

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет автоматизації виробництва та цифрових технологій
Кафедра автоматизації, електро- та робототехнічних систем

«Допущено до захисту»
Гарант ОПП

Олексій КОЙФМАН

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня магістра

за підсумками виконання
освітньо-професійної програми
«Інтелектуальні системи управління та робототехнічні комплекси в
гірничо-металургійному виробництві»
за спеціальністю 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології
та робототехніка

**на тему «Модернізація АСУ ТП дозування та огрудкування на
випалювальних машинах з урахуванням вологості концентрату і
шихти та гранулометрії сирих окатишів в умовах
гірничозбагачувального комбінату»**

Керівник роботи

Олексій КОЙФМАН

Консультант від
бази практики

Олег БОНДАР

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання
ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело*

Здобувач

Ігор СТЕБЕЛЬКО

Підсумкова оцінка за атестацію			
--------------------------------	--	--	--

Голова ЕК

Андрій ЛЕОНОВ

Запоріжжя 2025



ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет	<u>автоматизації виробництва та цифрових технологій</u>
Кафедра	<u>автоматизації, електро- та робототехнічних систем</u>
Освітньо-кваліфікаційний рівень	<u>магістр</u>
Спеціальність	<u>174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка</u>
ОПП	<u>Інтелектуальні системи управління та робототехнічні комплекси в гірничо-металургійному виробництві</u>

ЗАТВЕРДЖУЮ
Гарант ОПП

Олексій КОЙФМАН

27.11.2024 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

СТЕБЕЛЬКА Ігоря Євгеновича
(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи Модернізація АСУ ТП дозування та огрудкування на випалювальних машинах з урахуванням вологості концентрату і шихти та гранулометрії сирих окатишів в умовах гірничозбагачувального комбінату

керівник роботи Койфман Олексій Олександрович, доцент, канд. техн. наук,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Університету від 14.10.2024 р. №238/14.10.2024

2. Термін подання роботи 03.02.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи Навчальна література, державні стандарти з автоматизації, методична література з спеціальних дисциплін та дипломування, науково-дослідницькі роботи з тематики автоматичного регулювання та управління, літературні джерела, технологічні інструкції, результати власних експериментів та досліджень тощо

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань) Анотація. Зміст. Вступ. 1. Аналіз предметної області. 2. Постановка задач автоматизації та обґрунтування запропонованої структури системи керування технологічними параметрами (2.1 Основні задачі модернізованої АСКТП, обґрунтування актуальності рішення та концепція роботи системи; 2.2 Вибір, деталізація технічних рішень для ділянок дозування шихто-підготовки та огрудкування; 2.2.1 Технічні рішення для відділення дозування шихто-підготовки; 2.2.2 Технічні рішення огрудкування; 2.2.3 Рівень ПЛК та верхній рівень об'єднаної АСКТП). 3. Реалізація запропонованої системи (3.1. Проєктування та математичні дослідження запропонованої САР 3.2. Реалізація алгоритмів САР ділянок дозування та огрудкування з урахуванням вологості шихти/концентрату та гранулометрії сирих окатишів; 3.2.1 Алгоритм для відділення дозування у TIA Portal; 3.2.2 Алгоритм для відділення огрудкування в TIA Portal). 4. Економічне обґрунтування запропонованої системи. Висновки. Перелік використаних джерел. Додаток А (А.1 Технологічний ланцюг ГЗК; А.2 Технологія виробництва окатишів; А.3 Існуюча АСКТП LURGI 552-A цеху з виробництва окатишів та її апаратно-програмний склад;)



5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 1. Схема функціональна автоматизації. 2. Технологічний процес як ОР (шихта і огрудкування) 3. Взаємозв'язок функціональних завдань. 4. Схема структурна комплексу технічних засобів. 5. Блок-схеми алгоритмів керування та програмного забезпечення. 6. Презентація магістерської роботи.

Плакати (за вибором): результати розрахунків, розрахунок економічного ефекту, графіки, екранні форми тощо.

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх.

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта
Усі розділи	Койфман О.О., доцент кафедри АВЕРС

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи (проєкту)	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Розділ 1. Аналіз предметної області	31.12.2024	
2	Розділ 2. Постановка задач автоматизації та обґрунтування запропонованої структури комп'ютерної системи управління	03.01.2025	
3	Розділ 3. Реалізація запропонованої системи автоматизації	17.01.2025	
4	Розділ 4. Економічне обґрунтування запропонованої системи автоматизації	27.01.2025	
5	Висновки, перелік посилань, вступ, зміст, реферат	31.01.2024	
6	Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	03.02.2025	
7	Остаточне оформлення роботи, презентаційного матеріалу, автореферату	10.02.2025	
8	Рецензування завершеної роботи. Захист	17.02.2025	

Здобувач

(Ігор СТЕБЕЛЬКО)

Керівник роботи

(Олексій КОЙФМАН)



АНОТАЦІЯ

Стебелько Ігор Євгенович. Модернізація АСУ ТП дозування та огрудкування на випалювальних машинах з урахуванням вологості концентрату і шихти та гранулометрії сирих окатишів в умовах гірничозбагачувального комбінату - Кваліфікаційна праця на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка». ОПП «Інтелектуальні системи управління та робототехнічні комплекси в гірничо-металургійному виробництві» - ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Запоріжжя, 2025.

Об'єктом дослідження є процес шихто-підготовки та огрудкування сирих окатишів в умовах цеху з виробництва окатишів.

Предметом дослідження є автоматизована система керування процесом шихто-підготовки та огрудкування сирих окатишів.

У першому розділі розглянуто технологічний ланцюг одного з гірничо-збагачувальних комбінатів України (далі – ГЗК) та роль технологічного процесу цеху з виробництва окатишів в загальній технології комбінату. Також розглянута існуюча АСКТП та її наявний апаратно-програмний склад, проведено аналіз ефективності керування технологічними процесами. Проведено літературний огляд для аналізу вже існуючих рішень для покращення ефективності АСКТП в схожих умовах.

В другому розділі виділено основні технологічні параметри регулювання ділянок шихто-підготовки та огрудкування, методи вимірювання даних параметрів та їх регулювання в технологічному процесі. Запропоновано та обґрунтовано модернізовану структуру АСКТП двох технологічних ділянок.

В третьому розділі виконано експериментальні математичні дослідження за допомогою яких визначено адаптованість запропонованої САР, та реалізовано приклад алгоритмів керування АСКТП в програмному пакеті TIA Portal Siemens.

У четвертому розділі за допомогою розрахунків обґрунтовано та підтверджено економічну доцільність впровадження запропонованої системи автоматизації досліджуваних технологічних ділянок.

ОКАТИШ, ГОДНИЙ КЛАС, ВОЛОГІСТЬ, ШИХТО-ПІДГОТОВКА, ОГРУДКУВАННЯ, РЕГУЛЮВАННЯ, АПАРАТНО-ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС



ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ.....	9
2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПАРАМЕТРАМИ.....	15
2.1 Основні задачі модернізованої АСКТП, обґрунтування актуальності рішення та концепція роботи системи	15
2.2 Вибір, деталізація технічних рішень для ділянок дозування шихто- підготовки та огрудкування	21
2.2.1 Технічні рішення для відділення дозування шихто-підготовки..	21
2.2.2 Технічні рішення огрудкування.....	24
2.2.3 Рівень ПЛК та верхній рівень об'єднаної АСКТП ділянок дозування шихто-підготовки та огрудкування	32
3 РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ АСКТП ВІДДІЛЕННЯ ДОЗУВАННЯ ТА ОГРУДКУВАННЯ	35
3.1 Проектування та математичні дослідження запропонованої САР .	35
3.2 Реалізація алгоритмів САР ділянок дозування та огрудкування з урахуванням вологості шихти/концентрату та гранулометрії сирих окатишів	41
3.2.1 Алгоритм для відділення дозування у TIA Portal	41
3.2.2 Алгоритм для відділення огрудкування в TIA Portal	45
4 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СИСТЕМИ	54
ВИСНОВКИ	63
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	64
ДОДАТОК А ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС.....	67
А.1 Технологічний ланцюг ГЗК	67
А.2 Технологія виробництва окатишів на ЦВО-2 ГЗК	68
А.3 Існуюча АСКТП LURGI 552-A/B ЦВО-2 та її наявний апаратно- програмний склад	76



ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АСКТП – автоматизована система керування технологічним процесом

ПЛК – програмований логічний контролер

ЦВО – цех з виробництва окатишів

ТІ – технологічна інструкція

ПІД – пропорційно-інтегрально-диференційний закон регулювання

САР – система автоматичного регулювання

TIA Portal – Totally Integrated Automation Portal

SCADA - Supervisory Control And Data Acquisition

ЛМІ – людино-машинний інтерфейс




ВСТУП

Гірничо-металургійний комплекс, як ключовий сегмент економіки України, відіграє важливу роль у сьогоденні і впевнено можна сказати, що буде відігравати важливу роль і у майбутньому. З даного твердження закономірно випливає, що наразі перспектива розвитку гірничо-металургійного комплексу є пріоритетним завданням, а модернізація основних активів, які в свою чергу є ключовими сегментами комплексу, є важливо фундаментальним фактором.

Модернізація основних активів гірничо-металургійного комплексу, як об'єднане поняття, складається з основних напрямків, один з таких напрямків є саме – модернізація автоматизації виробництва. Кожен актив включає широкий спектр технологічних процесів, які в свою чергу є складовими основної технології. Результат технології є те, що з певних вхідних матеріалів на виході отримуємо готовий продукт, який повністю повинен задовольняти, як по якісним показникам так і по кількісним. Автоматизація технології, як основний засіб контролю та впливу на якісні та кількісні показники кожного технологічного процесу є результируючим важливим фактором, тобто ефективність (правильність, вчасність) автоматизованих керуючих впливів є прямо пропорційна значенню кінцевого результату на виході з виробництва. А в свою чергу ефективність автоматизації виробництва залежить від поточного стану та послідувочої модернізації структури, алгоритмів керування, основних програмних-апаратних засобів, як фундаментальних складових.

Виробництво залізородних окатишів, як ключовий технологічний процес гірничо-металургійного комплексу, є заключним етапом технологічного ланцюга ГЗК. Ефективність технологічного ланцюга вимірюється в необхідному обсязі виробництва окатишів з необхідними якісними показниками. Дана ефективність починається закладатись, як на початку ланцюга, тобто з видобутку руди, так і в процесі перетворення видобутої сировини до необхідної кондиції для формування залізородного окатишу, але навіть при отриманні кондиційної сировини ще не можна говорити про досягнення певної частки економічної ефективності. Так як саме процес формування з кондиційної сировини вже окатиша правильної крупності та складу, є надважливим елементом в технології по виробництву сирих окатишів та послідувочим їх випалі у випалювальній машині. Не досягши якісних характеристик на етапі формування окатишу, кінцевим результатом технології є збільшена кількість браку та менша кількість експортної готової продукції. А брак в свою чергу означає збільшену витрату ресурсів для послідувочого повернення та перетворення його в годну продукцію. При такому ведені технологічного процесу результируючий економічний показник закономірно буде низьким.

Тому впевнено можна сказати що саме автоматизація процесу формування окатиша, який складається з дозування в залізородний



концентрат шихтових домішок та з послідуочим огрудкуванням, є одним з пріоритетних напрямків та завданням для дослідження.

Результуючі вище сказане: аналіз поточного стану автоматизації технологічних ділянок шихто-підготовки та огрудкування цеху з виробництва окатишів, визначення актуальних проблем які впливають на ефективність функціонування існуючої АСКТП, дослідження вже існуючих рішень подібної проблематики, розробка та реалізація модернізованої АСКТП, що в результаті покращить виробничо-економічний показник цеху, є основною метою кваліфікаційної роботи.

Апробація роботи

Результати роботи було апробовано на наступних конференціях:

1. Стебелько І.Є., Койфман О.О, Бондар О.В., Король В.М. Модернізація АСКТП - дозування й огрудкування на випалювальних машинах з урахуванням вологості концентрату і шихти та гранулометрії сирих окатишів. Науковий Журнал Метінвест Політехніки. Серія: Технічні науки, № 2, 2024, С 77-85. DOI: <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2024-2-12>.

2. Stebelko I.E., Koyfman O.O. Modernization of the control system of coagulation and pellet firing by measuring the moisture content of raw pellets before the firing process. International scientific-technical conference: "MININGMETALTECH 2024 - Mining and metallurgical complex: integration of business, technology and education". SECTION VI: Intelligent control systems, robotic, mechatronic and electric power complexes (November 28-29, 2024. Riga, the Republic of Latvia). Riga, Latvia : "Baltija Publishing", Vol. 2. P 86-88. DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-144>

3. Стебелько І.Є. Модернізація АСКТП дозування та огрудкування на випалювальних машинах з урахуванням вологості концентрату, шихти, сирих окатишів та гранулометрії. 48-ма НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ МОЛОДІ з нагоди 91-річчя ПАТ «Запоріжсталь». Збірник тез і анотацій наукових доповідей. Одеса : Олді+, 2024, С 114-116. URL: <https://dspace.mipolytech.education/handle/mip/1323>.



1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

В ході аналізу наявної комплексної АСКТП та її відповідності технологічному процесу на випалювальних машинах LURGI 552 А та В, ядром і завданням технологічного процесу по виготовленню окатишу, є отримання, згідно вимог технологічної інструкції [1], готової продукції яка буде відповідати показникам міцності, хімічному складу, крупності та запланованим об'ємам продуктивності за певний час виробництва.

Тому технологічні ділянки як шихто-підготовка, огрудкування є фундаментально важливі для якісних характеристик для отримання готового окатишу. Заключний процес випалу окатишів не буде мати в результаті гарних показників продукції, якщо продукція на стадії підготовки та формування не отримала необхідних вчасних керуючих впливів від наявної АСКТП.

Враховуючи те, що на даний момент машина А є основною залученою в технологічний процес, а машина В являє собою гарячий резерв, тому модернізація АСКТП машини А є по перше - пріоритетним завданням для даної кваліфікаційної роботи, і по друге – модернізація двох машин фізично не можлива, так як під час модернізації одної випалювальної машини і її тимчасовою зупинкою, план по виготовленню продукції буде виконувати резервна.

Також модернізація спочатку машини А надасть нам по завершенню необхідний результат та досвід, по прикладу якого в наступним кроком є модернізація машини В, з урахуванням та виправленням в проєктній документації всіх можливих недоліків які виникли при модернізації основної машини А.

Розділення модернізацій надасть по перше: економію бюджету так як розділення затрат на впровадження в розрізі пускових комплексів буде не так одразу навантажувати наявні економічні можливості проєкту модернізації. Також при впровадженні модернізації резервної випалювальної машини по прикладу основної з врахуванням всіх недоліків, надасть можливість точніше порахувати витрату ресурсів та допоміжних матеріалів.

Проблематика АСКТП випалювальної машини LURGI 552 А, після детального аналізу поточного стану полягає в тому що:

По-перше, існуюча ділянка шихто-підготовки, а саме відділення дозування та змішування шихтових домішок (бентоніт, вапняк, мелений окатиш) у залізорудний концентрат за допомогою вагових дозаторів MULTIDOS® Schenck Process GmbH, з точки зору автоматизованого управління виконана, як локальна підсистема з рівнем ПЛК на базі DISOCNT Master Schenck Process GmbH (рис.1.1) і яка не інтегрована, тобто не має зв'язку з головною системою візуалізації цеху. Основними недоліками даної системи є: відсутність контролю за дозуванням безпосередньо з ЛМІ головної АСКТП цеху з виробництва окатишів, неможливість інтегрувати додаткові важливі параметри в систему

керування, так як дана апаратно-програмна система виробника Schenck Process GmbH не передбачає такої можливості. Тобто з цього слідує що такий важливий параметр як вимірювання вологості залізородного концентрату та шихти не можна інтегрувати в контур регулювання дозування для впливу та корекції дозування шихтових матеріалів. Вологість є параметром від якого залежить процес огрудкування, за технологічною інструкцією [1] повинна бути у діапазоні 9.6-9,8 %, важливість даного параметра також описана у дослідженні [2].

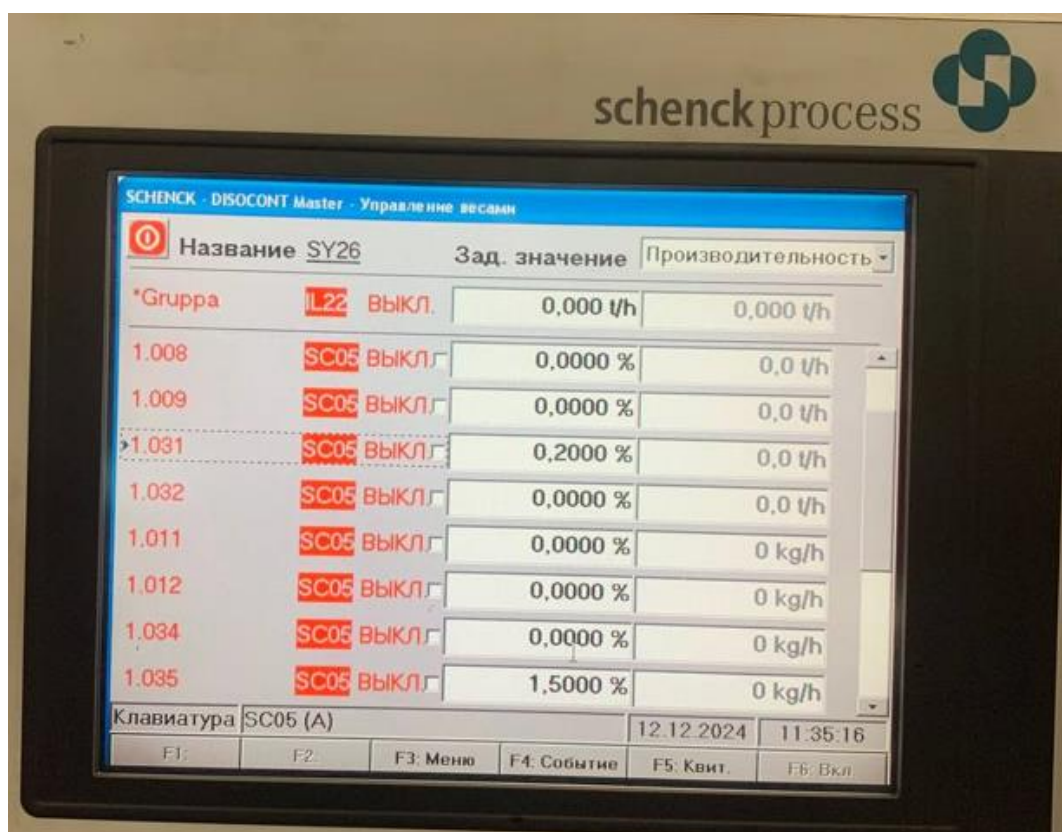


Рисунок 1.1 – Засіб керування групою дозаторів DISOCONT Master Schenck Process GmbH, на основі ПК з інтегрованою сенсорною панеллю

По-друге, ділянка огрудкування, яка по технологічному ланцюгу безпосередньо слідує за ділянкою шихто-підготовки, взагалі не має ніякого автоматизованого регулювання параметрами огрудкування: кількість навантаження шихти та її вологість, швидкість обертання таріли чашевого огрудковувача, кут нахилу, кількість подачі зрошувальної води - які безпосередньо впливають на крупність окатишу, а саме на гранулометричний склад. Залежності гранулометричного складу від динамічних змінних параметрів добре опрацьовані в науковій статті [2], з якої слідує що при застосуванні засобів технічного зору з'являється можливість виміру поточної крупності окатишу. Знаючи поточний гранулометричний склад, який повинен бути згідно технологічної інструкції в діапазоні 10..14 мм, є сенс запровадити його як завдання до



автоматизованої системи огрудкування, яка буде формувати керуючі впливи на динамічні параметри технологічної ділянки, які були зазначені вище.

Після двох вище зазначених тверджень виливає третя проблематика, а саме те що дві ділянки які мають ефективно працювати на досягнення необхідних фізико-хімічних показників окатиша, які технологічно та географічно межують між собою не об'єднані як підсистема. Тобто є сенс сформувати одну АСКТП ділянок дозування шихтових матеріалів та огрудкування, яка буде функціонувати на одному програмованому логічному контролері. Через комунікаційні модулі ПЛК підсистеми дозування та огрудкування, буде надаватись інформація зміни і керування технологічними параметрами процесу для головної візуалізації.

Також таким чином ми не будемо залежні від головного контролеру S7-400 при можливих змінах конфігурації прикладного програмного забезпечення.

Літературний огляд статей та інших наукових робіт надасть можливість більш широко охопити спектр наявних рішень по вже дослідженим проблемам даних технологічних ланок в умовах гірничозбагачувальних комбінатів і не тільки.

В науковій роботі [3] авторами виконано дослідження стану автоматизації процесів транспортування та змішування шихти для виробництва сирих окатишів, та запропоновано вдосконалити математичний опис процесів транспортування та дозування шихтових матеріалів за рахунок урахування змін характеристик шихти у реальному часі. Визначено що основні важливі показники шихти, які динамічно змінюються, потрібно враховувати при розробці математичних моделей, а саме це – вміст заліза, основність та вологість шихти.

В науковому дослідженні [4] автор визначив параметри динамічної моделі процесу огрудкування на гірничо-збагачувальному комбінаті та запропонував варіант структурної схеми САК для процесу огрудкування. Також для реалізації запропонованої автоматичної системи визначені структура і параметри каналу керування, обґрунтовані датчики і виконавчі засоби технологічними параметрами для їх контролю і зміни, а також запропоновані функціональна і мікропроцесорна системи керування.

У статті [5] пропонується уявлення огрудковувача типовими ланками і тому для керуванням огрудкуванням потрібно знати чисельні характеристики барабана-огрудковувача, як об'єкта управління (вологість, порозність, еквівалентний діаметр, варіація крупності). Для опису перехідних процесів барабана-огрудковувача прийнято рівняння аперіодичної (інерційної) ланки першого порядку із запізненням. В результаті досліджень визначено, що регулювання по еквівалентному діаметру гранул має не значно ефективніше регулювання. Але з урахуванням того, що максимум еквівалентного діаметру відповідає збільшеному перезволоженню, тоді необхідно вжити у розрахункові всі



три параметри у взаємодії, а саме: порозність шару, еквівалентний діаметр гранул і варіація їх крупності, дані параметри є суттєво бажані для регулювання і пошуку максимуму. Також вони значніше пов'язані з продуктивністю агломераційного процесу. Дана стаття добре характеризує важливість комбінації при регулюванні наявних динамічних параметрів.

В роботі [6] автор розробив інформаційну систему інтелектуального керування групою виробничого обладнання на прикладі фабрики огрудкування. Досліджено її структуру та логіко-динамічні моделі процесу керування в умовах виникнення складних аномальних явищ і виробничих проблемних ситуацій. Результатом дослідження в даному напрямку стало, що для умов збагачувальної фабрики, що працює на фабрику огрудкування, і яка переробляє чотири типи руди з різними текстурними характеристиками, розроблена інтелектуальна система узгодженого управління технологічними секціями з постійною адаптацією пара-метрів керування до типів руди і експертною оцінкою відхилень фактичної траєкторії виробництва концентрату від заданої фабрикою огрудкування.

В науковому дослідженні [7] добре опрацьований аналіз прийомів визначення оптимальної вологості шихти для виробництва окатишів. Результати даної роботи дають можливість встановити, що визначення та застосування методів знаходження оптимальної вологості залізородної шихти для кращого проходження процесу її огрудкування, є одним з важливих напрямків формування теорії та технології виробництва окатишів. Даний напрямок надасть ефективніше встановлювати значення вологості залізородної шихти, яка піддається грануляції, що в подальшому підвищує ефективність отримання готового продукту з кондиційними показниками.

В роботі [8] запропоновано використання систем комп'ютерного зору на базі нейронних мереж у різних галузях виробництва. Дана робота цікава тим що системи штучного зору мають широкий спектр використання і розробка адаптивних нейронних мереж для даних систем дають можливість ефективно використовувати в автоматизованих системах виробництва, з швидкими змінами динамічних параметрів, таких наприклад як гранулометричний склад окатишів.

Також треба звернути увагу на наукову статтю [9] в якій автори розглядають синтез системи автоматичного управління дозаторами дозування шихтових матеріалів, що дозволяє зменшити відхилення співвідношення поточної витрати матеріалів від значення завдання. У дослідженні пропонується застосувати узгоджене керування окремою групою дозаторів залізородного концентрату, вапняку та коксу, так і загальною об'єднаною групою дозаторів на основі окремих моделей із контролем дозування відповідних шихтових матеріалів. Даний напрямок дослідження, хоча він і не є комплексним для нашого дослідження, але може бути в нагоді при розробці спільного завдання, в програмних



пакетах, як наприклад TIA Portal або MATLAB, для групи дозаторів шихти або огрудкування в умовах цеху виробництва окатишів ГЗК.

У науковій праці [10] розглядається збільшення ефективності процесу дозування компонентів шихти для виготовлення залізорудних окатишів, в залежності від заданої вологості шихти шляхом створення комбінованого адаптивного управління ланцюгом технологічних агрегатів тракту шихто-підготовки, але в роботі немає деталізації вибору технічних рішень для виміру вологості та гранулометричного складу.

Авторами роботи [11] пропонується схема технологічних агрегатів максимальної технологічної ефективності для покращення процесу дозування компонентів шихти для послідуєчого огрудкування, процес покращення не деталізує можливість впровадження польового рівня КВП для виміру поточної вологості шихти.

У роботі [12] авторами детально опрацьований широкий спектр застосування засобів машинного зору у промисловості, що є наглядним прикладом адаптованості та доцільності використання даного технічного рішення в наявній кваліфікаційній роботі.

У статті [13] опрацьовано приклади застосування засобів технічного бачення для виявлення дефектів в процесі виробництва певного продукту, це також дає чітке розуміння нам, що наприклад можливе навчання даних систем для визначення поточного геометричного складу сформованих окатишів.

У роботі [14] використано інтелектуальний метод вимірювання вологості вугілля на основі мікрохвиль, даний метод є неруйнівний та доволі швидкий, але в нашому випадку передбачено можливість використання методів які технічно спроможні вимірювати вологості у потоці.

Авторами роботи [15] сформована ієрархічна модель АСКТП для процесу приготування шихти яка є об'єднуюча для всіх локальних інтегрованих підсистем, що є корисним в нашому випадку так як також розглядається можливість об'єднання наявних систем у підсистему головної автоматизації цеху.


Дослідник у роботі [16] прагне розробити автоматизовану систему керування процесом зберігання сипучих матеріалів/речовин у резервуарах з аналітичним виміром їх поточних параметрів вологості та температури, що є корисним для довготривалих статичних процесів, але не для технологічних процесів де матеріал/речовина знаходиться у потоці.

У роботі [17] автори пропонують вирішення завдань процесів шихто-підготовки за рахунок застосування засобів нечіткої логіки при проектуванні у програмних пакетах. Користь даної пропозиції, закладається у можливості адаптуватись до всіх збурень та особливостей будь-якого технологічного процесу. Варто зазначити що для кваліфікаційної роботи така пропозиція буде доречна та доцільна, так як також розглядається процеси шихто-підготовки та огрудкування.



Автори статті [18] проводять дослідження прикладів застосування засобів машинного зору, з можливими недоліками та покращеннями якості вимірювання.

Дослідники у статтях [19] та [20] аналізують можливість використання різних методів неруйнівного виміру вологості сипучих речовин на основі мікрохвильового методу та оптичного інфрачервоного. Дані методи є цікавими тим що є доволі швидкими та точними, хоча в самих роботах розглядається статичні методи вимірювання, але дані методи як відомо можуть використовуватись і при вимірюванні в потоці, що буде розглянуто в послідуючих розділах магістерської роботи.



2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПАРАМЕТРАМИ

2.1 Основні задачі модернізованої АСКТП, обґрунтування актуальності рішення та концепція роботи системи


Основна задача модернізованої АСКТП є виготовлення окатишів з відповідними фізико-хімічними показниками. Тобто сирий окатиш перед завантаженням у випалювальну машину повинен бути за складом та за крупністю відповідати технологічній інструкції [1]. Головне завдання складається з двох складових, або під завдань:

- дозування компонентів шихти;
- огрудкування та формування сирого окатишу.

На даний момент дозування компонентів шихти полягає у додаванні у залізорудний концентрат певної домішки, а саме вапна (CaO), бентоніт ($\text{Al}_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2$), мелений окатиш ($\text{Fe } 65,5\%$). Алгоритм додавання полягає у задаванні оператором коефіцієнтів по певному компоненту залежно від вимог технологічної інструкції та завдання головного технолога під час конкретного технологічного процесу. Даний коефіцієнт перемножується з поточним навантаженням на конвеєрі шихто підготовки, в результаті отримуємо в певному процентному відношенні домішку в шихті. Згідно технологічної інструкції процентні відношення для кожної домішки існують в таких межах:

- бентоніт: $\pm 3,5\%$ від основної маси залізорудного концентрату;
- вапняк: $\pm 4\%$ від основної маси залізорудного концентрату;
- мелений окатиш: $\pm 14\%$ від основної маси залізорудного концентрату.

Ключовий елемент модернізації полягає у тому, що в процесі дозування на константу яку задає оператор, а саме коефіцієнт процентного відношення, буде накладатись коефіцієнт, який залежить від поточної вологості залізорудного концентрату/шихти на вході у відділення дозування, який як параметр інтегрується у поточну АСКТП і виміряний контрольно-вимірювальним засобом. Згідно відкритого джерела по продукції ГЗК концентрат для окатишу зі вмістом $\text{Fe } 65,5\%$ повинен мати абсолютну вологість: $<10,5\%$, а саме в діапазоні $9,6-9,8\%$. Якщо концентрат/шихта занадто зволожена більше $<10\%$, потрібне корегування подачі домішок які його можуть підсушити, а саме бентоніту та мelenого окатишу. Важливість дотримання оптимальної вологості описана у технологічній інструкції ПРАТ «ПІВНГЗК» [1]. А саме прописані такі пояснення: « Шихта різної вологості має різну ступінь комкуємості. При низькій вологості шихти будуть утворюватися дрібні окатиші, а при підвищеній вологості, навпаки, будуть скоріше утворюватися великі окатиші. В обох випадках окатиші виходять не якісними. При оптимальній



вологості та відповідному часу огрудкування будуть отримуватися окатиші потрібної фракції та якості.».

Також варто зазначити, що вимір вологості вже сформованої шихти, є необхідним параметром для алгоритму подачі зрошувальної води відділення огрудкування.

Огрудкування та формування сирого окатишу. Процес полягає в тому, що на таріль з бортом, яка є чашею огрудковувача, безперервно з заданим навантаженням, згідно ТІ цеху з виробництва окатишів [1] це становить 91 т/год, в виключних випадках навантаження може варіюватись від 71-113 т/год, потрапляє готова шихта. В процесі потрапляння шихти в чашу, подається зрошувальна вода, за допомогою якої формується зародок окатишу, при обертанні чаші з заданою швидкістю згідно інструкції 6,5 – 7,8 обертів за хвилину та під певним кутом 45-55°, зародок окатишу в процесі налипання шихти, формується у сирий окатиш. Сирий окатиш формується у 5 вірогідних класів крупності(гранулометричний склад): перший <10 мм; другий 10–12,5 мм; третій – 12,5–14 мм; четвертий – 14–18 мм; п'ятий – >18 мм. В технології виробництва окатишів, найбажаніший розмір окатишу сягає 10...14 мм, назва якого «годний клас».


Даний годний клас найкраще підходить для процесу випалу, так як при такому розмірі ефективно проходять газо-повітряні потоки, окатиш краще піддається випалу, не руйнується, зміцнюється і на виході з випалу отримуємо більше товарного окатишу, та менше браку, так як перед випалом встановлений класифікатор, який просипає не кондиційний окатиш, в додачу цей бракований окатиш потім ще потрібно переробити, затративши додаткові ресурси.

Закономірно те, що гранулометричний склад можна вважати під завданням для огрудкування модернізованої АСКТП. Але щоб сформувати під завдання, як цифрове значення для контролеру, його по перше треба виміряти, на даний момент вимір гранулометричного складу здійснюється візуально машиністом огрудковувача і точність в даному випадку дуже суб'єктивна.

Отже, якщо впровадити засоби технічного зору ми, по перше – відмежуємося від людського фактору при вимірі крупності та значно збільшимо точність, сформуємо цифрове значення яке вже розуміє контролер, який вже в свою чергу буде видавати керуючі впливи на основні параметри огрудковувача.

Згідно ТІ та досліджень у моїй науковій роботі [2], основні закономірності залежності крупності та міцності сирого окатишу від змін параметрів: швидкості обертання та кута нахилу чаші огрудковувача, подачі шихти та води на чашу, полягають в наступному:

- навантаження на чашевий огрудковувач: діапазон від 71-до 113 т/год. Основна закономірність полягає в тому, що гранулометричний склад поточного окатиша буде змінюватись в сторону збільшення крупності при зменшенні навантаження і навпаки при зменшенні навантаження окатиш




буде більш крупніший. Це пояснюється тим що при збільшенні наприклад навантаження зменшується час знаходження та накатування окатишу в чаші, так як в чаші завжди однаковий рівень матеріалу і він постійно зсипається на конвеєр, збільшуємо навантаження збільшуємо вихід матеріалу в реальному часі;

- швидкість обертання тарілі чашевого огрудковувача: діапазон від 6,5 до 7,8 об\хв. Основна закономірність полягає в тому , що гранулометричний склад поточного окатиша буде змінюватись в сторону збільшення крупності при зменшенні швидкості і навпаки при збільшенні швидкості крупність зменшується. Хоча тут справедливим буде сказати, що при збільшенні швидкості збільшуються відцентрові сили і окатиш інтенсивніше комкується, має вищу міцність. Але все ж таки збільшуючи швидкість обертання ми зменшуємо час знаходження окатишу в чаші, при меншому часі знаходження в процесі обертання, на нього менше наліпне шихти;

- кут нахилу тарілі чаші огрудковувача відносно відмітки полу: діапазон від 45 до 55°. Основна закономірність полягає в тому, що гранулометричний склад поточного окатиша буде змінюватись в сторону збільшення крупності при зменшенні кута нахилу і навпаки при збільшенні кута крупність зменшеться. Також справедливо зазначити що надто малому куті нахилу гірша рухливість матеріалу в чаші і може вплинути на формування габаритного браку та погіршення міцності окатишу. Результуючи: зменшуємо кут – збільшуємо час знаходження у чаші окатишу, тобто більше налипає матеріалу і крупність зростає;

- витрата зрошувальної води при формуванні шихти в окатиш: офіційних нормативів по даному параметру немає, так як не встановлюються ніякі засоби вимірювання, але суб'єктивно цей параметр може варіюватись 8-12 л\хв. Основна закономірність полягає в тому що при збільшенні витрати води краще налипає шихта на зародок окатишу, тобто крупність гранулометричного складу збільшується. Але варто зазначити, що при сильному перезволоженні можливе утворення габаритних комків, та можливе погіршення міцності. Причиною цьому може статись не вірно вибрана машиністом огрудковувача інтенсивність подачі води або шихта, яка надійшла з шихто-підготовки значно перевищує параметр вологості > 9.8%.

Результуючи вище сказане по відділенню огрудкування, основний аспект модернізації полягає в тому, що: в залежності від поточного гранулометричного складу від ≤ 10 мм...18 мм \geq , який буде виміряний засобами технічного зору, та сформованого завдання тримати крупність 10-14 мм, контролер за певним алгоритмом регулювання буде видавати керуючі впливи на основні параметри процесу огрудкування, від яких залежить поточний розмір окатишу. Тримаючи вихід сирого окатиша в недохідному гранулометричному складі, на класифікаторі AG3/005 перед випалювальною машиною, частка просипаного браку буде значно меншою, тобто продуктивність по виробництву буде вища в т/год в



реальному часі, кількість браку нижча, менше витрат ресурсів на перероблення браку, на ділянці випалу краще протікання процесу.

Технологічний процес шихто-підготовки та огрудкування як об'єкт регулювання наглядно зображено на рисунку 2.1, алгоритмічну схему керування даними процесами сформована на рисунку 2.2 відповідно.

Як видно з рисунку 2.2: для шихто-підготовки при не виконанні умови по значенню виміряної вологості шихти 9,6-9,8, система почне ітераційним методом корегувати завдання по виходу домішки, спочатку мелений окатиш, а потім бентоніт. Програмно будуть встановлені межі змін завдань, по кожній домішці та кількість повторів ітерацій.

Для огрудкування: при не виконанні умови по гранулометричному складу окатиша 10...14 мм, система почне також по ітераційному методу змінювати параметри, починаючи зі найголовнішого це стабілізації і під налаштування оптимального навантаження на чашу, але в межах технологічного завдання по об'ємам виробництва, послідує ітераціями є зміна положення заслінки на подачу зрошувальної води, в залежності також від поточної вологості шихти, якщо умова за певний час так і не виконана то послідує ітерації будуть коригування швидкості обертання та кута нахилу таріли чашевого огрудковувача. Всі корегування параметрами мають межі та час на виконання умови завдання системи регулювання, які керуються вимогами технологічної інструкції цеху.

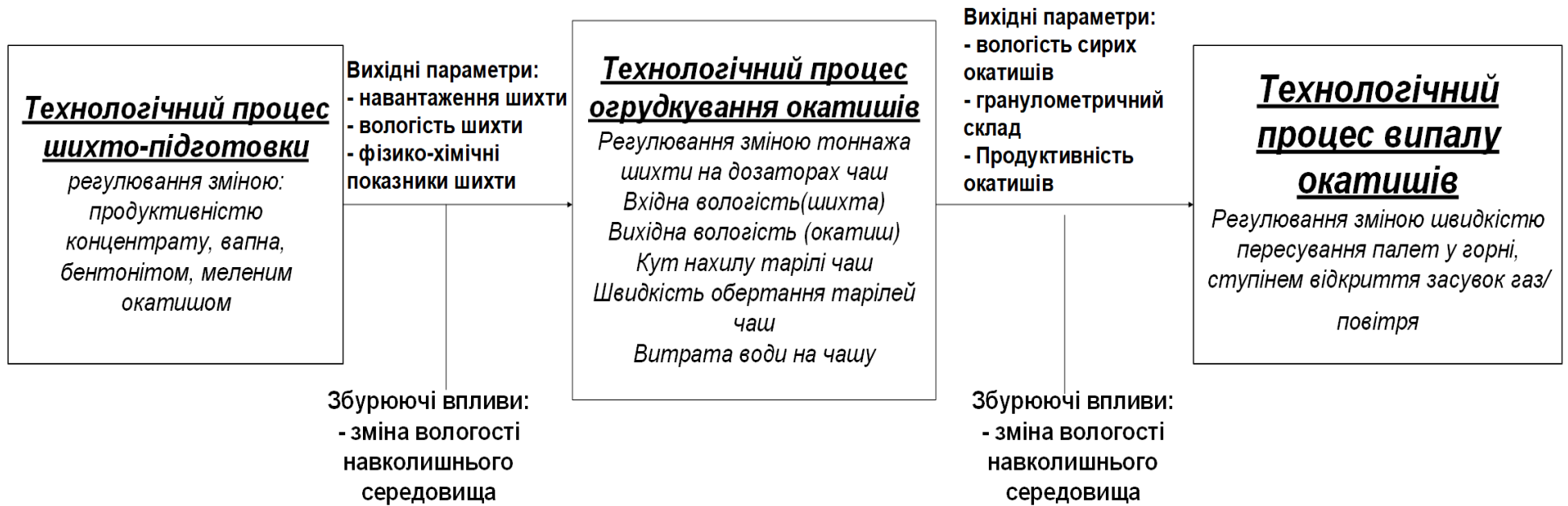


Рисунок 2.1 - Технологічний процес шихто-підготовки та огрудкування як об'єкт регулювання

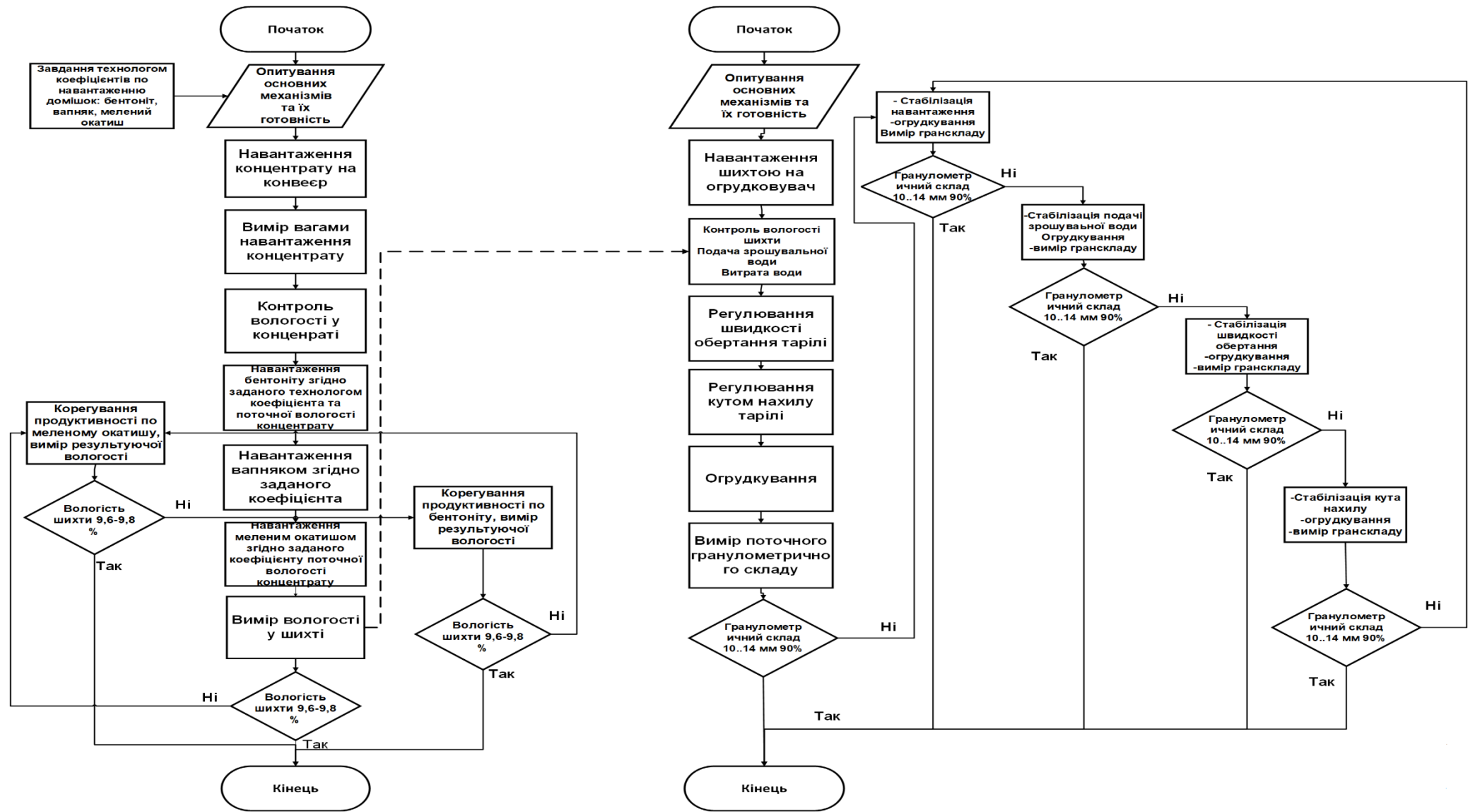


Рисунок 2.2 – Схема алгоритму керування технологічних ділянок дозування та огрудкування



2.2 Вибір, деталізація технічних рішень для ділянок дозування шихто-підготовки та огрудкування

2.2.1 Технічні рішення для відділення дозування шихто-підготовки

В даному розділі буде деталізовано, які саме технічні рішення треба змінити та які треба додати апаратно-програмні засоби, для того щоб здійснити регулювання параметрами які були визначені в розділі 2.1 Польовий рівень.

Для відділення шихто-підготовки. Для того щоб інтегрувати в модернізовану АСКТП контроль вологості в залізорудному концентраті та шихті, необхідно вибрати метод вимірювання та необхідний під даний метод технічний засіб. Згідно мого дослідження у науковій роботі [2], для можливості виміру вологості у потоці найкраще себе зарекомендували на практиці два непрямі методи виміру: нейтронний та інфрачервоний метод. В даному науковому дослідженні виділено основні недоліки та переваги даних двох методів. Наприклад переваги нейтронного методу:

- широкий діапазон вимірювання вмісту вологості, до 100 %;
- нечутливість до неоднорідності розподілу вологості по матеріалу;
- вимірювання у потоці, без контакту та порушення структури матеріалу;
- широкий спектр використання: від ґрунтів до будівельних та технологічних матеріалів.

Приклад застосування зображено на рисунку 2.3:



Рисунок 2.3 – Приклад застосування нейтронного методу вимірювання вологості

Переваги ІЧ-методу:

- висока точність, чутливість, відтворюваність вимірювань;
- вимірювання у потоці, без контакту та порушення структури матеріалу;

- найбільш ефективний метод при вимірюванні низького вмісту вологості у матеріалі;
 - абсолютна похибка в межах 0,05 %;
 - нечутливість до об'єму на одиницю площі матеріалу і його складу.
- Приклад застосування на практиці ІЧ-методу зображено на рисунку

2.4:



Рисунок 2.4 – Приклад застосування інфрачервоного методу вимірювання вологості

З перелічених переваг двох перспективних методів, видно що вони ефективно підходять для вирішення задачі виміру вологості в нашому випадку, але вирішального вибору треба звернути на недоліки двох методів.

Недоліки ІЧ-методу, залежність точності вимірювання від:

- від довжини хвилі ($\lambda \leq 2$ мкм);
- від значної товщини шару матеріалу з одночасною неоднорідністю розподілу вологості;
- від рівня зв'язку води з твердою речовиною ;
- від зміни температури матеріалу.

Недоліки нейтронного методу:

- можливість впливу на вимірювання, якщо у матеріалі є хлор, бор, кадмій, літій, гафній;



- вміст у матеріалі елементів, які збільшують концентрацію нейтронів;
- збільшена щільність матеріалу ;
- зміна відстані між джерелом та детектором;
- необхідність застосування при вимірюванні, біологічного захисту.

Висновок та вирішальний вибір методу. Справедливо зазначити що список недоліків незначний, так як дані методи на даний момент найперспективніші в практиці, але треба звернути увагу на один вагомий недолік нейтронного методу, а саме необхідність застосовувати біологічний захист при здійсненні даного методу вимірювання. Біологічний захист потрібен для мінімізації впливу: нейтронного опромінення та вторинного опромінення гамма-квантами при наведеній радіоактивності у матеріалі після впливу нейтронів на ядра матеріалу. З точки зору охорони праці, яка на підприємствах «МЕТІНВЕСТ ХОЛДІНГУ» є пріоритетною, можна впевнено вибрати ІЧ метод для виміру вологості, також з точки зору економії, відсутність додаткових засобів захисту робить ІЧ метод більш дешевим в порівнянні з нейтронним.

Серед широкого різноманіття контрольних вимірювальних засобів, треба звернути увагу на ІЧ-аналізатор вологості МСТ460 [22] компанії Process Sensors, даний аналізатор доволі часто застосовується у різних галузях промисловості, що показує його адаптованість та ефективність при використанні в різних умовах.

Загальна характеристика приладу (рис. 2.5):

1) принцип роботи:

- працює за принципом ближнього інфрачервоного спектроскопічного аналізу (NIR);
- аналізує відбите інфрачервоне випромінювання, поглинання якого залежить від вмісту води в матеріалі;
- необхідний калібрувальний процес для точного визначення вологості.

2) технічні характеристики:

- діапазон вимірювання вологості 0–100%, залежно від застосування;
- час відгуку: менше 1 секунди, що дозволяє використовувати прилад для реального часу контролю;
- дистанція до зразка: типова 15–30 см, але може бути скоригована залежно від специфіки матеріалу;
- точність вимірювання вологості: $\pm 0,1$ – $0,2\%$ у відносних одиницях (залежно від калібрування та стабільності умов), наприклад, для матеріалів із низьким вмістом вологи точність становить близько $\pm 0,1\%$, тоді як для продуктів із високим рівнем вологи похибка може бути трохи більшою;
- повторюваність (стабільність показників): $\pm 0,05\%$.

3) конструкція:



- компактний корпус із захистом IP65, що робить його придатним для суворих виробничих умов (пил, волога);
- проста установка на конвеєр, мішалку або іншу виробничу лінію, може працювати в умовах підвищеної температури (із додатковим охолодженням).

4) інтерфейси і комунікації, додатковий склад:

- підтримка сучасних протоколів: Ethernet, Modbus TCP/IP, 4–20 м А, що полегшує інтеграцію у системи автоматизації, кольоровий сенсорний дисплей для локального керування, віддалений доступ до налаштувань через програмне забезпечення.

5) калібрування та налаштування:

- легке калібрування за допомогою програмного забезпечення Viewer Suite під конкретні типи матеріалів та можливість роботи з багатьма продуктами одночасно завдяки попередньо збереженим калібрувальним профілям.

6) переваги МСТ460:

- безконтактний метод: дозволяє уникнути пошкодження матеріалів і забезпечує швидкий аналіз;
- висока точність і швидкість: миттєве отримання результатів з високою достовірністю;
- універсальність: підходить для різноманітних галузей, таких як харчова, хімічна, паперова, сільськогосподарська;
- мінімальна потреба в обслуговуванні: стабільна робота навіть в агресивних умовах;
- гнучкість у використанні: адаптація до різних типів матеріалів і умов виробництва.

З переліченого можна зробити висновок, що: МСТ460 – це високотехнологічний пристрій для швидкого й точного аналізу вологості та інших компонентів матеріалів. Він підходить для широкого спектра промислових застосувань, забезпечуючи високу ефективність і зручність інтеграції в сучасні виробничі процеси.

2.2.2 Технічні рішення огрудкування

Далі розглянемо польовий рівень для відділення огрудкування.

Для можливості інтеграції вимірювання поточного гранулометричного складу в модернізовану АСКТП, та подальшого формування завдання регулювання, треба обрати засіб машинного зору. На відміну від вибору аналізатора вологості, в даному випадку не потрібно робити аналіз методів вимірювання, щоб потім обрати тип самого аналізатора. В даному випадку метод один, який в загальних рисах складається з таких етапів, як:

- захоплення зображення за допомогою камер високої роздільної здатності, та допоміжного освітлення;
- обробка зображення: фільтрація шуму, сегментація, вимірювання розмірів, аналіз форми;



- класифікація об'єкта (окатиша), за шаблоном співставленням або машинному навчанні;
- формування результатів у вигляді баз даних;
- відображення результатів на SCADA.

На даний момент промисловість пропонує широкий спектр виробників засобів та систем машинного зору: найпопулярніші з них це: Omron Corporation, Cognex Corporation, Keyence Corporation, Basler AG, Teledyne DALSA і т.д. У випадку встановлення обладнання систем машинного зору в умовах цеху з виробництва окатишів, треба триматись таких загальних характеристик, як:

- клас захисту не нижче IP65;
- температурна стійкість: -20°C до +70°C;
- стійкість до вібрацій і ударів;
- швидкість обробки даних в реальному часі;
- простота інтеграції та зручне програмне забезпечення.

З переліченого списку виробників, системи побудовані на обладнанні Omron, можуть задовольнити потреби поставленої задачі, так як Omron забезпечує комплексні рішення для аналізу зображень з високою стійкістю до впливу пилу й температур. Їхні камери легко інтегруються в існуючі виробничі системи. Найчастіше застосування комплексних систем Omron, як раз для завдань контролю геометричного складу об'єкту, контроль якості та дефектів у виробках.

Звернемо увагу на компонент системи машинного зору Omron камера лінійки FZ/ FH, а саме FH-SC04 [14], яка має такі характеристики:

- 1) роздільна здатність:
 - 4 мега-пікселів (2040 × 2048 пікселів);
 - висока деталізація, що підходить для аналізу малих і середніх об'єктів.
- 2) тип матриці:
 - кольорова;
 - використовується CMOS-сенсор для забезпечення швидкого захоплення зображення.
- 3) інтерфейс підключення:
 - GigE Vision або USB (залежно від конфігурації);
 - просте підключення до контролерів Omron серії FH.
- 4) підтримка обробки зображень:
 - камера інтегрується з системами обробки Omron, такими як FZ5 або FH;
 - підтримує алгоритми для аналізу форм, текстур, кольору та дефектів.
- 5) швидкість роботи:
 - висока частота кадрів для забезпечення реального часу: 118 кадрів/с, підходить для швидкісних виробничих ліній.
- 6) клас захисту: IP65.

Для даної камери найкраще підходить, згідно рекомендацій виробника, контролер для обробки зображень FH-5552-20 [23], основні характеристики якого:

- 1) обчислювальна потужність:
 - високошвидкісний процесор для обробки зображень у реальному часі;
 - підтримує кілька камер одночасно для складних завдань.
- 2) інтерфейси підключення:
 - GigE Vision, USB3 для підключення камер;
 - інтерфейс Ethernet для інтеграції з мережами підприємства;
 - I/O для управління периферійними пристроями.
- 3) сумісність з камерами:
 - підтримує кольорові та монохромні камери;
 - камери високої роздільної здатності (2 MP, 5 MP і більше);
 - лінійні сканери для аналізу рухомих об'єктів.
- 4) обробка зображень:
 - алгоритми розпізнавання форм, текстур, дефектів;
 - підтримка складних обчислювальних завдань, таких як 3D-аналіз;
 - інтеграція алгоритмів машинного навчання для аналізу складних патернів.
- 5) розширені можливості:
 - підтримка багато поточності для обробки кількох завдань одночасно;
 - сумісність із зовнішніми освітлювальними пристроями.

Отже для виміру гранулометричного складу підбрані засоби машинного зору на платформі Omron: камери FH-SC04 та контролер, який може обробляти виміри до 8-м камер - FH-5552-20, зображено на рисунку 2.5:

FH-5552-20




а)

FH-SC04



б)

Рисунок 2.5 – а) камера високої роздільної здатності FH-SC04 та б) контролер обробки зображень FH-5552-20



Далі розглянемо контрольно-вимірювальний засіб для вимірювання витрати води у трубопроводі подачі зрошувальної води. На даний момент діаметр трубопроводу для подачі зрошувальної води на чашевий огрудковувач складає DN40. Також при виборі датчика треба притримуватись, як було вже зазначено раніше для попередніх видів виміру, щоб прилад мав захист не менше ніж IP65, токовий вихід 4-20 мА, також бажано по виробнику притримуватись Стандарту АСУТП [24].

Достатнім вибором для поставленої задачі є витратомір Siemens SITRANS MAG 3100P (рис. 2.6), який є типовим при застосуванні на активах «МЕТІНВЕСТ ХОЛДІГУ» для різних діаметрів трубопроводів від DN 15 до DN 2000 та видів рідин.

Має такі характеристики:

- матеріал футеровки: PTFE максимальна температура рідини до +100 С;
- матеріал електродів: Hastelloy C;
- підключення до процесу: DN40 EN 1092-2;
- фланці з вуглецевої сталі ASTM A 105;
- блок електроніки MAG5000 компактне виконання, : 7ME6910-1AA30-1AA0 Siemens;
- напруга живлення: +24 В (+11...+30 В);
- вихідний сигнал: 4-20 мА ;
- корпус IP67 поліаміди, посилений скловолокном.



Рисунок 2.6 – Витратомір для рідин SITRANS MAG 3100P DN40 EN 1092-1

Для регулювання інтенсивності подачі зрошувальної води, також можна обрати типовий засіб який себе добре зарекомендував. Даний засіб скрадатиметься з електроприводу та засувки під діаметр

трубопроводу DN40. Достатнім варіантом є відомий виробник арматурних електроприводів AUMA:

- тип SAR 07.1, для короткочасної дії (S2-15 хв.): максимальний момент 60 Н-м, номінальний струм 1,7 А, максимальний струм 2,8 А, початковий струм 4,6 А. регулювання та зворотній зв'язок 4-20 м А.

Та засувка під даний електропривід:

- AVK 15-040-40016 DN40 PN16, корпус ковкий чавун GGG-50/GJS-500-7, запірний елемент клин - GGG-50, шток - X20Cr13, фланцеві приєднання засувки EN 1092-2.



Рисунок 2.7 – Електропривід AUMA SAR 07.1 та засувка AVK 15-040-40016 DN40 PN16

Впровадження можливості регулювання швидкості тарілі чашевого огрудковувача в діапазоні 6,5 – 7,8 обертів на хвилину. На даний момент чаша обертається з постійною швидкістю, можливість зміни швидкості є тільки у період кварталних ремонтів, так як виконується механічним способом за допомогою зміни шківів. Призводить до обертання чашу, електричний двигун асинхронний двигун з короткозамкненим ротором:

- АИС 315 М 4 N=132 кВт, 1500 обертів за хвилину, 380 В.

Запуск двигуна за допомогою пристрою плавного пуску (Soft Start), даний пристрій допомагає тільки двигуну плавно вийти на номінальні показники роботи при запуску, але даний пристрій не має можливості регулювання швидкістю обертання валу двигуна. Дану можливість надасть частотний перетворювач, так як це - електронний пристрій, який перетворює змінний синусоїдальний струм однієї частоти (наприклад, 50-60 Гц) на змінний струм із регульованою частотою та напругою. Його основне завдання — забезпечити плавне регулювання швидкості обертання електродвигуна.



Також з переваг використання частотних перетворювачів є: економія енергії, підвищення довговічності двигуна, адаптація до різних режимів роботи, зменшення пускових навантажень. Вибір частотних перетворювачів потрібно робити в залежності від параметрів двигуна які були зазначені вище:

- 1) потужність ПЧ повинна бути в запасом (бажано 10-20 %) в залежності від потужності двигуна, якщо 132 кВт то 160 кВт буде достатньо для даного механізму;
- 2) напруга в нашому випадку 380 В;
- 3) ступінь захисту, в нашому випадку ПЧ буде розміщуватись у закритому приміщенні, без впливу навколишнього середовища цеху, тобто IP 20 буде достатньо;
- 4) вихідна частота керування від 0,1...50 Гц;
- 5) інтерфейс для управління від ПЛК: Modbus, Profibus, Profinet;
- 6) можливість управління по аналоговому входу/виходу: 0-10 В, 4-20 м А.

Для даних умов та характеристик найкраще підходить перетворювач частоти - ATV71HC16N4 серії Altivar 71 Plus (рис. 2.8), виробника Schneider Electric. Обладнання даного виробника широко використовується в цехах ГЗК для двигунів наприклад конвеєрів, тобто це говорить що адаптованість на високому рівні. Даний перетворювач буде швидше інтегрований в правильно налаштований ніж інші перетворювачі інших виробників.

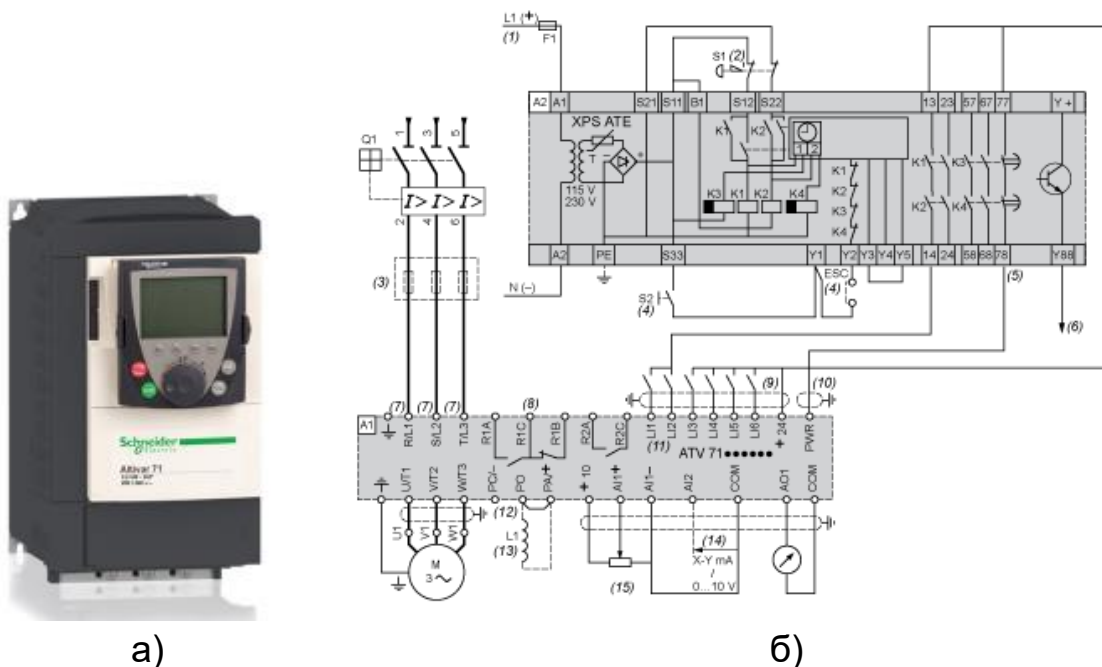


Рисунок 2.8 – Частотний перетворювач: а) ATV71HC16N4 серії Altivar 71 Plus IP54 160кВт та б) схема

Впровадження можливості зміни кута нахилу тарілі чашевого огрудковувача. Для виконання даного завдання необхідно встановити механізм нахилу чаші в комплекті з мотор редуктором, електричним двигуном та електронним блоком який по аналоговому сигналу керування буде змінювати поточний нахил в діапазоні 45-55°.

Даний механізм складається з:

- механізм з мотор-редуктором та з електродвигуном потужність 2,2 кВт, з приводом управління (МПУ) нахилом чаші по дискретним сигналам від ПЛК АСКТП рисунок 2.9;

- сигналізатор поточного кута нахилу JN2201 виробника IFM, живлення 24 В, аналоговий вихід 4-20 м А або 0-10 В, кутовий діапазон $\pm 45^\circ$, захист IP 67, точність 0,01, рисунок 2.10.

Приклад встановлення механізму кута нахилу:

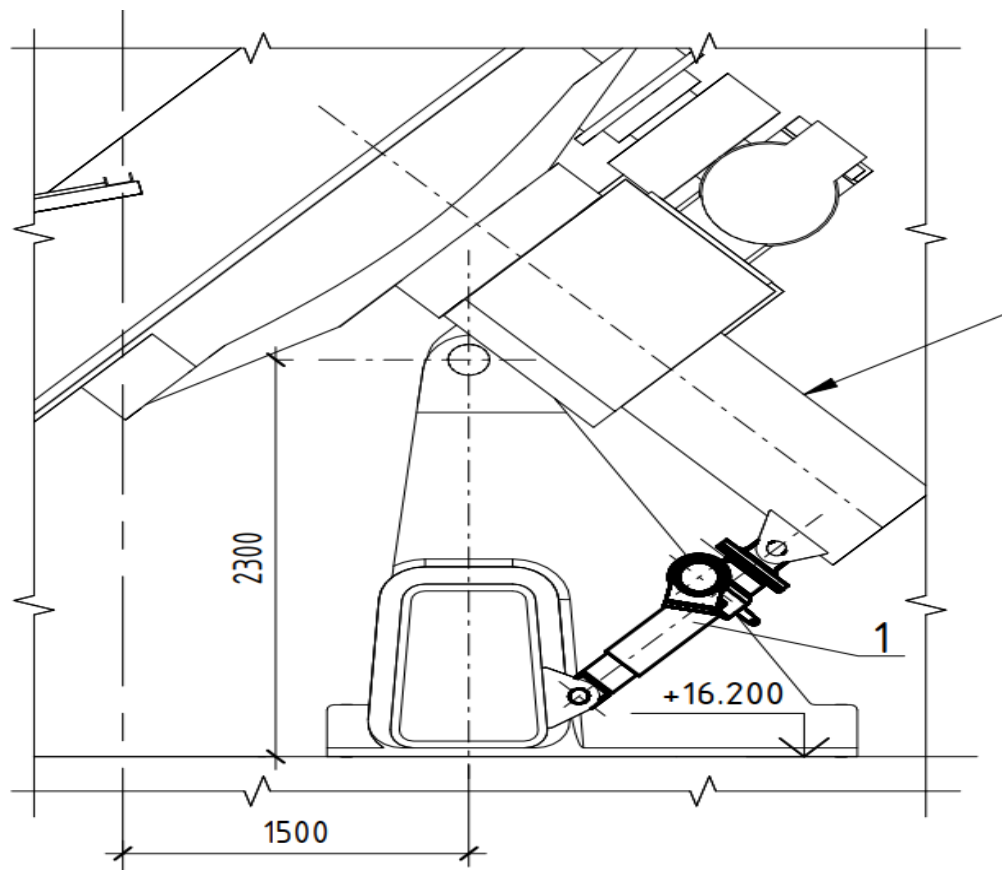


Рисунок 2.9 – Приклад монтажу механізму нахилу чашевого огрудковувача, на кресленні позначено 1, стрілкою вказано можливе місце встановлення сигналізатора кута нахилу

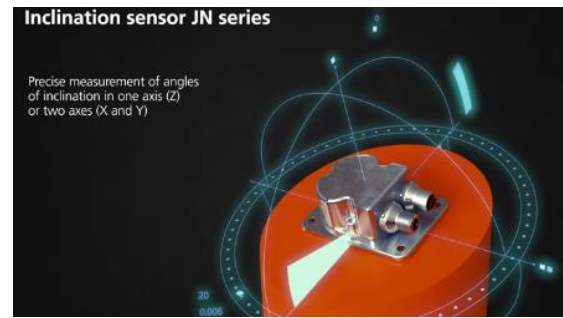



Рисунок 2.10 – Сигналізатор положення чашевого огрудковувача JN2201 виробника IFM ,4-20 м А

Впровадження можливості зміни навантаження шихтою на чашевий огрудковувач. В даному випадку треба замінити існуючі дозатори на вагові дозатори по прикладу вже існуючих на ділянці шихто-підготовки. Дані дозатори повинні мати можливість навантажувати $100 + 15\%$ т/год шихти на огрудковувач. Для такої задачі підходять вагові дозатори без роторного живильника, тобто подача шихти напряму на стрічку дозатора: MULTIDOS MTD B=800 мм; L=2,7 м; $Q_{\text{макс}}=220$ т/год. Приклад вагового дозатор ділянки огрудкування зображено на рисунку 2.11:



Рисунок 2.11 – Ваговий дозатор Schenck Process GmbH MULTIDOS MTD



Управління дозатором буде здійснюватися з головного ПЛК через протокол Modbus RTU.

2.2.3 Рівень ПЛК та верхній рівень об'єднаної АСКТП ділянок дозування шихто-підготовки та огрудкування

Для ділянок дозування та огрудкування достатньо буде одного контролера з комплектом модулів введення/виведення. На даний час один з найперспективніших контролерів та найбільш адаптованих на підприємствах «МЕТІВЕСТ ХОЛДІНГ» є контролери виробника Siemens серії S7-1500 [25]. Комплект рівня ПЛК складається з:

- живлення SIMATIC, S7-1500 24 V DC/60 W SIEMENS 6ES7505-0RA00-0AB0;
- процесор центральний SIMATIC S7-1500 CPU 1516-3 PN/DP SIEMENS 6ES7516-3AN01-0AB0, рисунок - 2.12;
- карта пам'яті S7 MEMORY CARD FOR S7-1X00 CPU 32 GB SIEMENS 6ES7954-8LT03-0AA0;
- модуль дискретного ведення 32 DI 24 V DC SIEMENS 6ES7521-1BL00-0AB0;
- модуль дискретного виведення 32 DO 24 V DC/0,5 A SIEMENS 6ES7522-1BL01-0AB0 5;
- панель оператора SIMATIC HMI TP1200 COMFORT SIEMENS 6AV2124-0MC01-0AX0;
- комутатор SCALANCE XC206-2 6 X 100 M bit/s RJ45 SIEMENS 6GK5206-2BB00-2AC2;
- штекер 180 RJ45 SIEMENS 6GK1901-1BB11-2AA0;
- модуль інтерфейсу IM 155-5 ET200MP Interface module SIEMENS 6ES7155-5AA01-0AB0;
- ET 200SP, AI 16XI Модуль введення аналогових сигналів SIEMENS арт 6ES7531-7MH00-0AB0.

Верхній рівень. В нашому випадку достатньо використовувати наявні: прикладне ПО з ліцензіями, інженерні станції, АРМ-и та сервери головної візуалізації, типи та параметри яких були зазначені у розділі 1.3. Але є необхідність в окремій інженерній станції SIMATIC IPC847E для конфігурування ПЛК S7-1500 та панелі оператора SIMATIC HMI TP1200 з ліцензіями на програмне забезпечення SIMATIC STEP 7 Professional (6ES7822-1AE07-0YA5) та WinCC Comfort (6AV2101-0AA07-0AH5) в TIA Portal Siemens, версія не остаточна, буде актуалізована на момент впровадження.



Рисунок 2.12 – ПЛК SIMATIC S7-1500 CPU 1516-3 PN/DP

На рисунку 2.13 зображено приклад структури модернізованої АСКТП ділянки дозування та огрудкування.



Структурна схема АСКТП відділення дозування та огрудкування

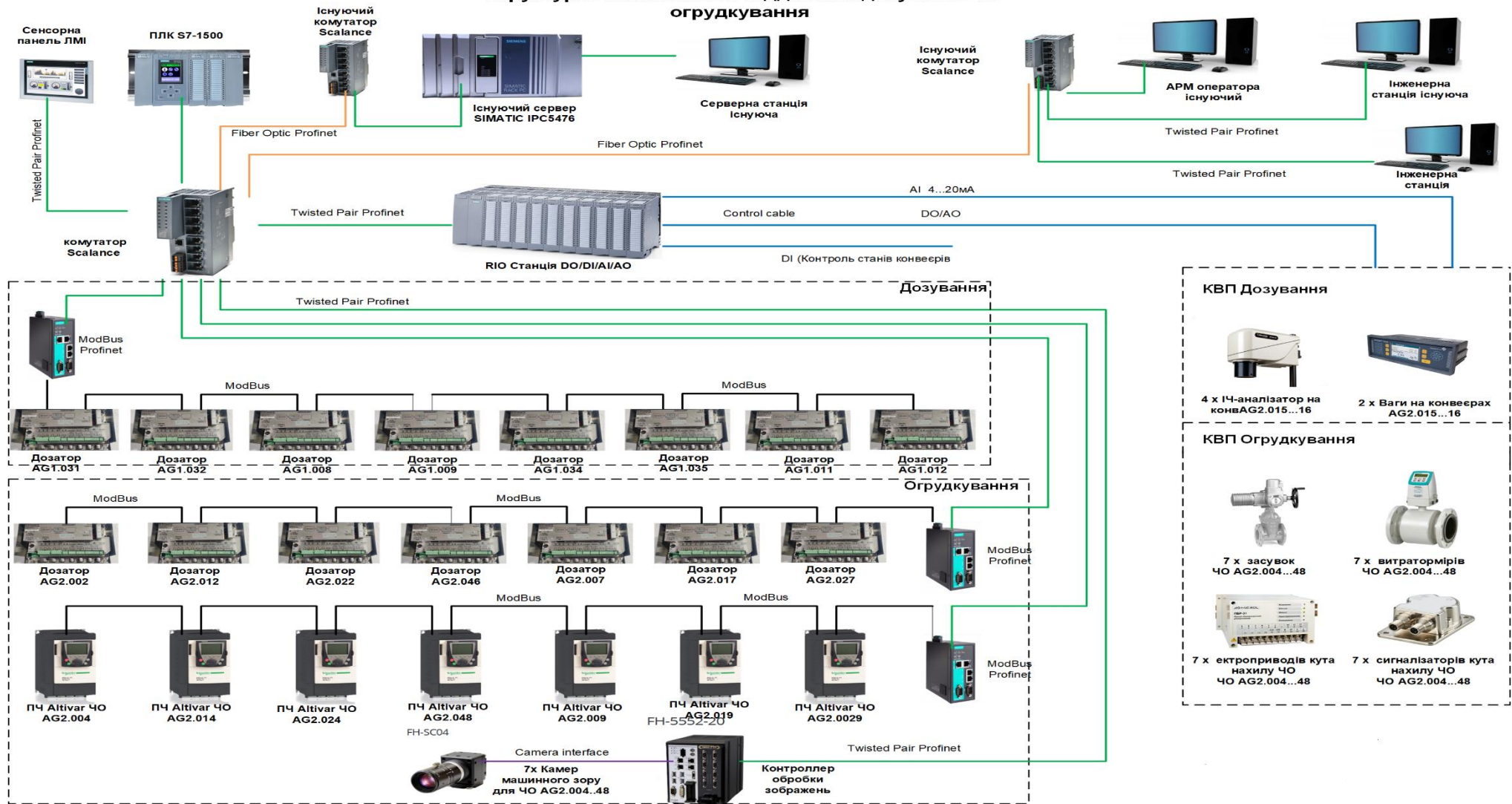


Рисунок 2.13 – Структура схема АСКТП відділення дозування та огрудкування

3 РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ АСКТП ВІДДІЛЕННЯ ДОЗУВАННЯ ТА ОГРУДКУВАННЯ

3.1 Проектування та математичні дослідження запропонованої САР

На даному етапі виконання роботи, а саме після розробки та обґрунтування технічних рішень запропонованої АСКТП ділянок дозування шихто-підготовки та огрудкування, виконаємо дослідження в програмному пакеті MATLAB. Так як на даний момент проектування відсутня можливість технічної фіксації крупності сирого окатиша після огрудкування, тому що дана фіксація виконується візуально машиністом огрудковувача, створимо варіацію залежності поточного гранулометричного складу від поточної вологості, яка надходить з ділянки шихто-підготовки на огрудкування, та від зміни діапазону навантаження від мінімально можливого - 71 т/год до максимального згідно ТІ цеху з виробництва окатишів №2– 113 т/год в таблиці Excel (рис. 3.1) :

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	0	8,9	9	9,1	9,2	9,3	9,4	9,5	9,6	9,7	9,8	9,9	10	10,1	10,2	10,3	10,4	10,5
2	113	9,0	9,8	10,2	10,6	11,0	11,4	12,0	12,2	12,6	13,0	13,4	13,8	14,2	14,6	15,0	15,4	15,8
3	110	9,8	10,0	10,6	11,0	11,4	12,0	12,2	12,6	13,0	13,4	13,8	14,2	14,6	15	15,0	15,4	15,8
4	107	10,2	10,6	11,0	11,4	12,0	12,2	12,6	13,0	13,4	13,8	14,2	14,6	14,6	15	15,0	15,4	15,8
5	104	10,6	11,0	11,4	12,0	12,2	12,6	13,0	13,4	13,8	14,2	14,6	15,0	14,6	15	16,2	16,6	17
6	101	11,0	11,5	12,0	12,2	12,6	13,0	13,4	13,8	14,2	14,6	15,0	15,0	15,8	16,2	16,6	17,0	17,4
7	98	11,4	11,8	12,2	12,6	13,0	13,4	13,8	14,2	14,6	15,0	15,0	15,0	16,2	16,6	17	17,4	17,8
8	95	11,4	12,2	12,6	13,0	13,4	13,8	14,2	14,6	15,0	15,0	15,0	15,0	16,6	17,0	17,4	17,8	18,2
9	92	11,4	12,6	13,0	13,5	13,8	14,2	14,6	15,0	15,0	15,2	15,0	15,0	17	17,4	18	18,2	18,2
10	89	12,6	13,0	13,4	13,8	14,2	14,6	15,0	15,0	15,0	15,3	16,6	17,0	17,4	17,8	18,2	18,2	18,2
11	86	13,0	13,4	13,8	14,2	14,6	14,6	15,0	15,0	15,0	16,6	17,0	17,4	17,8	18,2	18,2	18,2	18,2
12	83	13,4	13,8	14,2	14,6	14,6	14,6	15,0	15,0	16,6	17,0	17,4	17,8	18,0	18,2	18,2	18,2	18,2
13	80	14,0	14,2	14,6	15,0	14,6	14,6	16,2	16,6	17,0	17,4	17,8	18,0	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2
14	77	14,2	14,6	15,0	15,4	15,8	16,2	16,6	17,0	17,4	17,8	18,2	18,0	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2
15	74	14,6	15,0	15,5	15,8	16,2	16,6	17,0	17,4	17,8	18,0	18,0	18,0	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2
16	71	15,0	15,8	16,0	16,2	16,6	17,0	17,4	17,8	18,0	18,2	18,0	18,2	18,2	18,2	18,4	18,4	19,0

Рисунок 3.1 – Варіація можливих експериментальних даних з шихто-підготовки та з огрудкування (залежність гранулометрії: від вологості та навантаження на чашу)

Імпортуємо масив даних у середовище (Work Space) MATLAB (рис. 3.2):

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
	data22																	
1	0	8.9000	9	9.1000	9.2000	9.3000	9.4000	9.5000	9.6000	9.7000	9.8000	9.9000	10	10.1000	10.2000	10.3000	10.4000	10.5000
2	113	9	9.8000	10.2000	10.6000	11	11.4000	12	12.2000	12.6000	13	13.4000	13.8000	14.2000	14.6000	15	15.4000	15.8000
3	110	9.8000	10	10.6000	11	11.4000	12	12.2000	12.6000	13	13.4000	13.8000	14.2000	14.6000	15	15	15.4000	15.8000
4	107	10.2000	10.6000	11	11.4000	12	12.2000	12.6000	13	13.4000	13.8000	14.2000	14.6000	14.6000	15	15	15.4000	15.8000
5	104	10.6000	11	11.4000	12	12.2000	12.6000	13	13.4000	13.8000	14.2000	14.6000	15	14.6000	15	16.2000	16.6000	17
6	101	11	11.5000	12	12.2000	12.6000	13	13.4000	13.8000	14.2000	14.6000	15	15	15.8000	16.2000	16.6000	17	17.4000
7	98	11.4000	11.8000	12.2000	12.6000	13	13.4000	13.8000	14.2000	14.6000	15	15	15	16.2000	16.6000	17	17.4000	17.8000
8	95	11.4000	12.2000	12.6000	13	13.4000	13.8000	14.2000	14.6000	15	15	15	15	16.6000	17	17.4000	17.8000	18.2000
9	92	11.4000	12.6000	13	13.5000	13.8000	14.2000	14.6000	15	15	15.2000	15	15	17	17.4000	18	18.2000	18.2000
10	89	12.6000	13	13.4000	13.8000	14.2000	14.6000	15	15	15	15.3000	16.6000	17	17.4000	17.8000	18.2000	18.2000	18.2000
11	86	13	13.4000	13.8000	14.2000	14.6000	14.6000	15	15	15	16.6000	17	17.4000	17.8000	18.2000	18.2000	18.2000	18.2000
12	83	13.4000	13.8000	14.2000	14.6000	14.6000	14.6000	15	15	16.6000	17	17.4000	17.8000	18	18.2000	18.2000	18.2000	18.2000
13	80	14	14.2000	14.6000	15	14.6000	14.6000	16.2000	16.6000	17	17.4000	17.8000	18	18.2000	18.2000	18.2000	18.2000	18.2000
14	77	14.2000	14.6000	15	15.4000	15.8000	16.2000	16.6000	17	17.4000	17.8000	18.2000	18	18.2000	18.2000	18.2000	18.2000	18.2000
15	74	14.6000	15	15.5000	15.8000	16.2000	16.6000	17	17.4000	17.8000	18	18	18	18.2000	18.2000	18.2000	18.2000	18.2000
16	71	15	15.8000	16	16.2000	16.6000	17	17.4000	17.8000	18	18.2000	18	18.2000	18.2000	18.2000	18.4000	18.4000	18.4000

Рисунок 3.2 - Імпорт масиву варіації експериментальних даних у середовище MATLAB

Перетворимо масив даних у 3 стовпці, де 1-й стовбець відповідає вхідному параметру x_1 – навантаження на чашевий огрудковувач, 2 стовбець вхідному параметру x_2 – вологість шихти, а 3 – вихідному значенню y – поточний гранулометричний склад. Застосуємо програмний код даного перетворення, рисунок 3.3:

```

1      %%
2      p=data1(2:end,1);
3      M=data1(1,2:end);
4      tabT=data1(2:end,2:end);
5      [max_i, max_j]=size(tabT);
6      %%
7      xxT=zeros(max_j*max_i,3);
8      for i=1:max_i
9          for j=1:max_j
10             xxT(i+(j-1)*max_i,1)=p(i);
11             xxT(i+(j-1)*max_i,2)=M(j);
12             xxT(i+(j-1)*max_i,3)=tabT(i,j);
13         end
14     end
15     %%
16     anfisedit

```

Рисунок 3.3 – Програмний код перетворення масиву даних

Результат перетворення зображено на рисунку 3.4:



	1	2	3	4
1	113	8.9000	9	
2	110	8.9000	9.8000	
3	107	8.9000	10.2000	
4	104	8.9000	10.6000	
5	101	8.9000	11	
6	98	8.9000	11.4000	
7	95	8.9000	11.4000	
8	92	8.9000	11.4000	
9	89	8.9000	12.6000	
10	86	8.9000	13	
11	83	8.9000	13.4000	
12	80	8.9000	14	
13	77	8.9000	14.2000	
14	74	8.9000	14.6000	
15	71	8.9000	15	
16	113	9	9.8000	
17	110	9	10	
18	107	9	10.6000	
19	104	9	11	
20	101	9	11.5000	
21	98	9	11.8000	

Рисунок 3.4 – Перетворення таблиці за допомогою програмного коду

У модулі ANFIS завантажуюмо масив даних натисканням кнопки Load Data. Попередньо здійснюємо налаштування: Type – Training Data; From – worksp. , як зображено на рисунку 3.5.

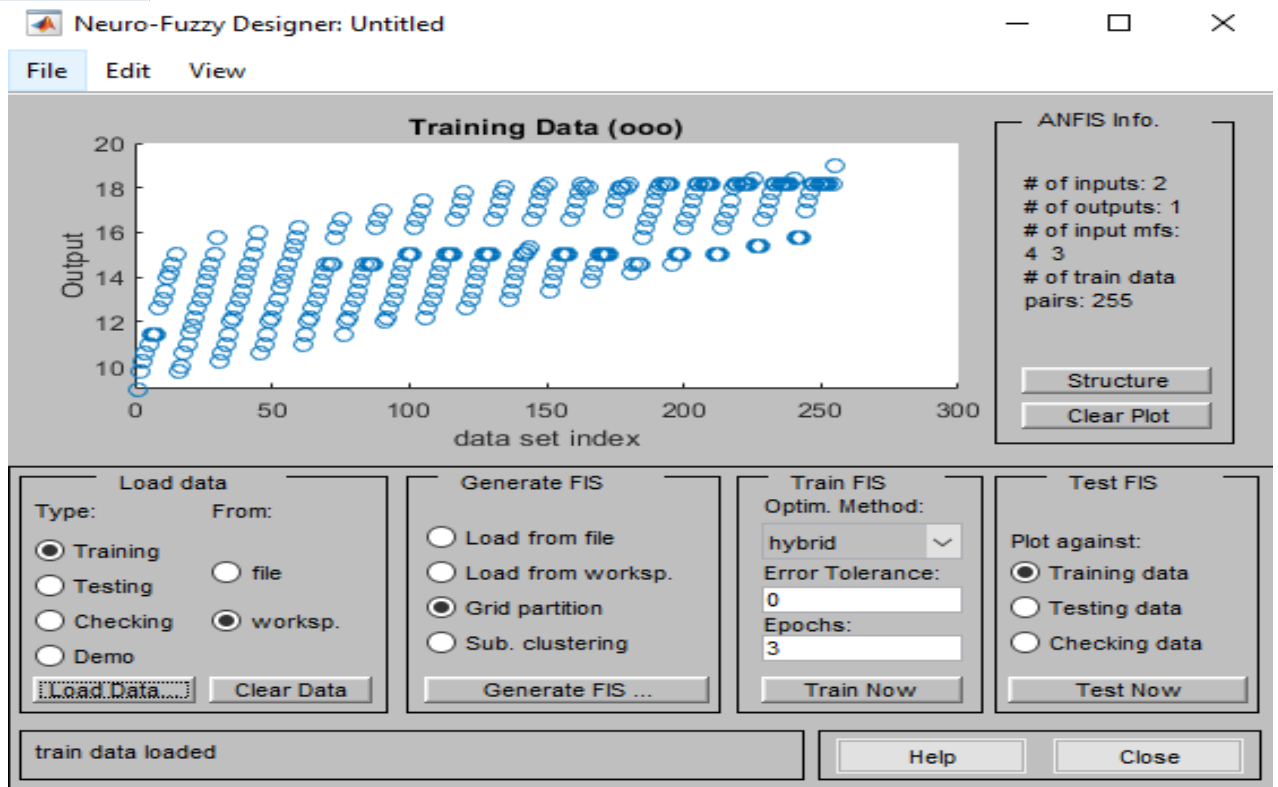


Рисунок 3.5 - Результат завантаження масиву до модуля ANFIS

Далі у вікні побудови нечіткого висновку визначимо генерацію опису вхідних змінних за способом решітки Grid partition, після даного вибору а саме за способом решітки. Вказуємо кількість термів, в нашому випадку 8 для кожної вхідної змінної, також вибираємо тип функції: gaussmf.

У вікні модуля ANFIS, у вкладці Structure переглянемо згенеровану структуру нечіткого логічного висновку у вигляді нейронної нечіткої мережі. Як видно на рис. 3.6 – кількість входів 2, тому що у нашому масиві даних два вхідні параметри і один вихідний параметр. Кількість нейронів 2-го та 4-го шарів відповідає кількості правил 64.

Далі проводимо навчання побудованої нейронної системи нечіткого логічного висновку. У вкладці навчання (Train FIS) обраємо гібридний метод оптимізації (Optim. Method - Hybrid), у полі завдання точності навчання (Error tolerance) обираємо значення 0, а у полі завдання ітерацій навчання (Epochs) встановлюємо 30 епох (рис. 3.7).

Навчання виконується натисканням кнопки Train Now. Попередні результати навчання зображено на рисунку 3.7.

По завершенню навчання за даними виконуємо тестування нейронної нечіткої системи (Test FIS), натисканням кнопки Test Now, результати зображено на рис. 3.8.

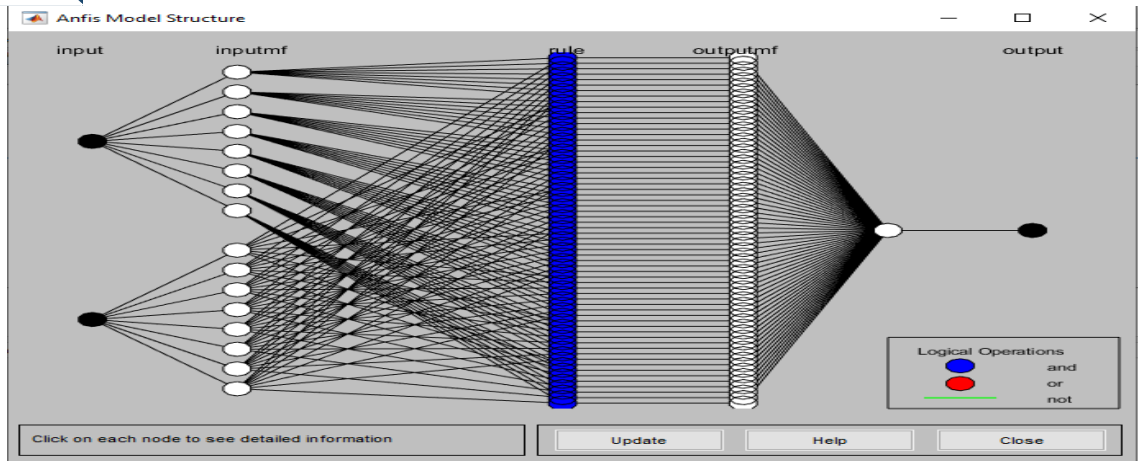


Рисунок 3.6 – Згенерована нейронна нечітка структура логічного висновку

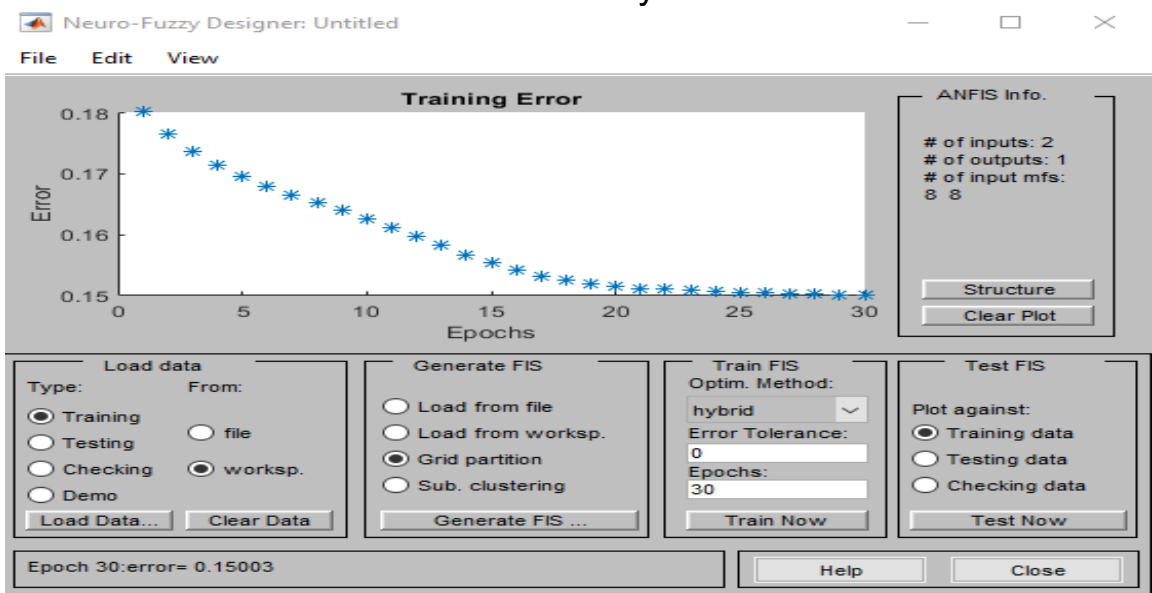


Рисунок 3.7 - Попередні результати навчання

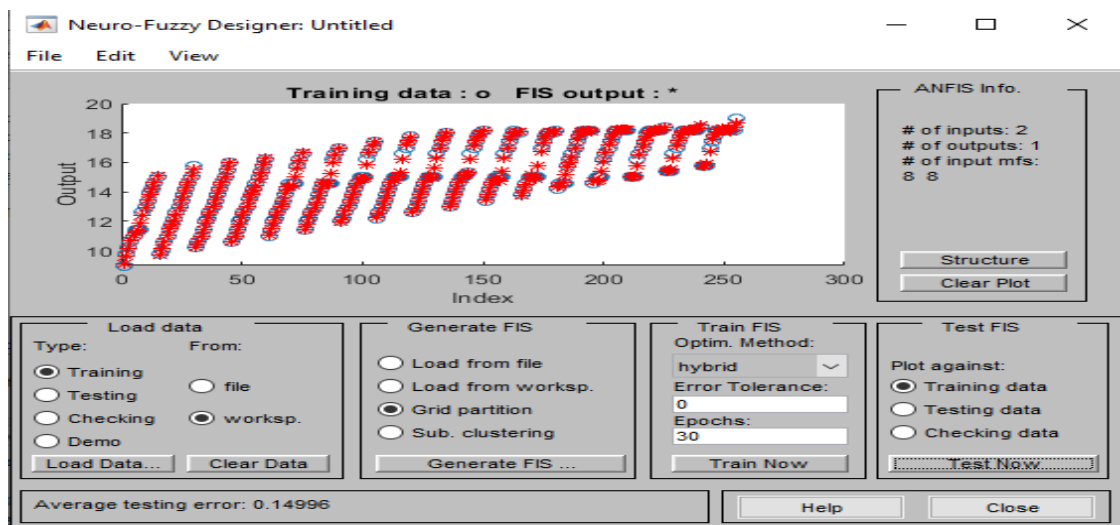


Рисунок 3.8 – Результати тестування нечіткої системи



- Після опису правил за допомогою:
- інтерфейсу Rule Viewer переглянемо роботу системи нечіткого висновку за різних вхідних даних (рисунок - 3.9).
 - інтерфейсу Surface Viewer переглянемо графічне подання закону управління (рисунок - 3.10).

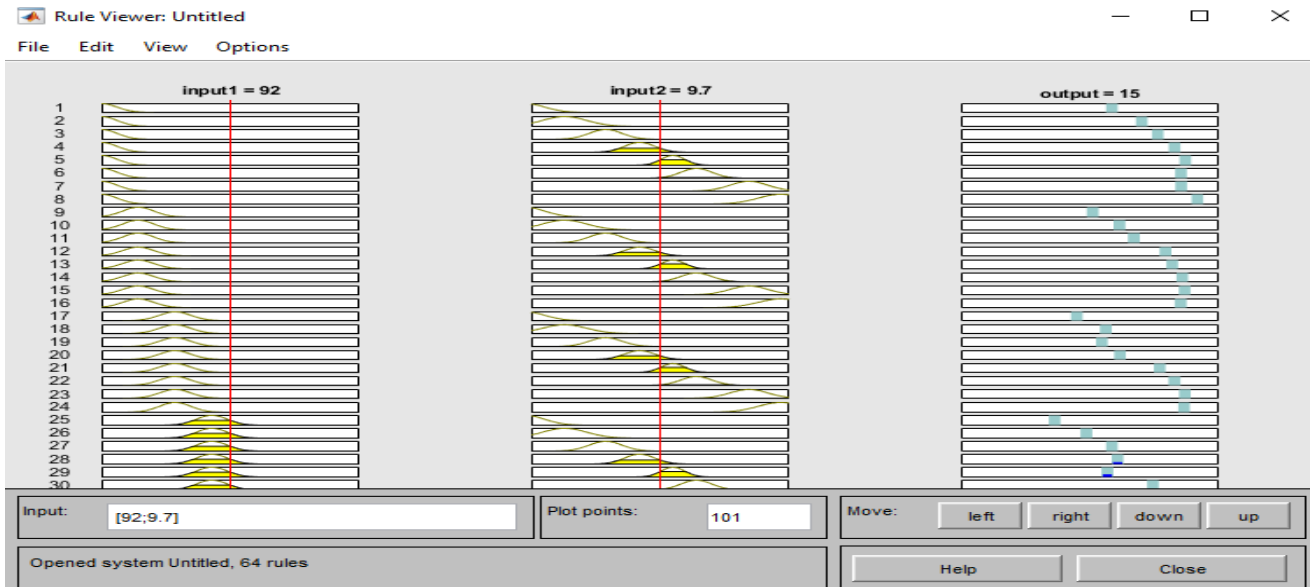


Рисунок 3.9 - Робота системи нечіткого висновку

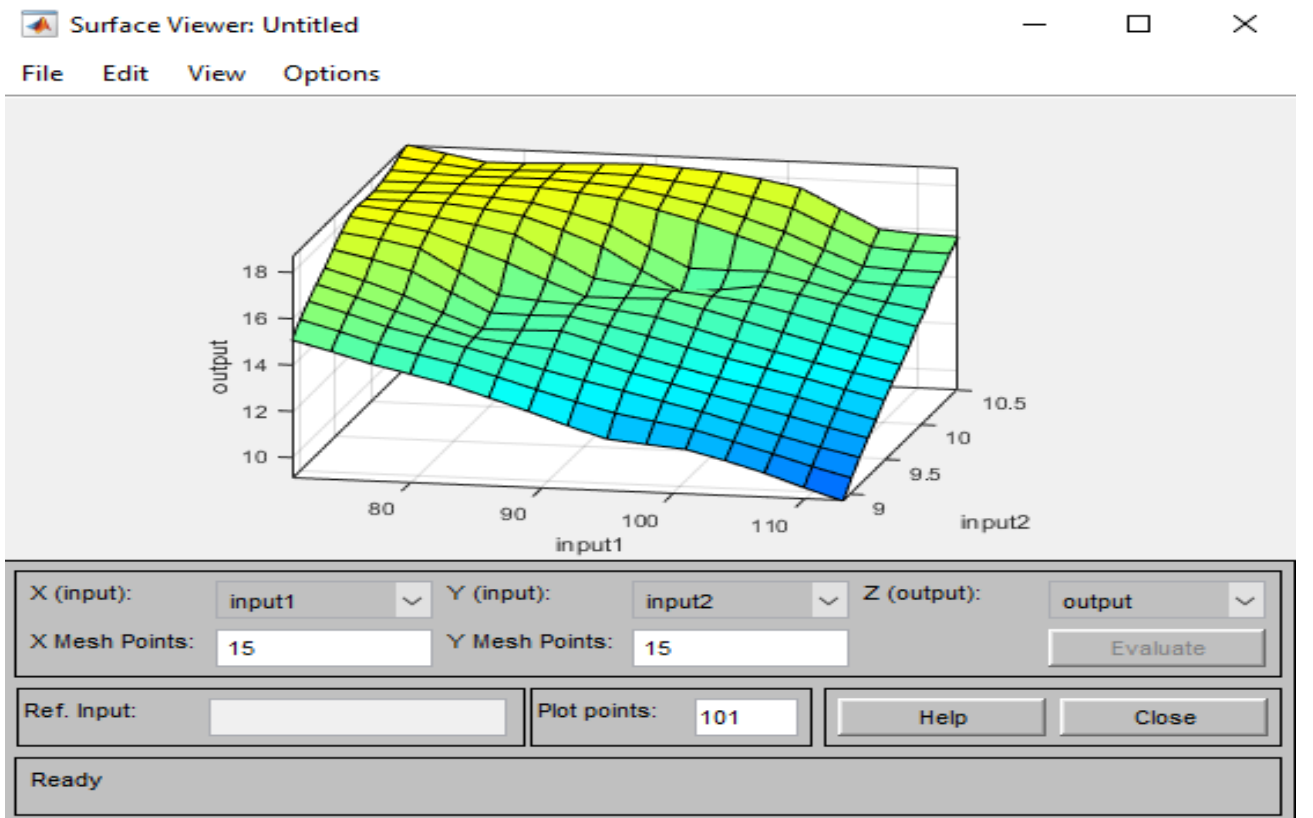


Рисунок 3.10 - Графічне подання закону управління



За допомогою середовища Simulink у MATLAB побудуємо схему досліджуваної математичної моделі залежності вихідного технологічного параметра гранулометричного складу від вхідних параметрів вологості та навантаження шихти на чашевий огрудковувач. За допомогою нечіткого контролера Fuzzy Logic Controller при задаванні двох параметрів отримуємо з мінімальним відхиленням значення на виході, що відповідає початковому заданому масиву даних. Що в нашому випадку означає: запропонована варіація експериментальних даних для нашого досліджу, повністю актуальна та можлива для адаптації, рисунок 3.11:

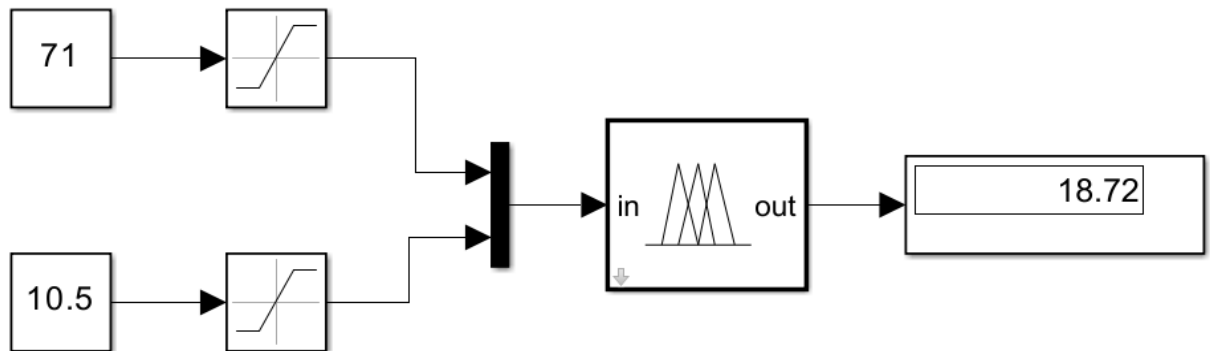


Рисунок 3.11 - Схема досліджуваної математичної моделі залежності вихідного технологічного параметра гранулометричного складу від вхідних параметрів вологості та навантаження шихти на чашевий огрудковувач

3.2 Реалізація алгоритмів САР ділянок дозування та огрудкування з урахуванням вологості шихти/концентрату та гранулометрії сирих окатишів

3.2.1 Алгоритм для відділення дозування у TIA Portal

Реалізація алгоритмів запропонованої модернізованої АСТКП дозування та огрудкування полягає у налаштування ПІД регуляторів дозаторів бентоніту, вапна, меленого окатишу та функціонально блоку алгоритму керування чашевого огрудковувача.

Додаємо організаційний блок ОВ-30 з фіксованою періодичністю виклику в якому будуть працювати ПІД регулятори ваги для дозування компонентів шихти: бентоніту, меленого окатишу (повернення) та вапна. Також в даному організаційному блоці визивається FB-10 для розрахунку скорегованих завдань для ПІД регуляторів бентоніту та меленого окатишу, в залежності від вологості шихти, для ПІД регулятора вапна блок FB-10 не застосовується. Всі дії виконуються в програмному середовищі TIA Portal Siemens.

Сформуємо сигнали для дозволу роботи регулятора корегування завдання ваги по меленому окатишу та бентоніту (рис. 3.11).

Network 4:

Регулятор корегування завдання по бентоніту в залежності від вологості

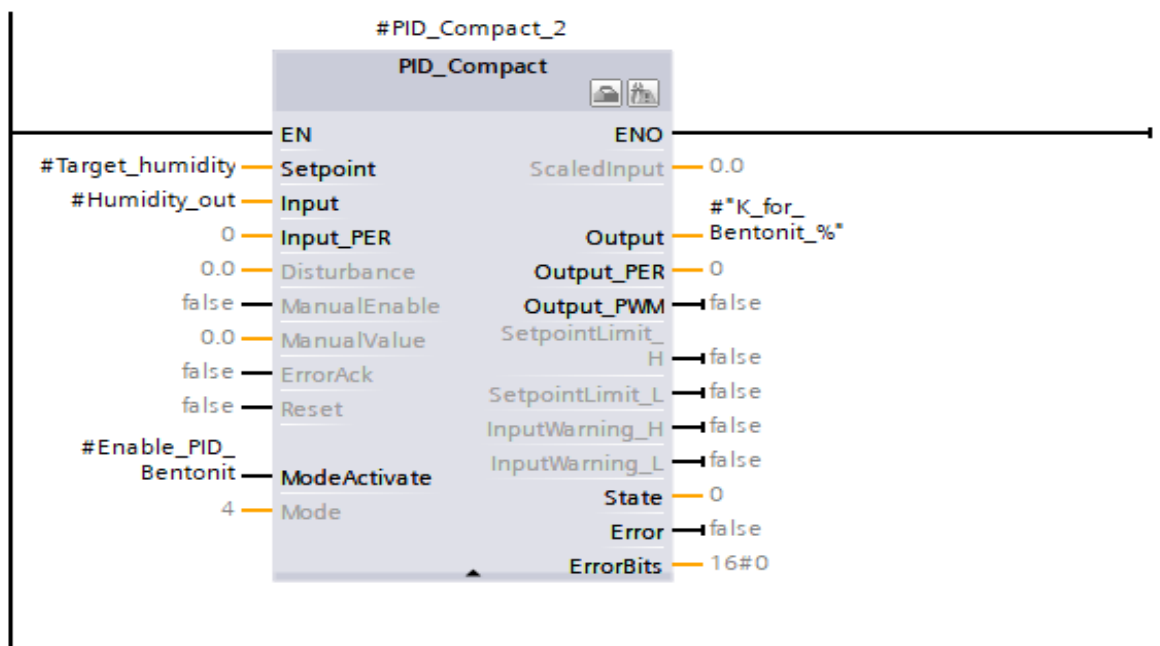


Рисунок 3.14 - Регулятор корегування завдання по меленому окатишу

Далі обчислюємо та формуємо скореговані завдання для ПІД регуляторів дозаторів для подачі меленого окатиша та бентоніту, враховуючи коефіцієнт оператора і скорегований коефіцієнт по вологості шихти (рис. 3.15):

Network 6:

Скореговані завдання по меленому окатишу та бентоніту з урахуванням коефіцієнту заданого оператором та при поточній вологості

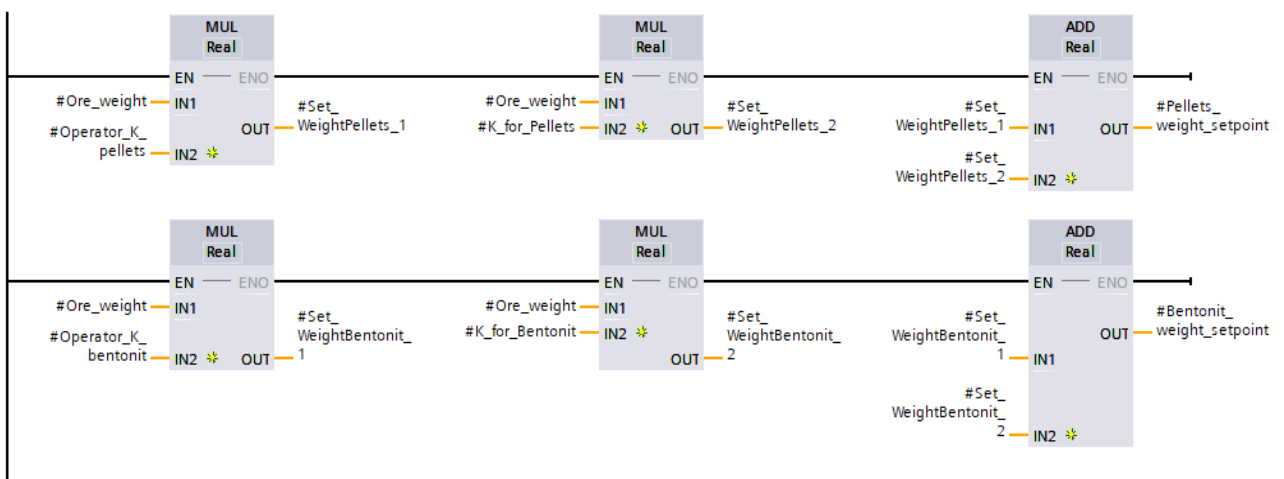


Рисунок 3.15 - Скореговані завдання для ПІД регуляторів дозаторів для подачі меленого окатиша та бентоніту



Загальний вид функціонального блоку FB-10, на виході з якого отримуємо два скореговані завдання по бентоніту та меленому окатишу з урахуванням завдання оператора та змін вологості, та загальний вид ПІД регуляторів даних шихтових компонентів зі входами які отримані з FB-10: (рис 3.16):

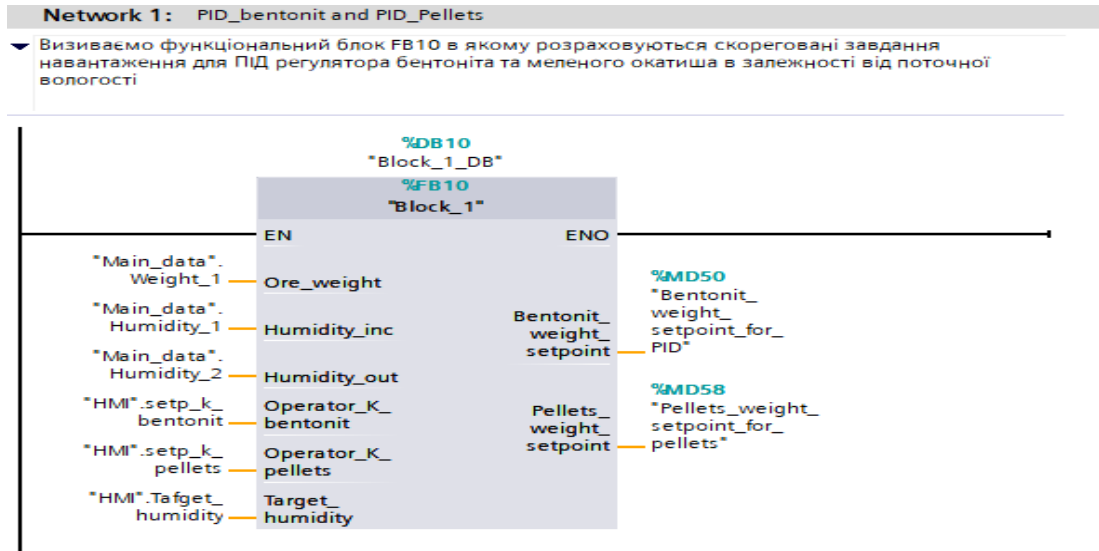


Рисунок 3.16 - Функціональний блок FB-10 з скорегованими завданнями по бентоніту та меленому окатишу

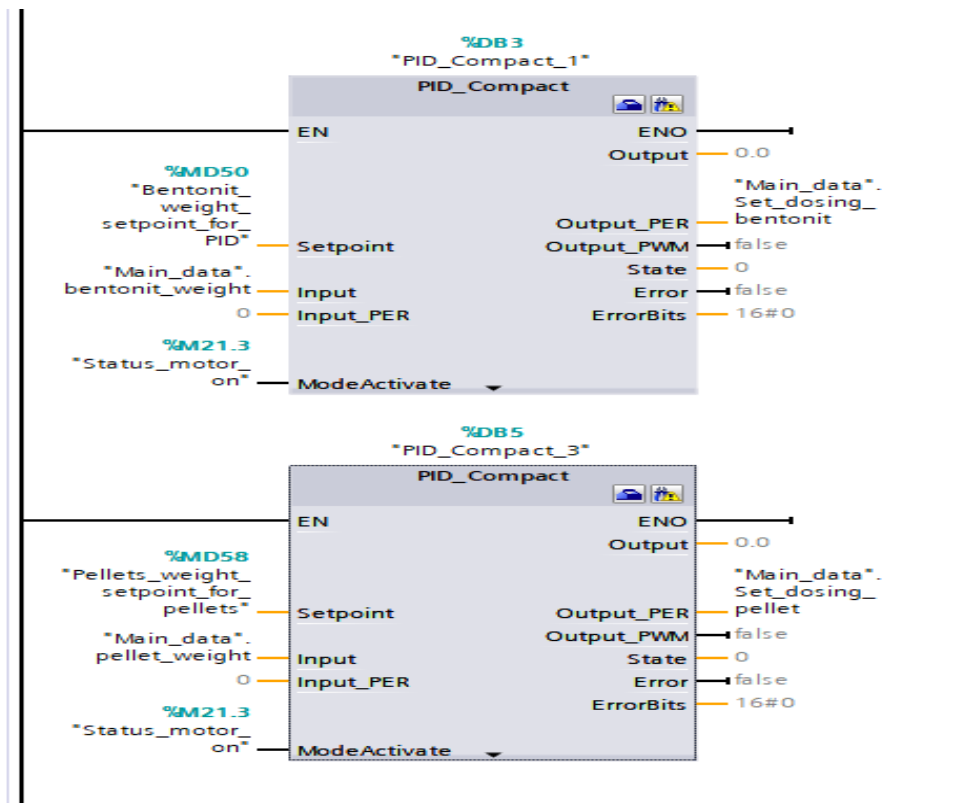


Рисунок 3.17 – ПІД регулятори дозаторів подачі бентоніту та меленого окатишу

Побудуємо алгоритм задачі коефіцієнту оператора по вапну для дозатора. В даній домішки без урахування вологості, рисунок 3.18:

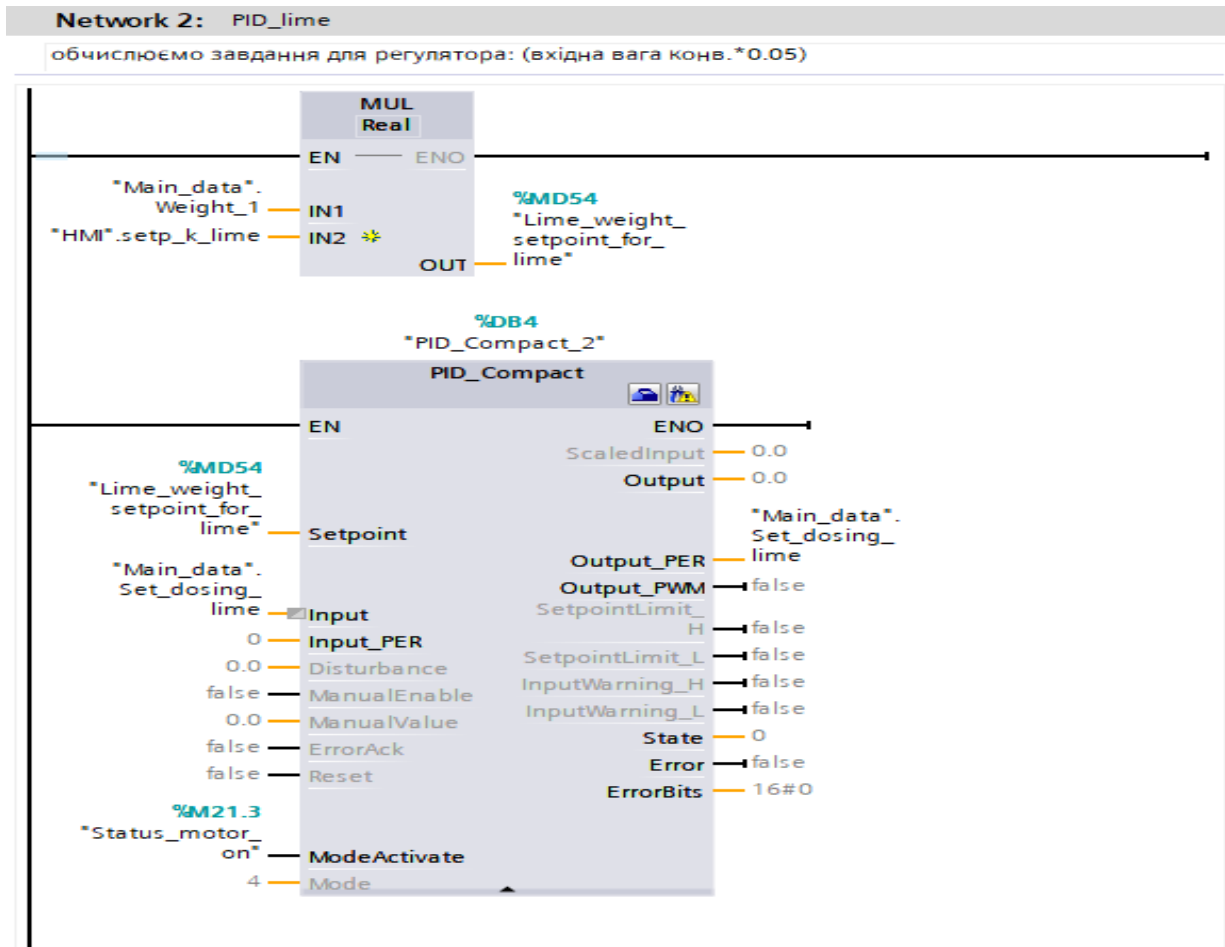


Рисунок 3.18 – ПІД регулятор дозатора подачі вапна

3.2.2 Алгоритм для відділення огрудкування в TIA Portal

Ділянка огрудкування. Створимо функціональний блок FB-11 та звернемося в ньому до Main DB. Даний блок формує загальний алгоритм керування по вхідним параметрам та формує завдання на зміну кута нахилу чаші, швидкості обертання, витрати зрошувальної води та продуктивності дозаторів подачі шихти.

Функціональний блок регулювання чаші 1 (рис. 3.19):

Network 2: Керування лінією 1

Comment

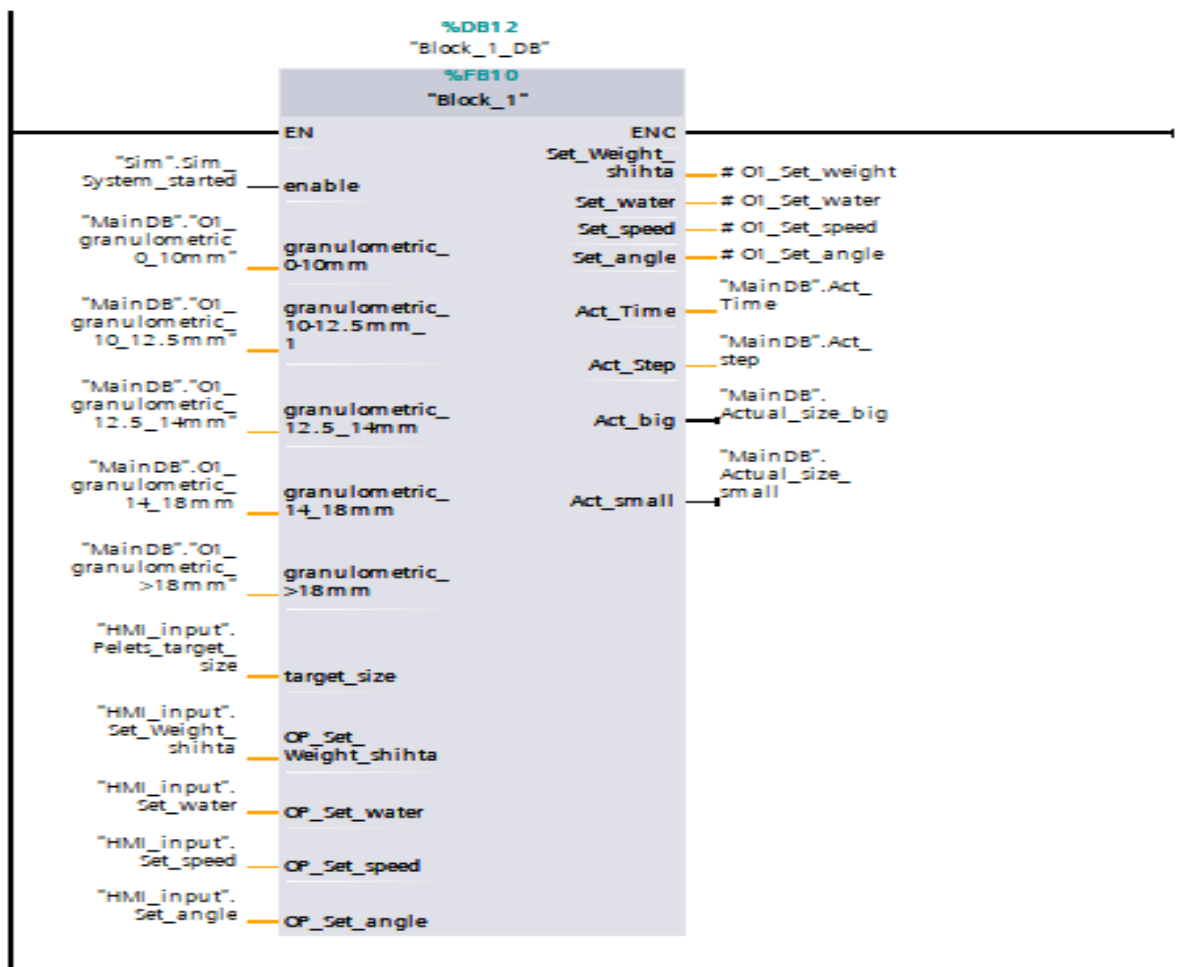


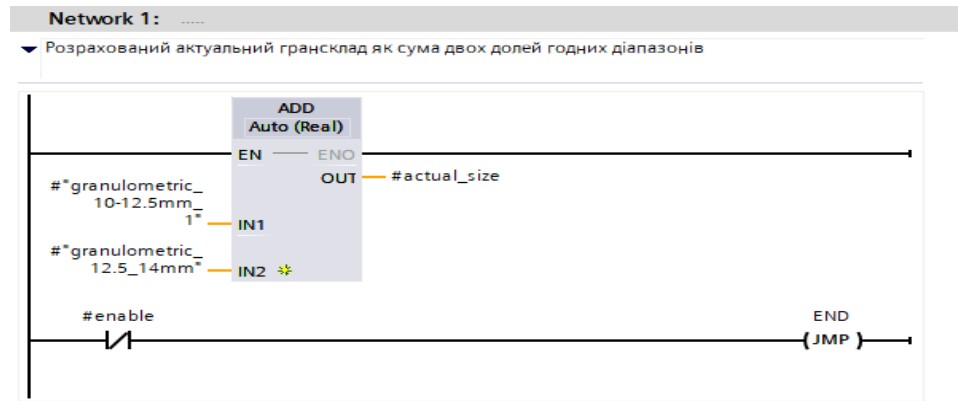
Рисунок 3.20 - Приклад функціонального блоку регулювання чаші

Початок логіки покрокового алгоритму на рисунку 3.21.

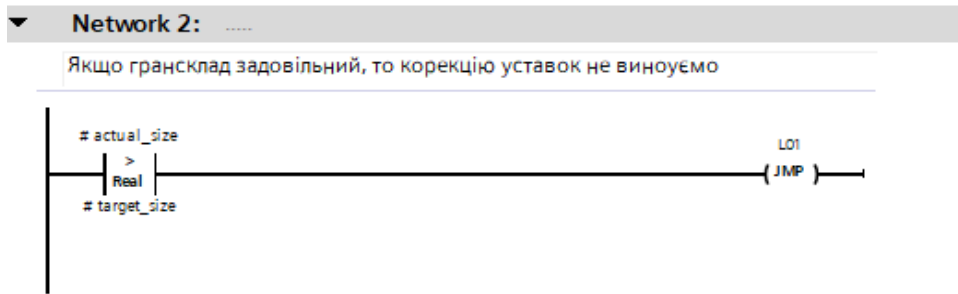
Лінія 1 - сума часток гідного вимірюваного гранулометричного складу 10-12,5 мм + 12,5+14мм.

Лінія 2 – якщо сума часток більша за цільове значення, програма завершується без додаткової корекції і здійснюється процес переходу на Лінію 8, якщо не виконується умова – тоді починається корекція з Лінії 3.

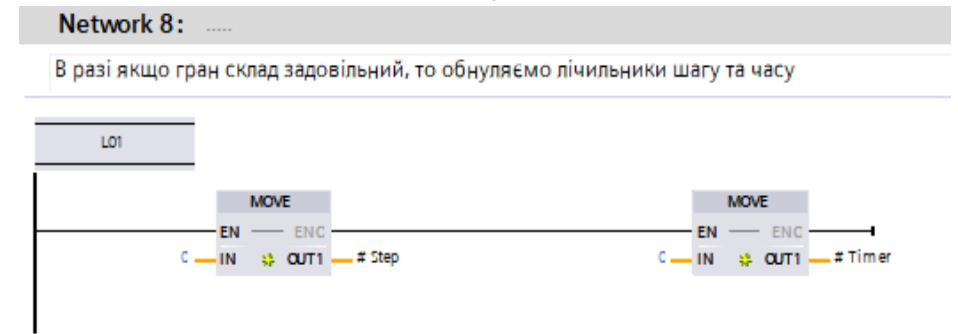
Лінія 3 – початок корекції, ініціюємо лічильник шагів зі значення 1, та потім кожену секунду збільшуємо таймер очікування по кожному шагу, загальний час очікування по шагу 180 с.



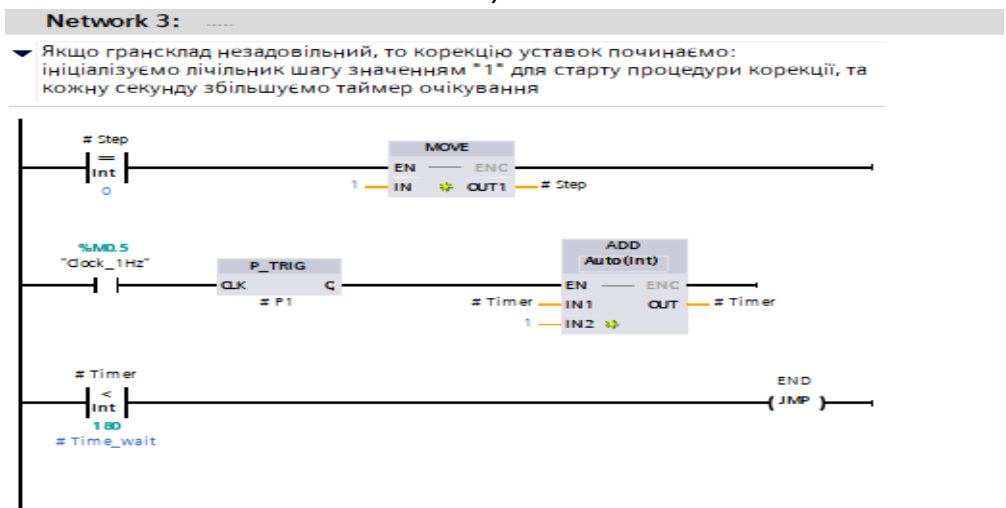
а)



б)



в)



г)

Рисунок 3.21 – Початок логіки корекції завдань для кожного з параметрів: а) лінія 1, б)лінія 2, в)лінія 8, г) лінія 3



Лінія 4 – порівняння при не виконанні умови загальної суми часток по одному класу до якого саме відхилення відноситься поточний стан гранулометричного складу, рисунок 3.22:

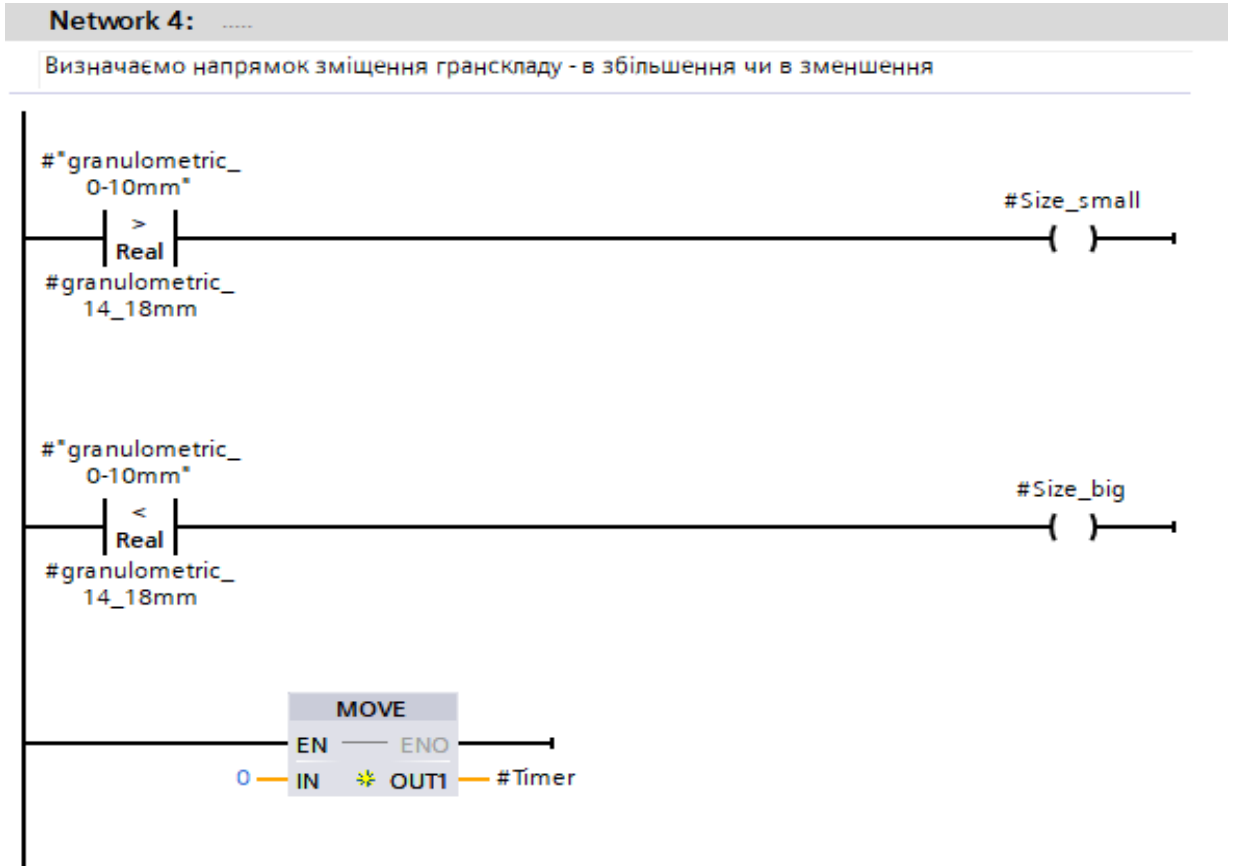


Рисунок 3.22 – Визначення напрямку відхилення гранулометричного складу

На рисунках 3.23 та 3.24 зображено Лінії 5 та 6 де саме виконується покрокова корекція для можливості виконання умови по загальній сумі часток одного класу в залежності: яке зараз відхилення у сторону дрібного окатишу чи в сторону збільшеного окатишу:

- при зменшеному гранскладі в залежності від поточного шагу застосовуємо корекцію: 1 шаг-навантаження зменшуємо; 2 шаг-збільшуємо воду; 3 шаг-зменшуємо швидкість; 4 шаг-зменшуємо кут нахилу. Величина корекцій задана константами

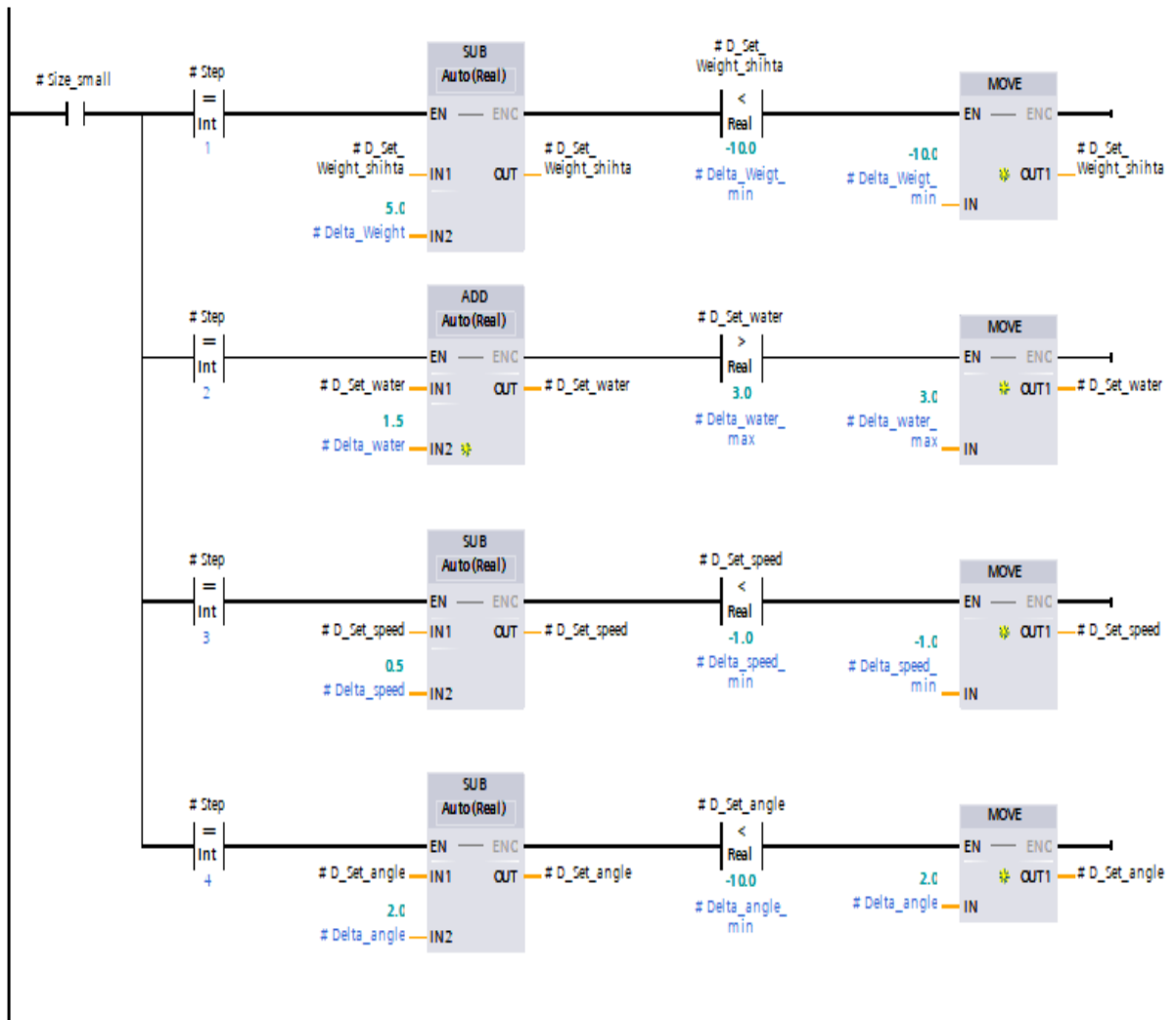


Рисунок 3.23 Покрокова інструкція при напрямку відхилення крупності поточного окатишу в сторону зменшення

Network 6:

▼ при збільшеному гранскладі в залежності від поточного шагу застосовуємо корекцію: 1 шаг-навантаження збільшуємо; 2 шаг-зменшуємо воду; 3 шаг-збільшуємо швидкість; 4 шаг-збільшуємо кут. Величина корекцій задана константами

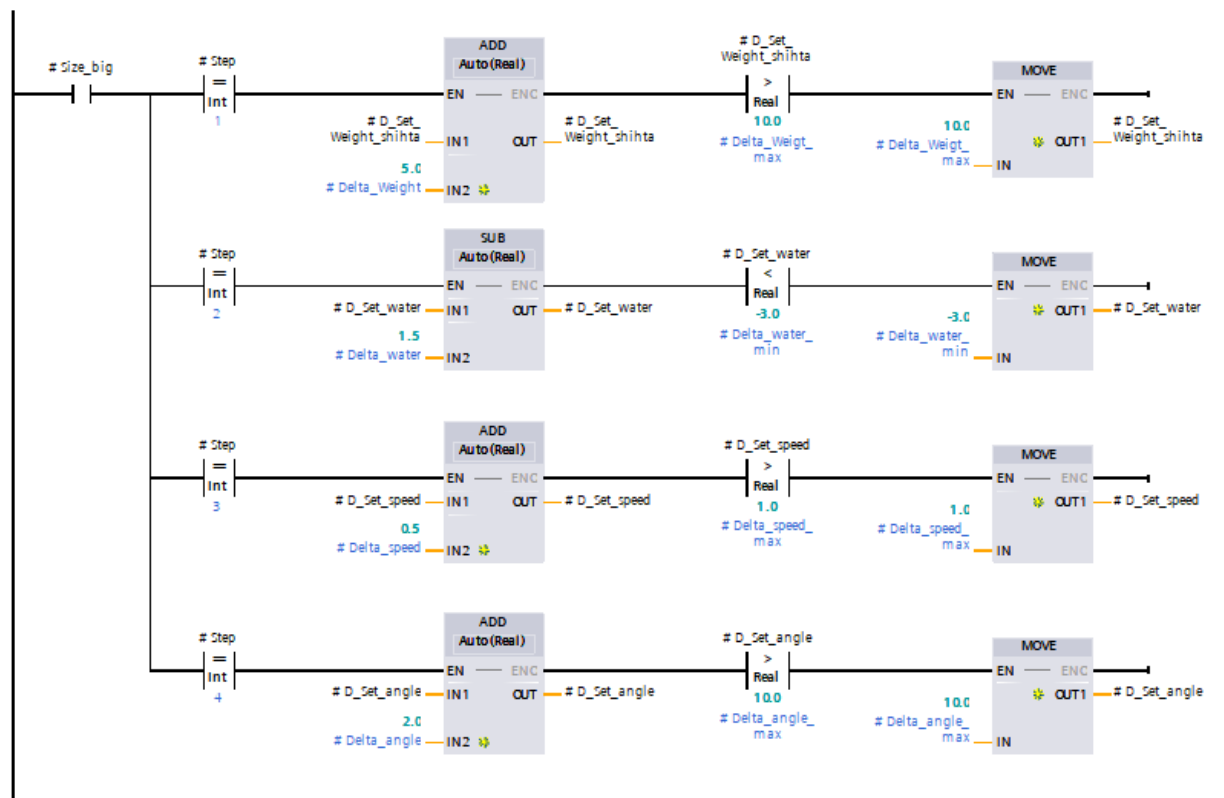


Рисунок 3.24 - Покрокова інструкція при напрямку відхилення крупності поточного окатишу в сторону збільшення

На рисунку 3.25. зображена лінія 7 де виконується процес збільшення шагу на 1 та при досягненні граничного значення 4 (4 параметри) йде анулювання шагів:

Network 7:

В кінці процесу корегування збільшуємо значення шагу. а в разі його граничного значення обнуляємо

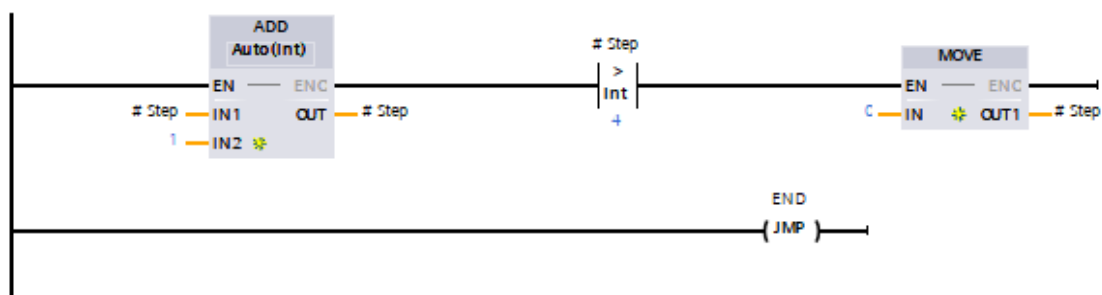


Рисунок 3.25 – Процес збільшення шагів

Остаточний процес це Лінія 9 де на рисунку 3.26 зображено формування уставки всіх робочих параметрів як суми базового (заданого оператором) та коригуючого значень уставок:

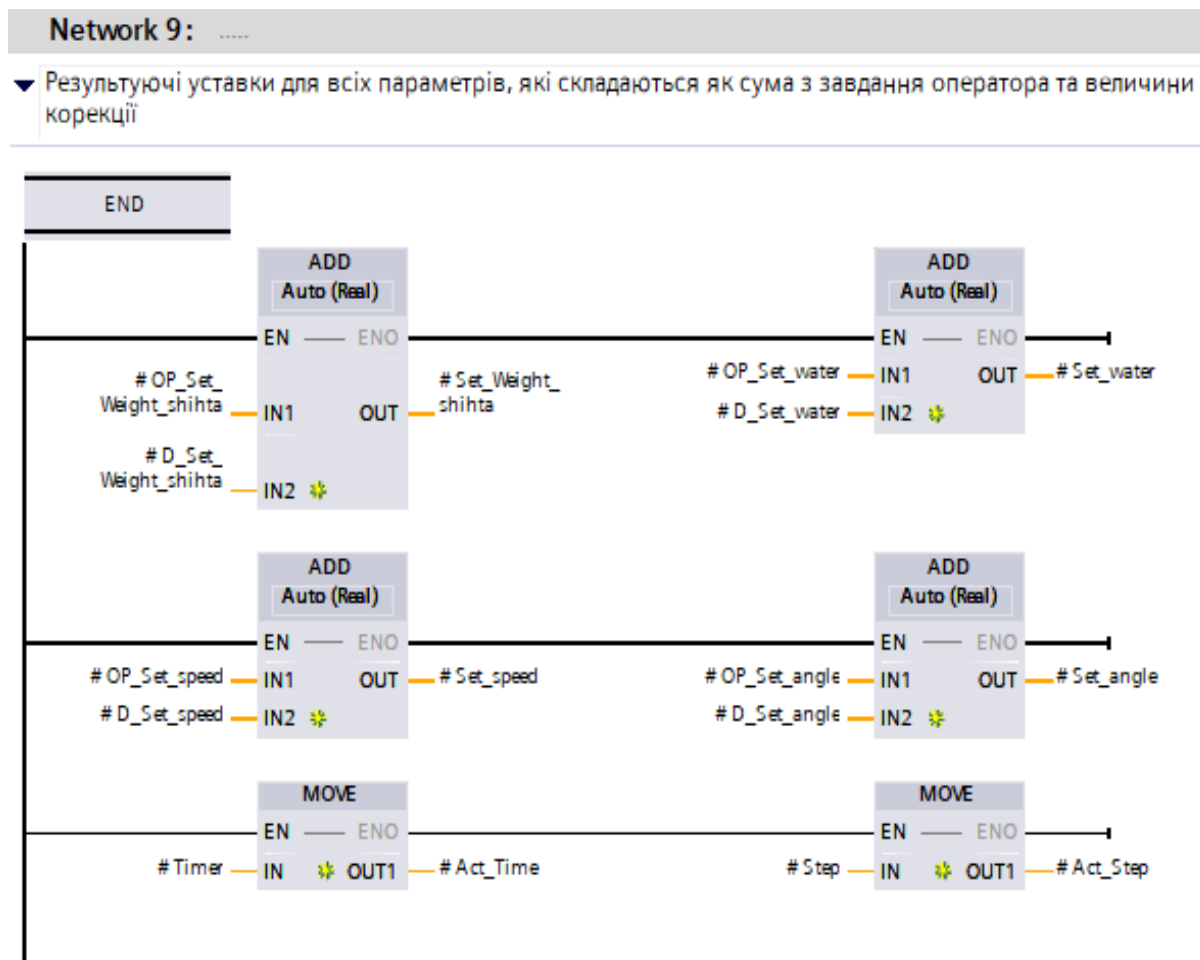


Рисунок 3.26 – Формування загального завдання по кожному параметру

На рисунку 3.27 зображено один з основних ЛМІ екранів підсистеми шихто-підготовки та огрудкування, в даному випадку система по-шаговою інструкцією корегує завдання по основним технологічним параметрам, при ситуації коли загальна частка годного окатишу менша цільового значення відносно загального об'єму виробленого окатишу, а з не кондиційної частки окатишу переважає дрібний за розміром окатиш.

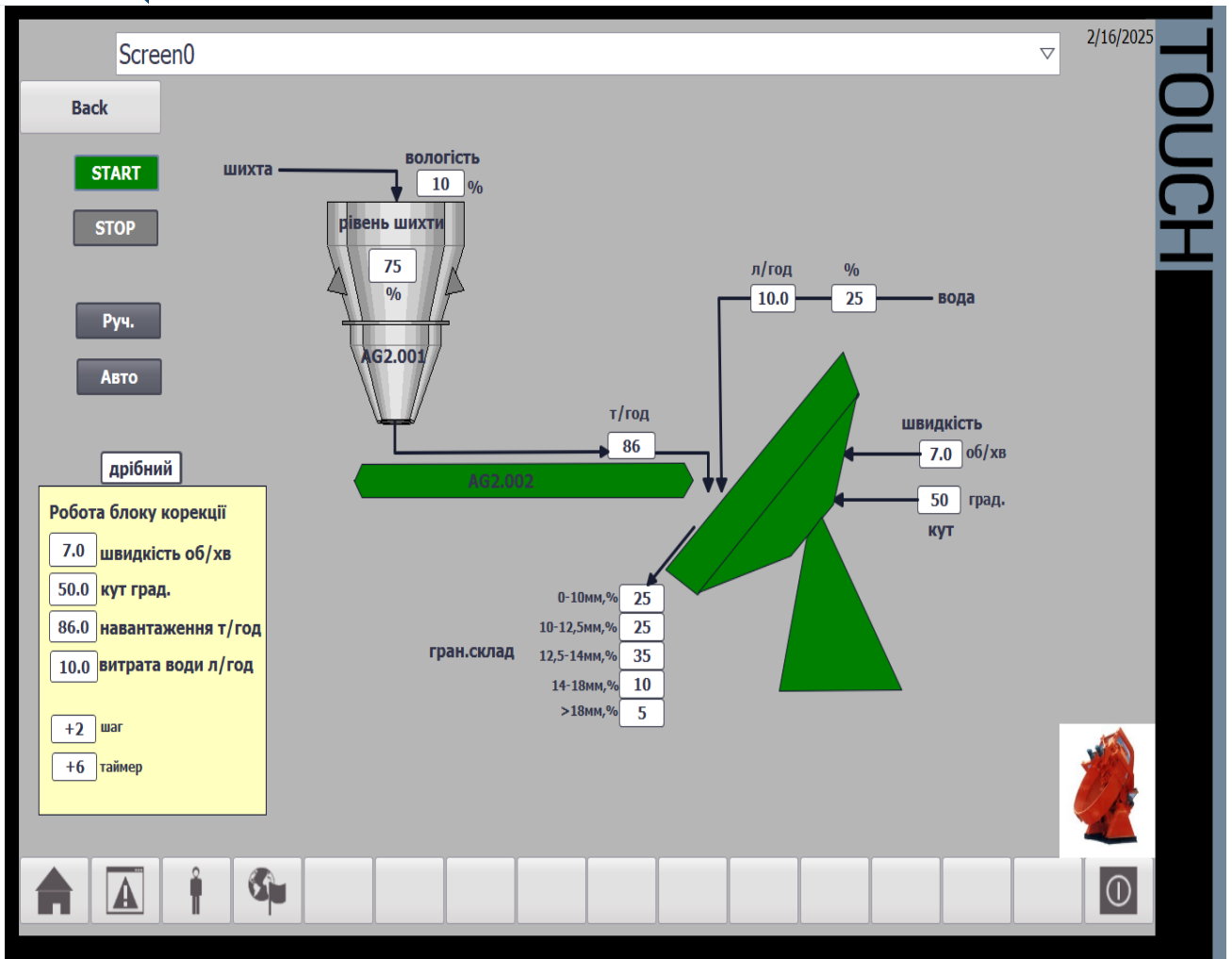


Рисунок 3.27 – один з основних ЛМІ екранів підсистеми шихто-підготовки та огрудкування

4 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СИСТЕМИ

Впровадження технічних рішень на відділеннях дозування та огрудкування в кінцевому результаті надасть як покращення ефективності та якості технології так і покращення економічної складової.

Економічна складова полягає у тому що при провадженні технічних рішень, збільшиться частка необхідного сирого окатишу з гранулометричним складом 10...14 мм та зменшиться частка некондиційного окатишу, частина якого <10 мм просипається роликівим грохотом перед подачею у випалювальну машину там потім повертається на переробку. Як видно з фрагменту ЛМІ екрану СКАДА ділянки огрудкування, рисунок 4.1 : середній вихід сирого окатишу з огрудкування 700-800 т/год, при навантаженні 767 т/год, вихід некондиційного окатишу (повернення) складає 139 т/год, тобто в процентному відношенні це становить - 18 %, від поточної продуктивності.

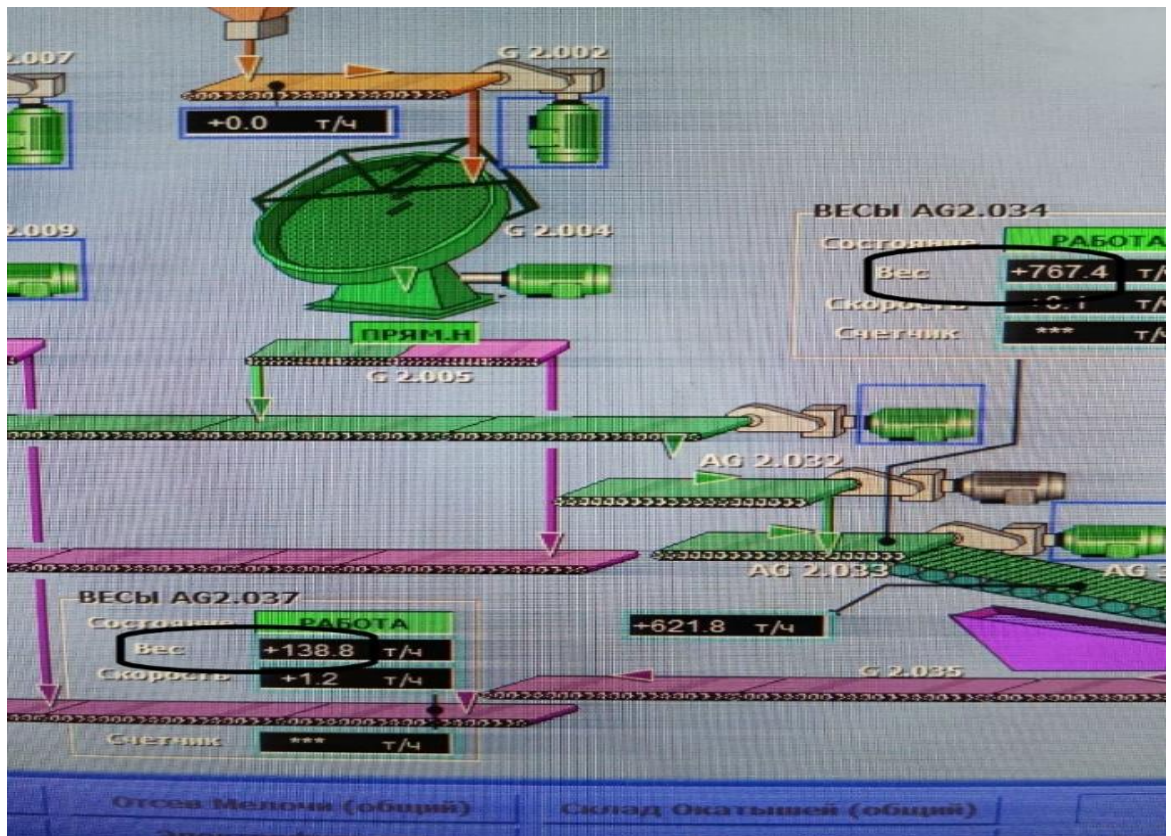


Рисунок 4.1 – Фрагмент продуктивності по сирому окатишу, швидкості в/о та висота слою

Впровадження технічних рішень запропонованих у кваліфікаційній роботі повинно знизити, згідно аналізу подібних рішень на інших підприємствах ГМКУ, показник повернення сирого окатишу з 18% до 13% від фактичного навантаження, тобто на 5% = 98 т/год. Також розрахуємо і побачимо позитивну зміну економічного показника, починаючи з

найменшого зменшення повернення: з 18% до 17%, та з 18% до 15%, тобто повернення зменшилось на 1% та 3% відповідно, в тонах за годину це складає: 17% = 131 т/год 15% = 115 т/год. Почнемо з розрахунку, згідно ТІ [1], оперативного виробництва окатишів за годину, зміну, місяць, рік . формула 4.1:

$$G = (Q_{\text{сир.окат}} - Q_{\text{сир.пов}}) * 0,73; \quad (4.1)$$

$$G_0 = (Q_{\text{сир.окат}} - Q_{0.\text{сир.пов}}) = (767 - 139) * 0,73 = 458,44 \text{ т/год};$$

$$G_{M=1\%} = (Q_{\text{сир.окат}} - Q_{M.\text{сир.пов}1\%}) = (767 - 131) * 0,73 = 464,28 \text{ т/год};$$

$$G_{M=3\%} = (Q_{\text{сир.окат}} - Q_{M.\text{сир.пов}3\%}) = (767 - 115) * 0,73 = 475,96 \text{ т/год};$$

$$G_{M=5\%} = (Q_{\text{сир.окат}} - Q_{M.\text{сир.пов}5\%}) = (767 - 98) * 0,73 = 488,37 \text{ т/год}.$$

де: G_0 – оперативне виробництво товарного окатишу до модернізації, т/год;

G_M - оперативне виробництво товарного окатишу після модернізації, при 1%, 3%, 5% зменшенні повернення, т/год;

$Q_{\text{сир.окат}}$ – поточний вихід сирого окатишу з огрудкування на випалювальну машину, т/год;

$Q_{0.\text{сир.пов}}$ – наявний вихід сирого повернення до модернізації, т/год;

$Q_{M.\text{сир.пов}1\%}$ – вихід сирого повернення після модернізації, зменшене на 1%, т/год;

$Q_{M.\text{сир.пов}3\%}$ – вихід сирого повернення після модернізації, зменшене на 3%, т/год;

$Q_{M.\text{сир.пов}5\%}$ – вихід сирого повернення після модернізації, зменшене на 5%, т/год;

K – перекладний коефіцієнт.

На значення перекладного коефіцієнту більшою мірою впливає виділення сирого та обпаленого повернення, при цьому вага сирих обкотишів може включати в себе вагу сирого повернення або бути без нього.

Перекладний коефіцієнт визначається за формулою 4.2 :

$$K = \frac{100 - (W_{\text{с.ок}} + Q_{\text{с.воз}} + Q_{\text{об.воз}} + \text{ППП} + \text{II}_{\text{мех}})}{100}; \quad (4.2)$$

де: $W_{\text{с.ок}}$ - волога сирих окатишів, %;

$Q_{\text{об.пов}}$ - вихід обпаленого повернення, %;

$Q_{\text{с.пов}}$ - вихід сирого повернення, %;

ППП - втрати при пропіканні, %;

$\text{II}_{\text{мех}}$ - втрати механічні, %.

На даний момент прийнятий перекладний коефіцієнт цеху з виробництва окатишів №2 складає 0,73. Але даний коефіцієнт може змінюватись в залежності від вхідної сировини та інших показників, для розуміння впливу зменшення сирого повернення при модернізації, даний коефіцієнт для обох математичних виразів приймаємо однаковим.

Розрахуємо оперативне виробництво, за зміну (12годин), місяць(31 день: 720 год – 60 год на ППР), рік до модернізації та після, по формулам 4.3, 4.4, 4.5:

$$G_{зм} = G * 12_{год}; \quad (4.3)$$

$$G_{міс} = G * (720_{год} - 160_{год}); \quad (4.4)$$

$$G_{рік} = G * (12_{міс} - 2_{міс.КР}). \quad (4.5)$$

- До модернізації для зміни, місяця та року відповідно:

$$G_{0.зм} = G * 12_{год} = 458,44 * 12 = 5\,501,28 \text{ т/зміну};$$

$$G_{0.міс} = G_0 * (720_{год} - 160_{год}) = 458,44 * (720 - 60) = 302\,570,4 \text{ т/місяць};$$

$$G_{0.рік} = G_{0.міс} * (12_{міс} - 2_{міс.КР}) = 302\,570,4 * 10 = 3\,025\,704 \text{ т/рік}.$$

Де: $2_{міс.КР}$ – сукупний час на 4 кварталні ремонти прирівнюється двом місяцям

- Після модернізації для зміни, місяця та року відповідно:

$$G_{м.зм=1\%} = G_{м=1\%} * 12_{год} = 464,28 * 12 = 5\,571,36 \text{ т/зміну};$$

$$G_{м.зм=3\%} = G_{м=3\%} * 12_{год} = 475,96 * 12 = 5\,711,52 \text{ т/зміну};$$

$$G_{м.зм=5\%} = G_{м=5\%} * 12_{год} = 488,37 * 12 = 5\,860,44 \text{ т/зміну};$$

$$G_{м.міс=1\%} = G_{м=1\%} * (720_{год} - 60_{год}) = 464,28 * 660 = 306\,424,8 \text{ т/місяць};$$

$$G_{м.міс=3\%} = G_{м=3\%} * (720_{год} - 60_{год}) = 475,96 * 660 = 314\,133,6 \text{ т/місяць};$$

$$G_{м.міс=5\%} = G_{м=5\%} * (720_{год} - 60_{год}) = 488,37 * 660 = 322\,324,2 \text{ т/місяць};$$

$$G_{м.рік=1\%} = G_{м.міс=1\%} * (12_{міс} - 2_{міс.КР}) = 306\,424,8 * 10 \\ = 3\,064\,248 \text{ т/місяць};$$

$$G_{м.рік=3\%} = G_{м.міс=3\%} * (12_{міс} - 2_{міс.КР}) = 314\,133,6 * 10 \\ = 3\,141\,336 \text{ т/місяць};$$

$$G_{м.рік=5\%} = G_{м.міс=5\%} * (12_{міс} - 2_{міс.КР}) = 322\,324,2 * 10 \\ = 3\,223\,242 \text{ т/місяць}.$$

Де: $2_{міс.КР}$ – сукупний час на 4 кварталні ремонти.

Тобто виходячи з розрахунків за рік виробництво окатишів після модернізації збільшено, формула 4.6:

$$I = Q_{м.рік} - Q_{0.рік} \quad (4.6)$$

$$I_{м.рік=1\%} = Q_{м.рік=1\%} - Q_{0.рік} = 3\,064\,248 - 3\,025\,704 = 38\,544 \text{ т/рік};$$



$$I_{\text{м.рік}=3\%} = Q_{\text{м.рік}=3\%} - Q_{\text{о.рік}} = 3\,141\,336 - 3\,025\,704 = 115\,632 \text{ т/рік};$$
$$I_{\text{м.рік}=5\%} = Q_{\text{м.рік}=5\%} - Q_{\text{о.рік}} = 3\,223\,242 - 3\,025\,704 = 197\,538 \text{ т/рік}.$$

Якщо виразити в гривнях за тону, яка на даний момент складає:

Europe (USS) FCA = 99,79 \$ = 4 192,2 грн;

НБУ 1 \$ = 42,01 грн;

FCA – означає Європейського кінцевого споживача, без врахування витрат на доставку.

Розрахуємо річний прибуток Profit_{м.рік} при 1%, 3%, 5% зменшенні повернення відповідно, за формулою 4.7:

$$\text{Profit}_{\text{м.рік}} = I_{\text{м.рік}} * \text{FCA} \quad (4.7)$$

$$\text{Profit}_{\text{м.рік}=1\%} = I_{\text{м.рік}=1\%} * \text{FCA} = 38\,544 * 4\,192,2 = 161\,584\,156,8 \text{ грн};$$

$$\text{Profit}_{\text{м.рік}=3\%} = I_{\text{м.рік}=3\%} * \text{FCA} = 115\,632 * 4\,192,2 = 484\,752\,470,4 \text{ грн};$$

$$\text{Profit}_{\text{м.рік}=5\%} = I_{\text{м.рік}=5\%} * \text{FCA} = 197\,538 * 4\,192,2 = 828\,118\,803,6 \text{ грн}.$$

На рисунку 4.2 зображено графік зміни прибутку Profit з нульового значення, тобто при наявному поверненні сирого окатишу та при зменшенні повернення сирого окатишу на 1% , 3% та 5% відповідно:

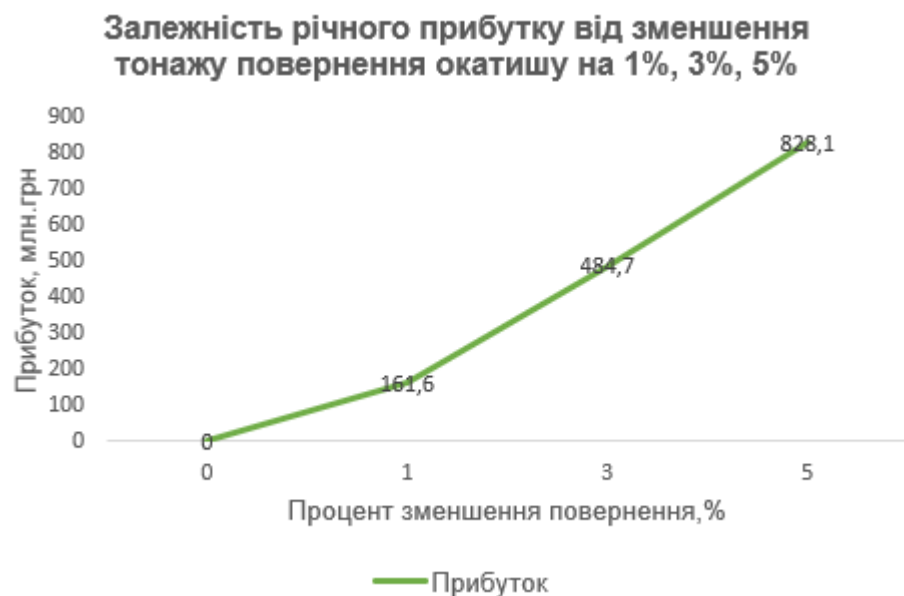


Рисунок 4.2 – Залежність річного прибутку від зменшення тону повернення сирого окатишу

Далі у таблиці 4.1 приведемо основні витрати на всі зазначені технічні рішення даної модернізації, а саме закупівля обладнання та програмного забезпечення, будівельно-монтажні роботи та пусконаладжувальні роботи:

Таблиця 4.1 - Капітальні витрати на впровадження технічних рішень

№ п.п	Вид витрат	одиниця виміру	кількість	ціна за одиницю, грн	загальна вартість грн
1	Проектування	комплект	1	500 000	500 000
2	Закупівля обладнання:				
2.1	Польовий рівень				
2.1.1	Аналізатор вологості, в комплекті: система обдуву лінзи, монтажний кронштейн, вторинний блок з шафою IP65, комплектна кабельна продукція, комплектне ПЗ	шт	4	2 268 455	9 073 819
2.1.2	Система АСКГСО, в комплекті: оптичні камери FH-SC04 - 7 шт, захисний кожух камери, система освітлення LED - 7 шт, контролер технічного зору FH-5552-20 1 шт, шафа IP65, ЛМІ термінал, комплектна кабельна продукція, комплектне ПЗ	комплект	1	4 654 000	4 654 000

Продовження таблиці 4.1

№ п.п	Вид витрат	одиниця виміру	кількість	ціна за одиницю, грн	загальна вартість грн
2.1.3	Витратомір MAG 3100P , в комплекті: блок електроніки MAG5000, фланці DN40	комплект	7	107 450	752 150
2.1.4	Електропривід подачі зрошувальної води, у комплекті: AUMA SAR 07.1 та засувка AVK 15-040-40016 DN40 PN16	комплект	7	110 000	770 000
2.1.5	Система регулювання куту нахилу, в комплекті: механізм гвинтовий, мотор-редуктор, електропривід 2.2 кВт, ПБР, сигналізатор кута нахилу IFM JN2201 4-20 мА	комплект	7	1 340 500	9 383 500
2.1.6	Частотний перетворювач ATV71HC16N4 серії Altivar 71 Plus IP54 160кВт, шафи	шт	7	1 254 808	8 783 656

Продовження таблиці 4.1

№ п.п	Вид витрат	одиниця виміру	кількість	ціна за одиницю, грн	загальна вартість грн
2.1.7	Ваговий дозатор Schenck Process GmbH MULTIDOS MTD, в комплекті з блоком управління VSE, модуль Modbus, локальний Disocont Master, Комплектне ПЗ	шт	7	5 156 000	36 092 000
2.2	Рівень ПЛК:				
2.2.1	SIMATIC S7-1500 CPU 1516-3 PN/DP, RIO станція, мережевий обладнання, ДБЖ, перетворювач інтерфейсу Modbus-Profinet, шафи: IP65, IP55, та ін.	комплект	1	736 000	736 000
2.3	Верхній рівень:				
2.3.1	Інженерна станція SIMATIC IPC847E	шт	1	181 040	181 040
2.4	ПЗ				
2.4.1	SIMATIC STEP 7 Professional, WinCC Comfort в TIA Portal, (актуальні версії)	комплект	1	209 200	209 200
2.5	Металоконструкції та монтажними матеріалам, кабельна-	комплект	1	4 808 000	4 808 000

Продовження таблиці 4.1

№ п.п	Вид витрат	одиниця виміру	кількість	ціна за одиницю, грн	загальна вартість грн
	провідникова продукція				
3	Будівельно-монтажні роботи, роботи з програмним забезпеченням, конфігурування: ПЧ, АСКГСО, дозаторів, механізмів кута та подачі води	комплект	1	5 872 000	5 872 000
4	Пуско-налагоджувальні роботи, гарантійний супровід	комплект	1	3 936 000	3 936 000
	Всього по всім видам витрат				85 751 365

Розрахуємо термін окупності, за формулою 4.8:

$$TO = \frac{KB}{Profit_{m.pik}} \quad (4.8)$$

$$TO = \frac{KB}{Profit_{m.pik=1\%}} = \frac{85\,751\,365}{161\,584\,156,8} = 0,531 \text{ років};$$

$$TO = \frac{KB}{Profit_{m.pik=3\%}} = \frac{85\,751\,365}{484\,752\,470,4} = 0,177 \text{ років};$$

$$TO = \frac{KB}{Profit_{m.pik=5\%}} = \frac{85\,751\,365}{828\,118\,803,6} = 0,103 \text{ років}.$$

KB – капітальні витрати.

На рисунку 4.3 зображено графік залежності терміну окупності капітальних витрат від модернізації:



Залежність терміна окупності капітальних витрат при зменшенні тонажу повернення окатишу на 1%, 3%, 5%

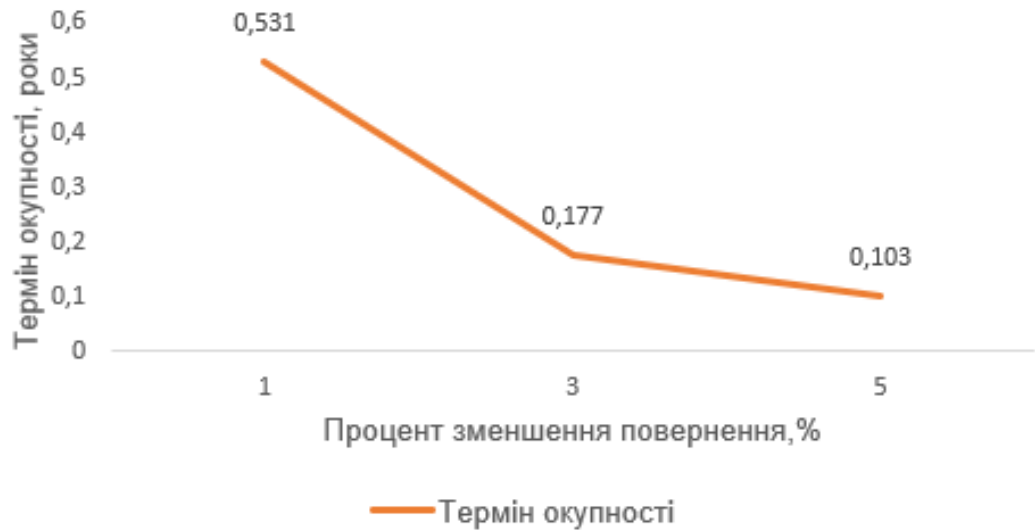


Рисунок 4.3 – Залежність терміну окупності від модернізації з зменшенням тоннажу повернення сирого окатишу на 1%, 3%, 5% відповідно

Результат розрахунків показує що термін окупності мінімальний, але в розрахунку прийняті умовні параметри, наприклад що за час окупності навантаження буде триматись в нормах технологічної інструкції, також без урахування аварійних ситуацій, які знижують оперативне виробництво за певний період, це може вплинути негативно на термін окупності, але все ж таки термін мінімальний і запас по можливим негативним впливам є. Актуальність технічних рішень доведена економічним розрахунком.



ВИСНОВКИ

В процесі виконання кваліфікаційної магістерської роботи, мета якої була зазначена на самому початку, а саме: аналіз поточного стану автоматизації технологічних ділянок шихто-підготовки та огрудкування цеху з виробництва окатишів провідного ГЗК України, визначення актуальних проблем, які впливають на ефективність функціонування існуючої АСКТП, дослідження вже існуючих рішень подібної проблематики, розробка та реалізація модернізованої АСКТП, що в результаті покращить виробничо-економічний показник цеху, було визначено, що завдяки інтеграції виміру вологості в алгоритм дозування шихтових компонентів та інтеграції виміру поточної гранулометрії на виході з процесу огрудкування, з послідуєчим алгоритмічним впливом на основні параметри роботи чашевого огрудковувача, було доведено отримання зменшення частки значення повернення (браку) сирого окатишу від загального значення виробленого окатишу, при завантаженні у випалювальну машину LURGI 552-A, від 1% до 5%.


В результаті перерахування оперативного виробництва за годину, місяць та за рік, навіть при зменшенні повернення сирого окатишу всього на 1%, отримано прибуток який сягає 161 584 156,8 грн. Даний річний прибуток окупує капітальні затрати на впровадження розроблених технічних рішень згідно розрахунків, за 0,531 років.

Тобто впровадження обґрунтованих, математично досліджених та реалізованих у програмних пакетах, технічних рішень для модернізації АСКТП ділянок шихто-підготовки та огрудкування, можна вважати повністю доцільним і послідуєча вже практична реалізація даних рішень на виробництві є необхідним етапом для загального безперервного удосконалення гірничо-металургійного комплексу України.



ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Вербило С. М. Виробництво обкотишів: випалювальна машина LURGI 552-a, LURGI 552-b: Технологічна Інструкція ТІ 277-02-2021. Цех з виробництва обкотишів №2 (ЦВО-2). ПРАТ «ПІВНІЧНИЙ ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНИЙ КОМБІНАТ». Кривий Ріг, 2021. 51 с.
2. Стебелько І.Є., Койфман О.О., Бондар О.В., Король В.М. Модернізація АСКТП - дозування й огрудкування на випалювальних машинах з урахуванням вологості концентрату і шихти та гранулометрії сирих окатишів. *Науковий Журнал Метінвест Політехніки*. Серія: Технічні науки. 2024. № 2. С. 77-85. DOI <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2024-2-1>
3. Федоров М.Є., Рубан С.А. Аналіз стану автоматизації процесів транспортування, дозування та змішування шихти для виробництва сирих котунів: збірник тез доповідей. Тернопіль: 2018, 128 с.
4. Дубняк А.О. Розробка елементів системи автоматичного управління процесом огрудкування: збірник робіт. Дніпро: НТУ «Дніпровська політехніка», 2023. 348 с.
5. Кривенко С.В. Уявлення огрудкувача типовими ланками: збірник матеріалів XXI підсумкової науково-практичної конференції викладачів: 01 лютого 2019 р. Маріуполь, 2019. С. 74
6. Хоцкіна В.Б. Розробка інформаційних систем інтелектуального керування виробничими потужностями підприємства. Вісник Криворізького національного університету: вип. 35, 2013. С. 185
7. Савельєв С.Г., Ярош Т.П. Аналіз прийомів визначення оптимальної вологості шихти для виробництва окатишів. Гірничий вісник: вип. 111, 2023. С. 60
8. Таран Ю.М. Система комп'ютерного зору на базі нейронної мережі. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»: Київ. 2024. С. 130
9. Рубан С.А., Маринич І.А., Сердюк О.Ю. Синтез системи узгодженого керування дозування всіх компонентів шихти з паралельним з'єднанням дозаторів: вчені записки таврійського національного університету імені В.І. Вернадського: 2020. Т. 31, (70) № 6, Ч. 1. 113 с. DOI: <https://doi.org/10.32838/TNU-2663-5941/2020.6-1/19>.
10. Рубан С. А., Маринич І. А., Федоров М. Є. Адаптивне керування процесами підготовки шихти для виготовлення залізородних котунів на базі методів теорії гіперстійкості. Гірничий вісник: 2020. № 108, С. 34-39. DOI: <http://doi.org/10.31721/2306-5435-2020-1-108-34-39>
11. Руденко М.Р., Зюзь В.Г., Руденко Р.М. Можливості підвищення якості дозування шихтових матеріалів цехів огрудкування. Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету. Дніпро: 2017. Т. 2. №29. С. 10-13. URL: <http://sj.dstu.dp.ua/article/view/145833>



12. Безвесільна О. М., Цірук В. Г., Дяченко В. П., Ткачук А. Г. Застосування машинного зору та методів обробки зображення на виробництві. Технологічний аудит та резерви виробництва: 2014. № 3/4(17). С 18-23. DOI: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2014.25312>

13. Zhonghe Ren, Fengzhou Fang, Ning Yan, You Wu. State of the Art in Defect Detection Based on Machine Vision. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology: 2021. №9. P. 661–691. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40684-021-00343-6>

14. Ming Li, Jun Tian, Yuliang Wang, Haiyang Zhang, Dongping Yang, and Meng Lei. Intelligent Measurement of Coal Moisture Based on Microwave Spectrum via Distance-Weighted kNN. Appl. Sci.: 2022. №12, 6199. DOI: <https://doi.org/10.3390/app12126199>

15. Щокін В.П., Нечитайло В.М., Мисько С.М., Шнипко А.І. Автоматизована система управління технологічним процесом шихто-підготовки агломераційного виробництва в умовах ГЗК ВАТ "Міттал Стіл Кривий Ріг". Гірнична електромеханіка та автоматика: наукова технічна збірка. Кривий Ріг: 2007. № 78. С. 49-56. URL: <https://vde.nmu.org.ua/ua/science/ntz/archive/78/10.pdf>

16. Дирда М. О. Автоматизація системи вимірювання і підтримки температури та вологості сипучих речовин : автореф. кваліфік. роботи на здобуття освітнього ступеня бакалавр: ЧНУ ім. Петра Могили. Миколаїв, 2020. 15 с. URL: <https://krs.chmnu.edu.ua/jspui/handle/123456789/1485>

17. Єфіменко Л.І., Тиханський М.П., Тиханська А.М. Нечітке керування процесом підготовки агломераційної шихти з використанням нечіткого регулятора. Гірничий вісник: Кривий Ріг, 2021. № 109. С. 33-40. DOI: <https://doi.org/10.31721/2306-5435-2021-1-109-33-41>

18. Цюцюра С.В., Чернишев Д.О., Никодюк Д.В. Розроблення методу покращення машинного зору. Управління розвитком складних систем: 2020. № 41. С. 187-193. DOI: <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2020.41.187-193>

19. Kalandarov P. I., Mukimov Z., Toshpulatov N. Study on microwave moisture measurement of grain crops. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: 2021. №939 012091. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/939/1/012091>

20. Кухарчук В. В., Богачук В. В., Граняк В. Ф. Аналіз та класифікація відомих методів неруйнівного контролю вологості порошкоподібних матеріалів. Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології: 2009. №2. С. 13-21. URL: <https://oeipt.vntu.edu.ua/index.php/oeipt/article/view/111>

21. METINVEST. Залізородна сировина. URL: <https://metinvestholding.com/ua/products/semi-finished-products/iron-ore-concentrate>

22. Process Sensors. URL: <https://www.processsensorsir.com/products>

23. Omron. Industrial Automation Europe. URL: <https://industrial.omron.eu/en/products>

24. Стандарт АСУТП. Metinvest Digital. Вид. офіц. Київ, 2023 50 с.



25. SIEMENS. Sie Portal. URL:
<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Products/10229906>

26.



ДОДАТОК А ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС

А.1 Технологічний ланцюг ГЗК

Один з гірничо-збагачувальних комбінатів України (далі – ГЗК) є гірничодобувним підприємством із закінченим циклом підготовки доменної сировини — залізорудного концентрату та окатишів [26]. Промислові запаси оцінюються у 2943 млн т. Виробляє залізорудний концентрат (Fe 66%) та окатиші (Fe 62%, 63% і 65%).

До складу підприємства входять такі основні технологічні об'єкти (підрозділи):

- два кар'єри: Першотравневий на даний час глибина становить 400 м, довжина більше ніж 3 км, нижній горизонт сягає -285 м від позначки рівня світового океану (рис.-1) та Ганнівський на даний час глибина становить 275 м, довжина 5,25 км, загальною фактичною потужністю 26,6 млн тон руди на рік ;

- три дробильні фабрики : ДФ-1, ДФ-2, ДФ-3

- дві рудо-збагачувальні фабрики: РЗФ-1 та РЗФ-2 фактичною потужністю понад 12 млн. тон залізорудного концентрату на рік, технологічний процес складається з подрібнення руди та збагачення за допомогою магнітних сепараторів

- три фабрики огрудкування та випалу окатишів (ФОК) фактичною потужністю понад 10 млн тон окатишів на рік, дані фабрики входять до цехів з виробництва окатишів: ЦВО-1 (випалювальні машини ОК-306 -1,2 та LURGI 278 А, В) та ЦВО-2 (LURGI 552 А, В), технологічний процес складається з підготовки шихти з послідуєчим огрудкуванням та випалом в в/м ОК-306-1

- допоміжні цехи , які обслуговують основне виробництво, наприклад такі як: гірничо-транспортний цех, управління залізо дорожнім транспортом, головні склади нового обладнання, цех мереж і підстанцій, цех диспетчеризації, цех шламового господарства, центральна лабораторія, управління автоматизації.

Технологічний ланцюг ГЗК (рис. А.1) складається з : видобутку залізорудної руди в двох кар'єрах → подрібнення поступаючої руди з кар'єрів на дробильних фабриках ДФ-1, 2, 3 → 3-х стадійне остаточне подрібнення руди з послідуєчим збагаченням на магнітних сепараторах РЗФ-1, сформований концентрат на РЗФ-1 потрапляє на РЗФ-2 для послідуєчої дешламації та фільтрації → звичайний готовий залізорудний концентрат потрапляє з РЗФ-1 на шихто-підготовку ЦВО-1 та потім по сполучним конвеєрам цеху готова шихта до огрудковувачів випалювальної машини LURGI 278 А (ФОК-1) та ОК-306-1(ФОК-2), а дешламований та фільтрований залізорудний концентрат на шихто-підготовку ЦВО-2 та по сполучним конвеєрам готова шихта потрапляє на огрудковувачі випалювальної машини LURGI 552 А та В з послідуєчим

випалом сирих окатишів. → після грохочення випалений окатиш потрапляє або на склад готової продукції ЦВО-1 та ЦВО-2 або напряму вантажиться у вагони які вже прямують на експорт.

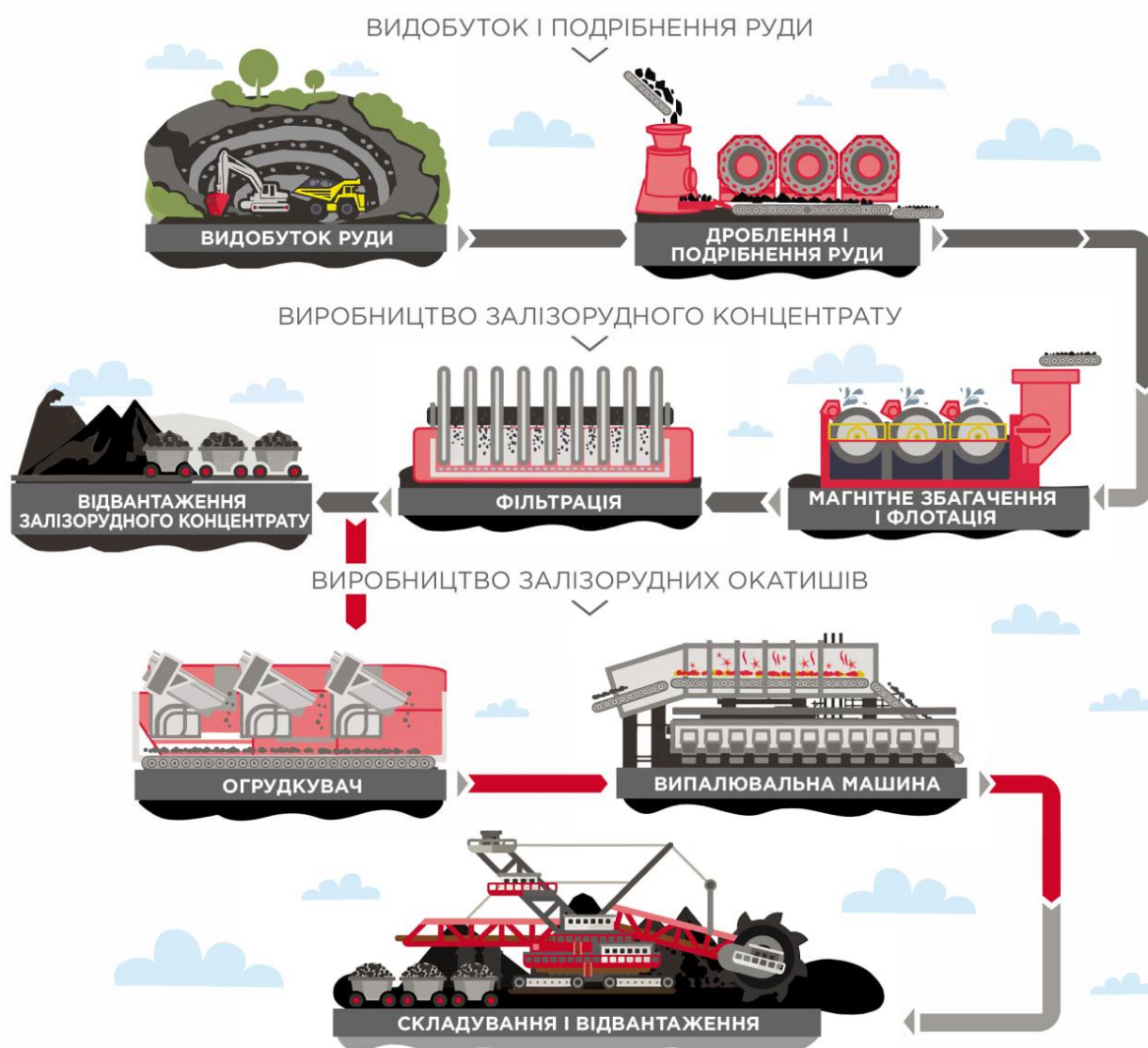


Рисунок А.1 – Наглядна ілюстрація технологічного процесу ГЗК

А.2 Технологія виробництва окатишів на ЦВО-2 ГЗК

Цех виробництва окатишів №2 (далі ЦВО-2) має складний технологічний процес, який як комплекс з виробництва окатишів включає ділянки прийому та підготовки шихтуючих матеріалів (бентоніт, вапняк), підготовки шихти і огрудкування, класифікації сирого окатишу, випал окатишу, грохочення випалених окатишів, складування та відвантаження готової продукції.

До складу ЦВО-2 ГЗК входить фабрика огрудкування та випалу, яка була введена в експлуатацію в період 1979-1980 років і складається з двох випалювальних машин LURGI 552-A та LURGI 552-B.

Концентрат із вмістом заліза загального близько 68,0% та вологою близько 9,8% з ділянки зневоднення РЗФ-2 подається конвеєрами СК-3, СК-3а на конвеєр ОК-1 або ОК-2 і далі транспортується у відділення приготування шихти корпусу огрудкування та випалу ЦВО-2, де завантажується в бункери.

Бентоніт та вапняк постачається на ЦВО-2 залізничним транспортом. Потім за допомогою роторного вагоперекидача ВРС-125 вапняк\бентоніт потрапляє через ланцюги конвеєрів, складів (відкритий та закритий склад), дроблення (дробарки СМД-102 та ДМРІЕ 14,5x13 №89), сушіння (СБ 3,8x18), помолу (кулькові млини) та по пневмотранспорту потрапляє в бункери ділянки шихто-підготовки.

Процес шихто-підготовки. На ділянці шихто-підготовки, зображено на технологічній схемі (рисунок 1.2). За допомогою реверсивного конвеєра АГ 1.002 концентрат в залежності від поточного технологічного процесу подається в один з двох бункерів, об'ємом 400 м³ кожен. З бункерів концентрат подається дисковими живильниками. Кожен живильник має два скидувача та завантажує два паралельно розташованих конвеєра, відповідно, по лініям: АГ 1.013, АГ 1.014 та ВГ 1.013, ВГ 1.014. Далі концентрат транспортується на конвеєра АГ 1.017(ВГ 1.017) і АГ 1.018 (ВГ 1.018). На кожному з цих конвеєрів встановлені однороликові стрічкові ваги, призначені для зважування концентрату.

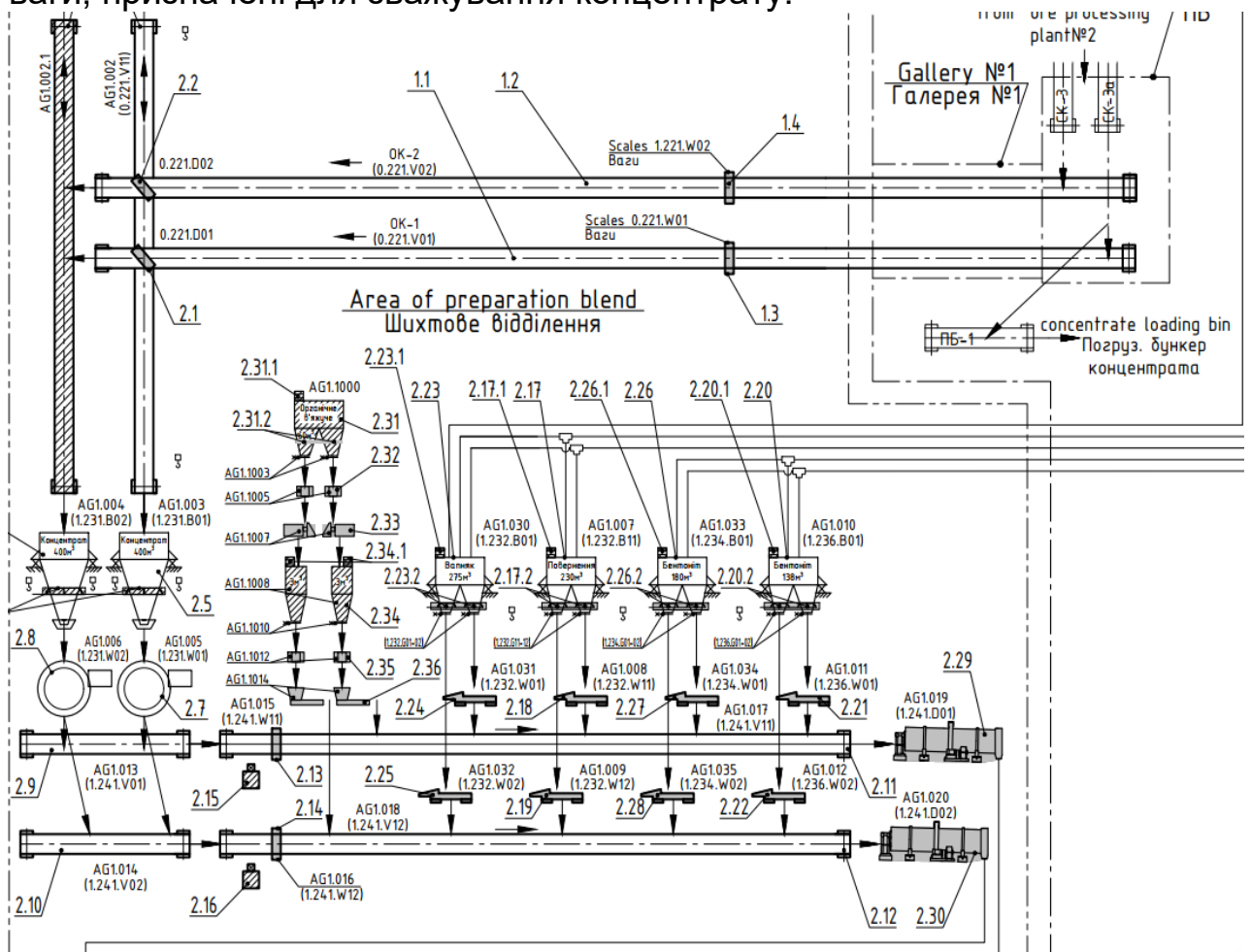




Рисунок А.2 – Фрагмент технологічної схеми ділянки шихто-
підготовки відділення дозування ЦВО-2

В залежності від маси концентрату на стрічці дозуються бентоніт/вапняк та випалений дріб'язок (повернення) за допомогою вагових дозаторів AG/BG1.032, 1.031, 1.008, 1.009, 1.034, 1.035, 1.011, 1.012 (рис. А.3) і далі з дозаторів матеріали шихти подаються на вихрові змішувачі (рис. А.4) AG/BG1.019, 1.020.



а)



б)



Рисунок А.3 – Дозатор ваговий MULTIDOS® виробник Schenck Process GmbH: а) загальний вид та б) наявний в цеху



Рисунок А.4 – Барабанний змішувач на ЦВО-2

Процес огрудкування. Після змішування готова шихта прямує із відділення дозування шихтових матеріалів на конвеєр AG1.024 з якого за допомогою плужкових скидувачів шихта потрапляє у бункери ділянки огрудкування (AG2.001, AG2.006, AG2.011, AG2.012, AG2.002, AG2.026, AG2.045). З бункерів за допомогою стрічкових дозаторів завантажуються на існуючі чашеві огрудковувачі діаметром 7,5 м. Технологічна схема існуючої ділянки огрудкування наглядно зображено на рисунку А.5.

Формування шихти в сирі окатиші за допомогою додавання зрошувальної води, а саме процес огрудкування виконується 7-ма огрудковувачами: AG/BG 2.004, 2.009, 2.014, 2.019, 2.024, 2.029, 2.048. AG для машини LURGI-552-A BG для машини LURGI-552-B. Огрудковувачі (рис. – А.6, А.7) являють собою тарілчасті чаші з бортом, які обертаються за допомогою електроприводу. Діапазон обертання чаші сягає: 6,5 – 7,8 об/хв, на випалювальній машині А/В діапазон регулювання швидкістю статичний, не змінюється оператором агрегату. Тобто автоматизоване керування за участі ПІД регулятора контролера не передбачено. Регулювання кута нахилу чаші також не змінюється в динаміці процесу, автоматичне регулювання не передбачено.

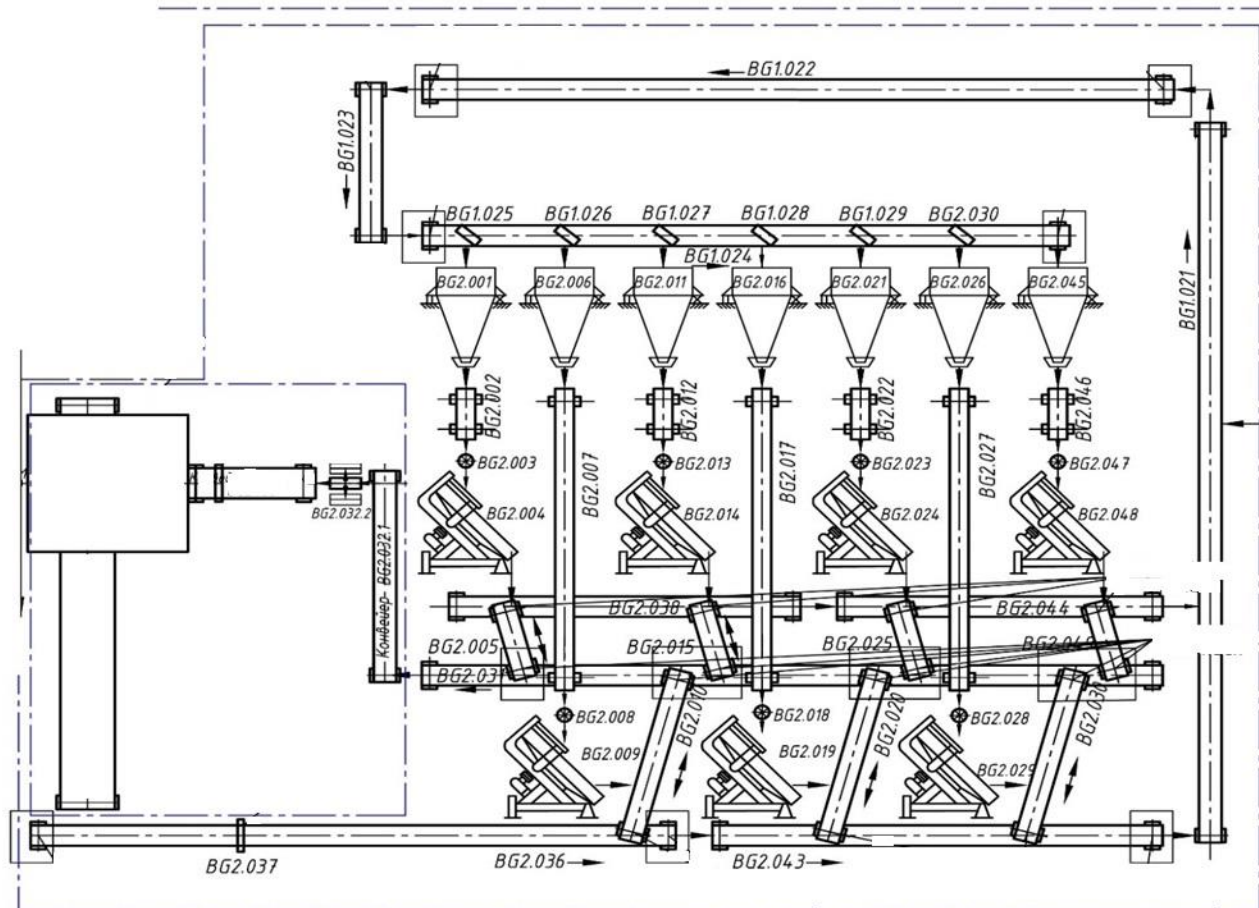


Рисунок А.5 - технологічна схема агрегатів ділянки огрудкування випалювальної машини LURGI-552-A, де AG2.004...AG2.0048 це огрудковувачі

Формування шихти в сирі окатиши за допомогою додавання зрошувальної води, а саме процес огрудкування виконується 7-ма огрудковувачами: AG/BG 2.004, 2.009, 2.014, 2.019, 2.024, 2.029, 2.048. AG для машини LURGI-552-A BG для машини LURGI-552-B. Огрудковувачі (рис. А.6, А.7) являють собою тарілчасті чаші з бортом, які обертаються за допомогою електроприводу. Діапазон обертання чаші сягає: 6,5 – 7,8 об/хв, на випалювальній машині А діапазон регулювання швидкістю статичний, не змінюється оператором агрегату . Тобто автоматизоване керування за участі ПІД регулятора контролера не передбачено. Регулювання кута нахилу чаші також не змінюється динамічно в процесі, автоматичне регулювання не передбачено.



Рисунок А.6 – Огрудковувач ЦВО-2 випалювальної машини А

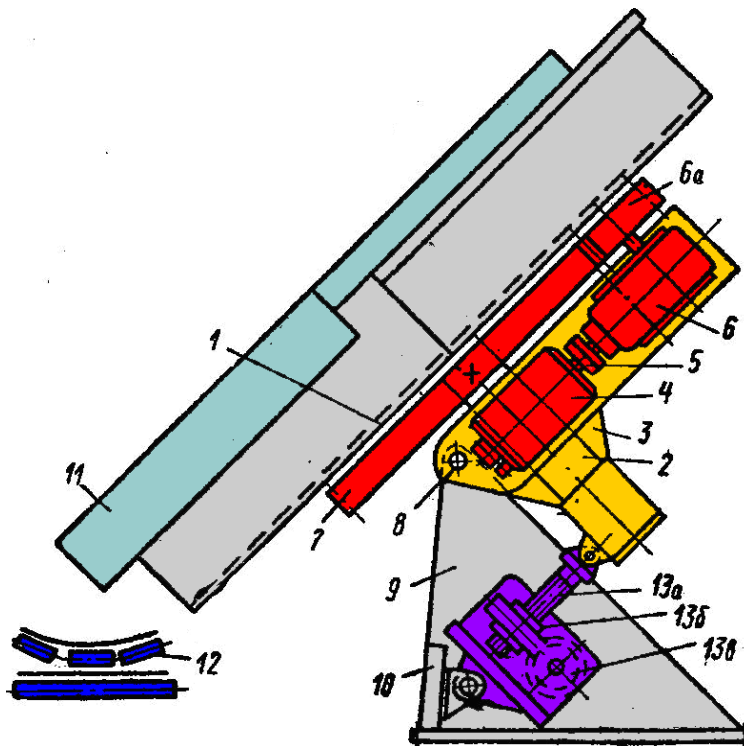



Рисунок А.7 – Креслення огрудковувача, де: 1)чаша, 2)вісь обертання, 3) опора, 4)електродвигун, 5) муфта, 6) редуктор, 6а) шестерня, 7) зубчастий венець, 8) вісь шарнірів, 9) опора, 10) балка, 11) лоток, 12)конвеєр, 13а) тяга-гвинт, 13б) тяга гвинтова пара, 13в) черв'ячна передача



Після огрудкування сирий обкотиш транспортується системою конвеєрів на човниковий укладальник для розподілу на широкий конвеєр-живильник AG/BG2.033, що завантажує існуючий роликовий двох-дековий грохот-укладач AG(BG) 3.005 (рис.- А.8), де відбувається відсіювання крупної фракції +18 мм та дрібної фракції до -10мм. Некондиційна фракція повертається в процес у бункери шихти ділянки огрудкування для подальшого помолу та дозування в шихту. Процес одночасного регулювання шару окатишів та швидкістю переміщення випалювальних візків, виконується за допомогою одно-роликових стрічкових вагів AG(BG) 2.034, які встановлені на широкому конвеєрі-живильнику AG/BG2.033, та за допомогою радарних рівнемірів, які встановленні після грохота-укладача.



Рисунок А.8 – Одна з дек роликового грохота укладача

Процес випалу. Сирий обкотиш фракцією діапазоном 10÷18 мм рівномірно завантажується роликовим грохотом-укладачем AG/BG3.005 на візки випалювальної машини (рис. А.9), проходить усі зони по технологічній інструкції [1] випалювальної машини, а саме: сушіння 1, сушіння 2, нагрівання, випал, рекуперація, охолодження 1, охолодження 2, зображено на рисунку А.10. Далі через розташований на розвантаженні з машини бункер, випалений обкотиш видається на конвеєри, які направляють готовий продукт у корпус грохочення ЦВО-2. У корпусі грохочення випалений обкотиш розподіляється на грохоті: на постіль, на некондиційний дріб'язок (повернення) та на товарний окатиш.



Рисунок А.9 – Візок випалювальної машини у музеї гірничої техніки ГЗК. Дані візки використовуються на в\м LURGI 552-A B

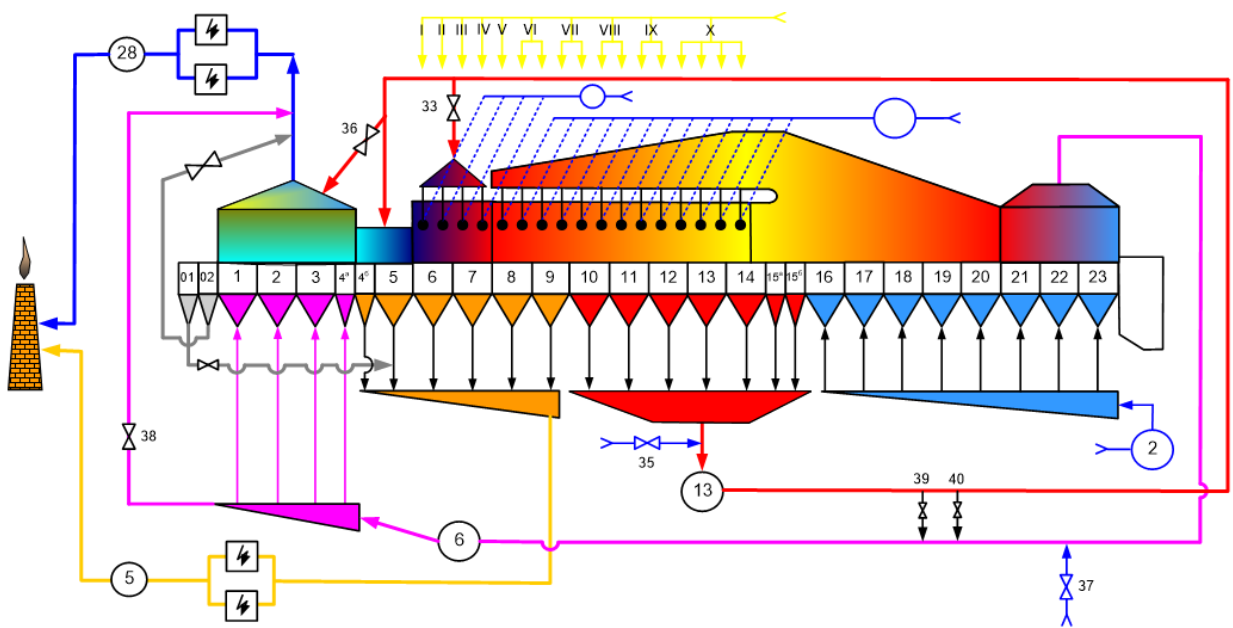


Рисунок А.10 – Зображення зон випалювальної машини з технологічної інструкції.

На схемі, рисунок А.10, над вакуум-камерами: 1 – 4а зона сушіння I, над 4б – 5 зона сушіння II, над камерами 6 – 10 зона нагріву, над 11 – 14 зона випалу, на 15 зона рекуперації, над 16 – 20 та 21 – 23 зони охолодження I та II відповідно

Подача пило-газо-повітряних потоків у форкамери випалювальної машини, перерозподіл потоків по технологічних зонах, а також потоків до



газоочисних установок, тягодутьєвим установкам (ТДУ) та димовим трубам проводиться по системі газоходів та колекторів. Газоповітряні викиди з випалювальної машини фільтруються великими очисними електрофільтрами. Просип та пил, що утворюються при зміцненні та випалі окатишів, збираються в пило збірні бункери (мішки) під випалювальною машиною та вивантажуються на конвеєр, розташований під ними.

А.3 Існуюча АСКТП LURGI 552-A/B ЦВО-2 та її наявний апаратно-програмний склад

Апаратно-програмний комплекс ЦВО-2 являє собою важливу складову технологічної ефективності виробництва окатишів, так як в ньому зведені всі керуючі впливи на основні технологічні агрегати. Станом на 2024 рік у рамках послідовних модернізацій систем управління LURGI 552 A/B реалізовано такі функції:

- автоматизоване управління технологічним процесом виробництва окатишів;
- централізований контроль з головного пульта управління та відображення у режимі реального часу засобами візуалізації параметрів технологічного процесу, рисунок – А.11;
- забезпечення технологічного персоналу оперативною інформацією щодо перебігу технологічного процесу;
- створення, відображення та архівування даних;
- візуалізація аварійних повідомлень, що виникають у ході технологічного процесу;
- передача необхідних даних у бізнес сегмент мережі.

Головна візуалізація побудована на контролері S7-400 є найбільш потужним програмованим контролером сімейства SIMATIC. Дані контролери встановлені як для машини А так і для В.

Апаратно-програмний комплекс, як складна структура складається з підсистем основним завданням яких є управління важливими технологічними процесами виробництва окатишів на випалювальних машинах А/В, таких як: робота пальників у зонах сушіння, нагріву та випалу окатишів на випалювальних машинах А/В, рівномірного завантаження бункерів з шихтою для подачі матеріалу на чашеві огрудковувачі, спостереження, контролю та узгодження окремих механізмів та підсистем. Нижче перелік наявних підсистем комплексної автоматизації виробництва ЦВО-2:

- автоматичні системи регулювання температури у таких зонах №1...№10 випалювальної машини (на платформі головного ПЛК S7-400);
- автоматична система регулювання рівня шихти у бункерах (на платформі головного ПЛК S7-400);
- автоматична система газоочищення на базі електрофільтрів (платформа на S7-300);



- автоматична система дозування та системи стабілізації рівня завантаження випалювальної машини (платформа на S7-1200 рисунок);
- автоматична система розігріву випалювальної машини після запланованої зупинки (на платформі головного ПЛК S7-400).

Існуюча підсистема стабілізації рівня завантаження випалювальної машини в залежності від даних з конвеєрних вагів AG(BG) 2.034 ,встановлених перед випалювальною машиною на конвеєрі живильнику, та вагів AG(BG) 2.037 встановлених на конвеєрі некондиційного повернення, а також датчиків рівня над місцем завантаження сирого окатиша на самі візки, в автоматизованому режимі регулює швидкість візків чим стабілізує рівень завантаження. Дана підсистема, як видно з рисунку А.12, організована на платформі логічного контролера SIEMENS S7-1200 CPU 1215C.

Підсистема керування електрофільтрами організована на платформі логічного контролеру SIEMENS S7-300, основна задача підсистеми полягає фільтруванні газо-пилових потоків з зон сушіння, підігріву, випалу випалювальних машин А/В. Кожен електрофільтр працює по одній з 5-ти програм, чим вище номер програми тим інтенсивніше проходить процес фільтрування газо-пилових потоків, результат роботи системи видно по виміряному значенню пилу в мг/м³ засобами КВП, встановленими на вихідному колекторі.

Загальна кількість задіяних сигналів підсистем які побудовані на контролері S7-400 машин А/В, зображено в таблицях 1 та 2:


Таблиця А.1 - Кількість задіяних входів/виходів для S7-400 CPU 414 випалювальної машини А

CPU 414 машина А	AI	AO	DI	DO
Кількість сигналів	208	24	640	256
Резерв	43	10	235	166

Таблиця А.2 - Кількість задіяних входів/виходів для S7-400 CPU 414 випалювальної машини А

CPU 414 машина В	AI	AO	DI	DO
Кількість сигналів	184	24	384	128
Резерв	45	10	54	24

Підсистема дозування шихтових домішок ваговими дозаторами MULTIDOS® Schenck Process GmbH для послідуочого приготування шихти для процесу огрудкування, побудована по принципу групового керування дозаторів в залежності від значення вагів AG/BG1.015/16. Рівень ПЛК виконаний за допомогою DISOCONT Master Schenck Process



GmbH. Дана підсистема є локальною, тобто технологічні параметри по продуктивності вагових дозаторів у тонах за годину головний контролер системи візуалізації та керування випалювальними машинами не отримує. На ЛМІ екранах ділянок шихто підготовки зображено тільки графічне зображення наявності даного технологічного обладнання, і тільки факт запуску чи зупинки даного обладнання через дискретні сигнали з силового обладнання, а технологічні параметри у реальному часі з дозаторів – відсутні на візуалізації.

Технологічна ділянка огрудкування на даний момент не має навіть локального автоматичного регулювання таких важливих параметрів як : швидкість обертання тарілі чашевого огрудковувача, кут нахилу тарілі, кількість подачі зрошувальної води та кількість навантаження шихти в тонах за годину на сам огрудковувач. Тобто фактично ситуація гірше від ділянки дозування, так як на попередній ділянці є хоча б не інтегрована до головного ПЛК локальна підсистема з ПІД регулюванням. На ЛМІ екрані ділянки огрудкування головної візуалізації, зображено тільки наявність даного обладнання на ділянці та факт запуску чи зупинки по дискретному сигналу з силового обладнання.

Запуск та зупинка огрудковувачів виконується, як з пульта місцевого управління так і з дистанційного, який розміщений у оператора-агломератника.

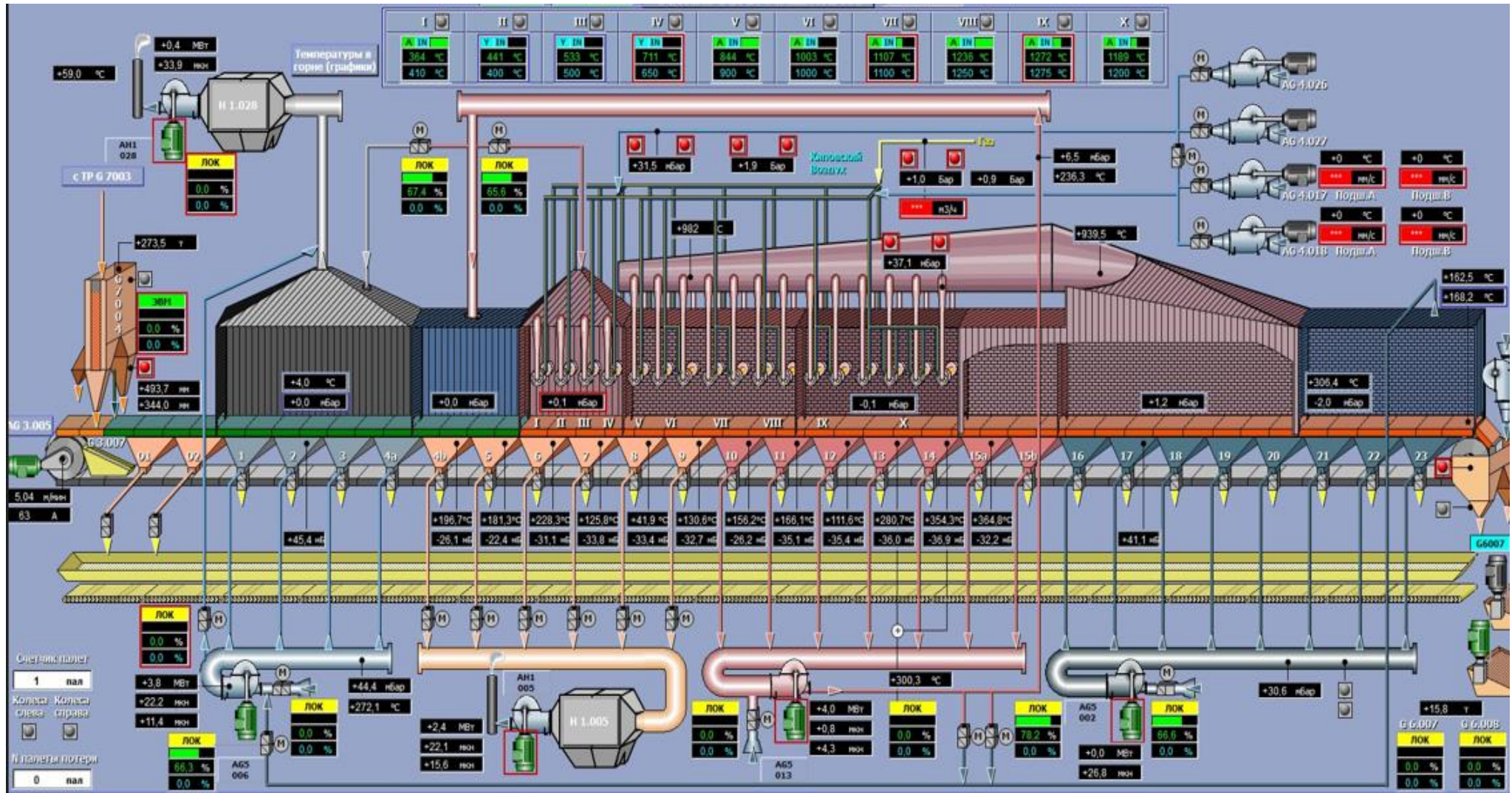


Рисунок А.11 – Вид головного экрана ЛМІ випалювальної машини LURGI 552 А існуючої головної візуалізації

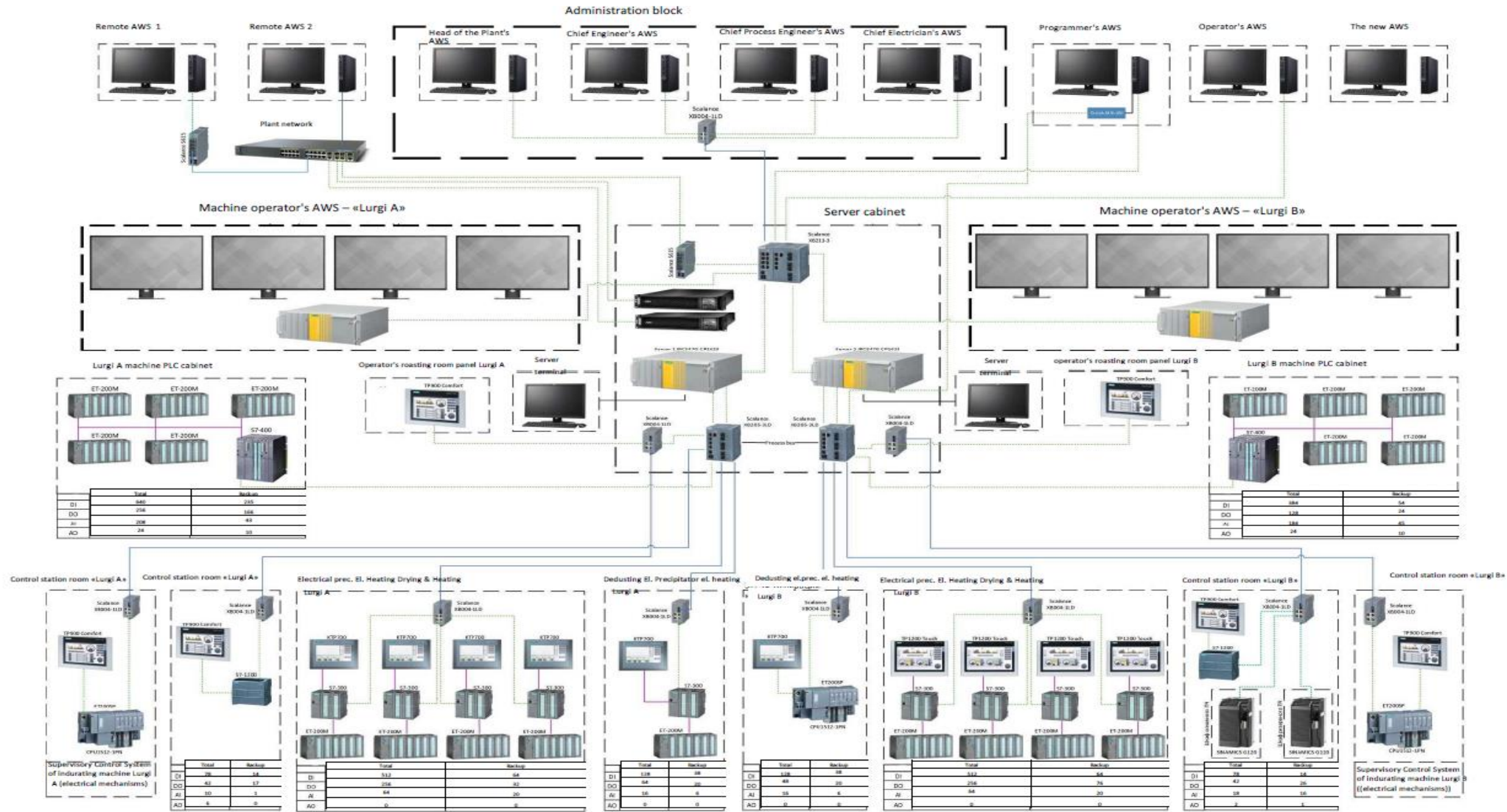



Рисунок А.12 – Структурна схема АСКТП LURGI 552 A/B



Далі необхідно більш детально перелічити наявний апаратно-програмного склад головної системи автоматизації ЦВО-2 до якої надходять всі сигнали з існуючих підсистем, яка складається з трьох рівнів і яка являє собою головне ядро центру управління технологічним процесом. Трирівнева система для машин А та В складається з:

- верхнього рівня – сервери (резервовані та архівні), автоматизовані робочі місця (АРМ), інженерна станція, сенсорні панелі оператора, програмне забезпечення та ліцензії як для серверів так і для клієнтів, програмне прикладне забезпечення розробки для інженерних станцій;

- сервери: 2 шт. SIMATIC IPC5476 Intel Xeon E3-1275 3,6ГГц, RAM 16 ГБ, ADD 2,2 ТБ x 2 (RAID1), ОС Windows Server 2016 Standard, ПЗ: WinCC v7.4, WinCC RT 7.4 (65536), WinCC Server, WinCC, Redundancy WinCC Arch (1500), WinCC Connectivity Pack;

- інженерна станція, операторські станції: DELL OPTIPLEX 3060 Intel Core i5-8500 2,11 ГГц, RAM 8 ГБ, HDD 256 GB (SATA), ОС Win10 Корпоративна, ПЗ: WinCC RC 7.4 (65536) v7.4

- АРМ : IPC5476 i5-6500/16ГБ/1ТБ HDD, ПЗ: WinCC RT 7.4 Client v7.4
- мережеве обладнання: SCALANCE XB004-1LD, XB205-3LD, XB213-3, HP Pro curve 1700-24 – 2шт;

- панель оператора: HMI Comfort TP-900 – 2шт;

- середній рівень або рівень програмованого контролеру – програмовані логічні контролери та станції вводу/виведення;

- CPU S7-414-3PN/DP (414-3EM05-0AB0), PS 407 20A (407-0RA02-0AA0) – 2шт, IM 460-0 (460-0AA01-0AB0), IM 461-0 (461-0AA01 -0AA0), DI 32x24v (421-1BL00-0AA0) - 19шт., DO 16 (422-1HH00 -0AA0) – 6шт., ET200M IM 153-1 (153-1AA03-0XB0) – 2шт., DO 32x24v (322-1BL00-0AA0) - 4шт., AI 8x13bit (331-1KF01-0AB0) – 10шт., AI 8x13bit (331-1KF02-0AB0) – 1шт.;

- нижній або польовий рівень: контрольно-вимірювальні прилади, виконавчі механізми

Неповний перелік засобів первинного КВП встановленого на технологічному обладнанні ФОК-3 випалювальні машини LURGI-552-A/B :

- 1) температура у вакуум-камерах та в зоні охолодження :

- термопара типу ТХА (хромель-алюмель), діапазони вимірювання від 0...600, 700, 1000 °С.

- 2) температура у зонах нагріву та випалу:

- термопара типу ТПП (платина-платино\родій) діапазон 0...1600 °С (на заміну ТПП на даний час впроваджуються пірометри RAYTEK).

- 3) температура на технологічних вентиляторах та ін. агрегатах:

- термометри опору ТСП або РТ100 (платиновий) діапазон 0...200 °С.

- 4) вимір тиску на вакуум-камерах:

- Siemens M56441 та APLISENS 2000ALE діапазон вимірювання 0...5, 60 м Бар, 4..20мА.

- 5) тиск\розрідження на газоходах електрофільтрів:



- SITRANS SIEMENS P DS III 0...60 мбар 4..20 м А HART.
- 6) вимір рівня слою окатишів:
 - KROHNE Optivawe 6400C діапазон вимірювання від 0...700 мм, 4..20 м А, HART, (рис. - А.13).



Рисунок А.13 – Радарний рівнемір KROHNE OPTIWAVE 6400C

7) ваги:

- конвеєрні ваги сирого окатишу з рамою Weiteq WBS-1H/46 датчиками ваги 2 x SIWAREX WL280RN-S, 1000 kg. та терміналом Siwarex S7-1200 WP241 продуктивність на вагах 0...800 т/год;

- конвеєрні ваги ділянки шихто-підготовки MULTIBELT ВЕР-10, одно-роликові, продуктивність 360 т/год, ваговий термінал Intecont TERSUS.

8) аналітичні прилади:

- датчик вимірювання пилу після електрофільтрів DURAG D-R-290 діапазон 0...4000 мг/м³, 4..20 м А , (рис. А.14)



Рисунок А.14 – датчик концентрації пилу в викидах з електрофільтрів D-R-290