

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти – магістр
за освітньо-професійною програмою
«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

зі спеціальності
151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Тема роботи:

*«Автоматизація процесу підготовки компонентів шихти на фабриці
огрудкування з розробкою підсистеми візуалізації»*

Виконав студент гр. АКІТР-23-1м	_____	Ткач В. В.
Керівник	_____	Жосан А. А.
Нормоконтроль	_____	Маринич І. А.
Завідувач кафедри	_____	Рубан С. А.

Кривий Ріг – 2024

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.

« 5 » липня 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістра

студентові групи АКІТР-23-2м Ткачу Володимиру Володимировичу

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Автоматизація процесу підготовки компонентів шихти на фабриці огрудкування з розробкою підсистеми візуалізації»

затверджено наказом по університету № 595с від 04.07.2024 р.

2. Термін здачі кваліфікаційної роботи: 01.12.2024 р.

3. Склад кваліфікаційної роботи: Пояснювальна записка обсягом 95с., додатки, презентація у Microsoft PowerPoint (15 слайдів) в електронному та друкованому вигляді

4. Консультанти кваліфікаційної роботи:

Розділ 1-3

доц. Жосан А. А.

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>01.12.23</i>

6. Дата видачі завдання: 28.06.2024р.

Керівник _____ /Жосан А. А./

7. Запевнення: Я, Ткач Володимир Володимирович, 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 ознайомлений.

Чітко усвідомлюю, що в разі виявлення у кваліфікаційній роботі умисних порушень робота не допускається до захисту або оцінюється незадовільно.

Здобувач _____ /Ткач В. В./

АНОТАЦІЯ

Ткач В. В. *«Автоматизація процесу підготовки компонентів шихти на фабриці огрудкування з розробкою підсистеми візуалізації»*.

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 технологічний процес підготовки компонентів шихти.

Метою роботи є автоматизація керування технологічним процесом підготовки компонентів шихти на фабриці огрудкування з розробкою підсистеми візуалізації.

У першому розділі виконано аналіз технологічного процесу підготовки компонентів шихти та виявлено недоліки існуючої системи керування. На основі результатів аналізу сформульовано технічні вимоги до автоматизованої системи керування процесом.

У другому розділі виконано математичний опис розробленої системи автоматичного керування дозаторами компонентів шихти, що забезпечує мінімізацію відхилення співвідношення витрат компонентів від заданого значення. Виконана оцінка якості отриманої системи та її моделювання.

У третьому розділі обґрунтовано та обрано комплекс технічних засобів для модернізації існуючої системи підготовки компонентів шихти. Розроблена підсистема візуалізації процесу.

Ключові слова:

АВТОМАТИЗАЦІЯ, АГЛОФАБРИКА, ДОЗАТОР, ДОЗУВАННЯ ШИХТОВИХ МАТЕРІАЛІВ, ЖИВИЛЬНИК, МОДЕЛЮВАННЯ, СИСТЕМА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ, ШИХТА

ANNOTATION

Tkach V. V. «Automation of the process for preparing charge components at a pelletizing plant with the development of a visualization subsystem».

Graduation master`s work for obtaining an educational degree «Master» for the educational and professional program «Cyber-physical systems in industry, business and transport» in specialty 174 – «Automation, computer-integrated technologies, and robotics». – Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, 2024

The object of the research is the technological process of preparing charge components.

The aim of the work is to automate the control of the technological process for preparing charge components at a pelletizing plant with the development of a visualization subsystem.

The first section analyzes the technological process of preparing charge components and identifies the shortcomings of the existing control system. Based on the results of the analysis, the technical requirements for the automated process control system are formulated.

The second section of the paper is the mathematical description of the developed system of automatic control of batchers of components of charge that provides minimization of a deviation of a ratio of expenses of components from the set value is executed. The evaluation of the quality of the obtained system and its modeling is performed.

The third section substantiates and selects a set of technical tools for modernizing the existing system for preparing charge components. A visualization subsystem for the process has been developed.

Keywords:

AUTOMATION, SUPPLY FACTORY, DISPENSER, DOSING OF BATCH MATERIALS, FEEDER, MODELING, VISUALIZATION SYSTEM, BATCH

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ	9
1.1 Опис технологічного процесу в умовах фабрики огрудкування.....	9
1.2 Структура існуючої АСУ відділення підготовки компонентів шихти	15
1.3 Огляд та аналіз існуючих САК підготовки компонентів шихти.....	16
1.4 Обґрунтування модернізації системи автоматизації дільниці підготовки компонентів шихти.....	23
1.5 Вимоги до АСК процесом підготовки компонентів шихти	26
1.5.1 Вимоги до системи в цілому.....	26
1.5.2 Вимоги до функціонування та структури системи.....	27
Висновки за розділом.....	28
РОЗДІЛ 2. МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС ТА РОЗРОБКА СТРУКТУРИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ПІДГОТОВКИ КОМПОНЕНТІВ ШИХТИ.....	30
2.1 Обґрунтування структури системи підготовки компонентів шихти.....	30
2.2 Математичне забезпечення дільниці підготовки компонентів шихти.....	32
2.3 Розробка систем управління дозаторами різних компонентів шихти.....	34
2.3.1 Дозування аглоруди.....	36
2.3.2 Дозування вапняку.....	39
2.3.3 Дозування коксу.....	44
2.4 Синтез САК процесу підготовки компонентів шихти.....	49
2.5 Імітаційне моделювання автоматичної системи дозування компонентів шихти.....	50

Висновки за розділом.....	64
РОЗДІЛ 3. РЕАЛІЗАЦІЯ ПІДСИСТЕМИ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ПІДГОТОВКИ КОМПОНЕНТІВ ШИХТИ.....	66
3.1 Програмна реалізація підсистеми візуалізації процесу підготовки компонентів шихти	66
Висновки за розділом.....	77
ВИСНОВКИ.....	79
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	81

ВСТУП

Дільниця підготовки-дозування компонентів шихти на фабриці огрудкування призначена для підготовки суміші з концентрату, аглоруди, бентоніту й вапняку, її якісного змішування та транспортування на етап огрудкування. Для досягнення високої якості агломерату важливо забезпечити стабільність заданого процентного співвідношення її компонентів. У технологічному процесі дозування задіяно до 5 дискових дозаторів концентрату, 2 дискові дозатори аглоруди, а також по 2 стрічкових дозатори коксу та вапняку на кожну лінію. Щоб мінімізувати відхилення у співвідношенні віддозованих матеріалів, необхідно забезпечити ефективне управління всім технологічним обладнанням. Досягти цього можливо шляхом розробок та впроваджень автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУ ТП) підготовки компонентів шихти.

Актуальність теми. Використання сучасних засобів автоматизації, таких як індустріальні комп'ютери, промислові контролери, апаратура введення-виведення, прилади контролю, частотні перетворювачі та засоби людино-машинного інтерфейсу, у поєднанні з програмним забезпеченням автоматизованих систем, значно підвищує ефективність і надійність роботи систем підготовки компонентів шихти. Таким чином, завданням кваліфікаційної роботи є не лише вибір і технічне обґрунтування комплексу обладнання, але й розробка підсистеми візуалізації на основі сучасної SCADA-системи.

Впровадження запропонованих рішень дасть змогу створити сучасну, ефективну й надійну АСУТП, яка повною мірою відповідатиме вимогам, висунутим до систем підготовки компонентів шихти на фабриці огрудкування.

Отже, розробка системи підготовки компонентів шихти є актуальним прикладним завданням, що сприяє стабілізації роботи фабрики огрудкування, підвищенню якості кінцевої продукції та вдосконаленню обслуговування обладнання.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є автоматизація управління технологічним процесом підготовки компонентів шихти на фабриці огрудкування з розробкою підсистеми візуалізації, а об'єктом дослідження виступає безпосередньо сам технологічний процес підготовки компонентів шихти.

Тому завданням даної роботи є автоматизація процесу підготовки компонентів шихти та їх дозування з розробкою підсистеми візуалізації.

Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити такі основні завдання:

- провести аналіз технологічного процесу;
- обґрунтувати структуру САК дозаторами для компонентів шихти;
- здійснити аналітичне дослідження складових та системи управління в цілому;
- виконати налаштування регуляторів для досягнення встановлених показників якості;
- провести моделювання розробленої системи та аргументувати її адекватність і ефективність.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

1.1 Опис технологічного процесу в умовах фабрики огрудкування

Агломераційний процес передбачає підготовку сировини для доменного виробництва шляхом спікання суміші залізородного концентрату, аглоруд, а також залізовмісних відходів агломерації та металургії із визначеною кількістю вапняку, використовуючи тверде та газоподібне паливо.

Для прикладу розглянемо структуру агломераційного цеху Південного ГЗК: він включає дві агломераційні фабрики, розташовані симетрично відносно шихтового відділення.

Найважливішими етапами технологічної схеми (див. рисунки 1.1, 1.2) вважаються [1, 2]:

- дозування компонентів;
- підготовка компонентів шихти;
- підігрів шихти;
- згрудкування та усереднення шихти;
- дроблення агломерату;
- організація завантаження на агломераційні машини;
- очищення та відсмоктування відхідних газів.

Сировина для виготовлення агломерату, що доставляється до цеху вагонами, розвантажується у відповідних складах II та III районів, де формуються додаткові запаси сировинних матеріалів.

На рисунку 1.1 видно, що фабрика складається з 16 прийомних бункерів, які розташовані у два ряди [5]. Загальна місткість бункерів дає змогу прийняти повний маршрут аглоруди, одночасно потребуючи рівномірного подавання сировини з дотриманням сталих часових інтервалів.

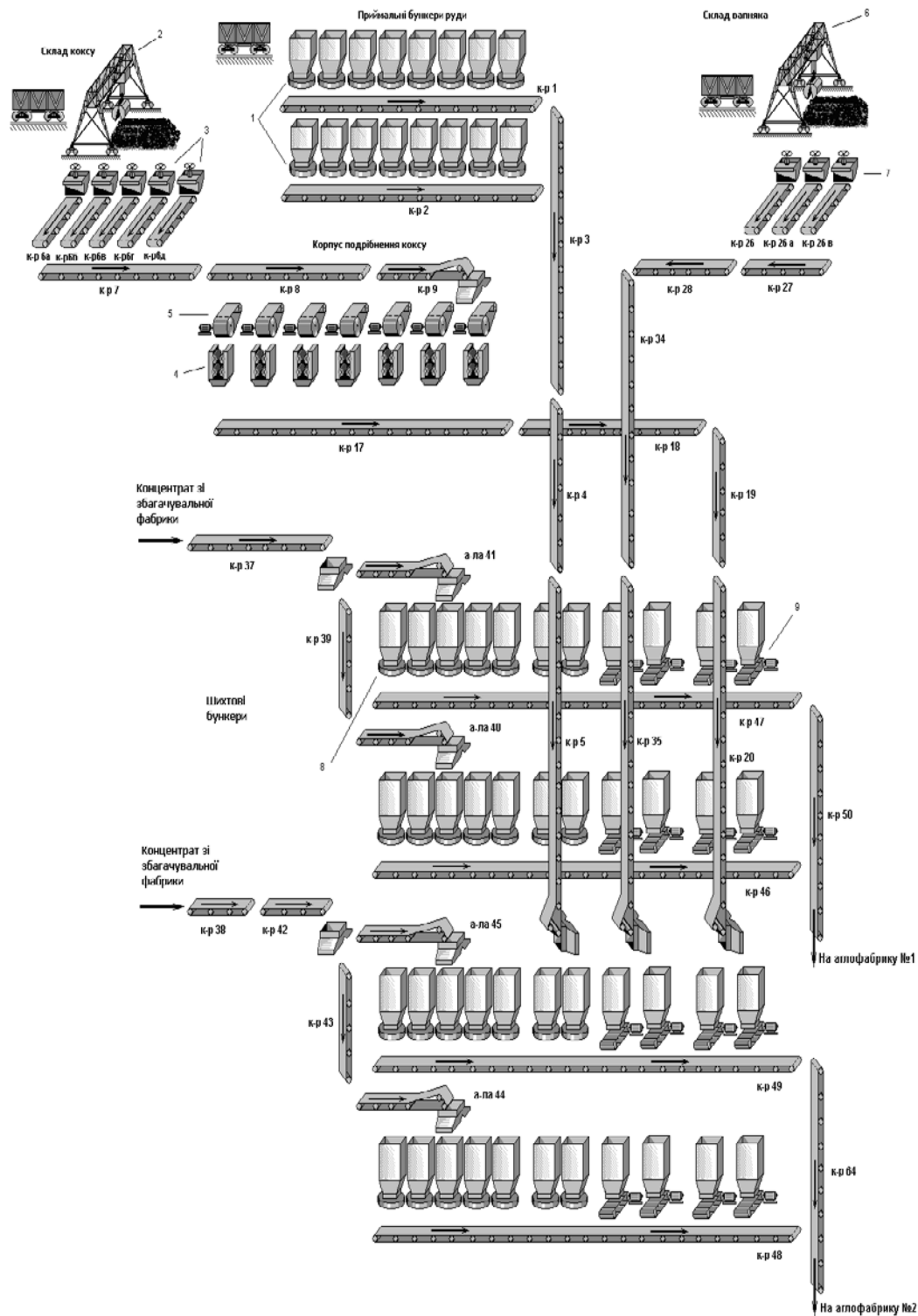


Рисунок 1.1 – Схема шихтового відділення агломераційного цеху ПАТ «Південний ГЗК»

Склади вапняку та палива, кожен із місткістю близько 20 тис. тонн, обладнані розвантажувальними естакадами. Постачання цих матеріалів на

комбінат здійснюється виключно в люкових піввагонах або хоперних вагонах. На складі вапняку встановлено чотири мостові крани (поз. 6): три з грейферами та один із вібромашиною для осипання матеріалів під час розвантаження піввагонів (хоперів). Склад палива оснащено двома мостовими кранами (поз. 2).

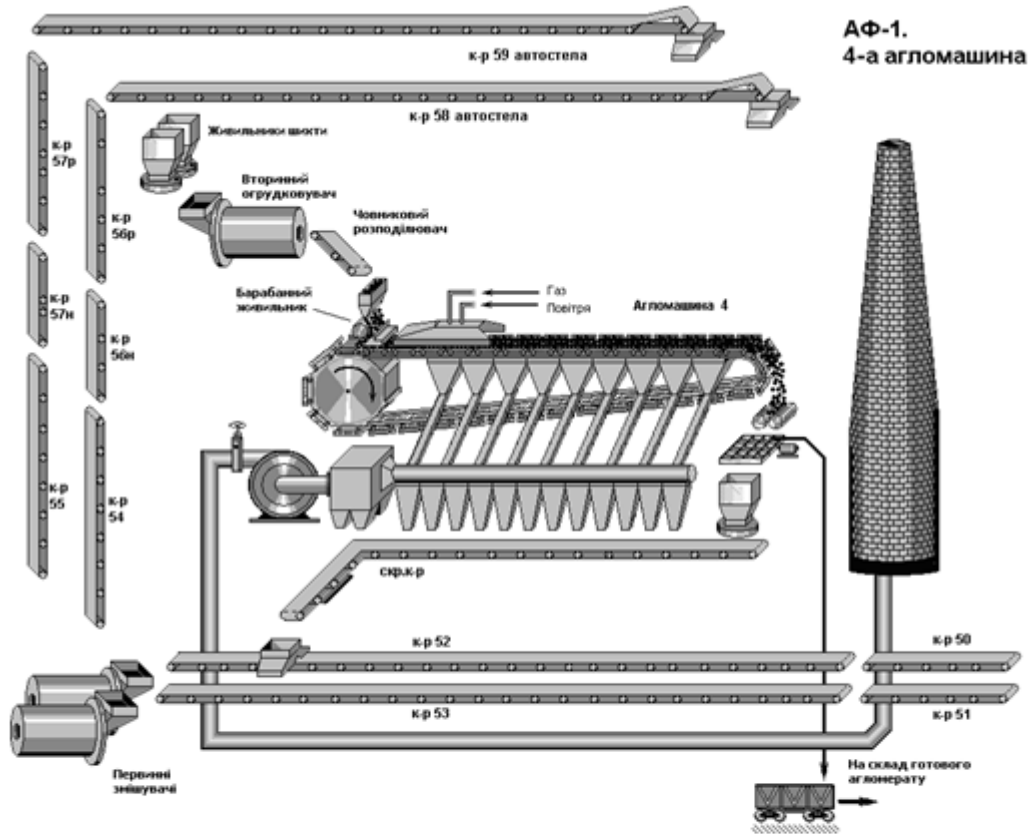


Рисунок 1.2 – Схема завантаження агломераційної машини №4 в умовах аглофабрики ПАТ «Південний ГЗК»

Аглоруда розвантажується у прийомні бункери руди, потім за допомогою конвеєрів подається до шихтових відділень. Тверде паливо та вапняк розвантажуються на транзитні склади місткістю близько 20 тис. тонн кожен, що вимагає рівномірного постачання сировини. Забір твердого палива і вапняку виконується за допомогою мостових кранів через живильники (поз. 3, 7).

Подачу сировинних матеріалів у бункери відділення підготовки шихти здійснюють за допомогою стрічкових конвеєрних ліній.

Аглоруда та вапняк надходять до шихти без допоміжного подрібнення. Тверде паливо, попередньо змішане на складі у заданій пропорції, спрямовується

до дробильного відділення, де подрібнюється у семи чотиривалькових коксових дробарках (поз. 4).

Залізорудний концентрат поступає до шихтових відділень із РЗФ. Загалом у шихтових відділеннях розміщено 44 бункери, які рівномірно розподілені на чотири потоки. Кожне випалювальне відділення забезпечується шихтою за допомогою двох потоків. В кожному потоці передбачено п'ять бункерів для концентрату та по два бункери для вапняку, аглоруди й твердого палива. Для забезпечення рівномірного виходу матеріалів з бункерів, останні обладнано вібраторами. Завантаження бункерів здійснюється в автоматичному режимі, що гарантує стабільну якість шихти.

Дозування концентрату та аглоруди виконується за допомогою тарілчастих живильників (поз. 8), а твердого палива й вапняку – стрічковими дозаторами (поз. 9) у повністю автоматичному режимі. Основна мета дозування полягає в отриманні агломерату з постійними фізико-хімічними властивостями. Точність процесу забезпечується ваговимірвальним обладнанням, яке контролює точність подавання компонентів шихти.

Загальна витрата шихти повинна чітко відповідати реальній продуктивності агломашин. Будь-яке відхилення - надмір або нестача сировини - порушує належний хід процесу спікання.

На фабриках передбачено два паралельні потоки подачі шихти: парний і непарний. Зазвичай використовується лише один із них. Із шихтового відділення шихта транспортується конвеєрами №№46-47 (для першої фабрики) і №№48-49 (для другої фабрики) до конвеєрів №№50-51 (першої фабрика) та №№64-65 (другої фабрика), а далі – на конвеєри №№52-53 (першої фабрики) та №№66-67 (другої фабрики). На цих етапах до шихти додається продукт грохочення подрібненого спека.

Технологічною схемою агломераційного цеха передбачається використання гарячого повернення для підготовки шихти з метою інтенсифікації процесу спікання.

Складність процесу полягає у високій температурі повернення (≈ 600 °C), яке при контакті з гумовою конвеєрною стрічкою може спричинити займання. Тому вкрай важливо підтримувати на стрічці постійний захисний шар шихти, що забезпечується за рахунок ефективної роботи засобів автоматики та кваліфікованої діяльності персоналу.

Шихта, до якої додано повернення, надходить у барабанний змішувач для первинного перемішування. На цьому етапі відбувається не лише рівномірний розподіл шихтових матеріалів, але й ефективно перенесення тепла гарячого повернення в обсяг шихти з одночасним частковим зволоженням. Кількість води для зволоження визначається візуально, орієнтуючись на досягнення оптимальної сипучості шихти.

З барабанного змішувача первинного перемішування шихта прямує до конвеєрів №№54-57 (першої фабрики) та №62, №№69-71 (другої фабрики). Далі вона подається до конвеєрів №№58-59 (першої фабрики) та №№72-73 (другої фабрики), які обладнані автостелами. Завдяки використанню автостел шихта дозується рівномірно між усіма бункерами, а її кількість відповідає продуктивності агломашин.

Протягом зміни стінки бункерів регулярно очищують від шихти, що налипла за допомогою пневмообвалення. Після цього шихта надходить у п'ять барабанних змішувачів вторинного змішування. На цьому етапі здійснюється остаточне згрудкування та зволоження шихти. Воду подають у вигляді дрібнодисперсного розпилу, а регулювання вологості відбувається в напівавтоматичному режимі з подальшим ручним коригуванням до оптимального рівня залежно від фракційного складу шихти. Зменшення крупності компонентів вимагає підвищеної вологості, а збільшення – зниженої. Водночас як надмірна, так і недостатня вологість негативно впливають на газопроникність, температуру в робочій зоні та продуктивність агломашин.

Спікання підготовленої шихти є ключовим етапом технологічного процесу одержання агломерату. Воно відбувається на колосникових ґратах агломераційної машини, де через шар шихти пропускається повітря. При цьому

висока температура, що виникає внаслідок горіння вуглецю в шарі шихти та регенерації тепла верхніх шарів агломерату, забезпечує інтенсивний перебіг процесу спікання.

Запалювання шихти здійснюється за допомогою газового горна з торцевим розташуванням пальників. Як паливо використовують суміш коксового, доменного й природного газів із калорійністю близько 3000 ккал/м³. Оптимальна температура згоряння цих газів в зоні запалювання над поверхнею шару становить 1050–1200 °С.

Продукти згоряння відводяться в колектори, де технологічний газ очищується від твердих домішок. Грубі частинки осідають у пилових мішках, а дрібний пил затримується батарейним циклоном із 486 елементів. Їх розвантаження здійснюється безперервно за допомогою водяного затвору скребкового конвеєра, а на двох агломашинах фабрики періодично на пиловий конвеєр. Циклони батарей обладнано системою безперервного гідрозмиву пилу. Відфільтровані шлами газоочищення спрямовуються на шламокарти для зневоднення та подальшої утилізації.

1.2 Структура існуючої АСУ відділення підготовки компонентів шихти

Структуру технічних засобів, з яких складається існуюча АСК технологічного процесу підготовки компонентів шихти можна представити наступним чином (дивись рисунок 1.3).

Представлена структурна схема відображає взаємодію основних технічних засобів автоматизованої системи керування технологічним процесом (АСК ТП) дільниці підготовки шихти. У центрі знаходиться програмований логічний контролер (ПЛК), який виступає як «мозок» системи, обробляючи інформацію від усіх підключених пристроїв та формуючи керуючі дії.



Рисунок 1.3 – Структурна схема комплексу технічних засобів АСК ТП дільниці підготовки шихти

До ПЛК під'єднуються такі основні компоненти:

- *Дозатори:* Вони забезпечують точне дозування компонентів шихти (концентрату, аглоруди, вапняку, палива тощо). ПЛК контролює їх роботу за показниками масового витратоміра чи інших сенсорів, забезпечуючи стабільний склад суміші.
- *Вагові конвеєри:* Ці пристрої дозволяють постійно контролювати масову витрату матеріалів на конвеєрній стрічці. Інформація з вагових конвеєрів надходить до ПЛК, де вона аналізується для регулювання кількості поданого матеріалу, підтримуючи необхідні пропорції шихти.
- *Перетворювачі частоти (ПЧ):* Ці пристрої керують швидкістю електродвигунів дозаторів, конвеєрів та іншого приводного обладнання. ПЛК, отримуючи сигнали про фактичний стан процесу, задає частоту (швидкість) для забезпечення оптимальних робочих режимів та стабільності дозування.
- *Датчики (кінцеві вимикачі, рівнеміри та інші сенсори):* Вони забезпечують ПЛК актуальною інформацією про стан обладнання, наявність або рівень матеріалу, положення механізмів тощо. Контролер, отримуючи дані від датчиків, приймає рішення про вмикання, вимикання чи регулювання окремих виконавчих механізмів.

Загалом така структура дозволяє ПЛК централізовано керувати всім обладнанням дільниці, оперативно реагувати на зміни технологічної ситуації та

забезпечувати необхідну точність дозування, стабільний склад шихти та оптимальний перебіг технологічного процесу.

1.3 Огляд та аналіз існуючих САК підготовки компонентів шихти

Структура системи автоматичного дозування може істотно відрізнятися залежно від технологічної схеми, застосованого обладнання, властивостей дозованих матеріалів і вимог до точності та стабільності процесу. В одних випадках дозування компонентів шихти виконується за допомогою окремих дозаторів, що працюють автономно, без взаємозв'язку. Необхідне співвідношення компонентів у такій конфігурації досягається шляхом індивідуального налаштування продуктивності кожного дозатора.

Водночас у практиці часто застосовують схеми, де дозатори пов'язані між собою. Подібні рішення дозволяють автоматизовано підтримувати задані пропорції компонентів шихти та оперативно реагувати на зміни технологічних параметрів, підвищуючи ефективність та стабільність усього процесу [2].

Схема (рисунок 1.4) ілюструє принцип роботи автоматизованої системи дозування з одним (індивідуальним) дозатором. Нижче наведено її основні елементи та функціональність:

- *Задання витрати (Q_z)* – це вхідний сигнал, який визначає необхідну продуктивність подачі певного компоненту шихти. Він задається оператором чи системою верхнього рівня та слугує цільовим параметром.
- *Суматор* – виконує порівняння між заданою витратою (Q_z) та фактичною витратою (Q) матеріалу, що надходить з дозатора. Результатом такого порівняння є сигнал відхилення, який свідчить про різницю між бажаним і реальним значеннями витрати.
- *Регулятор (P)* – отримує сигнал відхилення та формує управляючий вплив, спрямований на досягнення необхідної витрати. Регулятор може бути пропорційним або мати більш складний алгоритм керування, що дозволяє точніше підтримувати задане значення витрати.

– *Елеватор/Ваговий живильник (ЕВЖ)* – це основний технологічний механізм, який фактично здійснює подачу матеріалу. Він може бути виконаний у вигляді стрічкового вагового дозатора чи іншого типу живильника, що вимірює масову витрату на стрічці. Регулятор, змінюючи швидкість стрічки або інші параметри живильника, забезпечує точне дозування.

– *Вагова Вставка (ВВ)* – вмонтована в конвеєрну стрічку вагова секція або ваговий вузол, який безперервно вимірює поточну витрату матеріалу (Q). Цей вимірюваний сигнал повертається в систему керування, замикаючи контур зворотного зв'язку.

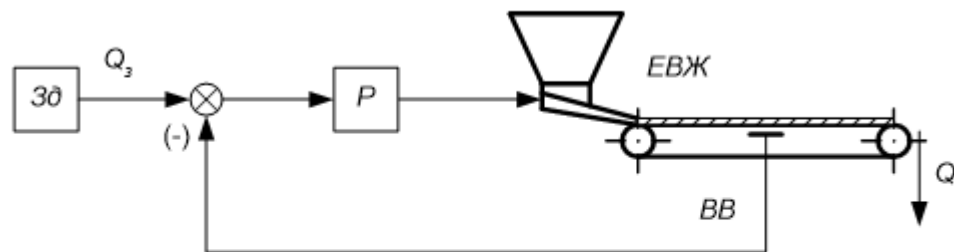


Рисунок 1.4 – Структурна схема системи автоматичного дозування з індивідуальним дозатором

Отже, принцип роботи такої схеми полягає у формуванні управляючої дії на дозатор (стрічку, живильник чи інший механізм) з метою забезпечення заданої продуктивності: якщо фактична витрата відрізняється від заданої, регулятор коригує параметри роботи дозатора, поки похибка не буде зведена до мінімуму. Така замкнена система дозволяє автоматично підтримувати сталий процес дозування відповідно до встановлених цільових показників.

Представлена структурна схема (рисунок 1.5) зображує роботу системи автоматизованого дозування з так званим «груповим дозатором». На відміну від індивідуального дозатора, де кожен компонент подається окремим механізмом, тут один конвеєр виконує роль спільного дозуючого тракту для декількох компонентів шихти. Кожен компонент подається до загального транспортера з власного живильника (ТЖ), а загальна витрата контролюється регулятором.

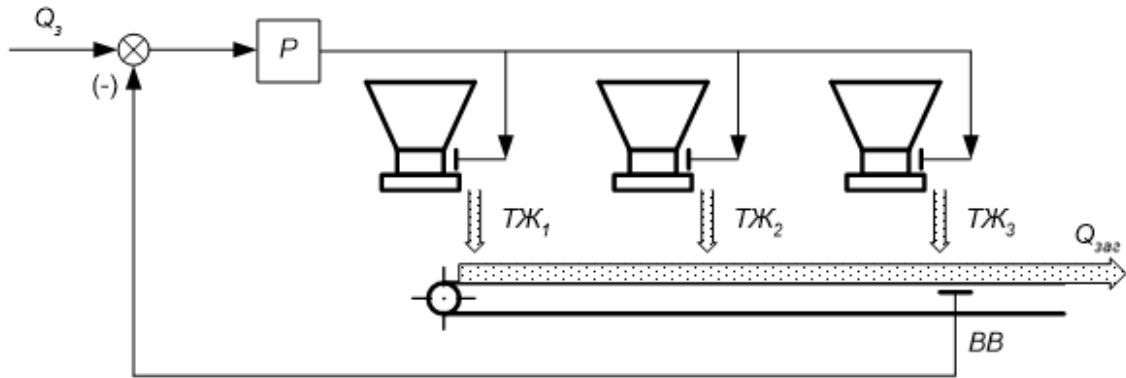


Рисунок 1.5 – Структурна схема системи автоматичного дозування з груповим дозатором

Основні елементи та принцип дії такої системи:

- *Задання витрати (Q_3):* Це встановлене цільове значення сумарної продуктивності всіх компонентів разом. Оператор або система верхнього рівня задає необхідну продуктивність, яку потрібно забезпечити в цілому для шихти.
- *Суматор:* Він порівнює фактичну сумарну витрату матеріалу, що транспортується конвеєром ($Q_{заг}$), із заданою (Q_3). Результатом порівняння є сигнал відхилення, що вказує, наскільки реальний потік матеріалу відрізняється від бажаного.
- *Регулятор (P):* На основі сигналу відхилення регулятор формує управляючий вплив на виконавчі механізми системи. В даному випадку це може бути регулювання швидкості конвеєрної стрічки, а також подача сигналів до живильників окремих компонентів для збільшення чи зменшення їхньої частки у загальному потоці.
- *Групові живильники ($TЖ_1, TЖ_2, TЖ_3$):* Кожен із них подає свій матеріал (концентрат, аглоруду, вапняк, паливо тощо) на загальний конвеєр. Ці живильники не мають власного повного контуру регулювання, а налаштовуються так, щоб сумарний потік усіх компонентів відповідав заданому. Таким чином, регулятор може шляхом корекції подачі окремих ТЖ досягати необхідного сумарного складу та витрати.

– *Вагова вставка (ВВ):* Це ваговий вузол на конвеєрі, який вимірює сумарну витрату всіх компонентів, що рухаються по стрічці. Значення із вагової вставки повертається в контур керування, утворюючи замкнуту систему зворотного зв'язку.

У підсумку, така схема дозволяє централізовано керувати загальним потоком суміші декількох компонентів. Регулятор постійно порівнює задане значення сумарної витрати з фактичною, і при виявленні відхилень вживає заходів для їх усунення, коригуючи подачу окремих компонентів чи швидкість конвеєра. Це забезпечує стабільний склад і задану продуктивність загальної шихти без необхідності мати індивідуальні замкнені контури для кожного з компонентів.

Ця структурна схема (рисунок 1.6) ілюструє принцип роботи автоматизованої системи дозування, де кілька дозаторів з'єднані послідовно один за одним. Завдяки такому підходу забезпечується можливість формування необхідного сумарного потоку матеріалу, покроково регулюючи внесок кожного дозатора.

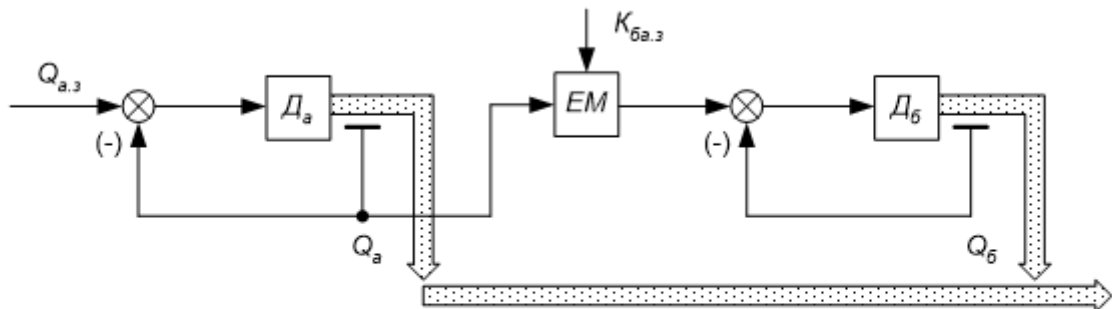


Рисунок 1.6 – Структурна схема системи автоматичного дозування з послідовним з'єднанням дозаторів

– *Задані витрати (Q_a та Q_b):* другий дозатор має компенсувати різницю між тим, що фактично дозує перший, та загальною цільовою витратою.

– *Два дозатори (D_a та D_b):* перший дозатор керує подачею свого компонента так, щоб підтримувати витрату Q_a рівною $Q_{z,a}$. Він отримує зворотний зв'язок у вигляді відхилення між бажаною витратою $Q_{z,a}$ та

фактичною Q_a . На основі цього відхилення регулятор коригує режим роботи дозатора (швидкість стрічки дозатора, положення живильника чи інший виконавчий механізм); другий дозатор отримує сумарний командний сигнал Q_b і має забезпечити загальну витрату Q_b , враховуючи, що частина потоку вже сформована першим дозатором Q_a . По суті, другий дозатор доповнює потік до необхідної загальної величини, реагуючи на різницю між Q_b та сумою вже поданого матеріалу Q_a . Завдяки цьому, D_b автоматично коригує свою продуктивність, забезпечуючи досягнення сумарного завдання.

– Елемент «ЕМ» (між дозаторами): Цей блок може бути проміжним вимірювальним або виконавчим модулем (наприклад, вимірювач масової витрати, логічний блок або інший елемент автоматики), що фіксує реальну витрату після першого дозатора та передає інформацію другому дозатору. Таким чином, другий дозатор знає, яку вже має суму і наскільки йому потрібно доповнити потік.

В цілому, така схема послідовного з'єднання дозаторів дозволяє поетапно забезпечувати точні пропорції компонентів. Перший дозатор стабілізує свій потік, а другий – доповнює загальний потік до заданої величини. Це зручно, коли потрібно забезпечити складний склад суміші з використанням кількох компонентів, послідовно «накладаючи» один матеріальний потік на інший. Така методика підвищує гнучкість та точність управління складом шихти.

Паралельне з'єднання дозаторів (рисунок 1.7) використовується для забезпечення стабільного співвідношення між витратами дозованих компонентів та витратою основного компоненту.

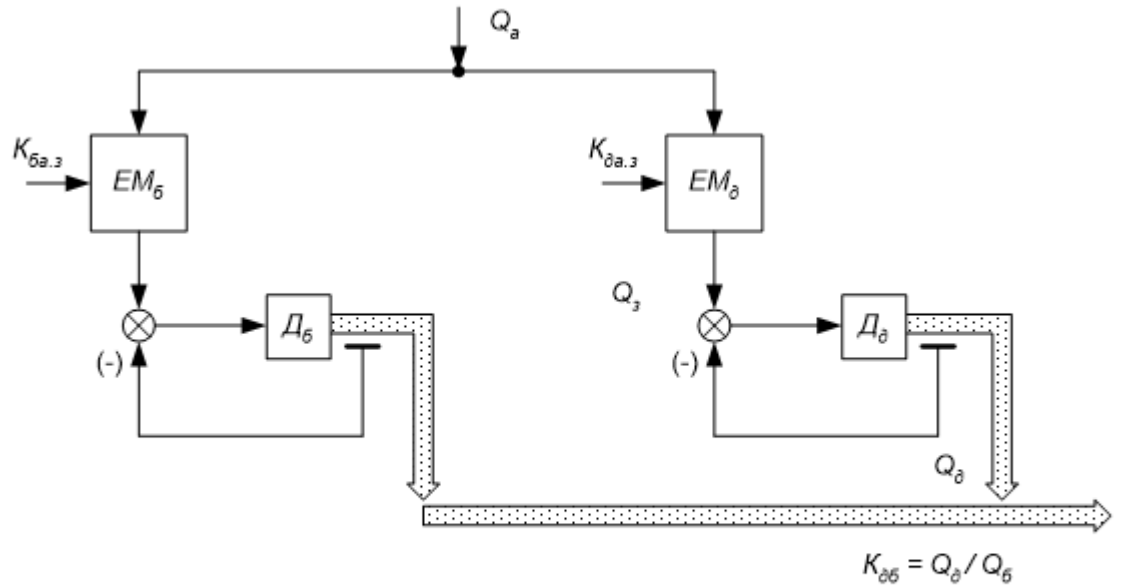


Рисунок 1.7 – Структурна схема системи автоматичного дозування з паралельним з'єднанням дозаторів

Компоненти схеми:

- EM_b та EM_d – це виконавчі механізми (електромеханізми), які керують роботою відповідних дозаторів.
- D_b та D_d – дозатори, які забезпечують подачу матеріалу (рідинного або сипучого) в потрібних пропорціях.
- $K_{ба.з}$ та $K_{да.з}$ – коефіцієнти керування для кожного виконавчого механізму.
- Q_a , Q_b , Q_d :
 - Q_a – загальний потік матеріалу, що подається в систему.
 - Q_b та Q_d – часткові потоки матеріалу, що проходять через кожен із дозаторів.
- $K_{δб} = Q_δ / Q_b$ – коефіцієнт розподілу, що визначає пропорції між потоками.

Загальний потік матеріалу Q_a поділяється на два паралельних канали, кожен із яких оснащений своїм дозатором (D_b та D_d). Виконавчі механізми (EM_b та EM_d) регулюють подачу потоку через дозатори відповідно до заданих коефіцієнтів керування ($K_{ба.з}$ та $K_{да.з}$). Система порівнює вхідний та вихідний

потоки, забезпечуючи корекцію роботи дозаторів для досягнення потрібних параметрів. Паралельне з'єднання дозволяє забезпечити стабільний потік матеріалу на виході з системи.

Така схема підходить для систем, де важливо забезпечити точний розподіл і контроль подачі матеріалів. Використання паралельного з'єднання підвищує надійність, оскільки у разі виходу з ладу одного дозатора, система може продовжувати працювати з обмеженою потужністю.

На рисунку 1.9, а ведений дозатор регулює загальну витрату $Q_{заг}$ у співвідношенні $K_{ба.з}+1$ до витрати ведучого компонента Q_a .

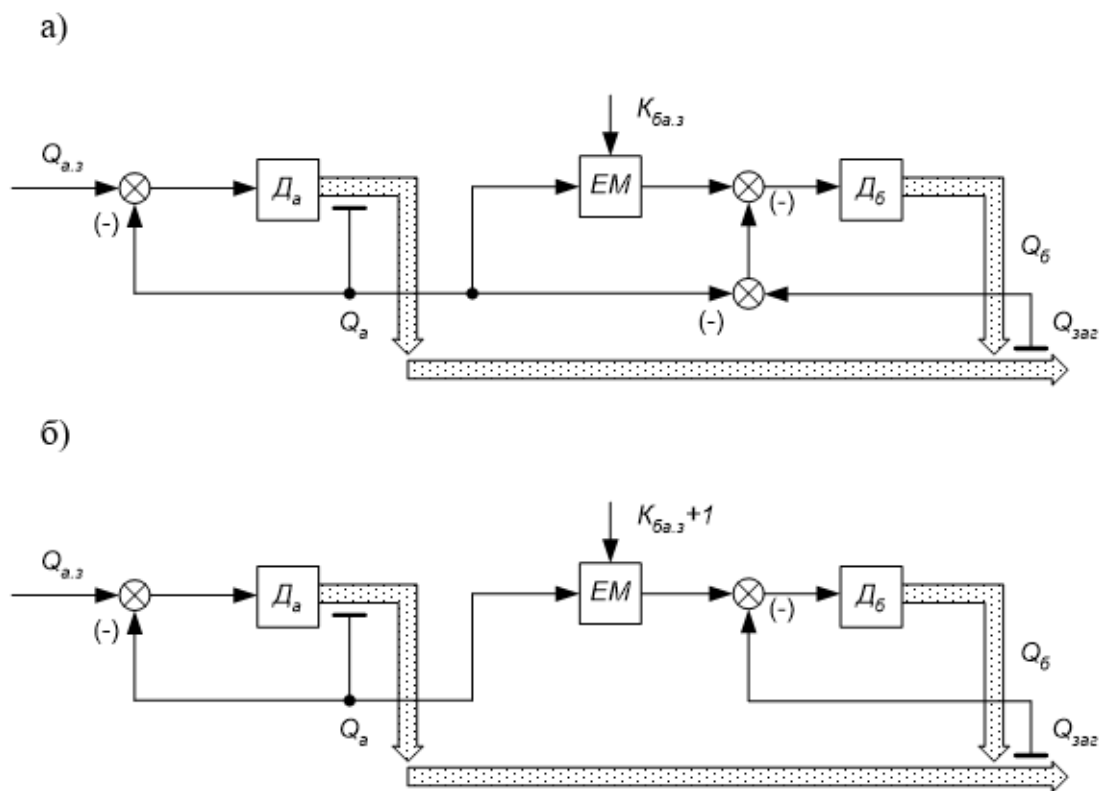


Рисунок 1.9 – Структурні схеми систем автоматичного дозування з послідовним з'єднанням дозаторів та вимірювачем сумарної витрати компонентів

У схемі, представлений на рисунку 1.9, б, фактична витрата веденого компонента Q_b визначається шляхом віднімання витрати Q_a із загальної витрати $Q_{заг}$. Завдання для веденого дозатора формується як добуток Q_a на заданий коефіцієнт співвідношення $K_{ба.з}$. Ця система є зв'язаною, оскільки дозатор D_b реагує на зміни продуктивності дозатора D_a . У порівнянні з послідовним з'єднанням окремих дозаторів, така система має гірші динамічні характеристики.

З точки зору конструкції окремих дозаторів, важливим аспектом для покращення якості регулювання є зменшення запізнень у системі. Збурення зазвичай виникають у вигляді випадкових змін продуктивності живильника, що обумовлено зміною фізичних властивостей дозованого матеріалу або прохідного перетину живильника. У схемі індивідуального живильника запізнення визначається часом переміщення матеріалу по лотку віброживильника τ_n та стрічці вагового вимірювача $\tau_{в.в.}$.

Додаткові елементи запізнення також присутні в контурі зворотного зв'язку дозатора, зокрема у вимірювачі ваги, а іноді й у вторинному приладі. Особливо значними затримки можуть бути при використанні групового дозатора, якщо збурення виникає у найбільш віддаленому від вагового вимірювача живильнику.

Суттєве підвищення якості регулювання в таких умовах можна досягти шляхом управління не всією загальною витратою матеріалу, а лише тією його частиною, яка надходить із найближчого до вагового вимірювача бункера.

1.4 Обґрунтування модернізації системи автоматизації дільниці підготовки компонентів шихти

У процесі експлуатації існуючої системи були виявлені такі недоліки:

- *Часова затримка в опитуванні датчиків* – складає 5-6 секунд, що негативно впливає на оперативність роботи системи.
- *Низька стійкість до відмов* – система недостатньо надійна і схильна до виходу з ладу в разі збурень чи несправностей.
- *Недосконалий парк контролерів* – використовувані контролери не забезпечують необхідного рівня якості управління процесом дозування.
- *Нестабільність контролерів при зміні навантажень* – зміна коефіцієнтів продуктивності на дозаторах коксу та вапняку призводить до збоїв у роботі.

– *Недосконале програмне забезпечення* – як на верхньому рівні (системи управління), так і на нижньому рівні (локальні контролери), що ускладнює оптимальне виконання процесу дозування.

– *Неповне охоплення обладнання системою* – не всі одиниці устаткування, які беруть участь у процесі дозування шихтових матеріалів, інтегровані до системи.

Ці недоліки потребують комплексного підходу до вдосконалення системи, включаючи модернізацію обладнання, оновлення програмного забезпечення, а також оптимізацію процесів управління та контролю.

Основним недоліком цієї системи є відсутність залежності витрати аглоруди від витрати концентрату. Це означає, що при зміні витрати концентрату витрата аглоруди залишається незмінною або змінюється незалежно, що призводить до порушення стабільності співвідношення концентрату та аглоруди в рудній частині шихти. У результаті це викликає значні коливання якісних характеристик виробленого агломерату, таких як вміст заліза і модуль основності.

Для вирішення цієї проблеми необхідно:

– Стабілізувати вагову витрату концентрату відповідно до заданих параметрів.

– Автоматизувати витрату аглоруди таким чином, щоб вона змінювалася пропорційно до витрати концентрату.

– Регулювати витрати вапняку та палива на основі змін витрати рудної частини шихти.

Такі заходи дозволять забезпечити стабільність співвідношення компонентів у шихті, що позитивно вплине на якість агломерату, стабілізуючи вміст заліза та модуль основності.

Автоматичне підтримання витрати концентрату досягається шляхом впровадження частотних перетворювачів у схеми керування електроприводом тарілчастих живильників. Це забезпечує точний контроль за швидкістю подачі матеріалу і стабілізацію витрати концентрату.

Автоматичне регулювання витрати аглоруди залежно від витрати концентрату можливо реалізувати завдяки використанню стрічкових дозаторів з програмним керуванням. Така заміна обумовлена також необхідністю підвищення стабільності видачі суміші аглоруди та агломераційних шламів.

Агломераційні шлами, що утворюються у процесі власного виробництва, характеризуються високою вологістю (до 20%). Для забезпечення можливості їх використання у виробничому процесі готується залізорудна суміш, яка складається з аглошламів і аглоруди. У шихтовому відділенні ця суміш подається через тарілчастий живильник руди. Однак через високу вологість і в'язкість матеріал нерівномірно подається через тарілчастий живильник.

Використання стрічкового дозатора замість тарілчастого живильника забезпечує значно більшу площу вікна видачі матеріалу. Це сприяє рівномірнішій подачі залізорудної суміші, що позитивно впливає на стабільність процесу дозування. Таким чином, модернізація системи шляхом заміни тарілчастих живильників на стрічкові є важливим кроком для покращення якості регулювання і продуктивності процесу.

Наразі в умовах шихтового відділення використовуються конвеєрні ваги «Єрмак», які не забезпечують необхідної точності для формування сигналів керування через використання ваговимірювальних датчиків власного виробництва. Оскільки якість сигналів керування дозаторами значною мірою впливає на якісні показники агломерату, для зменшення коливань цих показників у процесі агломерації доцільно впровадити конвеєрні терези Milltronics із тензорезисторними датчиками виробництва компанії «Siemens».

Додатково, нерівномірна подача матеріалу тарілчастими живильниками концентрату і руди також негативно впливає на роботу автоматизованої системи керування технологічним процесом (АСК ТП) підготовки шихти.

Для покращення інформаційного супроводу технологічного процесу і реалізації запропонованих підходів до управління підготовкою шихти доцільно розробити автоматизоване робоче місце (АРМ) оператора-дозувальника. Таке АРМ забезпечить:

- Дистанційний контроль роботи обладнання.
- Збір і зберігання даних про технологічний процес.
- Налаштування регуляторів і вимірювальних каналів.
- Підвищення ефективності роботи оператора.

Ці заходи дозволять значно покращити якість управління процесом підготовки шихти, стабілізувати роботу системи та підвищити якість кінцевого продукту.

1.5 Вимоги до АСК процесом підготовки компонентів шихти

1.5.1 Вимоги до системи в цілому

Система керування повинна виконувати такі основні функції:

Інформаційні функції:

- *Централізований контроль технологічних параметрів* – забезпечення збору та моніторингу ключових показників процесу.
- Контроль стану технологічного обладнання – відстеження робочого стану всіх компонентів системи.
- *Обчислювальні та логічні функції* – виконання розрахунків і логічних операцій, необхідних для аналізу інформації та прийняття рішень.

Керуючі функції:

- *Дистанційне і автоматичне керування технологічним процесом* – можливість як ручного, так і повністю автоматизованого управління обладнанням.
- *Вибір режимів керування обладнанням* – забезпечення гнучкості в налаштуванні роботи обладнання під різні технологічні режими.

Допоміжні функції:

- *Діагностика стану апаратних засобів АСК ТП* – виявлення несправностей і аналіз працездатності елементів системи.

– Підвищення стійкості до перешкод і відмов обладнання – забезпечення надійності роботи системи в умовах можливих зовнішніх і внутрішніх збурень.

– Можливість розвитку, розширення і модифікації системи – адаптація до змін у виробничих процесах або впровадження нових функцій.

Ці функції забезпечать ефективне управління технологічним процесом, підвищать якість виробництва і стабільність роботи системи.

1.5.2 Вимоги до функціонування та структури системи

Під час розробки АСК ТП дозування необхідно враховувати, що система належить до нижнього рівня автоматизованих систем керування. Вона повинна бути інтегрованою до єдиної системи автоматизованого управління та диспетчеризації (АСОДУ) комбінату, зокрема аглоцеху.

Вимоги до інтеграції та передачі даних:

- Передача даних на верхній рівень здійснюється мережею Ethernet.
- Обмін даними відбувається через SQL-запити до бази даних MS SQL.
- Передані дані повинні включати:
 - технологічні режими роботи;
 - кількісні показники технологічного процесу;
 - обсяг виготовленої продукції;
 - інші підсумкові параметри технологічного процесу.

Час оновлення інформації:

- Оновлення даних має виконуватися не рідше одного разу на хвилину.

Ці вимоги забезпечать ефективну інтеграцію АСК ТП дозування у загальну систему управління комбінату, а також оперативність і точність обміну інформацією між рівнями.

Склад системи підготовки компонентів шихти:

- Система контролю і керування підготовкою компонентів шихти – забезпечує моніторинг і управління процесом підготовки матеріалів.

– *Поточно-транспортна система подачі шихти до агломашин* – відповідає за транспортування готової шихти.

– *Підсистема контролю та регулювання витрати концентрату і аглоруди* – включає встановлення конвеєрних терезів на збірному конвеєрі для точного контролю витрат.

– *Підсистема автоматичного вагового дозування шихтових матеріалів* – передбачає встановлення конвеєрних терезів на потоці кожного компонента шихти, забезпечуючи автоматичне дозування.

Об'єктом проектування у роботі є автоматизована система керування процесом дозування шихтових матеріалів, яка включає:

– Підсистему контролю та регулювання витрати концентрату і аглоруди.

– Підсистему автоматичного вагового дозування шихтових матеріалів.

Метою проектування є створення ефективної системи дозування, яка забезпечить:

– Точність витрат компонентів.

– Прогнозованість параметрів процесу спікання.

– Інтеграцію з існуючою АСК ТП аглофабрики.

Ця система дозволить покращити контроль якості шихти та стабільність технологічного процесу.

Висновки до розділу:

У роботі розглянуто особливості виробництва агломерату в умовах агломераційного цеху ГЗК, а також основні технічні характеристики обладнання, яке використовується в цеху. Особливу увагу приділено аналізу процесу дозування шихтових матеріалів, що є важливим етапом для забезпечення стабільності якості агломерату та ефективності технологічного процесу.

Проведено аналіз існуючої системи автоматизації процесу дозування шихтових матеріалів, у результаті чого виявлено низку недоліків. Основним з них є відсутність залежності витрати аглоруди від витрати концентрату. Це

означає, що при зміні витрати концентрату витрата аглоруди залишається незмінною або змінюється незалежно, що призводить до постійного коливання співвідношення між концентратом і аглорудою в рудній частині шихти. У результаті спостерігаються значні коливання якісних характеристик агломерату, зокрема вмісту заліза та модуля основності.

Крім того, система не дозволяє регулювати продуктивність дозування концентрату шляхом зміни швидкості обертання дискових живильників, що обмежує її гнучкість і точність. Конвеєрні ваги, які використовуються в системі, не забезпечують необхідної точності через недосконалість чутливих елементів. Це призводить до помилок у формуванні сигналів керування дозаторами домішок, що погіршує якісні показники агломерату.

Виявлені недоліки свідчать про необхідність модернізації системи автоматизації дозування, спрямованої на усунення виявлених проблем і підвищення стабільності та точності процесу.

З урахуванням виявлених недоліків обґрунтовано доцільність модернізації автоматизованої системи керування процесом дозування шихтових матеріалів. Основна мета вдосконалення полягає у підвищенні точності дозування, стабілізації співвідношення компонентів шихти та забезпеченні кращої якості агломерату.

Для покращення інформаційного супроводу технологічного персоналу дільниці дозування шихтових матеріалів запропоновано створити систему контролю та візуалізації процесу. Ця система повинна:

- Забезпечувати реальний час моніторингу параметрів процесу дозування.
- Надати зручний графічний інтерфейс для візуалізації стану обладнання та основних технологічних параметрів.
- Забезпечувати збір і збереження даних для аналізу і прогнозування роботи системи.

Впровадження таких рішень сприятиме підвищенню ефективності роботи системи дозування та її адаптації до змін технологічних умов.

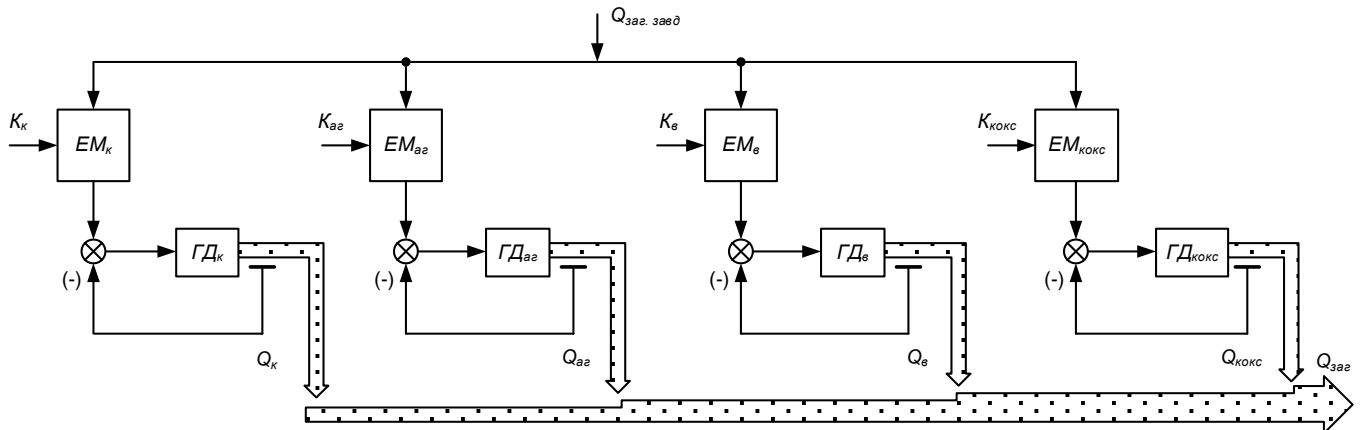
РОЗДІЛ 2

МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС ТА РОЗРОБКА СТРУКТУРИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ПІДГОТОВКИ КОМПОНЕНТІВ ШИХТИ

2.1 Обґрунтування структури системи підготовки компонентів шихти

Дослідження технологічного процесу дозування компонентів шихти на агломераційній фабриці ПАТ «Південний ГЗК» свідчить, що найефективнішою є система автоматизованого дозування з використанням паралельного з'єднання дозаторів (див. рисунок 2.1).

Вихідні дані щодо загальної продуктивності шихти надходять із системи узгодження продуктивності між спікальним відділенням та відділенням підготовки шихти. Далі, за допомогою алгоритму розрахунку складу агломераційної шихти, визначаються коефіцієнти вмісту основних компонентів ($K_k, K_{ar}, K_b, K_{кокс}$) та елементи множення ($EM_k, EM_{ar}, EM_b, EM_{кокс}$). На основі цих даних формується завдання продуктивності для групових дозаторів, які забезпечують дозування концентрату, вапняку, аглоруди, та коксу.



$ГД_k, ГД_{ar}, ГД_b, ГД_{кокс}$ – групові дозатори концентрату, аглоруди, бентоніту та коксу відповідно; $EM_k, EM_{ar}, EM_b, EM_{кокс}$ – елементи множення для розрахунку заданої витрати концентрату, аглоруди, вапняку та коксу відповідно; $Q_{заг. завод}$ – задана загальна продуктивність системи дозування шихтових матеріалів; $K_k, K_{ar}, K_b, K_{кокс}$ – розраховані коефіцієнти вмісту концентрату, аглоруди, вапняку та коксу в агломераційній шихті; $Q_{заг}$ – фактична продуктивність системи дозування; $Q_k, Q_{ar}, Q_b, Q_{кокс}$ – фактичні витрати концентрату, аглоруди, вапняку та коксу відповідно.

Рисунок 2.1 – Структурна схема системи автоматичного дозування компонентів ШИХТИ

Для дозування концентрату доцільно використовувати груповий дозатор (див. рис. 1.5), який складається з п'яти дискових живильників, розташованих під відповідними бункерами концентрату. Ці живильники завантажують матеріал на загальний конвеєр. Контроль загальної продуктивності дозатора рекомендується здійснювати за допомогою конвеєрних ваг.

Регулювання продуктивності досягається зміною частоти обертання чаш дискових живильників. Для цього пропонується впровадити частотні перетворювачі та мікропроцесорну систему управління, яка базується на ПЛК.

Для дозування вапняку раціонально застосовувати груповий дозатор, до складу якого входять два стрічкові дозатори, що обслуговують два бункери вапняку. Кожен стрічковий дозатор оснащений окремою системою керування продуктивністю, яка включає регулятор на основі програмованого логічного контролера (ПЛК) та індивідуальний вимірювач ваги. Завдяки цій системі реалізується зворотний зв'язок для точного контролю продуктивності кожного дозатора.

Регулювання витрат вапняку виконується шляхом змін швидкості руху конвеєра, що забезпечує гнучке налаштування продуктивності відповідно до технологічних вимог.

Для дозування коксу краще використовувати груповий дозатор, який включає два стрічкових дозатори, призначені для розвантаження двох бункерів коксу. Кожен стрічковий дозатор оснащений автономною системою управління продуктивністю, що складається з регулятора на базі програмованого логічного контролера та індивідуального вагового датчика. Завдяки цій системі забезпечується зворотний зв'язок для точного контролю продуктивності кожного дозатора.

Регулювання витрат коксу реалізується шляхом змін частоти обертання двигуну віброприводу дозатора, що дозволяє точно налаштувати подачу матеріалу відповідно до технологічних потреб.

2.2 Математичне забезпечення дільниці підготовки компонентів шихти

Критерієм оптимізації процесу дозування компонентів шихти є забезпечення необхідних значень основних показників якості: основності, вмісту заліза та вуглецю. Алгоритми управління дозуванням повинні враховувати розрахунок коефіцієнтів співвідношення витрат компонентів шихти відповідно до цього критерію.

У діючих алгоритмах керування агломераційних фабрик можуть бути реалізовані такі завдання:

- врахування критеріїв якості шихти та хімічного складу її компонентів;
- розрахунок пропорцій між витратами залізовмісних компонентів для досягнення заданого складу суміші;
- визначення необхідної кількості палива для забезпечення оптимального складу агломераційної шихти;
- обчислення витрати флюсу для досягнення заданого рівня основності шихти.

Такі алгоритми дозволяють забезпечити високий рівень точності у формуванні шихти, що відповідає технологічним вимогам.

На сьогоднішній день створено низку як часткових, так і універсальних алгоритмів оптимального дозування шихтових матеріалів, які призначені для впровадження на керуючих ЕОМ [3, 11].

Прикладом може слугувати алгоритм управління процесом дозування агломераційної шихти:

Врахування вихідних даних та критеріїв здійснюється за такими параметрами:

- *Поточні витрати компонентів шихти*: концентрату Q_k , повернення Q_a й інших компонентів Q_i ;
- *Хімічний склад компонентів*: вміст заліза (Fe_i), кремнезему (SiO_{2i}), вуглецю (C_i), вологи (φ_i), оксиду кальцію (CaO_i);
- *Вміст шкідливих домішок*: сірки в концентраті (S_k) та поверненні (S_a);

- *Витрати на випалювання: B_{ni} ;*
- *Ключові показники якості шихти: задані значення вмісту вуглецю ($C_{завд}$), заліза ($Fe_{завд}$) та основності ($R_{завд}$).*

Ці параметри формують основу для розрахунків і управління процесом дозування, спрямованого на досягнення оптимальних характеристик шихти.

Розрахунок кількісних значень показників якості (поточних):

$$Fe = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot Fe_i \cdot (1 - \varphi_i)}{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot (1 - \varphi_i) (1 - B_{ni})};$$

$$C = \left[\sum_{i=1}^n Q_i C_i + 0,4(Q_k C_k + Q_a C_a) \right] / \sum_{i=1}^n Q_i;$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i CaO_i}{\sum_{i=1}^n Q_i SiO_2 i}.$$

Обчислення відхилень розрахованих показників якості від їх заданих значень:

$$\Delta Fe = Fe_{завд} - Fe; \quad \Delta C = C_{завд} - C; \quad \Delta R = R_{завд} - R.$$

Визначення керуючих впливів представлених у вигляді зміни задаючих параметрів дозаторам вапняку, руди та палива:

$$\Delta Q_p = Q_{p.завд} \cdot (\Delta Fe + \Delta R \cdot K_2 / K_3) / [100 \cdot (K_1 - K_2 \cdot K_4 / K_3)];$$

$$\Delta Q_6 = Q_{6.завд} \cdot (\Delta R + 100 \cdot K_4 \cdot \Delta Q_p / Q_{p.завд}) / [100 \cdot K_3];$$

$$\Delta Q_n = Q_{n.завд} \left(\Delta C + 100 \cdot K_6 \cdot Q_p / Q_{p.завд} + 100 \cdot K_7 \cdot \Delta Q_6 / Q_{6.завд} \right) / 100 \cdot K_5.$$

Аналіз існуючих алгоритмів та специфіки технологічного процесу підготовки суміші шихтових матеріалів показав, що в розроблюваній автоматизованій системі дозування шихтових компонентів доцільно застосувати:

- Алгоритм стабілізації вмісту заліза в суміші рудних компонентів, який визначатиме витрату аглоруди залежно від витрати концентрату.
- Алгоритм стабілізації основності агломерату, призначений для розрахунку витрат вапняку та коксу.

Обидва алгоритми адаптовані до умов роботи фабрики огрудкування і забезпечують розрахунок оптимальних витрат компонентів суміші.

Результати роботи цих алгоритмів стануть основою для формування завдань продуктивності системами керування дозаторами, які виконуватимуть відповідні розрахункові параметри. Це дозволить підвищити точність дозування та стабільність якісних показників шихти.

2.3 Розробка систем управління дозаторами різних компонентів шихти

Для підготовки компонентів шихти використовується груповий дозатор, який складається з п'яти дискових живильників з заданою продуктивністю. Живильники розташовані під бункерами концентрату з інтервалом у 5 м один від одного. Для контролю продуктивності системи використовують конвеєрні ваги Milltronics MSI виробництва Siemens.

Відповідна структурна схема такої системи дозування концентрату наведена на рисунку 2.2. Основні елементи схеми та їх функції:

- $W_{ки}(p)$: передаточна функція контуру регулювання швидкості дискового живильника;
- $W_{дж}(p)$: передаточна функція дискового живильника при регулюванні продуктивності шляхом зміни швидкості обертання чаші;
- $W_{кт}(p)$: передаточна функція конвеєрних вагів;
- $W_{pn}(p)$: передаточна функція регулятора продуктивності.

Також у схемі враховуються затримки часу (τ_1, \dots, τ_4), які виникають через переміщення матеріалу від бункерів (зокрема, від 1-го та 4-го) до місця зважування. Ці затримки необхідно враховувати для коректного регулювання продуктивності системи.

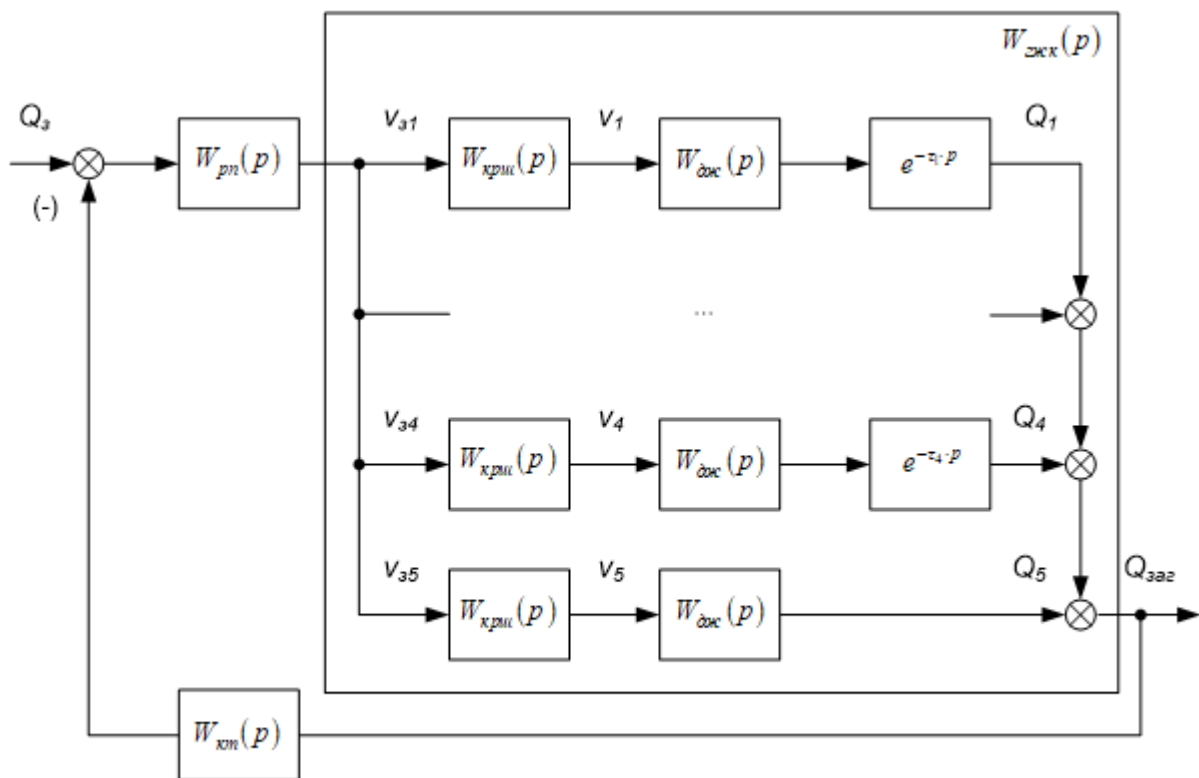


Рисунок 2.2 – Структурна схема замкненої САД концентрату

Передаточна функція контуру регулювання швидкості обертання чаші дискового живильника $W_{кри}(p)$ при використанні частотного перетворювача для живлення приводного двигуна може бути подана у вигляді типового виразу з врахуванням динаміки приводу та механічної системи:

$$W_{кри}(p) = \frac{k_{кри}}{T_m \cdot p + 1}, \quad (2.1)$$

де T_m – електромеханічна стала часу; $k_{кри}$ – коефіцієнт підсилення контуру.

Коефіцієнт підсилення $k_{кри}$ з урахуванням того, що максимальна частота обертання двигуна дорівнює 720 об/хв., а максимальне значення сигналу завдання дорівнює 20 мА., буде дорівнювати $k_{кри}=600$

Електромагнітна стала часу T_m є ключовим параметром, який впливає на тривалість перехідного процесу в контурі регулювання швидкості обертання чаші дискового живильника. При використанні перетворювачів частоти з'являється можливість адаптувати тривалість цього процесу, що забезпечує оптимальну роботу електроприводу.

Для електроприводу дискового дозатора доцільно вибрати значення електромагнітної сталої часу $T_m=1,4$ с., яке забезпечує баланс між швидкодією системи та її стабільністю. Це значення дозволяє мінімізувати вплив коливань і забезпечує точне виконання завдань дозування, підтримуючи стабільну швидкість обертання чаші.

З урахуванням цього значення, передаточна функція (2.1) контуру регулювання швидкості може бути уточнена:

$$W_{кри}(p) = \frac{600}{1,4 \cdot p + 1}. \quad (2.2)$$

Коефіцієнт передачі редуктора:

$$W_p(p) = K_p = \frac{n_{дж}}{n_{д}}, \quad W_p(p) = \frac{30}{720} = 0,042. \quad (2.3)$$

Продуктивність живильника дорівнює [3]:

$$Q_{жс} = k_{жс} \cdot h_{жс} \cdot n_{жс}, \quad (2.4)$$

де $k_{жс}$ – коефіцієнт, який враховує властивості матеріалу живильника; $n_{жс}$ – швидкість обертання диску; $h_{жс}$ – висота підйому шиберу.

Тоді передаточну функцію дискового живильника можна записати таким чином:

$$W_{дж}(p) = k_{жс} \cdot h_{жс}. \quad (2.5)$$

З урахуванням того, що:

$$K_{дж} = \frac{Q_{\max}}{n_{\max}} = \frac{240000}{3600 \cdot 0,5} = 133,3.$$

передаточну функцію (2.5) можна переписати таким чином:

$$W_{дж}(p) = 133,3. \quad (2.6)$$

2.3.1 Дозування аглоруди

Два стрічкові дозатори виконують дозування аглоруди з заданою продуктивністю (200 т/год). Вони розташовані під двома бункерами аглоруди з

інтервалом 5 м один від одного. Автоматичне управління цими дозаторами здійснюється за допомогою системи, структурна схема якої наведена на рисунку 2.3.

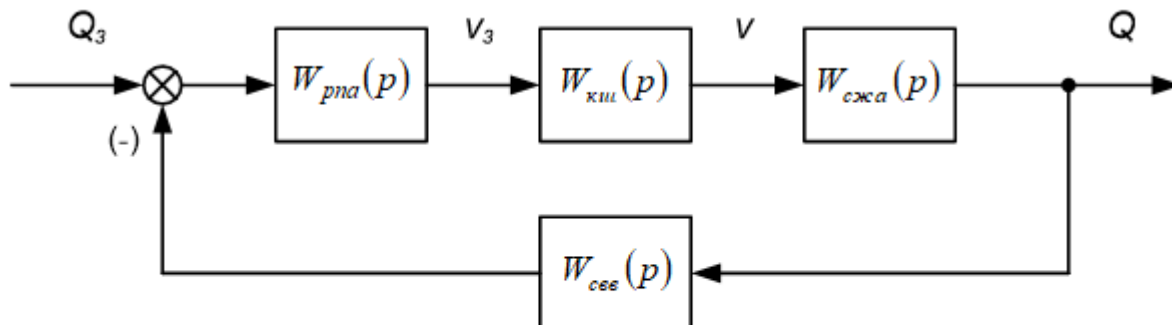


Рисунок 2.3|– Структурна схема системи автоматичного керування стрічковим дозатором ДНЛ-1

Основні елементи схеми та їхні функції:

- $W_{сжа}(p)$: передаточна функція стрічкового живильника, що описує його динаміку при регулюванні продуктивності шляхом зміни швидкості руху стрічки.
- $W_{све}(p)$: передаточна функція стрічкового вимірювача ваги, яка характеризує його реакцію на зміну ваги матеріалу на стрічці.
- $W_{км}(p)$: передаточна функція контуру регулювання швидкості стрічкового живильника ДНЛ-1, яка враховує динаміку приводу стрічки.
- $W_{рна}(p)$: передаточна функція регулятора продуктивності, яка відповідає за формування керуючого сигналу для забезпечення заданої продуктивності.

Ця структура забезпечує точність дозування аглоруди, враховуючи динаміку обладнання та вимоги до продуктивності.

На основі цього передаточна функція замкненої системи управління продуктивністю дозатору аглоруди буде мати:

$$W_{зсжа}(p) = \frac{W_{рна}(p) \cdot W_{км}(p) \cdot W_{сжа}(p)}{1 + W_{рна}(p) \cdot W_{км}(p) \cdot W_{сжа}(p) \cdot W_{све}(p)} \quad (2.7)$$

Ця передаточна функція складається з наступних складових:

Стрічковий живильник:

$$W_{сжса}(p) = k_{жс} \cdot h_{жс} \cdot W_{сжса}(p) = 33,3. \quad (2.8)$$

Контур швидкості:

$$W_{кш}(p) = \frac{k_{\partial}}{T_{м} \cdot p + 1}, \quad W_{кш}(p) = \frac{100}{1,4 \cdot p + 1}. \quad (2.9)$$

Стрічковий вимірювач ваги:

$$W_{свс}(p) = K \cdot \frac{1 - e^{-\frac{1}{v}p}}{p}, \quad W_{свс}(p) = 7,5 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\frac{1 - e^{-0,4p}}{p} \right). \quad (2.10)$$

Щоб урахувати ланку запізнення в передаточній функції (2.10) та спростити її аналіз і розрахунки, можна виконати апроксимацію ланки запізнення через дві аперіодичні ланки з рівними сталими часу. Це досягається шляхом розкладання функції запізнення в ряд Паде та використання перших двох його складових. Тоді (2.10) прийме вигляд:

$$W_{свс}(p) = \frac{7,5 \cdot 10^{-4}}{p} \cdot \left(1 - \frac{1}{(0,2 \cdot p + 1)^2} \right). \quad (2.11)$$

Після підстановки (2.8-2.9 і 2.11) до виразу (2.7) остаточно отримаємо:

$$W_{зсжса}(p) = \frac{68 \cdot p^2 + 672 \cdot p + 1657}{0,029 \cdot p^3 + 0,302 \cdot p^2 + 0,95 \cdot p + 1}. \quad (2.12)$$

Для вдосконалення системи автоматичного керування продуктивністю стрічкового дозатора аглоруди, враховуючи наявність значної статичної похибки, а саме усталене значення продуктивності складає лише 33,14 кг/с. (див. рис.2.4), замість 66,6 кг/с доцільно впровадити ПІ-регулятор, який дозволяє забезпечити:

- Усунення статичної похибки завдяки інтегральній складовій.
- Підвищення швидкодії та стабільності системи за рахунок оптимального налаштування пропорційної та інтегральної складових.

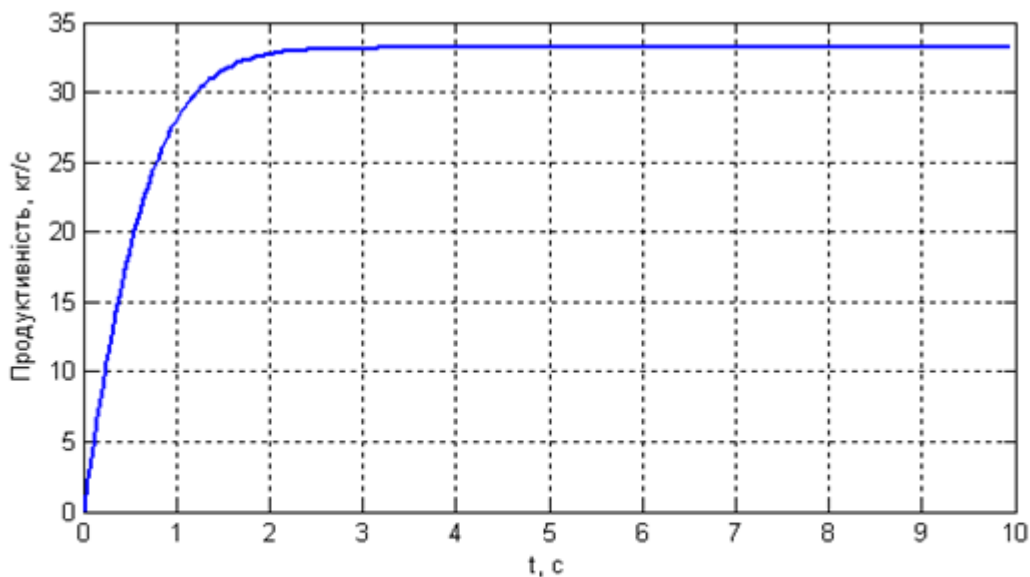


Рисунок 2.4 – Графік переходного процесу в нескорегованій САК продуктивністю стрічкового дозатору аглоруди

За допомогою модулю допомогою модуля Simulink Response Optimization були визначені параметри регулятора дозатора аглоруди

$$W_{pna}(p) = K_{na} \left(1 + \frac{1}{T_{ia} \cdot p} \right) = 0,05 \cdot \left(1 + \frac{1}{0,2 \cdot p} \right)$$

А передаточна функція (2.12) набула остаточно наступного вигляду:

$$W_{зсжа}(p) = \frac{135 \cdot p^2 + 1332 \cdot p + 3287}{1,135 \cdot p^3 + 6,352 \cdot p^2 + 4,053 \cdot p + 1} \quad (2.13)$$

Аналізуючи результати моделювання оптимізованого контуру (рис. 2.5) робимо висновок, що сталий перехідний процес носить аперіодичний характер з дуже невеликим перерегулюванням ($\sigma = 1,2\%$), а тривалість самого перехідного процесу складає 8 с, при цьому статична похибка у системі відсутня.

2.3.2 Дозування вапняку

Два стрічкові дозатори з заданою продуктивністю (100 т/год) також застосовують для дозування вапняку. Вони розташовані під двома бункерами вапняку з інтервалом 5 м між ними. Автоматичне управління цими дозаторами забезпечується системою, структурна схема якої наведена на рисунку 2.6.

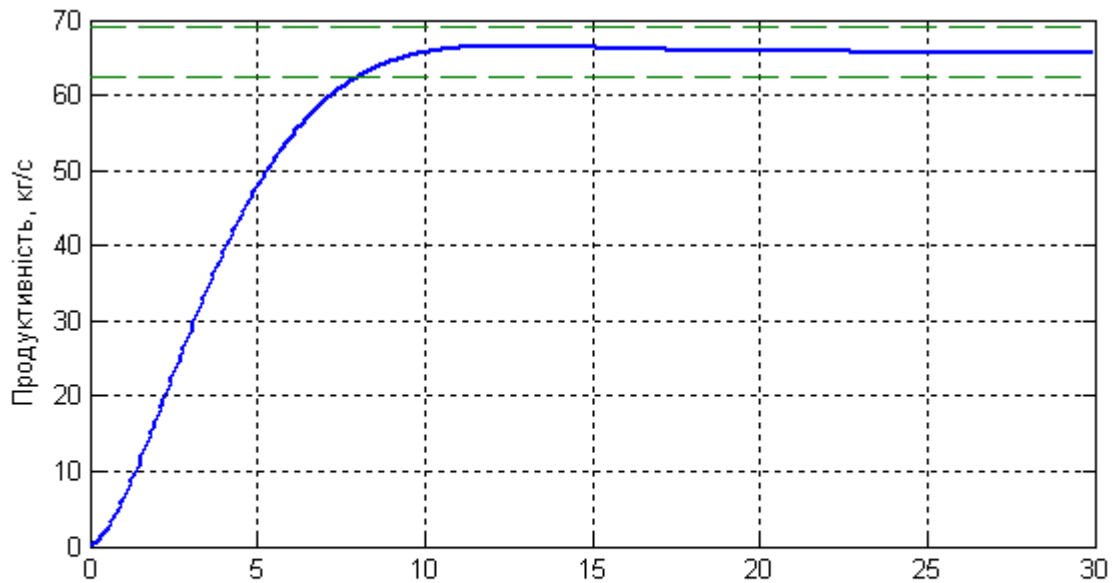


Рисунок 2.5 – Графік перехідного процесу в скорегованій САК продуктивністю стрічкового дозатору аглоруди

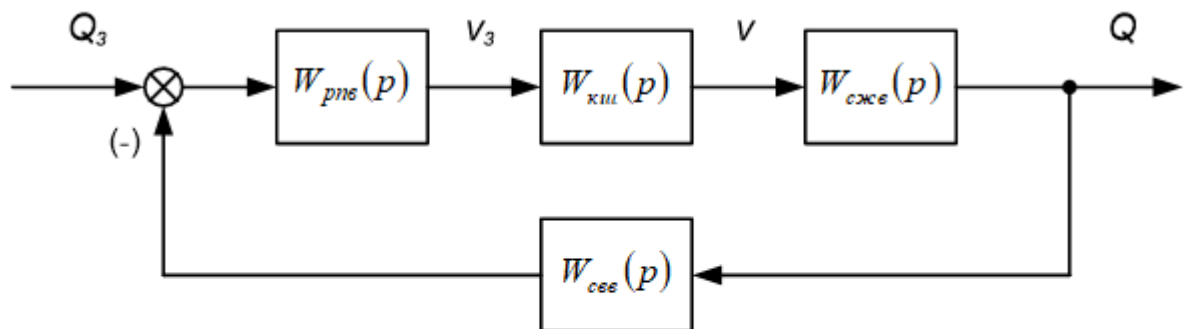


Рисунок 2.6 – Структурна схема системи автоматичного керування стрічковим дозатором 7422 ДН 100-150-3

Основні елементи схеми та їх опис:

- $W_{сжс}(p)$ - передаточна функція стрічкового живильника, що описує динамічну реакцію дозатора при регулюванні продуктивності через зміну швидкості стрічки.
- $W_{кш}(p)$ - передаточна функція контуру регулювання швидкості стрічкового живильника, яка враховує динамічні властивості приводу стрічки.

- $W_{свв}(p)$ - передаточна функція стрічкового вимірювача ваги, що характеризує його здатність фіксувати зміну ваги матеріалу на стрічці.
- $W_{рпв}(p)$ - передаточна функція регулятора продуктивності, який формує керуючий сигнал для підтримки заданої продуктивності дозатора.

Принцип роботи системи:

- *Контроль продуктивності:* Продуктивність кожного дозатора регулюється зміною швидкості руху стрічки, яка задається контуром швидкості $W_{кш}(p)$.
- *Вимірювання ваги:* Вага матеріалу на стрічці фіксується стрічковим вимірювачем ваги $W_{свв}(p)$.
- *Коригування роботи:* Регулятор продуктивності $W_{рпв}(p)$ на основі сигналу від вимірювача ваги забезпечує точну подачу матеріалу відповідно до заданої продуктивності.

Переваги такої системи:

- *Гнучкість управління:* Регулювання швидкості стрічки дозволяє точно налаштувати подачу матеріалу.
- *Точність дозування:* Система автоматичного керування знижує похибку дозування до мінімуму.
- *Стабільність роботи:* Завдяки зворотному зв'язку та використанню сучасного регулятора продуктивності.

Ця система забезпечує ефективне дозування вапняку, відповідаючи вимогам технологічного процесу.

На основі структурної схеми передаточна функція замкнутої системи управління продуктивністю дозатору вапняку буде мати вигляд:

$$W_{зсжсв}(p) = \frac{W_{рпв}(p) \cdot W_{кш}(p) \cdot W_{сжсв}(p)}{1 + W_{рпв}(p) \cdot W_{кш}(p) \cdot W_{сжсв}(p) \cdot W_{свв}(p)}. \quad (2.14)$$

Ця передаточна функція складається з наступних складових з урахуванням попередніх розрахунків (п.2.3.1):

Стрічковий живильник:

$$W_{сжс}(p) = 13,89. \quad (2.15)$$

Контур швидкості:

$$W_{км}(p) = \frac{100}{1,4 \cdot p + 1}. \quad (2.16)$$

Стрічковий вимірювач ваги:

$$W_{свс}(p) = 5,43 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\frac{1 - e^{-1,325 \cdot p}}{p} \right). \quad (2.17)$$

Щоб урахувати ланку запізнення в передаточній функції (2.17) та спростити її аналіз і розрахунки, можна виконати апроксимацію ланки запізнення через дві аперіодичні ланки з рівними сталими часу. Це досягається шляхом розкладання функції запізнення в ряд Паде та використання перших двох його складових. Тоді (2.17) прийме вигляд:

$$W_{свс}(p) = \frac{5,43 \cdot 10^{-4}}{p} \cdot \left(1 - \frac{1}{(0,66 \cdot p + 1)^2} \right). \quad (2.18)$$

Після підстановки (2.15-2.16, 2.18) до виразу (2.14) остаточно отримаємо:

$$W_{зсжса}(p) = \frac{68 \cdot p^2 + 672 \cdot p + 1657}{0,029 \cdot p^3 + 0,302 \cdot p^2 + 0,95 \cdot p + 1}. \quad (2.19)$$

Для вдосконалення системи автоматичного керування продуктивністю стрічкового дозатора вапняку, враховуючи наявність значної статичної похибки, а саме усталене значення продуктивності складає лише 13,87 кг/с. (див. рис.2.7), замість 27,78 кг/с доцільно впровадити ПІ-регулятор, який дозволяє забезпечити:

- Усунення статичної похибки завдяки інтегральній складовій.
- Підвищення швидкодії та стабільності системи за рахунок оптимального налаштування пропорційної та інтегральної складових.

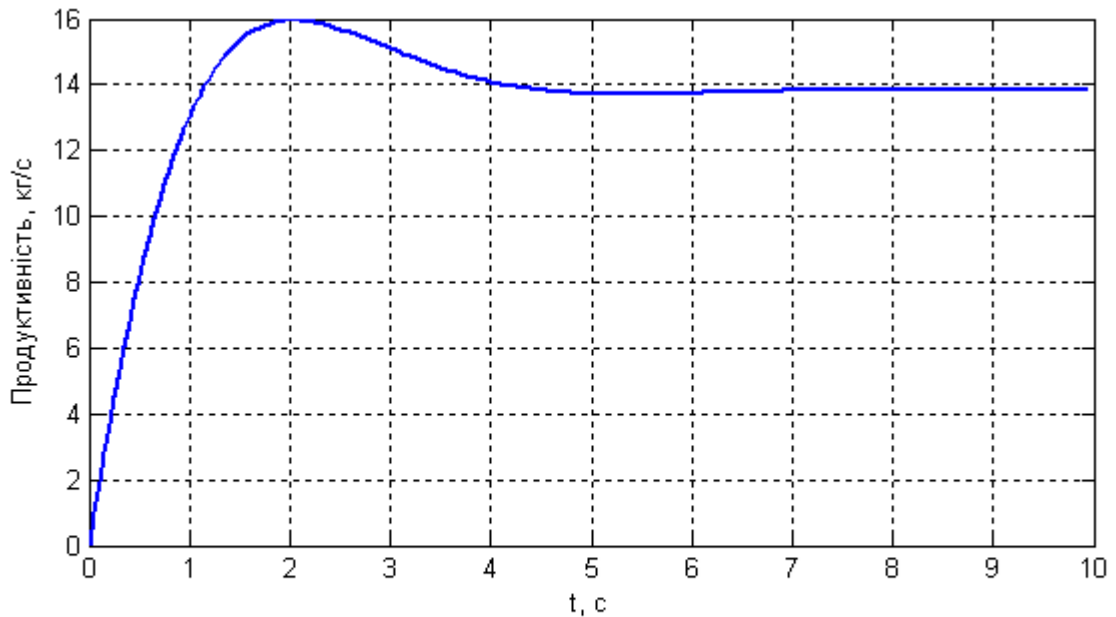


Рисунок 2.7 – Графік перехідного процесу нескорегованої САК продуктивністю стрічкового дозатору вапняку

За допомогою модулю допомогою модуля Simulink Response Optimization були визначені параметри регулятора дозатора аглоруди

$$W_{pms}(p) = K_{ms} \left(1 + \frac{1}{T_{is} \cdot p} \right) = 0,05 \cdot \left(1 + \frac{1}{0,2 \cdot p} \right).$$

А передаточна функція (2.19) набула остаточно наступного вигляду:

$$W_{зсжсв}(p) = \frac{122 \cdot p^3 + 980 \cdot p^2 + 2116 \cdot p + 1382}{2,47 \cdot p^4 + 9,16 \cdot p^3 + 10,96 \cdot p^2 + 4,502 \cdot p + 1}. \quad (2.20)$$

Аналізуючи результати моделювання оптимізованого контуру (рис. 2.8) робимо висновок, що сталий перехідний процес носить аперіодичний характер з дуже невеликим перерегулюванням ($\sigma = 1,2\%$), а тривалість самого перехідного процесу складає 8 с, при цьому статична похибка у системі відсутня.

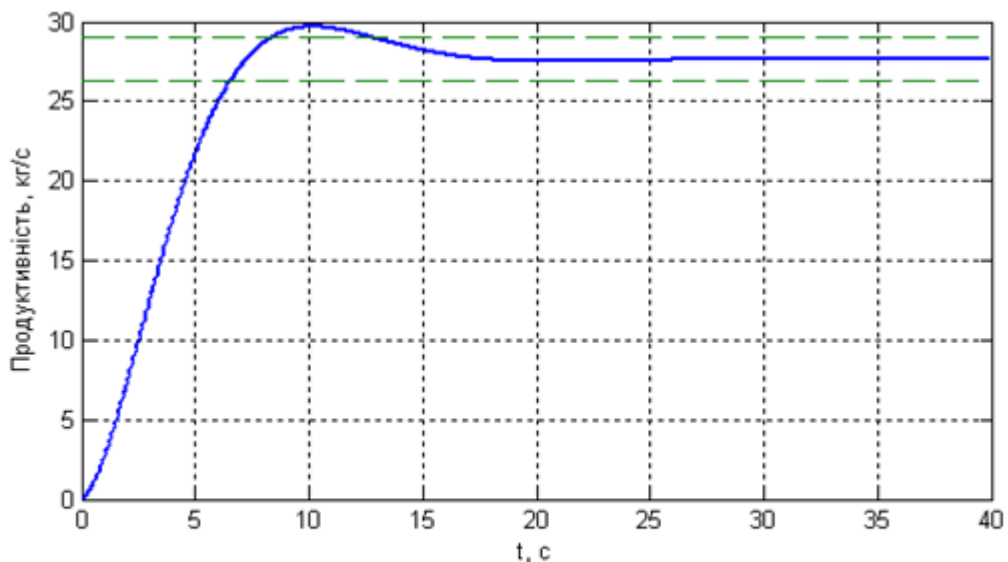


Рисунок 2.8 – Графік переходного процесу скорегованої САК продуктивністю стрічкового дозатору вапняку

2.3.3 Дозування коксу

Два стрічкові дозатори з заданою продуктивністю (50 т/год) також застосовують для дозування вапняку. Вони розташовані під двома бункерами вапняку з інтервалом 5 м між ними. Автоматичне управління цими дозаторами забезпечується системою, структурна схема якої наведена на рисунку 2.9.

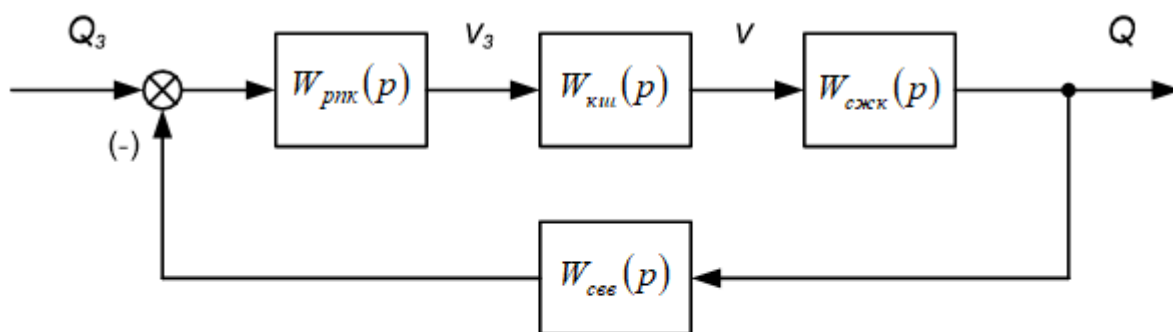


Рисунок 2.9 – Структурна схема системи автоматичного керування стрічковим дозатором 7422 ДН 100-50-3

Основні елементи системи:

– $W_{сжк}(p)$ - передаточна функція стрічкового живильника, що описує його динамічні властивості при регулюванні продуктивності зміною швидкості стрічки.

– $W_{ки}(p)$ - передаточна функція контуру регулювання швидкості стрічкового живильника, яка враховує динаміку приводу стрічки та механічної системи.

– $W_{свв}(p)$ - передаточна функція стрічкового вимірювача ваги, що характеризує реакцію системи на зміну маси матеріалу на стрічці.

– $W_{рнк}(p)$ - передаточна функція регулятора продуктивності, який генерує керуючий сигнал для забезпечення заданої продуктивності.

Принцип роботи системи:

– *Регулювання продуктивності:* Продуктивність кожного дозатора контролюється шляхом зміни швидкості стрічки. Ця швидкість визначається контуром регулювання швидкості $W_{ки}(p)$.

– *Вимірювання маси матеріалу:* Вага коксу на стрічці фіксується стрічковим вимірювачем ваги $W_{свв}(p)$.

– *Корекція подачі:* Регулятор продуктивності $W_{рнк}(p)$ забезпечує точну подачу матеріалу відповідно до встановленого завдання, використовуючи сигнал зворотного зв'язку від вимірювача ваги.

Особливості системи:

– *Точність дозування:* Зворотний зв'язок від вимірювача ваги дозволяє мінімізувати похибки дозування.

– *Гнучкість управління:* Система адаптується до змін у вимогах продуктивності шляхом коригування швидкості стрічки.

– *Стабільність роботи:* Контур швидкості та регулятор продуктивності забезпечують стійку роботу системи без перерегулювання чи коливань.

Ця система автоматичного керування стрічковим дозатором дозволяє ефективно дозувати кокс, забезпечуючи стабільність і точність у технологічному процесі.

На основі структурної схеми передаточна функція замкнутої системи управління продуктивністю дозатору вапняка буде мати вигляд:

$$W_{зсжкс}(p) = \frac{W_{рпк}(p) \cdot W_{км}(p) \cdot W_{сжкс}(p)}{1 + W_{рпк}(p) \cdot W_{км}(p) \cdot W_{сжкс}(p) \cdot W_{свв}(p)}. \quad (2.21)$$

Ця передаточна функція складається з наступних складових з урахуванням попередніх розрахунків (п.2.3.2):

Стрічковий живильник:

$$W_{сжкс}(p) = 6,94. \quad (2.22)$$

Контур швидкості:

$$W_{км}(p) = \frac{100}{1,4 \cdot p + 1}. \quad (2.23)$$

Стрічковий вимірювач ваги:

$$W_{свв}(p) = 1,087 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{1 - e^{-1,325 \cdot p}}{p} \right). \quad (2.24)$$

Щоб урахувати ланку запізнення в передаточній функції (2.24) та спростити її аналіз і розрахунки, можна виконати апроксимацію ланки запізнення через дві аперіодичні ланки з рівними сталими часу. Це досягається шляхом розкладання функції запізнення в ряд Паде та використання перших двох його складових. Тоді (2.24) прийме вигляд:

$$W_{свв}(p) = \frac{1,087 \cdot 10^{-3}}{p} \cdot \left(1 - \frac{1}{(0,66 \cdot p + 1)^2} \right). \quad (2.25)$$

Після підстановки (2.12-2.23, 2.25) до виразу (2.21) остаточно отримаємо:

$$W_{зсжкс}(p) = \frac{279 \cdot p^2 + 839 \cdot p + 630,91}{0,56 \cdot p^3 + 2,09 \cdot p^2 + 2,51 \cdot p + 1}. \quad (2.26)$$

Аналізуючи результати моделювання нескорегованого контуру (рис. 2.10) робимо висновок, що сталий перехідний процес носить аперіодичний характер без перерегулювання, а тривалість самого перехідного процесу складає 6 с, при цьому статична похибка у системі відсутня.

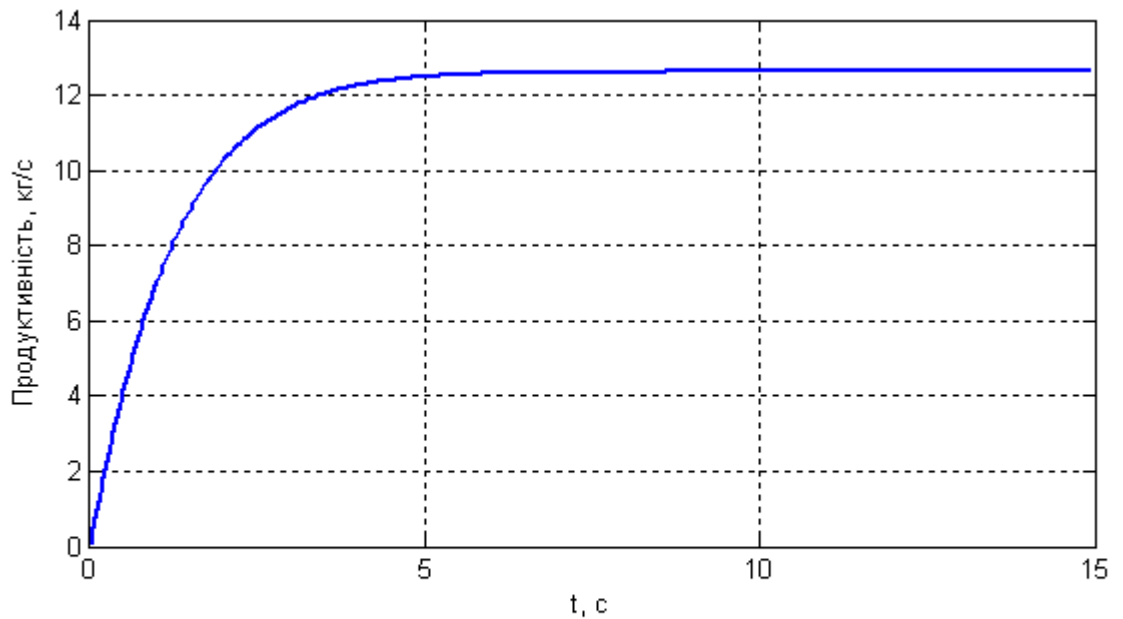


Рисунок 2.10 – Графік перехідного процесу САУ продуктивністю стрічкового дозатору коксу

Робимо висновок, що система забезпечуючи заданій продуктивності 13,88кг/с., в цілому задовольняє висунутим до системи вимогам.

2.4 Синтез САУ процесу підготовки компонентів шихти

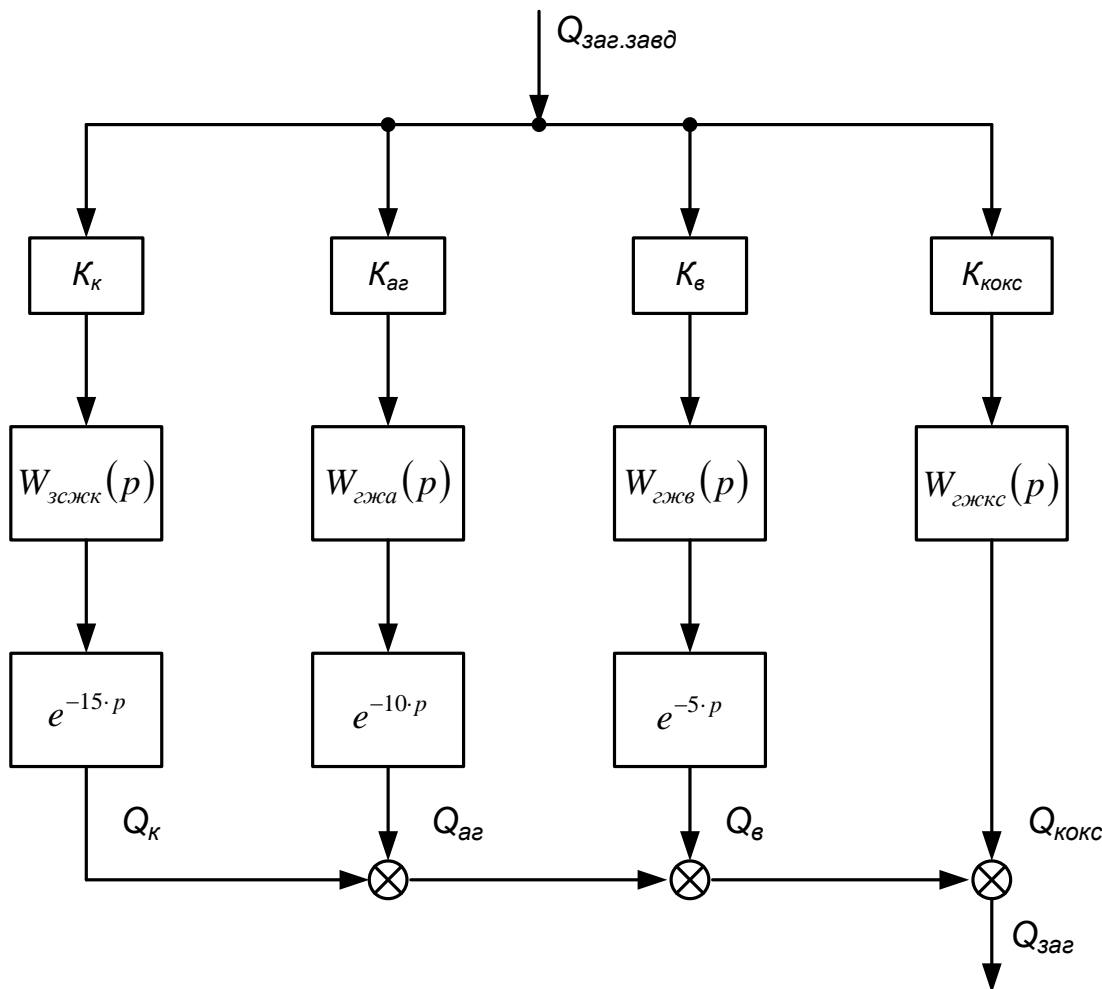
Аналіз технологічного процесу підготовки компонентів шихти на фабриці огрудкування свідчить, що найбільш ефективним рішенням є застосування системи автоматичного дозування компонентів шихти із паралельним з'єднанням дозаторів. Така система забезпечує гнучкість і точність у подачі кожного компонента відповідно до технологічних вимог (див. рисунок 2.1).

Особливості системи:

- Паралельне з'єднання дозаторів дає можливість одночасно регулювати продуктивність кожного дозатора залежно від потреб у складі шихти.

- Автоматичне управління дозуванням враховує вплив транспортних запізнень, що виникають під час транспортування компонентів від дозаторів до місця їх змішування чи використання.

На рисунку 2.11 представлено структурну схему САУ дозуванням із урахуванням транспортних запізнень.



$W_{зсжк}(p)$ – передаточна функція САК груповим дозатором концентрату, $W_{зжа}(p)$,
 $W_{зжв}(p)$, $W_{зжкс}(p)$ – передаточні функції групових дозаторів аглоруди, вапняку та коксу
 відповідно

Рисунок 2.11 – Структурна схема системи автоматичного дозування
 компонентів шихти

Основні елементи схеми:

- *Передаточні функції дозаторів*: характеризують динамічні властивості кожного дозатора при зміні швидкості подачі компонентів.
- *Ланки транспортного запізнення*: враховують час, необхідний для переміщення компонентів до місця зважування або змішування.

– *Контури регулювання швидкості дозаторів*: забезпечують стабільність подачі матеріалів.

– *Регулятори продуктивності*: формують сигнал керування для кожного дозатора на основі зворотного зв'язку.

– *Сенсори продуктивності*: забезпечують точне вимірювання витрат кожного компонента, необхідні для роботи зворотного зв'язку.

Переваги:

– *Точність дозування*: врахування транспортних запізнь мінімізує похибки при подачі матеріалів.

– *Гнучкість системи*: дозволяє швидко реагувати на зміну технологічних параметрів.

– *Оптимізація процесу*: забезпечує стабільний склад шихти, що відповідає заданим параметрам якості.

Ця система є ефективним рішенням для автоматизації процесу дозування в умовах агломераційних фабрик.

Груповий дозатор аглоруди

$$W_{\text{сжжл}}(p) = 3330 \cdot \frac{1 - e^{-10 \cdot p}}{p} . \quad (2.27)$$

Груповий дозатор вапняку

$$W_{\text{сжжв}}(p) = 1390 \cdot \frac{1 - e^{-10 \cdot p}}{p} . \quad (2.28)$$

Груповий дозатор коксу

$$|W_{\text{сжжк}}(p)| = 694 \cdot \frac{1 - e^{-5 \cdot p}}{p} . \quad (2.29)$$

2.5 Імітаційне моделювання автоматичної системи дозування КОМПОНЕНТІВ ШИХТИ

Для моделювання елементів системи автоматичного дозування шихтових матеріалів на аглофабриці раціонально використовувати пакет *Simulink*, що входить до складу *MATLAB*.

Модель індивідуального дискового дозатору представлена на рисунку 2.12.

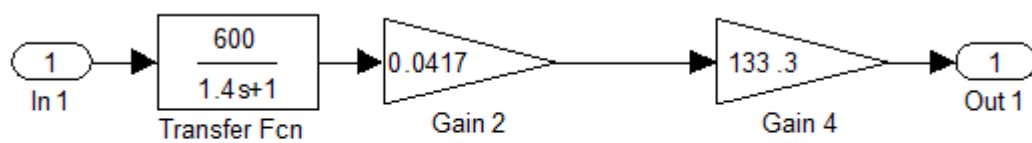


Рисунок 2.12 – Модель дискового дозатору концентрату

Утворимо підсистему (блок Subsystem) з моделі рис. 2.12, для моделювання групового дозатору. Транспортне запізнення, врахуємо за допомогою Transport Delay. Відповідно модель групового дозатору прийме вид, який зображено на рисунку 2.13.

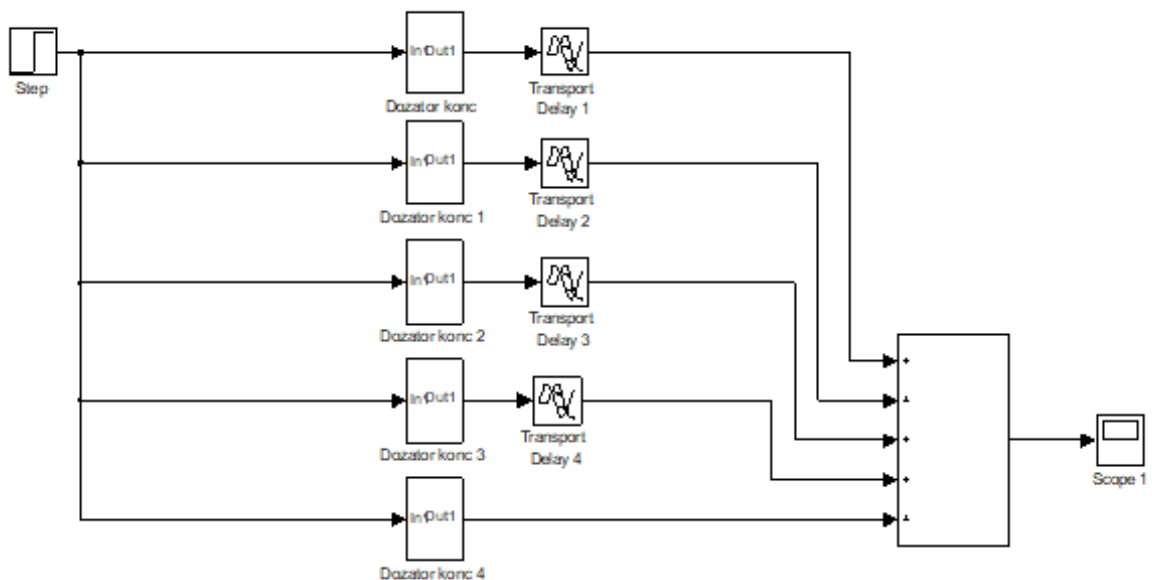


Рисунок 2.13 – Модель групового дозатору концентрату

Результати моделювання в груповому дозаторі концентрату наведено на рис. 2.14 (складається з 5 дискових дозаторів ДТ-200, сигналу завдання 20 мА).

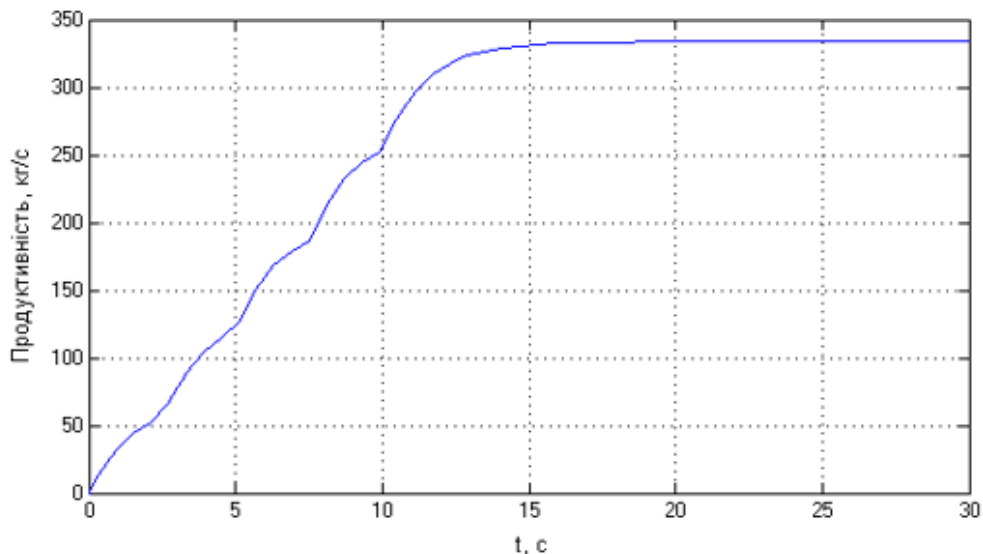


Рисунок 2.14 – Графік перехідного процесу в груповому дозаторі концентрату

Аналізуючи графік переконуємось у вірності апроксимації передатної функції функцією (2.26).

На основі структурної схеми замкнутої САК продуктивністю групового дозатору (рисунок 2.2), визначених передаточних функцій й розрахованих параметрів ПІ-регулятора складемо модель САД концентрату (рис. 2.15).

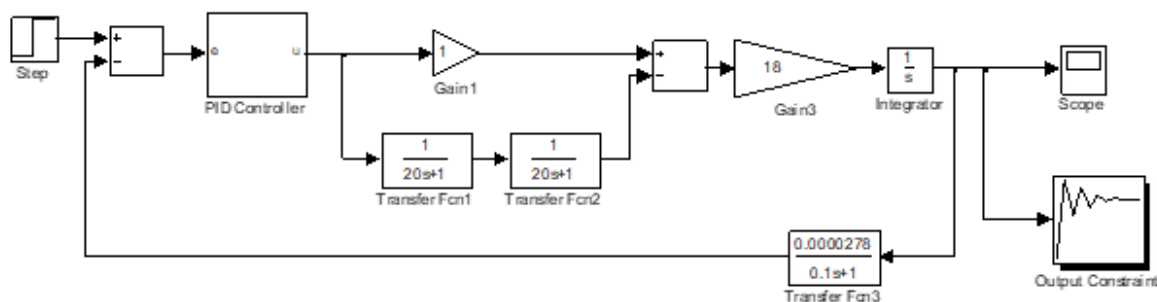


Рисунок 2.15 – Модель замкненої скорегованої САД концентрату на основі групового дозатору

Результати моделювання у САД концентрату наведений на рисунку 2.16.

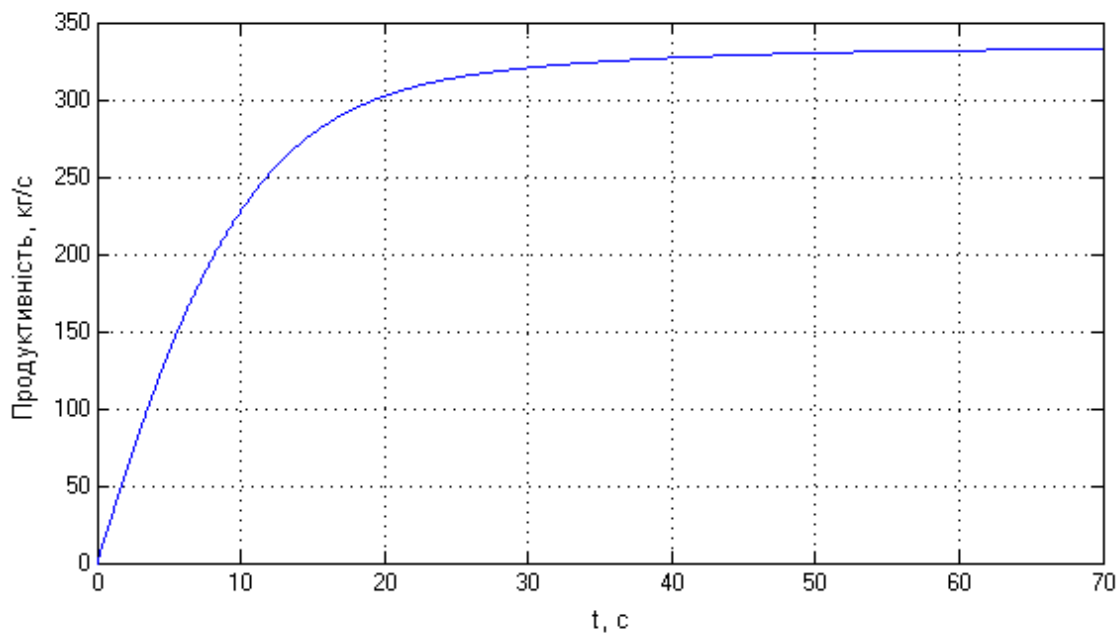


Рисунок 2.16 – Графік перехідного процесу в скорегованій САД концентрату

Модель САК продуктивністю індивідуального дозатору аглоруди (з ПІ-регулятором) наведено на рис.2.17.

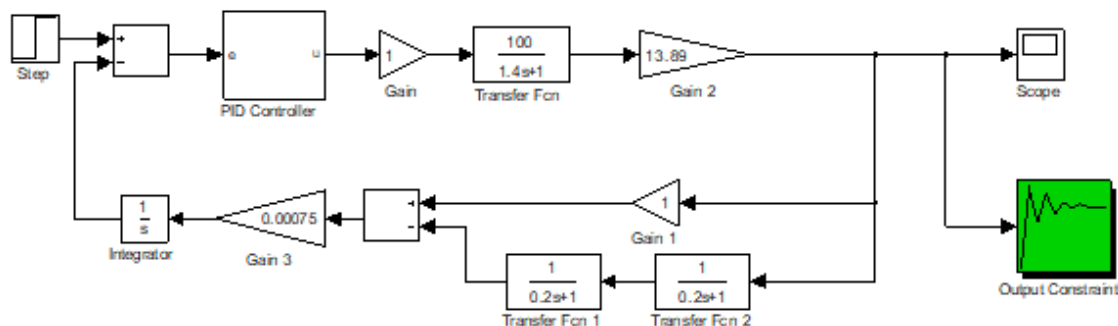


Рисунок 2.17 – Модель скорегованої САК продуктивністю дозатору аглоруди

Результати моделювання наведено на рисунку 2.18. Блок Output Constraint використано для знаходження параметрів ПІ-регулятора.

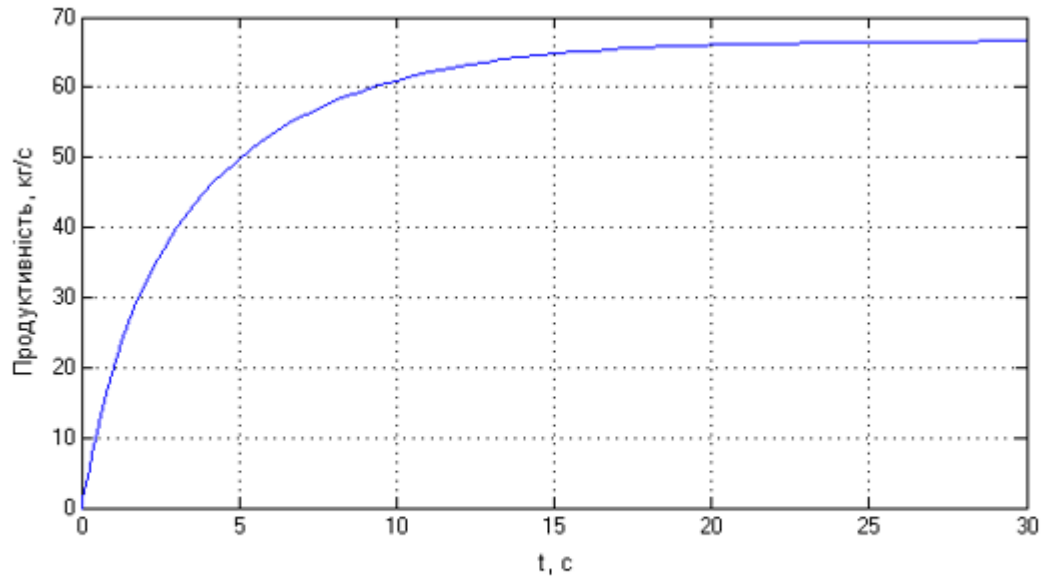


Рисунок 2.18 – Графік перехідного процесу в скорегованій САД аглоруди

Порівнянюючи графіки моделі та аналітично розрахованого (рис. 2.7), приходимо до висновку вірності проведених розрахунків.

Утворимо підсистему (блок Subsystem) з моделі рис. 2.17, для моделювання групового дозатору аглоруди. Транспортне запізнення, врахуємо за допомогою Transport Delay. Відповідно модель групового дозатору прийме вид, який зображено на рисунку 2.19.

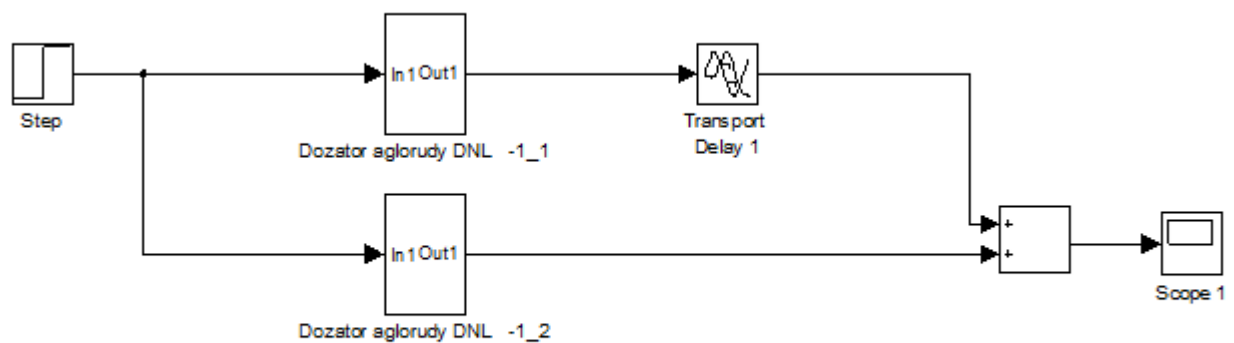


Рисунок 2.19 – Модель групового дозатору аглоруди

Результати моделювання групового дозатору аглоруди наведено на рисунку 2.20 (складається з 2 дозаторів, сигнал завдання 20 мА).

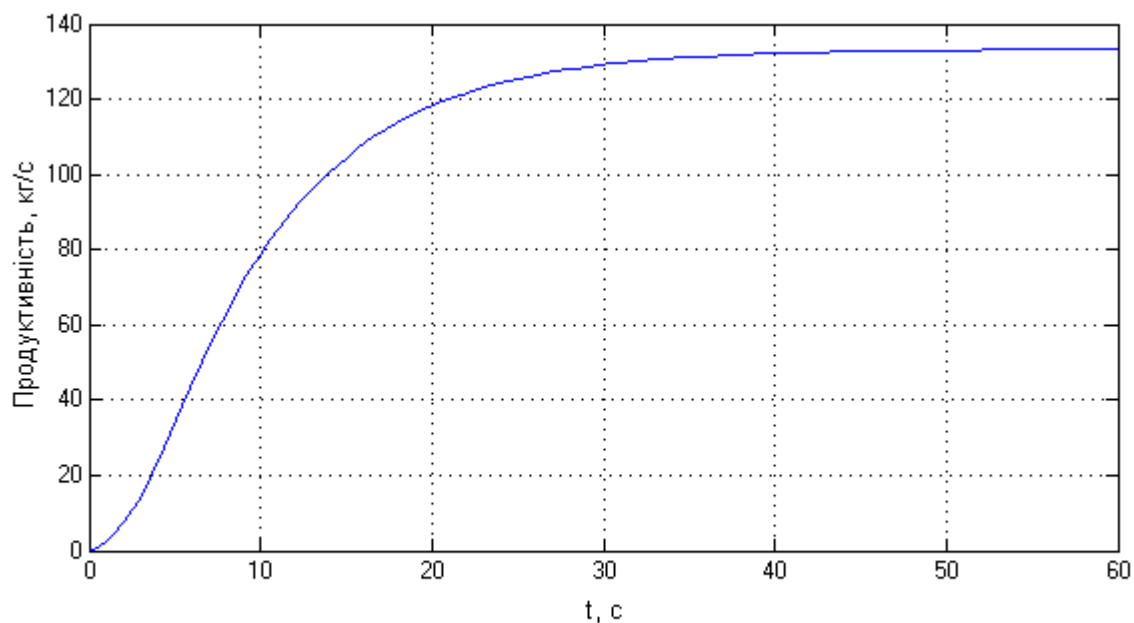


Рисунок 2.20 – Графік перехідного процесу в груповому дозаторі аглоруди

Модель САК продуктивністю індивідуального дозатору вапняку (з ПІ-регулятором) наведено на рис.2.21.

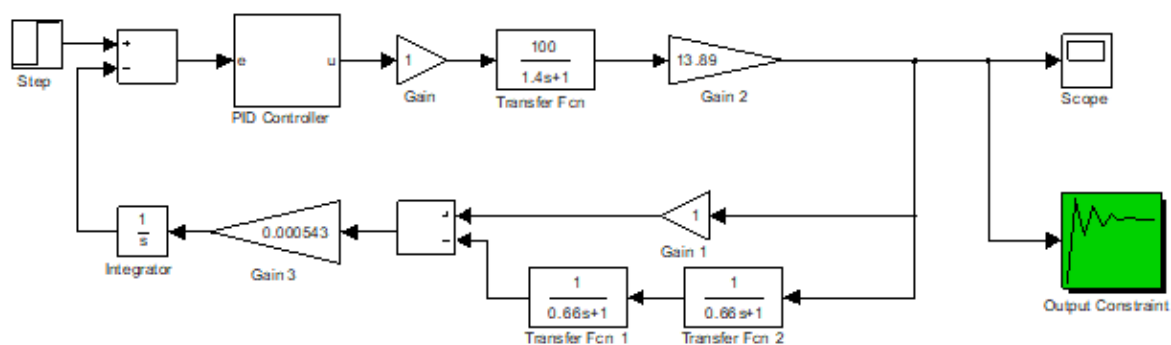


Рисунок 2.21 – Модель скорегованої системи автоматичного дозування вапняку

Результати моделювання у САД вапняку наведений на рисунку 2.22.

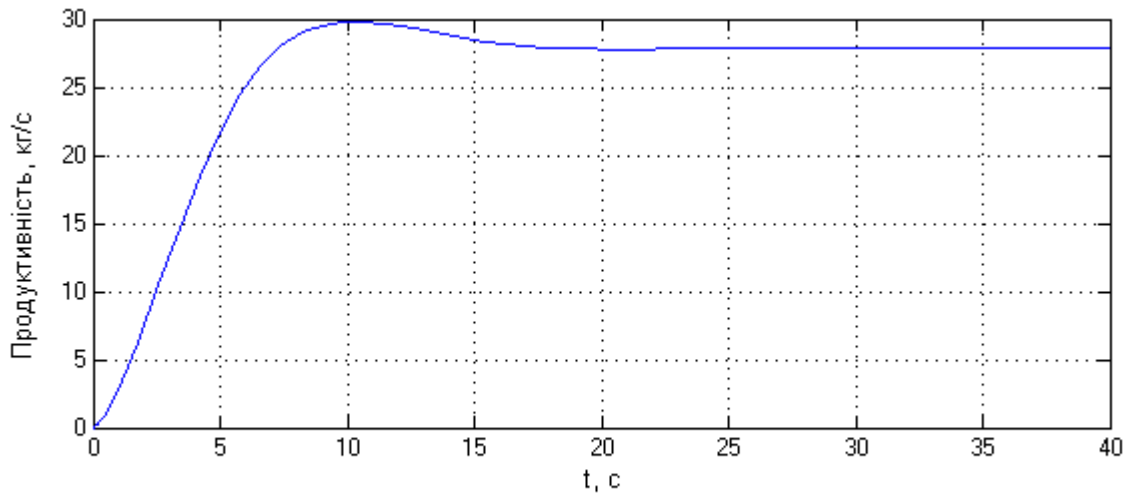


Рисунок 2.22 – Графік перехідного процесу в САД вапняку

Порівняння отриманого графіку з графіком, отриманим аналітичним шляхом (рисунок 2.11), підтверджує їх ідентичність.

Утворимо підсистему (блок Subsystem) з моделі рис. 2.26, для моделювання групового дозатору вапняку. Транспортне запізнення, врахуємо за допомогою Transport Delay. Відповідно модель групового дозатору вапняку прийме вид, який зображено на рисунку 2.23

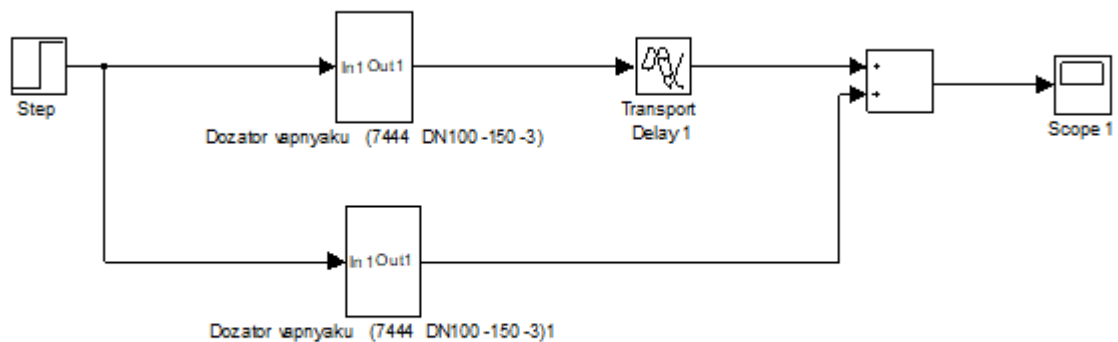


Рисунок 2.23 – Модель групового дозатору вапняку

Результати моделювання наведено на рис. 2.24, з урахування 2 стрічкових дозаторів та сигналу завдання 20 мА.

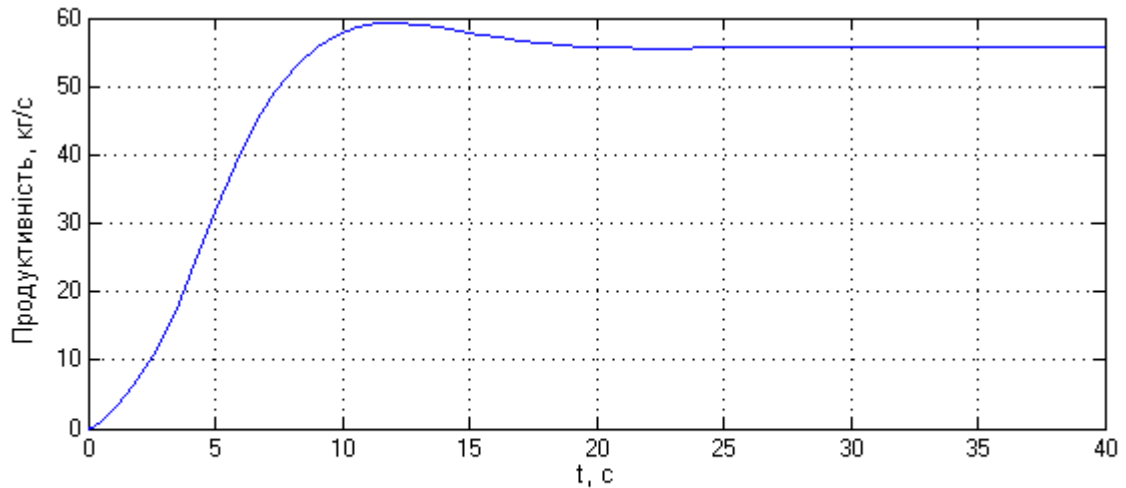


Рисунок 2.24 – Графік перехідного процесу в груповому дозаторі вапняку

Структура моделі дозатору коксу була отримана аналогічно до попередньої і наведена рис. 2.25.

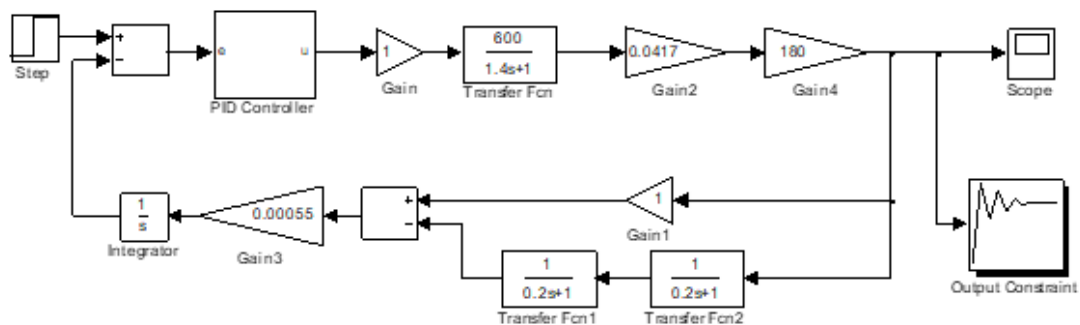


Рисунок 2.25 – Модель скорегованої системи автоматичного дозування коксу

Результати моделювання отриманої моделі наведені на рис. 2.26. Порівнюючи результати отримані під час моделювання даної моделі з результатом моделювання виконаного за аналітичною моделю (рис.2.9) переконуємось у вірності отриманих результатів.

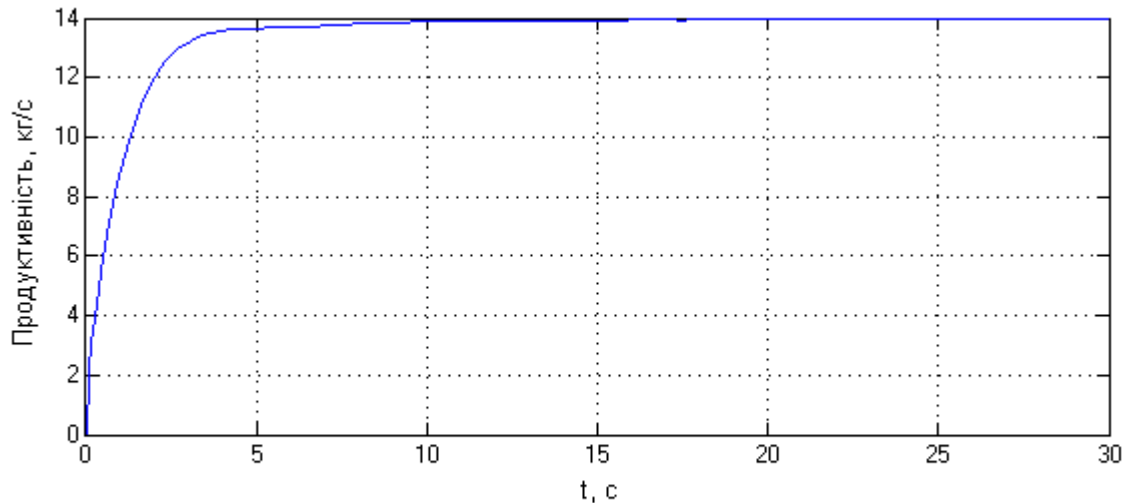


Рисунок 2.26 – Графік переходного процесу в САД коксу

Утворимо підсистему (блок Subsystem) з моделі рис. 2.25, для моделювання групового дозатору коксу. Транспортне запізнення, врахуємо за допомогою Transport Delay. Відповідно модель групового дозатору прийме вид, який зображено на рисунку 2.27.

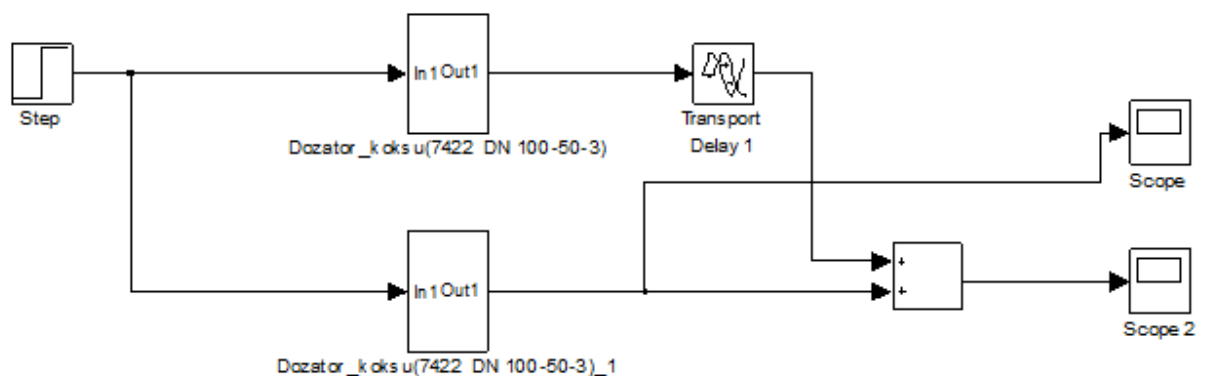


Рисунок 2.27 – Модель групового дозатору коксу

Результати моделювання наведено на рис. 2.28, з урахуванням 2 стрічкових дозаторів та сигналу завдання 20 мА.

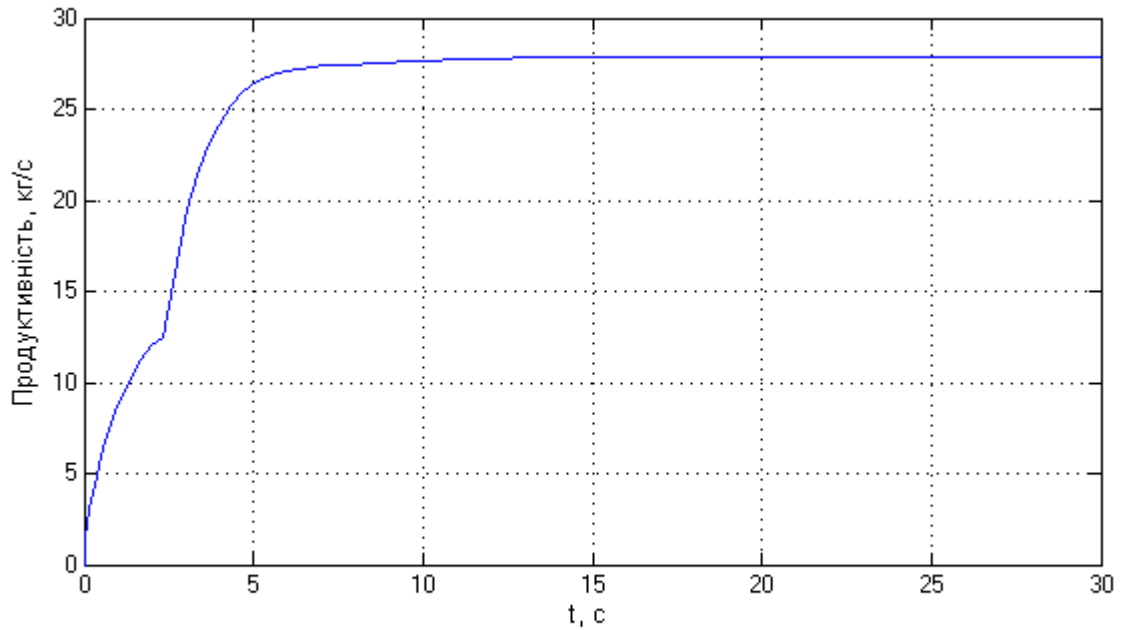


Рисунок 2.28 – Графік перехідного процесу в груповому дозаторі коксу

На основі висновків, зроблених в попередніх пунктах модель синтезованої системи автоматичного дозування компонентів шихти можна зобразити у вигляді, наведеному на рисунку 2.29.

В даній моделі блоку «Grup dozator koncentrata» відповідає модель, наведена на рисунку 2.12, блоку «Grup dozator aglorudy» – модель на рисунку 2.13, блоки «Grup dozator varnyaka» та «Grup dozator koksu» реалізують моделі на рисунках (2.23) та (2.27) відповідно. Блоки «Transport Delay», «Transport Delay 1» та «Transport Delay 2» моделюють час переміщення матеріалу від місць розвантаження відповідних матеріалів (концентрат, аглодура, вапняк) на збірний конвеєр №47 до конвеєрних терезів.

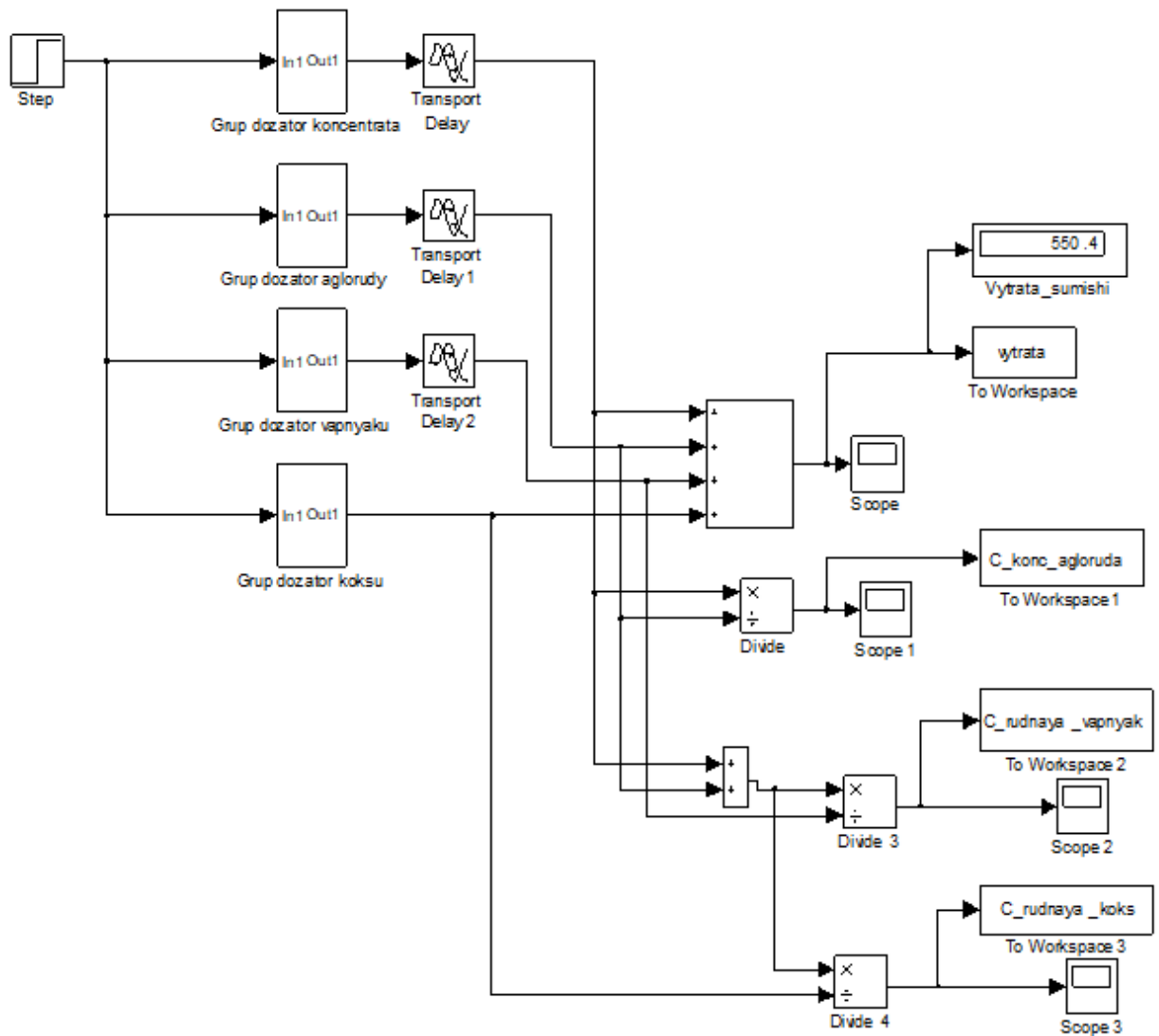


Рисунок 2.29 – Модель системи автоматичного дозування компонентів шихти

Оцінку якості САД компонентів шихти найкраще зробити шляхом аналізу графіків перехідних процесів співвідношення між дозуючими матеріалами.

Відповідно:

- рисунок 2.30 відображає співвідношення між витратами концентрату й аглоруди;
- рисунок 2.31 співвідношення між витратами рудної частини й вапняку;
- рисунок 2.32 співвідношення між витратами рудної частини й коксу.

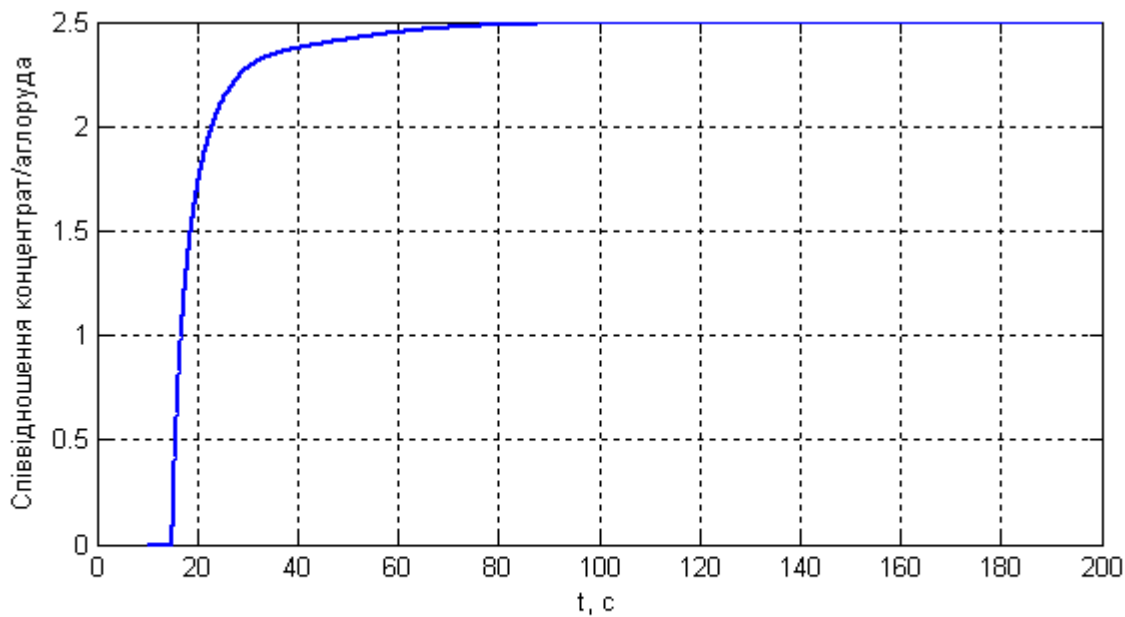


Рисунок 2.30 – Графік переходного процесу співвідношення між витратою концентрату та аглоруди

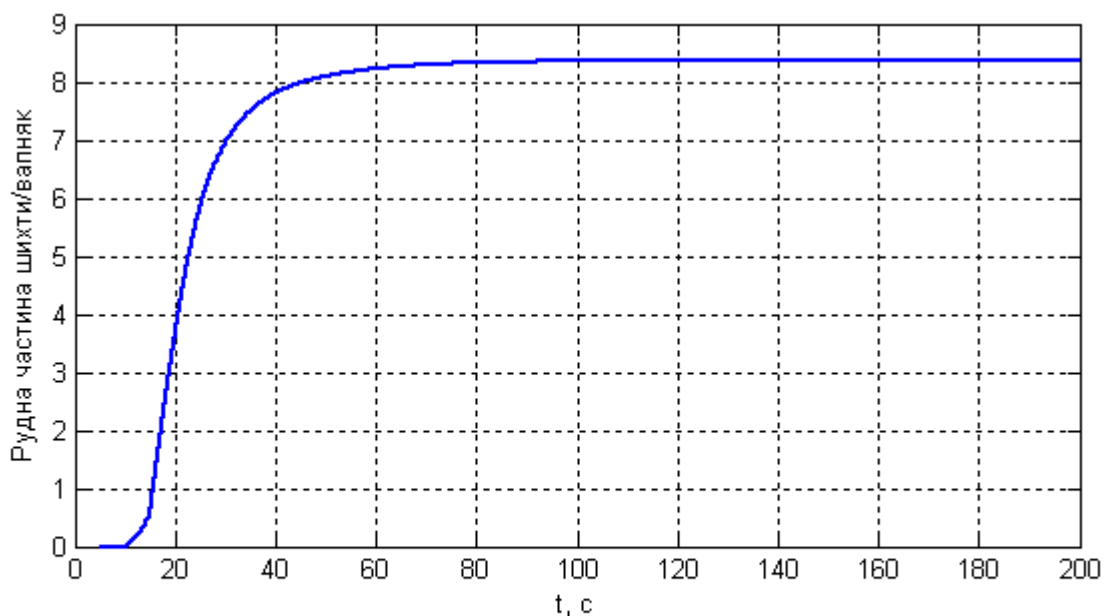


Рисунок 2.31 – Графік переходного процесу співвідношення між витратою рудної частини шихти та вапняком

Результати моделювання витрат усіх компонентів суміші в розробленій САД компонентів шихти на фабриці огрудкування наведено на рисунку 2.33.

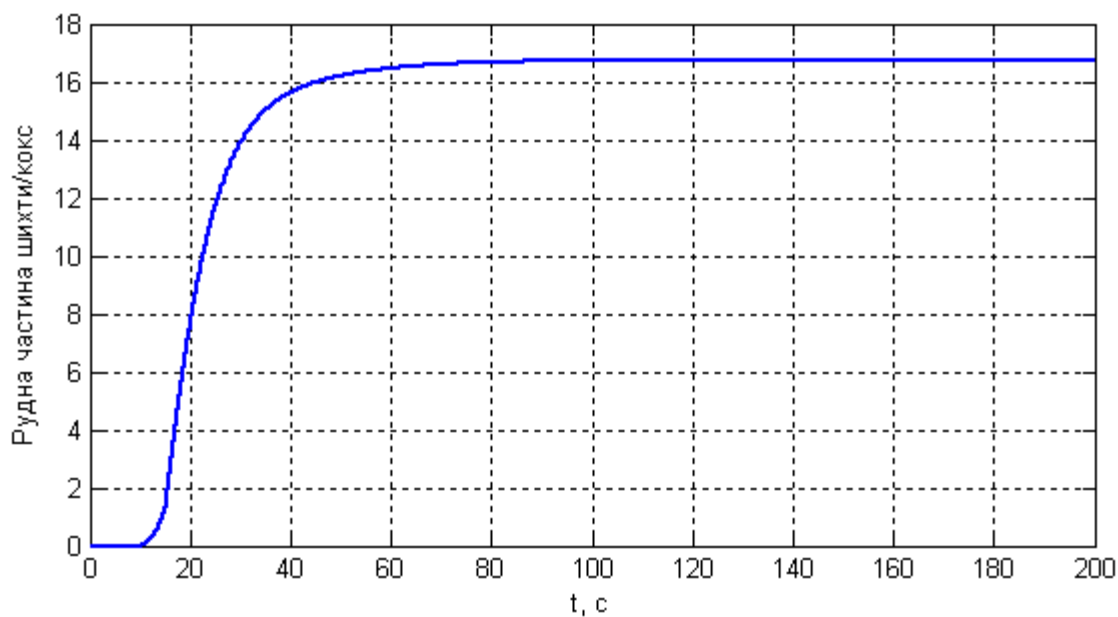


Рисунок 2.32 – Графік перехідного процесу співвідношення між витратою рудної частини шихти та коксом

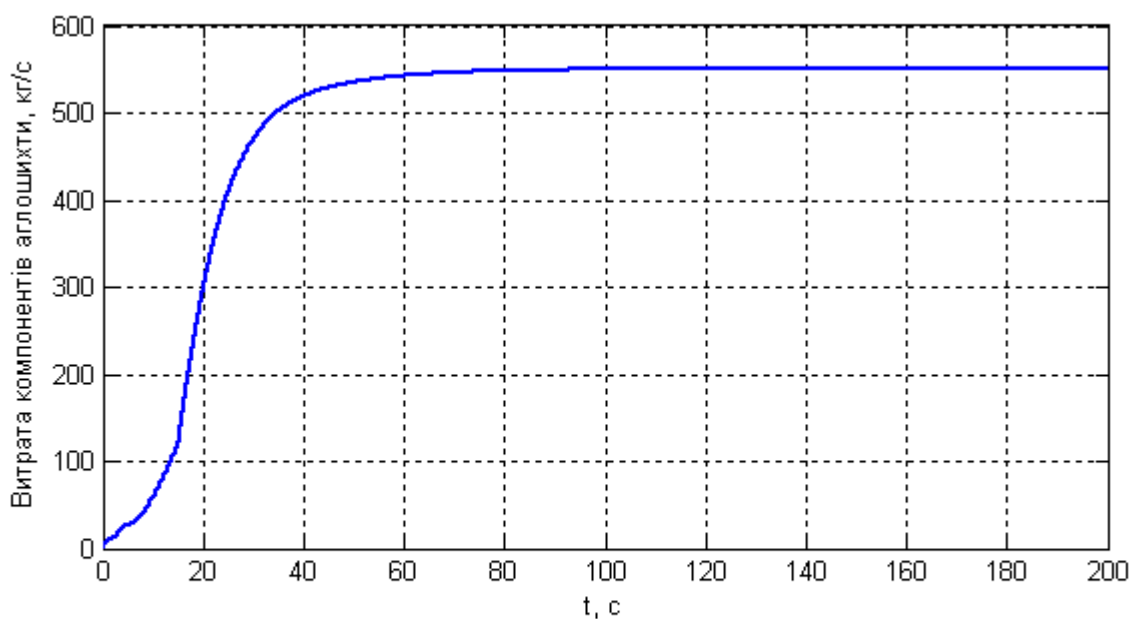


Рисунок 2.33 – Графік перехідного процесу за витратою компонентів агломераційної шихти

Аналізуючи наведені результати моделювання робимо висновок, що розроблена САД компонентів шихти забезпечує *minimize* середньоквадратичного відхилення співвідношення витрат. Розроблена система відпрацьовує необхідні співвідношення між витратами компонентів:

- концентрат й аглоруда (2,5:1);
- рудна частина шихти й вапняк (8,4:1);
- рудна частина шихти й кокс (16,7:1).

Тривалість перехідного процесу складає близько 60 с. Система має близько 10 с. транспортного запізнення, яке пов'язане з часом переміщення концентрату.

На основі виконаного комп'ютерного моделювання розробленої системи автоматизації процесу дозування компонентів шихти можна зробити наступні висновки:

- *Відповідність вимогам:*
 - Система автоматичного керування (САК) забезпечує високу точність дозування компонентів аглошихти, дотримуючись заданих параметрів якості (основність, вміст заліза та вуглецю).
 - Виконані симуляції підтвердили стабільність роботи системи та її здатність ефективно реагувати на змінні умови технологічного процесу.
- *Переваги системи:*
 - Оптимальне управління дозаторами за допомогою адаптивних алгоритмів стабілізації вмісту заліза та основності агломерату.
 - Використання сучасних ПІ-регуляторів дозволило усунути статичні похибки та забезпечити мінімізацію перехідних процесів.
 - Врахування транспортних запізнень дозволило підвищити точність і узгодженість роботи всієї системи.
- *Готовність до впровадження:*
 - Моделювання підтвердило, що система відповідає всім вимогам, висунутим до систем автоматичного дозування компонентів шихти.

– Система має потенціал для успішного впровадження у виробничі умови агломераційної фабрики, що дозволить підвищити ефективність і стабільність технологічного процесу.

– *Рекомендації:*

– Впровадити систему автоматизації у виробничий процес аглофабрики.

– Провести навчання персоналу для роботи з новою системою контролю та візуалізації.

– Забезпечити постійний моніторинг роботи системи після впровадження для аналізу її ефективності та можливого подальшого вдосконалення.

Таким чином, розроблена система автоматичного дозування компонентів шихти є сучасним і надійним рішенням, що відповідає виробничим вимогам аглофабрики.

Висновки до розділу:

На основі аналізу існуючих структур систем автоматичного дозування шихти визначено, що оптимальна структура системи має забезпечувати:

– Гнучке управління паралельно працюючими дозаторами:

– Використання індивідуальних контурів керування для кожного дозатора для підтримання їхньої продуктивності.

– Централізоване керування співвідношенням витрат компонентів шихти через систему верхнього рівня.

– Інтеграцію із системою контролю якості шихти:

– Автоматичний розрахунок коефіцієнтів співвідношення витрат компонентів відповідно до заданих технологічних параметрів (основність, вміст заліза тощо).

– Адаптивність системи:

– Можливість коригування режимів роботи дозаторів залежно від змін у складі компонентів або виробничих умов.

Найбільш об'єктивним критерієм оцінки роботи окремого дозатора є середньоквадратичне відхилення продуктивності. Для оцінки якості роботи системи в цілому доцільно використовувати середньоквадратичне відхилення коефіцієнта співвідношення витрат компонентів. Цей критерій дозволяє оцінити узгодженість роботи всіх дозаторів у системі та відповідність заданим параметрам.

Ці критерії дозволяють забезпечити високу якість дозування, мінімізувати похибки і покращити стабільність технологічного процесу в умовах агломераційного цеху.

Для розрахунку заданих витрат компонентів аглошихти запропоновано використання двох ключових алгоритмів:

- Алгоритм стабілізації вмісту заліза:
 - Використовується для визначення витрати аглоруди залежно від витрати концентрату.
 - Забезпечує підтримання постійного вмісту заліза в суміші рудних компонентів.
 - Алгоритм стабілізації основності агломерату:
 - Розраховує необхідну витрату вапняку та коксу для забезпечення заданої основності шихти.
 - Спрямований на точне підтримання хімічного складу суміші.

На основі математичних моделей елементів системи дозування створено структуру системи автоматичного керування, яка включає:

- Контури регулювання дозаторів.
- Централізовану систему розрахунку завдань.

Для перевірки ефективності розробленої системи було проведено комп'ютерне моделювання із використанням MATLAB/Simulink. Результати моделювання підтвердили:

- Високу точність керування:

- Система забезпечує стабільне дотримання заданих параметрів вмісту заліза та основності.
- Відсутність значних перерегулювань і коливань.
- Швидкодію системи:
- Перехідні процеси мають мінімальну тривалість без негативного впливу на якість керування.
- Мінімізацію похибок дозування:
- Витрати компонентів шихти відповідають розрахунковим значенням із мінімальним відхиленням.

Розроблена система автоматичного керування процесом дозування шихтових матеріалів:

- Забезпечує стабільну роботу дозаторів і підтримує високі якісні показники шихти.
- Відповідає вимогам, висунутим до систем автоматичного дозування компонентів шихти, включаючи точність, стабільність, гнучкість і адаптивність.

РОЗДІЛ 3

РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ПРАКТИЧНА АПРОБАЦІЯ ПІДСИСТЕМИ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ПІДГОТОВКИ КОМПОНЕНТІВ ШИХТИ

3.1 Програмна реалізація підсистеми візуалізації процесу підготовки компонентів шихти

Для реалізації підсистеми візуалізації процесу підготовки компонентів шихти було вирішено використати програмне забезпечення PLCnext Engineer, яке використовується для розробки систем керування на базі ПЛК PLCnext серії АХС F виробництва компанії Phoenix Contact. Перевагами даного рішення є сучасна програмно-апаратна платформа з потужними обчислювальними можливостями, гнучка архітектура, підтримка широкого кола інтеграційних технологій та протоколів, можливість розробки веб-версії для людино-машинного інтерфейсу, наявність безкоштовної версії середовища розробки та емулятора ПЛК.

Дизайн сторінок підсистеми візуалізації процесу підготовки компонентів шихти було вирішено розробляти з урахуванням вимог міжнародного стандарту ISA-101, тому основні вузли та механізми тракту подачі шихтових матеріалів позначені на головному екрані схематично. Так, на рис. 3.1 зображено головний екран, на якому відображаються:

- бункери концентрату, під якими відображається швидкість обертання дискових живильників концентрату;
- бункери та стрічкові живильники аглоруди, під якими відображається поточне вимірне значення продуктивності (у т/год та кг/с), а також швидкість стрічки;
- бункери та стрічкові живильники вапняку, під якими відображається поточне вимірне значення продуктивності (у т/год та кг/с), а також швидкість стрічки;

– бункери та стрічкові живильники коксу, під якими відображається поточне вимірне значення продуктивності (у т/год та кг/с), а також швидкість стрічки;

– збірний конвеєр потоку шихтових матеріалів, під яким зліва відображається швидкість руху (у м/с).

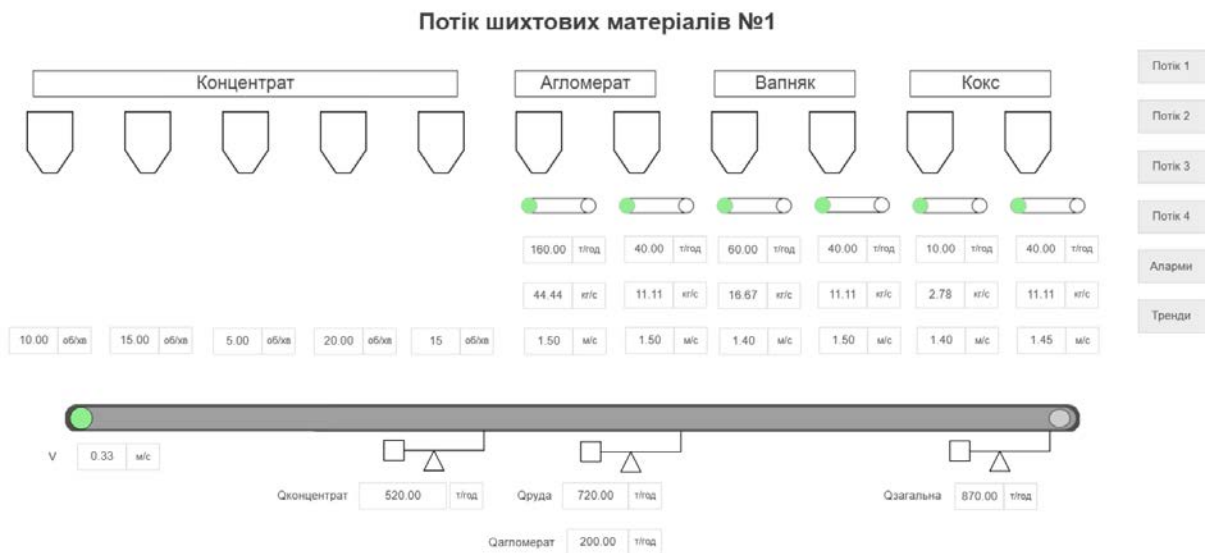


Рисунок 3.1 – Головний екран підсистеми візуалізації процесу підготовки компонентів шихти

Також під збиральним конвеєром відображені покази конвеєрних терезів, що вимірюють загальну поточну витрату концентрату $Q_{\text{концентрат}}$, витрату рудної частини шихти $Q_{\text{руда}}$ (тобто суми витрати концентрату та аглоруди), а також загальну витрату усіх компонентів шихти ($Q_{\text{загальна}}$).

Для стрічкових живильників аглоруди, вапняку та коксу, а також для збирального конвеєра відображається стан роботи:

- зелений – механізм у роботі;
- чорний – механізм вимкнений;
- сірий – відсутні дані про стан механізму.

Аналогічні вікна розроблені для потоків матеріалів №2-4, і на кожному екрані у правій частині розташований блок кнопок для переключення на сторінку відповідного потоку.

Оскільки реальні дані від датчиків (конвеєрних терезів, датчиків швидкості живильників) та релейно-контакторної схеми про стан виконавчих механізмів відсутні, було прийнято рішення також розробити сторінки для можливості здійснити програмну емуляцію сигналів. На рис. 3.2 наведено розроблений екран для симуляції роботи та основних параметрів потоку №1 шихтових матеріалів. Як видно з екрану, він забезпечує можливість змінювати стан основних механізмів (конвеєрів та дозаторів) тракту, симулювати настання тривоги, задавати поточне значення продуктивності та швидкості живильників, а також швидкості збирального конвеєра. Для керування станом механізмів використані кнопки (button), для керування аналоговими значеннями – елементи керування типу «повзунок» (slider).



Рисунок 3.2 – Екран симуляції роботи та основних параметрів потоку №1 шихтових матеріалів

Для візуалізації стану конвеєрів та живильників (у роботи/вимкнений) використано елемент *Ellipse* з розділу *Objects* палітри елементів НМІ вікна *Components*. Для динамічної зміни кольору при зміні значення пов'язаної змінної (рис. 3.3) до елемента додано анімацію типу «Fill», для якої вказана відповідна змінна (у нашому випадку *conveyor_on*), та у блоці *Condition* налаштовані кольори, які відображаються при відповідних значеннях змінної (*False* або *True*).

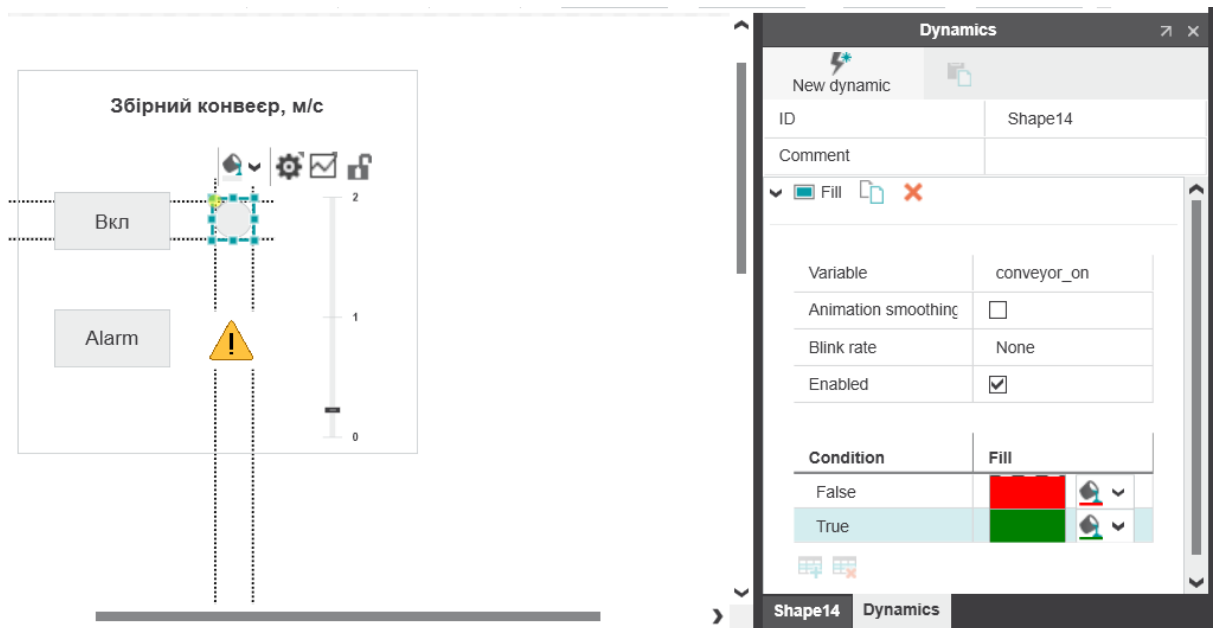


Рисунок 3.3 – Налаштування анімації стану механізму тракту підготовки компонентів шихти

Схожим чином реалізовано відображення тривоги, пов'язаної з певним механізмом. З цією метою використано елемент *Image* з розділу *Objects* палітри елементів НМІ вікна *Components*, для якого додано анімацію типу «Visibility» (рис. 3.4), яка дозволяє відображати або приховувати відповідний елемент у залежності від значення пов'язаної змінної (у нашому випадку *conveyor_alarm*). Як видно, для елемента встановлено значення *False* для властивості анімації *Hide when*, що означає, що даний елемент буде приховано, якщо змінна буде дорівнювати *False*.

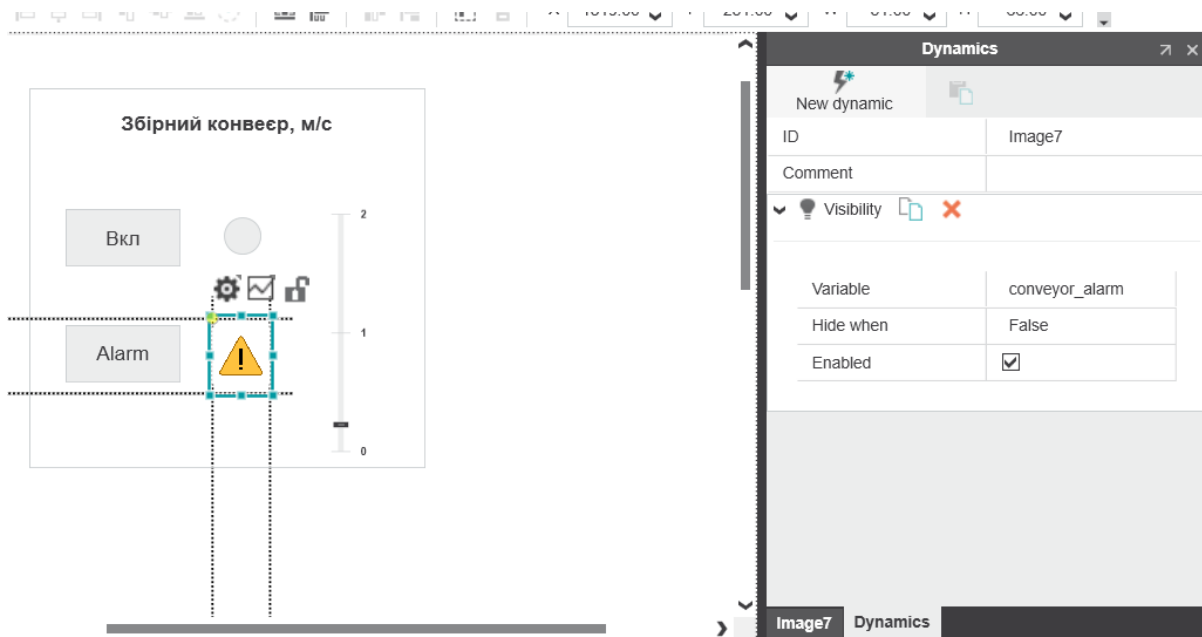


Рисунок 3.4 – Налаштування анімації відображення тривоги стосовно стану механізму збірного конвеєра

Для змінення значення аналогових характеристик процесу під час їх симуляції у блоках керування відповідними механізмами розміщені елементи керування типу «повзунок» (slider) з розділу Default->Symbols палітри елементів НМІ вікна Components. Пов'язування відповідного елемента зі змінною здійснюється на вкладці Parameters властивостей елемента керування типу «повзунок», де у полі Source Value (рис. 3.5) вказується необхідна змінна (у нашому випадку поточне значення витрати від 4го дозатору концентрату Qk4).

Також у вікні властивостей необхідно було виконати налаштування діапазону значень змінної, які встановлюються за допомогою слайдера (рис. 3.6). Для цього на вкладці Settings встановлюються параметри Scale minimum, Scale maximum, High range та Low range. За допомогою властивості Major tick interval встановлюється відстань між мітками на шкалі слайдера. Також існує можливість налаштувати розміщення міток значень, легенди та багатьох інших параметрів слайдера.

Після виконання вказаних налаштувань при переміщенні повзунка оператором буде відбуватися відповідне змінення пов'язаної змінної.

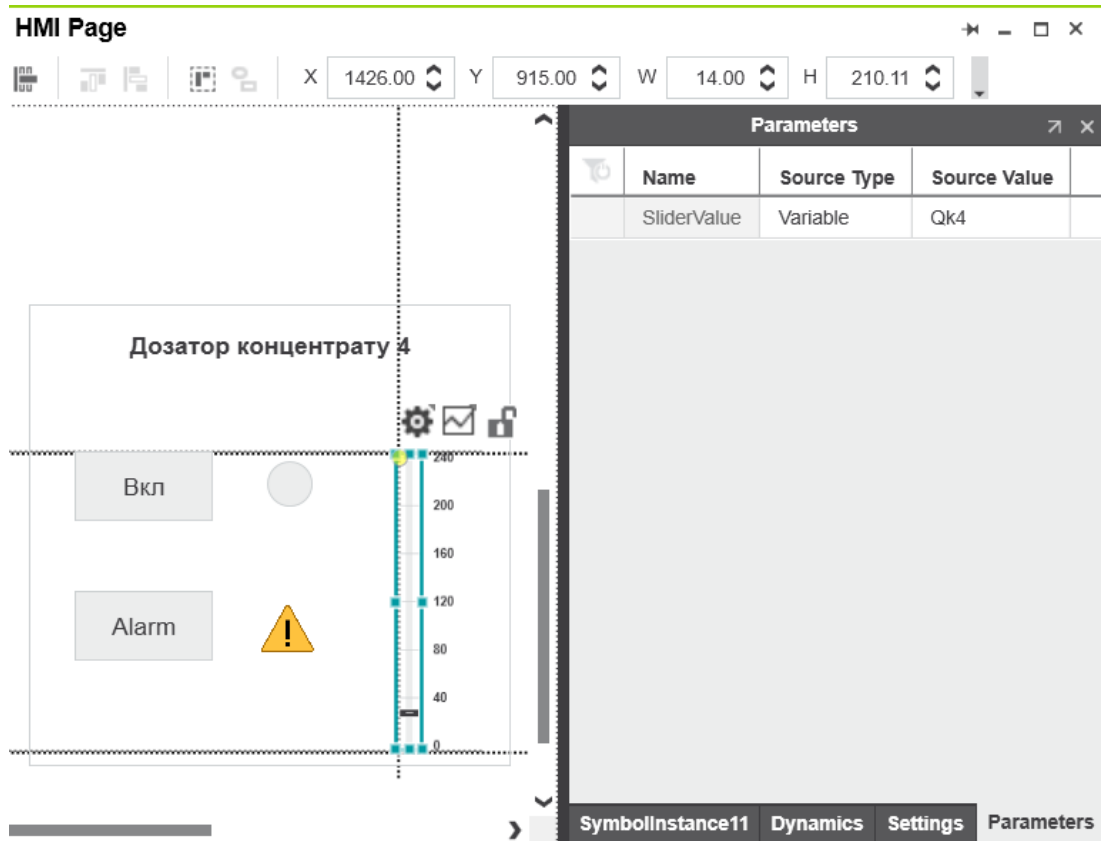


Рисунок 3.5 – Налаштування зв'язку слайдеру зі значенням змінної

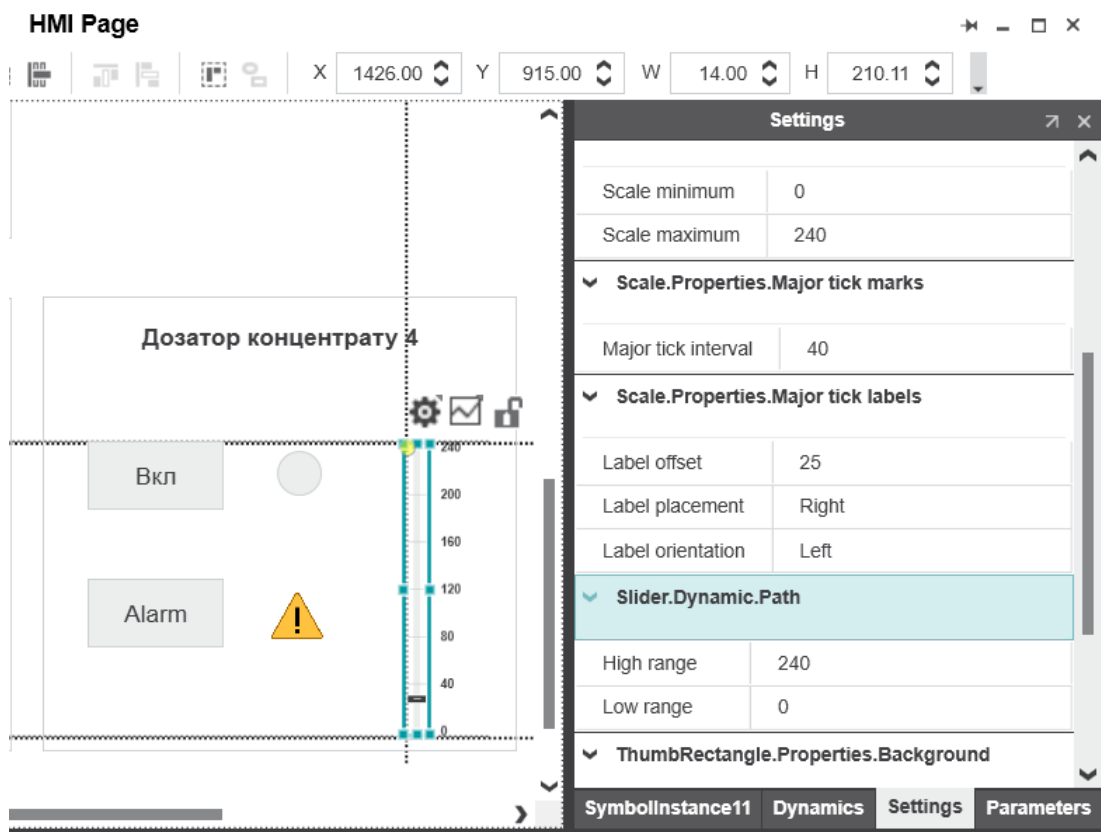


Рисунок 3.6 – Налаштування діапазону введення значень для слайдера

Як було вказано раніше, для забезпечення можливості симулювати зміну стану механізму передбачено відповідні кнопки, для яких налаштовано реакцію на подію натискання. Для цього до елементу Button додано анімацію типу «Action on click» (рис. 3.7), для якої вказано дію «Toggle value» і відповідну змінну (у нашому випадку для дозатору концентрату №5 – feeder_k5_on).

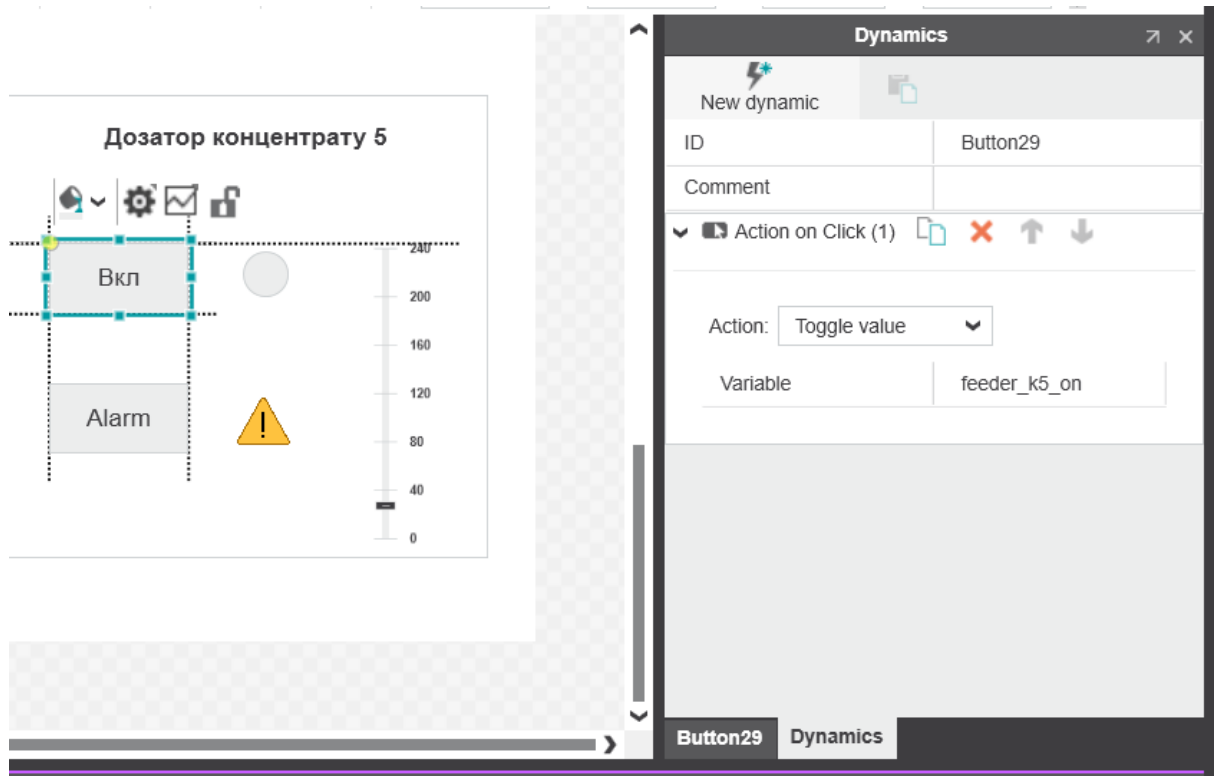


Рисунок 3.7 – Налаштування керування станом механізму за допомогою кнопки на екрані оператора

Для узгодженої поведінки системи візуалізації в режимі симуляції було вирішено розробити елементи керуючої програми для ПЛК, які реалізують додаткові перевірки правильності даних для візуалізації. Так, на рис. 3.8 наведено фрагмент програми на мові ST, яка переносить команди керування механізмами у значення змінних, що відповідають за стан механізмів. Також у коді даного фрагменту реалізовано встановлення значень витрат у 0 при вимкненні відповідних механізмів, як це відбувається у випадку зупинки механізму на реальному виробництві.

```

1 feeder_a1_state := feeder_a1_on;
2 feeder_a2_state := feeder_a2_on;
3 feeder_c1_state := feeder_c1_on;
4 feeder_c2_state := feeder_c2_on;
5 feeder_v1_state := feeder_v1_on;
6 feeder_v2_state := feeder_v2_on;
7 IF(feeder_a1_state=FALSE) THEN
8     Qa1:=0;
9 END_IF;
10 IF(feeder_a2_state=FALSE) THEN
11     Qa2:=0;
12 END_IF;
13 IF(feeder_c1_state=FALSE) THEN
14     Qc1:=0;
15 END_IF;
16 IF(feeder_c2_state=FALSE) THEN
17     Qc2:=0;
18 END_IF;
19 IF(feeder_v1_state=FALSE) THEN
20     Qv1:=0;
21 END_IF;
22 IF(feeder_v2_state=FALSE) THEN
23     Qv2:=0;
24 END_IF;
25 Qa1 n := Qa1 / 3.6;

```

Рисунок 3.8 – Фрагмент програми симуляції тракту підготовки компонентів
ШИХТИ

Також реальний технологічний процес характеризується певними змінами миттєвих значень основних параметрів, пов'язані з наявністю різних технологічних збурень. Для моделювання деякого коливання значень основних характеристик процесу навколо заданих значень було використано функцію `PBCL_SysRandom_1` з бібліотеки `PLCnextBase`, яка була додана та встановлена для проєкту. На рис. 3.9 наведено код виклику бібліотеки та реалізація випадкового змінення миттєвих значень основних показників.

```

31  PBCl_SysRandom_11(lrRandom => basicRandomVal);
32  Vc1 := TO_REAL(basicRandomVal)*0.2 +1.2;
33  Vc2 := TO_REAL(basicRandomVal)*0.2 +1.25;
34  Va1 := TO_REAL(basicRandomVal)*0.3 +1.2;
35  Va2 := TO_REAL(basicRandomVal)*0.25 +1.25;
36  Vv1 := TO_REAL(basicRandomVal)*0.3 +1.1;
37  Vv2 := TO_REAL(basicRandomVal)*0.25 +1.25;
38  Vk1 := Qk1 / 8 + TO_REAL(basicRandomVal)*0.2;
39  Vk2 := Qk2 / 8 + TO_REAL(basicRandomVal)*0.25;
40  Vk3 := Qk3 / 8 + TO_REAL(basicRandomVal)*0.1;
41  Vk4 := Qk4 / 8 + TO_REAL(basicRandomVal)*0.15;
42  Vk5 := Qk5 / 8 + TO_REAL(basicRandomVal)*0.05;
43  if(feeder_k1_on) THEN
44    Qk1:=0;
45  END_IF;
46  if(feeder_k2_on) THEN
47    Qk2:=0;
48  END_IF;
49  if(feeder_k3_on) THEN
50    Qk3:=0;
51  END_IF;
52  if(feeder_k4_on) THEN
53    Qk4:=0;
54  END_IF;
55  if(feeder_k5_on) THEN
56    Qk5:=0;
57  END_IF;
58  Qk_total:= Qk1 + Qk2 + Qk3 + Qk4 + Qk5;
59  Qa_total := Qa1 + Qa2;
60  Qrud_total:= Qa_total + Qk_total;
61  Qtotal := Qrud_total + Qv1 + Qv2 + Qc1 + Qc2;

```

Рисунок 3.9 – Фрагмент програми розрахунку основних характеристик та технічних параметрів тракту підготовки компонентів шихти

Для оператора тракту підготовки компонентів шихти важливо не лише спостерігати миттєві значення основних технологічних показників, але і мати можливість спостерігати динаміку розвитку процесу. З цією метою було вирішено додати вікно перегляду трендів процесу.

У ПЗ PLCnext для реалізації можливості збереження даних для їх подальшого відображення на трендах необхідно створити та налаштувати сесію

логування даних (Data Logger Session). Для цього потрібно обрати вузол PLCnext у вікні PLANT, та обрати вкладку Data Logger Sessions (рис. 3.10), після чого додати нову сесію логуювання даних (у даному випадку MySession).

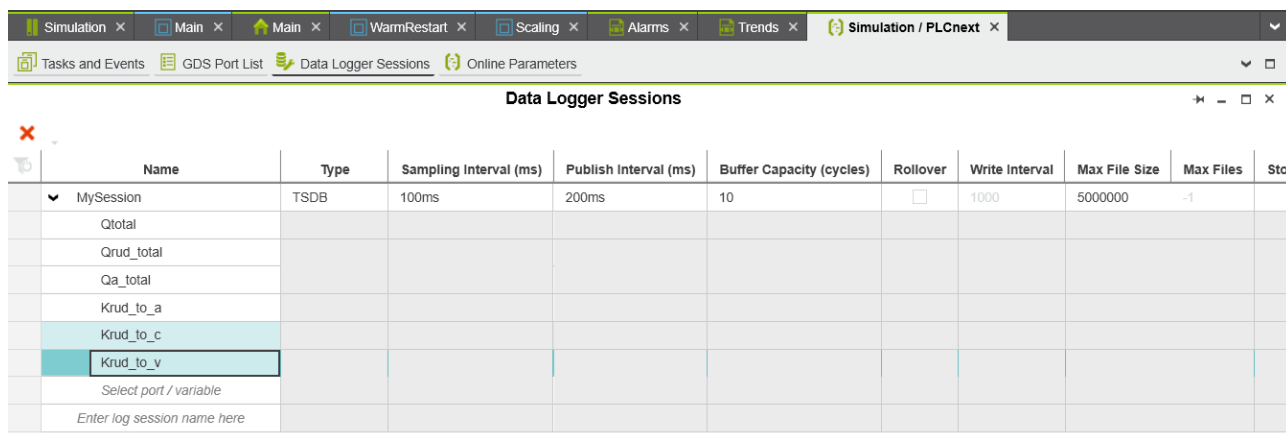


Рисунок 3.10 – Вікно налаштування сесії логуювання даних

До створеної сесії було додано змінні, значення яких потрібно зберігати для подальшої візуалізації на трендах.

Також для сесію потрібно вказати тип сесії (Type), інтервал сканування у мс (Sampling Interval), обсяг буферу (Buffer Capacity).

Для можливості симуляції обрано сесію типу TSDB – тобто з використанням бази даних часових рядів (TSDB), яка розташовується на контролері.

Для реалізації відображення трендів додано окремий екран, на якому розміщені графічні елементи типу «Діаграма» (Chart). Налаштування підключення діаграми до сеансу реєстратора даних TSDB наведено на рис. 3.11. Так, у полі Data logger session обрано раніше створену сесію MySession, а також вказано, скільки значень тренду відображати (Trend sample size).

На наступному етапі необхідно на вкладці Trends властивостей діаграми вказати, які саме змінні зареєстрованої сесії логуювання відображати та обрати колір пера, забезпечивши таким чином візуалізацію та моніторинг динаміки розвитку значень даних, що зберігаються в базі даних (рис. 3.12).

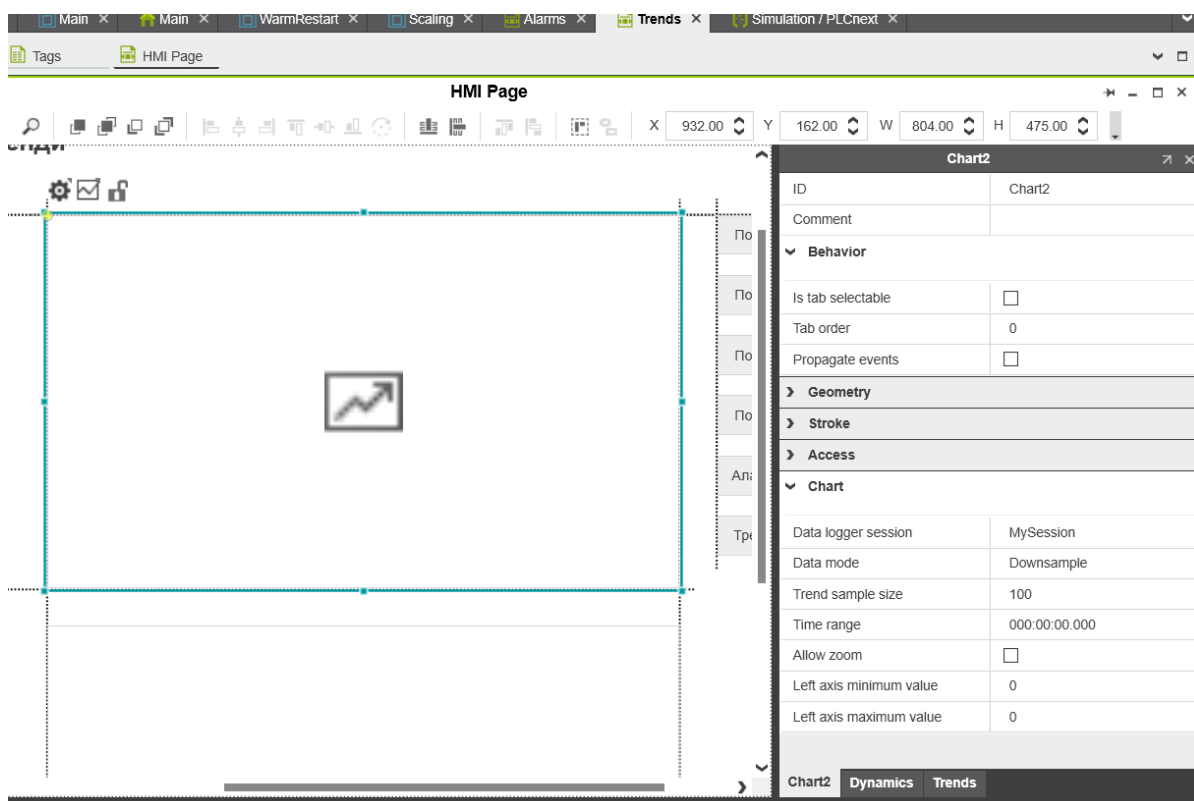


Рисунок 3.11 – Налаштування підключення діаграми до сеансу реєстратора даних TSDB

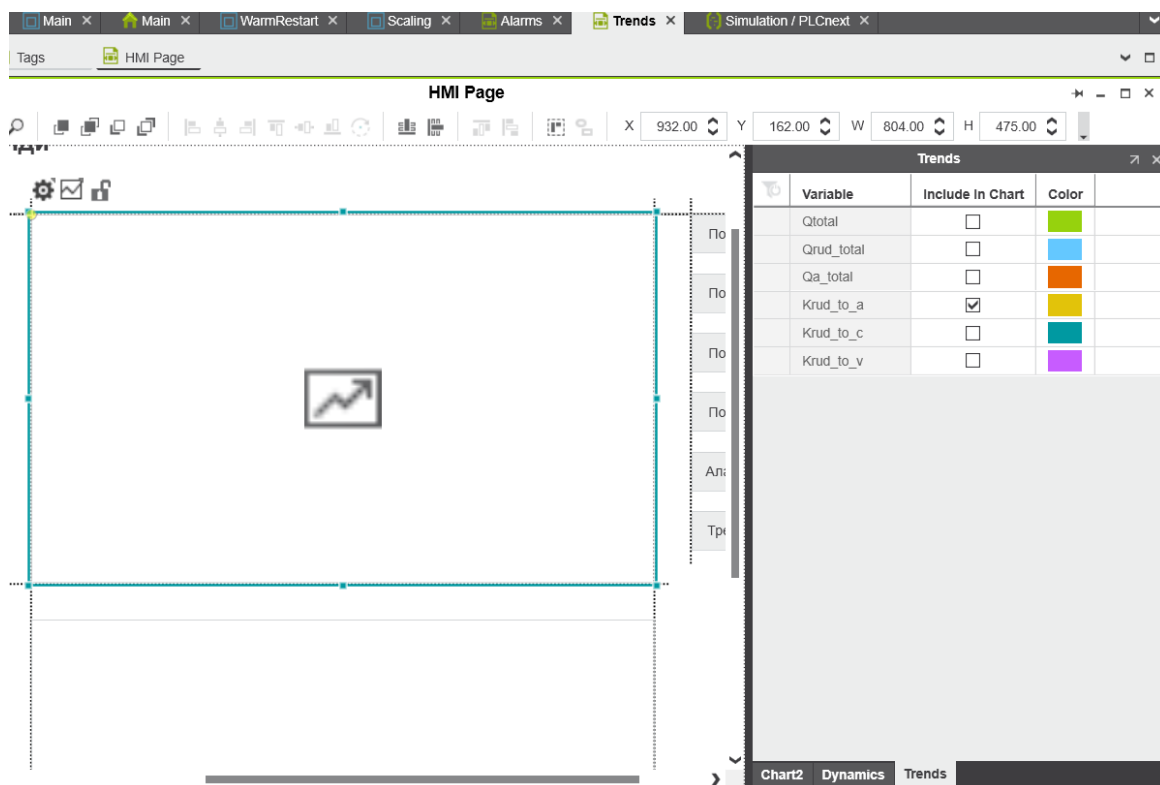


Рисунок 3.12 – Налаштування відображення характеристик процесу підготовки КОМПОНЕНТІВ ШИХТИ

На рис. 3.13 наведено результати апробації розробленого екрану трендів для тракту механізмів підготовки компонентів шихти. Зокрема, на екрані відображаються наступні технологічні показники:

- співвідношення між рудною частиною шихти та коксом (Krud_to_c);
- співвідношення між концентратом та аглорудою (Krud_to_a);
- співвідношення між рудною частиною шихти та вапняком (Krud_to_v);
- загальна витрата компонентів шихти (Qtotal).

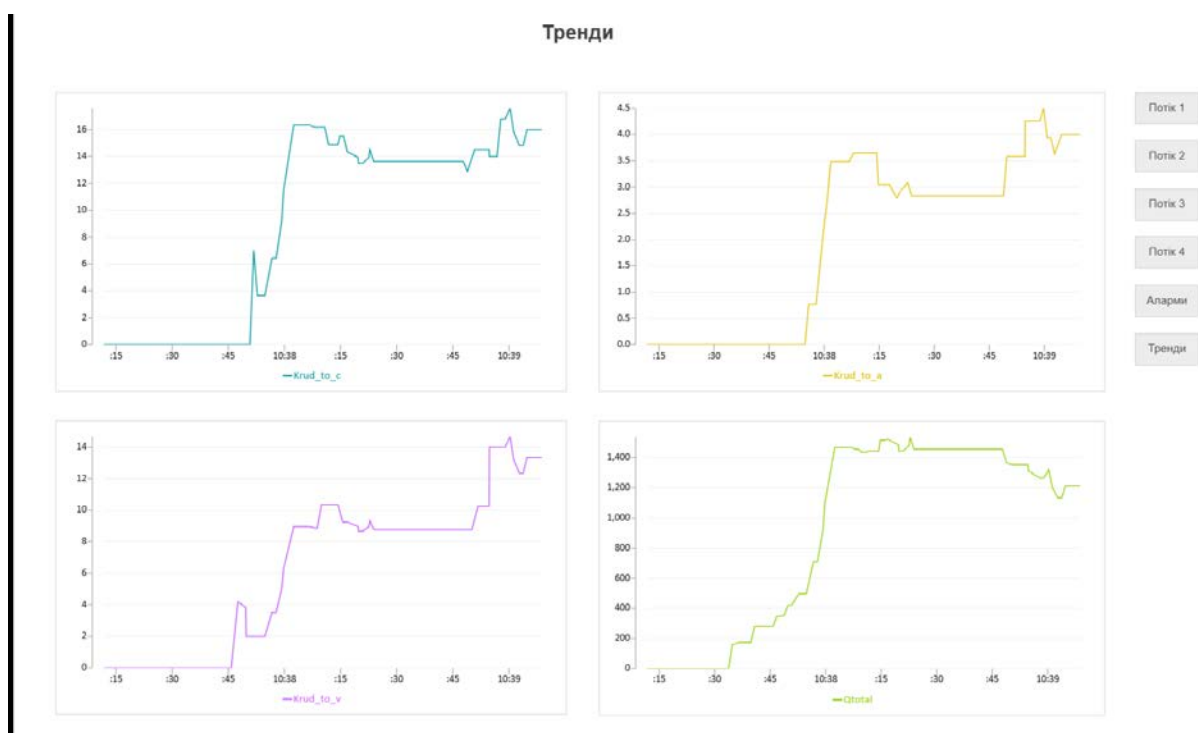


Рисунок 3.12 – Вікно відображення трендів підсистеми візуалізації процесу підготовки компонентів шихти

Висновки за розділом:

У даному розділі було розроблено та випробувано підсистему візуалізації процесу підготовки компонентів шихти. Реалізацію програмного забезпечення контролерного рівня та підсистеми візуалізації здійснено з використанням

інструментального ПЗ PLCnext Engineer, що дозволило розробити веб-орієнтовану систему диспетчерського контролю та керування.

Розроблена підсистема візуалізації забезпечує можливість відображення стану основних механізмів тракту шихтопідготовки, значень основних параметрів процесу, а також динаміку їх розвитку за допомогою трендів. Практична апробація з використанням реалізованої панелі симуляції підтвердила правильність прийнятих у проєкті рішень та працездатність розробленої системи.

ВИСНОВКИ

У роботі процес підготовки компонентів шихти та їх дозування, що є важливим етапом для забезпечення стабільності якості агломерату та ефективності технологічного процесу.

Проведено аналіз існуючої системи автоматизації процесу дозування шихтових матеріалів, у результаті чого виявлено низку недоліків. Основним з них є відсутність залежності витрати аглоруди від витрати концентрату. Це означає, що при зміні витрати концентрату витрата аглоруди залишається незмінною або змінюється незалежно, що призводить до постійного коливання співвідношення між концентратом і аглорудою в рудній частині шихти. У результаті спостерігаються значні коливання якісних характеристик агломерату, зокрема вмісту заліза та модуля основності.

Крім того, система не дозволяє регулювати продуктивність дозування концентрату шляхом зміни швидкості обертання дискових живильників, що обмежує її гнучкість і точність. Конвеєрні ваги, які використовуються в системі, не забезпечують необхідної точності через недосконалість чутливих елементів. Це призводить до помилок у формуванні сигналів керування дозаторами домішок, що погіршує якісні показники агломерату.

З урахуванням виявлених недоліків обґрунтовано доцільність модернізації автоматизованої системи керування процесом дозування шихтових матеріалів. Основна мета вдосконалення полягає у підвищенні точності дозування, стабілізації співвідношення компонентів шихти та забезпеченні кращої якості агломерату.

Для покращення інформаційного супроводу технологічного персоналу дільниці дозування шихтових матеріалів запропоновано створити систему контролю та візуалізації процесу.

На основі аналізу існуючих структур систем автоматичного дозування шихти визначено, що оптимальна структура системи має забезпечувати:

- Гнучке управління паралельно працюючими дозаторами:

- Інтеграцію із системою контролю якості шихти:
- Адаптивність системи:

На основі математичних моделей елементів системи дозування створено структуру системи автоматичного керування, а для перевірки ефективності розробленої системи було проведено комп'ютерне моделювання із використанням MATLAB/Simulink. Результати моделювання підтвердили:

- Високу точність керування.
- Швидкодію системи.
- Мінімізацію похибок дозування.

Для реалізації автоматизованої системи керування процесом підготовки шихтових матеріалів запропоновано наступну структуру комплексу технічних засобів. Запропонована структура комплексу технічних засобів та програмного забезпечення забезпечує:

- Високу точність та стабільність дозування шихтових матеріалів.
- Зручність управління та моніторингу через інтерактивний інтерфейс.
- Інтеграцію з іншими системами підприємства для покращення виробничих процесів.
- Створює комфортні умови для роботи технологічного персоналу та підвищує якість управління технологічним процесом.

Впровадження таких рішень сприятиме підвищенню ефективності роботи системи дозування та її адаптації до змін технологічних умов.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Автоматизация процессов окускования железных руд: [сб. науч. трудов]. К.: Институт автоматики, 1978. 152 с.
2. Федоровский В. В., Даньшин В. И. Автоматизация фабрик окускования железных руд и концентратов. М.: Metallurgy, 1986. 200 с.
3. Гончаров Ю. Г., Дримбо А. В., Ищенко А. Д. Автоматизация процессов окускования железных руд. М. : Metallurgy, 1983. 190 с.
4. Грейсух М.В. Электрооборудование и автоматизация обогатительных и агломерационных фабрик. М.: Metallurgy, 1971. 240 с.
5. Губанов В.И. Справочник агломератчика. Ч.: Черная Metallurgy, 1987. 207 с.
6. Момот В.Ю. Автоматизированный электропривод типовых виробничих механізмів. Навчальний посібник. Вінниця: ВДТУ, 1998. 129 с.
7. Платформа автоматизации Premium: Каталог оборудования фирмы Schneider Electric. М.: Изд-во SE, 2010.
8. Попович М. Г., Ковальчук О. В. Теорія автоматичного керування: Підручник. К.: Либідь, 1997. 544 с.
9. Сигов А.А. Агломерационный процесс. К.: Техніка, 1969. 232 с.
10. Теория и практика автоматизации агломерационного производства: [сб. науч. трудов]. К. : Институт автоматики, 1971. 216 с.
11. Токарчук И.И. Справочник энергетика обогатительных и окомковательных фабрик. М.: Недра, 1976. 439 с.
12. Барский Л.А. Системный анализ в обогащении полезных ископаемых. М.: Недра, 1978. 486 с.
13. Процуто В.С. Автоматизированные системы управления технологическими процессами обогатительных фабрик. М.: Недра, 1987. 253 с.
14. Хан Г.А. Опробование и контроль технологических процессов обогащения М.: Недра, 1979.253 с.

15. Моркун В.С. Адаптивные системы оптимального управления технологическими процессами. Кривой Рог: Минерал, 2005. 261 с.
16. Нестеров Г.С. Технологическая оптимизация обогатительных фабрик. М.: Недра, 1976. 120 с.
17. Кошарский Б.Д. Автоматизация управления обогатительными фабриками. М.: Недра, 1977. 527 с.
18. Сигул Р.И. Автоматизированное управление процессами обогащения и агломерации железных руд и концентратов. М.: Недра, 1989. 191 с.
19. Гончаров Ю.Г. Автоматический контроль и регулирование технологических процессов на железорудных обогатительных фабриках. М.: Недра, 1968. 227 с.
20. Барский Л.А. Критерии оптимизации разделительных процессов. М.: Наука, 1967. 118 с.
21. Лазаренко М.В. Принципы построения математических моделей показателей обогащения // Разработка рудных месторождений: Респ. міжвідомчий наук.-техн. збірник Мін. освіти і науки України// Кривий Ріг. 2000. №70. С. 81-85.
22. Олейников В.А. Автоматическое управление технологическими процессами в обогатительной промышленности. Л.: Недра, 1966. 356 с.
23. Марюта А.Н. Автоматическая оптимизация процесса обогащения руд на магнитообогатительных фабриках. М.: Недра. 1975. 231 с.
24. Троп А.Е. Автоматическое управление технологическими процессами обогатительных фабрик .Учебник для вузов. М.: Недра. 1986. 303 с.
25. Моркун В.С. Алгоритмы адаптивного управления процессами обогащения полезных ископаемых / Обогащение руд/ 1986. №6. С. 44-46.
26. Златорунская Г.Е. Оптимизация процессов рудоподготовки и обогащения руд различного минералогического состава ч. II, М.,1989 г., 186 стр.
27. 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.

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

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

30. 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)

31. 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)