

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра автоматизації, комп'ютерних наук і технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеню вищої освіти-магістр
за освітньо-професійною програмою

«Кіберфізичні системи в промисловості, бізнесі та транспорті»

зі спеціальності

174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

тема роботи:

«Автоматизація процесів підготовки та завантаження шихти в доменну піч»

Виконав ст. гр.АКІТР-23-1м

Бабкін Л.М.

Керівник

Тиханський М.П.

Нормоконтроль

Маринич І.А.

Завідувач кафедри

Рубан С.А.

КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**Факультет:** інформаційних технологій**Кафедра:** автоматизації, комп'ютерних наук і технологій**Ступінь вищої освіти:** Магістр**Спеціальність:** 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка**ЗАТВЕРДЖУЮ**Зав. кафедри: к.т.н. Рубан С.А.

«29» червня 2024 р.**ЗАВДАННЯ****на кваліфікаційну роботу магістра**студенту групи АКІТР-23-1м Бабкіну Леоніду Михайловичу**1. Тема роботи:** «Автоматизація процесів підготовки та завантаження шихти в доменну піч»затверджено наказом по університету № 595с від 04.07.2024.**2. Термін здачі завершеної роботи:** «01» грудня 2024 р.**3. Склад кваліфікаційної роботи:** Пояснювальна записка, додаток, презентація у Microsoft PowerPoint в електронному та друкованому вигляді**4. Консультанти кваліфікаційної роботи:**Розділ 1-3 доц. Тиханський М.П.Нормоконтроль доц. Маринич І. А.

5. Календарний план:

№	Етапи роботи	Термін виконання
1	<i>Вступ</i>	<i>10.07.24</i>
2	<i>Розділ 1</i>	<i>15.07.24</i>
3	<i>Розділ 2</i>	<i>18.08.24</i>
4	<i>Розділ 3</i>	<i>19.09.24</i>
5	<i>Висновки</i>	<i>15.10.24</i>
6	<i>Оформлення кваліфікаційної роботи</i>	<i>20.11.24</i>
7	<i>Підготовка презентації та графічного матеріалу</i>	<i>28.11.24</i>
8	<i>Підготовка доповіді до захисту</i>	<i>01.12.24</i>

6. Дата видачі завдання: 29.06.2024р.

Керівник _____ /Тиханський М.П. /

7. Запевнення: Я, Бабкін Леонід Михайлович, запевняю, що ця кваліфікаційна робота виконана самостійно, не містить академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Із чинним Положенням про академічну доброчесність Криворізького національного університету з метою запобігання та виявлення академічного плагіату в роботах здобувачів вищої освіти ознайомлена. Чітко усвідомлюю, що в разі виявлення у кваліфікаційній роботі умисних порушень робота не допускається до захисту або оцінюється незадовільно.

Студент _____ /Бабкін Леонід Михайлович /

АНОТАЦІЯ

Бабкін Л.М. Автоматизація процесів підготовки та завантаження шихти в доменну піч.

Кваліфікаційна робота на здобуття ступеню вищої освіти магістр за освітньо-професійною програмою «Кіберфізичні системи в промисловості, бізнесі та транспорті» зі спеціальності 174 – Автоматизація, комп'ютерно – інтегровані технології та робототехніка. – Криворізький національний університет, Кривий Ріг, 2024.

Об'єктом дослідження є процеси підготовки та завантаження шихти в доменну піч.

В першому розділі наведені характеристика технологічного процесу виробництва чавуну та устаткування доменної печі, технологічні процеси завантаження, дозування та шихтоподачі, виконано огляд та аналіз існуючих систем керування завантаженням шихти, приведена структурна схема автоматизації дозування шихтових матеріалів та шихтоподачі.

В другому розділі розроблено структурну схему управління механізмами системи завантаження доменної печі та основні вимоги до автоматизованої системи управління, сформульовано принципи та алгоритми управління шихтовкою та завантаження, виконано імітаційне моделювання системи автоматичного керування скіповою підйомною установкою, розроблена нечітка експертна система дозатора сипучих матеріалів.

В третьому розділі розроблено функціональна схема системи автоматизації дозування та завантаження шихтових матеріалів, алгоритми роботи автоматизованої системи керування, SCADA нижнього завантаження доменної печі, програмне забезпечення системи автоматизації нижнього завантаження доменної печі, обґрунтовано та вибрано технічне забезпечення системи автоматизації дозування шихтових матеріалів та завантаження у скіповому підйомі.

Ключові слова:

АВТОМАТИЗАЦІЯ, ДОЗУВАННЯ, ДОМЕННА ПІЧ, НЕЧІТКЕ КЕРУВАННЯ, СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, СКІПОВИЙ ПІДЙОМНИК, ШИХТОВІ МАТЕРІАЛИ.

ANNOTATION

Babkin L.M. Automation of the processes of preparation and loading of the charge into the blast furnace.

Qualification work for obtaining a master's degree of higher education under the educational and professional program "Cyber-physical systems in industry, business and transport" in the specialty 174 - Automation, computer-integrated technologies and robotics. – Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, 2024.

The object of research is the processes of preparation and loading of the charge into the blast furnace.

In the first section, the characteristics of the technological process of iron production and blast furnace equipment, the technological processes of loading, dosing and batch feeding are given, an overview and analysis of existing charge loading management systems is performed, and a structural diagram of the automation of dosing of batch materials and batch feeding is given.

In the second chapter, the structural diagram of the control mechanisms of the loading system of the blast furnace and the basic requirements for the automated control system were developed, the principles and algorithms of charging and loading management were formulated, the simulation modeling of the automatic control system of the skip lifting unit was performed, and the fuzzy expert system of bulk materials dispenser was developed.

In the third section, the functional scheme of the automation system for dosing and loading of charge materials, the algorithms of the automated control system, the SCADA of the lower loading of the blast furnace, the software of the automation system of the lower loading of the blast furnace, the technical support of the automation system of dosing of charge materials and loading in the skip lift were developed and selected. .

Keywords:

AUTOMATION, DOSING, BLAST FURNACE, FUZZY CONTROL, CONTROL SYSTEM, SKIP LIFT, LAYER MATERIALS.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	8
ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ, ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПІДХОДІВ ДО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АВТОМАТИЗАЦІЇ	12
1.1 Характеристика технологічного процесу виробництва чавуну та устаткування доменної печі.....	12
1.2 Технологічні процеси завантаження, дозування та шихтоподачі доменної печі.....	22
1.3 Огляд та аналіз існуючих систем керування завантаженням шихти у доменну піч.....	26
1.4 Структурна схема автоматизації дозування шихтових матеріалів та шихтоподачі	37
1.5 Постановка задачі на розробку системи автоматизації дозування шихтових матеріалів та завантаження доменної печі.....	40
Висновки до розділу	42
РОЗДІЛ 2. ІДЕНТИФІКАЦІЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТА СИНТЕЗ І МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ	44
2.1 Структурна схема управління механізмами системи завантаження доменної печі та основні вимоги до автоматизованої системи управління.....	44
2.2 Принципи та алгоритми управління шихтовкою та завантаження доменної печі	48
2.3 Моделювання системи автоматичного керування скіповою підйомною установкою при завантаженні доменної печі	56
2.4 Імітаційне моделювання системи автоматичного керування скіповою підйомною установкою в пакеті Matlab	60

2.5 Обґрунтування використання нечітких експертних систем для автоматизації дозування шихтових матеріалів	65
2.6 Розробка нечіткої експертної системи дозатора сипучих матеріалів.....	66
Висновки до розділу..	73
РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ	75
3.1 Функціональна схема системи автоматизації дозування та завантаження шихтових матеріалів доменної печі.....	75
3.2 Технічне забезпечення системи автоматизації дозування шихтових матеріалів та завантаження у скіповому підйомі доменної печі.....	77
3.3 Алгоритми роботи автоматизованої системи керування завантаженням доменної печі.....	79
3.4 Розробка SCADA нижнього завантаження доменної печі.....	85
3.5 Розробка програмного забезпечення системи автоматизації нижнього завантаження доменної печі.....	94
Висновки до розділу.....	102
ВИСНОВКИ	103
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	105

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АСК – автоматизована система керування;

АСКП – автоматизована система керування підприємством;

АСК ТП – автоматизована система керування технологічним процесом;

ВМ – виконавчий механізм;

ДП – доменна піч;

НЛ – нечітка логіка;

НСД – неперервний стрічковий дозатор;

ОК – об'єкт керування;

ПЛК – програмований логічний контролер;

САР – система автоматичного регулювання;

САК – система автоматизованого керування;

ТЗА – технічні засоби автоматизації;

ТП – технологічний процес;

ВСТУП

Доменна плавка, як один з фундаментальних процесів металургії, протягом багатьох століть зазнавала значних змін. Однак, незважаючи на технологічний прогрес, залишається актуальною проблема підвищення ефективності та стабільності цього процесу. Одним із ключових етапів доменної плавки є підготовка шихти та її завантаження в доменну піч. Саме цей етап визначає в значній мірі якість чавуну, витрати виробництва та загальну продуктивність підприємства.

Актуальність дослідження обумовлена постійно зростаючими вимогами до якості сталі та продуктивності металургійних підприємств. У сучасних умовах ринкової економіки конкурентоспроможність металургійних підприємств безпосередньо залежить від ефективності використання ресурсів, зокрема енергії та сировини. Автоматизація підготовки шихти та завантаження її в доменну піч є одним з найбільш перспективних напрямків підвищення ефективності доменного виробництва.

Аналіз літературних джерел свідчить про те, що проблема автоматизації доменних процесів привертає увагу дослідників протягом багатьох десятиліть. Однак, до сьогоднішнього дня залишається актуальним питання розробки оптимальних схем автоматизації, які б враховували специфіку роботи конкретних доменних печей та дозволяли досягти максимального ефекту.

Мета роботи полягає в розробці науково обґрунтованої системи автоматизації підготовки шихти та завантаження її в доменну піч, яка дозволить підвищити продуктивність, стабільність роботи печі та якість чавуну, а також знизити витрати виробництва.

Поставлена мета досягається вирішенням наступних завдань:

– провести аналіз сучасного стану автоматизації процесів підготовки шихти та завантаження її в доменну піч;

– розробити математичну модель процесу завантаження доменної печі з урахуванням особливостей шихтових матеріалів та теплофізичних процесів, що відбуваються в печі;

– спроектувати систему автоматичного управління процесом завантаження доменної печі, яка забезпечить оптимальний розподіл шихти в печі та стабільність роботи системи;

– провести експериментальні дослідження розробленої системи на моделі;

– оцінити ефективність запропонованої системи автоматизації.

Наукова новизна роботи полягає в розробці нової системи автоматизації підготовки шихти та завантаження її в доменну піч, яка базується на використанні сучасних інформаційних технологій та враховує специфіку роботи конкретного металургійного підприємства.

Практична значимість роботи полягає в тому, що результати дослідження можуть бути використані для модернізації існуючих доменних печей та підвищення їх ефективності. Впровадження розробленої системи автоматизації дозволить знизити витрати виробництва, підвищити якість чавуну та поліпшити умови праці персоналу.

Структура роботи відповідає загальноприйнятим вимогам до дипломних робіт і включає вступ, три основних розділи, висновки та список використаних джерел.

Вступ до роботи містить обґрунтування актуальності теми, постановку мети і завдань дослідження, опис наукової новизни та практичної значимості роботи.

Огляд літератури присвячений аналізу сучасного стану автоматизації доменних процесів, опису існуючих систем автоматизації та їх недоліків.

Методи дослідження включають теоретичний аналіз, математичне моделювання та комп'ютерне моделювання.

Результати дослідження представляють розроблену систему автоматизації, її математичну модель, результати комп'ютерного моделювання та програмно-технічну реалізацію..

Висновки містять стислий виклад основних результатів роботи та рекомендації щодо їх практичного застосування.

Список використаних джерел включає перелік літературних джерел, які використовувалися при написанні роботи.

Сучасні системи автоматизації доменних печей базуються на використанні мікропроцесорної техніки, датчиків, виконавчих механізмів та спеціалізованого програмного забезпечення. Вони дозволяють здійснювати автоматичний контроль та управління процесами дозування шихтових матеріалів, розподілу шихти в печі, подачі дугтя та відводу газів.

Однак, існуючі системи мають ряд недоліків:

- обмежені можливості адаптації до змінних умов роботи печі;
- недостатня точність дозування шихтових матеріалів;
- нові технології складно впроваджувати в цій галузі;
- висока вартість обладнання та програмного забезпечення.

Використання цих технологій дозволить:

- підвищити точність керування процесом доменної плавки;
- зменшити енергоспоживання та викиди шкідливих речовин;
- поліпшити якість чавуну та стабільність роботи печі;
- збільшити термін служби обладнання.

Таким чином, автоматизація підготовки шихти та завантаження її в доменну піч є актуальним напрямком розвитку металургії, який дозволяє підвищити ефективність виробництва, знизити витрати і поліпшити якість продукції.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ, ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПІДХОДІВ ДО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Характеристика технологічного процесу виробництва чавуну та устаткування доменної печі

Процеси, що відбуваються у працюючій доменній печі сьогодні вважаються одними з найдавніших у металургії. Завдяки цьому накопичено значний обсяг практичних і теоретичних знань, що створюють великий потенціал для його подальшого розвитку та вдосконалення. Це пояснює актуальність доменного виробництва навіть в сучасних умовах, попри постійні спроби знайти нові технології для виготовлення чавуну та сталі [2].

На більшості підприємств з доменним виробництвом доменні цехи є невід'ємною частиною технологічного ланцюга і не можуть функціонувати окремо. Наприклад, сировиною для доменних печей слугують кокс і агломерат, тому на ефективність роботи доменних цехів значно впливають агломераційні та коксохімічні виробництва. Для оптимальної роботи доменного цеху необхідна узгоджена діяльність усіх його підрозділів, які займаються підготовкою і подачею сировини до печі, проведенням процесу плавлення і виведенням продуктів – чавуну та шлаку.

Сучасна доменна піч належить до шахтних печей і складається з колошника, шахти, розпару, заплечиків і горна. Вона є високоавтоматизованою та механізованою установкою.

Для досягнення кращих техніко-економічних показників доменної плавки, сировину попередньо піддають спеціальній підготовці (рис. 1.1). Сирий флюс завантажують у доменну піч лише в невеликій кількості для досягнення необхідного хімічного складу шлаку. Основна частина флюсу вводиться у шихту під час окускування руди. На рис. 1.1 лінія флюсу позначена пунктиром [2,3].

Підготовлені шихтові матеріали у чітко визначеній пропорції завантажують у верхню частину доменної печі за допомогою спеціального завантажувального пристрою. Одночасно в нижню частину, у горн, через фурми подають стиснене повітря, що подається повітродувною машиною. Щоб зменшити витрати коксу і підвищити продуктивність печі, повітря попередньо нагрівають до температури 1000-1200 °С, збагачують киснем, а також в горн додають природний газ, мазут або пиловугільне паливо.

У процесі, що відбувається всередині печі, сировинні матеріали взаємодіють із дуттям, у результаті чого утворюються чавун, шлак і газ. Основним продуктом доменного процесу є передільний чавун, який випускають із горна через чавунну льотку 8-14 разів на добу та відправляють на сталеплавильні заводи для подальшої переробки в сталь або на машини для розливу в чушки, що відправляються споживачам.

У доменній печі шлак утворюється внаслідок плавлення нерудних складових руди, додаткових флюсуючих матеріалів та золи, що міститься у коксі. Для видалення шлаку з печі використовують шлакові льотки: через верхні виводять шлак, який накопичується зверху, а через чавунні льотки випускають нижній шлак під час виведення чавуну. Основну частину шлаку, що знаходиться у рідкому стані, піддають грануляції, тоді як частину шлакової маси зливають на спеціально відведені шлакові відвали. У процесі взаємодії кисню, що надходить під час дуття, з вуглецем коксу в печі утворюється доменний газ, який після відповідного очищення використовують як паливо в металургійному виробництві, зокрема в доменних та суміжних цехах. Колошниковий пил, що утворюється під час цього процесу, направляють на агломераційну фабрику для подальшого виробництва агломерату [3,4].

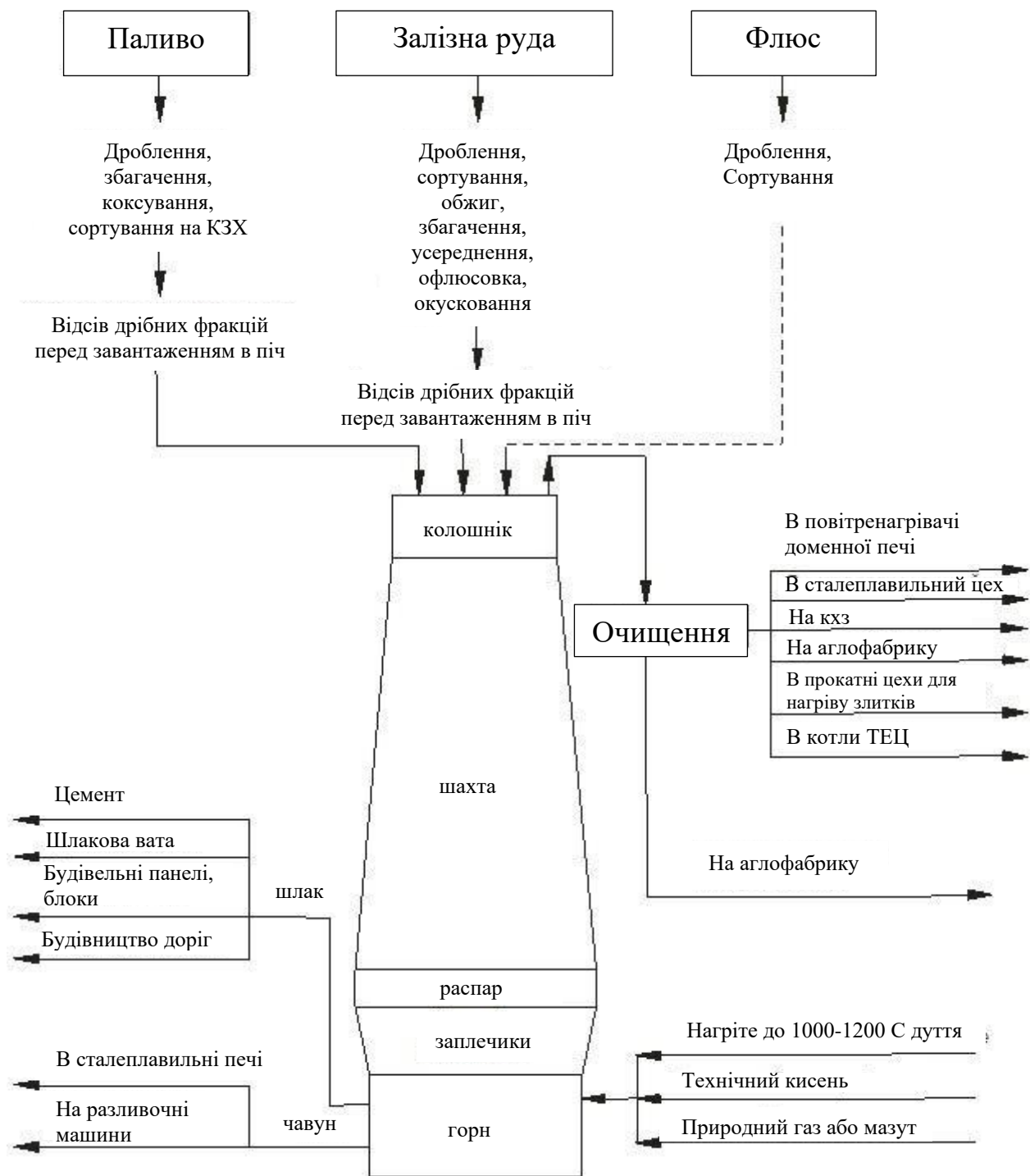


Рисунок 1.1 - Схема доменного виробництва

Доменна піч працює в безперервному режимі цілодобово, забезпечуючи постійний виробничий процес без перерв. Однак час від часу, з певним інтервалом, роботу печі зупиняють для проведення профілактичних ремонтів і технічного обслуговування, щоб забезпечити її безпечну та ефективну експлуатацію [1].

Конструкція доменної печі представлена на рис.1.2.

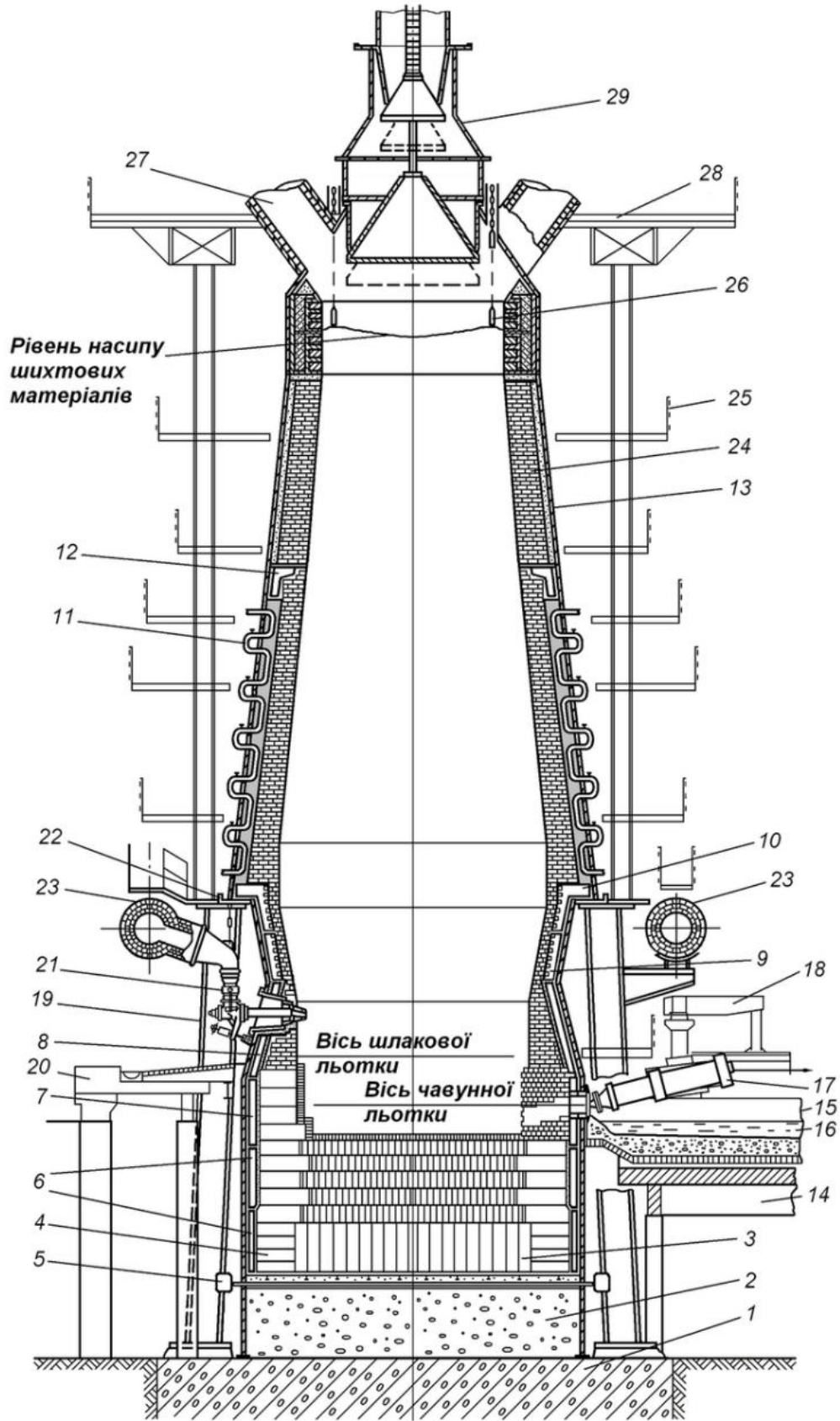


Рисунок 1.2 – Конструкція доменної печі

На рисунку 1.2 прийняті наступні позначення:

1 - нижня частина фундаменту, 2 - «пеньок», верхня частина фундаменту, 3 - графітовані блоки, 4 - вуглецеві блоки, 5 - система охолодження дна, 6 - подові холодильники, 7 - ряд горнових холодильників, 8 - холодильники фурменної зони, 9 - ряд холодильників заплечиків, 10 - верхній ряд холодильників заплечиків, 11 - система охолодження шахти, 12 - горішній ряд холодильників, на які спирається мурування неохолоджуваної частини шахти печі, 13 - кожух печі, 14 - ливарний двір, 15 - головний жолоб, 16 - продукти плавки — чавун і шлак - у головному жолобі, 17 - гармата, підведена до льотки, 18 - машина для розкриття чавунної льотки у вихідному положенні, 19 - колони, на які спираються шахта печі і металоконструкції по шахті печі і колошниковий пристрій, 20 - майданчик фурменної зони, 21 - пристрій для подачі дуття у доменну піч, 22 - мараторне кільце, 23- кільцевий повітропровід, 24 - неохолоджувана частина шахти печі, 25 - перехідні майданчики на різних горизонтах печі, 26 - ланцюгові зонди, 27 - газовідводи, 28 - колошниковий майданчик, 29 - завантажувальний пристрій.

Структура доменного цеху представлена на рис. 1.3. На рисунку 1.3 прийняті наступні позначення:

1 - скрубєр, 2 - пиловловлювач, 3 - нахилений газопровід, 4 - ливарний двір, 5 - зрівнювальний газопровід, 6 - доменна піч, 7 - колошниковий пристрій, 8 - газовідводи, 9 - скіповий підйомник (нахилений міст), 10 - машинний зал, 11 - скіп, 12 - балансир, 13 - залізничний вагон, 14 - коксовий бункер, 15 - скіпова яма, 16 - бункерна естакада, 17 - вісь розташування повітронагрівачів, 18 - рудний грейферний перевантажувач, 19 - рудний двір, 20 — чавуновоз, 21 - шлаковоз, 22 - скіпова лебідка, 23 - конусова лебідка, 24 - вагон-ваги, 25 - рудний бункер, 26 - дросельна група, 27 - труба Вентурі, 28 - краплевідокремлювач.

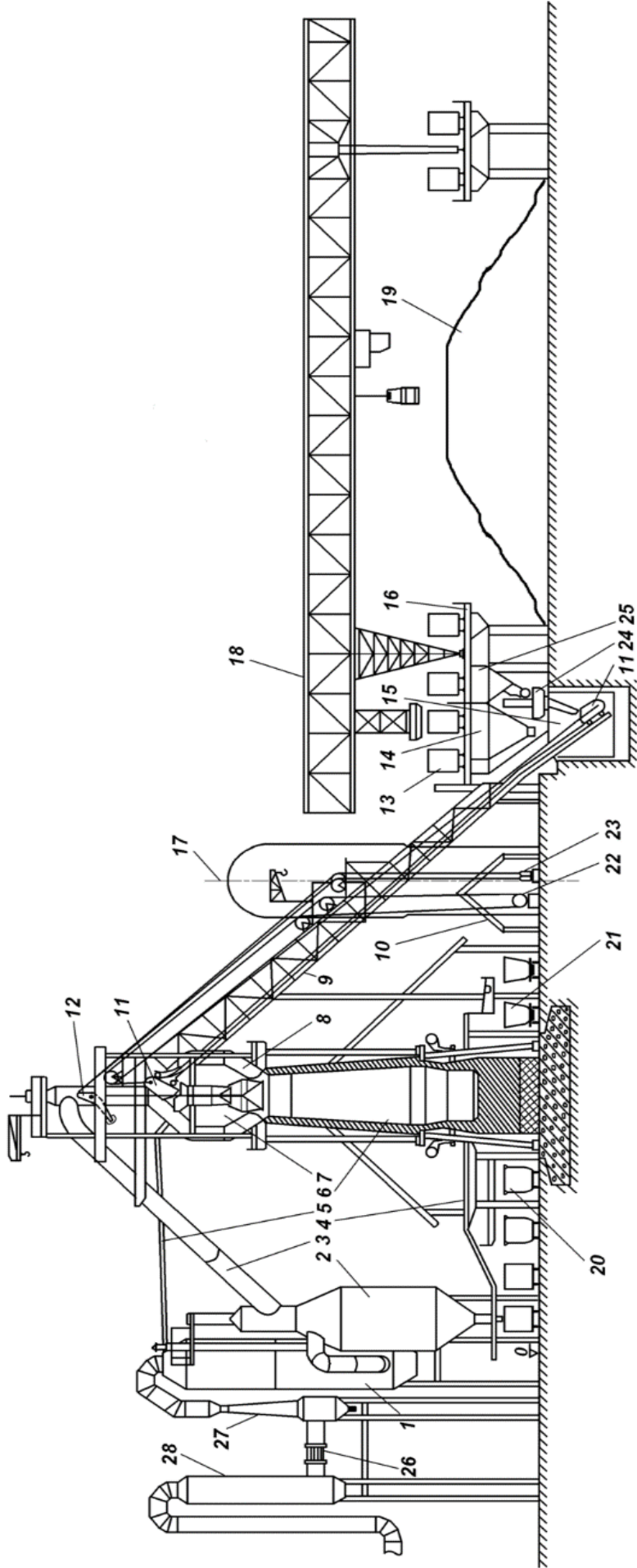


Рисунок 1.3 – Структура доменного цеху

Бункери доменних печей, які розташовані вздовж лінії печей, слугують ємностями для зберігання основних матеріалів, таких як агломерат, флюси та кокс [1]. Рудні бункери, кількість яких може становити від 15 до 21 для однієї печі, розміщені з обох сторін бункерної лінії. Щодо коксових бункерів, їх на одну піч встановлено два, і вони розташовані безпосередньо над скіповою ямою з обох боків підйомного мосту. Один з них називається лівим коксовим бункером, а інший – правим, орієнтуючись на розташування печі щодо скіпової ями. Схема завантаження скіпа коксом наведена на рис. 1.4.

Агломерат та флюси забирають із рудних бункерів, де їх спершу зважують, після чого ці матеріали подають до скіпової ями. Завантаження скіпа здійснюється за допомогою вагон-ваг, які переміщуються вздовж лінії бункерів, або за допомогою транспортерів. Після цього, скіп, навантажений необхідними матеріалами, піднімається на верх доменної печі за командою машиніста вагон-ваг, використовуючи скіповий підйомник, для подальшого завантаження печі.

Доменний підйомник [2] на сучасних доменних печах фактично є двоскіповим і працює за принципом урівноваженої системи. Це означає, що підйом і спуск використовуються одночасно двома скіпами, використовуючи кінематичну схему, яка показана на малюнку 1.5. Корисна ємність кожного скіпа залежить від розміру доменної печі. Наприклад, для печі об'ємом 2000 м³ об'єм скіпа складає 14 м³, для печі об'ємом 2700 м³ - ємністю 20 м³, а для печей 3200 м³ - ємністю до 22м³.

Рух обох скіпів, позначених як 1СГ і 2СГ, забезпечується однією лебідкою, яка знаходиться в машинному відділенні. Скіпи з'єднані між собою загальним канатом, що намотується на барабан лебідки. Коли один зі скіпів, наприклад 1СГ, знаходиться в нижньому положенні і готовий до завантаження, інший скіп, 2СГ, у цей момент перебуває в перекинутому стані нагорі, доходячи до вивантаження матеріалів у піч. Така система дозволяє ефективно порівнювати навантаження та забезпечує безперервність процесу підйому та спуску сировини для доменної печі.

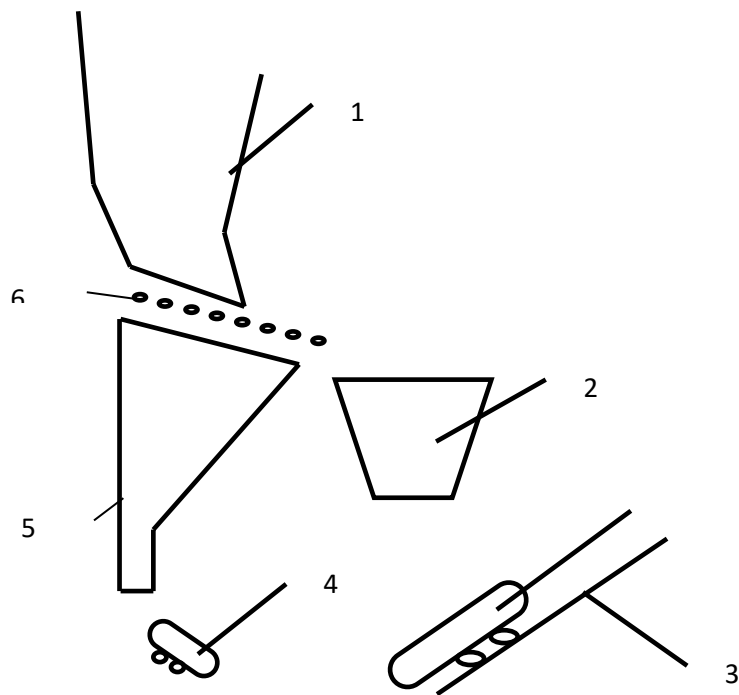


Рисунок 1.4 - Схема завантаження скіпа коксом

На рисунку 1.4 прийняті наступні позначення: 1 - бункер коксу; 2 - коксовий ваговий бункер; 3 - головний скіп; 4 - скіп коксового дріб'язку; 5 - бункер коксового дріб'язку; 6 - грохіт.

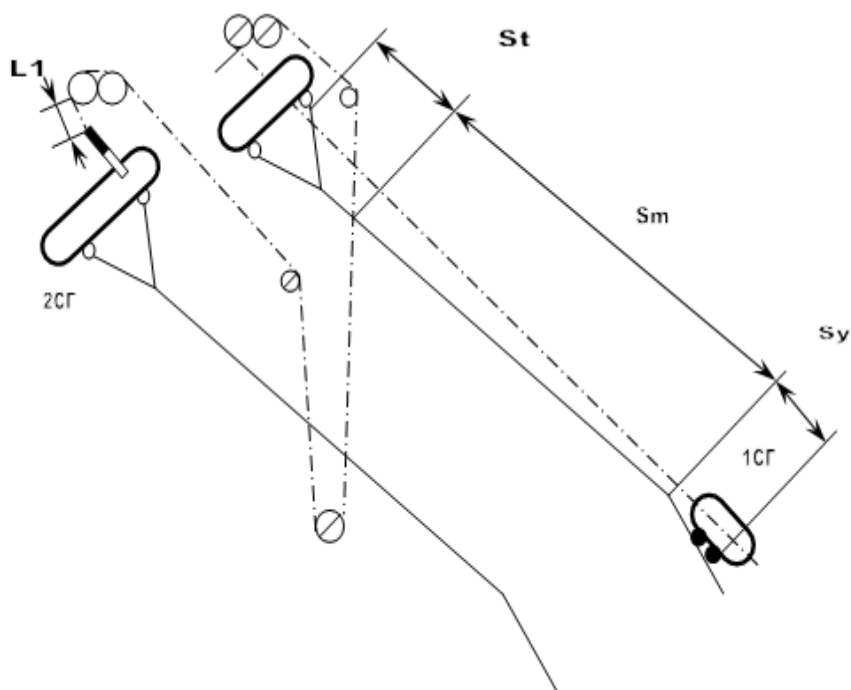


Рисунок 1.5 - Кінематична схема головного підйому

Після того як скіп завантажується, він починає свій підйом до верхньої частини доменної печі. Спочатку скіп проходить круту ділянку шляху, позначену як S_y , потім переходить на середню ділянку S_m , яка має менш крутий нахил. Далі, на кінцевій криволінійній ділянці S_t , скіп пересувається зі зниженою швидкістю. У цій частині шляху скіп за допомогою додаткової пари рейок, вигнутих догори, перевертається і вивантажує матеріали у вирву обертового розподільника, що забезпечує рівномірне розподілення матеріалу всередині печі. У цей час другий скіп починає свій спуск, також зі зниженою швидкістю, до нижньої частини нахиленого мосту на ділянці S_y , і зупиняється в скіповій ямі, де готується до наступного циклу завантаження.

Для великих доменних печей використовуються потужні *скіпові лебідки* типу С 1-22,5-210 [2, 3], обладнані двома двигунами та роздільними редукторами. Вантажопідйомність таких лебідок становить 22,5 тон, а швидкість пересування скіпів досягає 210 метрів за хвилину.

Засипний апарат, який відповідає за завантаження шихтових матеріалів у піч, розташований у самій верхній частині доменної печі. На більшості сучасних печей встановлено двоконусні завантажувальні пристрої (схема зображена на рис. 1.6), які працюють за спеціальним режимом, забезпечуючи точне і рівномірне надходження матеріалів у піч для оптимального процесу плавлення.

На рисунку 1.6 прийняті наступні позначення: 1 - колошник доменної печі; 2 - газовідводи; 3 - великий конус; 4 - чаша великого конуса; 5 - малий конус; 6 - лійка малого конуса; 7 - ущільнення обертового розподільника; 8 - привод обертового розподільника; 9 - штанга малого конуса; 10 - штанга великого конуса; 11 - балансир великого конуса; 12 - контрвантаж; 13- канат; 14- конусна лебідка; 15 - штанга зонда (шомпола); 16 - трос; 17 - зондова лебідка (для спрощення на малюнку не показані балансир і трос для маневрування малим конусом).

У звичайному режимі обидва конуси – малий і великий – щільно притиснути до лійки та чаші, що забезпечує надійну ізоляцію внутрішнього простору доменної печі від зовнішньої атмосфери.

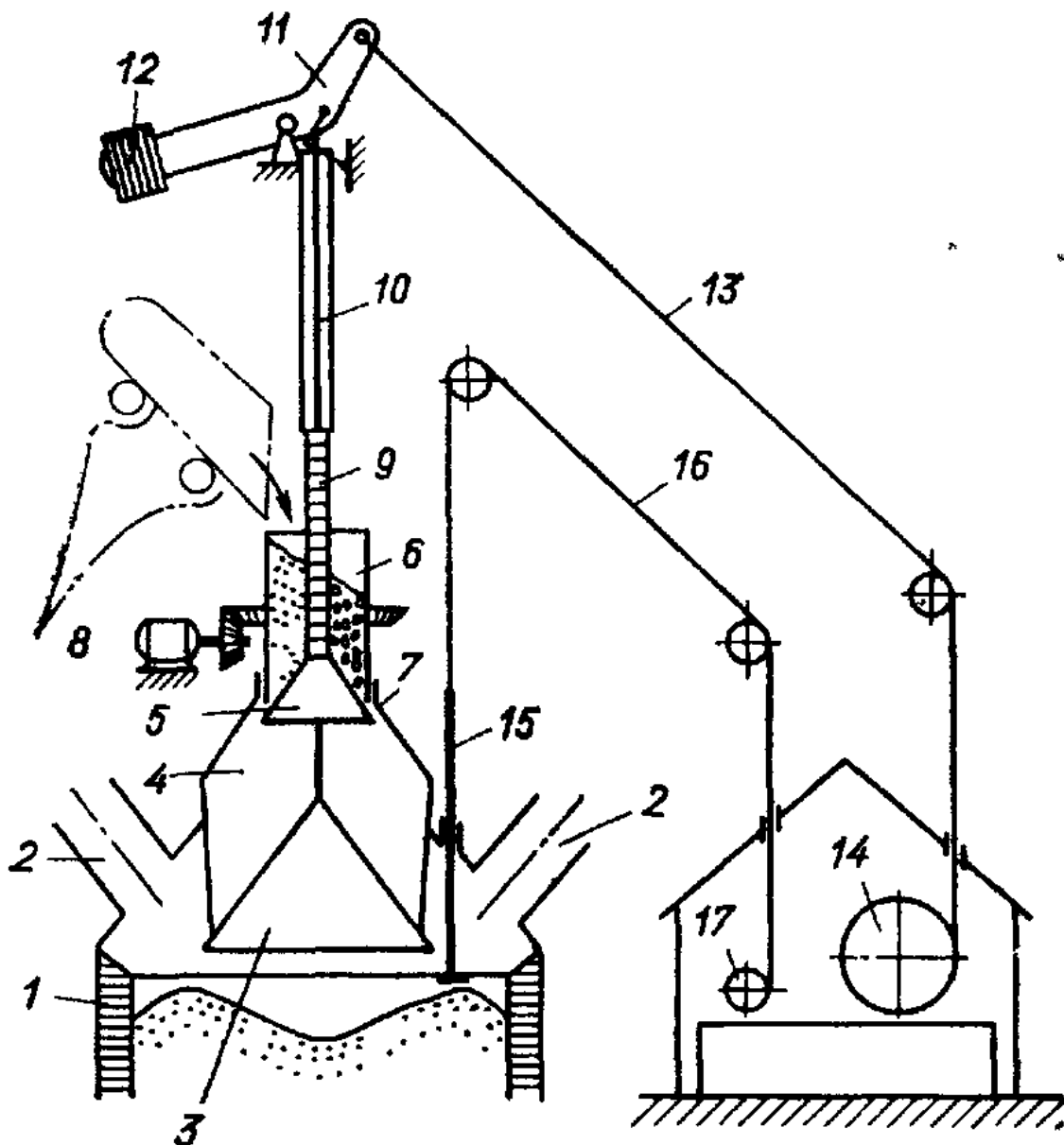


Рисунок 1.6 - Пристрій для завантаження шихти в доменну піч

Після того як скіп розвантажується у приймальну лійку малого конуса, малий конус починає опускатися, відкриваючи щілину, через яку шихтові матеріали, такі як кокс, агломерат або окатиші разом із флюсами, потрапляють на поверхню великого. Подача матеріалів на великий конус відбувається аналогічно ще з двох або трьох скіпів, забезпечуючи необхідну кількість шихти.

Подача матеріалів на більший конус проводиться аналогічно ще з двох або трьох скіпів, забезпечуючи необхідну кількість шихт. Опісля, як на цьому конусі

назбирається задана кількість коксу, рудного матеріалу та флюсів, при закритому малому конусі великий конус відпускається, дозволяючи шихті висипатися в піч. Відразу після звільнення конус закривається. Тобто, у довільний момент часу внутрішній простір печі загерметизовано.

Шихтові матеріали надходять на колошник печі з одного боку, що призводить до утворення нахилу в лійці малого конуса. Такий нерівномірний розподіл матеріалу зберігається на великому конусі й у печі. Не можна допускати, щоб перекося рівня шихти в пічі тривав довгий час. Обертний механізм малого конуса і приймальної лійки дозволяє уникати накопичення матеріалів в одному місці, що могло призвести до зниження ефективності плавлення.

Крім того, система лебідок і балансирів, яка керує рухом конусів, забезпечує високу точність роботи. Це необхідно для точного завантаження печі та контролю кількості матеріалів, які пропускають у піч за один цикл.

1.2 Технологічні процеси завантаження, дозування та шихтоподачі доменної печі

Однією з ключових складових устаткування для завантаження доменних печей є система шихтоподачі, що відповідає за формування порцій шихтових матеріалів [4].

Важливість правильного завантаження печі складно переоцінити: якість процесу виплавки сильно залежить від цього. Матеріали повинні завантажуватися шарами, чергуючись між собою. Для ефективного відновлення заліза шари рудно-флюсової частини та коксу мають бути не занадто товстими. Саме тому доменна піч завантажується порційно, причому кожна порція містить строго визначену кількість матеріалів, необхідних для виплавки певного виду чавуну. У процесі завантаження кожна порція складається з кількох скіпів рудно-флюсових матеріалів і коксу, що подаються в піч у певній послідовності.

Подача цих матеріалів відбувається одним або двома прийомами при відкриванні великого конуса.

Для плавки чавуну необхідні сировинні матеріали, які, змішані у встановлених пропорціях, подаються через спеціальний засипний пристрій у верхню частину доменної печі.

Руда та флюси доставляються вагон-вагами від рудних бункерів до скіпової ями. Коли вагон-ваги зупиняються над приймальними вирвами, машиніст відкриває затвор однієї з кишень вагону, і матеріал висипається в скіп, що знаходиться внизу. Після того, як скіп заповнюється рудою, машиніст за допомогою командоапарату, встановленого в зоні скіпової ями, активує підйом скіпа. У процесі підйому навантаженого, наприклад, правого скіпа, інший порожній скіп опускається вниз. Коли правий скіп досягає верху (колошника), він перекидається і висипає матеріал в обертовий розподільник.

У цей час порожній лівий скіп готується до завантаження. Після цього машиніст відкриває затвор другої кишені вагону-ваг і завантажує другий скіп, після чого активує підйом. Другий скіп також піднімається до колошника, перевертається і вивантажує матеріал в розподільник.

Процес завантаження коксу має деякі відмінності. Кокс завантажується в скіп безпосередньо з коксових бункерів, розташованих над скіповою ямою по обидва боки від осі скіпового підйомника: один бункер для правого, інший – для лівого скіпа. Якщо, за програмою завантаження, скіп має бути заповнений коксом, у нижньому положенні автоматично відкривається затвор відповідного коксового бункера, і кокс висипається в скіп.

Після цього затвор закривається, і машиніст подає імпульс для підйому скіпа. Одночасно з початком підйому запускається гуркіт, і коксова вирва наповнюється до потрібної ваги. Наповнені скіпи, як і раніше, вивантажуються в обертовий розподільник, який повертається на певний кут після кожного завантаження.

Малий конус відкривається, щоб вивантажити матеріал на великий конус. Після цього великий конус відкривається один або два рази, щоб скинути матеріал безпосередньо в доменну піч.

Перед відкриванням великого конуса передбачається підняття контрольних зондів, які після завершення процесу опускаються вниз. Крім того, перед опусканням малого конуса відкриваються зрівнювальні клапани УКМК, а перед опусканням великого конуса – зрівнювальні клапани УКБК [5-7].

Висока продуктивність сучасної доменної печі забезпечується за рахунок інтенсивної роботи механізмів системи завантаження. Для цього важливо звести до мінімуму час роботи кожного механізму, а також час пауз між ними, що дозволяє скоротити тривалість циклу завантаження.

Порядок роботи механізмів у системі завантаження контролюється за допомогою командоконтролера програми (ККП), який є основним командоапаратом для керування процесом.

На рисунку 1.7 зображено графік, який ілюструє послідовність дій механізмів під час завантаження. По горизонтальній осі відкладений час у секундах, а по вертикальній – зазначені механізми системи. Прямокутники на графіку відображають тривалість роботи кожного механізму, а стрілки показують імпульси, що запускають ці механізми. Графік складено для п'ятискипової подачі.

З аналізу графіка видно, що загальний час одного циклу подачі становить 248 секунд, що є мінімальним для цієї програми завантаження. Це досягається завдяки безперервній роботі головного підйомника з мінімальними перервами, які потрібні лише для завантаження матеріалів у скіп.

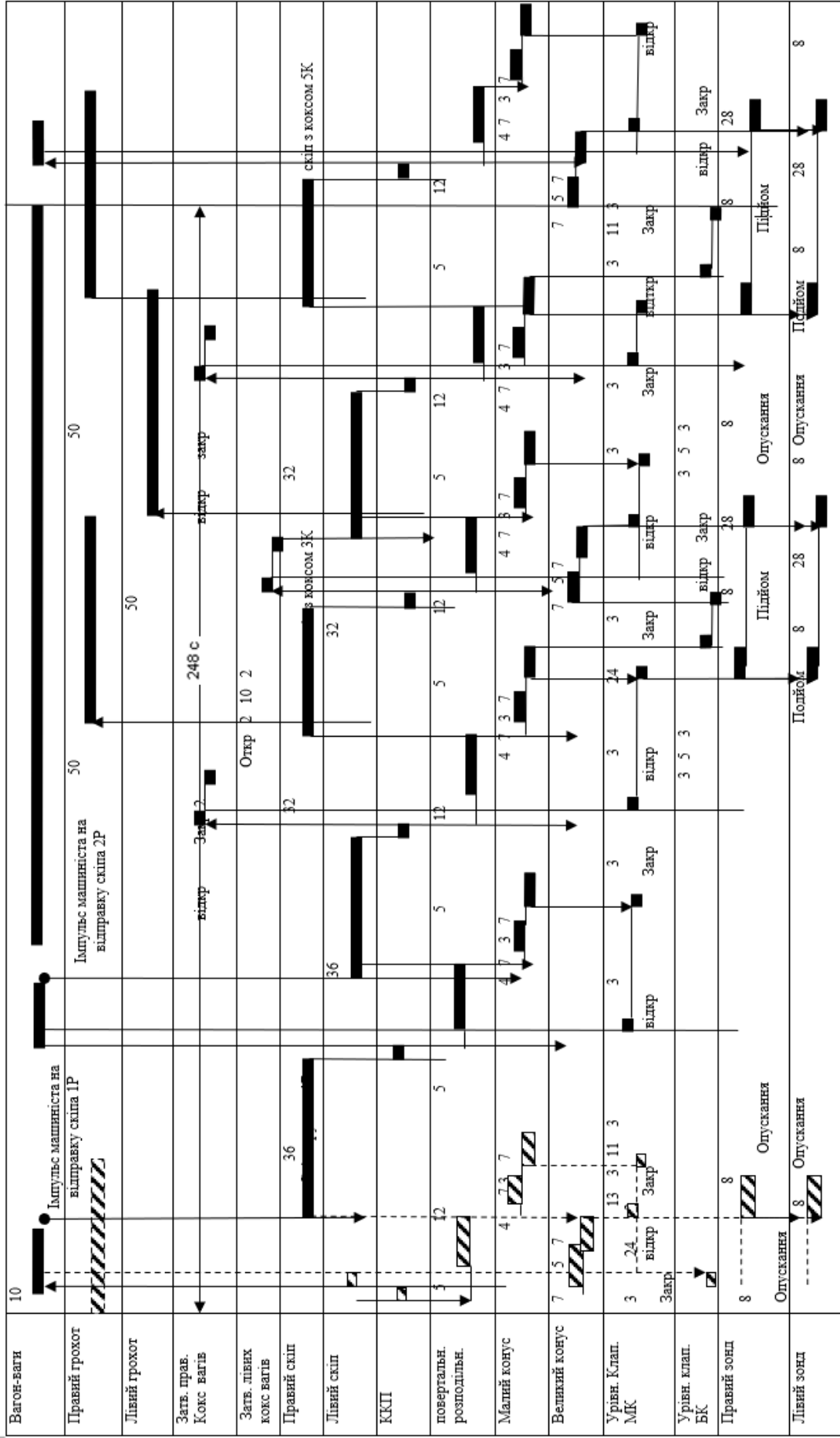


Рисунок 1.7 - Графік послідовності роботи механізмів системи завантаження

1.3 Огляд та аналіз існуючих систем керування завантаженням шихти у доменну піч

Основна ціль доменного виробництва полягає в тому, щоб отримати чугун із залізних руд, переробляючи їх у доменних печах. Основними матеріалами для цього процесу є кокс, агломерат, залізорудні окатиші та марганцеві руди. [6, 7]. На всіх домених печах процес подачі матеріалів проходить в два етапи:

Нижня загрузка матеріалів: Матеріали дозуються. Після чого вони направляються до скипового підйомника.

Верхня загрузка: матеріали завантажуються в піч. Після чого відбувається їх розподіл на колошнику.

Для забезпечення необхідних умови оптимального протікання всіх процесів всередині печі та отримання чугуна потрібної якості і складу розподіл матеріалів повинен відбутися правильно, а дозування бути точним.

Для точного дозування та доставка шихтових матеріалів до скіпового підйомника призначена автоматична система набору та зважування шихти [7,8].

Автоматична система може бути реалізована з підтримкою вагон-ваг або реалізована за допомогою стрічкових транспортерів з ваговими воронками. В першому випадку вагон-ваги виконують роль дозувальника і транспортного засобу для рудно-флюсової частки подачі, та гуркотів з ваговими воронками, що дозують масу коксу. Але така система має ряд недоліків [7, 8]:

- обмежена продуктивність доменних печей;
- неможливо відсіяти дрібні фракції агломерату перед завантаженням у піч;
- складно автоматизувати завантаження.

Аналіз техніко-економічних показників конвейерної системи подачі у порівнянні зі скіповою системою показав суттєві переваги першої [9, 10]:

- значно знижені витрати на виробництво однієї тонни чугуна — на 15-20%;
- експлуатаційні витрати також зменшуються на 15-20%, що пояснюється більш низькими амортизаційними відрахуваннями, меншими витратами на ремонтне обслуговування, електроенергію та оплату праці;

- система забезпечує значний резерв продуктивності при різній подачі кокса, з коефіцієнтом запасу 1,5;

- конвейерна система являє собою єдиний механізм безперервного транспортування матеріалів від бункерів до колошників, повністю автоматизована.

На доменних печах відсік дрібних частинок здійснюється за допомогою вібраційних або дискових грохотів. Однак дискові грохоти мають кілька суттєвих недоліків [11,12,13]:

- додаткове подрібнення кокса приблизно на 3%, що призводить до втрати металургійного кокса;

- диски швидко зношуються.

У зв'язку з цими недоліками, дискові грохоти поступаються вібраційним, які мають ряд переваги:

- забезпечують більш якісний відсік дрібних частинок;

- відсутність додаткового подрібнення;

- стабільний розподіл по крупності;

- простота конструкції.

У джерелі [14] описана система завантаження доменної печі, яка використовується на Східнославацькому металургійному комбінаті. Цей комбінат, що є одним із найбільших в Чехословаччині, розташований у місті Кошице. Підприємство працює на імпортній залізній руді та острівському коксівному вугіллі. Його основна продукція включає чавун, сталь, сталеві стрічки, труби, а також металеві та мостові конструкції. Завантаження доменного цеху відбувається за допомогою складної технологічної системи, до якої входять рудний двір з бункерною естакадою, система набору, зважування та транспортування шихтових матеріалів на колошник, завантажувальний механізм доменної печі та система управління процесом завантаження.

На підприємстві [15] використовується система з механізмами періодичної дії, яка має низку недоліків. Серед них – складність маніпуляцій з вагонами, значна тривалість процесу їх розвантаження, висока концентрація пилу під час операцій, а

також сильний вплив кліматичних умов на роботу системи. Крім того, неможливість відсіву рудних частин шихти менше 5 мм значно ускладнює автоматизацію всього процесу.

Завдяки математичній моделі доменного процесу [17] вдалося підвищити продуктивність доменного виробництва, оптимізувавши різні технологічні аспекти процесу виплавки чавуну.

Автоматизована система нижнього завантаження доменної печі на АТ «АрселорМіттал» у місті Теміртау [18] контролює всі механізми, які забезпечують подачу шихтових матеріалів. В алгоритмі роботи цієї системи передбачені як локальне, так і дистанційне керування, що дозволяє оператору більш гнучко та ефективно контролювати процес. Всі техніко-економічні параметри відображаються на екрані в реальному часі, а також графічно візуалізується все технологічне обладнання, яке використовується для нижнього завантаження.

Однак система візуалізації має один суттєвий недолік: велика кількість параметрів, що відображаються одночасно в одному вікні, може ускладнювати зручність сприйняття та читання інформації, що створює певні незручності для операторів при контролі за процесом.

Система нижньої подачі на металургійному комбінаті базується на автоматизованій системі управління вагон-вагами [22]. Ця система підтримує п'ять різних програм подачі шихтових матеріалів, причому кожна з них може включати один або два рудних скіпи. У чотирьох з цих програм передбачена можливість набору до шести компонентів шихти, тоді як одна програма розрахована лише на подачу одного компонента. Завдяки гнучким налаштуванням, система дозволяє створювати цикли завантаження, що складаються з одинадцяти подач, у яких чергуються всі п'ять програм у будь-якій послідовності.

Під час роботи системи одночасно можуть використовуватися 24 рудні бункери, але рівномірне розвантаження допускається не більше ніж з 4 бункерів із однаковим складом матеріалу. Система автоматизації вагон-ваг відзначається простотою конструкції і використовує стандартне високовольтне обладнання. Проте, незважаючи на загальну простоту електричних схем, процес налаштування

програм досить складний: навіть незначні зміни в програмі завантаження вимагають майже повної перестановки штекерів на комутаторі.

Вузол зважування в цій системі також реалізовано просто, що обмежує можливість точного набору будь-якої маси для кожного матеріалу в подачі. Крім того, вузол дає порівняно великі похибки у зважуванні, що можуть сягати 100-150 кг, що впливає на точність процесу [22].

Система автоматичного управління вагон-вагами на заводі «Азовсталь» забезпечує комплексну автоматизацію всіх етапів процесу, включаючи автоматичний набір матеріалів, їх зважування та переміщення [23]. Ця система підтримує п'ять різних програм подачі матеріалів, причому кожна подача може включати як один, так і два рудних скіпи. У рамках системи передбачений цикл завантаження, який складається з 24 подач, при цьому програми набору матеріалів можуть чергуватися в будь-якій послідовності.

Система дозволяє керувати роботою 56 рудних бункерів одночасно, забезпечуючи рівномірне розвантаження бункерів з однаковим вмістом. Завдяки таким можливостям ця система автоматизації є однією з найпотужніших за своїми технологічними характеристиками.

Аналіз різних методів завантаження шихтових матеріалів та рівень автоматизації цих процесів показує як переваги, так і недоліки різних систем управління. Такий огляд допомагає глибше розуміти їхні сильні й слабкі сторони, що дозволяє приймати зважені рішення, що відносяться до вибору найефективніших технологій для використання в металургійному виробництві.

Керуючи процесом завантаження шихти, можна впливати на роботу доменної печі, і цей метод управління називається "регулюванням зверху". Для цього використовуються різні типи завантажувальних пристроїв, які забезпечують ефективно надходження матеріалів у піч. На рисунку 1.8 представлені дві принципово різні схеми таких пристроїв.

Одним із найпоширеніших є двоконусний завантажувальний пристрій 2а, що складається з приймальної воронки 1а, обертового розподільника шихти 2а з малим конусом, та засипного апарата 3а з великим конусом. Така конструкція

дозволяє ефективно розподіляти шихту в печі, забезпечуючи правильне формування шарів матеріалів.

Важливою частиною системи завантаження доменних печей є шихтоподача. Сучасні конструкції шихтоподач мають вирішальне значення для підготовки, дозування і подачі шихтових матеріалів. Однією з найновіших та ефективних технологій є конвеєрна система шихтоподачі. Вона не тільки забезпечує точне дозування і формування порцій, але й дозволяє усунути недоліки старих систем, таких як вагон-ваги. Сучасна схема системи шихтоподачі для печі зі скіповим підйомником, представлена на рисунку 1.9, демонструє такі інновації, як відсівання дрібного матеріалу, формування оптимальних порцій шихти, а також концентрація бункерів над скіповою ямою. Відмова від застарілих методів і перехід на конвеєрні системи відображає сучасні тенденції в розвитку доменних технологій.

Шихтоподача є важливим комплексом технологічного обладнання, призначеного для виконання ключових операцій з підготовки шихтових матеріалів перед їх завантаженням у доменну піч. До цього комплексу пред'являються ряд важливих технологічних і технічних вимог, серед яких:

- забезпечення необхідного запасу шихтових матеріалів для стабільної роботи системи.
- ефективне просівання основних компонентів шихти для видалення дрібних частинок, що покращує якість матеріалів.
- точне дозування і зважування порцій шихти, що забезпечує рівномірність завантаження та оптимальні умови плавлення.
- формування порцій із чітким розташуванням матеріалів, що сприяє кращій організації процесу відновлення металу.
- забезпечення пропускної здатності на 25% більше від необхідного рівня, що дозволяє системі працювати з резервом для досягнення проектної продуктивності печі.
- доставка матеріалів на колошник з дотриманням заданого часу циклу завантаження, що мінімізує затримки у роботі системи.

– постійний контроль процесів і діагностика стану обладнання з метою швидкого виявлення несправностей і підтримки стабільної роботи.

Таким чином, шихтоподача не лише готує матеріали для доменної плавки, а й забезпечує високу ефективність і надійність всього процесу завантаження.

Приклади впроваджених АСУ ТП доменної печі на Дніпровському металургійному комбінаті та Маріупольському металургійному комбінаті приведені на рисунках 1.10 - 1.13.

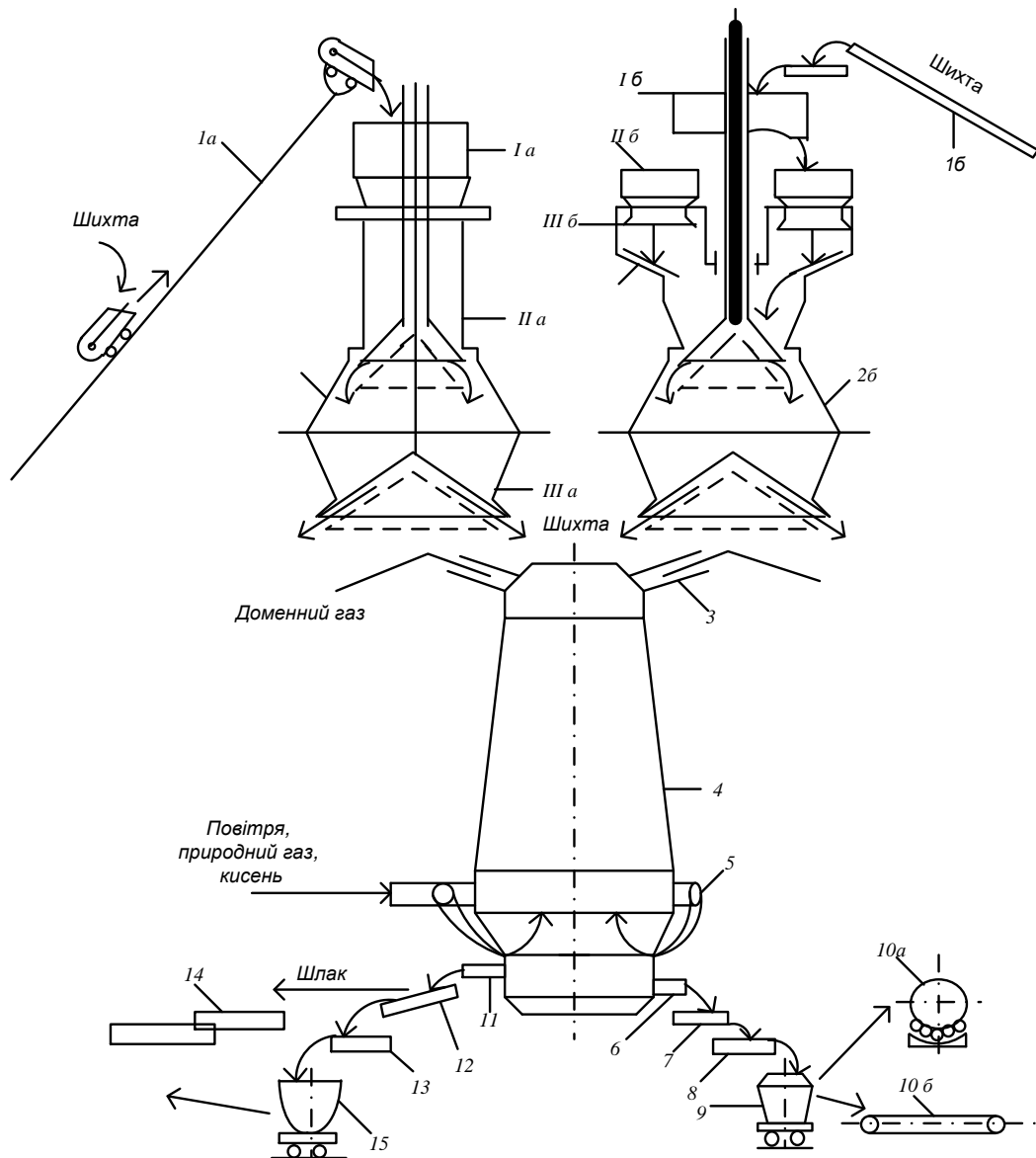


Рисунок 1.8 - Система завантаження доменної печі з конвеєрною подачею й підйомом шихтових матеріалів: (I – шихтоподача; II конвеєр; III – безконусно завантажувальний пристрій (1-9 – його вузли); α - кут нахилу лотка.)

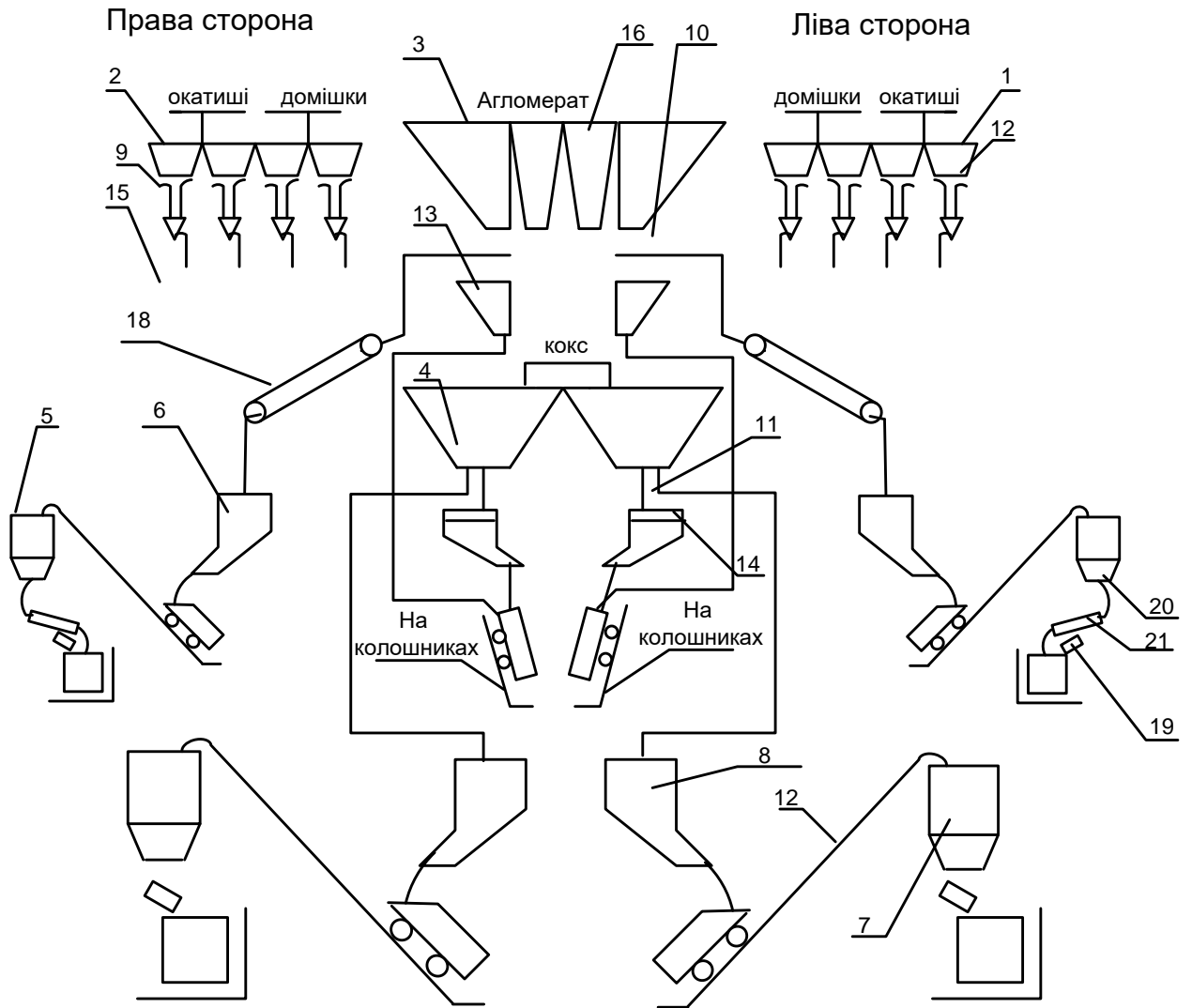
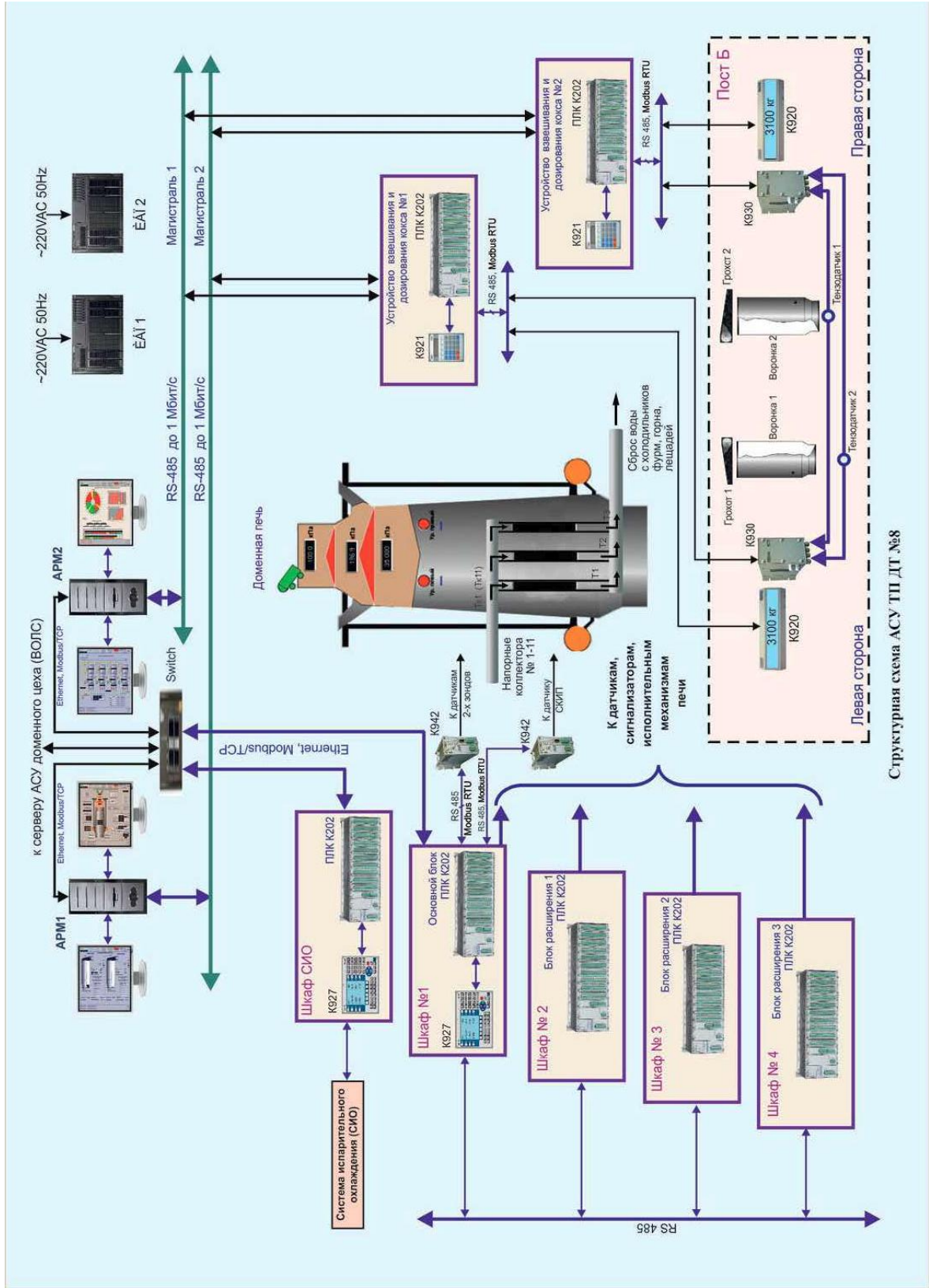


Рисунок 1.9 - Сучасна система шихтоподачі доменної печі зі скіповим підйомником



Структурная схема АСУ ТП ДТ №8

Рисунок 1.10 – Структурна схема АСУ ТП ДТ №8

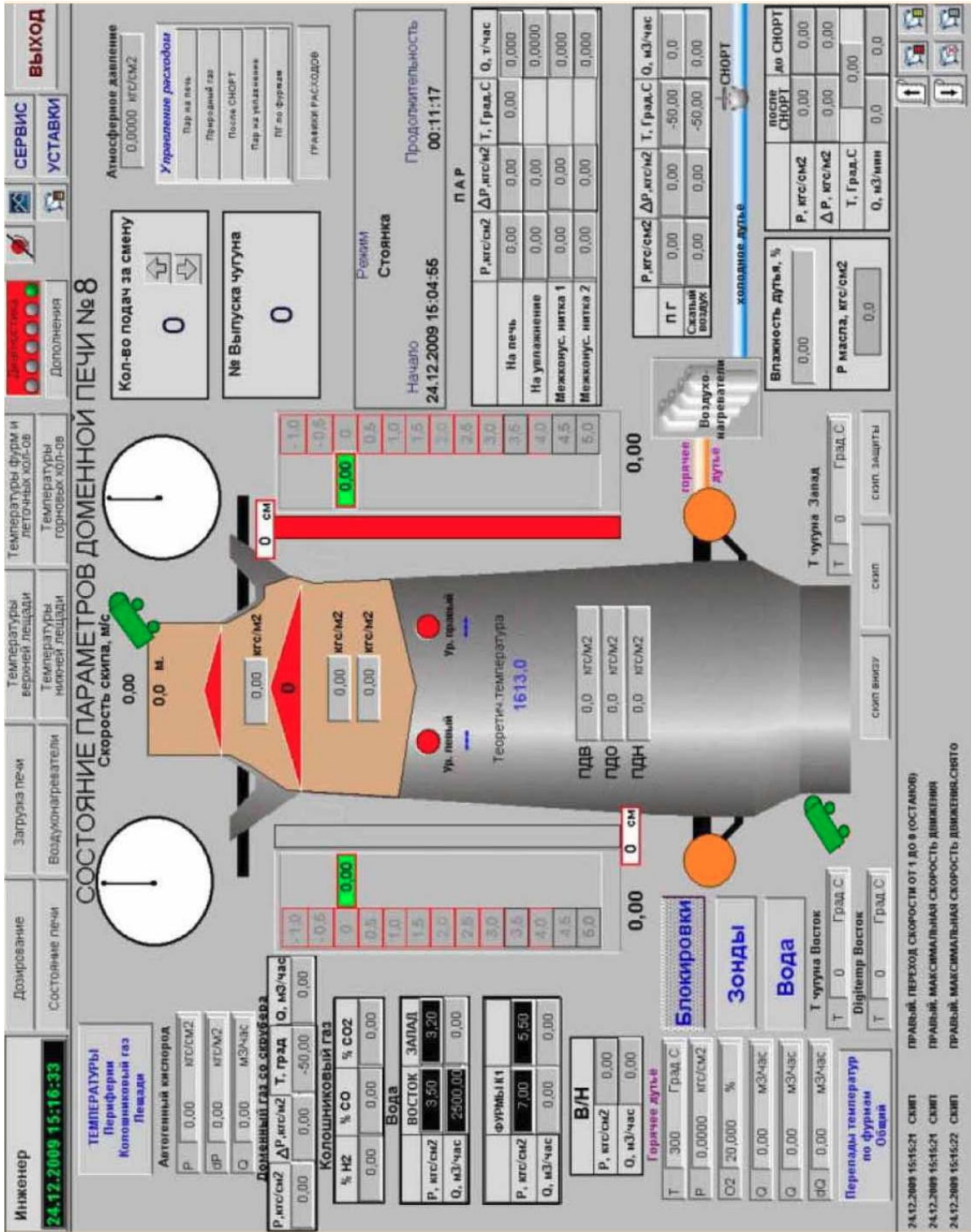


Рисунок 1.11 – Візуалізація стану параметрів доменної печі

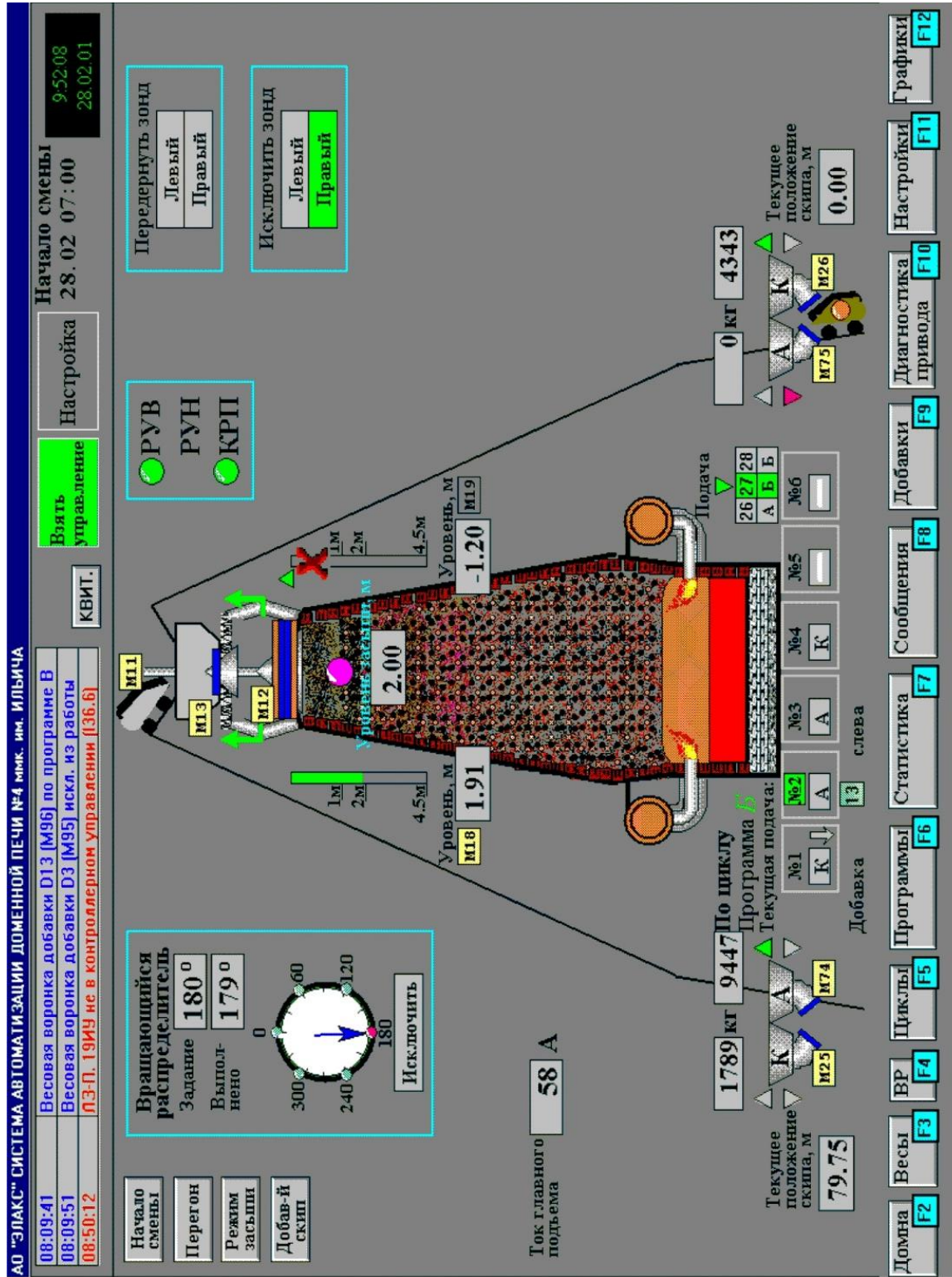


Рисунок 1.12 - Система автоматизации доменной печи Мариупольского металлургического комбината ім. Ільїча

1.4 Структурна схема автоматизації дозування шихтових матеріалів та шихтоподачі

Система управління дозуванням шихтових матеріалів та шихтоподачею виконує низку важливих завдань, що забезпечують ефективність процесу доменної плавки. Основні функції цієї системи включають:

- розрахунок складу шихти на основі вихідних матеріалів для отримання чавуну заданої марки і потрібної температури.

- управління набором, зважуванням і доставкою кожного компоненту шихти до завантажувального апарату (скіпа), що дозволяє точно контролювати кількість і послідовність подачі матеріалів.

- контроль процесу завантаження матеріалів у доменну піч, що здійснюється шляхом керування завантаженням скіпів, щоб забезпечити оптимальну послідовність та рівномірність.

На більшості доменних печей використовуються транспортні системи, які подають шихтові матеріали до скіпів через вагові вирви. Структурна схема управління процесом набору, зважування та завантаження матеріалів у доменну піч зображена на рисунку 1.14.

Основне управління здійснюється системою УВМ-1, яка працює у поєднанні з трьома підлеглими підсистемами. Підсистема 9 відповідає за вибір бункера для відбору матеріалів, враховуючи їх рівень у кожному бункері. Вона здійснює відбір агломерату з бункера 4, флюсових добавок із бункера 6 та коксу з бункера 8.

Вибрані матеріали транспортуються за допомогою конвеєрів до дозуючих вагових пристроїв 12. Кожен дозатор оснащений датчиком маси 11, що дозволяє точно контролювати кількість матеріалу. Завдання на дозування кожного матеріалу визначається підсистемою 10, яка отримує команди від УВМ-1.

Після зважування матеріали транспортуються за допомогою конвеєра 13 до проміжних бункерів 14, розташованих біля скіпових підйомників 15. Ці проміжні бункери забезпечують постійну готовність матеріалів для подальшого завантаження в піч, що робить процес безперервним і ефективним.

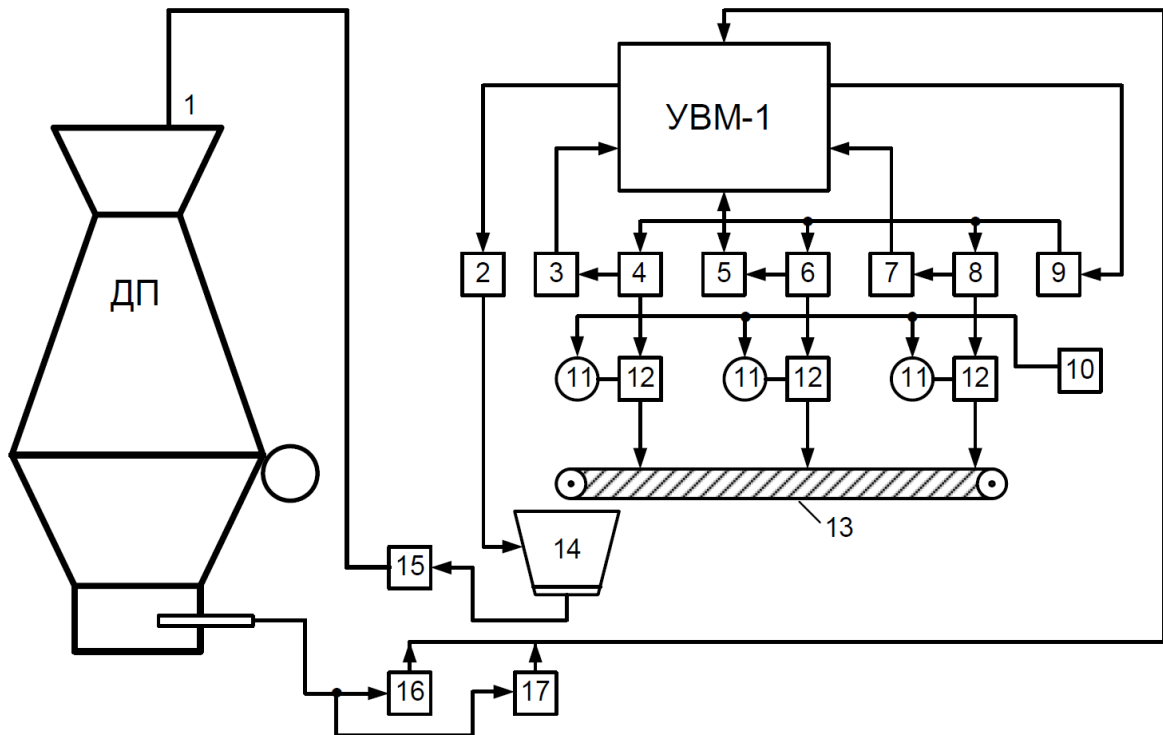


Рисунок 1.14 - Структурна схема управління набором, зважуванням та доставкою шихтових матеріалів для завантаження в доменну піч

Порядок завантаження матеріалів із проміжних бункерів у скіпи, а також їх відправлення на колошник здійснюється підсистемою 2, яка працює за командами, отриманими від системи управління УВМ-1. Скіпи транспортуються по похилій естакаді на колошник 1, де вони автоматично перекидаються для вивантаження матеріалів.

Алгоритм розрахунку складу шихти базується на обліку хімічного складу її компонентів, а також враховує зольність і вологість коксу. Ці параметри контролюються за допомогою датчиків аналізаторів коксу 7, флюсу 5 і агломерату 3. Для забезпечення точності розрахунків система також отримує дані з лабораторії про хімічний склад чавуну та шлаку (датчики 16 і 17), що дає можливість коригувати склад шихти на основі реальних умов плавки.

На рисунку 1.15 представлена структурна схема автоматизації шихтоподачі. Вона демонструє зв'язки між основними компонентами системи та показує ієрархічну структуру, в якій функції контролю та управління розподілені між різними елементами для забезпечення високої ефективності роботи всієї системи.

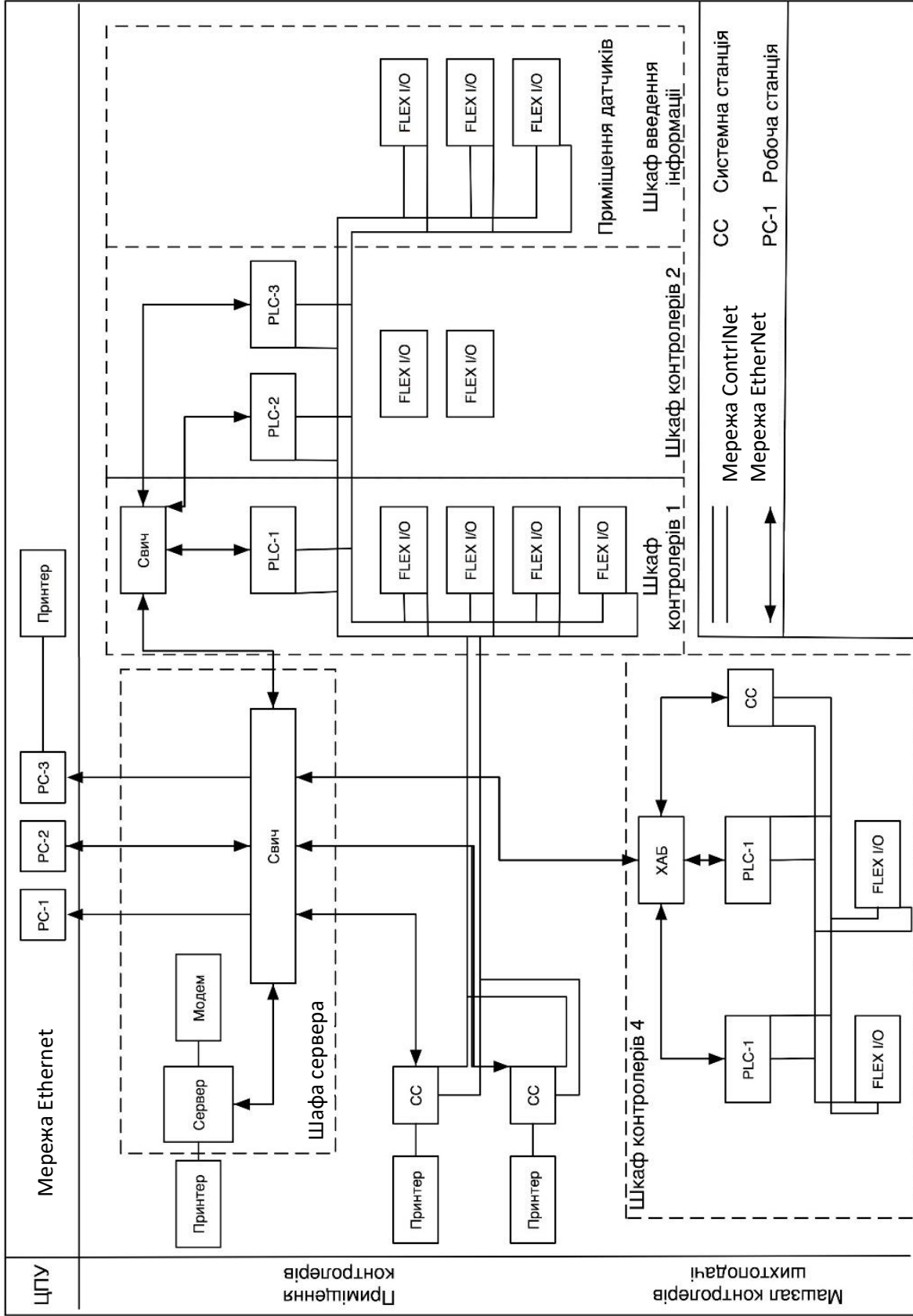


Рисунок 1.15 - Структурна схема автоматизації шихтоподачі

1.5 Постановка задачі на розробку системи автоматизації дозування шихтових матеріалів та завантаження доменної печі

Сучасне доменне виробництво є складним комплексом, що поєднує технологічне, енергетичне та транспортне обладнання, забезпечуючи ефективне функціонування процесу плавки. Одним із ключових етапів є нижнє завантаження доменної печі, яке відповідає за точне підготування суміші матеріалів у потрібних пропорціях і подальше завантаження їх у скіпи для верхнього завантаження.

До складу технологічного обладнання для нижнього завантаження входять такі елементи, як бункери, вагові вирви із затворами, гуркоти та конвеєрні лінії. Ці складові посідають важливе місце у забезпеченні безперервного і точного транспортування матеріалів до печі.

Нині на деяких доменних печах використовується система завантаження з ручним перемиканням програм, побудована на релейно-контактній апаратурі. Проте така система вже не відповідає вимогам сучасного доменного виробництва. Використання релейно-контакторної апаратури, колійних вимикачів та певних датчиків має кілька серйозних недоліків:

- часте підгоряння контактів, що знижує надійність роботи системи.
- перегорання котушок, які відповідають за увімкнення механізмів.
- пошкодження контактних поверхонь, приварювання контактів та поломка пружин.
- поява зазорів у редукторах колійних вимикачів під час експлуатації, що порушує точність зупинки механізмів та прискорює зношення кулачків і пластмасових деталей.
- необхідність частого переналаштування командоапаратів через ці недоліки.
- недосконалі конструкції датчиків, слабкість канатів та ризик витікання ртуті з відцентрових вимикачів.

Ці проблеми не тільки знижують ефективність системи завантаження, але й підвищують потребу у частих ремонтах і обслуговуванні, що негативно впливає на продуктивність доменного виробництва в цілому.

Автоматизована система нижнього завантаження має виконувати кілька ключових завдань для забезпечення ефективності доменного виробництва. Вона повинна гарантувати:

- точне дозування матеріалів для забезпечення оптимальної суміші.
- збільшення кількості подач, що дозволить підвищити продуктивність процесу.
- надавати персоналу оперативну інформацію про перебіг завантаження, зокрема дані про витрати сипких матеріалів і феросплавів на кожну плавку.
- автоматично керувати всім технологічним обладнанням і трактом за допомогою операторської станції, а також забезпечувати дистанційне управління з цієї ж станції.

Система автоматичного управління (АСУ) повинна забезпечити постійний моніторинг і представлення ключових технологічних показників у цифровій формі в центральному пункті управління піччю. Важливою функцією є світлова індикація у вигляді графіків, а також світлова і звукова сигналізація в разі порушень нормального технологічного режиму. Крім того, система має автоматично заповнювати звітні документи.

Основною метою розробки АСУ для нижнього завантаження є досягнення максимальних техніко-економічних показників доменного виробництва. Оскільки характер завантаження шихти в доменну піч безпосередньо впливає на хід технологічного процесу, особливу роль відіграє розподіл газу в поперечному перерізі печі. Ефективний розподіл газу залежить від якості роботи системи завантаження та рівня її автоматизації. Тому одна з основних умов для економічного та стабільного функціонування доменної печі – це надійна й автоматизована система завантаження, яка забезпечує оптимальне розташування шихтових матеріалів у печі.

Автоматизація системи забезпечить такі переваги:

- покращення якості чавуну через підвищення точності дозування матеріалів та оперативний розрахунок складу шихти, що дозволить створювати більш точні суміші.

- зниження собівартості шихти за рахунок оптимізації витрат сировини та можливості оперативного контролю над витратами на виробництво чавуну, включаючи безперервну оцінку вартості сировини, що зберігається на складах.

- оновлення застарілих систем дозування, заміна старого обладнання для вимірювання та дозування компонентів на сучасні пристрої, які гарантують більш точні показники.

- оптимізація розрахунку складу шихти навіть при зміні хімічного складу компонентів, їх вологості та кількості, що забезпечить високу гнучкість системи в реальних умовах.

- скорочення часу на усунення наслідків зупинок або аварій потоково-транспортної системи, завдяки вчасному виявленню та запобіганню аварійним ситуаціям із використанням сучасних засобів візуалізації та контролю.

- автоматичне управління вимірювальним і дозуючим обладнанням, з можливістю обробки і накопичення даних для подальшого аналізу, що забезпечить стабільну роботу системи без постійного втручання персоналу.

Ця автоматизація спрямована на підвищення ефективності всього технологічного процесу, зменшення втрат і поліпшення керованості виробництва, що в кінцевому підсумку веде до кращих економічних результатів.

Висновки до розділу

Виконано аналіз характеристик технологічного процесу виробництва чавуну та устаткування доменної печі та технологічних процесів завантаження, дозування та шихтоподачі доменної печі.

Виконано огляд та аналіз існуючих систем керування завантаженням шихти у доменну піч. З'ясовано, що автоматична система може бути реалізована з

підтримкою вагон-ваг або реалізована за допомогою стрічкових транспортерів з ваговими воронками. Аналіз техніко-економічних показників конвейерної системи подачі у порівнянні зі скіповою системою показав суттєві переваги першої.

Запропонована структурна схема управління процесом набору, зважування та завантаження матеріалів у доменну піч.

Основною метою розробки АСУ для нижнього завантаження є досягнення максимальних техніко-економічних показників доменного виробництва.

Автоматизація системи забезпечить ряд переваг і спрямована на підвищення ефективності всього технологічного процесу, що в кінцевому підсумку веде до кращих економічних результатів.

РОЗДІЛ 2

ІДЕНТИФІКАЦІЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТА СИНТЕЗ І МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ

2.1 Структурна схема управління механізмами системи завантаження доменної печі та основні вимоги до автоматизованої системи управління

Автоматизована система створена для оптимізації управління технологічними процесами під час виробництва чавуну в доменній печі підприємства ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Головна мета впровадження цієї системи забезпечує максимальну ефективність роботи доменної печі.

Одним із ключових чинників підвищення загальної продуктивності системи завантаження доменної печі є здатність інтегрувати роботу різних механізмів в єдиний комплекс.

На рис. 2.1 представлена схема взаємодії командних сигналів між швидкими станціями управління механізмами доменної печі.

Автоматизована система управління технологічними процесами (АСУ ТП) має бути побудована як інтерактивна людино-машинна система, яка функціонує в реальному часі і обов'язково має в своїй структурі персонал і комплекс технічних засобів (КТЗ). До складу КТЗ входять програмно-технічні комплекси (ПТК), резервні системи контролю та управління (РЗКУ), а також датчики і засоби впливу на технологічні процеси.

Система повинна забезпечити виконання наступних основних функцій:

1) Інформаційні функції:

- а) збір та первинна обробка аналогових сигналів;
- б) збирання та обробка дискретних сигналів;
- в) відображення інформації оператору-технологу;
- г) технологічна сигналізація;
- д) протоколювання інформації (складання звітів);

- е) розрахунок та аналіз техніко-економічних показників;
- ж) реєстрація подій;
- і) реєстрація аварійних ситуацій;
- к) аналіз дії захисту (з'ясування за трендами, причин спрацьовування захисту);
- л) архівація (наповнення даних у архіві).

2) Керуючі функції:

- а) дистанційне керування електроприводами та обладнанням;
- б) автоматичне регулювання;
- в) автоматичне логічне управління та технологічні блокування;
- г) технологічний захист.

3) Інші функції:

- а) забезпечення точності інформації;
- б) забезпечення єдиного часу системи;
- в) тестування та самодіагностика системи;
- г) захист від руйнування програмного забезпечення та несанкціонованого доступу до інформації.

Мінімальна конфігурація системи повинна передбачати наявність трьох рівнів ієрархії, що забезпечують ефективне функціонування автоматизованої системи управління технологічними процесами (АСУ ТП).

1. Перший рівень включає в себе всі сенсори, які реєструють аналогові та дискретні сигнали, а також різноманітну регулюючу та запірну арматуру (клапани, засувки, вентилі, відсічки), електроприводи та виконавчі механізми. Цей рівень відповідає за безпосередній контроль параметрів та виконання команд системи.

2. Другий рівень представлений контролерами та показуючими приладами, які обробляють отримані сигнали та забезпечують подальше передавання даних до операторських станцій для аналізу та прийняття рішень.

3. Третій рівень відповідає за зберігання інформації, обчислення та відображення даних, що є критичними для ефективної роботи системи та

складається з операторських станцій, сервера бази даних, локальної обчислювальної мережі типу "Ethernet" та іншого мережевого обладнання.

АСУ ТП включає кілька технологічних підсистем, серед яких найважливішими є підсистеми «Дозування» та «Завантаження». Управління цими технологічними підсистемами здійснюється через відповідні функціональні підсистеми, кожна з яких має своє призначення:

1. Підсистема технологічних захистів забезпечує захист як персоналу, так і обладнання від можливих небезпечних ситуацій, що можуть виникнути в процесі експлуатації.

2. Підсистема автоматичного регулювання виконує функції підтримки стабільності або зміни технологічних параметрів відповідно до заданих алгоритмів.

3. Підсистема дистанційного управління дозволяє оператору-технологу віддалено контролювати виконавчі механізми та отримувати інформацію про їх поточний стан.

4. Підсистема логічного управління реалізує технологічні блокування, що забезпечують безпеку та послідовність виконання процесів.

5. Інформаційні підсистеми виконують функції збору даних, їх архівування, реєстрації подій, відображення інформації на екранах операторських станцій та подання сигналів тривоги у разі виникнення проблем.

6. Інженерна підсистема відповідає за підтримку працездатності програмно-технічного комплексу (ПТК), що є основою функціонування АСУ ТП.

Функціонування цих підсистем досягається за допомогою різних видів забезпечення, які взаємодіють для повноцінної реалізації завдань АСУ ТП:

1. Лінгвістичне забезпечення – це система засобів та правил, що дозволяє формалізувати природну мову для спілкування персоналу з автоматизованими засобами управління.

2. Інформаційне забезпечення включає в себе нормативну базу, класифікатори, документи та інформацію про обсяги, місце розташування та формат даних.

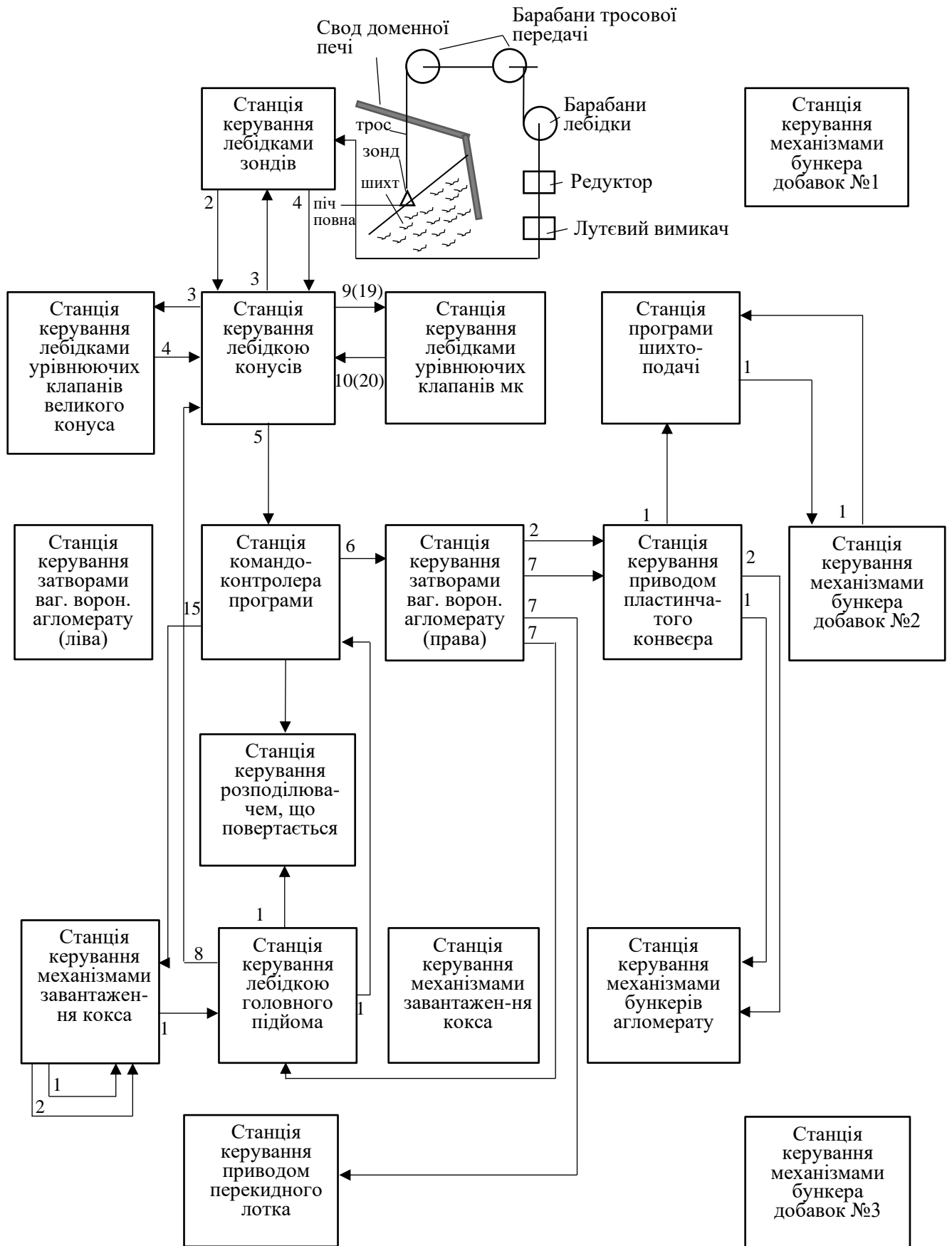


Рисунок 2.1 - Структурна схема керування механізмами та обладнанням системи завантаження доменної печі

3. Математичне забезпечення включає методи, моделі та алгоритми, необхідні для аналізу та обчислень в рамках функціонування АСУ ТП.

4. Програмне забезпечення складається з програм, які відповідають за налаштування, функціонування та тестування працездатності системи.

5. Технічне забезпечення охоплює всі засоби обчислювальної техніки, а також інші технічні пристрої, що забезпечують функціонування системи.

6. Метрологічне забезпечення гарантує точність та достовірність інформації за допомогою спеціальних методів, правил і засобів контролю.

7. Організаційне забезпечення визначає структуру управління, права та обов'язки персоналу, що відповідає за експлуатацію, тестування та підтримку працездатності системи.

Таким чином, мінімальна конфігурація АСУ ТП забезпечує ефективний контроль над технологічними процесами та гарантує безпеку і стабільність виробництва.

2.2 Принципи та алгоритми управління шихтовкою та завантаження доменної печі

Основні принципи та алгоритми управління підсистемою шихтовки та завантаження передбачають стабілізацію заданих співвідношень залізородних компонентів і коксу при подачі, а також контроль рудних навантажень на кокс. Крім того, система забезпечує постійність рівня засипу шихти відповідно до встановлених параметрів. Основними функціональними підсистемами є коригування вагового дозування компонентів шихти і коксу та регулювання темпу завантаження.

Застосування підсистеми шихтовки та завантаження має кілька ключових цілей:

1. Підвищення якості та надійності управління механізмами завдяки переходу від релейно-контакторної автоматики до програмованих контролерів. Це

дозволяє зменшити кількість відмов та підвищити загальну стабільність роботи системи.

2. Скорочення габаритів електрощитів, що веде до зменшення займаного простору, а також оптимізації загального розташування електрообладнання.

3. Зниження часу простоїв через аварії завдяки постійному контролю стану електрообладнання, що дозволяє своєчасно виявляти потенційні несправності.

4. Скорочення електроспоживання за рахунок використання елементів керування, що працюють на малих струмах живлення.

5. Забезпечення високої гнучкості системи управління, що дозволяє легко адаптувати її до зміни технологічних параметрів, реагуючи на потреби виробництва.

6. Зменшення простоїв завдяки наданню експлуатаційному персоналу оперативної та достовірної інформації про стан роботи електрообладнання в реальному часі.

7. Гнучка реалізація алгоритмів керування електроприводами, що дає змогу їх коригувати залежно від умов експлуатації, забезпечуючи максимальну адаптивність системи до змін.

8. Розширене інформаційне забезпечення, що дозволяє експлуатаційному персоналу доменної печі отримувати повну інформацію про стан і роботу всіх механізмів, що суттєво підвищує ефективність їхнього обслуговування.

Підсистема автоматичного керування шихтовкою та завантаженням є інтегрованою дворівневою системою. Верхній рівень системи включає робочі (сервісні) станції, на яких вирішуються такі завдання, як формування програм подачі та циклів для управління механізмами дозування і завантаження. Також на цьому рівні відбувається візуалізація поточного стану виконаних програм на основних відеокадрах.

Нижній рівень безпосередньо реалізує управління механізмами дозування та завантаження шихти. Це включає контроль за такими елементами, як:

- лебідки зондів та радіометричних рівнемірів;
- гуркоти для відсіву дрібного коксу;

- затвори коксових вагових воронок;
- підйомники для коксової дрібниці;
- головний скіповий витяг;
- зрівняльні клапани;
- розподільник шихти, що обертається;
- станції густого мастила для механізмів засипного апарату.

Така структура дозволяє ефективно управляти всіма етапами завантаження шихти в доменну піч, забезпечуючи безперервність процесу та мінімізацію відмов.

Система управління електроприводами механізмів реалізує кілька режимів: місцеве, дистанційне, операторське та автоматичне. *Місьцеве управління* використовується як для налагодження та ремонту, так і під час роботи обладнання. Воно дозволяє безпосередньо контролювати процес на місці, що особливо важливо в умовах, коли потрібна оперативна перевірка або налагодження. *Дистанційне управління* передбачає керування процесами запуску та зупинки електроприводів, а також контролювання положення виконавчих механізмів, які відповідають за регулювання технологічних параметрів. Цей тип управління дозволяє оператору керувати процесом з віддаленої точки, що підвищує зручність і безпеку експлуатації. *Автоматичне управління* виконується за допомогою програмованого контролера, який формує керуючі впливи і передає їх на відповідні механізми. Це забезпечує безперервність та точність виконання операцій, що мінімізує ризики людської помилки і підвищує продуктивність.

Основні функції підсистеми шихтування та завантаження включають:

- формування та виконання програми подачі компонентів шихти і коксу, а також контроль за відпрацюванням завданих циклів завантаження;
- керування механізмами в чіткій послідовності, яка відповідає технологічним вимогам, з формуванням команд для схем управління силовими частинами електроприводів;

- забезпечення сигналізації про стан механізмів і контроль їх роботи в реальному часі, що дозволяє швидко виявляти аварійні відхилення та формувати попереджувальні або аварійні повідомлення;
- надання можливості коригування алгоритмів управління в залежності від поточних умов роботи, забезпечення гнучкості системи;
- визначення черговості роботи механізмів та виду завантажуваного матеріалу, контроль рівня шихти в доменній печі;
- задання програми роботи верхнього розподільника шихти, визначення та контроль швидкості руху скіпів;
- забезпечення обміну даними через мережу Ethernet із робочою станцією майстра печі для синхронізації та моніторингу процесу;
- формування сигналів для мнемощитів, які відображають поточний стан механізмів завантаження.

Основний відеокадр завантаження включає графічне зображення доменної печі та її основних механізмів, таких як скіпи головного підйому, малий та великий конуси, розподільник шихти, що обертається, та зрівняльні клапани міжконусного простору. Відображаються також лебідки зондів, гуркоти для відсіву дрібного коксу, вагові воронки та інші елементи. Користувач може спостерігати за сигналами, що відображають поточний стан програм подач та циклів, а також за даними тиску і завданням роботи конусів (наприклад, кількість скіпів на конусі).

Підсистема керування темпом завантаження виконує контроль рівня шихти на колошнику, регулюючи темп подачі шихтових матеріалів залежно від швидкості сходження шихти в доменній печі. Основними вихідними даними для цієї підсистеми є заданий рівень засипу шихти та показання зондових або радіометричних рівнемірів, на основі яких визначається фактична швидкість сходження шихти та ступінь відповідності заданим параметрам.

Для визначення керуючого впливу використовується алгоритм Control Logix зі змінною структурою або прогнозуванням, яке враховує швидкість сходження шихти на кілька циклів вперед. Розрахункова величина паузи між подачами шихти видається у електричній схемі, що керує механізмами завантаження.

Швидкість сходження шихти вимірюється в міліметрах на хвилину. Для точного контролю зондові лебідки та рівнеміри УРМС опитуються кожні 60 секунд, що дозволяє оперативно коригувати темп завантаження на основі поточних даних.

$$v_m = \sum_0^i \Delta H_i / i$$

де $\Delta \dot{H}_3$ - різниця рівнів у сусідніх опитуваннях, рівня $\Delta \dot{H}_3 = \Delta \dot{H}_3 - \Delta \dot{H}_{3-1}$; i - число зафіксованих величин ΔH у десятихвилинному інтервалі.

Зазвичай $i < 10$, оскільки значення $\Delta \dot{H}_3$ фіксуються лише в тому випадку, якщо $\Delta \dot{H}_3 > 0$ і $\Delta \dot{H}_3 / \Delta \tau < 50$ мм/с, де $\Delta \tau$ - інтервал між двома опитуваннями.

Структура моделі підсистеми керування темпом завантаження наведено на рис. 2.2.

На рисунку 2.2 [16] прийняті наступні позначення: 1, 2, 3, 4, 5 – передавальні функції безінерційного програмованого контролера; 6 – передавальна функція засипного апарату; 7–8 – передавальні функції двох зондових рівнемірів; 9 - структурна схема програмованого контролера; 10 - радіоізотопний рівнемір поверхні шихти (УРМС); 11 - об'єкт управління (ДП); 12 – блок зміни структури управління; Кл – ключі керування (перемикачі).

Для збільшення швидкодії та поліпшення якості перехідного процесу закону управління надано вигляду:

$$U = k_1 x_1 + k_2 x_2,$$

де U – керуючий вплив; x_1 - неузгодженість між заданим h_3 і дійсним h_d рівнем засипу у рівнем засипи, рівне ε :

$$\varepsilon = h_3 - h_d, x_2 = \dot{\varepsilon} - \text{швидкість сходу шихти за подачу};$$

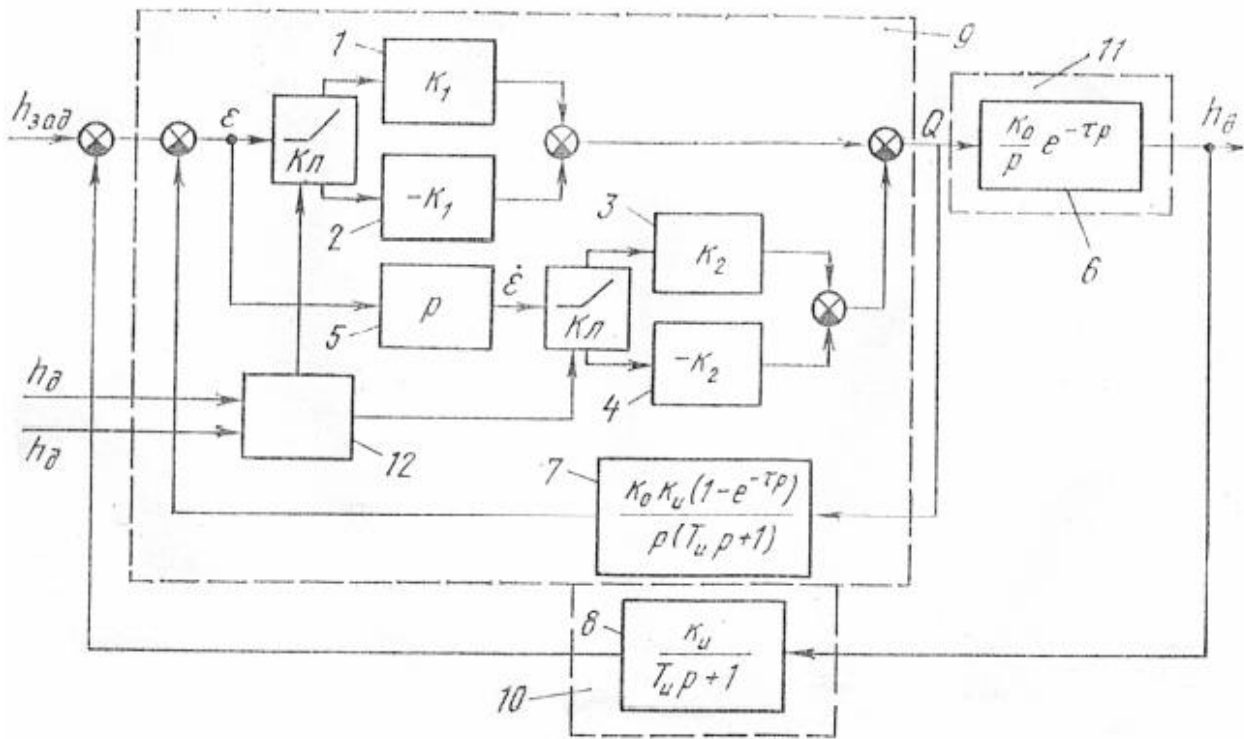


Рисунок 2.2 - Структура моделі підсистеми управління темпом завантаження доменної печі

$$r1 = \begin{cases} 0.28idex_1s > 0 \\ -0.28idex_1s < 0 \end{cases}$$

$$r2 = \begin{cases} 100idex_2s < 0 \\ -100idex_2s > 0 \end{cases}$$

Рівняння лінії перемикання реалізується блоком зміни структури:

$$x_2 - \lambda x_1 = s$$

Загальний вигляд рівняння регулювання

$$Q(t)T_e + Q(t)[1 + k_2k_0k_e(1(t) - 1(t - \tau))] + Q(t)k_1k_0k_e * \\ * [1(t) - 1(t - \tau)] = \epsilon(t)k_1T_e + \epsilon(t)(k_1T_e + k_2)$$

де $Q(t)$ – продуктивність скіпового підйомника та засипного апарату. Процес зміни швидкості сходу шихти можна характеризувати як полігармонійний з накладенням випадкового широкосмугового шуму. Такий процес може бути досить точно представлений поряд з Фур'є:

$$v(t) = A_0 + 2 \sum_{m=1}^n \left[A_m \cos \left(2\pi \frac{m}{T} t \right) + B_m \sin \left(2\pi \frac{m}{T} t \right) \right]$$

де

$$A_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{N-1} v_i$$

$$A_m = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{N-1} v_i \cos 2\pi \frac{m}{N} i$$

$$B_m = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} v_i \sin 2\pi \frac{m}{N} i$$

Якщо позначити $R_m = 2(A_m^2 + B_m^2)$ і $R_0 = A_0^2$ то дисперсія процесу $v(t)$, що враховується однією гармонікою, дорівнює $\sigma_m^2 = R_m/2$, а дисперсії, що враховуються різними гармоніками, складаючись, дають загальну дисперсію процесу σ^2

Характерною особливістю доменного виробництва є рідкісна необхідність зміни складу чавуну [17]. Така сталість вимагає стабілізації вхідних властивостей процесу, тобто. дутьового режиму та шихтових умов. Завдання забезпечення сталості складу шихти дуже важка, оскільки інформація про хімічному складі сировини надходить із великим запізненням.

Наявність у шихті кількох залізородних компонентів ускладнює визначення моменту початку завантаження в піч сировини цього складу. На тепловий стан печі

істотно впливає точність зважування матеріалів, що завантажуються в піч, особливо коксу. Для коксу помилка визначається так само і коливаннями вмісту вуглецю, яке залежить від зольності та вологості коксу.

Корекція маси дози за точністю набору ведеться за формулою

$$G_{di+1} = G_3 + \Delta G_i + G_{Ti}$$

де G_d - маса дози матеріалу; G_3 - задана вага дози; G_T - похибка зважування, ΔG - величина уточнення ваги дози за вагою попередньої.

Для корекції маси дози коксу з вологості в Control Logix надходить інформація з нейтронного вологоміра [18]. Якщо відхилення вологості від заданого значення більше за допустиму величину, відбувається перерахунок заданої маси коксу:

$$G'_3 = \frac{G_3(100 - W_3)}{100 - W_{\ddot{A}}}$$

де G'_3 - скоригована задана вага дози коксу; G_3 - задана раніше вага дози коксу; W_3 – задана (номінальна) вологість; $W_{\ddot{A}}$ - дійсна вологість коксу.

Для корекції дози коксу хімічного складу шихти попередньо розраховують теплові еквіваленти матеріалів, тобто. кількості тепла, яке необхідно витратити при доменній плавці на одиницю матеріалів, що проплавляються за тих чи інших умов плавки. Ці еквіваленти розраховують як середньозважені величини всіх бункерів.

Якщо відхилення теплових еквівалентів від певного номінального значення перевищують допустиму величину, то корекція вводиться на заданий витрата коксу. Розрахунок зміни заданої витрати коксу проводиться так: визначається очікувана величина зміни рудного навантаження, тобто. запас тепла, необхідний покриття перевитрати тепла, що з коливаннями теплових еквівалентів; потім ця величина переводиться у витрату коксу:

$$\Delta P/K_i = P/K_{cp} - \frac{P/K_{cp} q_p^{cp}}{q_p^i}$$

$$G'_3 = G_3 \left(1 + \frac{\Delta P/K_i q_p^i}{q_k^i} A_q \right)$$

де P/K - рудне навантаження; q_p - тепловий еквівалент залізорудної частини шихти; q_k - тепловий еквівалент коксу; G_3 – задана доза коксу; G'_3 - скоригована доза коксу; A_q - Коефіцієнт, що враховує характер роботи печі; c_p - індекс середнього значення величини за минулу годину; i – індекс поточного значення величини на цю годину [19].

Керуючий вплив на хід печі «згори» полягає у розподілі матеріалів на колошнику печі та зміні складу шихти. Розподіл матеріалів за допомогою ВРШ або лотка, що обертається, засипного апарату здійснюється на основі даних про розподіл $\tilde{N}\hat{I}_2$ по радіусу печі. Також ефективні для управління ходом печі керуючі впливу «знизу»: зміна кількості дуття та його вологості, зміна витрати природного газу, розподіл дуття та природного газу за фурмами.

2.3 Моделювання системи автоматичного керування скіповою підйомною установкою при завантаженні доменної печі

Структурна схема автоматизованої системи керування для моделювання процесів представлена на рисунку 2.3. Вона включає такі ключові компоненти, як передаточні функції двигуна, перетворювача, регулятора струму та швидкості, а також зворотні зв'язки по струму і швидкості двигуна. Кожен із цих елементів відіграє важливу роль у забезпеченні точності та надійності роботи системи.

Схема моделі була розроблена за допомогою програмного пакету Simulink у середовищі Matlab і відображена на рисунку 2.4. У даній моделі на вході регулятора швидкості додано спеціальний блок плавного пуску, який симулює лінійно

зростаючий сигнал завдання. Це дозволяє забезпечити більш м'який запуск системи, що важливо для уникнення різких коливань та перевантажень на початку роботи.

Під час моделювання перехідних процесів, коли система піддавалася ступінчастим впливам, було задано початковий момент, який відповідав статичному моменту на старті, коли скіп завантажується коксом. Це дозволяє більш точно змодельовати умови реальної роботи механізмів у доменній печі.

В результаті моделювання отримано графіки перехідних процесів, представлені на рисунках 2.5–2.7. Аналіз цих графіків показує, що перерегулювання основної координати при одиничному впливі на різних рівнях завдання дорівнює нулю. Цей результат був досягнутий завдяки введенню фільтра на вході системи, що дозволило стабілізувати роботу системи і забезпечити відсутність перерегулювань.

Час перехідного процесу при максимальному одиничному впливі складає всього 2 секунди, що відповідає технічним вимогам для даного класу систем автоматичного керування. Такий швидкий час відгуку є важливою характеристикою, оскільки він дозволяє системі ефективно реагувати на зміни в роботі механізмів, забезпечуючи безперебійну та стабільну роботу всього виробничого процесу.

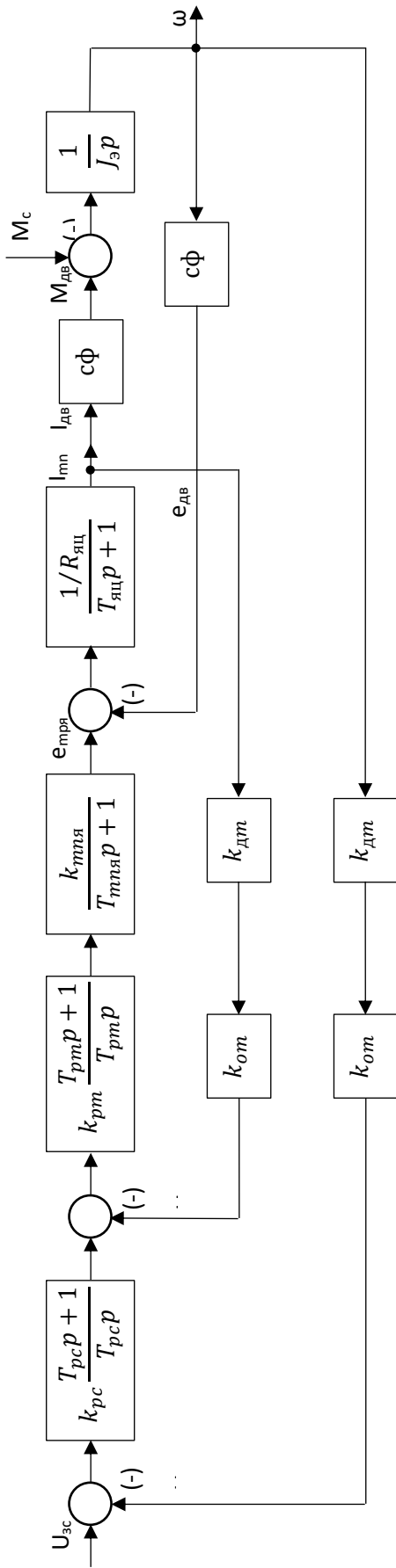


Рисунок 2.3 - Структурна схема моделі системи автоматичного керування

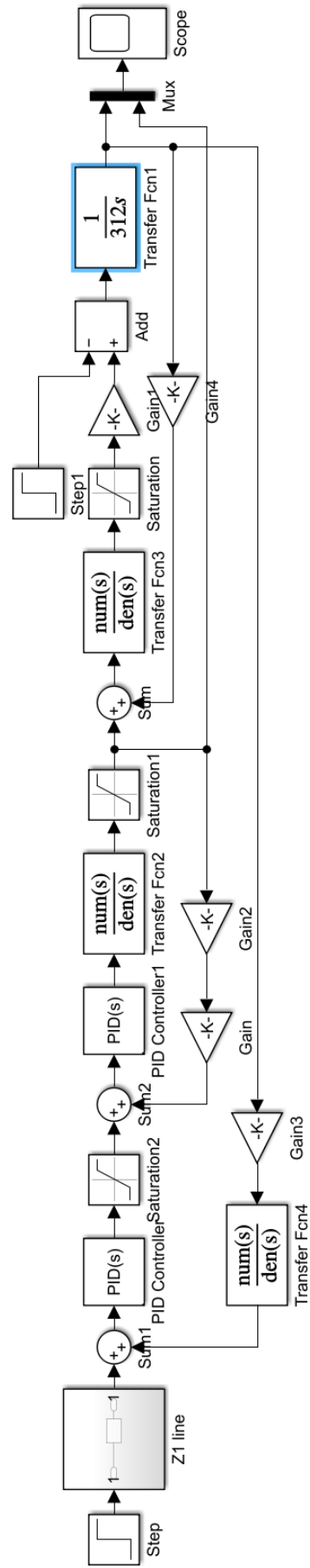


Рисунок 2.4 - Схема моделі розроблена в Simulink пакету Matlab і системи автоматичного керування

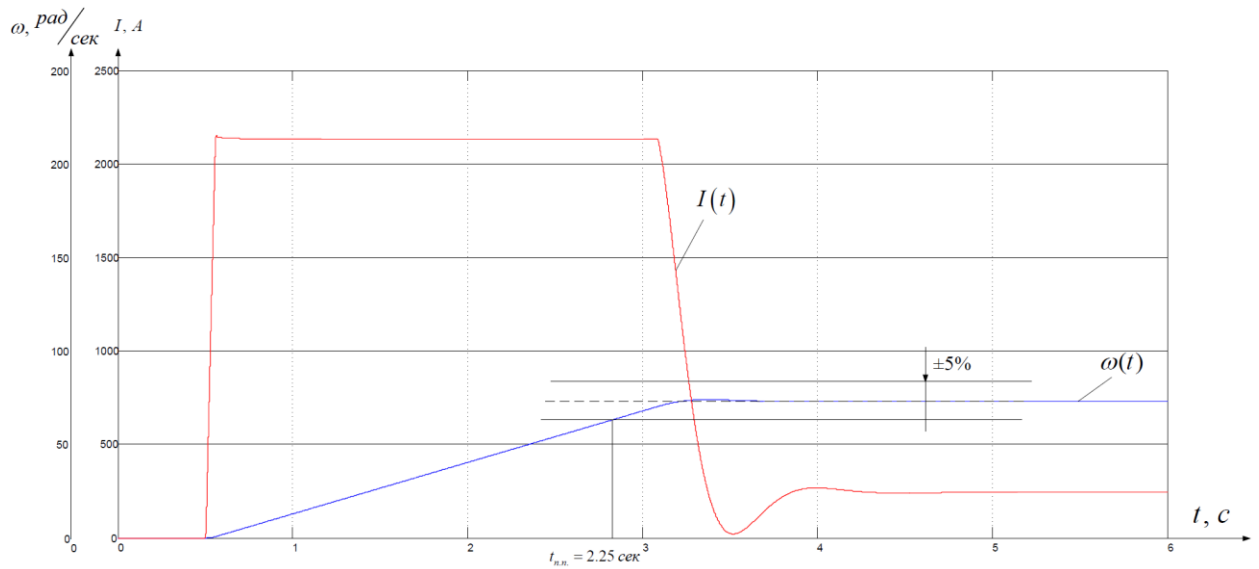


Рисунок 2.5 - Перехідний розвантажувальний процес в САУ РЕП при ступінчатій дії 10В, $\omega_{баз} = 73,2$ рад/с.

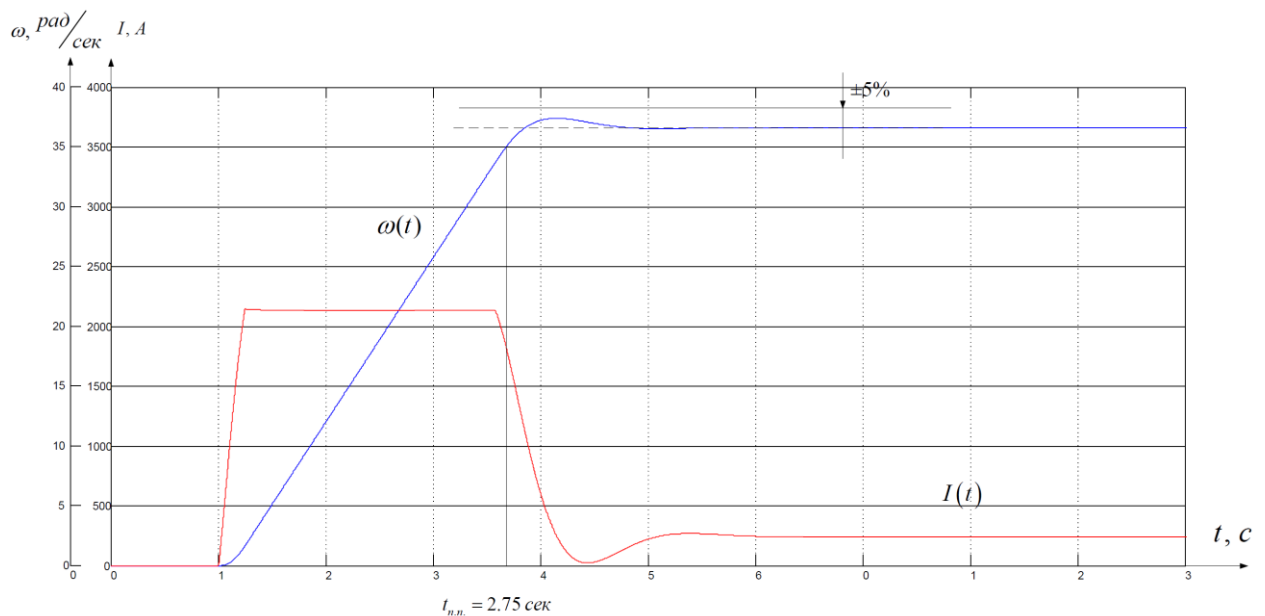


Рисунок 2.6 - Перехідний процес у САУ РЕП при ступінчатій дії 5В, $\omega_{баз} = 36,6$ рад/с.

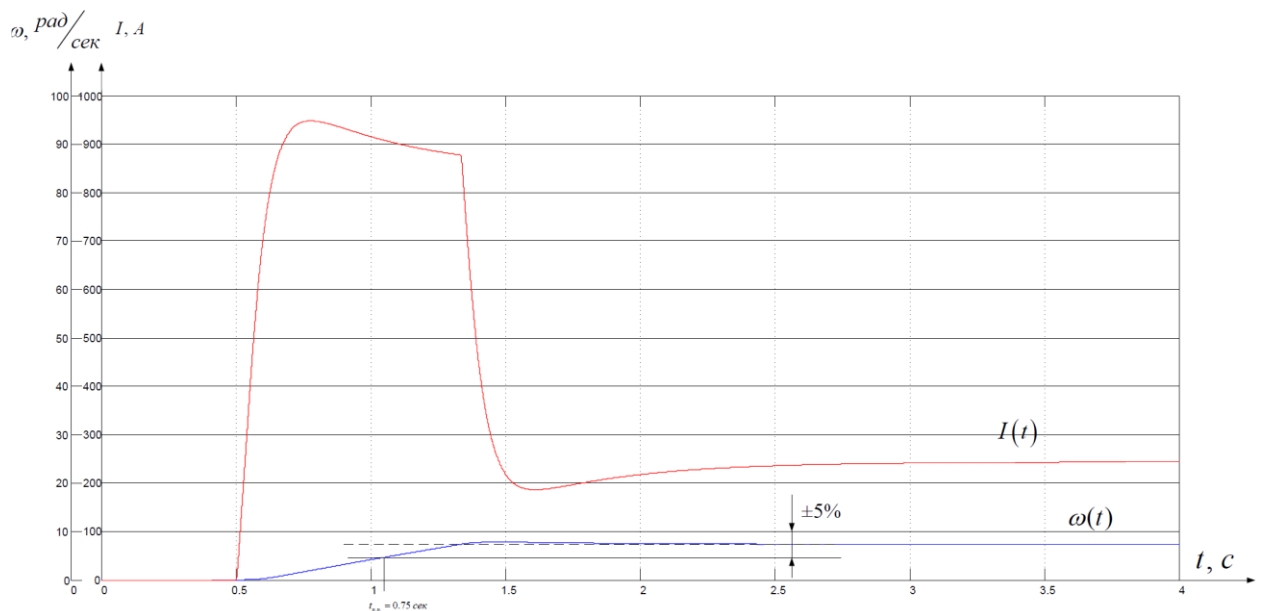


Рисунок 2.7 - Перехідний процес у САУ РЕП при ступінчатій дії 1В, $\omega_{баз} = 7.32$ рад/с.

2.4 Імітаційне моделювання системи автоматичного керування скіповою підйомною установкою в пакеті Matlab

Для проведення імітаційного моделювання електроприводу скіпової лебідки було використано стандартні блоки з пакету Simulink у середовищі Matlab. Загальна модель електроприводу скіпової лебідки зображена на рисунку 2.8.

Рисунки 2.9–2.11 демонструють детальні компоненти цієї моделі, серед яких можна виділити блок системи автоматичного керування електроприводом, блок ПІД-регулятора струму та блок ПІД-регулятора швидкості.

Моделювання виконано для декількох ключових режимів роботи скіпового підйому, що дозволяє з високою точністю промодельовати реальні умови роботи.

Серед цих режимів можна виділити такі етапи: розгін до максимальної швидкості підйому, рівномірний рух скіпа на цій швидкості, процес гальмування та повної зупинки скіпа, а також розгін скіпа у зворотному напрямку.

Ці сценарії відображають основні робочі стани системи, що є критично важливими для забезпечення ефективного функціонування доменних печей.

Графіки, отримані в результаті імітаційного моделювання, представлені на рисунку 2.12. Вони підтверджують, що розроблена модель відповідає вимогам, що пред'являються до скіпових підйомних установок для доменних печей.

Дані графіки демонструють точність та стабільність роботи моделі в різних режимах, а також адекватну реакцію системи на зміну робочих параметрів. Це дозволяє впевнено використовувати модель для подальшого вдосконалення системи та проведення більш детального аналізу її роботи в умовах реального виробництва.

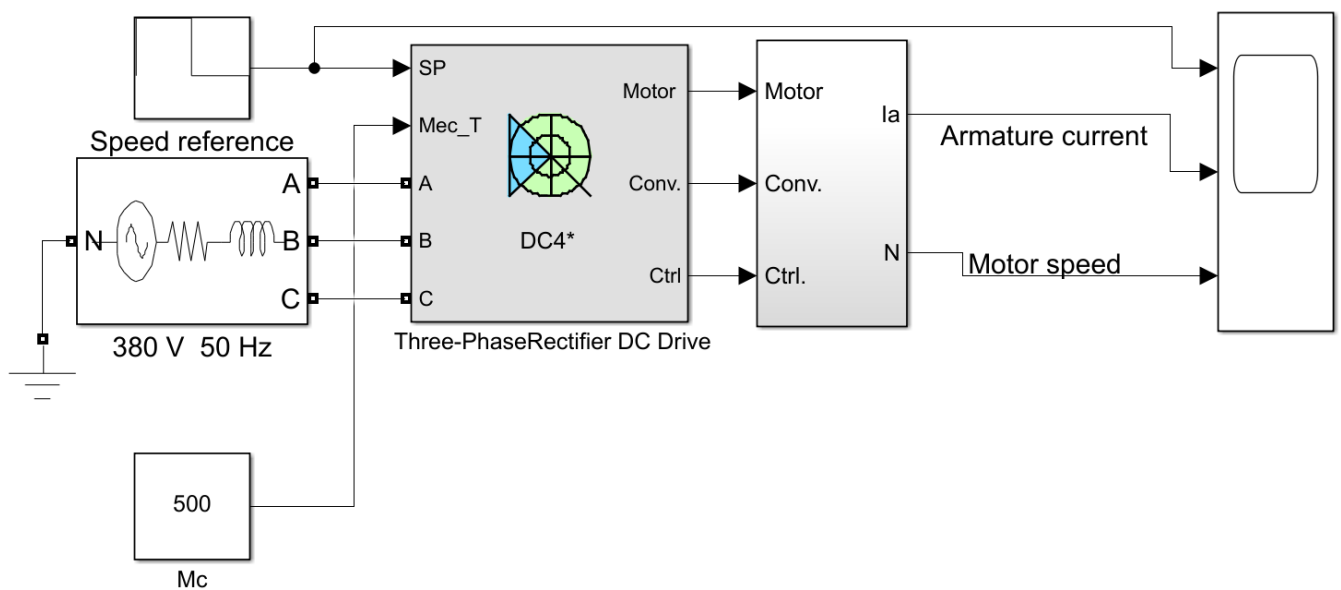


Рисунок 2.8 – Модель електроприводу скіпової лебідки

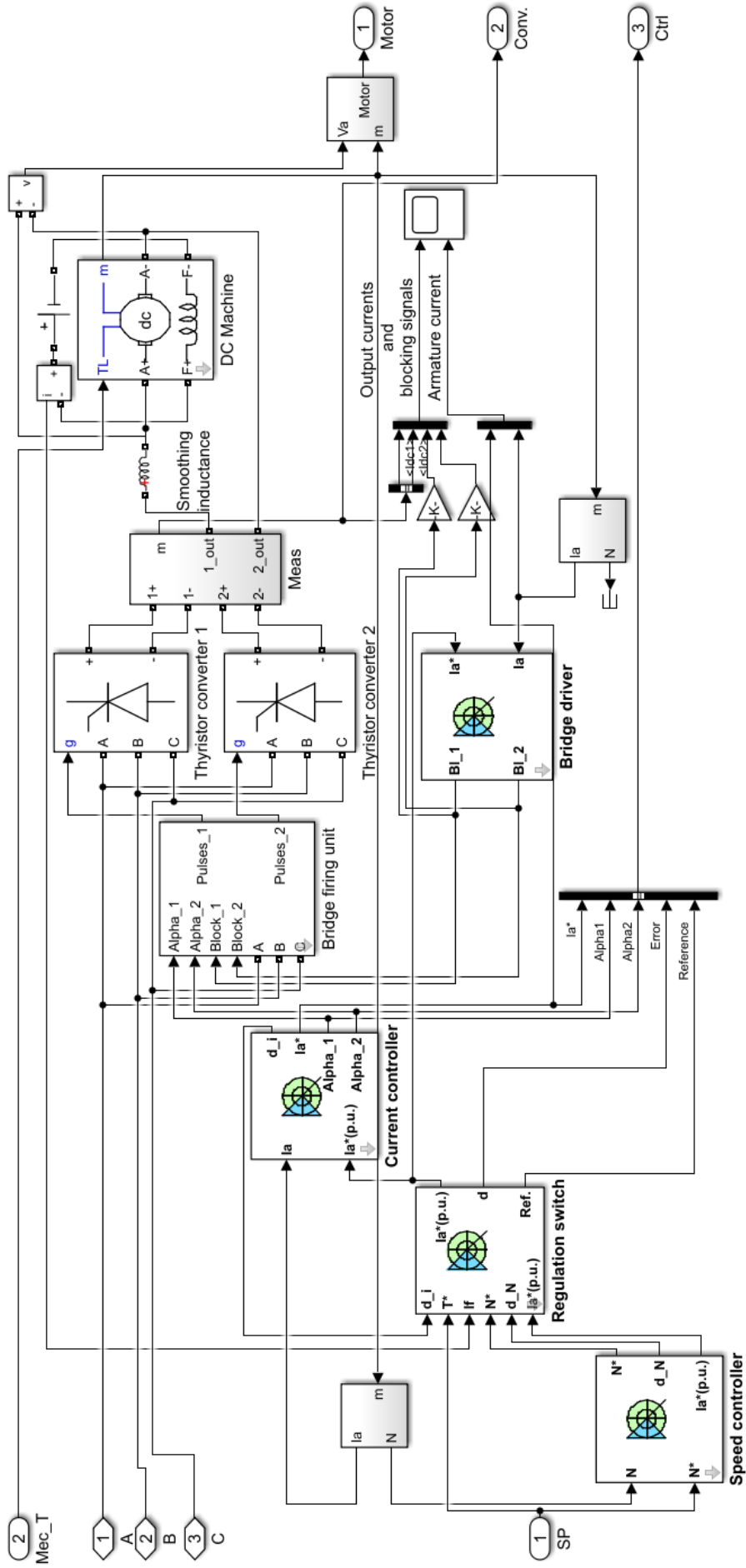


Рисунок 2.9- Модель блоку системи автоматичного керування електроприводом скіпової лебідки

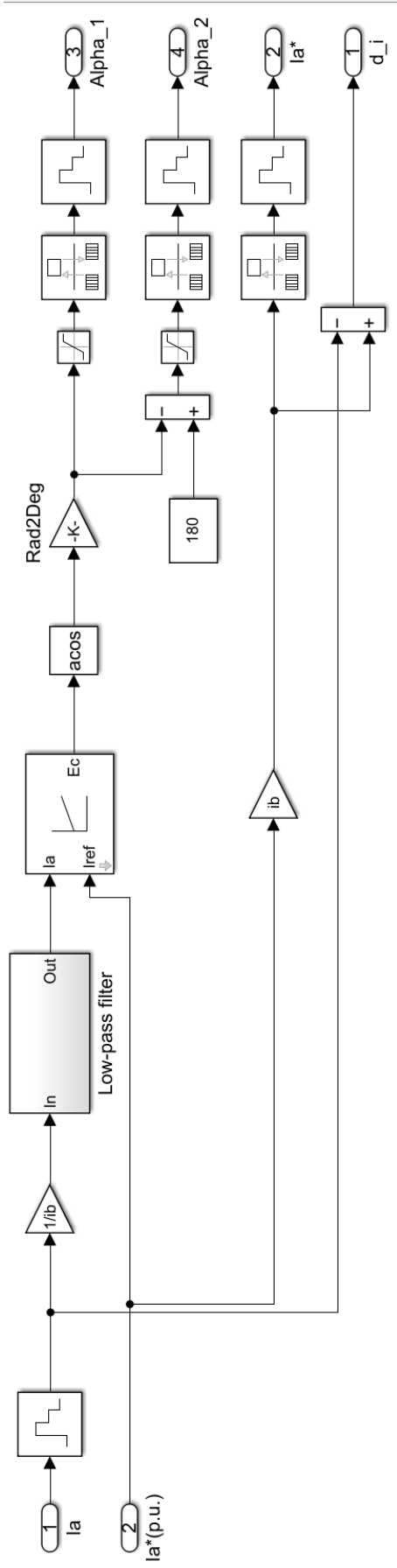


Рисунок 2.10 Модель блоку ПІД регулятора струму

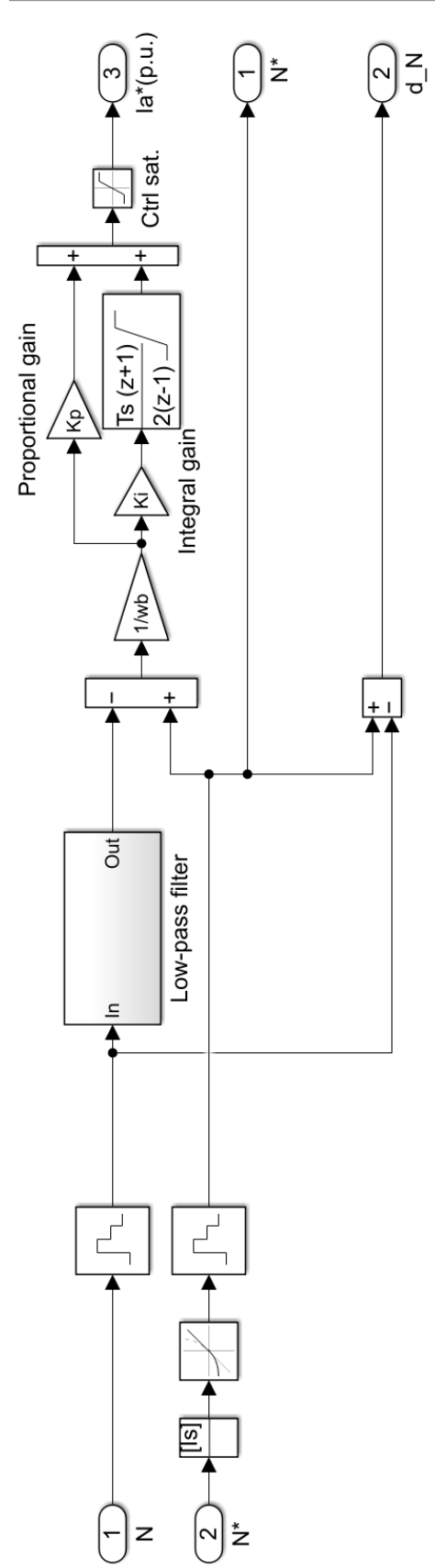


Рисунок 2.11 – Модель блоку ПІД регулятора швидкості

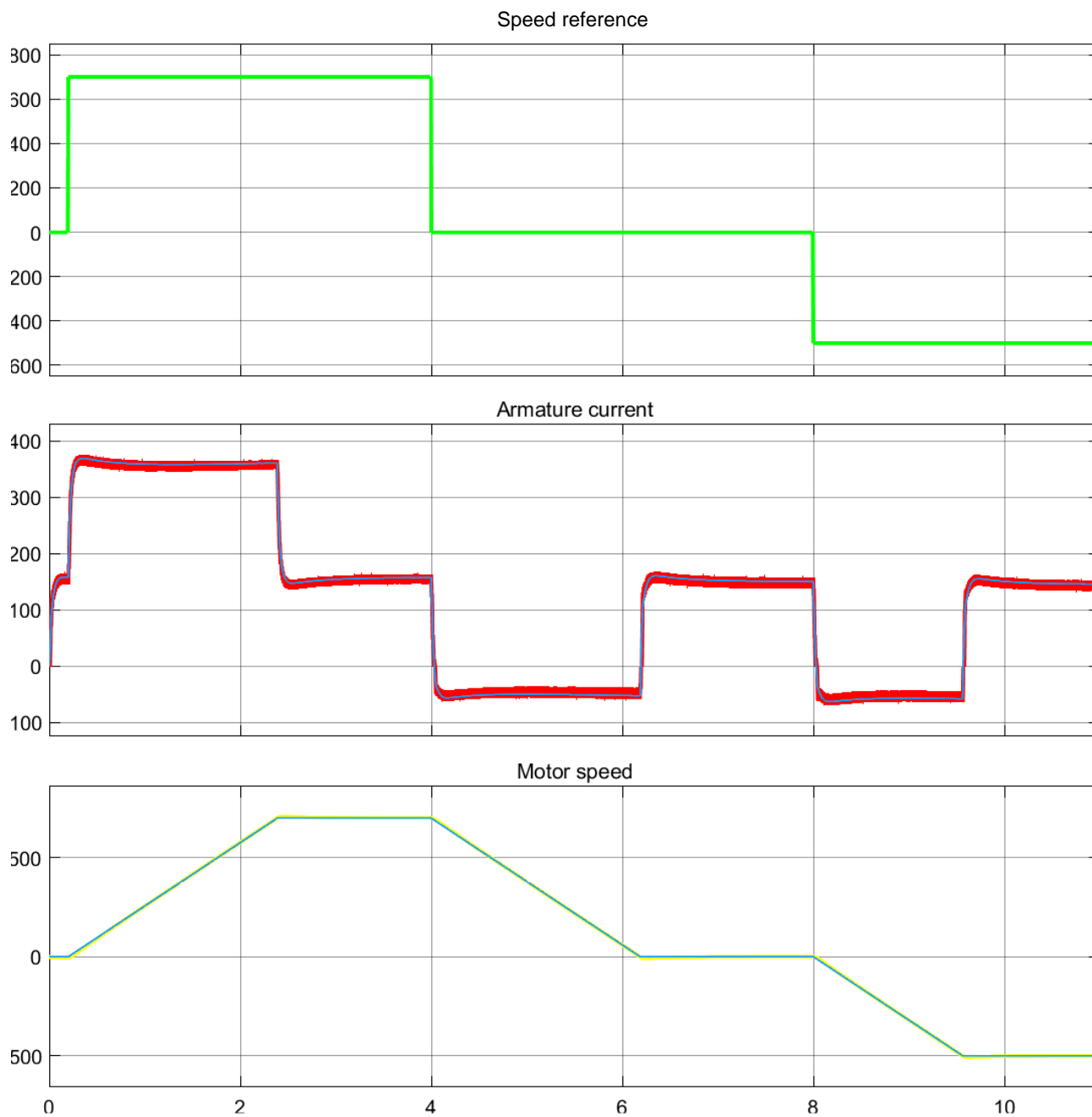


Рисунок 2.12 - Графіки зміни завдання швидкості, струму якоря двигуна та швидкості обертання двигуна при імітаційному моделюванні

2.5 Обґрунтування використання нечітких експертних систем для автоматизації дозування шихтових матеріалів

У більшості випадків налаштування ПІ-регуляторів здійснюється за допомогою методів, заснованих на використанні формул або таблиць. Проте в останні роки в адаптивних автоматизованих системах управління (АСУ) значно збільшилася частка регуляторів, які застосовують нечітку логіку або базуються на експертних системах. Використання таких контролерів для управління складними об'єктами в багатьох випадках демонструє ефективність [20], [21]. Для реалізації регулювання на основі нечітких змінних, необхідно виконати операції, сформовані на базі висловлювань оператора, які задаються у вигляді нечітких правил продукції. Проте, недоліком цього підходу є залежність від людського фактора, оскільки експерт не завжди здатен врахувати всі ключові параметри через різноманітність виробничих процесів. У зв'язку з цим стає актуальним синтез підходів, які поєднують традиційні формульні або табличні методи з нечіткими підходами для розробки адаптивних АСУ.

Для цього необхідно виконати дослідження по створенню нечіткої ЕС з реалізацією алгоритму Такагі-Сугено. Така ЕС повинна визначити оптимальні параметри налаштування ПІ-регулятора. На рисунку 2.13 представлено адаптивну автоматизовану систему регулювання (ААСР).

На рисунку 2.13 прийняті наступні позначення: E – помилка, K – коефіцієнт посилення, T – постійна часу об'єкта, τ – запізнення, Z – завдання, V – вихідне значення, N – обурення, U – керуючий вплив, K_p і T_u – параметри налаштування ПІ-регулятора.

Завданням блоку ідентифікації об'єкта (БІО) є моніторинг та оцінка параметрів об'єкта регулювання. Отримуючи ці дані, нечітка ЕС (НЕС), самостійно обчислює нові налаштування регулятора та забезпечує автоналаштування. Завдяки використанню НЕС, процес регулювання можна стабілізувати без безпосередньої участі оператора технологічного процесу і без потреби у зупинці виробництва.

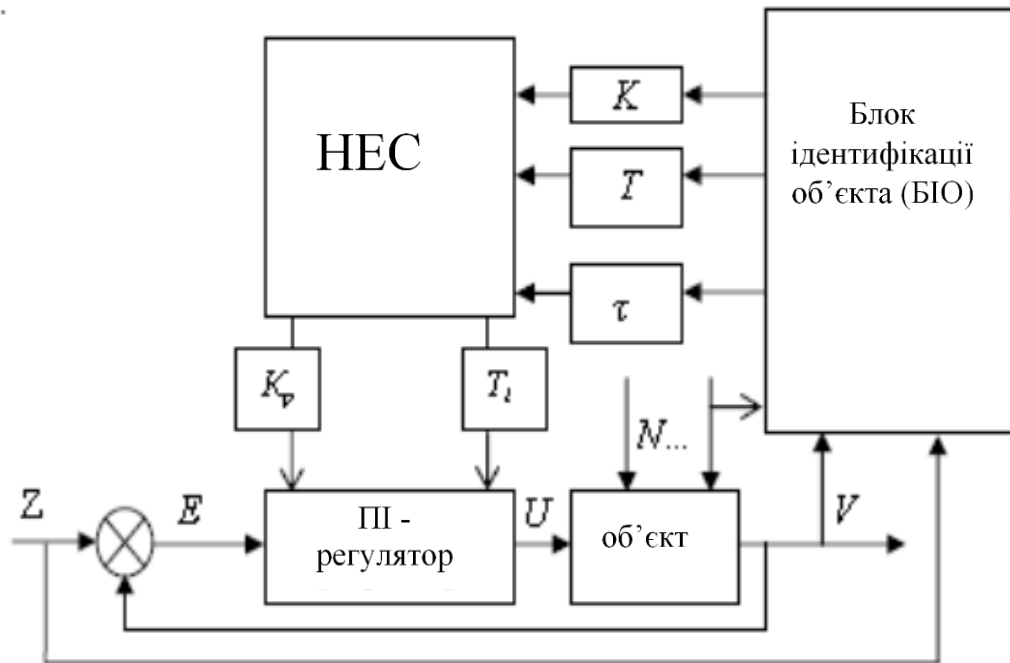


Рисунок 2.13 – Структура адаптивного нечіткого ПІ-регулятора з об'єктом керування

У складних та динамічних системах часто виникає ситуація, коли визначення характеристик об'єкта повинно здійснюватися експертом-технологом або наладчиком АСУ ТП [24]. В таких випадках експерту легше формалізувати свої спостереження у вигляді міркувань, наприклад: «середнє запізнення», «високий коефіцієнт посилення» тощо. Для того щоб врахувати експертну думку, значення параметрів об'єкта повинні бути фазифіковані.

2.6 Розробка нечіткої експертної системи дозатора сипучих матеріалів

У системах дозування сипучих матеріалів (СМ) оператор, спостерігаючи за витратою матеріалу з дозатора, може словесно вказати на збільшення або зменшення витрати (K), запізнення – час, що проходить від увімкнення стрічкового транспортера до моменту початку руху розсипного матеріалу ($PМ$), або ж визначити різну ємність дозатора (T) в разі залипання або зависання сипучих

матеріалів на стінках дозатора. Наприклад, на рисунку 2.14 показано витратомір (*FE*) та регулятор витрати (*FC*), які використовуються для контролю цих параметрів.

Такий підхід дозволяє більш гнучко адаптувати систему до умов реального виробничого процесу, зокрема в тих випадках, коли на об'єкт впливають зовнішні фактори або відбуваються зміни в його характеристиках. Завдяки фазифікації параметрів та застосуванню НЕС, можна ефективніше налаштовувати регулятори та підтримувати стабільну роботу системи, враховуючи всі можливі зміни [24].

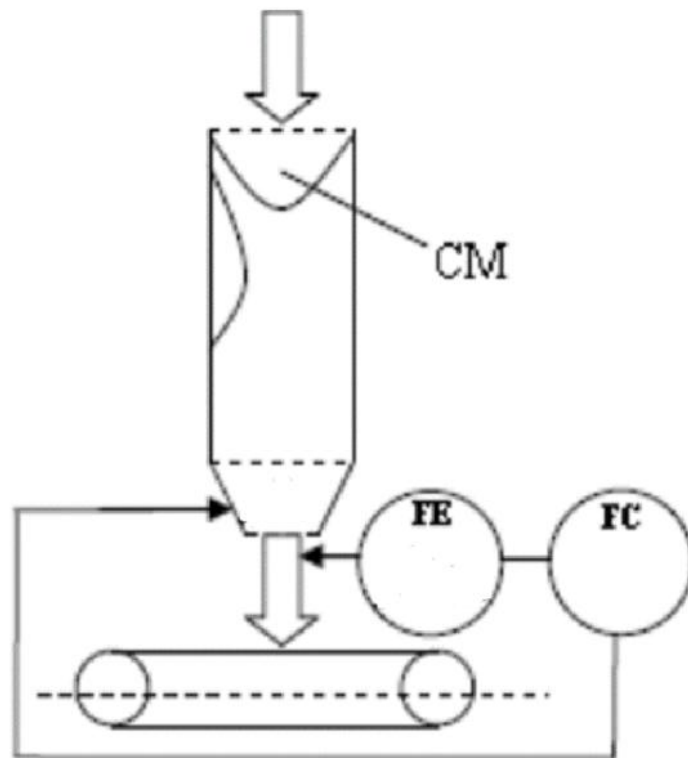


Рисунок 2.14 – Дозатор СМ (складний об'єкт управління)

Принцип функціонування алгоритму Такагі-Сугено був детально проаналізований у роботі [22] і полягає у застосуванні правил продукції типу "ЯКЩО... ТО" (IF... THEN), де нечіткість присутня лише в частині умов (IF). Це означає, що умови, на основі яких приймаються рішення, нечіткі, а їх формулювання є нечіткими висловлюваннями. Проте в частині результатів (THEN) використовуються чіткі функціональні залежності, що дозволяють забезпечити точність у виході системи.

Ця специфіка алгоритму Такагі-Сугено забезпечує його унікальність і дозволяє поєднувати нечітке моделювання з чіткими математичними розрахунками. Умовна частина (IF) описує ситуації, що можуть бути не чітко визначеними, наприклад, «температура висока» або «тиск середній», що дає можливість моделювати системи в умовах невизначеності або неточних вхідних даних. Водночас у частині THEN використовуються функції, які задають точні математичні залежності, завдяки чому досягається більш точний контроль над системою.

$$R^{(1)}: IF(x_1 \in A_1^1 \text{ AND } x_2 \in A_2^1 \dots \text{ AND } x_n \in A_n^1) THEN y_1 = f^{(1)}(x_1, x_2, \dots x_n),$$

$$R^{(N)}: IF(x_1 \text{ це } A_1^N \text{ AND } x_2 \text{ це } A_2^N \dots \text{ AND } x_n \text{ це } A_n^N) THEN y_1 = f^{(N)}(x_1, x_2, \dots x_n)$$

де A_n - Терм-множини. Допустимо, що на вхід НЕС подається сигнал $\bar{x} = (\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n)$, який є вектором значень параметрів об'єкта, визначених БІО, тобто $\bar{x} = f(T_i, K_k, \tau_j)$ Визначимо вихідний сигнал НЕС $\bar{y} = f(T_{kj}, K_{pi}, K_{dn})$. Для правила $R^{(l)}$ розраховуємо:

$$\left\{ \begin{array}{l} \mu_{\lambda_1}(\bar{x}_1), \mu_{\lambda_2}(\bar{x}_2), \dots, \mu_{\lambda_n}(\bar{x}_n), \\ \omega' = \min(\mu_{\lambda_1}(\bar{x}_1), \mu_{\lambda_2}(\bar{x}_2), \dots, \mu_{\lambda_n}(\bar{x}_n)), \\ \text{або } \mu_{\lambda_1}(\bar{x}_1), \mu_{\lambda_2}(\bar{x}_2), \dots, \mu_{\lambda_n}(\bar{x}_n) \end{array} \right.$$

На наступному етапі розраховується $\bar{y}_1 = f^{(1)}(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n)$.

Розглянемо розрахунки інших правил $R(k)$, $k = 2, \dots, N$. Для правила $R(N)$ отримуємо:

$$\left\{ \begin{array}{l} \mu_{\lambda_1^N}(\bar{x}_1), \mu_{\lambda_2^N}(\bar{x}_2), \dots, \mu_{\lambda_n^N}(\bar{x}_n), \\ \omega^N = \min(\mu_{\lambda_1^N}(\bar{x}_1), \mu_{\lambda_2^N}(\bar{x}_2), \dots, \mu_{\lambda_n^N}(\bar{x}_n)), \\ \text{або } \mu_{\lambda_1^N}(\bar{x}_1), \mu_{\lambda_2^N}(\bar{x}_2), \dots, \mu_{\lambda_n^N}(\bar{x}_n), \end{array} \right.$$

$$\bar{y}_N = f^{(N)}(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n)$$

Вихідний сигнал НЕС Такагі-Сугено визначається як сума виходів $\bar{y}_1, \dots, \bar{y}_n$:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^N \omega^i \bar{y}_i}{\sum_{i=1}^N \omega^i}$$

Тоді випадку НЕС у лінійному варіанті представимо так:

$$R^{(1)}: IF(x_1 \in A_1^1 \text{ AND } x_2 \in A_2^1 \dots \text{ AND } x_n \in A_n^1), THEN y_1 = c_0^{(1)} + c_1^{(1)}x_1 + \dots + c_n^{(1)}x_n,$$

де c_n – коефіцієнти рівняння.

Якщо під час функціонування об'єкта його параметри, такі як коефіцієнт посилення (K), постійна часу (T) та запізнення (τ), змінюються в певному діапазоні. Для забезпечення прийнятних характеристик якості системи необхідно виконати переналаштування регулятора. У ситуації, коли немає можливості точно виміряти всі параметри об'єкта, наладчик АСУ ТП буде змушений розрахувати нові налаштування регулятора, спираючись на власний досвід. Він буде орієнтуватися на значення вихідної величини, наприклад, витрати розсіпного матеріалу (РМ), що подаються системою (див. рис. 2.14).

У таких умовах наладчик може використовувати нечітку експертну систему (НЕС) для прийняття рішень. Ця система допомагає моделювати його міркування на основі попередніх знань і експертизи [24]. Наприклад, нехай ми розглядаємо НЕС, яка містить два правила, що описують процес прийняття рішень наладчика АСУ ТП. Ці правила можуть виглядати наступним чином: "ЯКЩО запізнення мале, ТО коефіцієнт посилення високий" або "ЯКЩО постійна часу середня, ТО потрібно збільшити витрати".

R(1) : ЯКЩО (T є мале I K є мале I τ є Мале) ТО $K_{p1} = 0,6/K(\tau/T)$, $T_{i1} = 0,6 T$,

R(2) : ЯКЩО (T є середнє I До є високе I є середнє) ТО $K_{p2} = 0,7/K(\tau/T)$, $T_{i2} = \tau + 0,7 T$.

Розрахунок налаштувань ПІ-регулятора здійснюється за формульним методом з урахуванням рекомендацій [21].

Наприклад при $T = 10$, $K = 2,5$; $\tau = 4$ с. з урахуванням функцій приналежності, вид яких взятий з рекомендацій [20], отримуємо функції приналежності лінгвістичної змінної (рис. 2.15-2.17).

Фазифікація вхідних параметрів

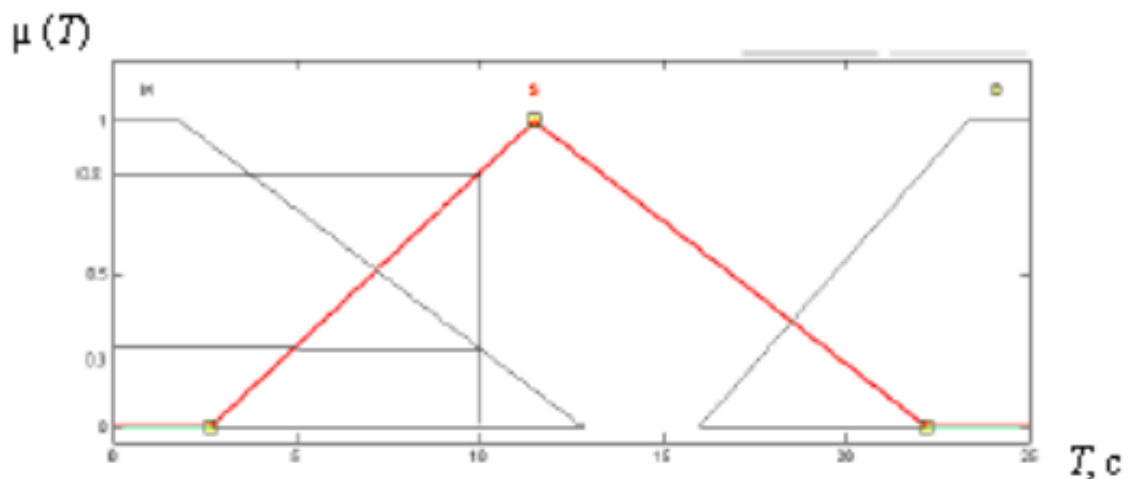


Рисунок 2.15 – Функції приналежності лінгвістичної змінної (ЛП) «постійна часу»

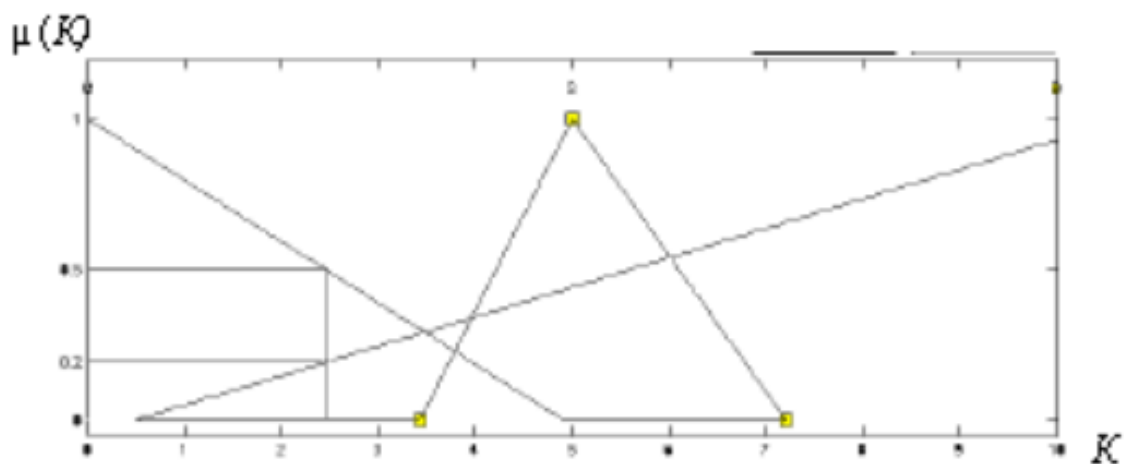


Рисунок 2.16 – Функції власності ЛП «коефіцієнт посилення» $\mu(\tau)$

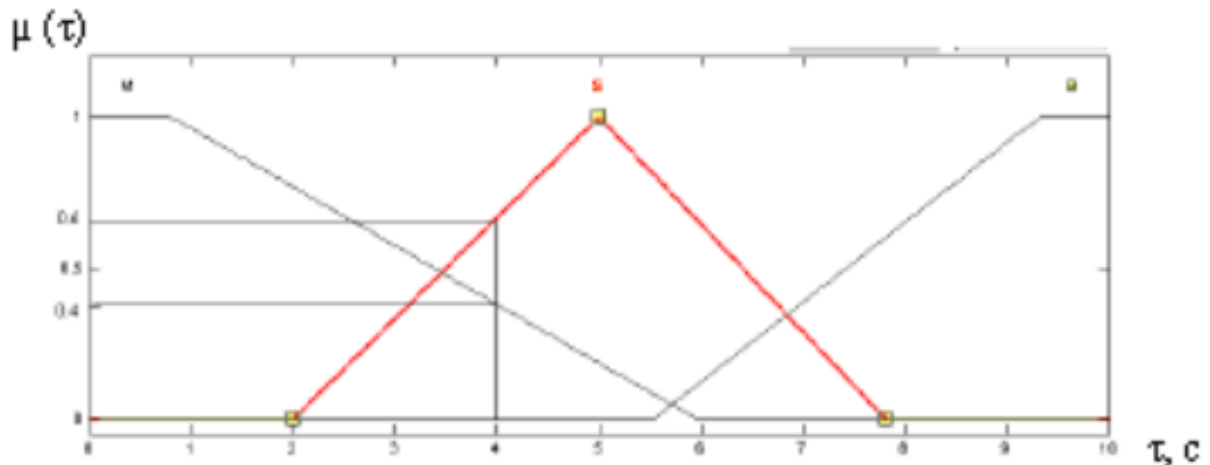


Рисунок 2.17 – Функції приладдя ЛП «запізнювання»

$$R^{(1)} : \mu_{T1}^1(10) = 0,3; \mu_{K1}^1(2,5) = 0,5; \mu_{\tau1}^1(4) = 0,4,$$

$$R^{(2)} : \mu_{T1}^2(10) = 0,8; \mu_{K1}^2(2,5) = 0,2; \mu_{\tau1}^2(4) = 0,6.$$

З огляду на те, що зважені значення ступенів істинності w^k ($k=1,2$) розраховуються по (3), отримуємо $w^1 = \min(0,3; 0,5; 0,4) = 0,4$; $w^2 = \min(0,8; 0,2; 0,6) = 0,2$.

Також згідно (3) і $R^{(1,2)}$, $K_p^1 = f(10; 2,5; 4) = 0,6$; $T_u^1 = f(10) = 6$; $K_p^2 = f(10; 2,5; 4) = 0,7$; $T_u^2 = f(10) = 11$. З урахуванням (4) адаптивні значення налаштувань ПІ-регулятора становитимуть $K_p = 0,63$; $T_u = 8,14$. Таким чином, можна зазначити, що представлена модель є одним із варіантів нечіткого ПІ-регулятора.

Для порівняння ефективності нечітких адаптивних методів налаштування з традиційними формульними підходами було виконано моделювання в середовищі MatLab (Simulink). [23] (див. рис. 2.18). Під час моделювання використовувалися значення параметрів для типового ПІ-регулятора ПІ1, які були розраховані за допомогою методу $R^{(1)}$. Ці параметри становлять: коефіцієнт посилення $K_p = 0,6$ та постійна часу інтеграції $T_u = 6$. Результати перехідних процесів регулювання зображені на рисунку, що дозволяє детально проаналізувати поведінку системи при застосуванні різних методів налаштування.

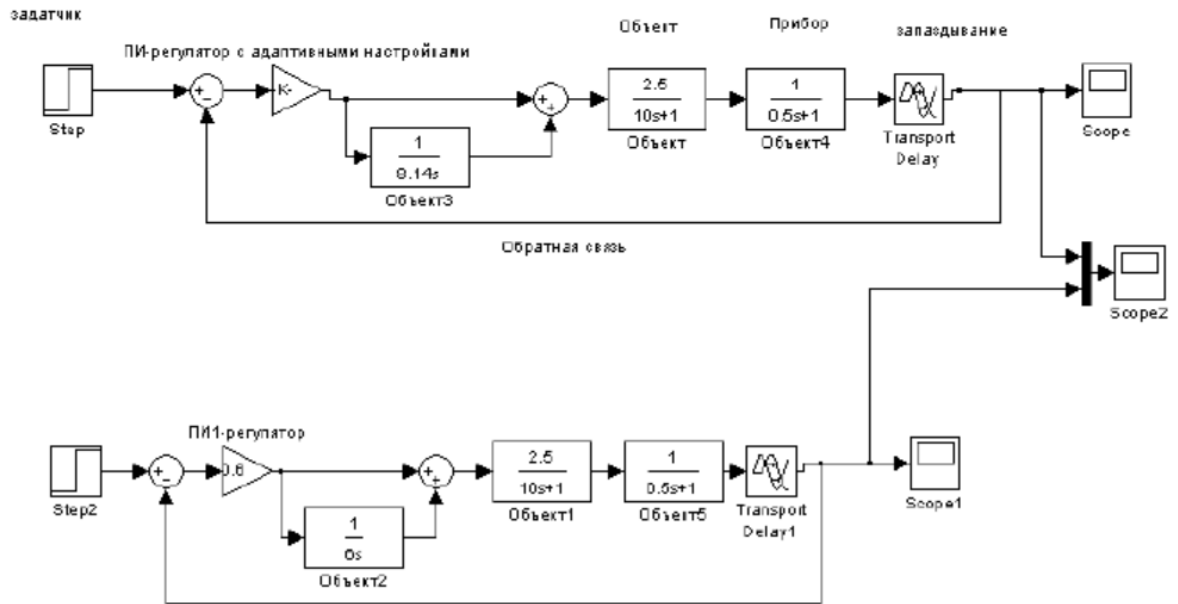
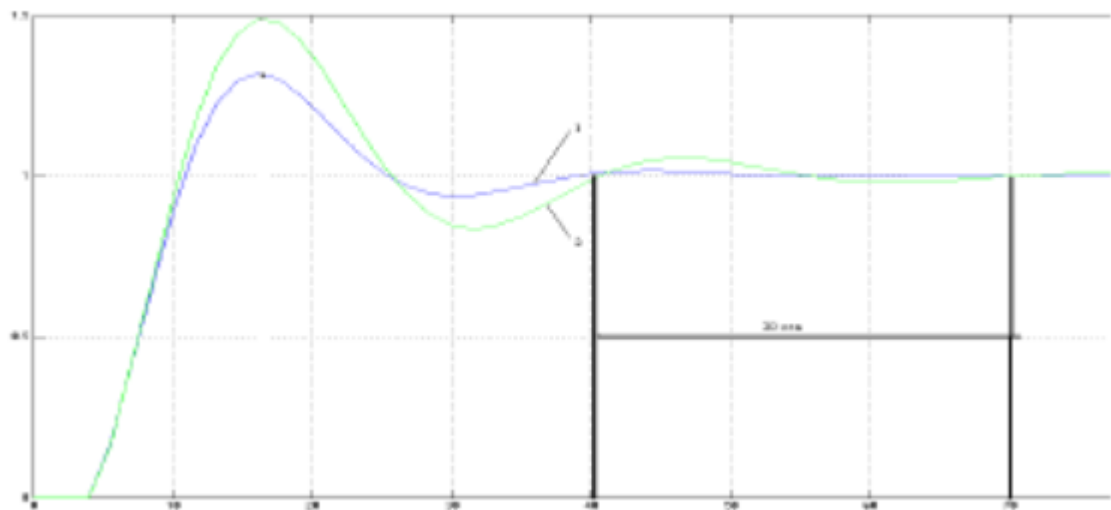


Рисунок 2.18 – Система автоматичного керування з ПІ-регулятором



1 – метод нечітких адаптивних налаштувань, 2 – формульних налаштувань

Рисунок 2.19 – Перехідні процеси

Згідно з рис. 2.19, адаптивні налаштування сприяють скороченню часу регулювання на 0,5 хв. у порівнянні з табличними методами. Це має важливе значення у виробничих умовах, оскільки сприяє економії енергоресурсів під час роботи виконавчих механізмів. Перерегулювання при використанні нечіткого підходу становить $G_H = 23\%$, тоді як при формульному підході – $G\phi = 33,3\%$. Це свідчить про те, що нечіткий алгоритм можна успішно застосовувати для

автоналаштування ПІД-регуляторів.

Поєднання табличних і нечітких наукових підходів при розробці адаптивних автоматизованих систем управління (АСУ) дозволить враховувати досвід і знання технологів та фахівців-наладчиків. Це сприятиме спрощенню модернізації систем регулювання дозування та завантаження шихтових матеріалів в доменну піч на вітчизняних підприємствах.

Висновки до розділу

Одним із ключових чинників підвищення загальної продуктивності системи завантаження доменної печі є здатність інтегрувати роботу різних механізмів в єдиний комплекс.

Автоматизована система управління технологічними процесами (АСУ ТП) має бути побудована як інтерактивна людино-машинна система, яка функціонує в реальному часі. Її мінімальна конфігурація повинна забезпечувати ефективний контроль над технологічними процесами та гарантувати безпеку і стабільність виробництва.

Розроблено структурну схему автоматизованої системи керування для моделювання процесів. Схема моделі була розроблена за допомогою програмного пакету Simulink у середовищі Matlab. Аналіз отриманих графіків показує, що результат був досягнутий завдяки введенню фільтра на вході системи, що дозволило стабілізувати роботу системи і забезпечити відсутність перерегулювань.

В пакеті Matlab виконано імітаційне моделювання системи автоматичного керування скіповою підйомною установкою для декількох ключових режимів роботи скіпового підйому. Графіки, отримані в результаті імітаційного моделювання, підтверджують, що розроблена модель відповідає вимогам, що пред'являються до скіпових підйомних установок для доменних печей.

Обґрунтовано використання нечітких експертних систем для автоматизації дозування шихтових матеріалів. Для оцінки ефективності нечітких адаптивних

методів налаштування в порівнянні з типовими формульними підходами було проведено моделювання за допомогою програми MatLab. Розроблено нечітку експертну систему дозатора сипучих матеріалів.

РОЗДІЛ 3

ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ

3.1 Функціональна схема системи автоматизації дозування та завантаження шихтових матеріалів доменної печі

Функціональні схеми систем автоматизації є ключовим технічним документом, що відображає функціональну структуру блоку автоматичних систем управління. Вони визначають засоби індивідуального контролю, управління та регулювання технологічних параметрів, а також надають повне уявлення про обладнання об'єкта управління та використовувані технічні засоби автоматизації.

Створення функціональних схем розпочинається після глибокого аналізу об'єкта регуляції. Під час розробки таких схем вирішуються наступні питання:

- отримання первинної інформації про стан технологічного процесу та обладнання;
- дії які будуть здійснюватися для безпосереднього впливу на технологічний процес;
- стабілізація параметрів процесу;
- організація контролю та регулювання технологічних параметрів об'єкта автоматизації;
- зв'язок між окремими параметрами та як вони впливають один на одного.

Всі ці питання вирішуються на основі аналізу технологічного обладнання, встановлених законів і критеріїв управління об'єктом регуляції, а також вимог до точності регулювання, контролю і реєстрації технологічних параметрів. На рисунку 3.1 наведена функціональна схема системи автоматизації дозування та завантаження шихтових матеріалів для доменної печі.

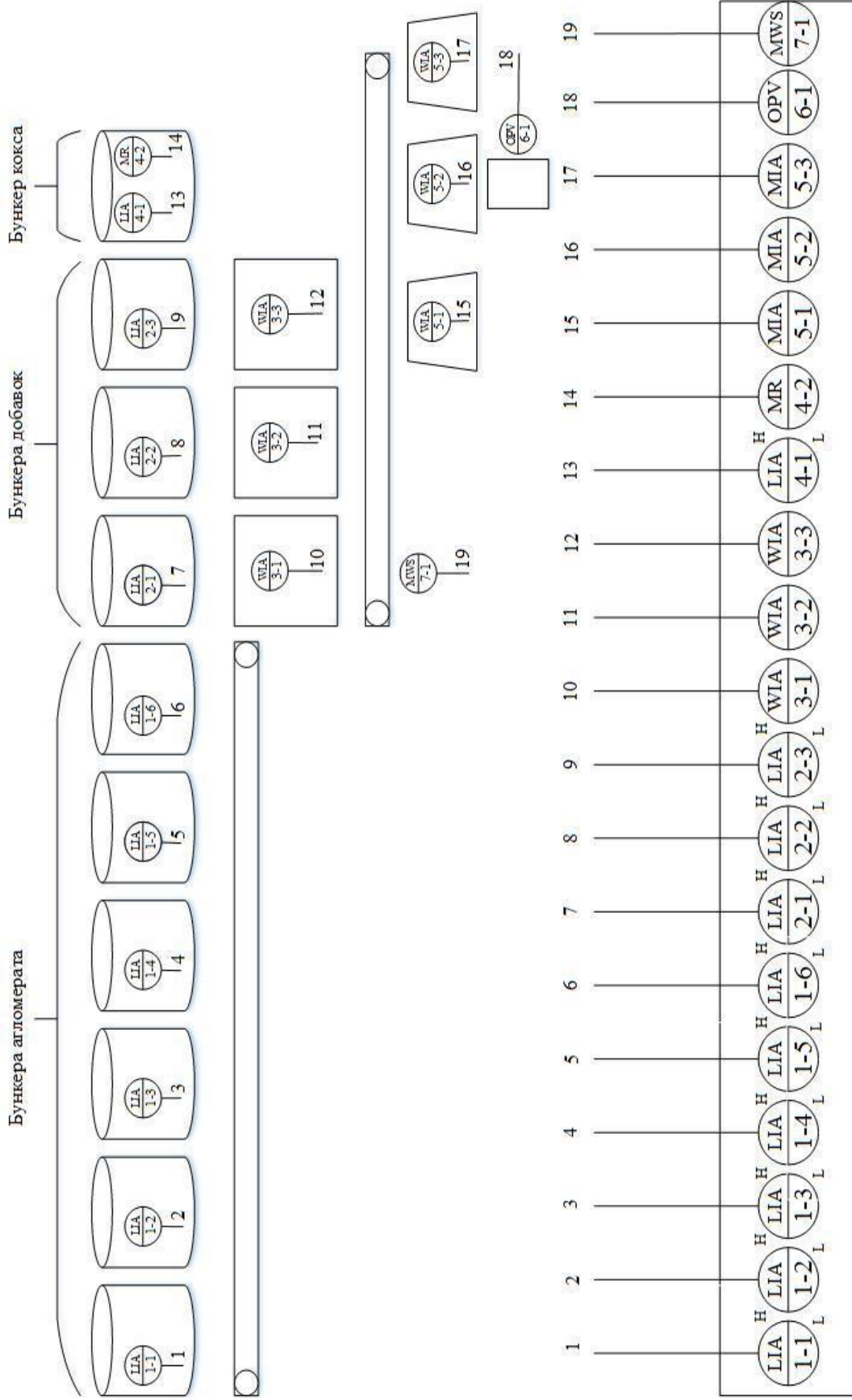


Рисунок 3.1 – Функціональна схема системи автоматизації дозування та завантаження шихтових матеріалів доменної печі

3.2 Технічне забезпечення системи автоматизації дозування шихтових матеріалів та завантаження у скіповому підйомі доменної печі

Основними завданнями при виборі технічних засобів є забезпечення високої надійності в умовах промислового середовища (вібрація, пил, вологість, температура) та створення інтелектуального програмного забезпечення, яке реалізує функції людино-машинного інтерфейсу.

Для системи дозування шихтових матеріалів та їх завантаження необхідно таке технологічне обладнання:

1. Вагові стрічкові дозатори для кожної вагової воронки та бункера;
2. Датчики рівня для контролю заповнення бункерів та вагових воронок;
3. Тензодатчики для вимірювання маси матеріалів у вагових воронках;
4. Датчики потоку для контролю руху сипких матеріалів на стрічках конвеєрів.

Розглянемо кожен вид обладнання детальніше.

Вагові стрічкові дозатори використовуються для безперервного динамічного зважування та дозування сипких матеріалів у технологічному процесі. Для цієї системи підходить дозатор типу «ДВЛ»-400. Дозатор ДВЛ складається з вагового конвеєра, електронного приводу, контролера і працює за принципом безперервного зважування і дозування.

Система управління, вимірювання та регулювання обробляє сигнали вагових навантажень на стрічку та сигнали швидкості її руху для підтримки необхідної витрати матеріалу. Швидкість руху конвеєрної стрічки автоматично регулюється шляхом порівняння фактичної продуктивності з заданою.

Технічні характеристики дозатора ДВЛ-400 представлені в таблиці 3.1, а на рисунку 3.2 показано структуру системи управління дозаторами.

Таблиця 3.1 - Технічні характеристики ДВЛ-400

Характеристики	Значення
Регульована продуктивність	від 2,5 до 400 т/год
Похибка дозування матеріалів	по ГОСТ 30124
Діапазон регулювання швидкості	1:10
Ширина конвеєрної стрічки	від 500 до 1600 мм
Міжосьова відстань	від 2000 до 10000 мм
Продуктивність транспортера, т/год	5...500
Робочий температурний діапазон, °С	від -20 до +65
Ступінь пиловологозахисту	IP66 (100% захист від пилу та дощу)

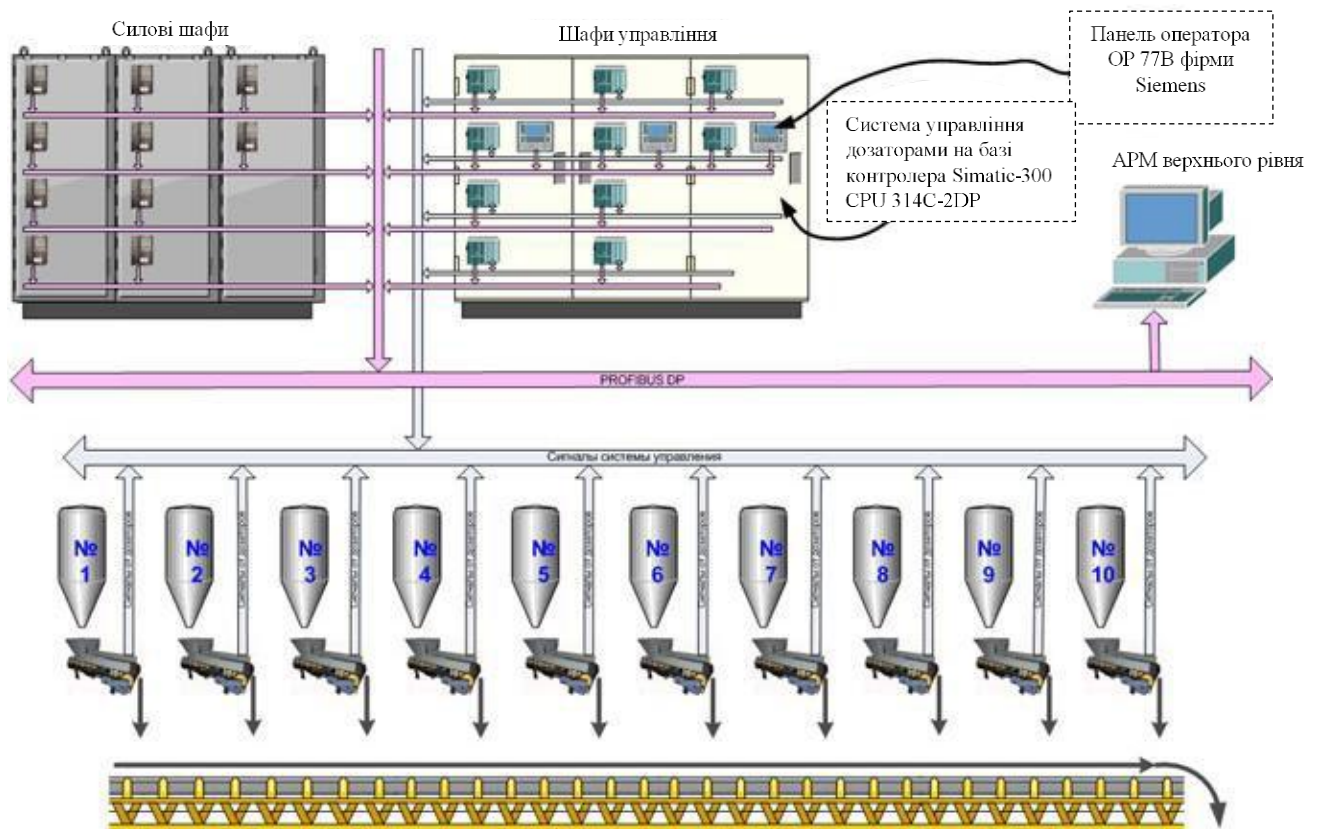


Рисунок 3.2 – Структура системи керування дозаторами

До складу цієї системи входять такі елементи:

1. Вагові стрічкові дозатори безперервної дії типу ДВЛ-400;
2. Шафа управління (ШУ);
3. Контролер Simatic S7-1200, модель CPU 314-2DP;
4. Модулі для дискретного введення та виведення;
5. Блоки живлення: SIMATIC S7-1200 PS 307 та SITOP POWER;
6. Ваговимірювальні модулі SIWAREX U;
7. Операторська панель OP-77B;
8. Перетворювачі частоти Micromaster-440 для регулювання швидкості електроприводів дозаторів.

3.3 Алгоритми роботи автоматизованої системи керування завантаженням доменної печі

Послідовність завантаження визначається положенням розподільника агломерату:

- якщо розподільник агломерату знаходиться в крайньому лівому положенні, ваговий бункер зліва може бути завантажений конвеєрами обох сторін шихтоподачі, тоді як правий бункер не завантажується;

- якщо розподільник агломерату знаходиться в крайньому правому положенні, ваговий бункер справа може завантажуватися конвеєрами з обох сторін шихтоподачі, а лівий бункер не завантажується;

- якщо розподільник агломерату встановлений у середнє положення, кожен ваговий бункер для залізорудних матеріалів завантажується конвеєром лише з тієї сторони шихтоподачі, де він розташований.

Алгоритм завантаження доменної печі шихтовими матеріалами зображено на рисунку 3.3. Рисунок 3.4 демонструє підпрограми для дозування агломерату, коксу та добавок. У підпрограмі дозування агломерату та коксу перевіряється наявність матеріалів у бункерах, після чого дається команда на відкриття

затворів, активацію грохотів та конвеєрів; дрібний матеріал направляється на переробку. Далі перевіряється, чи набрана необхідна кількість матеріалу у ваговій воронці; у разі виконання умови затвори закриваються, а конвеєри та грохоти вимикаються.

У підпрограмі для дозування добавок процес подібний, але додається умова перевірки наявності матеріалу на стрічці конвеєра, після чого у разі його відсутності конвеєр вимикається, а затвори закриваються.

Алгоритм управління підйомом скіпів зображений на рисунку 3.5.

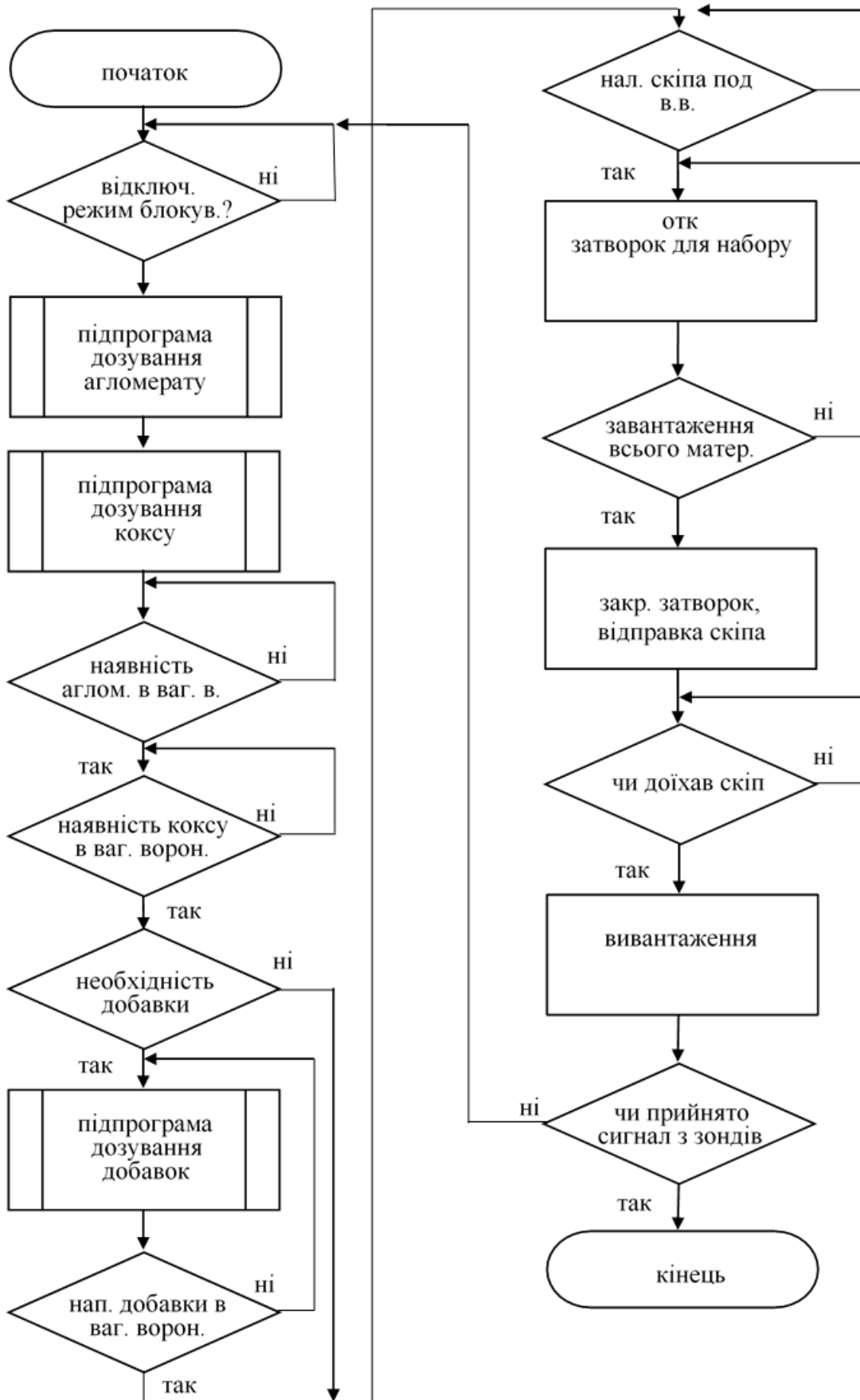


Рисунок 3.3 – Алгоритм роботи системи завантаження доменної печі шихтовими матеріалами

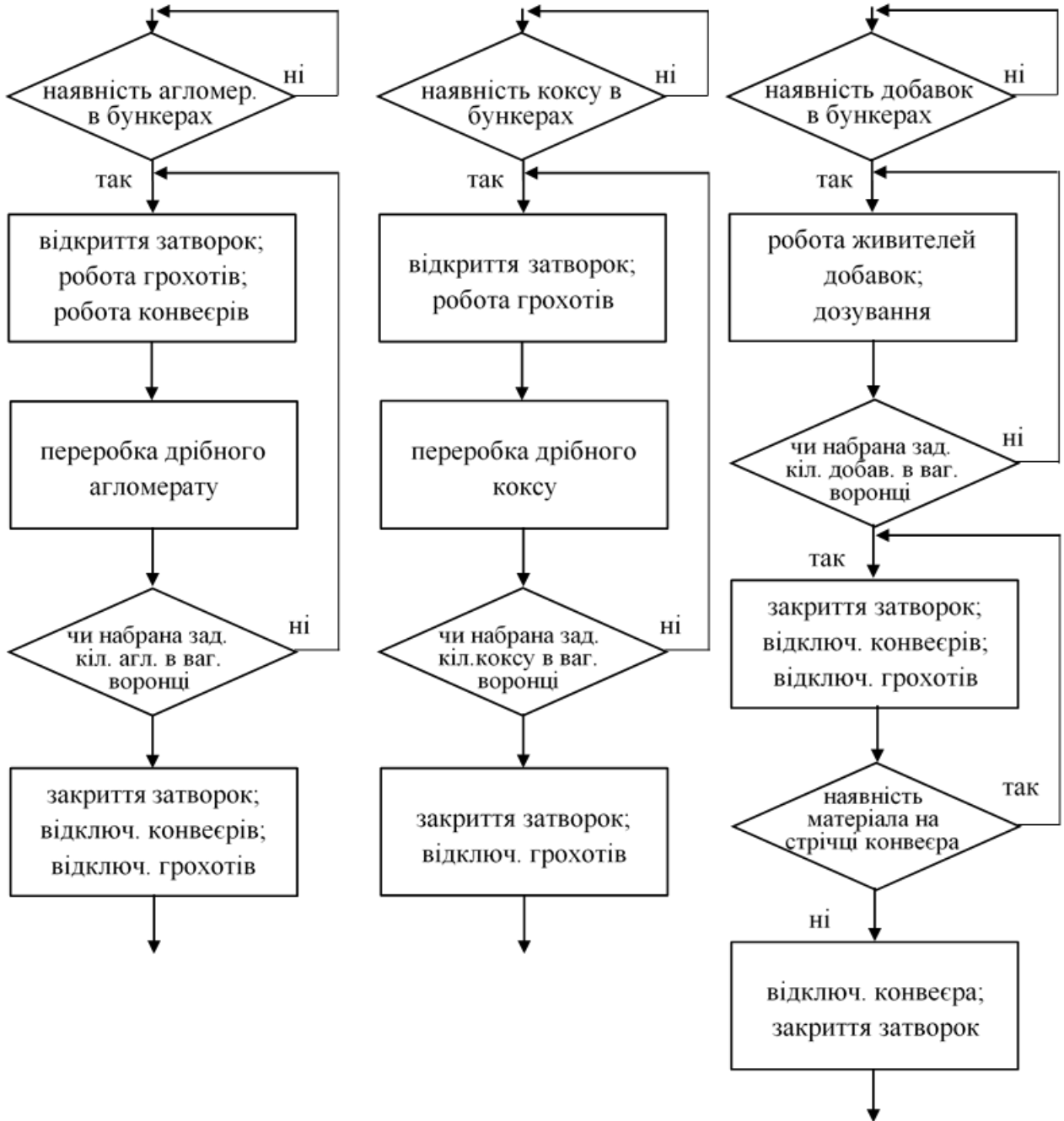


Рисунок 3.4 – Підпрограма дозування агломерату, коксу і добавок

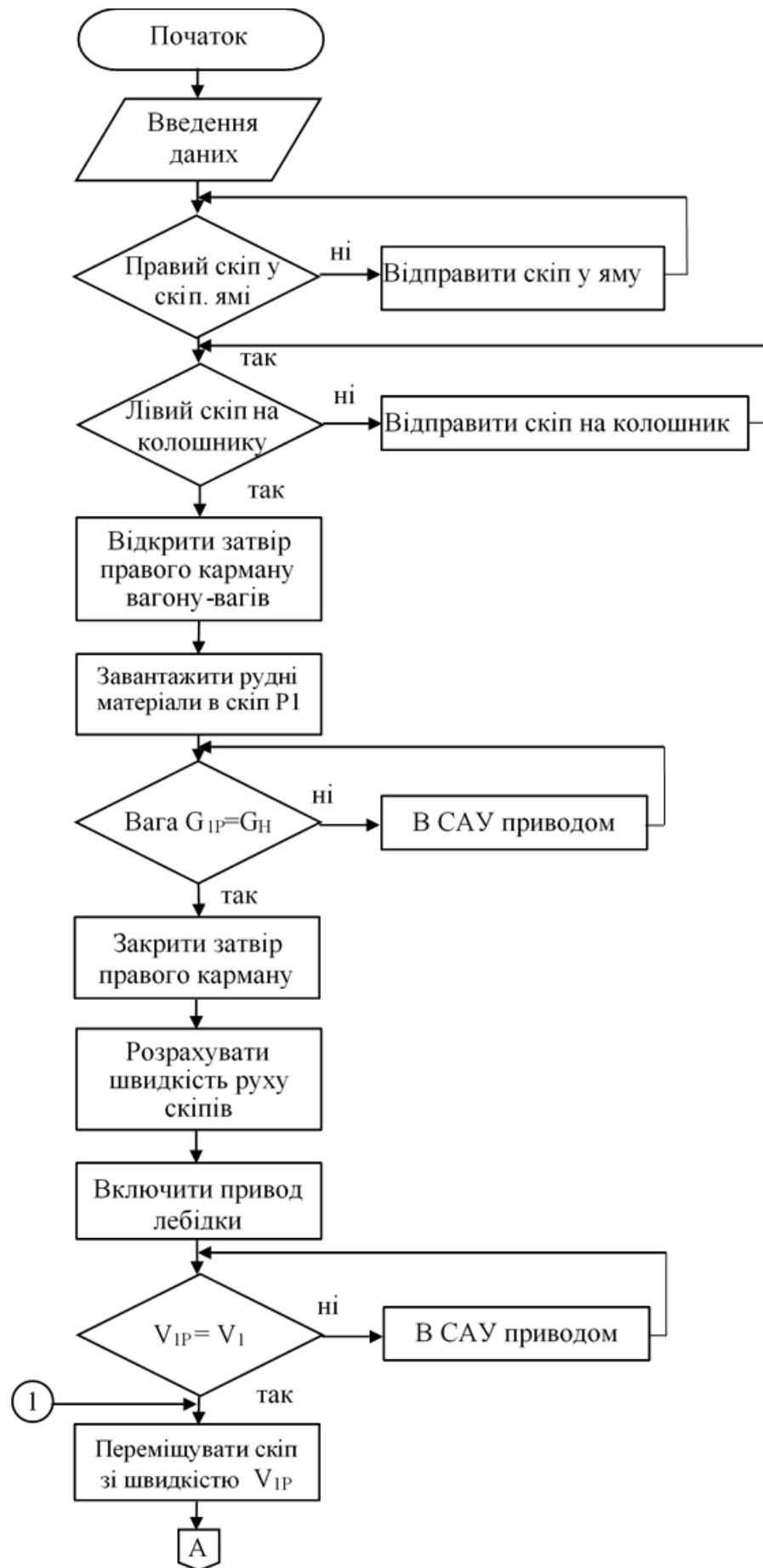


Рисунок 3.5 - Алгоритм керування рухом скіпа

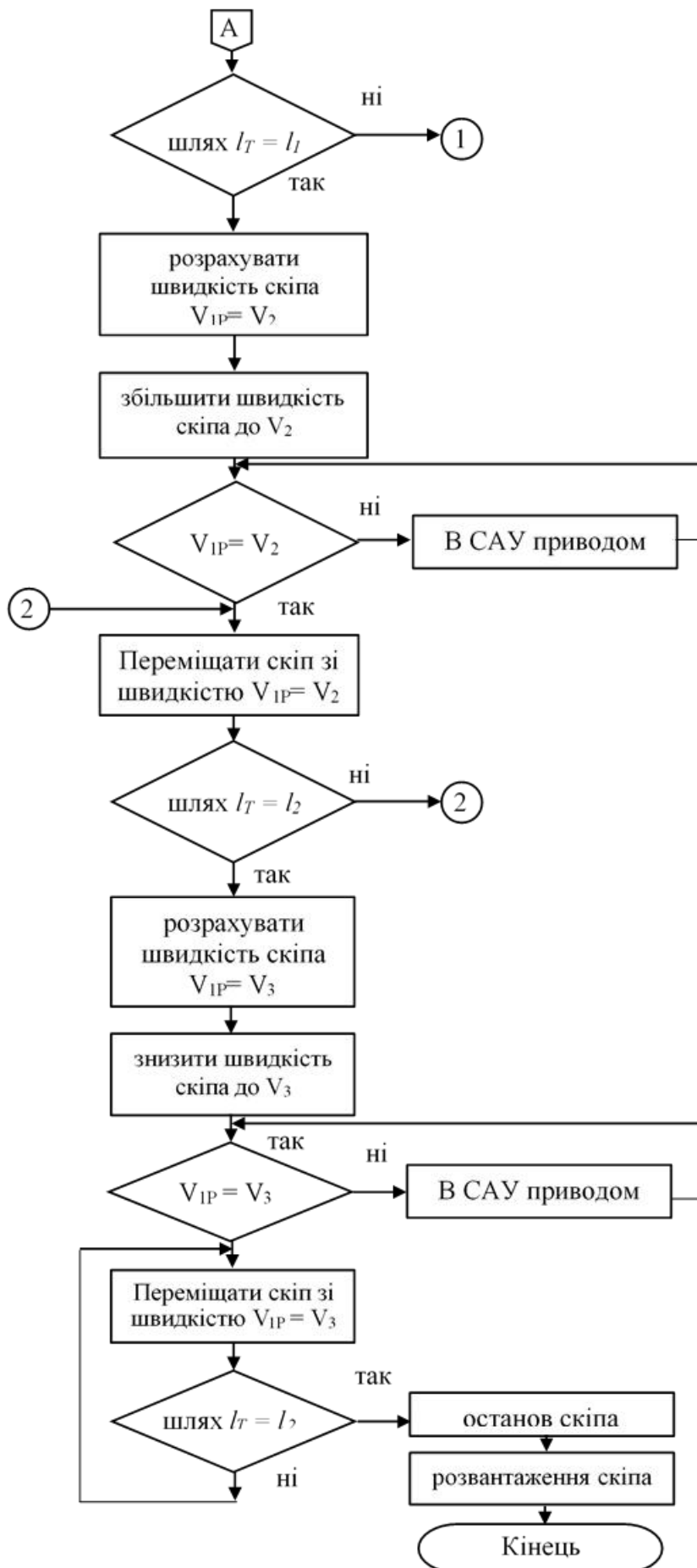


Рисунок 3.5 (продовження)

3.4 Розробка SCADA нижнього завантаження доменної печі

Система диспетчерського контролю та збору даних (SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition) залишається ключовим і найбільш перспективним методом автоматизації управління складними динамічними процесами, що мають критичне значення для безпеки та надійності в різних галузях. SCADA являє собою програмний пакет, призначений для розробки та підтримки в реальному часі систем, які займаються збором, обробкою, відображенням та збереженням даних про стан об'єкта моніторингу або управління.

Для створення інтерфейсу управління нижнім завантаженням доменної печі рекомендовано використовувати систему WinCC – це програмне забезпечення для розробки людино-машинних інтерфейсів (HMI). WinCC є частиною сімейства систем автоматизації Simatic, виробленого компанією Siemens AG.

Визначимо вимоги до функціоналу підсистеми "Завантаження".

Основні завдання цієї підсистеми включають контроль функціонування обладнання, яке відповідає за подачу шихтових матеріалів у бункери. Система здійснює опитування датчиків дискретних сигналів і створює таблиці стану конвеєрів за такими критеріями: знаходження на ремонті, робочий стан, поточне положення конвеєра та напрямок руху його стрічки.

Зібрані дані зберігатимуться в базі даних і можуть бути відображені на екрані операторської станції за запитом оператора або видані у вигляді звіту на друк. Якщо будь-який із конвеєрів досягає крайнього положення, система автоматично генерує аварійне повідомлення. У разі, коли матеріал завантажується в бункер, але сигнал про положення відповідного конвеєра не надходить, це також фіксується як аварійний стан.

Під час переміщення конвеєрів до будь-якого з бункерів постійно контролюється наявність сигналів від датчиків положення, які розташовані вздовж маршруту. У випадку відсутності сигналу від будь-якого з них система генерує повідомлення про аварійну ситуацію.

Режими роботи вагових воронок та бункерів визначаються за такими

показниками: знаходження на ремонті, активний робочий стан, порожній бункер, завантаження або робота вагового дозатора. Інформація може бути виведена на екран операторської станції за запитом дозувальника.

Сигналізація аварійних станів охоплює такі випадки: конвеєр досяг крайнього положення; матеріал завантажується у вагову лійку, але сигнал положення конвеєра не надійшов; конвеєр пройшов над датчиком, проте сигнал не зафіксовано; зафіксований сигнал про досягнення верхнього рівня матеріалу в лійці або бункері; відсутній матеріал на виході з будь-якого вагодозатора; вагодозатор не справляється із заданою витратою більше ніж на 5%; група бункерів не забезпечує потрібну витрату з похибкою понад 5%.

Всі аварійні ситуації в системі негайно супроводжуватимуться звуковою сигналізацією, а також відображенням відповідного повідомлення на екрані операторської станції. Система автоматично протоколюватиме аварійні сигнали та реакції на них, як з боку системи, так і з боку оператора. Архів з аварійними повідомленнями зберігатиметься протягом місяця.

Підсистема "Завантаження" буде вести повний облік роботи конвеєрів і положення затворів, а також реєструвати всі аварійні стани обладнання. Будуть фіксуватися всі зміни завдань на завантаження вагових лійок шихтовими компонентами, як зі сторони оператора, так і автоматично. Ці дані за запитом оператора можуть бути виведені на друк у вигляді звіту.

Постійно відбуватиметься розрахунок ваги матеріалу, що завантажується у вагові лійки та бункери. Для цього буде проводитись безперервний збір аналогових сигналів з ваговимірювачів конвеєрів. За допомогою таблиць стану устаткування визначатиметься, яка вагова лійка зараз завантажується, і відповідно розраховуватиметься вага матеріалу, що в неї потрапляє.

Також система здійснюватиме контроль рівня матеріалу в бункері та ваговій лійці, як верхнього, так і нижнього. Залишок матеріалу в бункері буде розраховуватися на основі даних про загальну вагу завантаженого матеріалу та масу, що пройшла через дозатор. Якщо обсяг матеріалу в бункері складає лише 25% від його максимального об'єму, це вважається нижнім рівнем, а при досягненні

75% - бункер вважається заповненим. Кожна з цих ситуацій фіксуватиметься системою, і, у разі перевищення критичних значень, буде надходити аварійне повідомлення.

Інформація для оператора відобразатиметься за такими параметрами: стан обладнання ділянки, положення конвеєрів та затворів, а також вказуватиметься, які бункери зараз завантажуються і з якою швидкістю (в тоннах на годину). Устаткування, яке перебуває в ремонті, буде виділене блідим кольором.

За запитом дозувальника на екрані операторської станції відобразатиметься схема ділянки шихтових бункерів із зазначенням обладнання, яке знаходиться в робочому стані. Резервні бункери позначатимуться контрастним кольором, а обладнання, що в ремонті, буде виділене блідим відтінком. Крім того, буде показана загальна продуктивність кожного ланцюжка та окремих компонентів у тоннах на годину. Для отримання детальної інформації можна буде викликати схему кожного окремого ланцюжка, де будуть відобразатися поточні завдання, фактичні витрати на вагодозаторах та помилки дозування. Рівень матеріалу в бункері відобразатиметься з розділенням партій.

На запит оператора система надаватиме статистичну інформацію у вигляді графіків:

1. Швидкість завантаження матеріалів у бункери;
2. Фактичні витрати на дозаторах та групах дозаторів із зазначенням встановлених значень;
3. Помилки дозування бункерами з фіксацією моменту введення нового завдання;
4. Коливання загальної продуктивності шихтового відділення та кожного ланцюжка із зазначенням планових показників;
5. Тимчасова діаграма простоїв кожного ланцюжка.

Постійно проводитиметься опитування аналогових сигналів з ваговимірювачів, а фактичні витрати будуть порівнюватися із заданими значеннями. У разі їх розбіжності система автоматично вноситиме корективи в управління. Ці таблиці налаштовуватимуться індивідуально для кожного

вагодозатора залежно від максимальної продуктивності та типу матеріалу, що завантажується. У процесі роботи система коригуватиме таблиці за допомогою спеціальних тестів, щоб адаптувати процес управління до змінюваних умов роботи вагодозаторів. Якщо це не дасть потрібного результату, в роботу вводиться резервний бункер. У випадку, коли резервний бункер відсутній, на проблемний вагодозатор задається поправка, яка компенсує різницю між заданою та фактичною продуктивністю, і проводиться перерахунок. Якщо ж група бункерів не може забезпечити необхідну продуктивність, і це не вдається виправити, відповідний ланцюжок відключається від системи [25].

Система повинна забезпечувати збереження оперативних даних про виробничий процес, а також історичних трендів сигналів. Всі ці дані мають бути збережені на сервері бази даних з терміном зберігання не менше одного року. Дані за попередній рік архівуються та записуються на зовнішній носій для подальшого зберігання. Також повинні бути передбачені засоби для відновлення інформації та роботи з архівними даними, щоб користувач міг у будь-який момент звернутися до них.

Для зручного доступу до об'єктів управління та моніторингу в нижній частині екрану комп'ютера розміщене основне меню з кнопками. Одна з основних кнопок — «Завантаження», яка відповідає за управління всіма механізмами подачі шихти.

При натисканні на конкретний механізм з'являється додаткове меню, в якому можна виконати наступні дії:

1) механізм виключити. На зображенні механізму з'явиться червоний хрест, якщо він знаходиться під автоматичним керуванням, або чорний хрест, якщо включене місцеве управління або вимкнене управління взагалі.

2) обрати дистанційний режим керування («Увімкнути-вимкнути ДУ»). В автоматичному режимі механізм працюватиме за заданою програмою, незалежно від оператора, тоді як у дистанційному режимі управління здійснюється оператором вручну, через натискання кнопок. Проте, якщо на механізмі стоять блокування, його включення буде неможливим.

3) переглянути всі повідомлення про роботу механізму.

4) відкрити вікно для встановлення завдань роботи механізму.

Індикація стану механізмів буде візуальною: ввімкнений механізм підсвічується зеленим, вимкнений — сірим, при попередженні — жовтим, а у разі аварії — червоним.

Біля агломераційних лійок будуть передбачені спеціальні вікна «Скіп» та «Подача», а також є матриці, що показують послідовність пошарового завантаження агломераційних лійок. Завантаження починається з нижнього шару, який завантажуються першим, і триває до верхнього. Завдання на завантаження матеріалу та його вагу задаються клацанням миші по відповідній клітинці матриці, де перетинаються параметри матеріалу і ваги. (рисунок 3.6).

У верхній частині форми відображені бункери агломерату, де позначені номери гуркотів (від 41 до 48). При натисканні на гуркіт відкривається меню, що дозволяє обрати один з двох режимів:

1) «Основний» — активується для основної роботи гуркоту. Він позначається буквою "О" на зеленому фоні, і гуркіт працює до досягнення заданої ваги.

2) «Досипка» — гуркіт працює в режимі досипання матеріалу і позначається буквою "Д" на блакитному тлі. Він функціонує до досягнення певної ваги, і цей режим можливий лише після внесення змін у релейну схему управління.

Також у верхній частині форми розташовані бункери коксових добавок з позначенням 1Дк–4Дк і рудних добавок 1Др–4Др. Над ними відображені написи, що визначають тип матеріалу, який встановлюється автоматично, базуючись на сигналах від системи верхнього завантаження.

У верхній частині бункерів добавок показані номери живильників 80-87. Під бункерами коксових добавок показані вагові вирви добавок з номерами затворів 96-99. При натисканні на затворі добавки буде відкриватися меню, що дозволяє є:

1) Виняток із роботи затворки. При цьому на позначенні затвора з'являється червоний хрест.

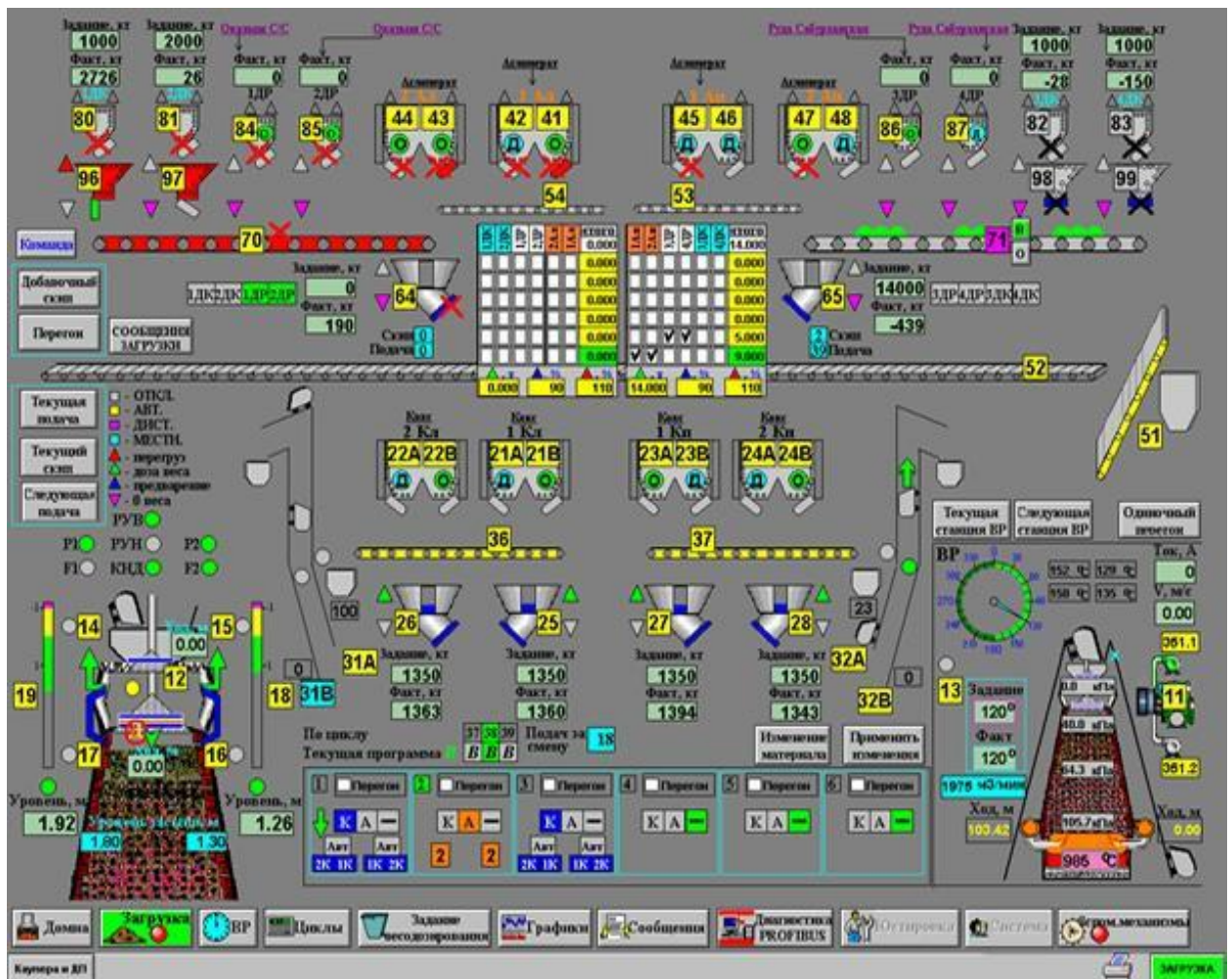


Рисунок 3.6 - Робоче вікно SCADA системи завантаження доменної печі

2) Робота із відкритим затвором. Цей режим дозволяє використовувати живильники коксових добавок як грохоти агломерату. Затвор добавки при цьому залишається відкритим (на екрані встановлюється вертикальне положення зеленого кольору).

Конвеєри збирання дрібниці агломерату 51-54 та конвеєри збирання дрібниці коксу 36 та 37. При роботі конвеєрів імітується рух матеріалу.

У вікні SCADA системи завантаження доменної печі має здійснюватися відображаючий стан різних механізмів табл. 3.2.

Таблиця 3.2 - Перелік механізмів у вікні SCADA

№	Механізм	№	Механізм
1	Зонди лівий та правий із зазначенням їх положення, рівня шихти та рівня засипу.	11	ВР - завдання на роботу («Завдання») та фактично відпрацьований кут («Факт»).
2	Головне піднесення.	12	Конуси малий та великий.
3	Лампи РУВ, РУН, КНД, Р, Ф.	13	Кнопка "Додатковий скіп".
4	Кнопка "Перегони".	14	Поточна подача.
5	Напис "За циклом", "Програма А (Б, В)".	15	Програма (А, Б чи В), розташована під зображенням печі.
6	Інформаційне вікно "Подача".	16	Стан газовідвідних клапанів (відкритий підсвічується зеленим кольором).
7	Кнопка «Одиночний перегін» – можливість перегнати один скіп.	17	Кнопка «Поточна подача» – можливість змінити номер поточної подачі.
8	Кнопка «Наступна подача» – можливість змінити номер наступної подачі.	18	Кнопка "Поточний скіп" - можливість змінити номер поточного скіпу.
9	Кнопка «Поточна станція ВР» - можливість змінити номер поточної станції ВР.	19	Кнопка «Наступна ВР станція» – можливість змінити номер наступної ВР станції.
10	Вікно «Рідке мастило» – можливість змінити режим «Основний-Резервний» або вивести з роботи.		

На рисунку 3.7 зображено систему нижнього завантаження, що містить бункери для агломерату, коксу, котунів і руди. Під бункерами добавок розташовані вагові вирви, які використовують для дозування добавок. Ці добавки потім скидаються з конвеєра в загальну вагову вирву разом із коксом. У верхній частині

бункерів відображаються відсотки їх заповненості шихтою, а для нижніх вагових ліжок створені межі ваги для кожного з них. Додатково для вагових ліжок коксу та добавок передбачена функція розрахунку вологості матеріалу у відсотках.

Система завантаження дозволяє працювати в трьох основних режимах:

1) Автоматичний (АВТ) підсвічується жовтим кольором – механізм працює за програмою автоматичного керування завантаженням.

2) Дистанційний (ДИСТ) підсвічується бузковим кольором – керування здійснюється дистанційно, за допомогою кнопок на екрані у формі керування «Завантаження».

3) Ручний (РУЧ) підсвічується блакитним кольором – управління механізмом здійснюється локально, безпосередньо за допомогою органів місцевого керування, обминаючи блокування.

Для запуску системи завантаження механізми, які не працюють, повинні включатися послідовно. Щоб ввести механізм в роботу, слід виконати кілька кроків:

- встановити режим керування механізмом у положення «АВТ».
- перевірити нульову схему механізму, якщо вона присутня.
- натиснути кнопку «РЕСТАРТ». Якщо механізм підсвічується червоним кольором, необхідно клацнути по ньому, а у вікні натиснути кнопку «ПОВІДОМЛЕННЯ», щоб визначити причину відмови і усунути її.
- зняти виключення механізму, щоб він зміг почати роботу.

Для перегону скіпу передбачена кнопка «Перегони». Після її натискання у вікні вибирається тип перегону, і після цього виконується необхідний процес. Якщо необхідний одиночний перегін, можна скористатися кнопкою «Одиночний перегін».

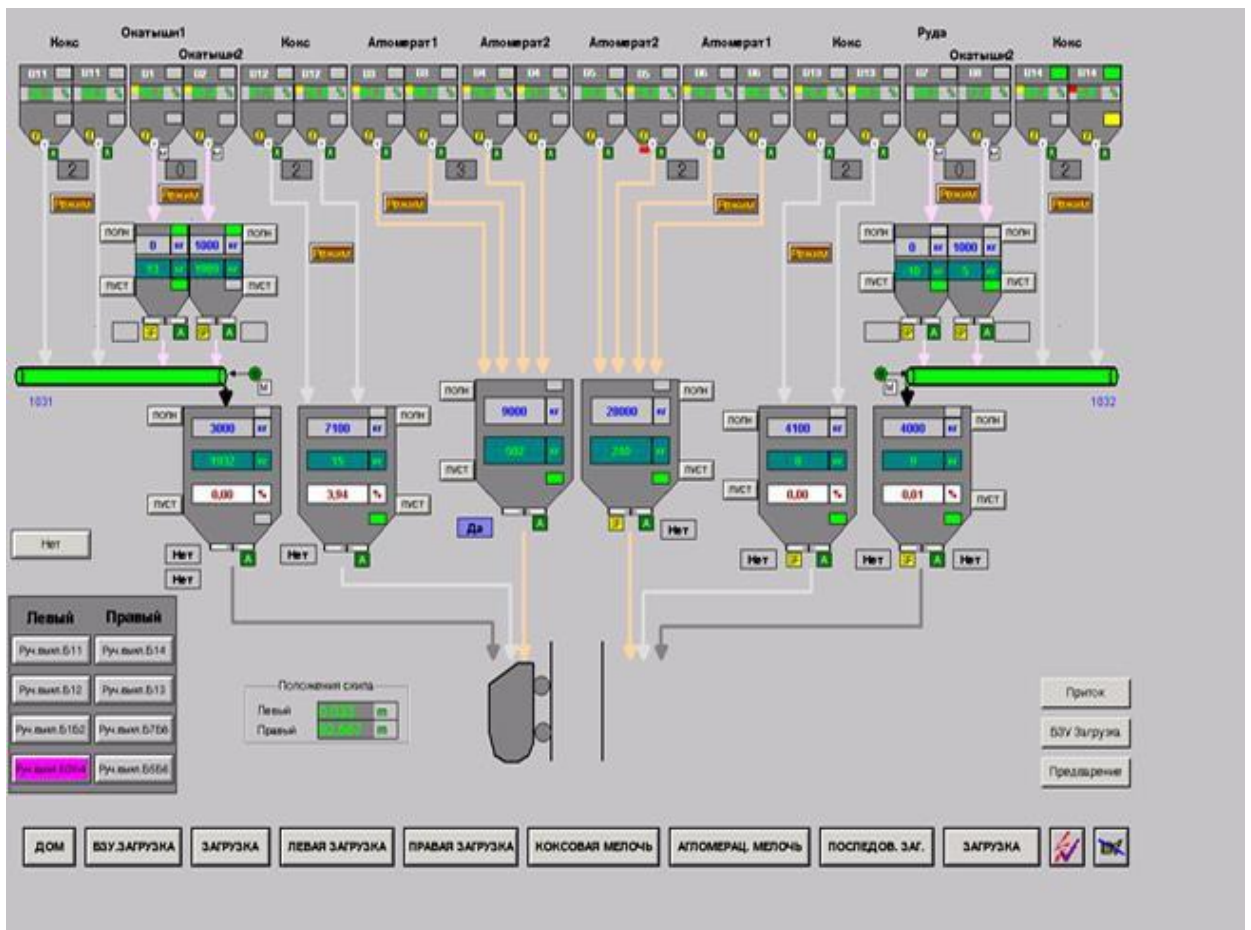


Рисунок 3.7 - Робоче вікно системи нижнього завантаження

Для регулювання рівня засипу матеріалу необхідно натиснути кнопку «Рівень засипу» і у вікні обрати «Загальний» або «Роздільний» рівень для різних подач (коксува, агломераційна або класична), які визначаються автоматично.

Якщо потрібно замовити додатковий скіп, слід натиснути кнопку «Додатковий скіп» і у вікні обрати тип матеріалу для додаткового завантаження. Після цього у вікні «Поточна подача» з'явиться напис "ТАК" для додаткового агломерату або "ДК" для додаткового коксу.

Для швидкого вимкнення механізму з роботи треба клацнути на його зображення, після чого у вікні, що з'явиться, натиснути кнопку «Виключити». Біля кнопки з'явиться індикатор, а на зображенні механізму з'явиться хрест, що сигналізує про його вимкнення.

Якщо необхідно здійснити тривале виключення механізму (із відключенням нульових або лінійних контакторів), виборець управління встановлюється в

положення «Відключено». Потім слід клацнути кнопку «Рестарт», щоб переконатися, що механізм або індикатор біля нього не підсвічується червоним. У разі виникнення несправностей інформація про це з'являється у верхній частині екрана або у вікні «Повідомлення». Для перегляду цих повідомлень потрібно клацнути по зображенню механізму і натиснути кнопку «Повідомлення» у вікні.

Для ввімкнення механізму потрібно натиснути на його зображення, а у вікні, що з'явиться, клацнути по кнопці «Включити». Після цього індикатор біля кнопки з'явиться, а хрест на зображенні механізму зникне, сигналізуючи про те, що механізм увімкнено.

3.5 Розробка програмного забезпечення системи автоматизації нижнього завантаження доменної печі

Процес керування та моніторинг завантаження доменної печі й дані, які потрібно отримати, потрібно використовувати за допомогою трьох персональних комп'ютерів. Один з них розміщений у кількох операторах шихтоподачі, а два інших – на робочих місцях управління. Керування системою можна здійснювати одночасно з одного комп'ютера, тільки тоді як спостереження за процесом можливо з усіх.

Керування полягає в тому, щоб за допомогою миші та клавіатури ввести на персональний комп'ютер (ПК) усі параметри, на основі яких система автоматично виконує завантаження доменної печі.

У нижній частині екрана ПК знаходиться основне меню, яке надає доступ до об'єктів введення та моніторингу. Це меню містить такі кнопки:

- 1) Домна
- 2) Завантаження
- 3) ВР
- 4) Цикли

- 5) Завдання весодозування
- 6) Програми
- 7) Графіки
- 8) Повідомлення
- 9) Юстування
- 10) Система

Перехід до вибраної форми, що відображає стан доменної печі, здійснюється шляхом наведення курсору на відповідну кнопку та натискання лівої кнопки миші.

У верхній частині екрану завжди відображається вікно, яке залишається видимим незалежно від обраної форми. У ньому розташовані наступні елементи:

1) Два рядки, де відображаються останні два повідомлення про аварії або попередження.

2) Кнопка «Очистити», яка використовується для видалення цих повідомлень.

3) Кнопка «Взяти керування», яка дозволяє перемикає керування між комп'ютерами.

4) Кнопка «Рестарт», призначена для скидання аварійного сигналу після усунення несправності.

5) Кнопка «Скидання дзвінка», яка відключає звукове попередження у разі затримки завантаження або виникнення аварійної ситуації. Час включення дзвінка відображається на кнопці.

6) Відображення поточного часу та дати у форматі годин, хвилин, секунд, а також дня, місяця та року.

Специфікації WinCC зображено на рис. 3.8, головне вікно рис. 3.9.

Програмне забезпечення для цієї системи розроблено на основі Simatic Step 7 від компанії Siemens, призначеного для створення автоматизованих систем керування з використанням програмованих логічних контролерів Simatic S7-1200. Ця програма підтримує кілька мов інтерфейсу, включаючи англійську, німецьку, французьку, італійську та іспанську.

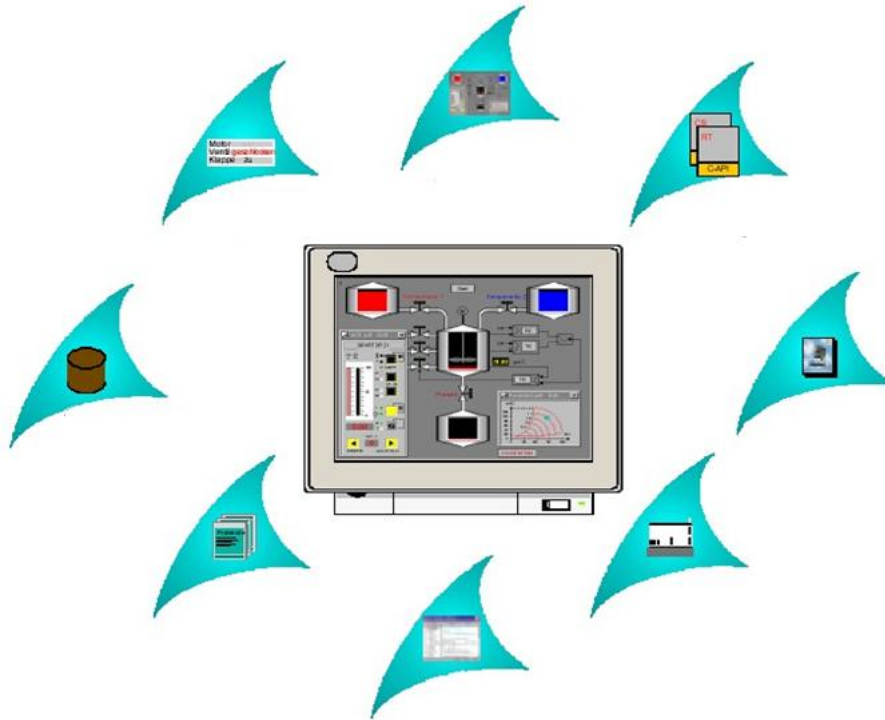


Рисунок 3.8 – Специфікації програми WinCC

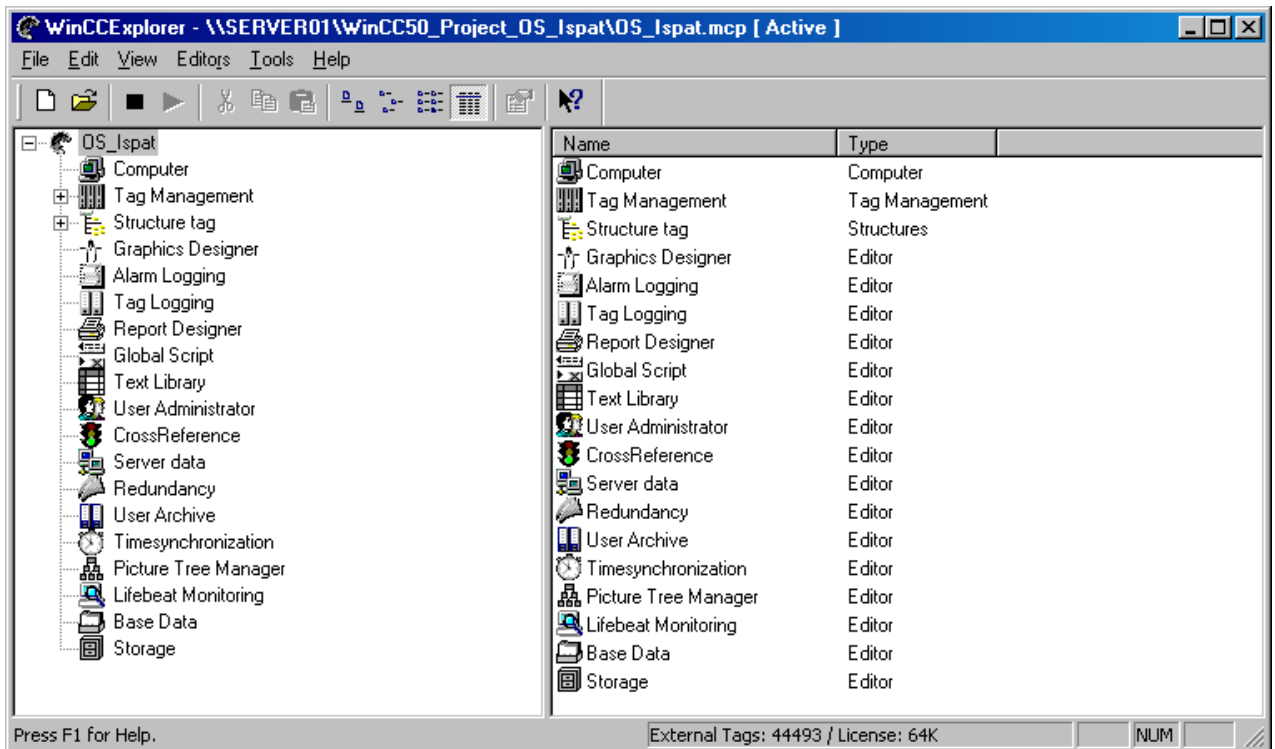


Рисунок 3.9 – Головне вікно WinCC

Таблиця 3.3 - Інтерфейс програми WinCC

<i>Редактори та інтерфейси WinCC</i>	<i>Завдання або функція, що проектується, етапу виконання</i>
WinCC Explorer (Провідник WinCC)	Централізоване управління проектом для швидкого доступу до всіх його даних та централізоване налаштування
Graphics Designer (Графічний дизайнер)	Графічна система управління створена для забезпечення максимальної гнучкості у формуванні процесів візуалізації.
Alarm Logging (Реєстрація аварійних повідомлень)	Система повідомлень для реєстрації та архівування подій з можливостями відображення та керування відповідно до DIN 19235; вільно вибираються класи повідомлень, відображення та протоколювання
Tag Logging (Реєстрація тегів)	Архівування значень змінних процесу для реєстрації, стиснення та збереження вимірних значень, наприклад, для подання у вигляді графіків та таблиць та подальшої обробки
Report Designer (Дизайнер звітів)	Система звітів для керованого часом або подіями документування повідомлень, керуючих впливів і поточних даних про процес у вигляді звітів користувача або проектної документації у вільно вибраному форматі
User Administrator (Адміністратор)	Інструмент для зручного керування користувачем та його повноваженнями
Редактори та інтерфейси WinCC WinCC Explorer (Провідник WinCC)	Функції обробки з безмежними можливостями за допомогою вбудованого компілятора ANSIC
Стандартні інтерфейси	Для відкритої інтеграції інших програм Windows (ODBC/SQL, ActiveX, OLE, DDE, OPC тощо)

<i>Редактори та інтерфейси WinCC</i>	<i>Завдання або функція, що проектується, етапу виконання</i>
Канали зв'язку	Для забезпечення ефективного обміну даними між основною системою та підлеглими засобами керування система підтримує різні протоколи, включаючи SIMATIC, Profibus DP, сервер DDE та OPC в обсязі постачання)
Інтерфейси для програмування	Для індивідуального доступу до даних та функцій WinCC (C-API) та для вбудовування у програми користувача

За допомогою Step 7 можна виконувати різноманітні завдання зі створення та підтримки автоматизованих систем. Програма дозволяє здійснювати конфігурування контролерів і мереж з використанням утиліт HWConfig і NetPro, що допомагають налаштувати обладнання, визначити його склад, підключення та необхідні параметри для модулів. Після завершення конфігурації система автоматично перевіряє правильність підключення компонентів і завантажує налаштування обладнання. Це дозволяє також діагностувати несправності або помилки в монтажі.

Програмування контролерів у Step 7 здійснюється за допомогою трьох основних мов:

- LAD - релейно-контактна логіка;
- FBD- функціональні блокові діаграми;
- STL - список інструкцій.

Крім основних, є чотири додаткові мови:

- SCL-структурована мова управління, схожа на Pascal;
- SFC - мова діаграм стану.

Для автоматизації роботи електроприводів конвеєрів, що входять до системи нижнього завантаження, було розроблено відповідні нетворки. Вони забезпечують керування асинхронними двигунами з частотними перетворювачами для конвеєрів, що транспортують добавки, агломерат і дозатори, тим самим спрощуючи процес завантаження матеріалів у систему. (Рис 3.10-3.15)

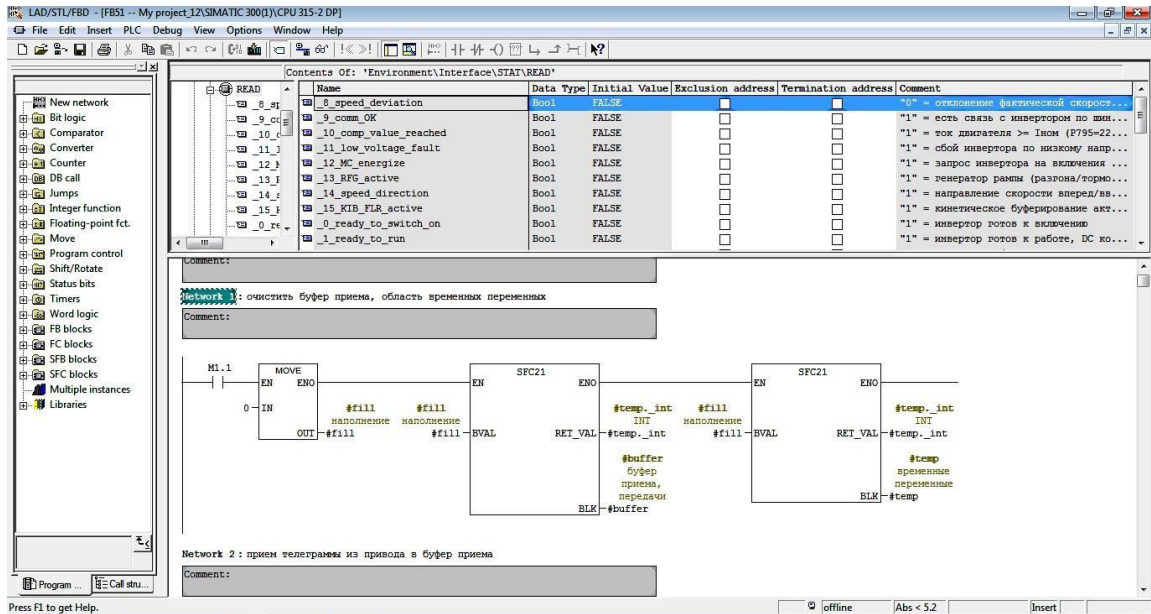


Рисунок 3.10 – Лістинг програми network 1

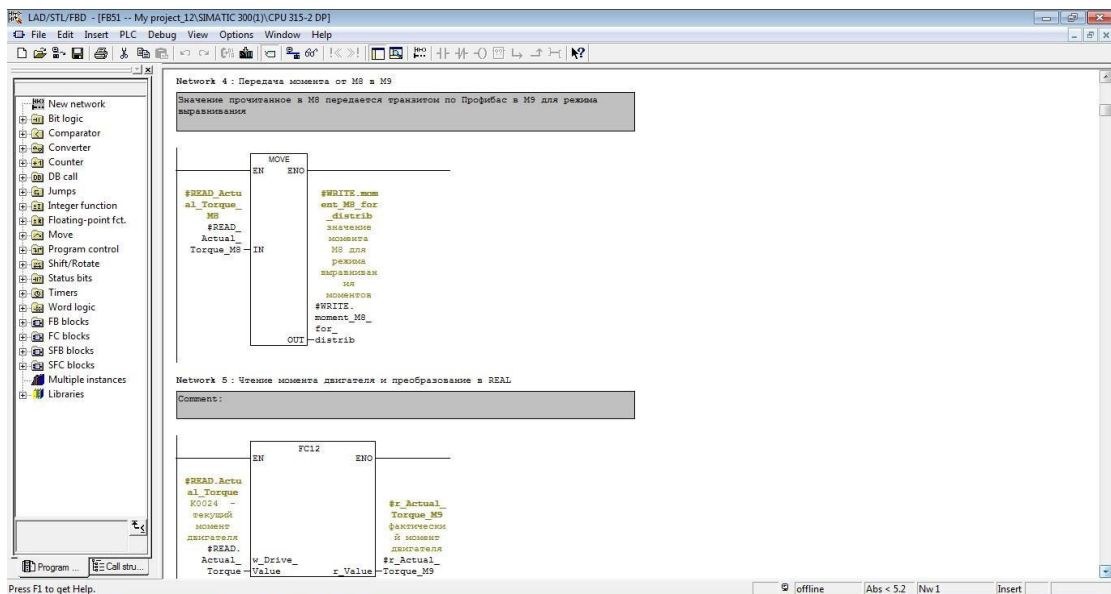


Рисунок 3.11 – Лістинг програми з передача моменту, читання моменту двигуна та перетворення на REAL

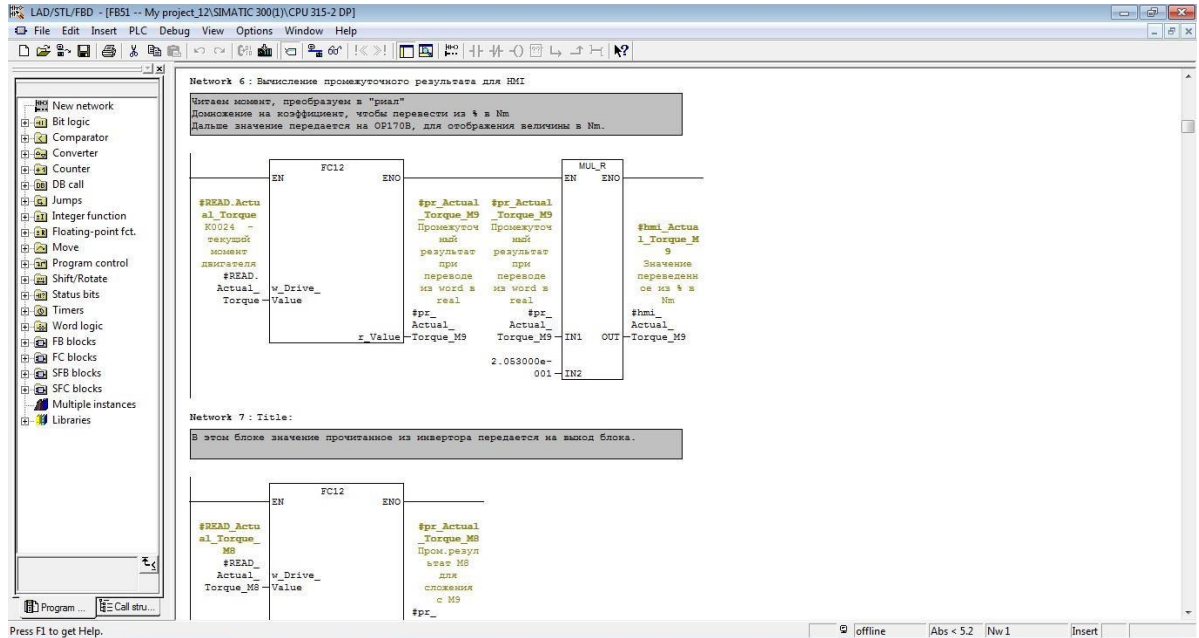


Рисунок 3.12 – Лістинг програми з обчислення проміжного результату НМІ, передача інформації на вихід блоку

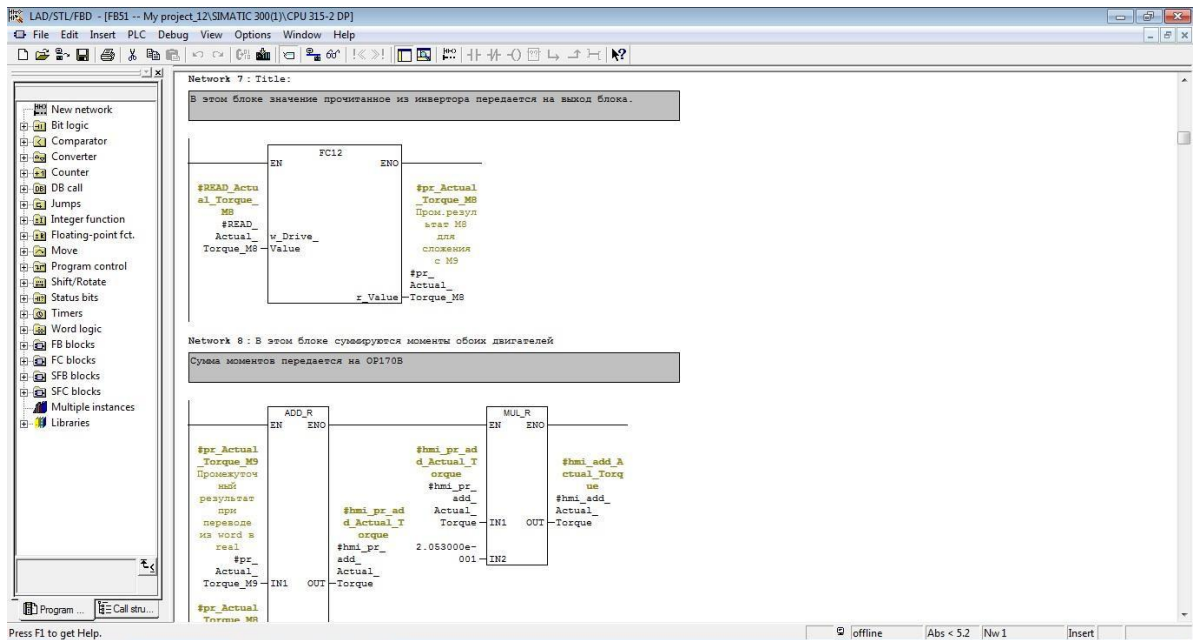


Рисунок 3.13 – Лістинг програми з обчислення суми моментів обох двигунів

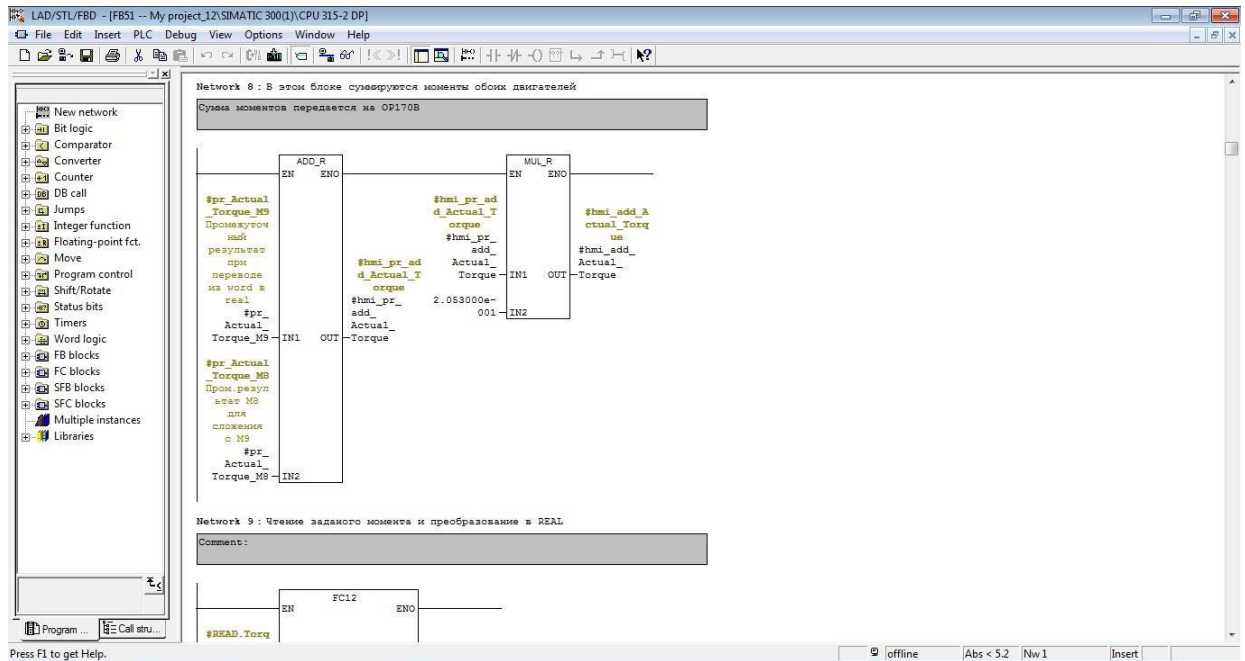


Рисунок 3.14 – Лістинг програми з передачі моментів на OP170B, читання заданого моменту та перетворення на REAL

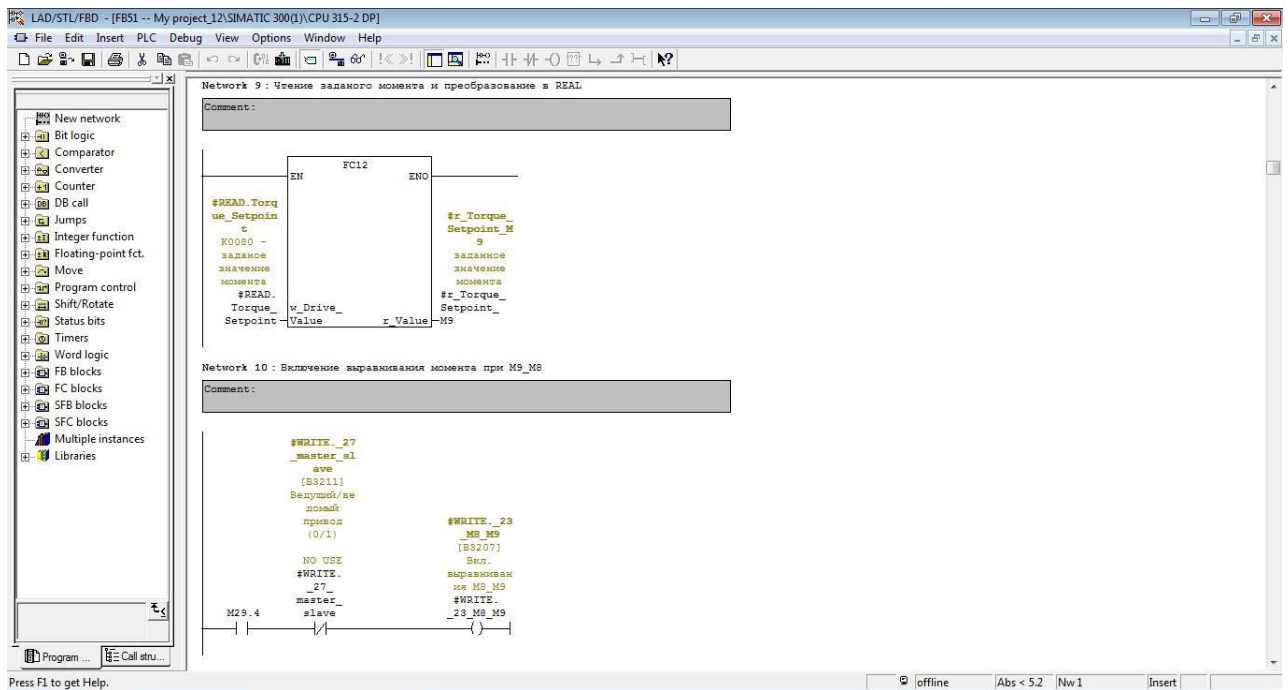


Рисунок 3.15 – Лістинг програми з включення вирівнювання моменту двигунів

Висновки до розділу

Розглянуто та проаналізовано функціональну схему системи автоматизації дозування та завантаження шихтових матеріалів доменної печі.

Виконано аналіз та вибір технічних засобів системи автоматизації.

Розроблено алгоритми роботи автоматизованої системи керування завантаженням доменної печі: алгоритм завантаження доменної печі шихтовими матеріалами, підпрограми для дозування агломерату, коксу та добавок, алгоритм управління підйомом скіпів.

Розроблено SCADA нижнього завантаження доменної печі. Для створення інтерфейсу управління нижнім завантаженням доменної печі рекомендовано використовувати систему WinCC.

Розроблено програмне забезпечення системи автоматизації нижнього завантаження доменної печі на основі Simatic Step 7 від компанії Siemens, призначеного для створення автоматизованих систем керування з використанням програмованих логічних контролерів Simatic S7-1200. Для автоматизації роботи електроприводів конвеєрів, що входять до системи нижнього завантаження, було розроблено відповідні нетворки, що призводить до спрощення процесу завантаження матеріалів у систему.

ВИСНОВКИ

Виконано аналіз характеристик технологічного процесу виробництва чавуну та устаткування доменної печі та технологічних процесів завантаження, дозування та шихтоподачі доменної печі.

Проведено огляд та аналіз існуючих систем керування завантаженням шихти у доменну піч. З'ясовано, що автоматична система може бути реалізована з підтримкою вагон-ваг або реалізована за допомогою стрічкових транспортерів з ваговими воронками. Аналіз техніко-економічних показників конвейерної системи подачі у порівнянні зі скіповою системою показав суттєві переваги першої.

Запропонована структурна схема управління процесом набору, зважування та завантаження матеріалів у доменну піч.

Автоматизація системи спрямована на підвищення ефективності всього технологічного процесу, що в кінцевому підсумку веде до кращих економічних результатів. Одним із ключових чинників підвищення загальної продуктивності системи завантаження доменної печі є здатність інтегрувати роботу різних механізмів в єдиний комплекс.

Розроблено структурну схему автоматизованої системи керування для моделювання процесів. Схема моделі була розроблена за допомогою програмного пакету Simulink у середовищі Matlab. Аналіз отриманих графіків показує, що результат був досягнутий завдяки введенню фільтра на вході системи, що дозволило стабілізувати роботу системи і забезпечити відсутність перерегулювань.

В пакеті Matlab виконано імітаційне моделювання системи автоматичного керування скіповою підйомною установкою для декількох ключових режимів роботи скіпового підйому. Графіки, отримані в результаті імітаційного моделювання, підтверджують, що розроблена модель відповідає вимогам, що пред'являються до скіпових підйомних установок для доменних печей.

Обґрунтовано використання нечітких експертних систем для автоматизації дозування шихтових матеріалів. Для оцінки ефективності нечітких адаптивних

методів налаштування в порівнянні з типовими формульними підходами було проведено моделювання за допомогою програми MatLab. Розроблено нечітку експертну систему дозатора сипучих матеріалів.

Розглянуто та проаналізовано функціональну схему системи автоматизації дозування та завантаження шихтових матеріалів доменної печі.

Виконано аналіз та вибір технічних засобів системи автоматизації.

Розроблено алгоритми роботи автоматизованої системи керування завантаженням доменної печі: алгоритм завантаження доменної печі шихтовими матеріалами, підпрограми для дозування агломерату, коксу та добавок, алгоритм управління підйомом скіпів.

Розроблено SCADA нижнього завантаження доменної печі. Для створення інтерфейсу управління нижнім завантаженням доменної печі рекомендовано використовувати систему WinCC.

Розроблено програмне забезпечення системи автоматизації нижнього завантаження доменної печі на основі Simatic Step 7 від компанії Siemens, призначеного для створення автоматизованих систем керування з використанням програмованих логічних контролерів Simatic S7-1200. Для автоматизації роботи електроприводів конвеєрів, що входять до системи нижнього завантаження, було розроблено відповідні нетворки, що призводить до спрощення процесу завантаження матеріалів у систему.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Пліскановський С.Т., Полтавець В.В. Обладнання та експлуатація доменних печей : підручник. Дніпропетровськ: Пороги, 2004. 496с
2. Доменна піч: що це таке і як вона працює. 2021. URL: https://metinvest-smc.com/ua/articles/domennaya-pech-hto-eto-takoe-i-kak-ona-rabotaet/?srsltid=AfmBOorwPYibSYBLoTDnsrtTV1q_gHL9NqQuHmOuFh-go9iBQLLKqZGf.
3. Бізнес-портал АТ "Українська гірничо-металургійна компанія". URL: <http://www.ugmk.info>
4. Cass R., Radl B. A neural network modeling and optimization system for online heat rate Improvement and NOX reduction of coal fired furnaces // Proc. World Congress on Neural Networks, 2. Washington, DC, July 1993. P. 656-659.
5. Jankowska A. Neural models of air pollutants emission in power units combustion processes // Symp. On Methods of Artificial Intelligence, Gliwice, Poland, Nov. 5-7. 2003. P. 141-144.
6. Monitoring and Control of Stoker-fired Boiler Plant using Neural Networks / UK Department of Trade and Industry, DTI PS. July 1999
7. Характеристика доменного цеху. URL: <http://www.arcelormittal.kz>
8. Характеристика контролера Simatic S7-300. URL: http://www.saa.su/Manual/Siemens/03_S7-300_p1.pdf
9. Товаровський І.Г. Доменна плавка. 2-ге видання. Дніпропетровськ: "Пороги", 2009.-768 с.
10. Андронов В.М. Екстракція чорних металів із природної та техногенної сировини. Доменний процес. Донецьк: Норд-Пресс, 2009. 377 с.
11. Бабарікіна Н.М. Теорія та технологія доменного процесу. 2009, 257 с.
12. Воскобойніков В.Г., Кудрмн В.А., Якушев А.М. Загальна металургія. 2005, 768 с.
13. Пліскановский С.Т., Полтавец В.В. Оборудование и эксплуатация доменных печей. Днепропетровск: Пороги. 2004. 495 с.

14. Левін М.З., Сєдуш В.Я. Механічне обладнання доменних цехів. Київ-Донецьк: Вища школа. 1978. 176 с.
15. Єфименко Г.Г., Гіммельфарб А.А., Левченко В.Є. Металургія чавуну. К.: Вища школа. Головне видавництво. 1988. 351 с.
16. Смоляк В.А., Гричановський О.В. Підсистема автоматизованого управління шихтовою та завантаженням (ПСАУШЗ) № 1 (18), 2008.
17. Смоляк В.А., Щербицький Б.В. Автоматизація та оптимізація процесу доменної плавки. 1974 С. 152.
18. Смоляк В.А., Щербицький Б.В. Досвід нейтронної вологометрії у чорній металургії. Атоміздат. 1974 С. 65.
19. Смоляк В.А., Логінов В.І. Автоматичне регулювання ходу доменної печі по перепадах тиску. Бюлетень ЦІІНЧМ 1960 С.4-7.
20. Леоненков А.Ю. Нечітке моделювання серед Matlab і fuzzyTech. 2003. 720 с.
21. Штовба С.Д. Проектування нечітких систем засобами MatLab. 288 с.
22. Рутковська Д., Пілінський М., Рутковський Л. Нейронні мережі, генетичні алгоритми та нечіткі системи. 2006. 452 с.
23. Дияконів В.П. Simulink 5/6/7 : підручник. 2008. 781 с.
24. Михайленко В.С., Харченко Р.Ю. Використання нечіткого алгоритму Такагі-Сугено в адаптивних системах керування складними об'єктами / *Штучний інтелект*. Одеса № 2. 2011. С. 53-59.
25. SIMATIC S7-1200 - - гнучке рішення Ваших завдань. URL: <https://www.siemens.com/ua/uk/produkty/avtomatyzatsiya-promyslovosti/systemy-avtomatyzatsiyi/systemy-promyslovoyi-avtomatyzatsiyi-simatic/plc-kontrolery-simatic/simatic-s7-1200.html>
26. SIEMENS посібник користувача. Посібник з експлуатації. 2013. 174с.
27. Паспорт. Посібник з експлуатації Siemens Simatic S7-1200, CPU1214C. 2011г. 420с.
28. Маринич І.А., Тронь В.В. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи магістра для студентів спеціальності 151 “Автоматизація та

комп'ютерно-інтегровані технології”». Кривий Ріг : Видавничий центр КНУ, 2022. 50 с.

29. ДСТУ 3008:2015. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. Київ, ДП «УкрННЦ», 2015. 26с. (Інформація та документація).

30. ДСТУ 8302:2015. Бібліографічне посилання. Загальні вимоги та правила складання Київ, ДП «УкрННЦ», 2016. 16 с. (Інформація та документація).

31. ДСТУ 3582:2013. Бібліографічний опис. Скорочення слів і словосполучень в українській мові. Загальні вимоги та правила. Київ, ДП «УкрННЦ», 2013. 23 с. (Інформація та документація).

32. ДСТУ 3651.0-97 Метрологія. Одиниці фізичних величин. Основні одиниці фізичних величин Міжнародної системи одиниць. Основні положення, назви та позначення Київ, Держстандарт України, 1998. 27 с. (Інформація та документація).