю., Мироновский Л.А. Введение в MATLAB: Учебное пособие. – СПб.: ГУАП, 2006. – 164 с.

18. Simulink Modeling: Cruise Control. URL: <https://ctms.engin.umich.edu/CTMS/index.php?example=CruiseControl§ion=SimulinkModeling> (дата звернення 09.06.2021).

ДОДАТОК А

Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуацій на підприємстві

До приміщення науково-дослідного відділу й організації робочого місця з обліком шкідливих виробничих факторів пред'являється ряд вимог. Приміщення в якому знаходиться робоче місце з ПК повинно мати природне освітлення, бажано з одnobічним розміщенням світопрорізів, площа осклянілості яких не повинна перевищувати 25 % від площі стіни світопрорізами. Віконні прорізи в приміщенні з ПК повинні мати регульовані жалюзі чи занавеси або інші сонцезахисні пристрої. Не допускається розташування робочих місць із ПК у підвальних і цокольних поверхах. Робочі місця з ПК рекомендується розміщати в окремих приміщеннях. Площа на одного працюючого з ПК повинна складати 6 м^2 , об'єм – 20 м^3 . Неприпустиме розташування ПК, при якому працюючий звернений обличчям, або спиною до вікон чи кімнати задньої частини ПК, у яку монтуються вентилятори.

Забороняється застосовувати для обробки інтер'єра приміщень із ПК полімерні матеріали (дерев'яностружечні плити, шпалери що миються, плівкові та рулоні синтетичні матеріали, шаруватий паперовий пластик та ін.), що виділяються в повітря шкідливі хімічні речовини, що перевищують гранично допустимі концентрації, не включені в «Перелік дозволених», МЗ» 1977-1985 р.

В лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідної роботи робочі місця з ПК розташовані від стіни з вікнами на відстані 1 м, відстань між столами складає 3 м. Екрани відеомоніторів ПК знаходяться від очей користувача на відстані 700 мм відповідно до СН 512-78, приміщення ($S=21 \text{ м}^2$, $V=73,5 \text{ м}^3$) дозволяє розташовувати більше 3 робочих місця.

Робочі місця в положенні сидячі відповідають вимогам ДСТ 12.2.032 – 78 та ДСТ 12.2.029 – 77. Поверхня робочого столу знаходиться на висоті 0,75 метрів від підлоги, розміри робочої поверхні стільниці складають 1050x590 міліметрів, розміри вільного простору для ніг під столом складає висота 650,

глибина 550, ширина 450 міліметрів відповідно. Робочий стілець оснащений підйомно-поворотнім пристроєм, що забезпечує регуляцію висоти сидіння і спинки, пневматичним і гідравлічними амортизаторами та обладнанні підлокітниками.

Б.1 Мікроклімат робочого місця

У приміщенні науково-дослідного відділу є джерела тепловиділення, тому необхідно визначити необхідні умови його вентилявання. Витрату повітря в приміщенні з додатковим тепловиділенням визначаємо за формулою:

$$L = \frac{Q_{\text{НАД}}}{c \cdot p \cdot (t_B - t_H)}, \quad (\text{Б.1})$$

де $Q_{\text{НАД}}$ – надлишкове виділення тепла в робочому приміщенні, ккал/год.; c – теплоємність повітря (0,237 ккал/кг); p – обсягова вага повітря (1,226 кг/м³); t_B – температура витяжного повітря (30°C); t_H – температура приточного повітря (20°C).

Розрахуємо надлишкове надходження тепла за наступною формулою:

$$Q_{\text{НАД}} = Q_{\text{УСТ}} + Q_{\text{ПЕР}} + Q_{\text{ОСВ}} + Q_{\text{СР}}, \quad (\text{Б.2})$$

де $Q_{\text{УСТ}}$ – виділення тепла від устаткування; $Q_{\text{ПЕР}}$ – виділення тепла робітниками; $Q_{\text{ОСВ}}$ – надходження тепла від електричного освітлення; $Q_{\text{СР}}$ – надходження тепла від сонячної радіації через вікна.

Визначимо виділення тепла від устаткування за формулою:

$$Q_{\text{УСТ}} = P \cdot K_a \cdot K_{\bar{\sigma}} \cdot 860, \quad (\text{Б.3})$$

де P – сумарна потужність устаткування, кВт/год; K_a – коефіцієнт установленної потужності (0,95); K_o – коефіцієнт одночасної роботи (1,0).

$$\begin{aligned} Q_{уст} &= [x_1 \cdot k_1 + x_2 \cdot k_2 + x_3 \cdot k_3 + x_4 \cdot k_4 + x_5 \cdot k_5 + x_6 \cdot k_6 + x_7 \cdot k_7 + \\ &+ x_8 \cdot k_8 + x_9 \cdot k_9] \cdot K_a \cdot K_o \cdot 860 = \\ &= [1 \cdot 0,5 + 1 \cdot 0,1 + 1 \cdot 0,07 + 2 \cdot 0,4 + 1 \cdot 0,06 + 1 \cdot 0,05 + 1 \cdot 0,6 + 4 \cdot 0,15 + \\ &+ 1 \cdot 3,5] \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot 860 = 5131 \text{ ккал/год.} \end{aligned}$$

Визначимо виділення тепла від обслуговуючого персоналу за допомогою наступної формули:

$$Q_{пер} = n \cdot g = 2 \cdot 100 = 200 \text{ ккал/год,} \quad (\text{Б.4})$$

де n – кількість працюючих; g – кількість тепла, що виділяє один працівник за годину (100 ккал/год.).

Визначимо надходження тепла від електричного освітлення за формулою:

$$Q_{осв} = E_M \cdot g_1 \cdot S = 300 \cdot 0,05 \cdot 21 = 315 \text{ ккал/год,} \quad (\text{Б.5})$$

де E_M – нормована освітленість для цієї зорової роботи, величина якої дорівнює 300 лк; g_1 – питома тепловиділення на 1 м² підлоги при 1 лк освітленості (для / люмінесцентних ламп – 0,05 ккал/год.) S – площа приміщення, м².

Визначимо надходження тепла від сонячної радіації через вікна за наступною формулою:

$$Q_{ср} = F \cdot g_2 \cdot K_{осл} = 7,5 \cdot 65 \cdot 0,4 = 195 \text{ ккал/год,} \quad (\text{Б.6})$$

де F – площа віконних прорізів ($3 \times 2,5 = 7,5 \text{ м}^2$); g_2 – кількість тепла, що надходить через 1 м^2 віконного прорізу (65 ккал/год.); $K_{осл}$ – коефіцієнт ослаблення, приймаємо $0,4$.

Визначимо кількість надлишкового тепла:

$$Q_{НАД} = Q_{УСТ} + Q_{ПЕР} + Q_{ОСВ} + Q_{СР} = 5131 + 200 + 315 + 195 = 5841 \text{ ккал/год.}$$

Визначимо витрати повітря в приміщенні:

$$L = \frac{Q_{НАД}}{c \cdot \rho \cdot (t_B - t_H)} = \frac{5848}{0,237 \cdot 1,226 \cdot (30 - 20)} = 2010 \text{ м}^3 / \text{год.}$$

Існуюча в наявності система кондиціонування та вентилявання має продуктивність $2200 \text{ куб. м./годину}$, що задовольняє необхідним нормативам.

Параметри мікроклімату на робочих місцях регламентуються ДНАОП 0.03.3.15 – 86 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень № 4088–86». Відповідно доданих санітарних норм температура повітря, швидкість руху повітря та відносна вологість у холодні періоди року повинна складати $(22 - 24)$ градуса за Цельсієм, $0,1$ метра в секунду та $40-60 \%$ відповідно. При збереженні всім параметрів можливе коливання температури від 21 до 25 градусів Цельсія. У теплі періоди року температура повітря повинна складати $(23 - 25)$ градусів Цельсія, рухливість повітря $(0,1 - 0,2)$ метрів секунду, вологість $(40 - 60) \%$. Температура може коливатися від 22 до 26 градусів Цельсія при збереженні всіх інших параметрів мікроклімату. Вище зазначені норми цілком відповідають фактичним даним приміщення лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідним відділом.

Б.2.2 Розрахунок системи загального рівномірного освітлення з лампами

розжарювання для приміщення, в якому використовуються зорові роботи високої точності

Розміри приміщення: довжина ($a=6$ м), ширина ($b=3,5$ м), висота ($h=3,5$ м). Приміщення має світлу побілку: коефіцієнт відбиття $P_{стелі} = 70 \%$, $P_{стін} = 50 \%$. Висота робочих поверхонь (столів) $h_p = 0,7$ м. Для освітлення прийнято світильники типу УПМ-15, які підвищуються до стелі, відстань від світильника до стелі $h_c = 0,4$ м. Мінімальна освітленість за нормами $E=200$ лк.

1) Визначимо висоту підвісу світильників над підлогою

$$h_0 = H - h_c = 3,5 - 0,4 = 3,1 \text{ м.}$$

Для світильників загального освітлення з лампами розжарювання потужністю до 200 Вт мінімальна висота підвісу над підлогою відповідно до СНІП П-4-79 повинна бути у межах (2,5–4,0) м, залежно від характеристики світильника. В лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідному відділу відповідає цій вимозі.

2) Визначимо висоту підвісу світильника над робочою поверхнею:

$$h = h_0 - h_p = 3,1 - 0,4 = 2,7 \text{ м.}$$

Рівномірність освітлення досягається при відповідному співвідношенні відстані між світильниками (L) та висоти їх підвісу (h).

3) Визначимо рекомендовану відстань між світильниками

$$L = 0,7 \cdot h = 0,7 \cdot 2,7 = 1,9 \text{ м.}$$

4) Розрахуємо необхідну кількість світильників

$$N = \frac{a \cdot b}{L^2} = \frac{6 \cdot 3,5}{2^2} = 6.$$

Приймаємо 6 світильників, враховуючи розміри приміщення розміщуємо їх у два ряди по 3 штуки.

5) Світловий потік лампи світильника (Φ_L) визначається за формулою:

$$\Phi_L = \frac{E \cdot K_3 \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta},$$

де E – нормативна освітленість, лк; K_3 – коефіцієнт запасу, який враховує зниження освітленості в результаті забруднення та старіння ламп; S – площа приміщення, що освітлюється, м²; Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення для ламп розширювання (1,15); N – кількість світильників; n – кількість ламп у світильнику; η – коефіцієнт використання світового потоку, який визначається за світлотехнічними таблицями залежно від показника приміщення (i) та коефіцієнтів відбиття стін та стелі.

6) Визначимо показник приміщення:

$$i = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} = \frac{6 \cdot 3,5}{3,5 \cdot (6 + 3,5)} = 2,21.$$

Коефіцієнт використання $\eta = 0,48$ для світильника УПМ-15 (при $i = 2,5$, $P_{стелі} = 70\%$, $P_{стін} = 50\%$). Світловий потік одного світильника, а значить і лампи, оскільки за конструктивним виконанням у світильнику цього типу встановлена лише одна лампа, дорівнює:

$$\Phi_L = \frac{E \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 21 \cdot 1,15}{6 \cdot 1 \cdot 0,48} = 1677 \text{ лм.}$$

