

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»  
Навчально-науковий інститут електроенергетики  
(інститут)  
Електротехнічний факультет  
(факультет)  
Кафедра кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем  
(повна назва)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
**кваліфікаційної роботи ступеню бакалавра**

студента Дубняк Андрій Олександрович  
(П.І.Б.)  
академічної групи 151-19-1  
(шифр)  
спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
(код і назва спеціальності)  
за **освітньо-професійною програмою** 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
(офіційна назва)  
на тему Розробка елементів системи автоматичного управління процесом огрудкування  
(назва за наказом ректора)

Консультанти	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинг.	інституційною	
Керівник кваліфікаційної роботи	доц. Трипутень М.М.			
Провідний консультант	доц. Трипутень М.М.			
Розробка апаратного забезпечення системи керування	доц. Соснін К.В.			
Визначення моделі об'єкта керування	ст. викл. Бойко О.О.			
Економічна частина	ст. викл. Яремчук І.О.			
Охорона праці	проф. Чеберячко Ю.І.			
Рецензент				
Нормоконтролер	ас. Воскобойник Є.К.			

Дніпро  
2023

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**  
завідувач кафедри  
кіберфізичних та інформаційно-  
вимірювальних систем  
(повна назва)

\_\_\_\_\_ Бублік А.В.  
(підпис) (прізвище, ініціали)  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 року

**ЗАВДАННЯ**  
**на кваліфікаційну роботу**  
**ступеня бакалавр**

студенту Дубняк А.О. академічної групи 151-19-1  
(прізвище та ініціали) (шифр)  
спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
за освітньо-професійною програмою 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані  
технології  
(офіційна назва)

на тему Розробка елементів системи автоматичного управління процесом огрукування  
затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» № 328-с от 08.05.2023

Розділ	Зміст	Термін виконання
Стан питання та постановка завдання	Вступ. Опис технологічного процесу для об'єкта автоматизації. Огляд існуючих систем автоматизації. Стан питання. Вибір напрямку створення автоматизованої системи.	11.05.2023
Розробка апаратного забезпечення системи керування	Обрання датчиків, виконавчих пристроїв та пристрою керування, розробка структурних схем, функціональної схеми автоматизації та принципової схеми електричної.	18.05.2023
Визначення моделі об'єкта керування	Виконання експерименту. Обробка результатів експерименту. Створення моделі об'єкта керування. Перевірка отриманої моделі на адекватність.	25.05.2023
Економічна частина	Економічне обґрунтування доцільності витрат на створення системи керування.	01.06.2023
Охорона праці	Розробка організаційно-технічних заходів, щодо реалізації правил безпеки при експлуатації системи.	05.06.2023

Завдання видано \_\_\_\_\_  
(підпис керівника)

доц. Трипутень М.М.  
(прізвище, ініціали)

Дата видачі

04.05.2023

Дата подання до екзаменаційної комісії

10.06.2023

Прийнято до виконання \_\_\_\_\_  
(підпис студента)

Дубняк А.О.  
(прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 69 стор., 30 рис., 15 табл., 2 дод.

Об'єкт розроблення: процес огрудкувння на гірничо-збагачувальному комбінаті.

Мета бакалаврської роботи: визначення структури і параметрів динамічної моделі процесу огрудкування на гірничо-збагачувальному комбінаті; створення структурної схеми САК процесом огрудкування.

Огрудкування - процес безперервної дії, який спрямований на створення гранул сферичної форми при перекочуванні зволжених тонкоподрібнених матеріалів. Отримання гранул заданої середньої крупності забезпечується подачею необхідної кількості зволожуючої рідини. Процес огрудкування на фабриці збагачення ГЗК реалізується в барабанному грануляторі.

В бакалаврській роботі запропоновано структурну схему керування процесом огрудкування. 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 дипломному проекті також обґрунтовано доцільність виготовлення та впровадження системи керування і розглянуто комплекс заходів щодо охорони праці на підприємстві.

ЗАЛІЗНА РУДА, ШИХТА, ГРАНУЛЯТОР, ОГРУДКУВАННЯ,  
ВОЛОГІСТЬ, СЕРЕДНІЙ ДІАМЕТР, КОНТРОЛЕР, ЕКОНОМІЧНА  
ДОЦІЛЬНІСТЬ, ШКІДЛИВІ ФАКТОРИ

## ЗМІСТ

Вступ	6
1 Стан питання та постановка завдання	7
1.1 Характеристика галузі і умов застосування проектованої системи	7
1.2 Технологічний процес огрудкування	8
1.3 Процес огрудкування як об'єкт автоматизації	11
1.3.1 Принцип дії гранулятора	11
1.3.2 Процес огрудкування як об'єкт керування	14
1.4 Відомі рішення в даній галузі	17
1.5 Постановка завдання	21
2 Розробка апаратного забезпечення системи керування	22
2.1 Розробка структурної схеми системи керування	22
2.2 Вибір апаратного забезпечення системи керування	22
2.2.1 Щільномір пульпи DENCELL® МАД-5xxx	22
2.2.2 Витратомір SITRANS F X	23
2.2.3 Частотний перетворювач Lenze 8200 E82EV223K4B201	25
2.3.3 Вибір пристрою керування	26
2.3.4 Вибір джерел живлення	31
2.4 Функціональна схема автоматизації	33
2.5 Схема електрична принципова	34
2.6 Висновки за розділом	36
3 Визначення моделі об'єкта керування	37
3.1 Особливості дослідження динамічних характеристик об'єкта автоматичного керування	37
3.2 Ідентифікація структури і параметрів об'єкта керування	39
3.3 Висновки за розділом	43
4 Економічна частина	44
4.1 Техніко-економічне обґрунтування впровадження системи керування	44
4.2 Розрахунок капітальних витрат при впровадженні системи керування	45

	5
4.3 Розрахунок капітальних витрат на програмне забезпечення	46
4.3.1 Розрахунок часу на розробку програмного забезпечення	46
4.3.2 Розрахунок витрат на розробку програмного забезпечення	48
4.4 Розрахунок експлуатаційних витрат	49
4.4.1 Амортизація основних фондів	50
4.4.2 Розрахунок фонду заробітної плати	51
4.4.3 Відрахування на соціальні заходи	51
4.4.4 Розрахунок витрат на технічне обслуговування та ремонт	52
4.4.5 Витрати на електроенергію	52
4.4.6 Інші витрати	52
4.5 Висновки за розділом	53
5 Охорона праці	54
5.1 Загальні відомості	54
5.2 Робота на шламонакопичувачах з вмістом радіоактивних елементів	55
5.3 Травмування під час складування гірських порід на шламонакопичувачах	57
5.4 Основні засоби індивідуального захисту при складуванні гірських порід	59
5.5 Висновки за розділом	63
Висновки	64
Перелік посилань	65
Додаток А	69
Додаток Б	70
Відгуки консультантів кваліфікаційної роботи	71
Відгук	73
Рецензія	75

## ВСТУП

Одним з основних напрямків економічного розвитку України є підвищення ефективності доменного виробництва, яке може бути досягнуто шляхом покращення якості агломерації залізняку та економії палива для даного процесу. Вирішальними впливами на процес спікання є газопроникність і структура шару шихти на агломераційній стрічці які, своєю чергою, визначаються якістю огрудкування сипучого матеріалу у барабанному грануляторі.

Агломерація вперше була застосована в кольорової металургії для спікання сірчистих і мідних руд, а також руд, що містять свинець і цинк. Агломерація в промисловому масштабі розвивалася на основі двох методів: продувкою повітря через шихту і просмоктуванням повітря.

Агломераційне виробництво являє собою складну систему різних апаратів, що діють в різних режимах і виконують різні функції.

Аналіз стану управління огрудкування сипких матеріалів на сьогодні показує, що на вітчизняних виробництвах спроби отримання грануляту із заданими властивостями часто не мають задовільного результату через недостатню вивченість процесу, відсутність раціональних критеріїв управління, використання керуючих впливів, що обурюють процеси транспортування та спікання шихти, а також відсутності комплексного підходу до формування гранулометричного складу шихти під час огрудкування та транспортування на агломераційну стрічку. Наслідками зазначених проблем є зниження продуктивності агломераційних машин та нераціональне використання теплоти згоряння твердого палива.

Зазначені недоліки можуть бути усунуті шляхом отримання достовірного математичного опису процесів огрудкування на основі промислових експериментів.

У даній дипломній роботі розглянуто технологія отримання грануляту, ідентифікація процесу огрудкування, а також запропонована комп'ютеризована система управління процесом огрудкування.

## 1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

### 1.1 Характеристика галузі і умов застосування проектованої системи

Сучасний рівень розвитку чорної металургії характеризується інтенсивним залученням до сфери металургійного переділу бідних залізних руд, які попередньо піддаються спеціальній підготовці: дробленню, збагаченню, усередненню.

У 2021 році українськи металурги виробили:

- 21,2 млн тон чавуну,
- 21,4 млн. тон сталі,
- 19 млн тон прокату.

Україна експортувала продукцію чорної металургії в країни Близького Сходу, Північної Америки та Азії. У порівнянні з 2020 роком доходи від експорту зросли до \$14 млрд (зросли більш ніж на 81%), а держава зайняла 14 місце у глобальному рейтингу виробників сталі.

В перші два місяці 2022 року експортна виручка збільшилась в 1,35 до аналогічного періоду 2021 року. Але від початку війни відбулося скорочення виробництва у металургійній галузі.

«За перші 5 місяців 2022, виробництво металургійних підприємств становить близько 53% від аналогічного періоду 2021 року. Експорт залізної руди скоротився на 33%, до аналогічного періоду 2021 року, експорт чавуну на 50%, а експорт напівфабрикатів на 45%. Значна частина підприємств через близьке розташування до бойових дій тимчасово зупинили свою роботу з огляду на безпеку. Такі підприємства як “Азовсталь” та ММК ім. Ілліча, припинили повністю роботу через окупацію та значні пошкодження. Проте, зараз металургія починає відновлювати свою роботу та активно бореться з наявними викликами» [1].

Агломерація - це спікання суміші пилових руд, концентратів і подрібненого палива (коксіка) в міцні і пористі шматки - агломерат. Отримуваний після збагачення залізородний концентрат, як відомо, є дрібним

матеріалом і для безпосередньої проплавки в доменних печах непридатний, тому що при цьому стовп шихтових матеріалів матиме дуже низьку газопроникність, а сама проплавка супроводжуватиметься інтенсивним виносом пилу. Для перетворення дрібних частинок різних концентратів та деяких інших матеріалів у великі шматки, що задовольняють вимогам доменної плавки, використовують огрудкування залізородних матеріалів. Найбільшого поширення як способи огрудкування отримали агломерація та виробництво окатишів.

На агломераційній фабриці шихту, що складається з рудної частини, флюсу, повернення (дрібною фракцією агломерату) і коксика, завантажують на конвеєрну агломераційну машину (аглострічку), запалюють зверху і спікають, пропускаючи повітря через шар спікається матеріал.

## **1.2 Технологічний процес огрудкування**

Агломерація є процесом спікання суміші дрібною руди з твердим паливом і флюсовими добавками, в результаті якого утворюються міцні пористі куски, які називаються агломератом.

Виробничі операції, що здійснюються на агломераційній фабриці, показано на її технологічній схемі (рис. 1.1). Матеріали з рудного двору надходять у приймальні бункери 1 шихтового відділення, де вони поєднуються у певному співвідношенні. По транспортерному конвеєру 2 шихта надходить у приймальний бункер 4 спікального відділення, а звідти транспортером 5 подається в барабан-огрудкувача 6, де відбувається її змішування, зволоження і огрудкування. З бункера 3 барабан-огрудкувача 6 надходить повернення. Дозування здійснюється встановленням необхідних витрат компонентів шихти, що видаються на збірний транспортер 2 живильниками 7 з бункерів. Після обгорткування шихта подається в проміжний бункер агломашини 8, звідки рівномірно і безперервно системою завантаження подається на агломашину 9 і укладається на ланцюг колошникових візків. Запалювання шару шихти на аглострічці проводиться при проходженні шару під запальним горном 10. Під візками розміщені вакуум-камери 11. Готовий агломерат скидають в кінці



машини з візків, дроблять в дробарках 12, піддають грохоченню в грохоті 13. Продукти згоряння та повітря з вакуум-камер по колектору 14 надходять на очищення в циклоні 15 і видаляються екстаустаром 16 через трубу 17.

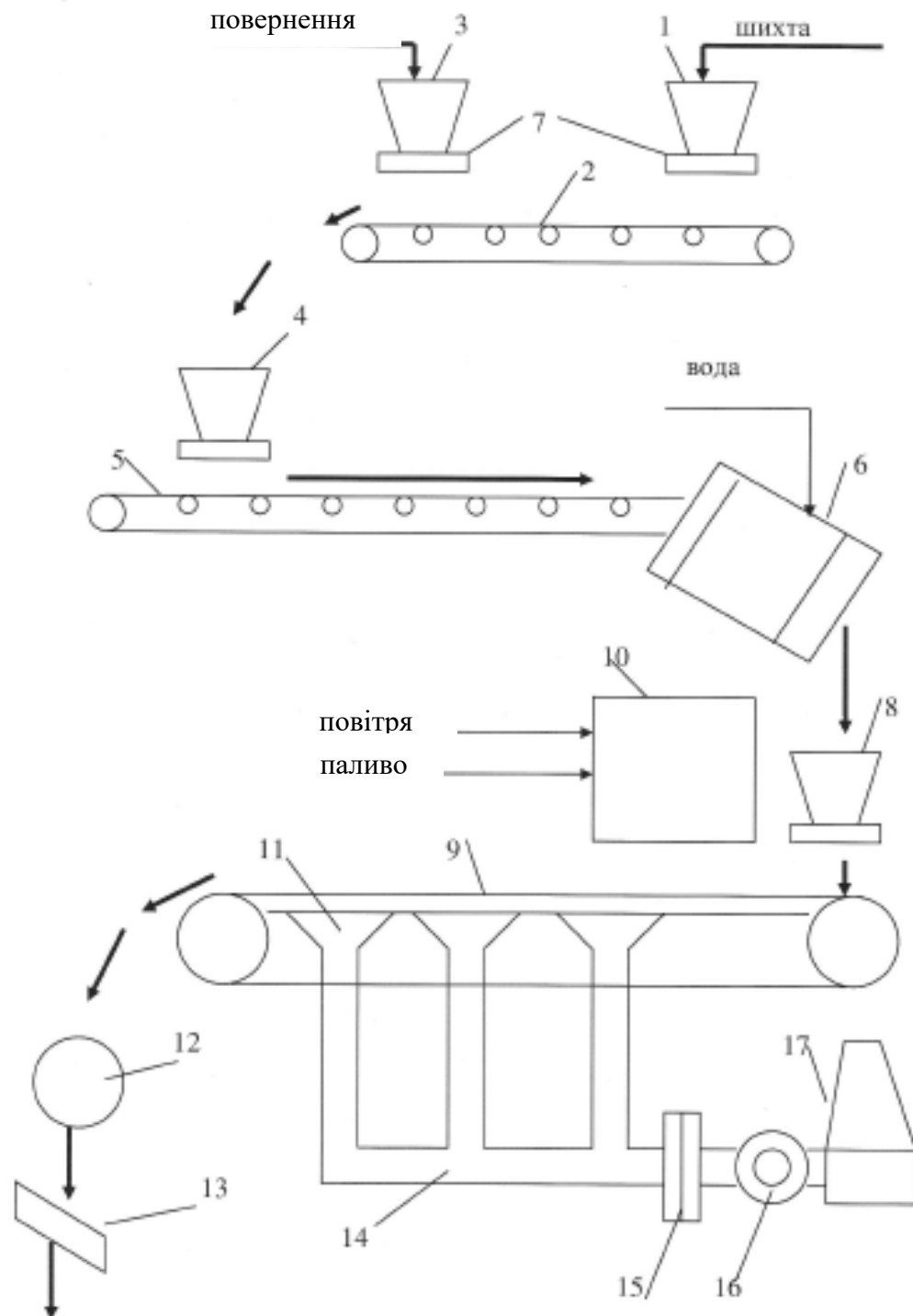


Рисунок 1.1 - Технологічна схема агломераційної фабрики

Агломераційний процес є безперервним, тому головне завдання управління є дотримання матеріального балансу.

Усі нев'язки матеріального балансу компенсуються буферними ємностями, функції яких виконують приймальні бункери шихтового відділення, спікального відділення та проміжні бункери агломашин.

Хід процесу огрудкування визначається властивостями матеріалів, що надходять в огрудкувальник, і характеристиками механічного впливу агрегату на масу, що огрудковується [2-4].

Властивості сипких матеріалів, що впливають на хід процесу грануляції, є вміст і розподіл у них вологи, форма частинок, а також їх гранулометричний і хімічний склад. Комплексна дія цих факторів визначає комкуватість (здатність до огрудкування) сипких матеріалів.

Стабільність процесу грануляції залежить також від сталості продуктивності дозатора приймального бункера, що подає шихту в гранулятор, оскільки вона визначає ступінь заповнення барабана.

Умови утворення гранул в барабані визначаються такими характеристиками гранулятора і механічного впливу на матеріал, як довжина агрегату, його радіус, кут його нахилу, стан його внутрішньої поверхні, кількість обертів, кількість зволожуючої рідини, що подається в агрегат, навантаження по шихті.

У процесі огрудкування беруть участь такі компоненти, як шихтовий матеріал (що складається з руди, рудного концентрату, вапняку, антрациту, колошникового пилу, коксу та повернення), вода, а також деякі поверхнево активні речовини, що покращують змочуваність рудних частинок, та колоїдні матеріали, які сприяють зміцненню гранул.

Найбільшого поширення на підприємствах чорної металургії набули гранулятори барабанного типу. У вітчизняній практиці застосовують барабанні гранулятори діаметром 2-4,4 м, довжиною 4-12,5 м, з кутом нахилу осі обертання до горизонтальної площини 0-4° і частотою обертання 3,97-9,83 об/хв. Ступінь заповнення барабана шихтою становить 10-13%, час перебування шихти в барабані (залежно від довжини агрегату, швидкості його обертання та кута нахилу) становить 1-4 хв.

### 1.3 Процес огрудкування як об'єкт автоматизації

#### 1.3.1 Принцип дії гранулятора

Барабанні гранулятори складаються з наступних основних вузлів: циліндричного барабана, чотирьох опорних, одного або двох опорних роликів, приводу, пристрої для зволоження шихти, пристрої для очищення гарнісажу та порталу для підвіски очисного пристрою.

Барабан 1 (рис. 1.2) є пустотілим циліндром, звареним із сталевих листів. Барабани складаються з кількох секцій, з'єднаних болтами. Для забезпечення точності та міцності з'єднання на торцях секцій є центруючі заточування, а частина болтів виконана призонними. Барабан спирається на опорні ролики сталевими бандажами 2, які виконуються знімними на підкладках і клинах, або привареними до обичайок. Барабани гранулятори всередині покривають сталевим пористим листом. Ці заходи призначені для утворення та утримання шару матеріалу (гарнісажу) на внутрішній поверхні барабана для захисту його від зношування, а також для поліпшення умови тертя при грудкуванні та змішуванні.

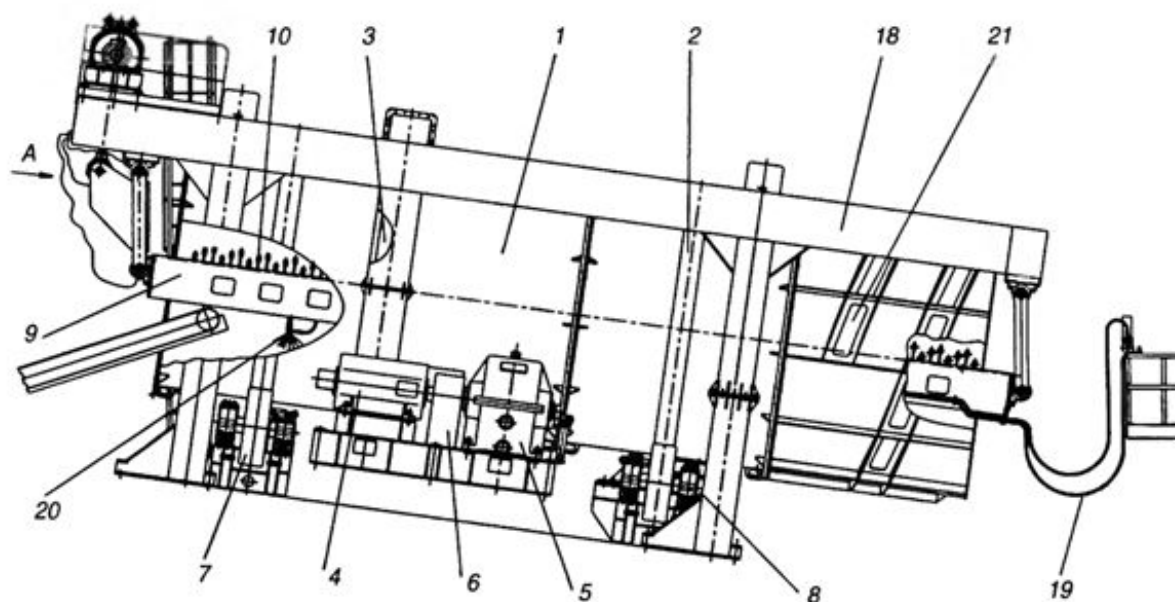


Рисунок 1.2 – Барабанний гранулятор

Обертання барабану передається через сталевий зубчастий вінець 3, закріплений на фланці секції. Зубчасті вінці зазвичай виконані литими із двох

половин, з'єднаних болтами. Привід обертання барабана включає електродвигун 4, редуктор 5, з'єднаний муфтами 6 з електродвигуном і валом підвінцової шестерні, що знаходиться в зачепленні з вінцем вінчастим барабана. Вал підвінцової шестерні встановлюється на сферичні роликпідшипники, укладені в корпус. Для вивіряння бічного та радіального зазорів корпус підвінцової шестерні може бути пересунутий у напрямку, перпендикулярному до поздовжньої осі барабана. Електродвигуни приводів змінного струму мають плавне регулювання частоти обертання тиристорного перетворювача частоти. Електродвигуни постійного струму з безступінчастим регулюванням частоти обертання зміною напруги струму живлення.

Кожен опорний ролик 7 напесований на вісь, яка спирається на сферичні роликпідшипники, встановлені в литому чавунному корпусі. Регулювання положення опорного ролика щодо бандажа барабана та його фіксування здійснюються за допомогою двох гвинтових упорів, закріплених на рамі із зовнішнього боку корпусу ролика. Кожен затятий упорний 8 встановлений на підшипниках кочення, змонтованих вертикальної осі. Зустрічаються конструкції, коли упорні ролики мають різний пристрій: нижній силовий ролик більшого діаметра сприймає осьове зусилля від нахилу барабана, а верхній контрольний встановлюється для запобігання аварійному «догляду» барабана вгору при розкосі опорних роликів.

Існують також гранулятори з установкою приводу та опорних роликів на загальній металевій рамі. Іноді привід та опорні ролики встановлюють на окремі рами, залиті в бетонну фундаментну плиту. Ця конструкція більш прогресивна, оскільки залізобетонні опорні деталі дешевші і знижують питому металомісткість машини.

Очисний пристрій призначений для зрізання під час роботи окомкователів з внутрішньої поверхні барабана зайвого шару матеріалу, що налип. Пристрій складається з балки 9 з встановленими на ній скребками (різцями) 10. Балка з різцями розміщується всередині вздовж барабана і за допомогою підвісок важелів 11 і 12 шарнірно з'єднана з порталом гранулятора. Підвіска 11,

розташована в завантажувальній частині гранулятора, з'єднана шатуном 13 колінчастим валом 14 приводу. Привід складається з електродвигуна 15 планетарного редуктора 16 і колінчастого валу, з'єднаних між собою муфтами. Колінчастий вал встановлений на двох підшипникових опорах 17.

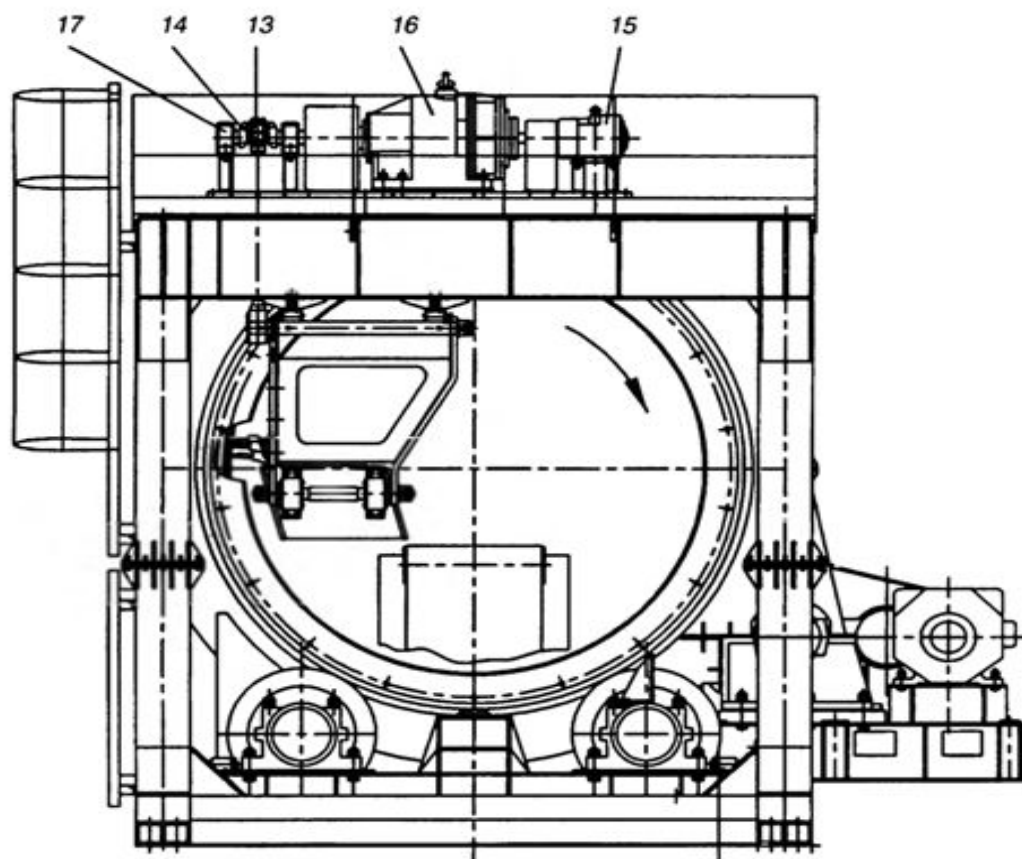


Рисунок 1.3 – Барабанний гранулятор (вид А)

Портал 18 являє собою зварювальну раму, розташовану над гранулятором і спирається на чотири стійки, закріплені на спільній опорній рамі гранулятора або на бетонному фундаменті. Балка очисного пристрою здійснює зворотно-поступальні рухи від кривошипно-шатунного механізму, що приводиться в дію приводом. Хід балки розрахований таким чином, що він перекриває крок різців. Для зволоження шихти передбачаються водопроводи 19 та форсунки 20 усередині барабана. На кожному трубопроводі встановлені сітчасті фільтри та запірні крани. Для можливості використання технічної води, що містить суспензії, сучасні конструкції форсунок для розпилення використовують стиснене повітря і мають вихідний отвір до 6...8 мм.

Для змащування механізмів гранулятора передбачаються різні системи мастила. Підшипники валу опори, верхні підшипники тихохідного валу редукторів та вінцева зубчаста пара приводу змащуються від загальноцехової автоматичної централізованої системи густого змащення. Мастило зачеплення редуктора рідке, заливне, картерне. У масляній ванні корпусу редуктора встановлений трубчастий зміювик з водою, що циркулює по ньому, для охолодження масла. Для розпилення густого мастила в зачепленні підвінцової шестерні з вінцем встановлена спеціальна форсунка. Кількість та періодичність мастила регламентуються інструкцією заводу-виробника.

Щоб динамічні навантаження не передавалися на будівельні конструкції будівлі, гранулятор встановлюють на жорстких залізобетонних підставах. Іноді гранулятор встановлюють на гумометалевих амортизаторах, що гасять вібраційні впливи на основи та будівельні конструкції.

Шихтові матеріали подаються в барабан стрічковим конвеєром. З боку завантаження всередині барабана є кільцевий поріг, що перешкоджає висипанню шихти з гранулятора. Розвантажувальний кінець барабана має спіральні прорізи 21, необхідні для рівномірного розподілу котунів по ширині гуркоту. Огрудкована шихта сортується гуркотом сирих котунів, встановленим під розвантажувальною частиною гранулятора. Кондиційні котуни діаметром 8...18 мм направляються для випалу на випалювальну машину. Некондиційні дрібні (8 мм) і великі котуни (+18 мм) стрічковими конвеєрами направляються в завантажувальну частину гранулятора (циркуляційне навантаження). Великі котуни при цьому попередньо руйнуються.

### **1.3.2 Процес огрудкування як об'єкт керування**

Для високоякісного керування грануляторами сипучих матеріалів, що відповідає сучасному рівню автоматизації, необхідна побудова математичних моделей, що адекватно відображають складний процес огрудкування, що включає переміщення шихтових матеріалів в агрегаті та їх грануляцію.

Процес огрудкування та якість огрудкованої шихти оцінюється комплексом наступних показників [5]:

1) ступінь огрудкування, що представляє собою частку дрібних класів («грудкуєма» частина), що накатаються на поверхню більших класів («грудкуюча» частина), що розраховується за формулою:

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^N M_{i-1}^i}{\sum_{i=1}^N (M_{i-1}^i + M_i)} \cdot 100\%; \quad (1.1)$$

де  $M_{i-1}^i$  - вміст класу (i - 1) в i-й фракції шихти;  $M_i$  - вміст i-ої фракції в шихті; N – кількість фракцій.

2) середня крупність шихти, яка розраховується як середньогармонічний діаметр:

$$d_{-p} = \frac{\sum_{i=1}^N M_i}{\sum_{i=1}^N \frac{M_i}{d_i}}, \quad (1.2)$$

3) вихідна газопроникність огрудкування шихти, або зміна газодинамічного опору стандартного шару шихти до і після огрудкування.

Перші два показники якості процесу огрудкування є інтегральні характеристики, які можуть бути розраховані за відомим фракційним складом огрудкованої шихти. Газопроникність шару шихтових матеріалів визначається як гранулометричним складом шихти, так і її вологістю. При цьому залежність газопроникності від кількості вологи в шихті має екстремальний характер, а отже існує цілком певне значення вологості (для кожних конкретних умов), при якому газопроникність огрудкованої шихти буде максимальною. Зазвичай, таке значення вологості знаходиться в діапазоні 7,5 - 9,5 %.

Як показують результати досліджень у літературі, оптимальний склад огрудкованої шихти відповідає наступним умовам:

$$\begin{aligned} q_{-3} &\rightarrow \min; \\ q_{3...10} &\rightarrow \max; \\ q_{+10} &\rightarrow \min, \quad \text{при } Q_0 = \text{const} \end{aligned} \quad (1.3)$$

де  $q_{-3}$ ,  $q_{3...10}$ ,  $q_{+10}$  - продуктивність барабанного гранулятора за фракціями -3 мм, 3...10 мм, +10 мм огрудкованого матеріалу, т/год.

Продуктивність гранулятора  $Q_6$  на фабриках з виробництва котунів та аглофабриках визначається продуктивністю живильників-дозаторів, значення якої у свою чергу може бути прийнято постійною.

Відношення  $M_i = \frac{q_i}{Q_6} \cdot 100$ , % показує процентний вміст  $i$ -ої фракції в огрудкованій шихті. Таким чином, умова (1.1) прийме вид:

$$\begin{aligned} M_{-3} &\rightarrow \min; \\ M_{3...10} &\rightarrow \max; \\ M_{+10} &\rightarrow \min, \quad \text{при } Q_6 = \text{const} \end{aligned} \quad (1.4)$$

де  $M_{-3}$ ,  $M_{3...10}$ ,  $M_{+10}$  вміст фракцій -3 мм, 3...10 мм, +10 мм в огрудкованій шихті, %.

Крім кількості сполучної вологи в шихті, суттєвий вплив на хід процесу огрудкування надає фракційний та компонентний склад вихідної шихти, а також технічні та технологічні параметри роботи барабанного гранулятора - його довжина, радіус, швидкість обертання, кут нахилу та інші. При цьому такими технологічними параметрами роботи гранулятора як швидкість обертання і кут нахилу можна варіювати в деяких діапазонах значень (визначаються конкретними виробничими умовами). Отже, при розгляді процесу огрудкування з позиції управління ці параметри можуть бути взяті в якості керуючих (поряд з витратою зволожуючої рідини, що подається в гранулятор).

Зі всіх параметрів, що впливають на якість грануляції, безпосередньому контролю не піддається тільки фракційний склад шихти, що надходить в гранулятор. Виходячи з цього, процес огрудкування з позиції управління може бути представлений структурною схемою, показаною на рис. 1.4. Тут як обурювальний вплив виступають коливання фракційного складу вихідної шихти  $M_i$ . Керування процесом може здійснюватися за допомогою регулювання кількості зволожуючої рідини  $W$ , швидкості обертання  $n$  та кута нахилу барабанного гранулятора [6]. Варіювання значень параметрів, що управляють, можливе в діапазонах:



$$\begin{aligned}
 W_{\min} &\leq W \leq W_{\max}; \\
 n_{\min} &\leq n \leq n_{\max}; \\
 \alpha_{\min} &\leq \alpha \leq \alpha_{\max}.
 \end{aligned}
 \tag{1.5}$$

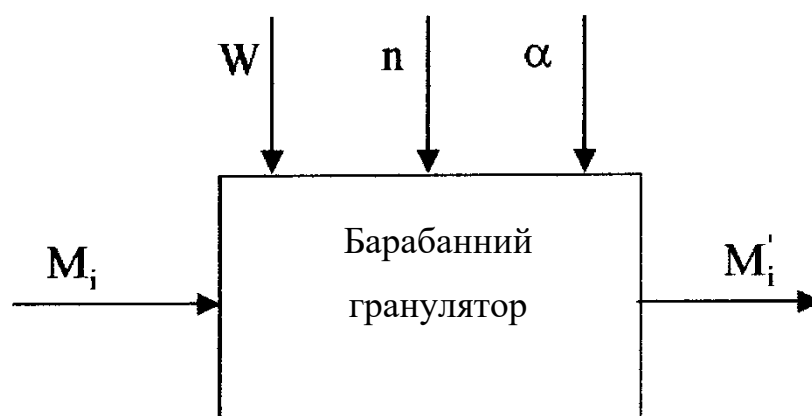


Рисунок 1.4 - Барабанний гранулятор як об'єкт керування

Управління процесом огрудкування залізородних матеріалів у барабанних грануляторах доцільно здійснювати за фракційним складом огрудкованої шихти.

#### 1.4 Відомі рішення в даній галузі

На даний час накопичено значний досвід створення САР процесом огрудкування по каналу "витрата води на зволоження та огрудкування – середній діаметр гранул шихти", засновані на регулюванні подачі кількості зволожуючої рідини. При цьому метою такого регулювання виступає або стабілізація кінцевої вологості шихти, або підтримання певного співвідношення витрата шихти - витрата води, або стабілізація гранулометричного складу окомкованої шихти. Системи регулювання, засновані перших двох принципах працюють ефективно у випадках, коли змінюються фізичні властивості шихти. Недоліком цих систем є необхідність коригування значення оптимальної вологості у разі зміни фізичних властивостей шихти. Цього недоліку позбавлені САР вологості шихти, що базуються на стабілізації гранулометричного складу окомкованої шихти.

Для САР зволоження шихти за вказаною динамічною характеристикою має вигляд:

$$W(p) = \frac{ke^{-\tau p}}{Tp + 1}, \quad (1.6)$$

Тут:  $k$  - постійний коефіцієнт для даного гранулятора та складу окомкованої шихти;  $T$  - постійна часу, що визначається технологічними умовами формування гранулометричного складу шихти;  $\tau$  - транспортне запізнювання, що дорівнює часу від моменту впливу зі зміни кількості зволожуючої рідини на оздоблення до завершення формування гранулометричного складу шихти та фіксації величини середнього діаметра НВЧ-приладом.

В даний час накопичений значний досвід створення САР процесом огрудкування, більшість з яких заснована на регулюванні подачі кількості зволожуючої рідини. При цьому метою такого регулювання виступає або стабілізація кінцевої вологості шихти, або підтримання певного співвідношення витрата шихти - витрата води, або стабілізація гранулометричного складу огрудкування шихти. Системи регулювання, засновані на перших двох принципах працюють ефективно в тих випадках, коли не змінюються фізичні властивості шихти. Недоліком цих систем є необхідність коригування значення оптимальної вологості в разі зміни фізичних властивостей шихти. Цього недоліку позбавлені САР вологості шихти, засновані на стабілізації гранулометричного складу огрудкованої шихти.

На (рис. 1.5) представлена блок-схема САР (стабілізації) величини середнього діаметра гранул шихти, де: 1 - СВЧ-прилад, що дозволяє визначати середній діаметр гранул шихти; 2 - задатчик; 3 - регулятор; 4 - підсилювач; 5 - виконавчий механізм; 6 - регулюючий орган; 7 - коригувальний регулятор;  $d_{cp}$  - середній діаметр гранул шихти, мм;  $Q_B$  - витрата води на зволоження і огрудкування, м<sup>3</sup>/год;  $W_{ш}$  - початкова вологість шихти, %;  $M_i$  - впливи, %.

Для САР зволоження шихти визначені статична  $\Delta y = -\delta \cdot \Delta Q$  і динамічна  $W_d(p) = \frac{\delta \cdot e^{-p\tau}}{T_d \cdot p + 1}$  характеристики процесу формування середнього діаметра гранул огрудкованої шихти, де  $\Delta y = \frac{\Delta d}{d_0}$  - відносне через трансформаційних змін середнього діаметра гранул при заданому значенні  $d_0$ ;  $\Delta Q = \frac{\Delta Q_B}{W_0}$  - відносна зміна

кількості зволожуючої рідини на доувлажнення і огрудкування при заданому значенні  $W_0$ ;  $\delta$  - постійний коефіцієнт для даного гранулятора і складу огрудкованої шихти;  $T_d$  - постійна часу, що визначається технологічними умовами формування гранулометричного складу шихти;  $\tau$  - транспортне запізнювання, рівний часу від моменту впливу зі зміни кількості зволожуючої рідини на огрудкування до завершення формування гранулометричного складу шихти і фіксації величини середнього діаметра СВЧ -приладів.

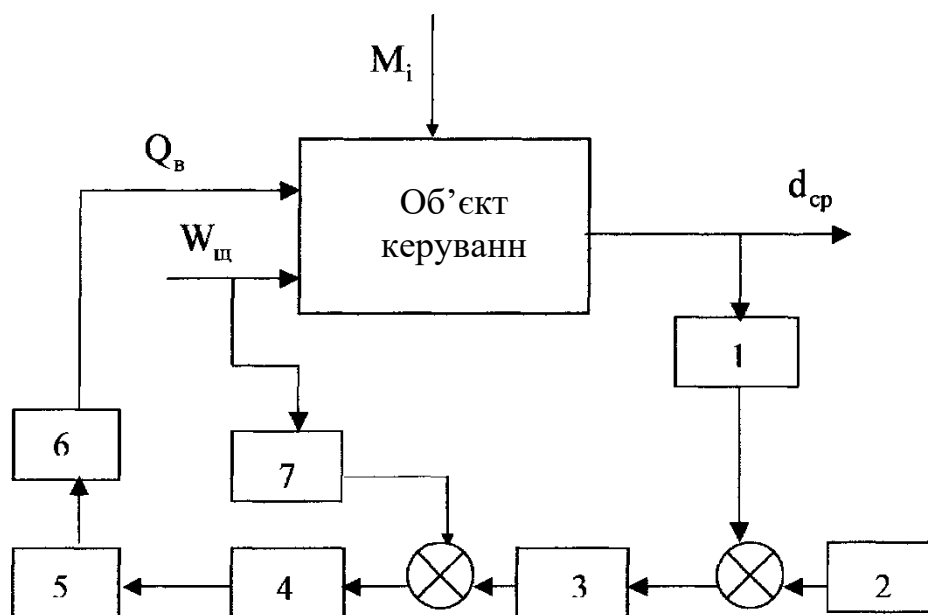


Рисунок 1.5 – Блок - схема САР зволоження шихти в барабанному грануляторі.

Для барабанного гранулятора радіусом 1,4 м, продуктивністю 168 т / год і швидкістю обертання 8 об / хв. в дослідженому діапазоні зміни початкового гранулометричного складу шихти отримані наступні величини:  $\delta = 0,325 \dots 0,364$  мм/м<sup>3</sup>/год;  $T_d = 82$  сек;  $\tau = 37 \dots 42$  сек.

Відомо, що барабанний гранулятор є ланкою з самовирівнюванням зі значним транспортним запізненням і хорошими усередненими властивостями. Тому для САР був обраний ПІ-регулятор.

Як видно, метою розглянутої системи управління є стабілізація фракційного складу огрудкованої шихти шляхом регулювання подачі зволожуючої рідини в гранулятор. Недоліком такої системи є те, що в ній абсолютно не враховуються технологічні параметри роботи самого гранулятора

- його швидкості обертання і кута нахилу, що, природно, призводить до втрати якості управління.

Очевидно, що для усунення цього недоліку необхідна така система управління процесом огрудкування, в якій би комплексно враховувались всі керуючі параметри - вологість шихти, швидкість обертання і кут нахилу гранулятора. Для вирішення цього завдання найбільш доцільним є застосування САУ процесом огрудкування, яка має дворівневу структуру. У такій системі на верхньому рівні визначаються оптимальні значення управляючих параметрів  $W$ ,  $n$  і  $\alpha$  при відповідному значенні вихідного фракційного складу шихти  $M_i$ , а на нижньому рівні буде здійснюватися реалізація і підтримка оптимальних керуючих параметрів, визначених на верхньому рівні. Значення керуючих параметрів повинні підтримуватися доти, поки не відбудеться зміна фракційного складу вихідної шихти  $M_i$ , і не будуть визначені нові значення оптимальних параметрів. Блок-схема такої САУ огрудкування шихти представлена на (рис. 1.6).

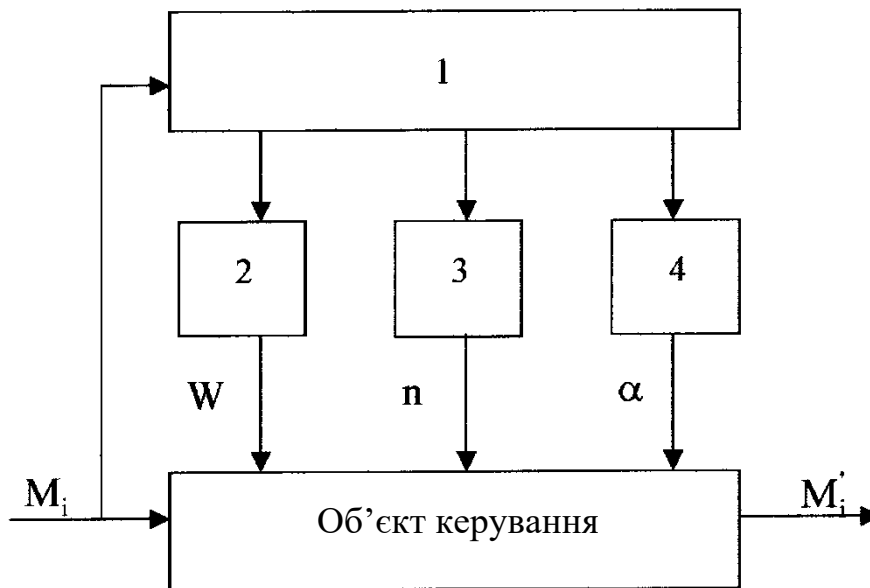


Рисунок 1.6 – Блок - схема САУ процесом огрудкування шихтових матеріалів в барабанних грануляторах

На блок-схемі цифрами позначені: 1 - блок обчислення оптимальних керуючих впливів; 2 - САР зволоження шихти; 3 - САР швидкості обертання барабанного гранулятора; 4 - САР кута нахилу гранулятора. Очевидно, що тут в

якості блоку 2 може бути використана будь-яка САР зволоження шихти, запропонована

Для реалізації верхнього рівня необхідно зробити вибір і обґрунтування алгоритму оптимізації. Як відомо, завдання оптимізації полягатиме в пошуку таких значень керуючих параметрів  $W$ ,  $n$  і  $\alpha$  при відомому вихідному фракційному складі  $M_i$ , щоб були справедливі вирази:

$$\begin{aligned} M'_{-3} &= f_1(M_i, W, n, \alpha) = M_{-3}^{min} \\ M'_{3...10} &= f_2(M_i, W, n, \alpha) = M_{3...10}^{max} \\ M'_{+10} &= f_3(M_i, W, n, \alpha) = M_{+10}^{min} \end{aligned} \quad (1.7)$$

при наступних обмеженнях:

$$\begin{aligned} M'_{-3} + M'_{3...10} + M'_{+10} &= 100; \\ W_{min} &\leq W \leq W_{max}; \\ n_{min} &\leq n \leq n_{max}; \\ \alpha_{min} &\leq \alpha \leq \alpha_{max}. \end{aligned} \quad (1.8)$$

### 1.5 Постановка завдання

Для підвищення ефективності управління процесом огрудкування на фабриці агломерації ГЗК в бакалаврській роботі поставлені такі завдання:

- вибрати датчики та виконавчі механізми для контролю та зміни фізичних та технологічних параметрів процесу огрудкування;
- на основі даних активного експерименту виконати структурну та параметричну ідентифікацію процесу огрудкування по каналу "витрата води на зволоження та огрудкування – середній діаметр гранул шихти";
- визначити точність динамічної моделі процесу огрудкування по каналу «рівень магнетиту – положення виконавчого органу»;
- запропонувати структурну схему мікропроцесорної системи для реалізації системи автоматичного регулювання процесом огрудкування.

## 2 РОЗРОБКА АПАРАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

### 2.1 Розробка структурної схеми системи керування

У кваліфікаційній роботі в якості об'єкту керування обрано технологічний апарат огрудкування, для якого треба синтезувати систему керування з каналом регулювання "витрата води на зволоження та огрудкування – середній діаметр гранул шихти". Система регулювання керуватиме подачею необхідної кількості зволожуючої рідини для забезпечення заданого розміру середнього діаметру гранул шихти, тобто метою такого регулювання подачі води виступає стабілізація гранулометричного складу окомкованої шихти.

На рис. 2.1 показана структурна схема системи керування технологічним апаратом огрудкування.

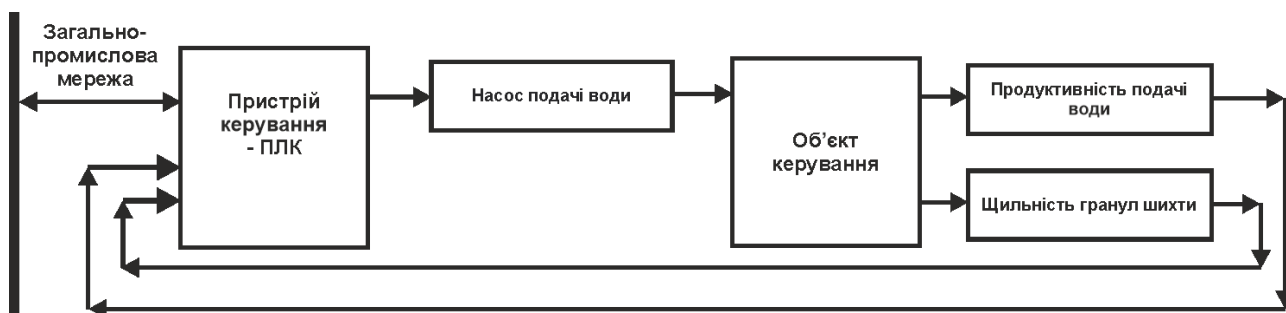


Рисунок 2.1 – Структурна схема системи керування технологічним апаратом  
огрудкування

### 2.2 Вибір апаратного забезпечення системи керування

#### 2.2.1 Щільномір пульпи DENCELL® МАД-5xxx

Щільномір пульпи DENCELL призначений для безперервного зміни в потоці щільності різних середовищ: пульпи, шламу, суспензії, в'язки лугів. Щільномір пульпи DENCELL дозволяє з високою точністю контролювати змінний пам'ятник, забезпечує цифрову індикацію результатів зміни площ л постійного струму. Основними підприємствами, де застосовується щільномір пульпи DENCELL, є гірничозбагачувальні фабрики, також він може бути встановлений на ній. якою і харчовою промисловістю. Щільномір пульпи

DENCELL концептуально нове покоління інтелектуальних вагових аналізаторів щільності

Принцип дії промислового аналізатора щільності пульпи DENCELL заснований на поточному і безперервному об'ємно-постійному вимірі ваги середовища. Від аналогів щільномір пульпи DENCELL відрізняється застосуванням високоточного датчика щільності унікальної розробки 0,1 % в умовах змінюваних температур, тиску і швидкості потоку рідкості. Конструкція приладу в цілому, а саме: відсування рухливих елементів і відкритий вихід - покликана підвищити надійність і продукцію в експлуатацію.

Підключення безпосередньо в трубопровід або напірний байпас (рис. 2.2).



Рисунок 2.10 - Щільномір DENCELL® МАД-5xxx

Технічні характеристики щільноміра DENCELL® МАД-5xxx приведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 - Технічні характеристики щільноміра DENCELL® МАД-5xxx

№	Найменування параметра	Значення
1	Щільність рідин, кг/м <sup>3</sup>	0...3 000
2	Абсолютна погрішність, кг/м <sup>3</sup>	±0,1
3	Частота вимірів, с	0,1
4	Нестабільність свідчень при добовій і більше роботі	0,5 погрішності
5	Час виходу на робочий режим, хв	10
6	Аналоговий вихід, мА	4...20
7	Напруга живлення, В	24 В
8.	Потужність споживання, Вт	6

### 2.2.2 Витратомір SITRANS F X

Для вимірювання витрати води розглянемо сімейство витратомірів SIEMENS SITRANS F X [20].

Вихровий витратомір SITRANS F X призначений для вимірювання об'ємної і масової витрати пари, газу, струмопровідних і непровідних рідин за допомогою єдиного приладу з можливістю компенсації температури і тиску. Основні переваги: 2-х провідна схема підключення; вимірювання як об'ємних, так і масових витрат пари, газу і струмопровідних і непровідних рідин навіть при коливаннях температури і тиску; вбудований датчик температури; вбудований датчик тиску (опція); можливість виконання пристрою двома перетворювачами.

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики вихровий витратомір SITRANS F X

№	Найменування параметра	Значення
1	Тип	SITRANS F X
2	Номинальний діапазон вимірювання, т/г	Вода 0...300
3	Принцип вимірювання	Вихровий витратомір
4	Точність, %	0,025
5	Вихідний сигнал, мА	4...20
6	Напруга живлення, В	14...36
7	Потужність споживання, Вт	2
8	Температура експлуатації, °С	-25...+85
9	Температура вихрового потоку, °С	-25...+240
10	Номинальний тиск, бар	1...100
11	Матеріал корпусу	Сталь 1.4404/316L
12	З'єднання	Фланець DN 15 ... 300



Рисунок 2.3 – Вихровий витратомір SITRANS F X

За технічними параметрами нам слід вимірювати спиртову концентрацію. На підставі обраних датчиків та їх технічних характеристик складена табл. 2.3.



Таблиця 2.3 – Датчики

№	Назва параметру	Принцип дії	Тип	Діапазон змінення	Точність	Значення виходу	Період оновлення	Напруга живлення	Потужність споживання
1	Щільність пульпу	Об'ємна-постійний вимірі ваги	Аналоговий	0...3 000 кг/м <sup>3</sup>	±0,025 %	4...20 мА	0.1 с	24 В	6 Вт
2	Продуктивність подачі води	Вихровий витратомір	Аналоговий	0...300 т/Г	±0.1 %	4...20 мА	0,1 с	14...36 В	2

### 2.2.3 Частотний перетворювач Lenze 8200 E82EV223K4B201

Система керування повинна керувати продуктивністю подачі води. Для приводу насосу використовується асинхронний трифазний електродвигун потужністю 18,6 кВт. Для керування швидкістю обертання асинхронного трифазного двигуна використовуються частотний перетворювач Lenze 8200 E82EV223K4B201, потужністю 22 кВт, що живиться від трифазної мережі ~380 В (рис. 2.4).

Технічні характеристики частотного перетворювача Lenze 8200 E82EV223K4B201 пркдставлені в табл. 2.7.



Рисунок 2.4 - Частотний перетворювач Lenze 8200 E82EV223K4B201

Таблиця 2.4 - Технічні характеристики Lenze 8200 E82EV223K4B201

№	Найменування параметра	Значення
1	Робоча напруга живлення, В	3 фазне ~320 ÷ 550
2	Потужність, кВт	22,0
3	Діапазон вихідних частот, Гц	-650 ÷ +650
4	Частота комутації, кГц	2 ÷ 16
5	Перевантажувальний момент, % M <sub>n</sub>	180 ÷ 210
6	Гальмівний момент, % M <sub>n</sub>	50
7	Міра захисту	IP20
8	Частотне управління U/f	Є
9	Векторне управління	Є
10	Частотне регулювання	Є
11	Регулятор моменту	Є
12	ПД-регулятор	Є
13	Аналогові входи	1
14	Дискретні входи	5
15	Дискретні виходи	1
16	Релейний вихід	1
17	Підтримувані інтерфейси	Є
18	CAN - Bus	Є
19	PROFIBUS - DP	Є
20	INTERBUS	Є
21	AS - Interface	Є
22	Device Net	Є

На підставі вибраного устаткування розроблений перелік вихідних сигналів системи управління приведений в табл. 2.4.

На підставі наведеного вище для виконавчих пристроїв, та їх технічних характеристик складена табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Виконавчих пристроїв

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

### 2.3.3 Вибір пристрою керування

Відповідно вимогам до системи керування, що розробляється, в якості пристрою керування будемо використовувати програмований логічний контролер (ПЛК) компанії VIPA. Цикл роботи ПЛК має бути не більше 100 мс,

для забезпечення необхідної реакції на змінення стану технологічних датчиків. Крім того контролер повинен мати не менш 1 кбайт вільної робочої пам'яті для реалізації програми керування.

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

До контролеру треба два аналогових датчика датчик, які мають уніфікований стандартний тип виходу 4...20 мА.

Для керування продуктивністю подачі води треба пропорційне керування насосу подачі води, який живиться від частотного перетворювача з параметрами керування 4...20 мА.

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

Наведеним вимогам відповідає програмований логічний контролер VIPA 214-2BS33. Контролер має час арифметичної операції над речовим числом 40 мкс, об'єм пам'яті програм 144 кбайт, об'єм робочої пам'яті 96 кбайт та інтерфейс RS-485 (рис. 2.5). Технічні характеристики контролеру наведені в табл. 2.6.



Рисунок 2.5 – Програмований логічний контролер VIPA 214-2BS33

Таблиця 2.6 – Технічні характеристики програмованого логічного контролеру VIPA 214-2BS33

№	Найменування параметра	Значення
1	Тип	CPU 214SER
2	Пам'ять, кбайт	144
3	Робоча пам'ять, кбайт	96
4	Максимальна кількість модулів, штук	32
5	Час виконання команди над бітом, мкс	0,18
6	Час виконання команди над байтом, мкс	0,78
7	Час виконання команди над словом, мкс	1,8
8	Час виконання команди над двійним словом, мкс	40,0
9	RS-485 інтерфейс	Присутній
10	Напруга живлення, В	24
11	Споживана потужність, Вт	5

Для підключення аналогових датчиків, які мають стандартний струмовий сигнал 4...20 мА, обрано модуль аналогового вводу VIPA 231-1BD40, який має чотири аналогових входів (рис. 2.6). Технічні характеристики модуля наведені в табл. 2.7.



Рисунок 2.6 – Модуль аналогового вводу VIPA 231-1BD40

Таблиця 2.7 – Технічні характеристики модуля аналогового вводу VIPA 231-1BD40

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

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

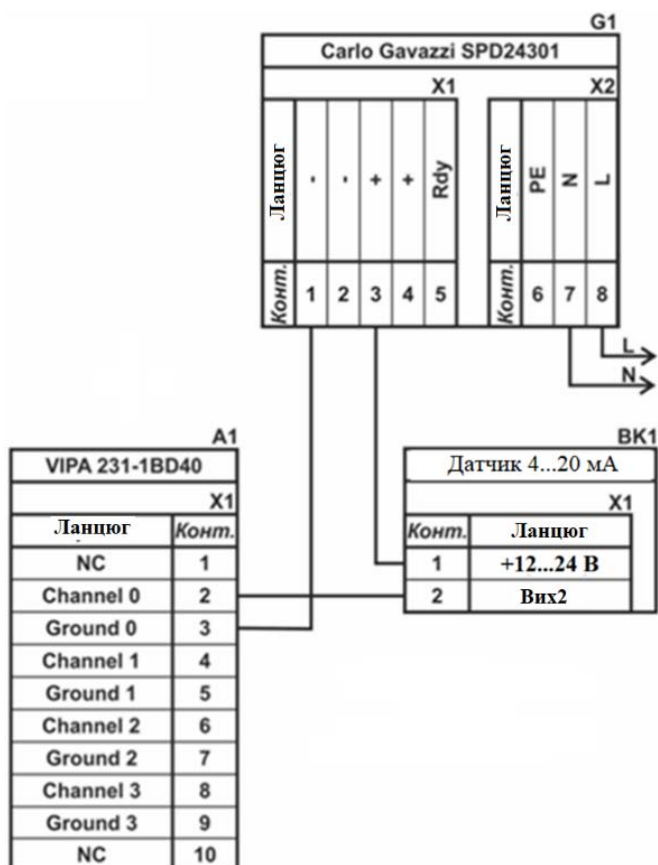


Рисунок 2.7 – Схема підключення датчика з типом вихідного сигналу 4...20 мА

Для керування частотним перетворювачем потрібен модуль аналогового виводу з діапазоном аналогового вихідного сигналу 4...20 мА.

Для цього обрано модуль VIPA 232-1BD40 у якому є чотири аналогових виходи 4...20 мА (рис. 2.8).

Технічні характеристики модуля наведені в табл. 2.8.



Рисунок 2.8 – Модуль аналогового виводу VIPA 232-1BD40

Таблиця 2.8 – Технічні характеристики модуля аналогового виводу VIPA 232-1BD40

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

Схема підключення пристрою керування до модуля аналогового виводу наведена на рис. 2.9.

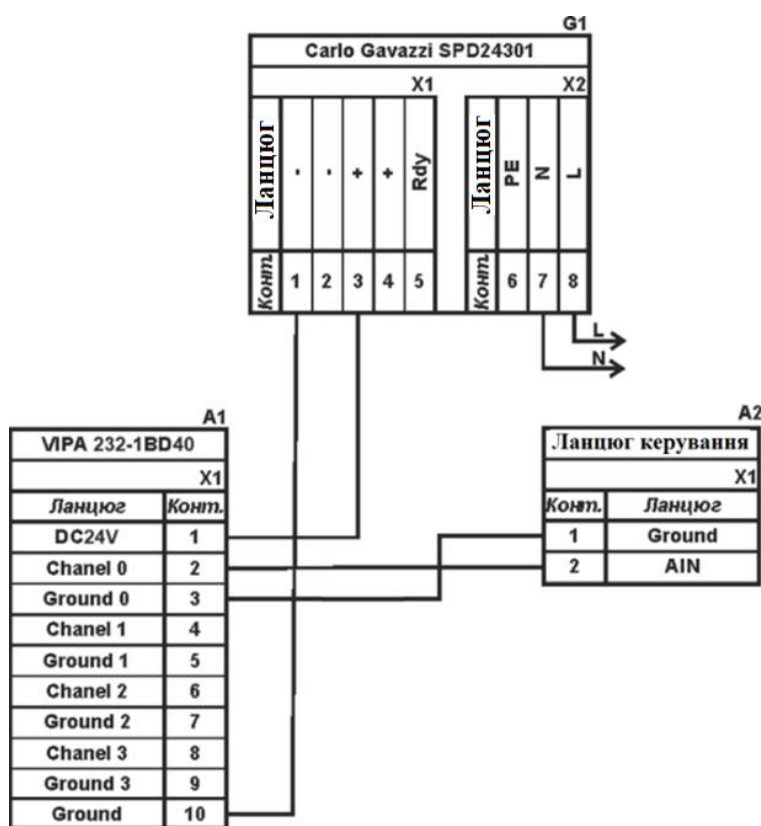


Рисунок 2.9 – Схема підключення до модуля аналогового виводу

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

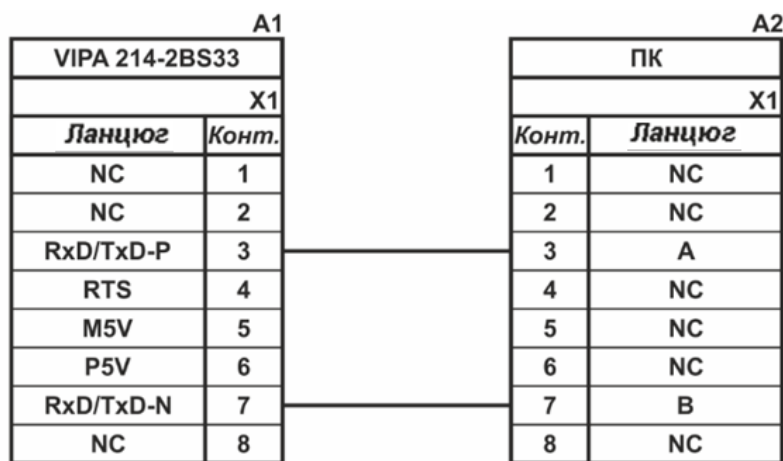


Рисунок 2.10 – Схема підключення по інтерфейсу RS-485

На підставі обраного програмованого логічного контролера та його модулів складена табл. 2.9.

Таблиця 2.9 – Пристрій керування та його модулі

№	Назва модуля	Пристрій	Напруга живлення	Потужність споживання
1	VIPА 214-2BS33	Центральний процесорний модуль	24 В	5,0 Вт
		Зв'язок - АСК ТП		
2	VIPА 231-1BD40	Модуль аналогового вводу	24 В	0,6 Вт
		Щільність пульпи	24 В	6,0 Вт
		Витрати води	24 В	6,0 Вт
3	VIPА 232-1BD40	Модуль аналогового виводу	24 В	1,0 Вт
		Насос подачі води	-	-

### 2.3.4 Вибір джерел живлення

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

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

Виходячи з потужності споживання контролеру та його модулів у якості джерела живлення обрано блок живлення SPD24301 з вихідною напругою +24 В та потужністю 30 Вт (рис. 2.11). Технічні характеристики блока живлення наведені в табл. 2.10.



Рисунок 2.11 – Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301

Таблиця 2.10 – Технічні характеристики блока живлення Carlo Gavazzi SPD24301

№	Найменування параметра	Значення
1	Напруга живлення, В	~85...~264
2	Вихідна напруга, В	24
3	Потужність, Вт	30
4	Максимальний вихідний струм, А	1,25

Схему підключення програмованого логічного контролера до блока живлення наведена на рис. 2.12.

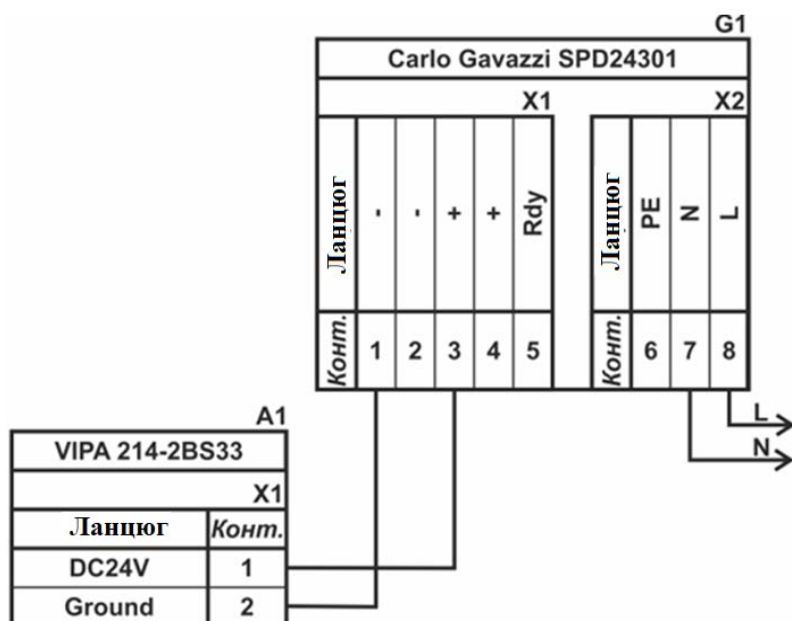


Рисунок 2.12 – Схема підключення програмованого логічного до блока живлення

Виконавши аналіз обраного обладнання можливо зробити вивід, що зовнішній блок живлення потрібен для живлення датчиків та ланцюгів живлення



керуючих пристроїв. Таким чином потужність споживання за напругу живлення +24 В становитиме:

$$P = 1 * 6,0 = 6,0 \text{ Вт.} \quad (2.2)$$

Виходячи з потужності споживання датчиків та ланцюгів живлення керуючих пристроїв у якості джерела живлення обрано блок живлення такий самий як і для програмованого логічного контролера SPD24301 з вихідною напругою +24 В та потужністю 30 Вт.

#### **2.4 Функціональна схема автоматизації**

Виходячи з вимог до системи керування технологічний апарат огрудкування, розроблена функціональна схема автоматизації яка і наведена на рис. 2.13.

У якості пристрою керування використовується програмований логічний контролер (UY 4) - VIPA 214-2BS33. Програмований логічний контролер підключено до технологічного обладнання АСУ ТП, за що відповідає система автоматизації більш високого рівня (UY 5), зв'язок між ними реалізовано за допомогою інтерфейсу RS-485.

Для вимірювання шильності шихти використовуються датчик (DE 1.1 - DENCELL® МАД-53000) та перетворювач 4...20 мА (DT 1.2 - DENCELL® МАД-53000).

Для вимірювання продуктивності подачі води використовуються датчик (FE 2.1 - SITRANS F X) та перетворювач 4...20 мА (FT 2.2 - SITRANS FX).

Для керування продуктивністю подачі води використовуються частотний перетворювач (CE3.1 - Lenze 8200 E82EV223K4B201) з каналом керування 4...20 мА та силовим пристроєм (CE3.2 - Lenze 8200 E82EV223K4B201).

На підставі отриманих первинних значень з відповідних датчиків програмований логічний контролер (UY 4 – VIPA 214-2BS33) за допомогою виконавчого пристрою формує керуючий вплив по підтримці заданого режиму роботи технологічний апарату огрудкування.

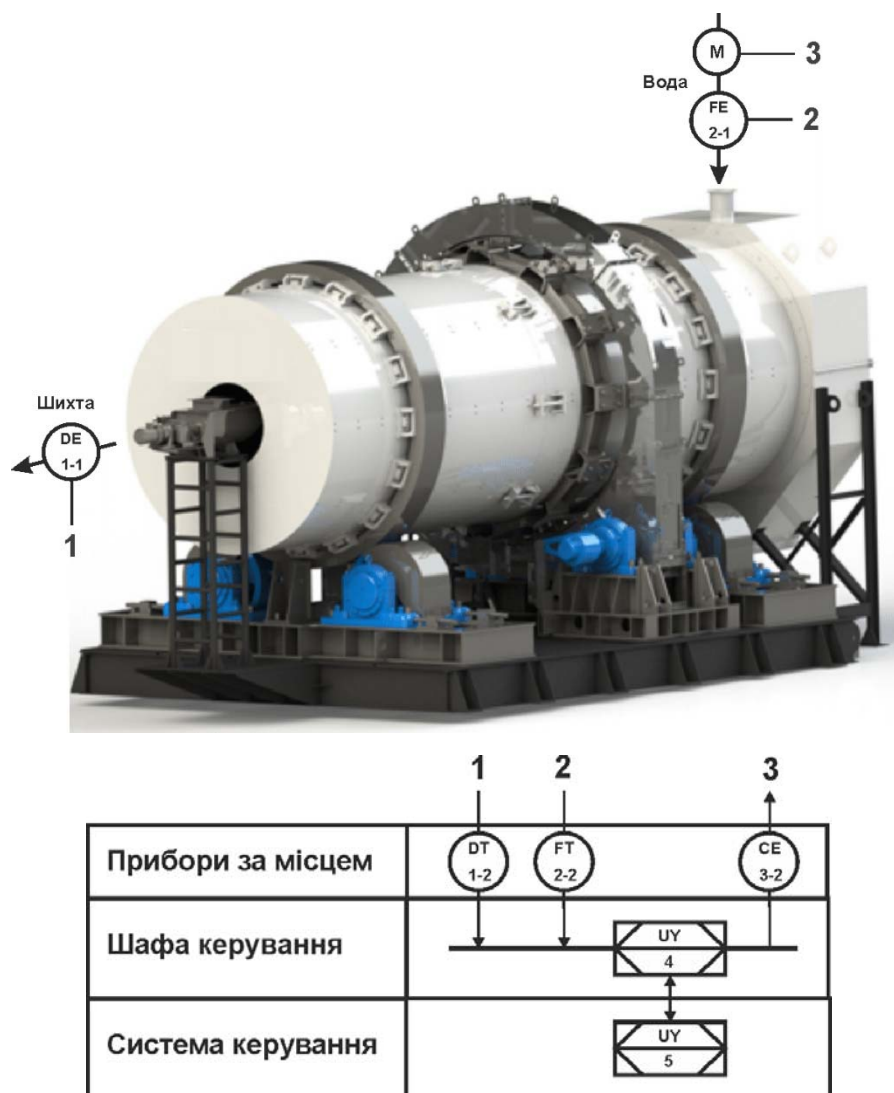


Рисунок 2.13 – Функціональна схема автоматизації технологічним апаратом огрудкування

Зв'язок між програмованим логічним контролером VIPA 214-2BS33 (A1) та АСК ТП верхнього рівня (A2) реалізовано за допомогою інтерфейсу RS-485 (A1 – X2).

## 2.5 Схема електрична принципова

На основі функціональної схеми автоматизації та обраного апаратного забезпечення розроблена схема електрична принципова системи керування технологічним апаратом огрудкування (рис. 2.14).

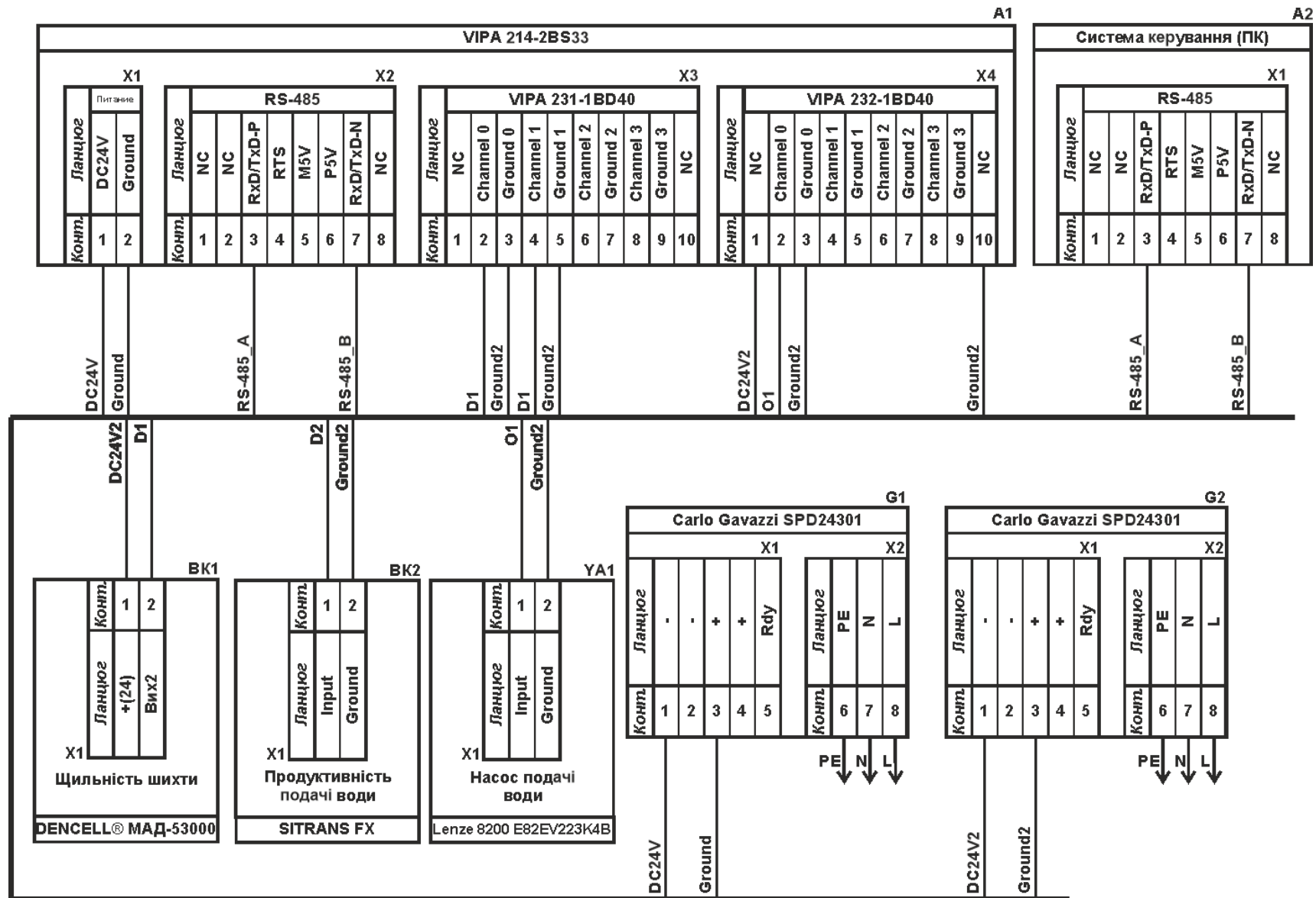


Рисунок 2.14 – Схема електрична принципова системи керування технологічним апаратом огрудкування

В системі керування використовуються два блока живлення. Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301 (G1) підключено до програмованого логічного контролера VIPA 214-2BS33 (A1). Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301 (G2) підключено до модулю аналогового вводу VIPA 231-1BD40 (A1 – X3), виводу VIPA 232-1BD40 (A1 – X4), до двох аналогових датчиків.

Обидва аналогових датчики підключено до модулю аналогового вводу VIPA 231-1BD40 (A1 – X3) до каналів 0, 1 за допомогою стандартного сигналу 4...20 мА.

Для керування частотним перетворювачем (YA1) використовується модуль аналогового виводу VIPA 232-1BF40 (A1 – X4) здійснюється по каналу 0 за допомогою стандартного сигналу 4...20 мА.

Зв'язок між програмованим логічним контролером VIPA 214-2BS33 (A1) та АСК ТП верхнього рівня (A2) реалізовано за допомогою інтерфейсу RS-485 (A1 – X2).

## **2.6 Висновки за розділом**

Для синтезу системи керування технологічним апаратом огрудкування обрані необхідні датчики, виконавчі пристрої, промисловий контролер, модулі вводу і виводу, розроблена функціональна схема автоматизації, розроблена схема принципова системи керування, складено перелік елементів до схеми електричної принципової.

### **3 ВИЗНАЧЕННЯ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ**

#### **3.1 Особливості дослідження динамічних характеристик об'єкта автоматичного керування**

При проектуванні складних технологічних систем та систем управління ними існує потреба аналізу поведінки об'єкта в динамічних режимах. Даний аналіз є громіздкою обчислювальною процедурою, але займає одне з основних місць у створенні алгоритму керування.

Застосовуються аналітичні, експериментальні та комбіновані методи отримання математичного опису об'єктів керування.

Аналітичні методи базуються на розробці рівнянь, що описують фізикохімічні та енергетичні процеси, які протікають у об'єкті управління, що досліджується. Нині багатьом класів об'єктів управління отримані їх математичні моделі. При отриманні таких описів зазвичай оперують з диференціальними рівняннями.

Експериментальні методи передбачають проведення серії експериментів на об'єкті управління. За результатами експериментів оцінюють параметри динамічної моделі об'єкта, заздалегідь задавшись її структурою.

Найбільш ефективними є комбіновані методи побудови математичної моделі об'єкта, коли використовують аналітично розроблену структуру об'єкта, а її параметри визначають у ході натурних експериментів.

Аналітичні та експериментальні методи мають свої переваги та недоліки.

До переваг аналітичних методів слід віднести можливість визначити математичний опис ще на стадії проектування системи керування; врахувати всі основні особливості динаміки об'єкта керування, такі як наявність нелінійностей, нестационарність, розподілені параметри і т. д.; отримання універсального математичного опису, придатного для широкого класу аналогічних об'єктів управління. Недоліками аналітичних методів є складність отримання досить точної математичної моделі, що враховує всі особливості реального об'єкта. Крім

того, перевірка адекватності моделі та реального процесу зазвичай вимагає проведення натурних експериментів.

Враховуючи конструктивні особливості барабанного гранулятора стохастичний характер самого процесу огрудкування застосування аналітичних методів для ідентифікації динамічної моделі даного технологічного процесу є неприйнятним.

В даний час при розрахунку налаштувань регуляторів локальних систем широко використовуються прості динамічні моделі промислових об'єктів керування. Наприклад, використання моделей інерційних ланок першого або другого порядку із запізненням для розрахунку налаштувань регуляторів забезпечує, у більшості випадків, якісну роботу реальної системи керування. У зв'язку з цим постає завдання визначення чисельних значень параметрів динамічних моделей промислових об'єктів управління. Досвід показує, що значно простіше визначити ці параметри експериментально на реальному об'єкті управління. Особливо виправдано такий підхід для одномірних об'єктів керування.

Експериментальні методи визначення динамічних характеристик об'єктів управління поділяються на активні та пасивні.

Активні методи передбачають подачу на вхід об'єкта тестових сигналів, одним з яких є ступінчастий вплив з подальшою обробкою математичними методами кривої розгони. Достоїнствами активних методів - досить висока точність отримання математичного опису та відносно мала тривалість експерименту.

У пасивних методах на вхід об'єкта тестові сигнали не подаються, лише фіксується природня поведінка об'єкта у його нормального функціонування. Отримані реалізації масивів даних вхідних та вихідних сигналів обробляються статистичними методами. За результатами обробки одержують параметри передатної функції об'єкта. Однак такі методи мають низку недоліків:

- мала точність одержуваного математичного описи (оскільки відхилення від нормального режиму роботи малі);

- необхідність накопичення великих масивів даних з метою підвищення точності.

У разі зміни у часі керованої величини при ступінчастому впливі динамічна характеристика виходить у вигляді кривої розгону. Виникає завдання визначення передатної функції системи, для вирішення якої застосовують різноманітні методи [17, 18].

В більшості випадків передатну функцію об'єкта керування можна орієнтовно визначити по виду перехідної характеристики (кривий розгону):

- передатна функція інерційної ланки першого порядку

$$W(s) = \frac{ke^{-\tau s}}{Ts + 1} \quad (3.1)$$

де  $k$  - коефіцієнт посилення;  $T$ ,  $\tau$  - постійні часу та запізнення.

- передатна функція об'єкта без самовирівнювання

$$W(s) = \frac{ke^{-\tau s}}{s} \quad (3.2)$$

- передатна функція об'єкту другого порядку з запізненням

$$W(s) = \frac{ke^{-\tau s}}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)} \quad (3.3)$$

де  $T_1$ ,  $T_2$  - постійні часу.

### 3.2 Ідентифікація структури і параметрів об'єкта керування

Дані експерименту, отримані із дискретністю 10 с, наведено у таблиці 3.1, а на рис. 3.1 представлений графік перехідного процесу в грануляторі за даними. Не важко бачити, що зміна середньої крупності гранул на виході технологічного апарату при ступінчастому збільшенні зволоження вхідного матеріалу відповідає аперіодичній ланці першого порядку з запізненням (3.1). Причому величина запізнення  $\tau = 40$  с, а коефіцієнт підсилення  $k = 0,5$  1/с.

Таблиця 3.1 - Результати активного експерименту

$t, c$	$d_{cp}$	$t, c$	$d_{cp}$	$t, c$	$d_{cp}$	$t, c$	$d_{cp}$	$t, c$	$d_{cp}$
0	0	80	0,19	160	0,40	240	0,46	320	0,49
10	0,01	90	0,24	170	0,41	250	0,47	330	0,49
20	0,01	100	0,27	180	0,42	260	0,47	340	0,49
30	0,02	110	0,30	190	0,43	270	0,48	350	0,49
40	0,02	120	0,31	200	0,43	280	0,48	360	0,49
50	0,05	130	0,35	210	0,45	290	0,48	370	0,49
60	0,12	140	0,36	220	0,45	300	0,48	380	0,49
70	0,17	150	0,38	230	0,46	310	0,49	390	0,50

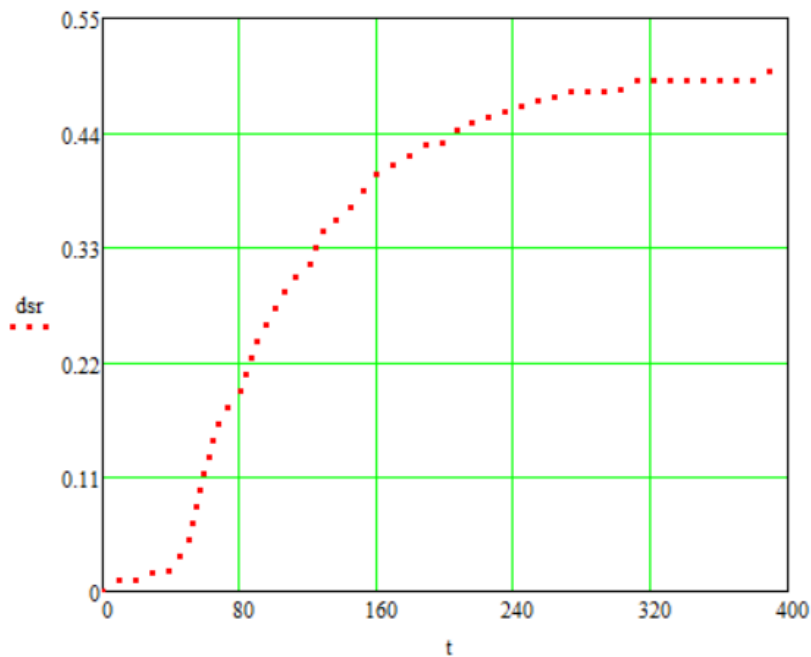


Рисунок 3.1 – Графік переходного процесу

Визначимо постійну часу аперіодичної ланки  $T$ , визначивши значення вихідної величини в момент часу  $t = T$ . Вилучивши із розгляду час чистого запізнення  $\tau = 40$  с, отримаємо передатну функцію аперіодичної ланки без запізнення:

$$W(s) = \frac{k}{Ts + 1} \quad (3.4)$$

Перехідний процес аперіодичної ланки визначається виразом при  $w = 1$ :

$$d_{cp}(t) = k \left( 1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) \quad (3.5)$$

У випадку  $t = T$  вираз (3.5) набуде вигляду:

$$d_{cp}(T) = k \left( 1 - e^{-\frac{T}{T}} \right) \quad (3.6)$$



або

$$d_{cp}(T) = k(1 - e^{-1}) \quad (3.7)$$

Підставимо у вираз (3.7)  $k = 0,5 \text{ 1/c}$  та  $e \approx 2,72$ :

$$d_{cp}(T) \approx 0,5(1 - 2,72^{-1}) \approx 0,32 \quad (3.8)$$

Отже в момент часу  $T$  вихідна величина  $d_{cp}(T + 40) = 0,32$ .

В табл.3.1 відсутній момент часу  $t$ , в який  $d_{cp}(t) \approx 0,32$ . Для визначення  $(T + 40)$  виконаємо інтерполяцію значень перехідної функції в інтервалі  $d_{cp} \in [0,27; 0,36]$  (табл.3.2). Для визначення коефіцієнтів моделей скористаємося матричною формою розв'язання системи нормальних рівнянь:

$$\vec{B} = (\vec{t}'\vec{t})^{-1}\vec{t}'\vec{d}_{cp} \quad (3.9)$$

де  $\vec{B}$  – вектор-стовпець шуканих коефіцієнтів,  $\vec{t}$  – матриця значень часу,  $\vec{d}_{cp}$  – вектор-стовпець значень середньої крупності.

В результаті розрахунків маємо лінійну та квадратичну моделі:

$$d_{cp} = 0,134 + 2,3 \cdot 10^{-3} \cdot t \quad (3.10)$$

$$d_{cp} = 0,09 + 3,443 \cdot t - 7,143 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 \quad (3.11)$$

Таблиця 3.2 - Дані для розрахунку коефіцієнтів

$t, \text{ c}$	$d_{cp}$	$t, \text{ c}$	$d_{cp}$	$t, \text{ c}$	$d_{cp}$	$t, \text{ c}$	$d_{cp}$	$t, \text{ c}$	$d_{cp}$
60	0,27	70	0,30	80	0,31	90	0,35	100	0,36

Визначення постійної часу  $T$  виконано з використанням моделей (3.10), (3.11) в середовищі ППП MathCAD (рис. 3.2, 3.3). Постійна часу відповідно дорівнює  $T=80,87 \text{ c}$  та  $T=80,14 \text{ c}$ .

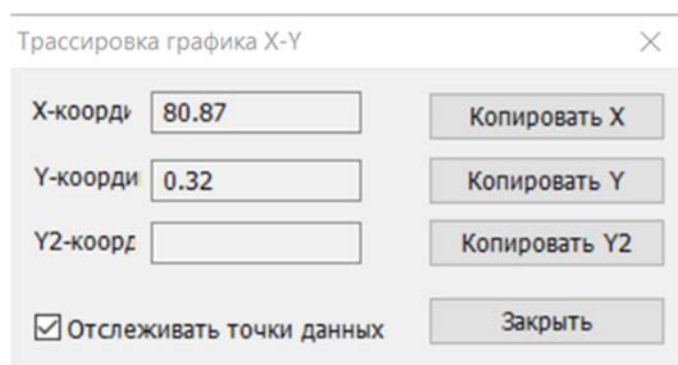
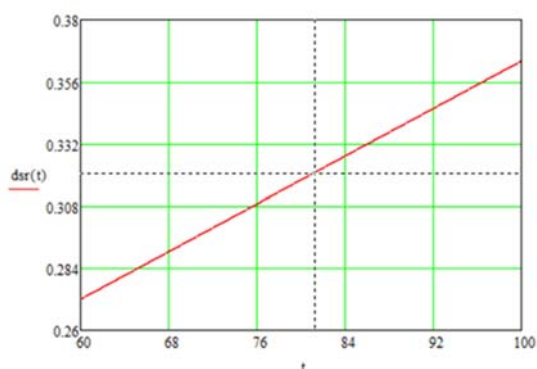


Рисунок 3.2 – Визначення постійної часу при інтерполяції лінійною моделлю

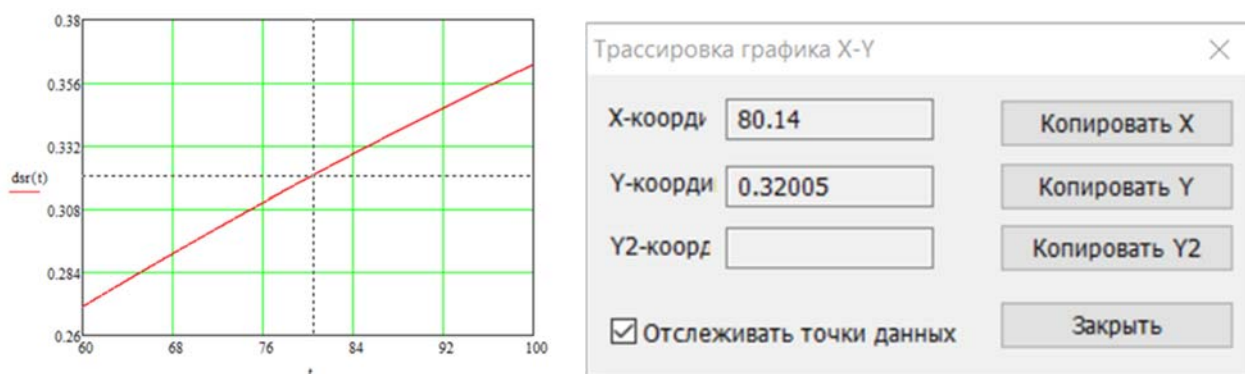


Рисунок 3.3 – Визначення постійної часу при інтерполяції квадратичною моделлю

Визначимо відносну похибку апроксимації за формулою:

$$E = \frac{1}{40} \sum_{i=1}^{40} \frac{|d_{cp_i}^e - d_{cp_i}^m|}{d_{cp_i}^e} \times 100\%, \quad E \approx 4,45\% \quad (3.12)$$

де  $d_{cp_i}^e$ ,  $d_{cp_i}^m$  – експериментальні і аналітичні значення вихідної величини.

Відносна похибка апроксимації в обох випадках склала 4,45 %. Відносна похибка апроксимації в межах 5 – 7 % свідчить про хороший підбір тренду до вихідних даних.

Графіки експериментальної та аналітичної перехідних процесів наведені на рис. 3.4.

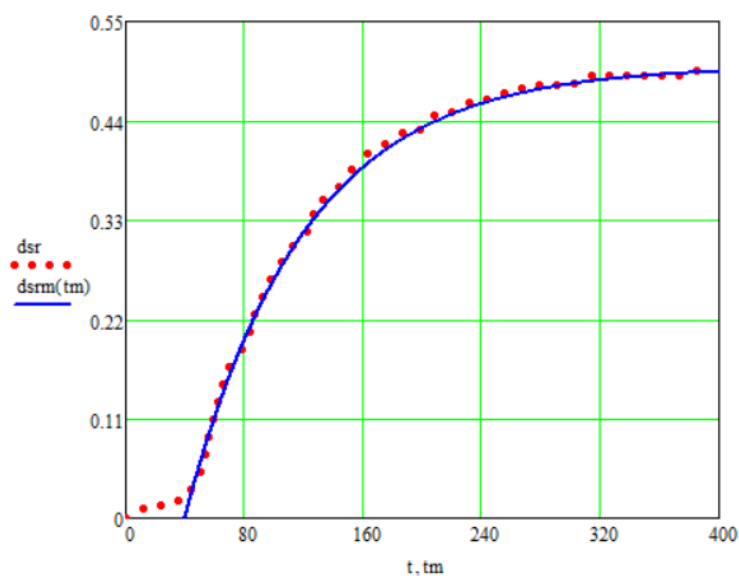


Рисунок 3.4 - Графіки експериментальної та аналітичної перехідних процесів

### **3.3 Висновки за розділом**

З позицій задач керування процес огрудкування слід розглядати як динамічний нелінійний об'єкт. Канал керування може бути представлений аперіодичною ланкою першого порядку з запізненням.

## 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 4.1 Техніко-економічне обґрунтування впровадження системи керування

Сучасне дробильно-сортувальне виробництво кам'яних матеріалів являє собою складний технологічний комплекс з комплексом операцій, що включає доставку сировини, його очищення і попереднє сортування, дроблення протягом декількох етапів, включаючи сортування необхідної товарної продукції на стадії дроблення, зберігання і транспортування кінцевому споживачеві. Технології дроблення і просіювання є одними з найважливіших процесів в рецептурі будівельних матеріалів, яка, навпаки, не є високоефективною.

Для підвищення ефективності дроблення і просіювання кам'яних матеріалів необхідно розробити нові багаторівневі автоматичні системи керування технологічним процесом дробильно-сортувальних установок.

Сучасні АСУ ТП об'єднують різні елементи для досягнення певної мети за допомогою розгалужених блокувальних зв'язків. З урахуванням сучасних концепцій, що розвиваються, все більша кількість промислових пристроїв, машин і агрегатів оснащуються сучасними системами автоматизації, розробленими з використанням сучасних промислових контролерів. Промислові пристрої, машини і агрегати мають постійне підключення до глобальної мережі з використовуваними бездротовими каналами зв'язку. Керування здійснюється за допомогою використовуваного людино-машинного інтерфейсу, реалізованого в програмному забезпеченні на інтерактивних сенсорних панелях (сенсорних екранах). У найближчому майбутньому машини (а точніше їх програмне забезпечення) будуть приймати багато традиційних детермінованих рішень, які в іншому випадку приймала б людина, а додатки штучного інтелекту будуть сприяти ще більш абстрактним рішенням за допомогою машинного навчання і алгоритмів глибокого навчання.

Математичне обчислення і моделювання як наукова галузь почали розвиватися у 80-х роках 20 століття. Перед розробниками постала проблема

зниження вимог до обчислювальних систем за рахунок використання більш складних математичних моделей. Сучасні технології автоматизації складають основу для еволюційного стрибка в розробці роботизованих систем: від механічних маніпуляторів і простих механізмів до систем міркувань і їх соціальної взаємодії.

#### 4.2 Розрахунок капітальних витрат при впровадженні системи керування

Розрахуємо капітальні витрати:

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

де  $K_{ПКВ}$  – проектні капітальні витрати, грн.;  $C_{ОБ}$  – вартість основного та допоміжного обладнання, грн.;  $D_{ТР}$  – транспортно-заготівельні витрати, грн.;  $M_{МН}$  – витрати на монтаж і налагодження системи, грн.;  $K_{ПЗ}$  – витрати на розробку програмного забезпечення, грн.

Вартість основного та допоміжного обладнання наведена в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Зведення капітальних витрат ( $C_{ОБ}$ )

№	Найменування	Одиниці виміру	Кількість	Вартість (грн.)	Сума (грн.)
1	Модуль ПЛК VIPA 214-2BS33	од.	1	36 794,40	36 794,40
2	Модуль аналогового вводу VIPA 231-1BD40	од.	1	25 249,10	25 249,10
3	Модуль аналогового виводу VIPA 232-1BD40	од.	1	26 155,50	26 155,50
4	Система керування, виконана на базі ПК	од.	1	48 735,90	48 735,90
5	Щільномір DENCELL® МАД-53000	од.	1	68 000,00	68 000,00
6	Вихровий витратомір SITRANS F X	од.	1	47 856,00	47 856,00
7	Частотний перетворювач Lenze 8200 E82EV223K4B201	од.	1	73 842,00	73 842,00
8	Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301	од.	2	2 276,00	4 552,00
9	Шафа монтажна	од.	1	16 000,00	16 000,00
10	Монтажні дроти	м	350	26,50	9 275,00
11	Мережний кабель	м	400	29,75	11 900,00
12	Програмне забезпечення	разом	1	80 000,00	80 000,00
	Разом				448 359,90

Вартість основного та допоміжного обладнання складає  $C_{ОБ} = 448\,359,90$  грн.

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

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

Витрати на транспортно-заготівельні і складські роботи складають:

$$D_{TP} = 448\,359,90 \cdot 0,08 = 35\,868,80 \text{ грн.}$$

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

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

Витрати на монтажні-налагоджувальні роботи складають:

$$M_{MH} = 448\,359,90 \cdot 0,07 = 31\,385,20 \text{ грн.}$$

### 4.3 Розрахунок капітальних витрат на програмне забезпечення

#### 4.3.1 Розрахунок часу на розробку програмного забезпечення

Трудомісткість розробки програмного забезпечення (ПЗ) розраховується як:

$$t = t_o + t_u + t_a + t_n + t_{OT} + t_g. \quad (4.4)$$

де  $t$  – трудомісткість розробки програмного забезпечення, люд.-год.;  
 $t_o$  – витрати праці на підготовку і опис поставленого завдання, люд.-год.;  
 $t_u$  – витрати праці на дослідження алгоритму керування, люд.-год.;  
 $t_a$  – витрати праці на розробку схеми алгоритму, люд.-год.;  
 $t_n$  – витрати праці на програмування по готовій схемі алгоритму, люд.-год.;  
 $t_H$  – витрати праці на налаштування програмного забезпечення, люд.-год.;  
 $t_g$  – витрати праці на підготовку документації по завданню, люд.-год.

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

$$Q = q \cdot c \cdot (1 + p), \text{ операторів} \quad (4.5)$$

де  $Q$  – умовна кількість операторів в програмному забезпеченні;  
 $q$  – кількість операторів у програмному забезпеченні (виходячи з програмного

забезпечення розробленого на мові Structured Text типове значення має діапазон 550... 850, приймаємо  $q = 720$ );

$c$  – коефіцієнт складності програми, приймаємо  $c = 1,5$ ;  $p$  – коефіцієнт корекції програми в процесі її обробки, приймаємо  $p = 0,35$ .

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$Q = 720 * 1,5 * (1 + 0,35) \approx 1\,458 \text{ операторів}$$

Витрати праці на підготовку і опис завдання в кваліфікаційній роботі складають  $t_o = 80$  люд. –год.

Витрати праці на вивчення опису завдання визначаються з урахуванням уточнення опису та кваліфікації програміста як:

$$t_u = \frac{Q \cdot B}{(75 \dots 85) \cdot k} \text{ люд. –год} \quad (4.6)$$

де  $B$  – коефіцієнт збільшення витрат праці (приймаємо  $B = 1,6$ );  $k$  – коефіцієнт кваліфікації програміста, приймаємо  $k = 1,35$ .

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_u = 1\,458 * 1,6 / (80 * 1,3) \approx 23 \text{ люд. –год.}$$

Витрати на розробку алгоритму керування визначаються як:

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

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_a = 1\,458 / (20 * 1,35) \approx 54 \text{ люд. –год.}$$

Витрати праці на складання програми по готовій схемі алгоритму визначаються як:

$$t_n = \frac{Q}{(20 \dots 25) \cdot k} \cdot \text{люд. –год} \quad (4.8)$$

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_n = 1\,458 / (20 * 1,35) \approx 54 \text{ люд. –год.}$$

Витрати праці на налаштування програми розраховуються як:

$$t_n = \frac{Q}{(4 \dots 5) \cdot k} \cdot \text{люд. –год} \quad (4.9)$$

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_n = 1\,458 / (4 * 1,35) \approx 270 \text{ люд. –год.}$$

Витрати праці на підготовку документації по завданню визначаються як:

$$t_g = t_{др} + t_{до}, \text{ люд. –год} \quad (4.10)$$

де  $t_{др}$  – трудомісткість підготовки матеріалів до написання;  
 $t_{до}$  - трудомісткість редагування, друку та оформлення документації.

Трудомісткість підготовки матеріалів до написання визначається як:

$$t_{др} = \frac{Q}{(15 \dots 20) \cdot k} \cdot \text{люд. –год} \quad (4.11)$$

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_{др} = 1\,458 / (15 * 1,35) \approx 72 \text{ люд. –год.}$$

Трудомісткість редагування, друку та оформлення документації визначається як:

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

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_{до} = 0,75 * 72 = 54 \text{ люд. –год.}$$

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

$$t_g = 72 + 54 = 126 \text{ люд. –год.}$$

Таким чином трудомісткість розробки програмного забезпечення становить:

$$t = 80 + 23 + 54 + 54 + 270 + 126 = 607 \text{ люд. –год}$$

### 4.3.2 Розрахунок витрат на розробку програмного забезпечення

Витрати на розробку ПЗ визначається як:

$$K_{пз} = Z_{зп} + Z_{мі}, \text{ грн.} \quad (4.13)$$

де  $Z_{зп}$  – витрати на заробітну плату розробника ПЗ, грн.;  $Z_{мі}$  – вартість машинного часу, необхідного для налаштування ПЗ, грн.

Заробітна плата розробника програмного забезпечення визначається як:

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



де  $t$  – час розробки ПЗ, год;  $C_{\text{ПР}}$  – середня годинна тарифна ставка розробника програмного забезпечення (приймаємо  $C_{\text{ПР}} = 167,00$  грн./год.).

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$Z_{\text{ЗП}} = 607 * 67,00 = 40\,669,00 \text{ (грн.)}$$

Вартість машинного часу, необхідного для налаштування програми визначається як:

$$Z_{\text{МІ}} = t_n \cdot C_{\text{МЧ}} \text{ (грн.)}, \quad (4.15)$$

де  $t_n$  – час налаштування ПЗ, год;  $C_{\text{МЧ}}$  – вартість машинного часу (приймаємо  $C_{\text{МЧ}} = 15,50$  грн./год.).

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$Z_{\text{МІ}} = 54 * 16,90 = 912,60 \text{ (грн.)}$$

Витрати на розробку програмного забезпечення системи керування становлять:

$$K_{\text{ПЗ}} = 40\,669,00 + 912,60 = 41\,581,60 \text{ грн.}$$

Очікувана тривалість розробки програмного забезпечення:

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

де  $T$  – тривалість розробки програмного забезпечення (міс.);  $B_k$  – кількість розробників, приймаємо  $B_k = 1$ ;  $F_p$  – місячний фонд робочого часу  $F_p = 176$  год./міс.

$$T = 607 / (1 * 176) \approx 3,5 \text{ (міс.)}$$

Таким чином проектні капітальні витрати:

$$\begin{aligned} K_{\text{ПКВ}} &= 448\,359,90 + 35\,868,80 + 31\,385,20 + 41\,581,60 \approx \\ &\approx 557\,195,50 \text{ грн.} \end{aligned}$$

#### 4.4 Розрахунок експлуатаційних витрат

Річні експлуатаційні витрати розраховуються як:

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

де  $C_e$  – річні поточні витрати, пов'язані із застосуванням системи керування, грн.;  $C_a$  – амортизація основних фондів, грн.;  $C_3$  – заробітна плата обслуговуючого персоналу, грн.;  $C_c$  – відрахування на соціальні заходи, грн.;  $C_{PO}$  – витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт обладнання, грн.;  $C_{ee}$  – вартість електроенергії, грн.;  $C_{\text{ІНШ}}$  – інші витрати, грн.

Визначимо експлуатаційні витрати при впровадженні системи керування.

#### 4.4.1 Амортизація основних фондів

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

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

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

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

де  $H_a$  – норма амортизації, %;  $T$  – термін корисного використання об'єкта, років.

Амортизація основних фондів визначається як:

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

де  $C_a$  – річна амортизація основних фондів, грн.; ПВ – первинна вартість (ПВ =  $K_{\text{ПКВ}}$ ), грн.

Отже, норма амортизації для проекрованої системи керування складає:

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

Сума амортизації для проекрованої і базової системи становить:

$$C_a = 557\,195,50 \cdot 40 / 100 = 222\,878,20 \text{ грн.}$$

#### 4.4.2 Розрахунок фонду заробітної плати

Номінальний річний фонд робочого часу одного працівника:

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

де  $T_{\text{НР}}$  – номінальний річний фонд робочого часу одного працівника, год.;  
 $T_{\text{К}}$  – календарний фонд робочого часу, днів ( $T_{\text{К}} = 365$ );  $T_{\text{ВС}}$  – вихідні дні та свята, днів ( $T_{\text{ВС}} = 114$ );  $T_{\text{В}}$  – відпустка, днів ( $T_{\text{В}} = 21$ );  $T_{\text{З}}$  – тривалість зміни, год ( $T_{\text{З}} = 8$ ).

Таким чином, річний фонд робочого часу працівника складе:

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

У процесі керування задіяний 1 оператор людино-машинного інтерфейсу на зміну, 1 інженер-технолог та 1 наладчик електроустаткування на добу. Процес безперервний – 3 зміни на добу.

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

Таблиця 4.2 – Розрахунок заробітної плати персоналу

№ п/п	Найменування професії робітників	Число працюючих, чол.	Годинна тарифна ставка, грн./год.	Номінальний річний фонд	Пряма заробітна плата, грн.	Додаткова заробітна плата (8%), грн.	Доплати (7%), грн.	Всього заробітна плата, грн.
1	Оператор НМІ	3	178,15	1 824	974 836,80	77 986,94	68 238,58	1 121 062,32
2	Інженер-технолог	3	204,50	1 824	1 119 024,00	89 521,92	78 331,68	1 286 877,60
3	Наладчик	1	189,66	1 824	345 939,84	27 675,19	24 215,79	397 830,82
Разом								2 805 770,74

Заробітна плата персоналу проектної системи керування

$$C_3 = 2\,805\,770,74 \text{ грн.}$$

#### 4.4.3 Відрахування на соціальні заходи

Відрахування на соціальні заходи визначаються як:

$$C_c = 0,22 \cdot C_3, \text{ грн.} \quad (4.21)$$

Відповідно до цього відрахування становлять:

$$C_C = 0,22 * 2\,805\,770,74 = 617\,269,57 \text{ грн.}$$

#### 4.4.4 Розрахунок витрат на технічне обслуговування та ремонт

Витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт обладнання та мережі приймаємо на рівні 5 % від величини капітальних витрат:

$$C_{PO} = 0,05 \cdot K_{KB} \cdot (K_{ПКВ}) \quad (4.22)$$

Відповідно до цього витрати становлять:

$$C_{PO} = 0,05 * 557\,195,50 = 27\,859,78 \text{ грн.}$$

#### 4.4.5 Витрати на електроенергію

Вартість електроенергії, споживаної системою керування:

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

де  $K_e$  – кількість електроенергії, спожите системою керування, приймаємо  $K_e = 3,4$  кВт · год.;  $T_3$  – кількість часу роботи за сутки,  $T_3 = 24$  год.;  $K_{РД}$  – кількість робочих днів у році,  $K_{РД} = 365$  день;  $T_e$  – тариф на електроенергію для підприємств (для користувачів електроенергії 2 класу тариф складає 2,86 грн. · кВт без ПДВ, з урахуванням ПДВ тариф  $T_e = 2,86 * 1,2 = 3,432$  грн.

Таким чином вартість електроенергії становить:

$$C_{ee} = 3,4 * 365 * 24 * 3,432 = 102\,218,69 \text{ грн.}$$

#### 4.4.6 Інші витрати

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

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

Таким чином інші витрати становлять:

$$C_{ІНШ} = 0,04 * 2\,805\,770,74 = 112\,230,83 \text{ грн.}$$

Річні експлуатаційні витрати становлять (табл. 4.4):

$$C = 222\,878,20 + 2\,805\,770,74 + 617\,269,57 + 27\,859,78 + 102\,218,69 + 112\,230,83 = 3\,888\,227,81 \text{ грн.}$$

Таблиця 4.4 – Експлуатаційні витрати

№ п/п	Назва показника	Проектний варіант, грн.
1	Амортизація	222 878,20
2	Фонд заробітної плати	2 805 770,74
3	Відрахування на соціальні виплати	617 269,57
4	Ремонт та технічне обслуговування	27 859,78
5	Електроенергія	102 218,69
6	Інше	112 230,83
7	Загалом	3 888 227,81

#### 4.5 Висновки за розділом

При впровадженні проекрованої системи капітальні витрати складають 560 тис. грн., час розробки ПЗ становитиме 3,5 місяці.

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

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 5.1 Загальні відомості

Відповідно до другого пункту «Вимоги до працівників», прописаного у наказі «Правил охорони праці під час розробки родовищ корисних копалин відкритим способом», для безпечної праці, та збереження життя та здоров'я працівників, під час роботи на шламонакопичувачі гірничо-збагачувального комбінату, необхідні бути дотримані наступні вимоги:

1. Регулярне проведення медичних оглядів працівників, згідно чинних норм та правил.

2. Інструктаж та перевірка знань працівників з питань охорони праці, відповідно до вимог.

3. Технологічні інструкції на підприємстві повинні бути розроблені згідно до Порядку опрацювання і затвердження роботодавцем нормативних актів про охорону праці, що діють на підприємстві, затвердженого наказом Державного комітету України по нагляду за охороною праці від 21.12.93 № 132, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 07.02.94 за № 20/229. Вони повинні містити вимоги, дотримання яких забезпечить безпечне для працівників ведення технологічних процесів і робіт.

4. Обов'язкове забезпечення спеціальним взуттям, одягом та іншими засобами індивідуального захисту працівників підприємства.

5. Забезпечення видачі працівникам спеціальних засобів індивідуального захисту.

6. До робочого місця допускаються працівники, що мають кваліфікацію, відповідну до певної галузі та пройшли навчання з питань охорони праці.

7. Робоче місце протягом зміни повинно бути оглянуте посадовою особою, що відповідає за здійснення контролю за безпечним веденням робіт.

8. Працівник перед початком зміни повинен впевнитись, щодо безпечності стану власного робочого місця, переконатись у належній справності механізмів та інструментів, необхідних для виконання робіт.

9. Безпосереднім обов'язком роботодавця є захист працівників від шкідливого впливу і небезпечних умов праці. Одним з методів захисту є забезпечення кожного працівника засобами індивідуального захисту, до складу котрих входять, спецодяг, спецвзуття, та захист органів дихання.

На території шламонакопичувача спостерігається два основних шкідливих фактори, що загрожують життю та здоров'ю робітників: підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони, що зумовлює необхідність всіх працівників увесь час бути в засобах індивідуального захисту, та машини, що рухаються, і механізми виробничого обладнання, вантажопідйомні, та інші, тому пересування на території шламонакопичувача допускається лише по спеціально призначених для цього пішохідних доріжках, проходах, сходах та майданчиках.

До найважливіших чинників клімату, що несуть шкідливий вплив для здоров'я людини відносяться: висока температура атмосферного повітря; високий рівень сонячної радіації, особливо її ультрафіолетової складової; велика кількість атмосферних опадів. Влітку неправильно організовані на відкритій місцевості роботи можуть створювати у людини перегрівання організму. За високих температур і слабкого вітру в організмі людини настає тепловий перегрів, що призводить до сонячного удару.

## **5.2 Робота на шламонакопичувачах з вмістом радіоактивних елементів**

Тривале знаходження у шламонакопичувачах гірничо-збагачувального комбінату з відходами з дуже високим вмістом радіоактивних елементів (уран, торій) та відсутність надійних засобів індивідуального захисту у робітника, може призвести до опромінення організму.

Усі особи, які працюють із джерелами випромінювання або відвідують ділянки, де проводяться такі роботи, повинні забезпечуватися засобами індивідуального захисту відповідно до виду та класу робіт. При роботах із радіоактивними речовинами у відкритому вигляді I класу та при окремих роботах II класу персонал повинен мати комплект основних засобів

індивідуального захисту, а також додаткові засоби захисту залежно від рівня та характеру можливого радіоактивного забруднення.

Основний комплект засобів індивідуального захисту (див. рис. 3.1) включає: спецбілизну, шкарпетки, комбінезон або костюм (куртка, штани), спецвзуття, шапочку або шолом, рукавички, рушники та носові хустки одноразові, засоби захисту органів дихання (залежно від забруднення повітря) відповідно до чинних норм та правил.



Рисунок 5.1 – Приклад комплекту засобів індивідуального захисту

При роботах II класу та при окремих роботах III класу персонал повинен бути забезпечений халатами, шапочками, рукавичками, легким взуттям та за необхідності засобами захисту органів дихання.

Засоби індивідуального захисту для робіт з радіоактивними речовинами повинні виготовлятися з матеріалів, що добре дезактивуються, або бути одноразовими. Захисний одяг від радіоактивного забруднення має відповідати основним вимогам. Захисний одяг повинен легко зніматися та одягатися, що забезпечує мінімальний ризик радіоактивного забруднення.

Конструкція захисного одягу, його крій та розподіл маси не повинні скорочувати амплітуду рухів працюючого та частин його тіла (рук, ніг, голови),



що виконуються практично без відчутних зусиль та почуття дискомфорту, більш ніж на 30% щодо відповідних рухів працюючого без використання захисного одягу.

### **5.3 Травмування під час складування гірських порід на шламонакопичувачах**

Під час проведення польових робіт у гірській місцевості збільшується ризик отримання травм та ушкоджень.

Пошкодження можуть бути різного ступеня тяжкості: перелом рук і ніг, різні розтягнення, вивихи, забиття, порізи та ін. Щоб уникнути різних пошкоджень необхідно суворо дотримуватися техніки безпеки та індивідуальної безпеки життєдіяльності, бути дуже уважними при проведенні робіт.

Працівникам необхідно мати при собі аптечку з медикаментозними засобами (вата, бинт, джгут, медичний спирт, зеленка, перекис водню, анальгін, нашатирний спирт, ношпа та ін.).

Джерелом електричного струму під час проведення аналізів на устаткуванні, і навіть під час роботи на ПЕОМ можуть бути перепади напруги, висока напруга і можливість замикання людиною електричного ланцюга. Проходячи через організм людини, електричний струм надає:

- термічну дію (опіки, нагрівання до високих температур внутрішніх органів);
- електролітичну дію (розкладання органічних рідин тіла та порушення їх складу);
- біологічна дія (подразнення та збудження живих тканин організму, що супроводжується мимовільними судомними скороченнями м'язів).

У складі матеріалів шламонакопичувача міститься висока концентрація токсичних та радіоактивних елементів. У разі недотримання правил перевезення та пробопідготовки ці матеріали можуть призвести до забруднення навколишнього середовища та повітря робочої зони.

Для запобігання забрудненню навколишнього середовища шкідливими речовинами проби відбираються в мішки із щільної тканини, ємності з кришками або ящики, маркують і перевозяться на транспорті з дотриманням запобіжних заходів, що виключають порушення цілісності упаковки.

Точкові та об'єднані проби зберігаються в неопалюваних приміщеннях, що виключають вплив атмосферних опадів.

Надзвичайна ситуація техногенного характеру може скластися при аварії на шламонакопичувачі, пов'язана наприклад з проривом дамби, що захищає. Пульпа може розтектися на багато кілометрів вниз по рельєфу, забруднюючи територію, якщо екстрено не вжити заходів щодо затримання та локалізації потоку або закриття прориву в дамбі за допомогою обвалування, мішків з піском та інших заходів.

Ліквідація таких аварій зазвичай пов'язана із зупинкою виробництва, проведенням дорогих земляних робіт з відновлення дамби, її зміцнення, очищення забруднених площ від пульпи, що вилилася, і повернення її в шламонакопичувач.

Для запобігання подібним аваріям, де потенційно існує подібна небезпека, нижче за рельєфом споруджують ще одну «страхову» дамбу з місцевого ґрунту для перехоплення можливого прориву основної дамби.

На випадок руйнування гребель або самих водозбірних споруд мають бути визначені: межі небезпечної зони; кордони зони затоплення; забруднення підземних вод та її межі; забруднення поверхневих вод та його наслідки; забруднення повітряного басейну.

Для запобігання аваріям на шламонакопичувачах, задля збереження стану навколишнього природного середовища, а також збереження життя та здоров'я працівників та людей проживаючих поруч, рекомендуються наступні заходи:

– зсувні схили, шламонакопичувачів необхідно зміцнювати механічно чи біологічно;

- висаджуючи чагарники з потужною кореневою системою. На зсувонебезпечних ділянках відвалів та шламонакопичувачів поверхневі води відводять спеціальними дренажними канавками;
- шламонакопичувач не повинен перешкоджати природному дренажу поверхневих вод із прилеглої території;
- має зніматися рослинність із території шламонакопичувачів;
- повинен зніматися та зберігатись родючий шар ґрунту з території шламонакопичувача для використання при рекультивації;
- дамба в гирловій частині повинна забезпечити утримання шламової маси у чаші шламонакопичувача і не допускати їх витікання в найближче водоймище;
- днище та борти повинні мати гідроізоляційний екран;
- на наливних шламонакопичувачах, що містять речовини I, II та III класів небезпеки, після перших 5-ти років роботи має бути проведена перевірка на стійкість дамби та фізико-механічні характеристики на відповідність вимогам;
- вода, що відстоялася, повинна піддаватися очищенню і скидатися в місцеві водойми або повертається на збагачувальну фабрику для технологічних потреб;
- має бути розроблена та впроваджена система моніторингу, як на стан дамб, так і на вплив на навколишнє середовище.

#### **5.4 Основні засоби індивідуального захисту при складуванні гірських порід**

Засоби індивідуального захисту при роботі на шламонакопичувачах, необхідні оскільки мають велику роль у захисті працівника від ризиків для його здоров'я чи безпеки під час роботи.





Наприклад: ризик пошкодження легень через вдихання забрудненого повітря; голови та ніг через падаючі предмети; очей через відлітання часток або бризок хімікатів; шкіри через контакт з корозійними матеріалами; тіла через

спеку або холод. Саме для зниження існуючих ризиків потрібні засоби індивідуального захисту.

До таких засобів відносяться: захисні каски, рукавички, окуляри, спеціальний одяг (одноразовий чи традиційний), засоби індивідуального захисту органів дихання, спеціальне взуття тощо (табл. 5.1).

Також важливо переконатись, що працівники вміють правильно користуватися, та знають як поводитись із засобами індивідуального захисту.

Таблиця 5.1 – Основні засоби індивідуального захисту при складуванні гірських порід

Класи ЗІЗ	Засоби індивідуального захисту
Засоби захисту голови	<p>Захисні каски, шоломи та підшоломники; кепки, шапки, косинки.</p> 
Засоби захисту органів слуху	<p>Протишумові вкладки для вух; звукозахисні шоломи; протишумові навушники; протишумові захисні пристрої з електронним приймачем.</p> 
Засоби захисту очей і обличчя	<p>Захисні окуляри, зокрема, зі світлофільтрами, від рентгенівського, лазерного, ультрафіолетового, інфрачервоного випромінювання та від яскравого світла; екрани для обличчя; захисні окуляри та екрани від механічних ушкоджень, пилю, бризок, хімічних речовин тощо.</p> 
Засоби захисту органів дихання	<p>Фільтрувальні протигази, респіратори.</p> 

Закінчення таблиці 5.1

Засоби захисту рук, плеча та передпліччя	Захисні рукавиці та рукавички; надолонники; нарукавники. 
Одяг спеціальний захисний (спецодяг)	Костюми, комбінезони, напівкомбінезони, куртки, штани, жилети. 
Засоби захисту ніг та стегон	Чоботи, напівчоботи; черевики; калоші; змінні підшви; знімні шипи. 
Засоби захисту шкіри (дерматологічні)	Захисні креми, мазі, гелі; очисники шкіри; репаративні засоби

На прикладі шламонакопичувачів гірничо-збагачувальних комбінатів міста Кривий Ріг, можна наглядно побачити наскільки небезпечним є пиління сухих пляжів.

Північний ГЗК (рис. 5.2) має шламонакопичувач наполовину заповнений водою. Ще 25 % достатньо зволожені. Потенціальну небезпеку становлять залишені 25 % площі.

Центральний ГЗК (рис. 5.3) фрагментно, на 25 % заповнив шламонакопичувач водою. Ще 25 % добре зволожено. Залишені 50 % становлять потенційну небезпеку.

Інгулецький ГЗК (рис. 5.4) має добре зволожені та покриті водою обидва шламонакопичувачі.

Південний ГЗК (рис. 5.5) веде роботи на двох кар'єрах – Війковському та Об'єднанім (з АМКР) та має нестабільний рівень зволоженості. При загальній площі шламонакопичувача в 173 га, затоплені водою лише 16,5 га, тобто 9,5 % від усієї площі. Більша частина цього шламонакопичувача – суха, і при попутному вітрові хмара рудного пилу накріє поруч розташовану місцевість, таку як с. Новоселівку та інші житлові масиви.



Рисунок 5.2 – Північний ГЗК

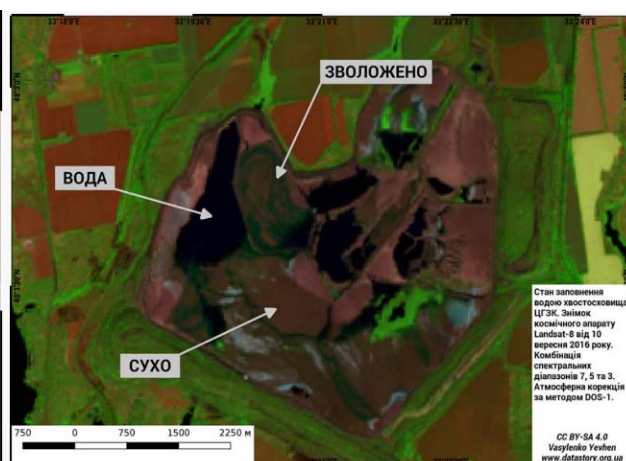


Рисунок 5.3 – Центральний ГЗК

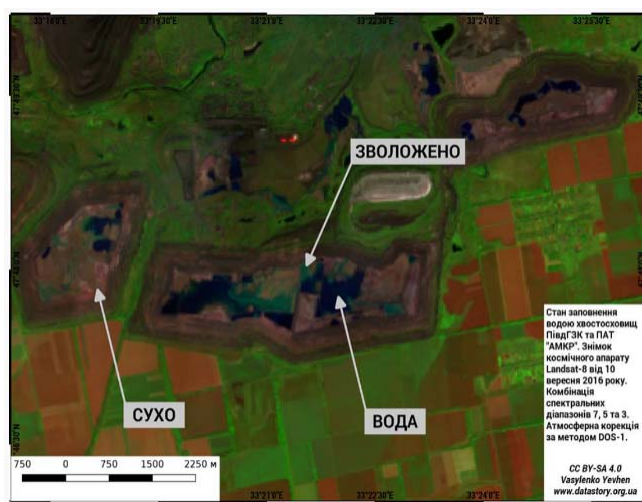


Рисунок 5.4 – Південний ГЗК



Рисунок 5.5 – Інгулецький ГЗК

З метою пілопригнічення можна використовувати метод бітумної емульсії. Згідно досліджень [14] припускаємо, що на кожний квадратний метр сухих пляжів використовуватимемо 0,8 літрів емульсії. Так, площа сухих шламів становить:

$$S = 173 - 16,5 = 156,5 \text{ (га)}$$

Враховуючи це маємо, що кількість необхідної емульсії становить:

$$Q = 1565000 \cdot 0,8 = 1252000 \text{ (л)}$$

Знаючи показник щільності бітумної емульсії можемо знайти її вагу в кг:

$$m = 1252000 \cdot 1,05 = 1314600 \text{ (кг)} = 1314 \text{ (т)}$$

Вище розраховані показники будуть корисними при можливому підрахунку необхідних грошових витрат на транспортування потрібної кількості емульсії до місця її використання.

Знаючи приблизну вартість бітумної емульсії, що складає  $\approx 95$  грн/л (інформація з відкритих джерел), можемо вирахувати, що на придбання емульсії знадобиться:

$$V = 1252000 \cdot 95 = 118940000 \approx 119 \text{ (млн. грн.)}$$

На рис. 5.6 зображено типові вприскування бітумної емульсії на поверхню.



Рисунок 5.6 – Типові способи вприскування бітумної емульсії на поверхню (вручну та з використанням спеціальної автомобільної техніки)

### 5.5 Висновки за розділом

В розділі охорона праці розглянуті загальні відомості про правил охорони праці під час розробки родовищ корисних копалин відкритим способом, розглянуті питання пов'язані з роботою на шламонакопичувачах з високим вмістом радіоактивних елементів, висвітлені питання що до травмування під час складування гірських порід на шламонакопичувачах, визначені основні засоби індивідуального захисту при складуванні гірських порід.

## ВИСНОВКИ

Кваліфікаційна робота є закінченою навчально-дослідницькою роботою, в якій розв'язана задача ідентифікації технологічного процесу огрудкування.

Основними висновками і результатами роботи є наступне:

1. Запропонована структурна схема системи керування процесом огрудкування.
2. Визначені технічні засоби контролю технологічних параметрів і виконавчі механізми для впливу на технологічний процес огрудкування.
3. За даними активного експерименту визначені структура і параметри каналу керування процесом огрудкування.
4. Визначені структура і параметри моделі процесу огрудкування.
5. Запропонована структурна схема мікропроцесорної системи керування процесом огрудкування.
6. Розраховані капітальні і річні витрати на розробку і впровадження системи автоматичного керування процесом огрудкування.
7. В розділі охорона праці на підставі аналізу небезпечних і шкідливих виробничих факторів, виявлених на проєктованому об'єкті, розроблено заходи, направлені на створення здорових і безпечних умов праці та розглянуті питання пожежної безпеки.



**ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

1. <https://ukraineinvest.gov.ua/uk/news/22-06-22-3/>.
2. Плотніков В.В., Саїтгарєєв Л.В. Інтенсифікація агломераційного процесу за рахунок вдосконалення технології комбінованого огрудкування і завантаження шихти. Вісник ПГТУ. Вип 25. 2018С.41-46.
3. Influence of beneficiated sinter grade iron ore fines size on sinter productivity and quality. Umadevi Tekkalakote, Brahmacharyulu Angalakuditi, Rameshwar sah, Marutiram Kaza and Pradipta chandra Mahapatra. Metall. Res. Technol. Volume 114, Number 1, 2017. 105. Number of page(s) 12. DOI <https://doi.org/10.1051/metal/20160501>.
4. A. Kumasaka, K. Kondo, N. Sakamoto, O. Komatsu, H. Noda and M. Shimiz . Granulation characteristics of iron ore fines for hybrid pelletized sinter process. Caractéristiques des fines de minerai de fer dans le procédé HPS. Rev. Met. Paris. Volume 89, Number 3, Mars 1992. P. 225 – 232. DOI <https://doi.org/10.1051/metal/1992890302252>.
5. Білецький В.С., Олійник Т.А., Смирнов В.О., Скляр Л.В. Техніка та технологія збагачення корисних копалин. Частина III. Заклучні процеси. – Кривий Ріг: Криворізький національний університет. 2019. – 220 с.
6. Аналіз систем автоматичного керування процесом термічної обробки обкотишів на фабриці огрудкування / Д. О. Клименко // Вісник Криворізького національного університету. - 2016. - Вип. 42. - С. 203-208. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vktu\\_2016\\_42\\_46](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vktu_2016_42_46)
7. Методичні рекомендації для студентів бакалаврів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» Ткачов В.В., Бубликов А.В., Цвіркун Л.І., Проценко С.М., Бойко О.О., Славинський Д.В., – Д.: «НГУ», 2016. – 27 с.
8. Бойко О.О. Методичні вказівки до лабораторних робіт з проектування систем автоматизації для студентів напрямку підготовки «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / О.О. Бойко – Д.:

Державний ВНЗ «НГУ», 2017. – 109 с. – Режим доступу: <https://goo.gl/Ev6J4Z>. – Назва з домашньої сторінки Інтернету.

9. Бойко О.О., Проценко С.М. Методичні вказівки до лабораторних робіт з програмування систем реального часу для студентів напрямків підготовки «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», «Комп'ютерна інженерія» / О.О. Бойко, С.М. Проценко – Д.: Державний ВНЗ «НГУ», 2017. – 168 с. – Режим доступу: <https://goo.gl/rBf8Zm>. – Назва з домашньої сторінки Інтернету.

10. Бойко О.О. Методичні вказівки до лабораторних робіт з теорії автоматичного керування для студентів напрямку підготовки «Комп'ютерна інженерія» / Укл.: О.О. Бойко – Д.: Державний ВНЗ «НГУ», 2017. – 107 с. – Режим доступу: <https://goo.gl/nUMtFE>. – Назва з домашньої сторінки Інтернету.

11. Голінько В.І., Фрундін В.Ю. Охорона праці в галузі електротехніки та електромеханіки – Д.: Державний ВНЗ «НГУ», 2011. – 235 с.

12. Конвеєрні ваги СВЕДА ВК-230. Режим доступу: <https://www.vostok.dp.ua/ukr/catalog/scale/conveyer/product.html?id=165#>

13. Hyundai N5000 AC Drive / Inverter. Режим доступу: [http://www.olinsys.com/hyundai\\_n5000.html](http://www.olinsys.com/hyundai_n5000.html)

14. Электромагнитный расходомер Promag 55S. Режим доступу: <https://www.pkimpex.ru/opisanie/raskhodomer-promag-55s>.

15. Задвижка 30с964нж Ду350 Ру25. Режим доступу: <https://www.pkimpex.ru/opisanie/raskhodomer-promag-55s>

16. Електронний ресурс: <https://aliradar.com/item/33024886141-Trehfaznoe-tverdotelnoe-rele-peremennogo-toka-Jotta-SSR-10DA25DA40DA60DA-480-V-peremennogo-toka-3-32-V-postoyannogo-toka>

17. Коваль А.В. Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів: навч. посібник / А.В. Коваль. – Житомир : ЖДТУ, 2018. – 133 с.

18. Літнарівч Р.М. Побудова і дослідження математичної моделі за джерелами експериментальних даних методами регресійного аналізу. Навчальний посібник, МЕНУ, Рівне, 2011.-140 с.

19. DENCELL® МАД-5xxx. Режим доступу: <http://plotnomeri.ru/?mid=33&pid=41>
20. ELTA Вихровий витратомір SITRANS F X. [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://eltald.com.ua/catalog/siemens-sitrans-fx300>
21. ДСН 3.3.6.042-99 „Державні санітарні норми параметрів мікроклімату” - К.: МОЗ України, 2000.
22. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування.
23. ДСТУ Б.А.3.2-12:2009. Система стандартів безпеки праці. Системи вентиляційні. Загальні вимоги ДНАОП 0.03-33.14-85. Санітарні норми допустимих рівнів шуму на робочих місцях.
24. Правила улаштування електроустановок Мінпаливвугілля України. – 2017 – 617с.
25. «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості на небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». № 528 - 2001.
26. Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями, затверджені наказом Мінсоцполітики від 14.02.2018 № 207.
27. Методичні рекомендації з виконання заходів стосовно охорони праці при роботі з ПЕОМ та розрахунку освітлення у дипломних проектах студентів усіх спеціальностей/ Уклад. В.І. Голінько, В.Ю. Фрундін, Ю.І. Чеберячко, М.Ю. Іконніков. - Дніпропетровськ: ДВНЗ «Національний гірничий університет», 2013.- 12 с.
28. ДСанПіН 3.3.2-007-98 Державні санітарні правила і норми. Гігієнічні вимоги до організації роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин
29. ДСТУ 7234:2011 Дизайн і ергономіка. Обладнання виробниче. Загальні вимоги дизайну та ергономіки
30. ДСТУ 7950:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце під час виконання робіт стоячи. Загальні ергономічні вимоги.

31. ДСТУ 8604:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги
32. ДСТУ 3191-95 (ГОСТ 12 2.137-96) Обладнання для кондиціонування повітря та вентиляції
33. ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень».
34. Внутренние санитарно-технические устройства / Под ред. И. Г. Староверова: Ч.2. Вентиляция и кондиционирование воздуха. - М.: Стройиздат, 1978.-509.
35. ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення».
36. ДСН 3.3.6.037–99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку».
37. ДСН 3.3.6.039-99 «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації».
38. ДСТУ ГОСТ 26568: 2009 «Вибрация методы и средства защиты».
39. ДСТУ ІЕС 61140: 2015 «Захист проти ураження електричним струмом. Загальні аспекти щодо установок та обладнання».
40. ДБН В.1.1-7-2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва».
41. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухо-пожежною та пожежною небезпекою».
42. ДСТУ 3675-98 «Пожежна техніка. Вогнегасники переносні. Загальні технічні вимоги та методи випробувань».
43. ДБН В.2.5-56-2014 «Системи протипожежного захисту».
44. ДСТУ Б В.2.5-38:2008 «Улаштування блискавкозахисту будівель та споруд».

## ДОДАТОК А

## Відомість матеріалів кваліфікаційної роботи

№ рядка	Формат	Позначення	Найменування	Кількість аркушів	Шифр документу	Примітка	
1			<b><u>Документація</u></b>				
2							
3	A4	КІВС.КВР.151.19.09.ПЗ	Пояснювальна записка		ПЗ		
4							
5			<b><u>Графічна частина</u></b>				
6							
7	A2	КІВС.КВР.151.19.09.Е2	Функціональна схема				
8			автоматизації	1	Е2		
9							
10	A2	КІВС.КВР.151.19.09.Е3	Схема електрична				
11			принципова	1	Е3		
12							
13	A4	КІВС.КВР.151.19.09.ПЕ3	Перелік елементів	1	ПЕ		
14							
15	A4	КІВС.КВР.151.19.09.Д	Презентація		Д		
16							
17		КІВС.КВР.151.19.09.ВДЕ	Носій інформації	1	ВДЕ		
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
			Підп.	Дата	<b>КІВС.КВР.151.19.09.ТП</b>		
Зм.	Арк.	№ докум.			Літ.	Аркуш	Аркушів
Розробив		Дубняк А.О.		29.05.23		1	1
П. конс.		Трипутень					
Н.контроль		Воскобойник					
				Розробка елементів системи автоматичного управління процесом огрудкування	Національний ТУ «Дніпровська політехніка», ЕТФ, 151-19-1		
				Відомість проекту			



**ВІДГУКИ КОНСУЛЬТАНТІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**





## ВІДГУК

на кваліфікаційну роботу ступеню бакалавра  
на тему: «Розробка елементів системи автоматичного управління  
огрудкування»

здобувач вищої освіти академічної групи  
151-19-1 Дубняк Андрій Олександрович

Завдання і зміст кваліфікаційної роботи ступеню бакалавра відповідає основній меті – перевірці знань та ступеню підготовки здобувача вищої освіти за спеціальністю “151 Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”. Оформлення пояснювальної записки та графічних матеріалів кваліфікаційної роботи виконано відповідно до вимог стандартів та методичних рекомендацій повністю.

Актуальність роботи полягає в тому, що розробка нової системи керування дозволить стабілізувати процес огрудкування матеріалу.

У першому розділі виконаний аналіз технологічного процесу грудкування, розглянуто конструкції і принцип дії гранулятора, поданий технологічний процес як об’єкт керування. На основі виконаного аналізу сформульовані задачі дослідження.

У другому розділі вирішено завдання по створенню системи керування - вибрані апаратно-програмні засоби для її реалізації, розроблена функціональна схема автоматизації, розроблена схема електрична принципова, складено перелік елементів до схеми електричної принципової.

У третьому розділі вирішено завдання структурної і параметричної ідентифікації каналу керування процесом грудкування. Виконана перевірка на адекватність статичної залежності між середнім діаметром гранул шихти та витратою води на зволоження тонкодисперсного матеріалу.

Четвертий та п’ятий розділи присвячені розрахунку економічних показників для проектованої системи керування, та безпечних умов при розробці та її експлуатації.

При вирішенні завдань у розділах кваліфікаційної роботи студент підтвердив компетенції:

- K11 - здатність застосовувати знання математики, в обсязі, необхідному для використання математичних методів для аналізу і синтезу систем автоматизації;

- K12 - здатність застосовувати знання фізики, електротехніки, електроніки і мікропроцесорної техніки, в обсязі, необхідному для розуміння процесів в системах автоматизації та комп’ютерно-інтегрованих технологіях;

- K13 - здатність виконувати аналіз об'єктів автоматизації на основі знань про процеси, що в них відбуваються та застосовувати методи теорії автоматичного керування для дослідження, аналізу та синтезу систем автоматичного керування;

- K14 - здатність застосовувати методи системного аналізу, математичного моделювання, ідентифікації та числові методи для розроблення математичних моделей окремих елементів та систем автоматизації в цілому, для аналізу якості їх функціонування із використанням новітніх комп'ютерних технологій;

- K15 - здатність обґрунтовувати вибір технічних засобів автоматизації на основі розуміння принципів їх роботи аналізу їх властивостей, призначення і технічних характеристик з урахуванням вимог до системи автоматизації і експлуатаційних умов; налагоджувати технічні засоби автоматизації та системи керування.

Повнота та глибина вирішення поставлених завдань в кваліфікаційній роботі достатня.

В цілому кваліфікаційна робота ступеню бакалавра заслуговує оцінки \_\_\_\_\_ балів при відповідному захисті, а здобувач Дубняк А.О. присвоєння кваліфікації “Бакалавр з автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій” за спеціальністю “151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології”.

Керівник кваліфікаційної роботи,  
посада, доц. каф. КФІВС  
ступінь, к.т.н.

\_\_\_\_\_ Трипутень М.М.

(підпис)

\_\_\_\_\_ (дата)

## РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу ступеню бакалавра  
на тему: «Розробка елементів системи автоматичного управління процесом  
огрудкування»  
здобувач вищої освіти академічної групи  
151-19-1 Дубняк Андрій Олександрович

Завдання і зміст кваліфікаційної роботи ступеню бакалавра відповідає основній меті – перевірці знань та ступеню підготовки здобувача вищої освіти за спеціальністю “151 Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”. Оформлення пояснювальної записки та графічних матеріалів кваліфікаційної роботи виконано відповідно до вимог стандартів та методичних рекомендацій повністю.

Актуальність роботи полягає в тому, що розробка нової системи керування дозволить підвищити ефективність процесу огрудкування матеріалу за рахунок стабілізації середнього розміру гранул на виході гранулятора.

В рамках кваліфікаційної роботи виконано аналіз процесу огрудкування як об’єкта автоматизації і сформульовані завдання до виконання кваліфікаційній роботі.

При цьому для вирішення поставлених завдань використані дані про перехідні процеси вихідної та вихідної величин, отриманих при проведенні активних експериментів.

Досягнення поставленої мети у кваліфікаційній роботі відбувається за рахунок використання методів аналізу властивостей процесу відсадки за літературними джерелами, методів ідентифікації і регресійного аналізу.

Основними результатами кваліфікаційної роботи є визначення структури і параметрів моделі каналу керування процесу огрудкування.

Повнота та глибина вирішення поставлених завдань в кваліфікаційній роботі достатня.

В цілому кваліфікаційна робота ступеню бакалавра заслуговує оцінки \_\_\_\_\_ балів при відповідному захисті, а здобувач Дубняк А.О. присвоєння кваліфікації “ Бакалавр з автоматизації та комп’ютерно-інтегрованих технологій ” за спеціальністю “151 Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”.

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**  
завідувачем кафедри  
кіберфізичних та інформаційно-  
вимірювальних систем

\_\_\_\_\_ Бубліковим А.В.

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 року

### **ВИСНОВОК**

Про рівень запозичень у кваліфікаційній роботі бакалавра на тему «Розробка елементів системи автоматичного управління процесом огрудкування», здобувача вищої освіти, групи 151-19-1, Дубняк А.О.

Загальний обсяг кваліфікаційної роботи без переліку посилань складає \_\_\_\_\_ сторінок. Програмне забезпечення використане для перевірки роботи “<https://unichack.com>”. Рівень запозичень у роботі складає \_\_\_\_\_ %, що є меншим 40 % запозичень з однієї роботи та відповідає вимогам Положення про систему запобігання та виявлення плагіату у Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка».

Нормоконтролер,  
посада, ас. каф. КФІВС  
ступінь

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Воскобойник Є.К.

\_\_\_\_\_  
(дата)