

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

## **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на здобуття ступеня вищої освіти - бакалавр

за освітньо-професійною програмою

«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

зі спеціальності

151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

тема роботи:

*«Автоматизація процесу дешламації секції збагачення ГЗК»*

Виконав студент гр. АКІТ-20

\_\_\_\_\_ Павлічук О.Ю.

Нормоконтролер

\_\_\_\_\_ Маринич І.А.

Керівник

\_\_\_\_\_ Тиханський М.П.

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Рубан С.А.

# КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: інформаційних технологій

Кафедра: автоматизації, комп'ютерних наук і технологій

Ступінь вищої освіти: бакалавр

Спеціальність: 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Зав. кафедрою: к.т.н. Рубан С. А.

« 25 » березня 2024 р.

## ЗАВДАННЯ

### на кваліфікаційну роботу бакалавра

студентові групи АКІТ-20 Павлічуку Олександрю Юрійовичу

**1. Тема кваліфікаційної роботи:** «Автоматизація процесу дешламації секції збагачення ГЗК»

затверджено наказом по університету № 231с від 25.03.2024 р.

**2. Термін здачі кваліфікаційної роботи:** 10.06.2024 р.

**3. Склад кваліфікаційної роботи:** Пояснювальна записка, презентація у Microsoft PowerPoint в електронному та друкованому вигляді

**4. Консультанти кваліфікаційної роботи:**

Розділ 1-2

доц. Тиханський М. П.

Нормоконтроль

доц. Маринич І. А.

## 5. Календарний план:

№	Етапи роботи	Термін виконання
1	Вступ	01.04.24
2	Розділ 1	05.04.24
3	Розділ 2	01.05.24
4	Висновки	25.05.24
5	Оформлення кваліфікаційної роботи	28.05.24
6	Підготовка презентації та графічного матеріалу	20.05.24
7	Підготовка доповіді до захисту	05.06.24

6. Дата видачі завдання: 25.03.2024 р.

Керівник \_\_\_\_\_ / Тиханський М.П./

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

Із чинним Положенням про академічну доброчесність Криворізького національного університету ознайомлений.

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

Студент \_\_\_\_\_ / Павлічук О.Ю./

## АНОТАЦІЯ

Павлічук О.Ю. Автоматизація процесу дешламації секції збагачення ГЗК.

Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня вищої освіти - бакалавр, за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». – Криворізький національний університет, Кривий Ріг, 2024.

Об'єкт проектування - автоматизоване управління дешламатором у секції збагачення гірничозбагачувального комбінату.

Мета роботи - створення автоматизованої системи для автоматизованого управління дешламатором у цій секції.

В першому розділі: приведено загальну характеристику гірничо-гірничозбагачувального комбінату та його технологічних процесів; характеристику технологічного процесу дешламації та дешламтора як об'єкта автоматизації; виконано огляд поточного стану автоматизації секції збагачення на гірничо-збагачувальному комбінаті та відомих рішень керування технологічним процесом; сформульовані основні вимоги до системи керування процесом дешламації.

У другому розділі: розроблено структурну та функціональну схеми автоматизації та керування технологічним процесом дешламації; математичне забезпечення; виконано синтез контурів керування автоматизованої системи; розроблено інформаційне, алгоритмічне та технічне забезпечення системи.

*Ключові слова:* автоматизована система система, гірничозбагачувальний комбінат, дешламатор, процес дешламації, секція збагачення, синтез системи керування..

					<b>КНУ.КРБ.151.24.04.00.ПЗ</b>		
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<b>АНОТАЦІЯ</b>		
<i>Разробив</i>		Павлічук О.Ю.					
<i>Перевіриє</i>		Тиханський М.П.			<i>Літера</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушіє</i>
						4	1
<i>Н.контроль</i>		Маринич І.А.			<b>КНУ АКИТ-20</b>		
<i>Затвердив</i>							

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ .....	7
ВСТУП.....	8
1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТА ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ АВТОМАТИЗАЦІЇ .....	10
1.1 Загальна характеристика гірничо-гірничозбагачувального комбінату та його технологічних процесів .....	10
1.2 Характеристика технологічного процесу .....	12
1.3 Характеристика об'єкта автоматизації .....	16
1.4 Поточний стан автоматизації секції збагачення на гірничозбагачувальному комбінаті .....	25
1.5 Огляд відомих рішень керування технологічним процесом .....	26
1.6 Основні вимоги до системи керування процесом дешламації .....	28
Висновки до розділу 1 .....	30
2 СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ТА ЇЇ ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ .....	31
2.1 Структурна та функціональна схеми автоматизації та керування технологічним процесом дешламації .....	31
2.2 Математичне забезпечення та синтез контурів керування автоматизованої системи .....	35
2.3 Інформаційне забезпечення системи .....	47
2.4 Алгоритмічне забезпечення системи .....	48
2.5 Технічне забезпечення автоматизованої системи керування .....	52

					<i>КНУ.КРБ.151.24.04.00.ПЗ</i>		
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<b>ЗМІСТ</b>		
<i>Разробив</i>		<i>Павлічук О.Ю.</i>					
<i>Перевірів</i>		<i>Тиханський М.П.</i>					
<i>Н.контроль</i>		<i>Маринич І.А.</i>					
<i>Затвердив</i>							
					<i>Літера</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
					5	2	
					<i>КНУ АКІТ-20</i>		

2.6 Вибір програмного і системного забезпечення .....	65
2.7 Розробка візуалізації керування технологічним процесом .....	69
Висновки до розділу 2 .....	70
ВИСНОВКИ.....	72
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	75
ДОДАТКИ.....	79

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АРМ – автоматизоване робоче місце;

АС – автоматизована система;

АСУ – автоматизована система управління;

АСУ ТП – автоматизована система управління технологічним процесом;

АСУТП – автоматична система управління технологічним процесом;

ВМ – виконавчий механізм;

ГЗК - гірничозбагачувальний комбінат;

МГС - магнітний гідравлічний сепаратор;

МД – магнітний дешламатор;

ПД-регулятор - пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор;

ПЛК - промисловий логічний контролер;

САК – система автоматичного керування;

СЗ – секція збагачення ;

ЦЗ – цех збагачення.

					<b>КНУ.КРБ.151.24.04.00.ПЗ</b>					
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<b>ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ</b>					
<i>Разробив</i>	<i>Павлічук О.Ю.</i>							<i>Літера</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевірів</i>	<i>Тиханський М.П.</i>								7	1
<i>Н.контроль</i>	<i>Маринич І.А.</i>							<i>КНУ АКІТ-20</i>		
<i>Затвердив</i>										

## ВСТУП

Сучасні підприємства розвиваються в напрямку високоінтелектуального ефективного виробництва, в основі якого лежать автоматичні системи керування технологічним процесом. Автоматизація виробництва є ключовим елементом прискорення науково-технічного прогресу в промисловості. Мікропроцесорні системи керування з їх функціональними можливостями стають основою для цього, враховуючи такі важливі аспекти, як інтеграція, розподілене керування та програмні комплекси.

**Актуальність роботи** зумовлена тим, що в процесі автоматизації збагачувальних виробництв автоматизації підлягає не лише окремий технологічний процес чи агрегат, а й увесь технологічний комплекс з його складними взаємозв'язками між підсистемами. Тому важливою є розробка системи автоматизованого управління дешламатором у секції збагачення гірничозбагачувального комбінату, базуючись на сучасних технологіях та надійному технічному обладнанні, є актуальною.

**Метою дипломної роботи** є розробка системи автоматизованого керування дешламатором секції збагачення гірничозбагачувального комбінату.

Для досягнення цієї мети необхідно виконати наступні **основні завдання дипломної роботи**:

1. Провести аналіз технологічного процесу переділу дешламації, виявити слабкі місця існуючої системи керування дешламації і визначити шляхи інтеграції системи автоматизованого керування дешламатора в технологічний процес;

					<i>КНУ.КРБ.151.24.04.00.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<b>ВСТУП</b>	<i>Літера</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Разробив</i>		<i>Павлічук О.Ю.</i>					8	2
<i>Перевіриє</i>		<i>Тиханський М.П.</i>						
<i>Н.контроль</i>		<i>Маринич І.А.</i>						
<i>Затвердив</i>								
						<i>КНУ АКТ-20</i>		



2. Розробити вимоги до автоматизованої системи керування технологічним процесом дешламації на збагачувальній секції гірничозбагачувального комбінату.

3. Створити структуру та математичне забезпечення контурів керування рівнем магнетиту та рівнем переливу в дешламаторі.

4. Розробити інформаційне забезпечення для автоматизованої системи керування процесом дешламації.

5. Обрати технічні засоби для реалізації комп'ютерно-інтегрованої системи автоматизованого керування процесом дешламації.

5. Використовуючи SCADA-систему, розробити програмне забезпечення для керування системою, яке дозволить візуалізувати стан системи в режимі реального часу.

**Об'єктом проектування** є автоматизоване керування дешламатором секції збагачення гірничозбагачувального комбінату.

**Предмет дослідження** – методи та засоби реалізації комп'ютерно - інтегрованої системи автоматизованого керування дешламатором секції збагачення гірничозбагачувального комбінату.

					КНУ.КРБ.151.24.04.00.ПЗ	
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		9

# РОЗДІЛ 1

## АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТА ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ АВТОМАТИЗАЦІЇ

### 1.1 Загальна характеристика гірничозбагачувального комбінату та його технологічних процесів

Гірничо-збагачувальний комбінат - це підприємство, що займається добуванням та збагаченням залізної руди. Окрім цього, комбінат виробляє залізорудний концентрат, неофлюсовані та офлюсовані окатиші.

Розробка руди проводиться відкритим способом. Технологічний процес починається з буріння вибухових свердловин, обсяг яких щодня становить 3,5-5 км. Потім спеціалізовані машини заповнюють свердловини вибуховою речовиною з багатьох компонентів, після чого проводиться підриг гірської маси. Наступним етапом є екскавація підірваної гірничої маси на перевантажувальний пункт, спочатку за допомогою автотранспорту, а потім на іншому перевантажувальному пункті масу перевантажують на локомотив. Залізничним транспортом вона потім відправляється в корпус подрібнення, а після цього - на гірничозбагачувальний комбінат.

На гірничозбагачувальному комбінаті руду подрібнюють до потрібної крупності і за допомогою магнітної сепарації відділяють від порожньої породи. Потім залізорудний концентрат, який був отриманий, направляється на комбінат окомкування, де відбувається процес виробництва окатишів. Окатиші - це великі шари залізної руди, які використовуються в металургії. Після цього, окатиші відправляються на завод ГБЗ для подальшого використання.

					<i>КНУ.КРБ.151.24.04.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>РОЗДІЛ 1</i>	<i>Літера</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Разробив</i>	<i>Павлічук О.Ю.</i>						10	
<i>Перевіриє</i>	<i>Тиханський М.П.</i>							
<i>Н.контроль</i>	<i>Маринич І.А.</i>							
<i>Затвердив</i>								
						<i>КНУ АКІТ-20</i>		

Гірничозбагачувальний комбінат випускає залізорудний концентрат двох видів. Перший вид має вміст заліза 66-68%, що робить його високоякісним матеріалом для виробництва сталі. Другий вид має підвищений вміст заліза 69,5-70%, що забезпечує ще більшу ефективність при використанні в металургійному процесі.

Існують гірничо-збагачувальні комбінати, де в корпусах подрібнення встановлено по дві дробарки для крупного подрібнення типу ККД 1500/180. Конвеєри П1-П4, які використовуються для транспортування подрібнених кварцитів, розташовані як в наземних, так і в підземних частинах галереї. Частина, розташована над бункером із прольотом у 18,0 метрів, використовується для встановлення стрічкових конвеєрів, обладнаних саморозвантажувальними візками моделі ТБР-160-3-11-К. Ці конвеєри використовуються для заповнення бункерів силосного типу, розміром ДхН-11х15 метрів, в кількості 79 штук.

Об'єм кожного з цих бункерів становить 1 311 кубічних метрів, а робоча ємність 1800 тон кварцитів. Бункери розміщені по 3 на секцію з 1 по 65 вісь. Всі бункера обладнані вікном для випуску кварцитів на пластинчастий живильник П-218-60. Для видалення пилу при завантаженні бункерів кварцитами, над бункерами встановлені відцентрові аспіраційні установки ЦАУ.

Кварцити, які знаходяться в живильниках, розвантажуються на конвеєр. За допомогою цих конвеєрів, кварцити подаються в млини ММС 70х23 для подальшої обробки. У 30-метровому прогоні встановлені вакуум-фільтри моделей ДШ-100х2,5 і ДОО 100-2,5. Ці фільтри використовуються для обробки залізорудних концентратів. Вони дозволяють фільтрувати матеріали з вмістом заліза менше 69,5% та більше 69,5% [1].

					КНУ.КРБ.151.24.04.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		11

## 1.2 Характеристика технологічного процесу

На рис. 1.1 представлено схему обробки залізовмісних кварцитів. Основні корисні компоненти цих кварцитів - це магнетит і гематит, які містять відповідно 72,4% та 69,9% заліза, тоді як середній вміст заліза в руді становить приблизно 35...45%. Для підготовки руди до подальшої обробки використовують усереднення та змішування різних типів руди, що забезпечує більш стабільний хімічний склад і фізичні властивості матеріалу. Залізовмісні кварцити, які є досить міцними породами, зазвичай подрібнюють у чотири етапи. Перші два етапи зазвичай проводяться у відкритому циклі за допомогою конусних дробарок ККД та КРД. Після цього руду очищають від дрібних часток на дешламаторах. Третій етап подрібнення виконується у конусних дробарках КСД, а четвертий - у дробарках КМД, обидва з попереднім грохоченням. В результаті отримують продукт з розміром часток до 20 мм. Через дрібне розташування магнетиту в руді, подрібнену руду подають на чотиристадійне подрібнення у стержневих і кульових млинах або у млинах для самоподрібнення.

Перший етап подрібнення здійснюється у відкритому циклі за допомогою стержневих млинів. Стержневі млини - це тип млинів, які використовуються для подрібнення матеріалу, в основному, кварцитів, до потрібного розміру. Вони працюють за принципом відкритого циклу, що означає, що матеріал проходить через млин лише один раз без повторного циркулювання.

Другий і наступні етапи подрібнення відбуваються у кульових млинах, які працюють у замкненому циклі з гідроциклонами. Кульові млини - це тип млинів, які використовуються для подальшого подрібнення матеріалу до більш дрібного стану. Вони працюють за принципом замкненого циклу, що означає, що матеріал циркулює в млині кілька разів до досягнення потрібного розміру частинок. Використання самоподрібнення спрощує процес подрібнення, дозволяючи руді подрібнюватися одразу до 500 мм і відправлятися у млини для самоподрібнення. Обробка залізовмісних кварцитів проводиться за допомогою магнітної сепарації у слабкому магнітному полі за допомогою барабанних сепараторів. Процес

					КНУ.КРБ.151.24.04.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		12

включає від чотирьох до п'яти стадій магнітної сепарації, що дозволяє послідовно видаляти відходи, розкривати зростки і отримувати концентрат з вмістом заліза 65%. Зневоднення концентрату до вологості 10...12% виконується за допомогою дискових вакуум-фільтрів, після чого зневоднений концентрат відправляється споживачам.

На збагачувальній фабриці ГЗК функціонують декілька незалежних однотипних секцій збагачення [4]. Усі секції використовують один і той же основний конвеєр для транспортування руди з приймального бункера на конвеєри секцій. Процес збагачення розглядається на прикладі першої секції (рис. 1.1).

Дроблена руда з приймальних бункерів подається через телескопічні живильники на головний стрижневий млин МСЦ-3600x5500. Якість руди, що надходить у млин, контролюється шляхом зважування на тензометричних вагах. Руда зі стрижневих млинів подається у двоспиральний класифікатор 1КСН. Піски, які виходять з класифікатора, подрібнюються в круговому млині МШЦ-4000x5000. Цей млин працює в замкненому циклі з класифікатором, що дозволяє ефективно регулювати розмір частинок піску.

Злив з класифікатора надходить в технологічні зумпфи, які є частиною третьої стадії подрібнення і класифікації. Ця стадія складається з шарового млина МШЦ4000 x 5000, який також працює в замкненому циклі, але вже з гідроциклоном Ø500 мм. Злив з гідроциклонів проходить через магнітні дешламатори МГС-5, де пульпа на вході проходить через намагнічуючі апарати для флокуляції магнітних частинок, що підвищує швидкість їх осадження.

Злив від дешламатора спрямовується до хвостів, тоді як концентрований продукт перекачується насосними агрегатами 5ГРК-8 (№103, 104, 109, 110) на другий етап магнітного відділення (перший етап було вилучено під час реконструкції секції), де розміщено 6 двобарабанных напівпротиточних магнітних сепараторів (№121...126). Зумпфи насосів, які використовуються для подачі пульпи на сепарацію, мають систему, яка дозволяє контролювати і підтримувати оптимальний рівень пульпи в зумпфах (стабілізації рівня пульпи).

					КНУ.КРБ.151.24.04.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		13

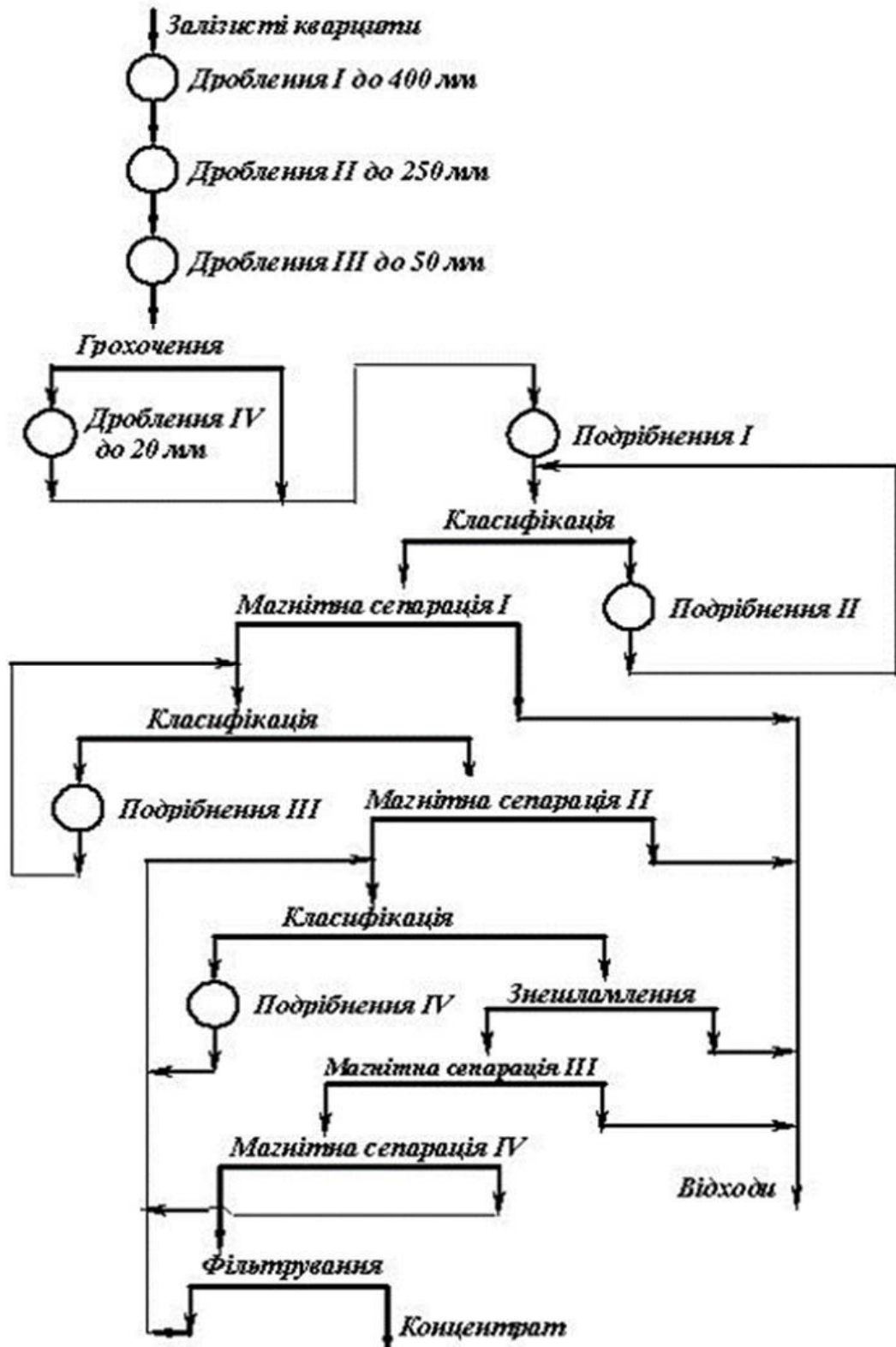


Рисунок 1.1 – Схема технологічного процесу гірничозбагачувального комбінау при збагаченні залізистих кварцитів

Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата

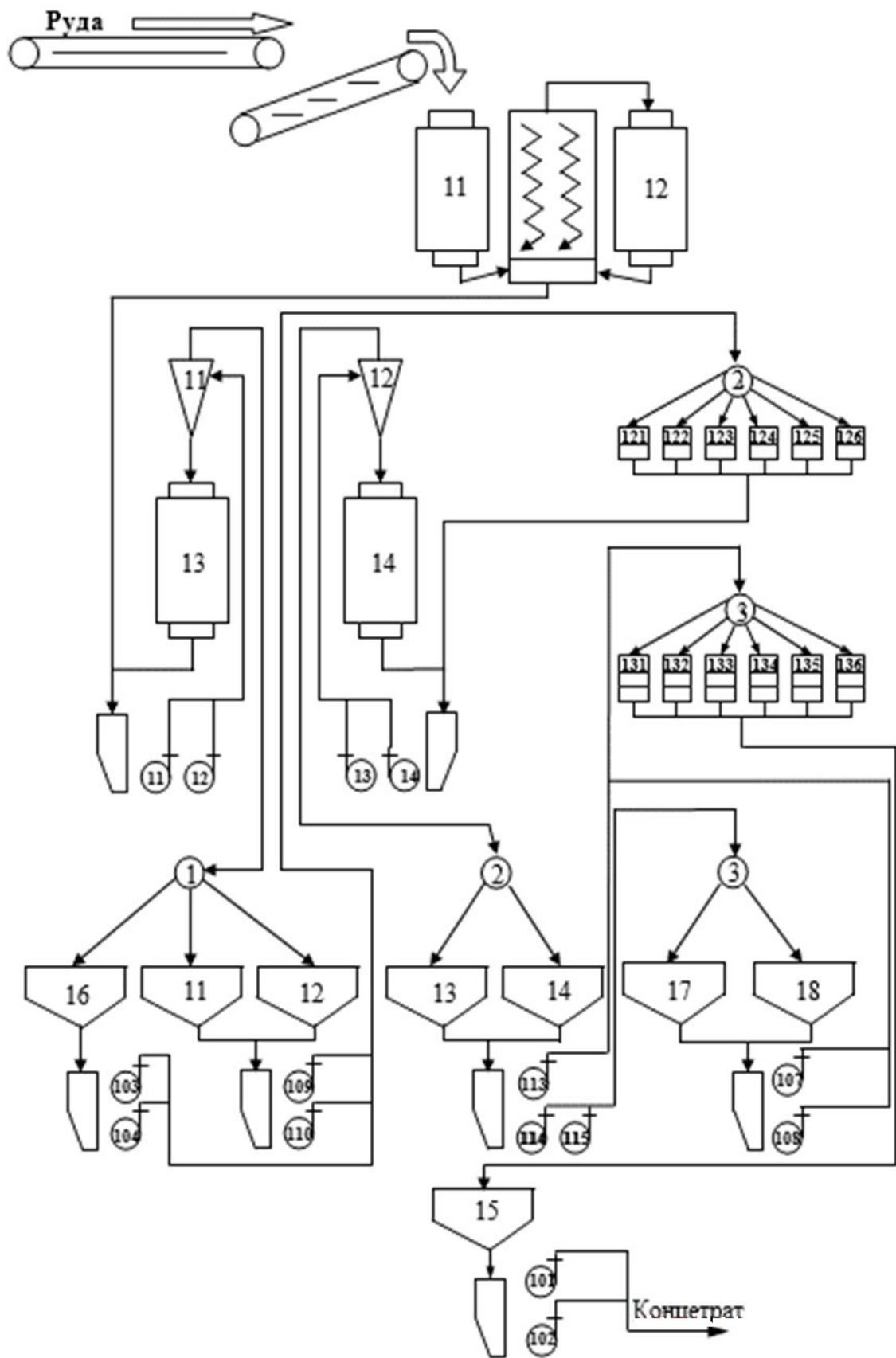


Рисунок 1.2 – Технологічна схема однієї секції збагачувальної фабрики

Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата

Продукт з другого етапу магнітного відділення надходить у технологічні зумпфи четвертого етапу подрібнення і класифікації (шаровий млин Ф4000x5000 (№14) і гідроциклони Ø500 (№12)). Злив з гідроциклонів очищається у чотирьох дешламаторах МГС-5, які працюють за схемою 2 + 2 («№13 і №14» + «№17 і №18»). Піски з дешламатора насосами 5ГРК-8 (№113,114, 115 і №107, 108) подаються на третій етап магнітної сепарації, що складається з трьох барабанних магнітних сепараторів (№131...136).

Продукт з третього етапу магнітної сепарації є фінальним продуктом і після очищення в дешламаторі 15 МД-5 потрапляє у збірний зумпф станції перекачки, звідки насосами 12ГРК (№101 і 102) перекачується на ЦПО (цех переробки окатишів).

Магнітні дешламатори або гідросепаратори використовуються на збагачувальній фабриці для видалення шламів і концентрації зливу гідроциклонів (дрібно подрібнені магнетитові проміжні продукти) перед магнітним збагаченням і концентрату магнітного продукту перед його водовідведенням. Дешламатор дозволяє отримати особливо дрібний злив.

### 1.3 Характеристика об'єкта автоматизації

#### 1.3.1 Характеристика та принцип роботи дешламатора

Основним об'єктом цієї роботи є дешламатор [2]. Магнітний дешламатор МД-5 (рис. 1.3) має складну структуру, яка включає в себе ряд компонентів. Він містить чашу 1 з круговим порогом 2. В чаші на днищі 4 знаходяться спіральні лопаті 3. Ці лопаті закріплені на обертовому валу 8, що дозволяє їм ефективно перемішувати пульпу. Вхідна пульпа надходить в розподільну коробку 9, яка містить магнітну систему. Ця система використовується для покращення флокуляції пульпи, що забезпечує більш ефективне відділення твердих частинок. Після того, як пульпа потрапляє в чан, вона переміщується до його периферії. Вода, що переливається через поріг 2, потрапляє в круговий жолоб 7. Тим часом,

					КНУ.КРБ.151.24.04.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		16



концентрований продукт за допомогою лопатей 3 спрямовується до центрального отвору для видалення пісків 6. Після цього, він направляєтся в трубопровід 5 для подальшого використання. Для регулювання положення спіралей використовується спеціальний механізм 10.

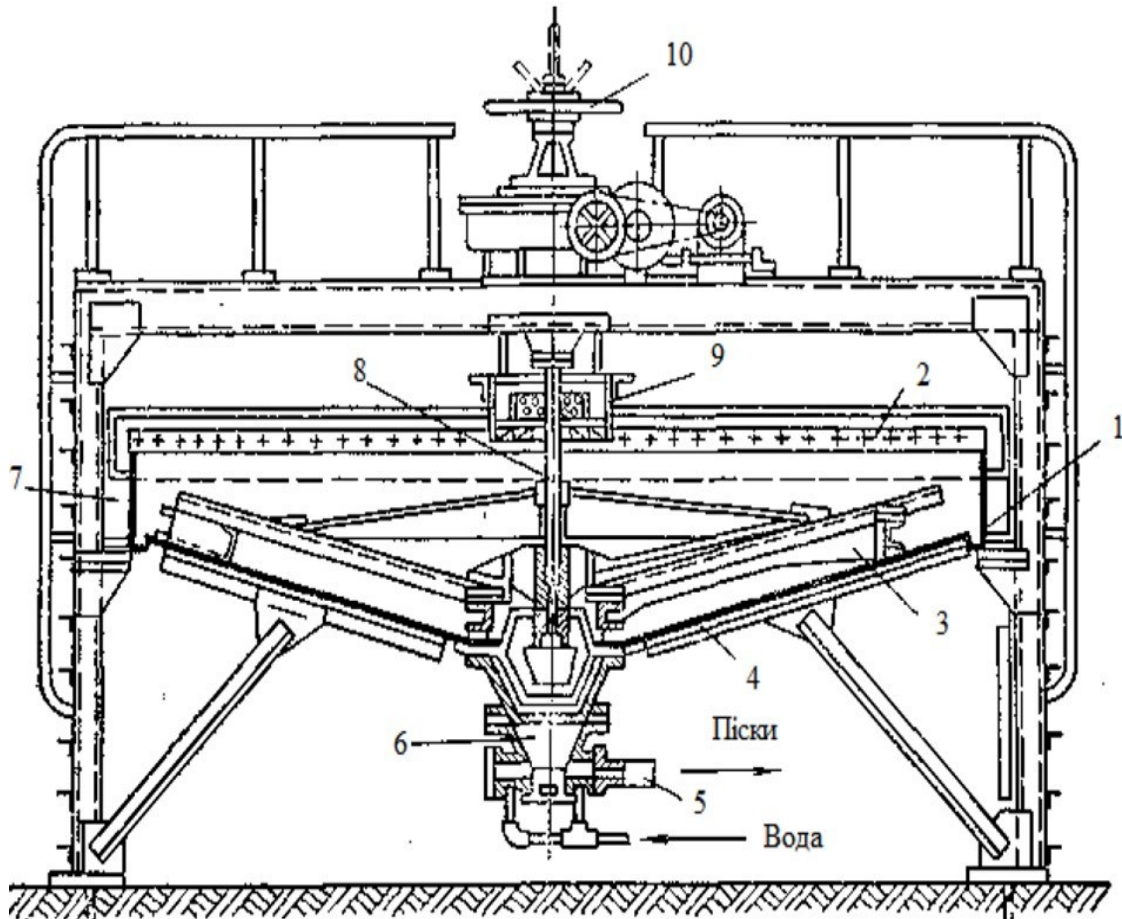


Рисунок 1.3 – Конструкція магнітного дешламатора МД-5

Магнітний дешламатор МД-5 [3], який зараз використовується в лінії збагачення ГЗК, був переобладнаний у магнітний гідросепаратор МГС-5 [7] (рис. 1.4). Відмінність полягає в тому, що пульпа з колектору не потрапляє безпосередньо у ванну дешламатора, а через кільцеву щілину намагнічуючого апарату розвантажується у спеціальну камеру, утворену кільцевим заспокоювачем і піддоном. У просторі між краєм кільцевого заспокоювача і піддоном розташовані плоскі магнітні елементи, які створюють слабе магнітне поле. Пульпа, потрапляючи в ванну дешламатора, розділяється на два потоки:

						Арк.
					КНУ.КРБ.151.24.04.01.ПЗ	
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		17

один з них - флокули магнітного матеріалу - спрямовується до днища дешламатора, де осідає сфлукуюваний матеріал, який транспортується граблями до розвантажувального конуса і вивантажується через патрубок. Немагнітні частки виносяться зливним потоком води.

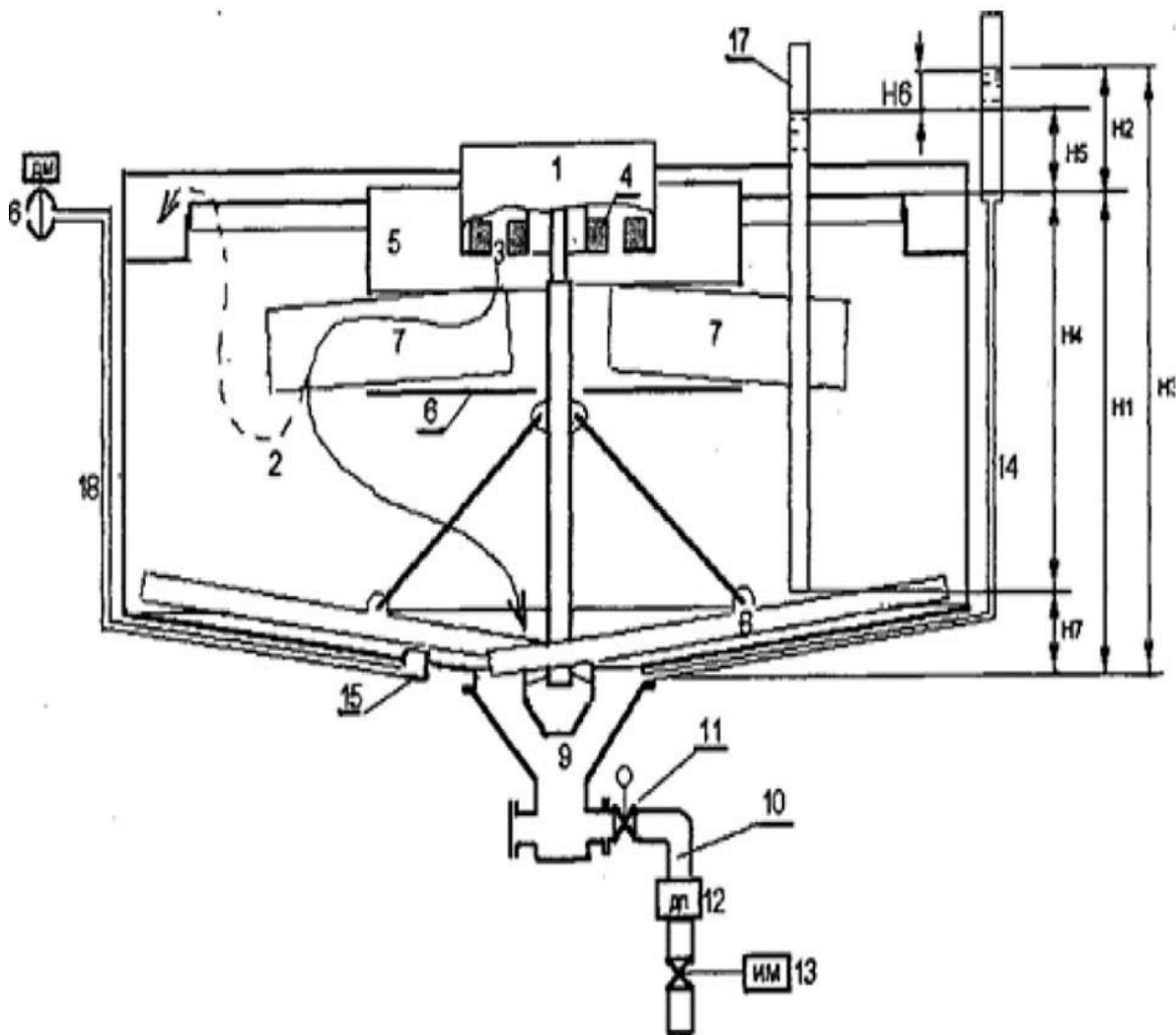


Рисунок 1.4 – Конструкція магнітного гідросепаратора МГС-5

Параметри магнітного дешламатора та показники його роботи представлені в таблиці 1.1.

В секції збагачення [4] встановлено 8 дешламаторів. Основні характеристики роботи секції включають:

1. Виробнича потужність секції за готовою рудою: 140-160 т/год
2. Співвідношення руда - вода в основному млині. Масовий вміст твердого: 75...82%.

						Арк.
					КНУ.КРБ.151.24.04.01.ПЗ	
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		18

3. Щільність відливу класифікатора 1150...1250 кгс/м<sup>3</sup>, циркулююче навантаження активної потужності приводу спіралі: до 40 кВт.

4. Рівень в технологічних зумпах: до 2 м.

5. Щільність розвантаження дешламатору 1500...1900 кгс/м<sup>3</sup>.

Таблиця.1.1 - Параметри магнітного дешламатора

Параметр	Величина
Діаметр чана	5000 мм.
Площа дзеркала осадження	19,6 м <sup>2</sup>
Крупність вихідного матеріалу	0-0,5 мм
Склад тревдого в живленні	18-20%
Частота обертання гребків	1,4 об/мин
Напруженість магнітного поля в середині робочого зазору намагнічує апарату	40 кА/м
Продуктивність по твердому	45-50 т/час
Потужність приводу	2.8 кВт

В лінії збагачення секції №1 збагачувальної фабрики гірничозбагачувального комбінату є декілька стадій дешламації, які мають невеликі відмінності. Продуктом дешламації 1 прийому (дешламатор 11, 12, 16) є відлив гідроциклонів Ø500 мм 1 прийому (№11). Розподіл навантаження між дешламаторами здійснюється за допомогою спеціальних пробок, які обладнані ручним приводом. Цей процес базується на візуальній оцінці потоку пульпи, який можна спостерігати в відкритих жолобах, а також на обсягу відливу. Останній також залежить від щільності пісків дешламатора. Процес дешламації включає наступні етапи: для 2-го прийому (дешламатори 13, 14) використовується відлив гідроциклонів Ø 500 мм 2 прийоми (№12). Третій прийом (17, 18) беруть піски з дешламатору 2 прийоми. Для 4-го прийому

					КНУ.КРБ.151.24.04.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		19

(дешламатор 15) використовуються піски з магнітних класифікаторів [5].  
 Параметри дешламації кожного з прийомів наведено в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 - Параметри технологічного процесу дешламації

Найменування		Од. вимір.	1 прийом	2 прийом	3 прийом
1.	Щільність	г/л	1140	1150-1180	1050-1080
	Зміст твердого	%	До 20	16-20	До 12
2.	Щільність пісків	г/л	1900-2000	1700-1900	1700-1750
	Зміст твердого	%	60-65	55-60	52-56
Дешламація концентрата					
3.	Щільність	г/л	1050-1080		
	Зміст твердого	%	До 12		
4.	Щільність пісків	г/л	1400-1500		
	Зміст твердого	%	37-45		

Циркулююче навантаження в системі дешламації сильно залежить від ряду факторів. Це включає продуктивність секції, параметри магнітної сепарації, щільність відливу класифікатора, стан насосів. Враховуючи ці фактори, при розробці СУ дешламацією на секції потрібно звернути увагу, що кожний прийом дешламації вимагає своїх індивідуальних налаштувань.

### 1.3.2 Процес дешламації як об'єкт керування

При розробці системи автоматизованого управління процесами збагачувальної фабрики слід звернути увагу на процес дешламації, як один з

					КНУ.КРБ.151.24.04.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		20

процесів, параметри роботи якого впливають на завантаження виробничого обладнання, такого як млин, сепаратори та ін., які необхідно враховувати при розробці системи, тобто розглянути дешламатор як об'єкт автоматизації.

Циркуляційне навантаження визначається продуктивністю секції, густини відливу класифікатора, станом насосів та параметрами магнітної сепарації. Отже, при проектуванні системи управління дешламацією на секції необхідно враховувати, що кожен прийом дешламації вимагає індивідуальних налаштувань.

### 1.3.3 Дешламатор як об'єкт керування

При проектуванні системи автоматичного управління процесами збагачення на заводі, необхідно звернути увагу на процес дешламації, як один з процесів, параметри якого впливають на завантаження виробничого обладнання, такого як млини, сепаратори тощо. Це означає, що дешламатор може бути представлений як система, що реагує на вхідні впливи та відповідає на них відповідними вихідними діями [8]. (рис. 1.5).



Рисунок 1.5 – Структурна схема дешламатора з вхідними та вихідними параметрами

Ключовими вхідними параметрами є:

–  $Q_{и}$  – який представляє кількість продукту, що поступає в чашу дешламатора;

- $\gamma_m$  – вміст твердої фракції у пульпі;
- $Q_{mv}$  – кількість твердої фази у живлинні;
- $Q_{ж}$  – кількість рідкої фази у живлинні;
- $\rho_u$  - густина живлення.
- $H_{ум}$  – положення виконавчого органу.

До вихідних параметрів відносяться:

- $\beta_k$  – вміст магнетиту в концентраті; –  $\gamma_k$  – вміст магнетиту в хвостах;
- $P$  – гідростатичний напір у ванні дешламатора;
- $\rho_n$  - густина розвантаження дешламатора.

Гідростатичний напір у ванні дешламатора [9] –  $P$ , можна віднести до керуючих параметрів на основі аналізу. Параметри  $Q_u$ ,  $\rho_u$ ,  $Q_{mv}$  та  $Q_{ж}$  впливають на роботу дешламатора. Ці параметри можуть змінюватися в залежності від різних факторів і є важливими для контролю процесу. Параметри обсяг зливу та висхідний потік, залежать від цих вхідних параметрів. Вони прямо пропорційні  $Q_u$ , і  $\rho_n$ , та обернено пропорційні  $\rho_u$  і  $\gamma_m$ . Це означає, що вони визначаються водою і твердим, що йде в злив. У таблиці 1.3 та на діаграмі (рис. 1.6) представлено залежність швидкості вільного падіння від розміру частинок.

В ході досліджень на обладнанні для видалення дрібних часток, було виявлено ряд факторів, що впливають на його ефективність. Результати експериментів показали, як щільність матеріалу впливає на його розподіл у ванні (зображено на графіках 1-4), а також як продуктивність впливає на щільність (пунктирні лінії 2а, 3а, 4а). При щільності 1900 кг/м<sup>3</sup> обладнання перейшло в аварійний режим, втрачаючи магнетит, але при тій же щільності в іншому експерименті працювало нормально, зі зливом щільністю 1050-1060 кг/м<sup>3</sup>.

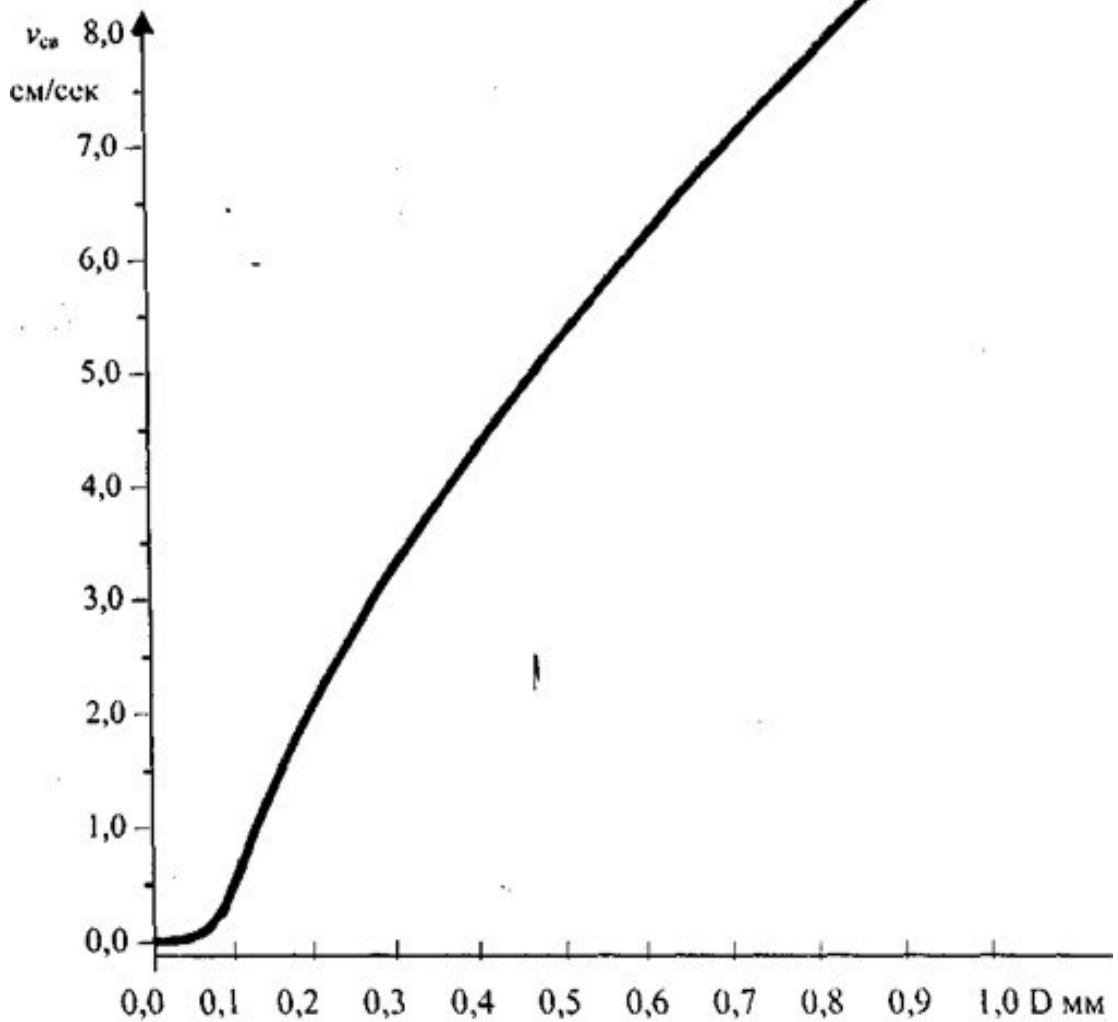


Рисунок 1.6 – Графік залежності швидкості падіння від розміру частинок

Таблиця 1.3 - Залежності швидкості  $V$  падіння від розміру  $D$  частинок

Розмір, мм	0,03	0,04	0,05	0,08	0,16	0,3	0,5	0,8
Швидкість, см/с	0,06	0,11	0,16	0,35	1,7	3,2	5,3	7,8

На рисунку 1.7 представлено розподіл матеріалу по глибині ванни.

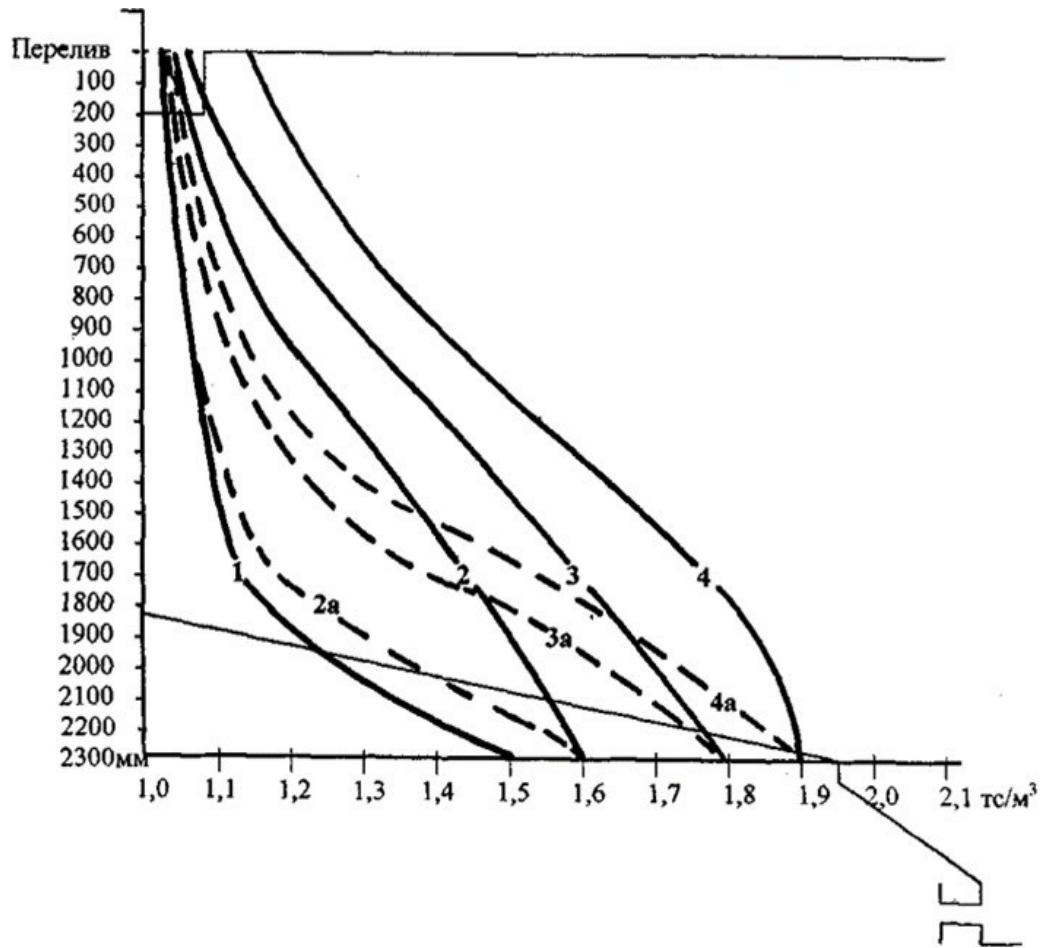


Рисунок 1.7 - Розподіл матеріалу в дешламаторі по глибині ванни

Для дешламаторів, які використовуються на гірничо-збагачувальному комбінаті, було розроблено стандартний принцип керування процесом. Дешламація вважається процесом з обмеженою кількістю регульованих параметрів. Для забезпечення мінімальної кількості концентрату (з втратами) в переливі та ефективного видалення нерудних частинок з пульпи, необхідно утримувати висоту магнетитового флокуляційного шару на визначеному рівні, що сприяє ефективності поділу та технологічному навантаженню апарату. Цей рівень встановлюється за допомогою індивідуального експерименту для заводу. Дешламатор був розроблений як пристрій з гідростатичним розвантаженням, тому основний принцип керування процесом дешламації полягає в регулюванні відкриття клапана на пісковій насадці, залежно від рівня згущеного продукту в чаші дешламатора. Таким чином, регулювання процесу дешламації розглядається через канал: «рівень магнетиту – положення виконавчого органу».



## 1.4 Поточний стан автоматизації секції збагачення на гірничозбагачувальному комбінаті

Автоматизація секції збагачення на гірничо-збагачувальному комбінаті включає в себе автоматичні системи управління технологічним процесом (АСУТП) для кожного операторського (диспетчерського) пункту, розподілені по технологічних секціях (півсекціях).

В цехах збагачення проводиться автоматичний контроль таких технологічних параметрів як [10]:

- швидкість живильників - сигнал від тиристорного перетворювача (ТЕ-4) для керування швидкістю живильників;
- водоспоживання млина - електромагнітним витратоміром.
- потужність електроприводу млину ММС - перетворювачем потужності Е829;
- щільність зливу після класифікатора на першій стадії подрібнення – радіоізотопним щільномірами (РЩ-24) ;
- потужність електропривода млину МРГ - перетворювачем потужності Е829;
- продуктивність секції по руді - вимірюється за допомогою лічильника палет живильників, який оснащений безконтактним датчиком КВП-16;
- піскове навантаження класифікаторів I та II ст. подрібнення визначається за сигналом струму, який споживають електродвигуни [34] приводів класифікаторів.

Всі технологічні параметри надходять в АСУТП на комп'ютери, розташовані в операторських і диспетчерських пунктах, а також в інформаційну мережу комбінату. Управління ТП виконується за допомогою схем автоматичного регулювання (САР), які базуються на контролерах. Однак, станом на сьогодні, в секції збагачення гірничозбагачувального комбінату відсутня автоматизація процесу дешламації. Керування процесом розвантаження дешламатора виконується вручну. Це здійснюється на основі

					КНУ.КРБ.151.24.04.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		25

результатів ручного відбору проб в розвантаженні. Щільність пульпи визначається за допомогою ємності і вагів, що дозволяє обслуговуючому персоналу точно контролювати процес.

Недоліки поточної системи управління процесом дешламації в секції збагачення гірничозбагачувального комбінату включають:

1. В секції збагачення комбінату процес розвантаження дешламаторів виконується вручну, що може бути неефективним і часом затратним.

2. Призвести до помилок і непостійності в процесі дешламації може відсутність систем автоматичної стабілізації рівня переливу дешламаторів.

3. Ручне керування процесом дешламації в секції збагачення.

4. Відсутність дистанційного контролю і дистанційного керування технологічним процесом.

5. Не забезпечується оптимальному режим технологічного процесу, що враховує як кількісні, так і якісні характеристики продукту.

### **1.5 Огляд відомих рішень керування технологічним процесом**

Існуючі на теперішній час методи регулювання: а) за щільністю пісків; б) за рівнем осаду з прямим виміром; в) за рівнем осаду з виміром гідростатичного тиску.

Зазначено, що система з радіоактивним щільноміром, розроблена Київським інститутом автоматики, має недоліки, такі як ненадійність та висока вартість.

Як альтернативний метод вимірювання щільності, замість радіоізотопних пристроїв, використовується ультразвуковий густиномір [6]. Цей прилад включає в себе вимірювальний елемент, який розміщений між фланцями на трубопроводі і складається з фторопластової прокладки. Ультразвуковий густиномір екологічно безпечний, не потребує додаткового простору чи опорних конструкцій для встановлення, на відміну від радіоізотопних приладів.

					КНУ.КРБ.151.24.04.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		26

Однак, ці прилади не стали широко поширеними через їх складність, вартість і відсутність універсальності для різних середовищ. Вони переважно використовуються для вимірювання щільності однорідних середовищ, але рідко застосовуються для суспензій, таких як рудні пульпи, через вплив розміру частинок, розшарування матеріалу, температури та інших факторів. Компенсація цих параметрів часто є складною і призводить до збільшення вартості приладу.

Експерименти з безпосереднім виміром висоти шару осаду індуктивними датчиками проводяться на деяких комбінатах. Вони вимірюють концентрацію магнетиту на певній висоті, а не рівень осаду. Наприклад, для ГЗК ця система підходить лише для першої стадії дешламації, оскільки на другій стадії оптимальний рівень знаходиться на рівні граблів, і тут вона неефективна. На першій стадії використання такого пристрою обмежене через відсутність надійного датчика для контролю магнітної проникності пульпи.

У системах регулювання рівня осаду, де використовується непряме вимірювання параметрів, датчик тиску знаходиться поблизу днища дешламатора. Цей датчик вимірює тиск, що створюється вагою стовпа пульпи. Визначення тиску ускладнюється наявністю ущільненого рудного ліжка, а розміщення датчиків у місцях з інтенсивним потоком неможливе через вплив швидкості середовища. Для боротьби з цими проблемами розроблено кілька методів, включаючи вимірювання гідростатичного тиску з руйнуванням ущільненого ліжка, вимірювання вище за граблі, та вимірювання у шарі осаду. Київський інститут автоматики розробив посудину, що мінімізує вплив осаду на показання датчика тиску.

При визначенні точності вимірювань важливо враховувати, що у дешламаторі немає стійкого зв'язку між густиною розвантаження та рівнем осаду, оптимальна щільність пісків досягається при певному рівні осаду, а гранична густина на дешламаторах другого і третього прийому досягається при дуже низьких рівнях осаду. Зміни в рівні осаду впливають на ступінь відкриття шлангового затвора та транспортне запізнення.

					КНУ.КРБ.151.24.04.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		27

## 1.6 Основні вимоги до системи керування процесом дешламації

### 1.6.1 Функціональні вимоги

Функціональні можливості інтегрованої комп'ютерної системи автоматизованого керування дешламатором:

1. Управління дешламатором секції збагачення з центрального диспетчерського пункту [5]:

- візуальний моніторинг параметрів технологічного об'єкта;
- дистанційне управління технологічним об'єктом; - віддалене включення/відключення технологічного об'єкта.

2. Моніторинг ключових параметрів роботи дешламатора:

- щільність пульпи при розвантаженні дешламатора;
- рівень переливу дешламатора (висота переливу);
- рівень магнетиту;
- обсяг додаткової води;
- положення ВМ додаткової води;
- положення ВМ розвантаження дешламатора.

3. Захисні функції механічного і електричного обладнання:

- попереджувальна та аварійна сигналізація;
- системи протиаварійного захисту (блокувальні залежності).

4. Функції автоматичного управління: Для автоматичної роботи дешламатора потрібно створити інтегровану комп'ютерну систему автоматизованого керування дешламатором секції збагачення гірничозбагачувального комбінату, яка буде містити наступні контури керування [6]:

- контур керування рівня магнетиту в дешламаторі (керування в розвантаженні виконавчим механізмом).

- контур регулювання рівня переливу (управління виконавчим механізмом в засувці додаткової води).

					КНУ.КРБ.151.24.04.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		28

### 1.6.2 Технічні вимоги до системи управління

У контексті автоматизованої системи для автоматизованого управління процесом дешламації в гірничозбагачувальному відділенні, використовується розподілена система керування. Вона розроблена для автоматизації технологічних процесів, які базуються на даних, отриманих від контрольних датчиків та приладів. Вона включає збір, обробку первинної інформації про параметри процесів, що дозволяє точно контролювати і оптимізувати роботу обладнання. Система також забезпечує архівацію, передачу та збереження даних, що сприяє ефективному використанню інформації та підтримці високого рівня продуктивності. Однією з ключових функцій системи є розрахунок показників ефективності дешламації. Це дозволяє визначити, наскільки ефективно працює процес, і виявити можливі області для покращення.

Крім того, система формує управлінські команди та сигнали аварійного захисту. Це забезпечує безпеку обладнання та персоналу, а також дозволяє швидко реагувати на будь-які непередбачені ситуації.

Пропонується система управління з трьома рівнями:

На **першому (польовому) рівні**, система збирає дані про параметри технологічного процесу та стан обладнання, виконуючи управлінські дії. Основні технічні засоби цього рівня включають датчики температури, тиску, витрат, щільності, рівня, каламутності тощо, а також пристрої для керування засувками та насосами.

**Середній рівень** відповідає за автоматичне управління та регулювання, запуск та зупинку обладнання, логічне управління та аварійні відключення. Він базується на промислових логічних контролерах і включає шафи з модулями вводу-виводу, програмне забезпечення, комунікаційні модулі та місцеві шафи управління.

**Верхній рівень** залучає оперативний персонал для диспетчеризації процесів, оптимізації показників, візуалізації, архівації, діагностики та корекції програмного забезпечення. Він реалізується за допомогою SCADA, серверів баз

					КНУ.КРБ.151.24.04.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		29

даних, телекомунікаційного обладнання та автоматизованих робочих місць інженерно-технічного персоналу.

## Висновки до розділу 1

1. Приведена загальна характеристика гірничозбагачувального комбінату та його технологічних процесів.

2. Аналіз технологічного процесу збагачення показав, що магнітні дешламатори або гідросепаратори використовуються на збагачувальній фабриці для видалення шламів і концентрації зливу гідроциклонів (дрібно подрібнені магнетитові проміжні продукти) перед магнітним збагаченням і концентрату магнітного продукту перед його водовідведенням.

3. Визначено параметри дешламатора як об'єкта керування. Циркуляційне навантаження визначається продуктивністю секції, густини відливу класифікатора, станом насосів та параметрами магнітної сепарації. Дешламація вважається процесом з обмеженою кількістю регульованих параметрів. Для забезпечення мінімальної кількості концентрату (з втратами) в переливі та ефективного видалення нерудних частинок з пульпи, необхідно утримувати висоту магнетитового флокуляційного шару на визначеному рівні, що сприяє ефективності поділу та технологічному навантаженню апарату.

4. Виконано аналіз поточного стану автоматизації секції збагачення на гірничозбагачувальному комбінаті. Управління ТП виконується за допомогою схем автоматичного регулювання (САР), які базуються на контролерах. Однак, станом на сьогодні, в секції збагачення гірничозбагачувального комбінату відсутня автоматизація процесу дешламації. Керування процесом розвантаження дешламатора виконується вручну.

5. Виконано огляд відомих рішень керування технологічним процесом

6. Сформульовано основні вимоги до системи керування процесом дешламації.

					КНУ.КРБ.151.24.04.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		30

## РОЗДІЛ 2

### СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ТА ЇЇ ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ

#### 2.1 Структурна та функціональна схеми автоматизації та керування технологічним процесом дешламації

Комп'ютерно-інтегрована система автоматизованого керування (КІС АК) технологічним процесом переділу дешламації секції збагачення гірничозбагачувального комбінату має декілька контурів автоматичного керування [11]:

- контур регуляція рівня магнетиту у дешламаторі.
- контур регуляції рівня переливу (керування виконавчим механізмом в засувки додаткової води).

В комп'ютерно-інтегрованій системі автоматизованого керування дешламацією можливе використання таких контрольно-вимірювальних приладів [12], як датчики вимірювання рівня магнетиту та вимірювання рівня переливу дешламатора, датчики положень виконавчих механізмів подачі додаткової води і розвантаження.

Структурна схема системи автоматичного керування дешламації наведена на рис. 2.1.

Датчик у зоні розвантаження, крім вимірювання рівня магнетиту, також визначає густину пульпи, що в свою чергу визначає потребу в керуванні розвантажувальним пристроєм дешламатора.

					<i>КНУ.КРБ.151.24.04.02.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<b>РОЗДІЛ 2</b>	<i>Літера</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Разробив</i>		<i>Павлічук О.Ю.</i>					31	
<i>Перевірів</i>		<i>Тиханський М.П.</i>						
<i>Н.контроль</i>		<i>Маринич І.А.</i>						
<i>Затвердив</i>								
						<i>КНУ АКІТ-20</i>		

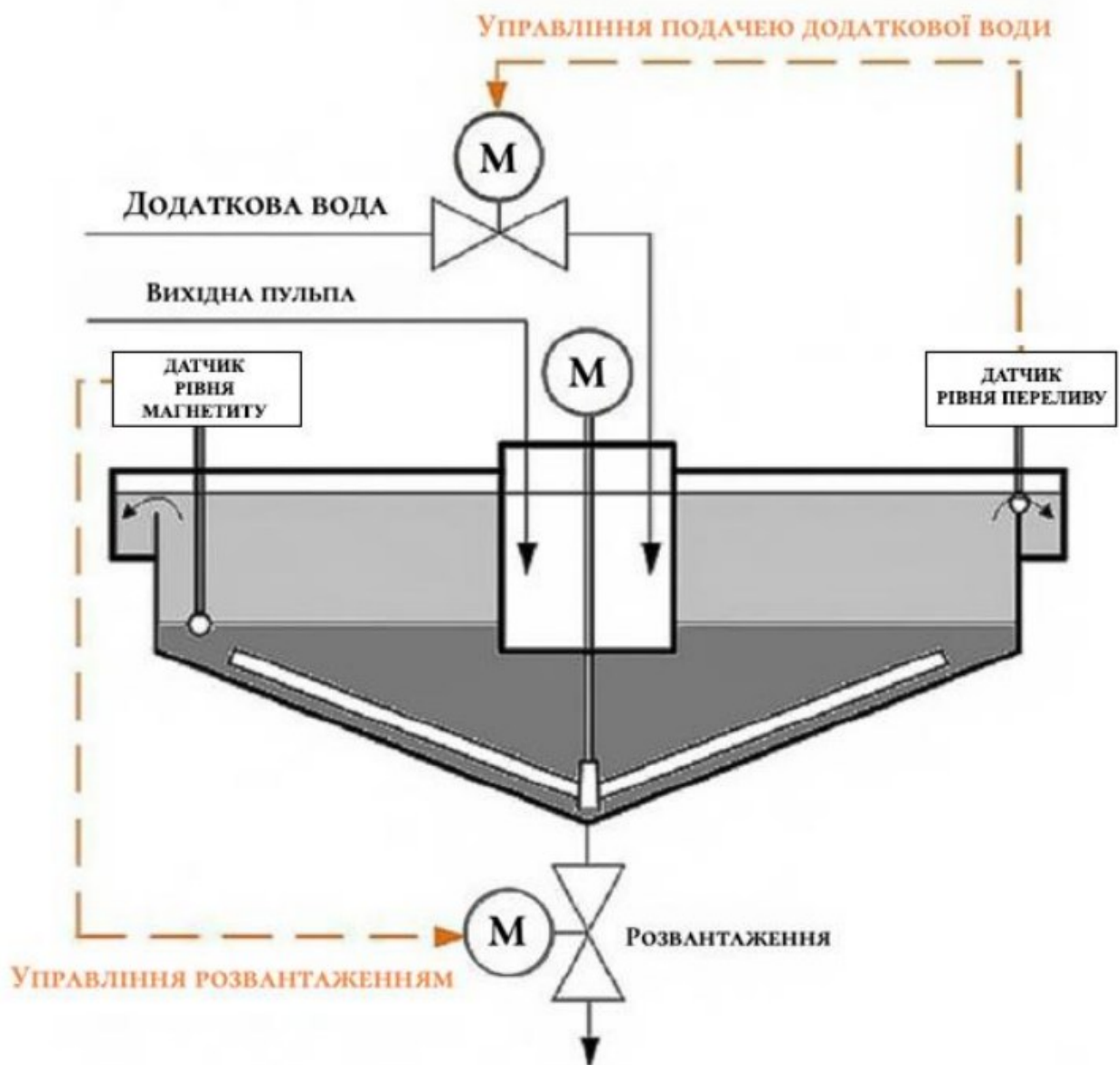


Рисунок 2.1 - Візуалізація структури системи автоматизованого управління переділу дешламації

Управління механізмом розвантаження дешламатора відбувається на основі інформації, отриманої від датчика рівня магнетиту. Наприклад, якщо поточний рівень магнетиту перевищує задане значення, система автоматичного керування збільшує відкриття розвантажувального пристрою; при зниженні поточного рівня магнетиту нижче заданого - відкриття розвантажувального пристрою зменшується.



Контроль і керування процесом відмивання концентрату від кремнію і порожньої породи потребує використання датчиків рівня переливу на зливному жолобі.

Управління виконавчим механізмом додаткової води в дешламаторі здійснюється на основі даних від датчика рівня переливу. Якщо рівень переливу вищий за задане значення, система управління автоматично зменшує відкриття виконавчого механізму засувки додаткової води. Навпаки, якщо рівень переливу нижчий за задане значення, система керування автоматично збільшує відкриття.

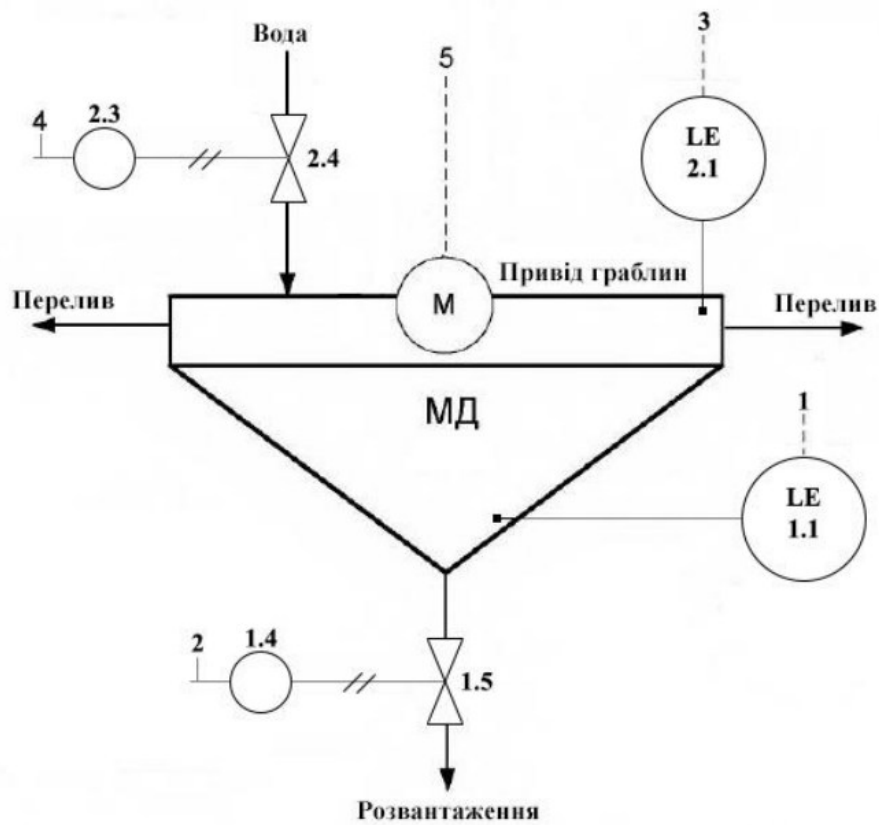
Це доводить, що система керування самостійно коригує роботу дешламатора при будь-якій зміні кількісних параметрів процесу відмивання залізородного концентрату.

Функціональна схема - це важливий конструкторський документ, який визначає порядок, склад та обсяг автоматизації технологічних установок і окремих агрегатів промислового об'єкта [5, 11].

Згідно з вимогами, розроблено функціональну схему автоматизації технологічного процесу переділу дешламації секції збагачення гірничозбагачувального комбінату, яка зображена на рис. 2.2.

На рисунку 2.2 прийняті наступні позначення: *M* – електропривід; *1.1* – первинний перетворювач рівня магнетиту; *1.2* – прилад показуючий рівень магнетиту; *1.3* – регулятор; *1.4* – виконавчий механізм, який у разі припинення подачі керуючого сигналу не змінює положення регулюючого органу *1.5*; *2.1* – первинний перетворювач рівня переливу; *2.2* – прилад показуючий рівень переливу, з сигналізацією; *2.3* – виконавчий механізм, який у разі припинення подачі керуючого сигналу не змінює положення регулюючого органу *2.4*; *3.1* – кнопкова станція; *3.2* – електромагнітний пускач.

					КНУ.КРБ.151.24.04.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		33



	1	2	3	4	5
ПРИЛАД ЗА МІСЦЕМ	LI 1.2				NS 3.2
ЩИТ КЕРУВАННЯ	LC 1.3		LICA 2.2		NS 3.1
КОНТУР РЕГУЛЮВАННЯ	САК РОЗВАНТАЖЕННЯ ЗА РІВНЕМ МАГНЕТИТУ		САК ПОДАЧІ ДОДАТК. ВОДИ ЗА РІВНЕМ ПЕРЕЛИВУ		ЗАПУСК/ЗУПИНКА

Рисунок 2.2 - Функціональна схема автоматизації та керування технологічним процесом дешламації на збагачувальній фабриці



Елемент «Збурення» призначений для моделювання процесу осадження магнетитових частинок.

Розрахунок коефіцієнта посилення об'єкта керування:

$$K = 1/S_{пер},$$

де  $S_{пер}$  - площа робочої ємності дешламатора в горизонтальному перерізі.

Діаметр МД 5 метрів, відповідно площа горизонтального перерізу робочої ємності  $S_{пер} = 19,625 \text{ м}^2$ .

При моделюванні поточного рівня враховуємо вплив перешкод на систему вимірювання.

Пам'ятаємо, що витрату на вході об'єкта управління ділять на шістьдесят, так як час моделювання обчислюється в хв. Враховуємо перехід від рівня магнетиту в метрах до рівня магнетиту в %, тому витрату на вході об'єкта управління множимо на сто.

Об'єднуючи ці тонкощі вводимо на вході об'єкта управління додатковий коефіцієнт  $100/60 = 1,67$ .

На рис. 2.4 представлена математична модель об'єкта керування.

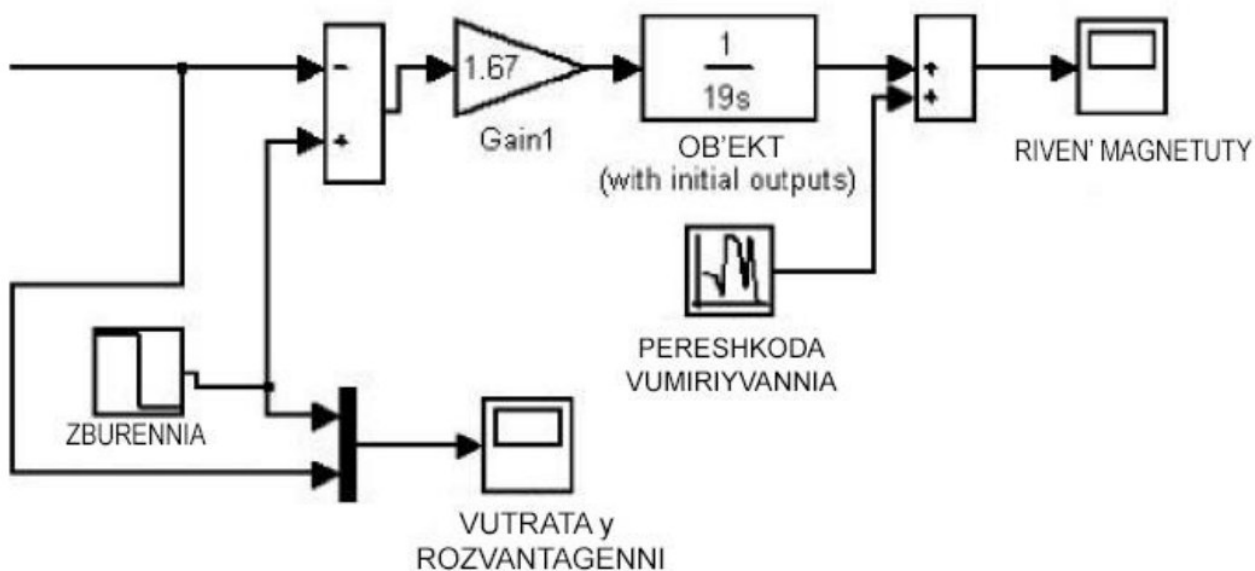


Рисунок 2.4 - Математична модель об'єкта керування (дешламатора)

### *Математичний опис виконавчого механізму розвантаження дешламатора*

Пристрій розвантаження дешламатора складається з виконавчого механізму з електроприводом та регульованого клапана.

Час, необхідний виконавчому механізму для переходу з початкового стану до кінцевого, становить 400 секунд. Щодо математичної моделі виконавчого механізму, вона буде представлена у відповідному форматі.

$$W_{\text{вм}} = 100/6,66 \cdot S$$

де коефіцієнт  $100$  - відношення повного ступеня відкриття засувки розвантаження дешламатора до значення максимального вхідного сигналу на вході, коефіцієнт в знаменнику - постійна часу ВМ, дорівнює часу проходження виконавчого механізму з початкового в кінцеве положення:  $T_{\text{вм}} = 400 \text{ с} = 6,66 \text{ хв}$ .

### *Математичний опис засувки в розвантаженні*

Засувка в розвантаженні являє собою регульований клапан (прямоточний шланговий запірний).

Математична модель регульованого клапану представляє собою коефіцієнт посилення. Цей коефіцієнт визначається як відношення витрат магнетиту при розвантаженні до ступеня відкриття засувки в регламентованому режимі роботи дешламатора:  $K 220 \text{ т} / \text{год} / 80\% 2,75$ .

### *Математичний опис регулюючого пристрою*

В якості регулятора обираємо ПІД-регулятор. Він формує завдання по витраті на розвантаження дешламатора. Аббревіатура ПІД-регулятор ідеально підходить для систем керування, що мають елементи зворотного зв'язку. Перш за все, це стосується автоматичних систем, в яких генеруються сигнали керування, що забезпечують високу точність і якість перехідних процесів.

					КНУ.КРБ.151.24.04.02.ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

До складу керуючого сигналу ПІД-регулятора входять три основних компоненти, що складаються між собою і знаходяться в пропорції з певною величиною: перший - з сигналом неузгодженості, другий - з інтегралом сигналу неузгодженості, третій - з похідною сигналу неузгодженості.

#### *Синтез контуру регулювання рівня магнетиту дешламатора*

На рисунку 2.5 представлено виконаний синтез контуру регулювання рівня магнетиту дешламатора в середовищі Matlab [30, 31].

Виконавши процедури NCD в Matlab визначили оптимальні коефіцієнти ПІД-регулятора для контуру регулювання рівня магнетиту дешламатора.

Початкові умови моделювання:

- початковий обсяг витрати флокул магнетиту становить 190 м<sup>3</sup>/год, але згодом він зменшується до 170 м<sup>3</sup>/год;
- завдання по рівню магнетиту після 10-ї хвилини знижується до 75%.
- час моделювання складає 1,33 год.

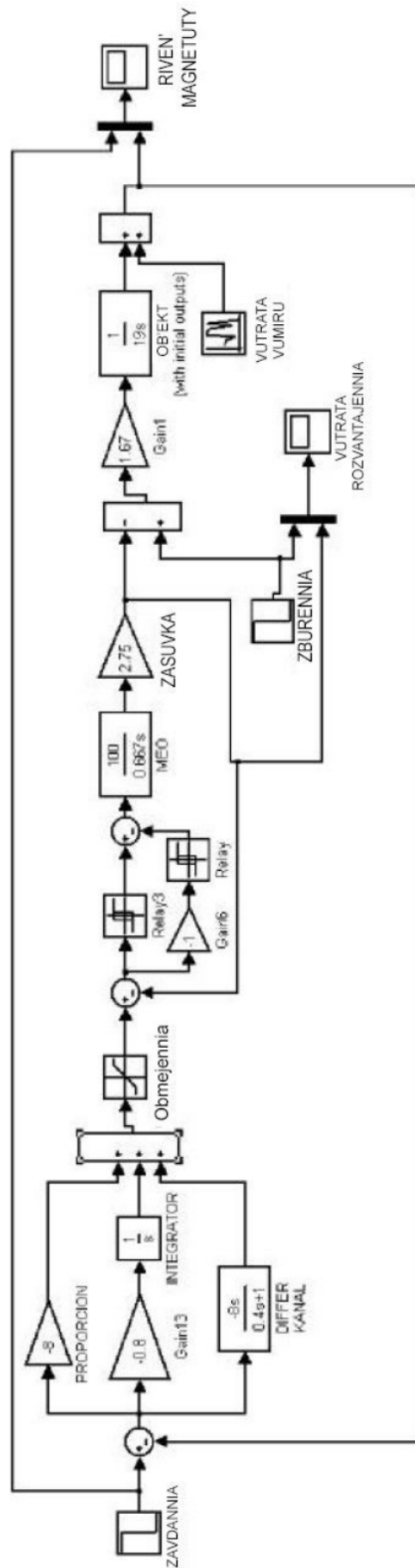
#### *Результати моделювання процесу керування рівня магнетиту у дешламаторі.*

Перехідні характеристики зміни завдання за рівнем магнетиту і поточного рівня магнетиту показані на рисунку 2.6.

На рисунку 2.7 представлені перехідні характеристики, що відображають зміни витрати осадження магнетиту та витрати через пристрій розвантаження на виході дешламатора.

Аналіз перехідних характеристик вказує на ефективність системи управління, яка проявляється як при зміні завдання, так і при компенсації збурень.

					КНУ.КРБ.151.24.04.02.ПЗ	Арк.
						38
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		



на схема моделі в середовищі Matl  
магнетиту дешламатора

Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата

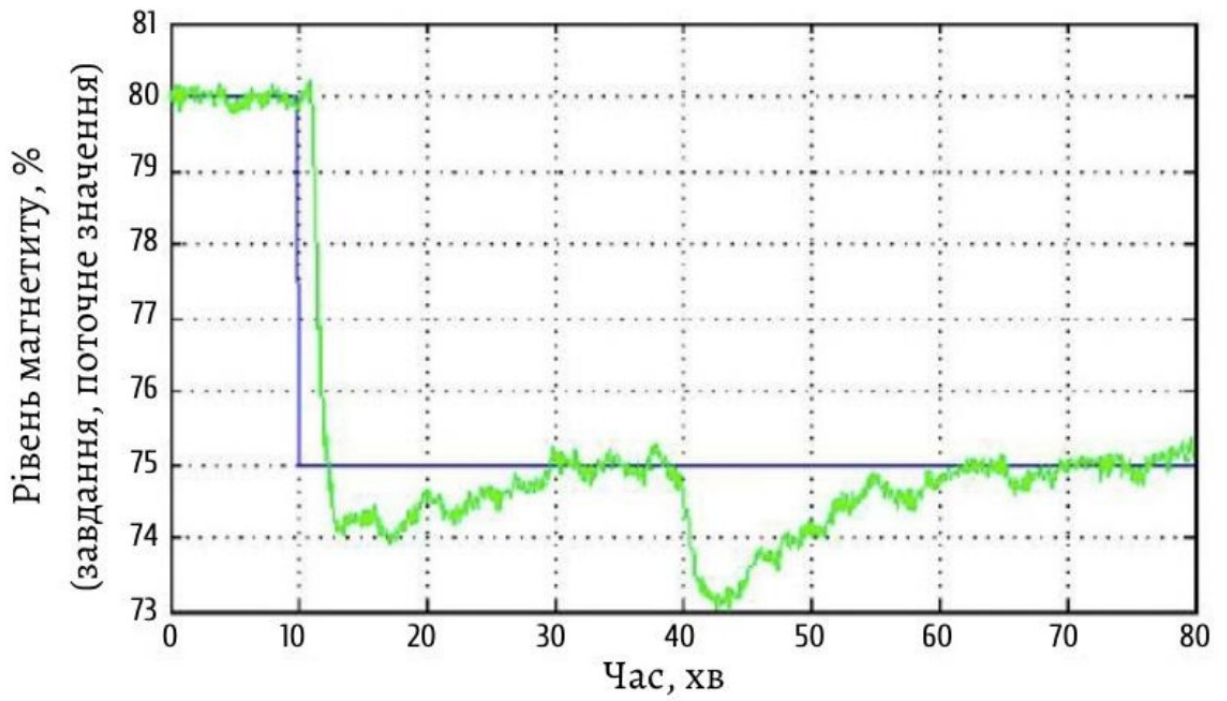


Рисунок 2.6 – Завдання та поточний рівень магнетиту

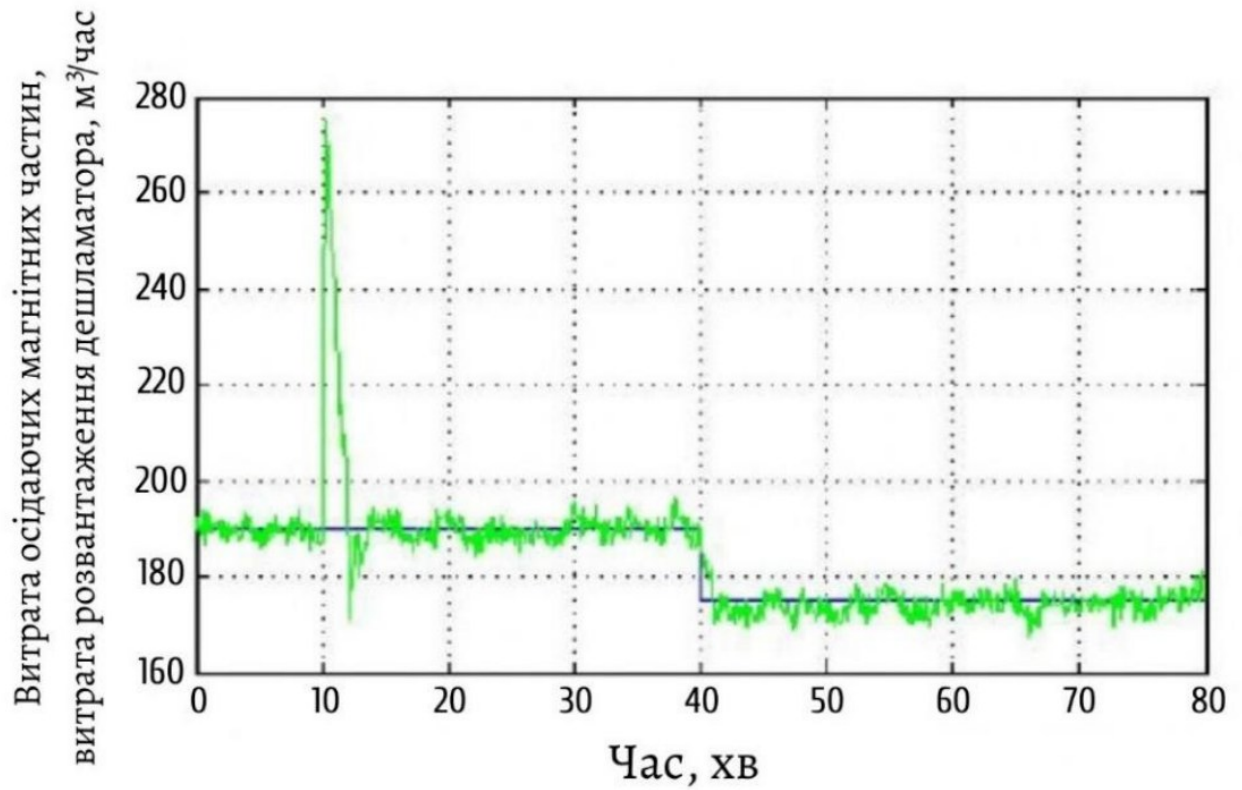


Рисунок 2.7 - Витрата магнетиту в живленні і витрата в розвантаженні

Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата



## 2.2.2 Контур керування рівня переливу в дешламаторі

На рисунку 2.8 наведена розроблена структура контуру регулювання рівня переливу в дешламаторі секції збагачення гірничозбагачувального комбінату.

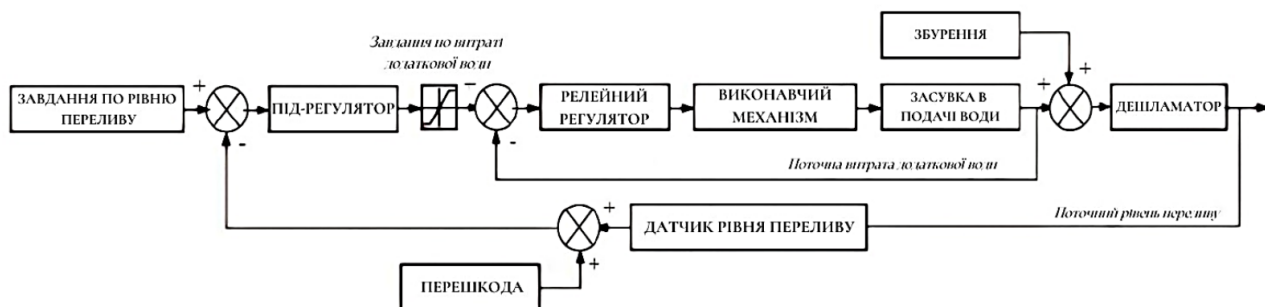


Рисунок 2.8 - Функціональна схема контуру керування рівня переливу в дешламаторі

Контур регулювання складається з елементів: виконавчий механізм, елемент завдання (завдання бажаного значення рівня переливу від оператора), датчик рівня переливу - рівнемір (поточне виміряне значення рівня магнетиту, блок обмеження амплітуди керуючого впливу, регулятор релейного типу, засувка подачі технічної води, ПІД-регулятор, об'єкт керування.

### Математичний опис об'єкта керування (дешламатора)

Модель дешламатора математично представляємо як передавальну функцію у вигляді інтегратора. Вхідними даними для моделі є різниця між обсягом вхідного потоку та обсягом води, що переливається через дешламатор.

Загальний обсяг вхідного потоку відповідає сумі обсягів нової додаткової води та подачі пульпи на вхід дешламатора, з урахуванням обсягу витрат магнетиту при розвантаженні дешламатора.

Вихідними даними моделі є рівень переливу в кільцевому жолобі дешламатора. Імітація обсягів подачі пульпи на вхід дешламатора та витрат магнетиту при розвантаженні дешламатора відбувається в блоку "Збурення".

Розрахунок коефіцієнта посилення об'єкта керування:

					КНУ.КРБ.151.24.04.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		41

$$K = 1/S_{пер},$$

де  $S_{пер}$  -  $S$  горизонтального перерізу дешламатора. При діаметрі дешламатора 120 см  $S_{пер}$  буде дорівнювати 115 м<sup>2</sup>.

Під час моделювання ми також враховуємо вплив перешкод на систему вимірювання.

Витрату на вході об'єкта управління ділять на шістьдесят, так як час моделювання обчислюється в хв. Враховуємо перехід від рівня переливу в метрах до рівня в см, тому витрату на вході об'єкта управління множимо на сто.

Об'єднуючи ці тонкощі вводимо на вході об'єкта управління додатковий коефіцієнт  $100/60 = 1,67$ .

На рисунку 2.9 представлена математична модель об'єкта керування в якій негативний зворотний зв'язок з виходу заводиться на вхід об'єкта. Це відбувається через те, що високий рівень переливу в дешламаторі вказує на більший обсяг рідини, який витікає через перелив. Це важливий аспект у процесі регулювання та контролю рівня переливу.

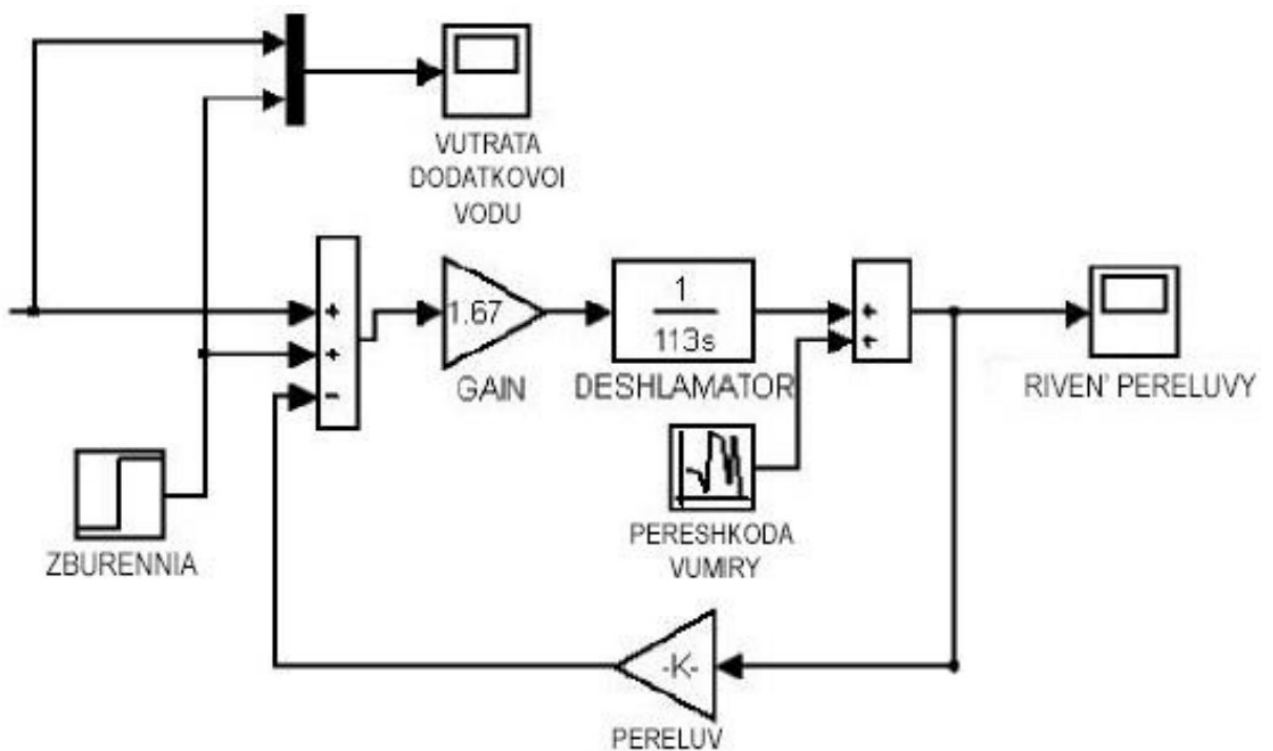


Рисунок 2.9 - Математична модель об'єкта керування (дешламатора)

*Математичний опис подачі додаткової води виконавчого механізму*

Математичне представлення виконавчого механізму, що контролює подачу додаткової води, включає в себе такі елементи:

– час, який потрібен виконавчому механізму для переміщення з початкового положення до кінцевого, складає 63 секунди. Такі дані походять з технічних характеристик виконавчого механізму та досліджень дешламатора.

Математична модель виконавчого механізму прийме вигляд:

$$W_{em}(s) = 100/1,05 \cdot s,$$

– коефіцієнт 100 це відношення  $\frac{\text{макс.ступеня відкриття засувки додаткової води}}{\text{найвищого значення вхідного сигналу}}$ .

Постійна часу виконавчого механізму відповідає часу за який виконавчий механізм проходить від початкового до кінцевого положення, що складає:  $T_{em} = 63 \text{ секунди або } 1,05 \text{ хвилини}$ .

*Математичний опис засувки подачі додаткової води*

Засувки подачі додаткової води виконані з можливістю регулювання. Математична модель регульованої засувки визначається коефіцієнтом підсилення, що дорівнює відношенню витрати додаткової води до ступеня відкриття засувки під час регламентного режиму роботи дешламатора:

$$K = \frac{72 \text{ м}^3/\text{год}}{100 \%} = 0,72$$

Нижня межа витрата додаткової води 0, верхня – 72 м<sup>3</sup>/год.

					КНУ.КРБ.151.24.04.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		43

### *Математичний опис регулюючого пристрою*

Оскільки математичне представлення дешламатора виконано у вигляді інтегруючої ланки, ми обираємо ПД-регулятор як найбільш підходящий інструмент для регулювання. Цей пристрій формує завдання витрати на розвантаження дешламатора. Межі витрати в розвантаженні задаємо в інтервалі 0 - 72 м<sup>3</sup>/год.

### *Синтез контуру керування рівня переливу в дешламаторі*

В роботі виконано синтез контуру для регулювання рівня переливу в дешламаторі, використовуючи середовище MatLAB. Структурна схема цього контуру, яка демонструє регулювання рівня переливу в дешламаторі, відображена на рисунку 2.10.

Виконавши процедури NCD в Matlab визначили оптимальні коефіцієнти ПД-регулятора для контуру регулювання рівня переливу дешламатора.

Для моделювання обрали такі початкові умови:

- час моделювання 1 год.
- початковий рівень збурення було встановлено на 250 м<sup>3</sup>/год, але пізніше цей показник було збільшено до 270 м<sup>3</sup>/год.
- завдання за рівнем переливу було встановлено на 8 см до 35-ї хвилини, після чого цей показник було збільшено до 10 см.

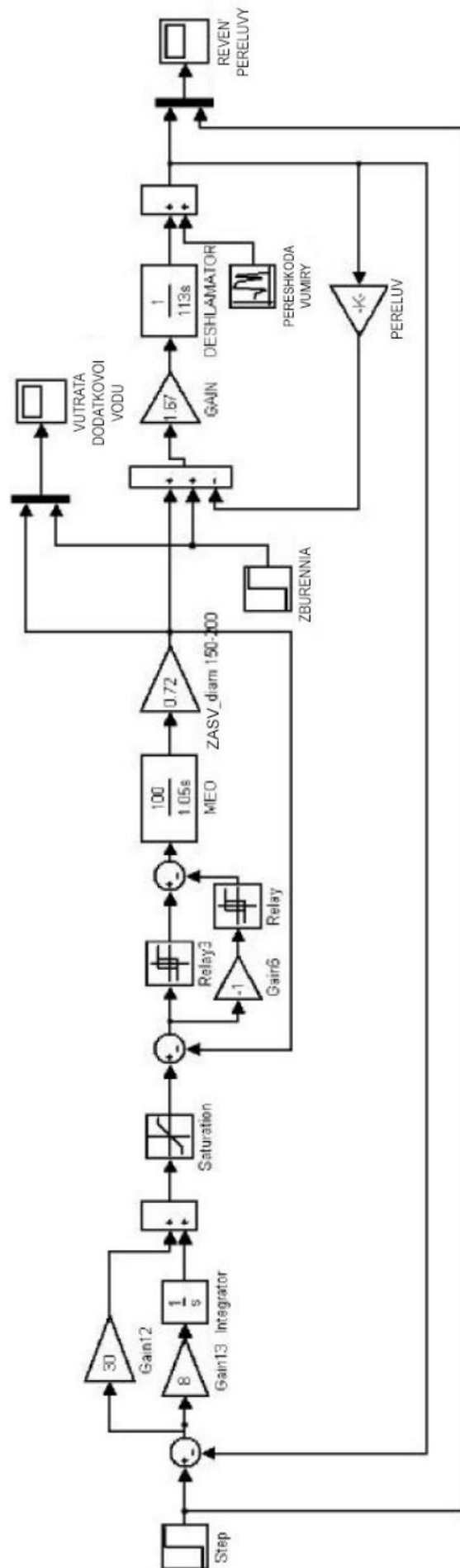
### *Результати моделювання контуру регулювання рівня переливу дешламатора*

Перехідні характеристики зміни завдання за рівнем переливу і поточного рівня переливу показані на рисунку 2.11.

Характеристики збурення та витрата технічної води наведені на рисунку 2.12.

Проаналізувавши перехідні характеристики робимо висновок, що результати роботи системи керування, як в режимі зміни завдання, так і в режимі компенсації збурення хороші.

					КНУ.КРБ.151.24.04.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		44



ема моделі в середовищі Mat  
переливу в дешламаторі

Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата

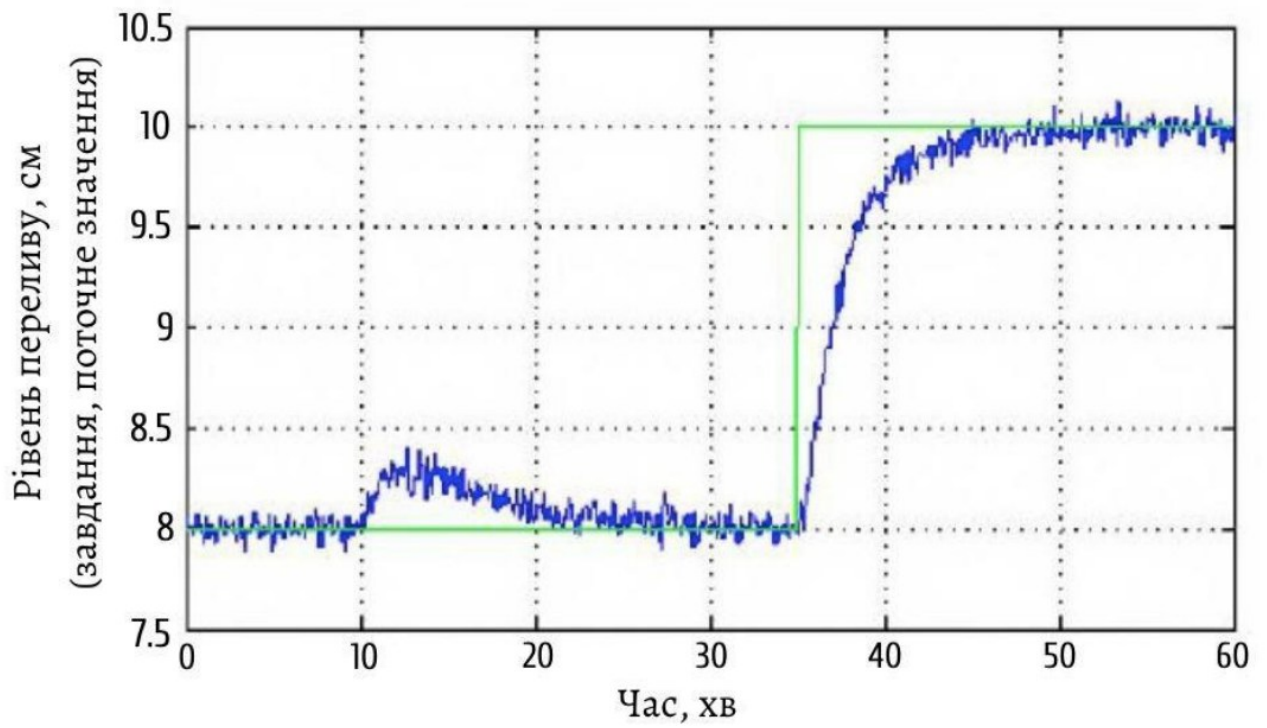


Рисунок 2.11 - Завдання і поточний рівень переливу дешламатора

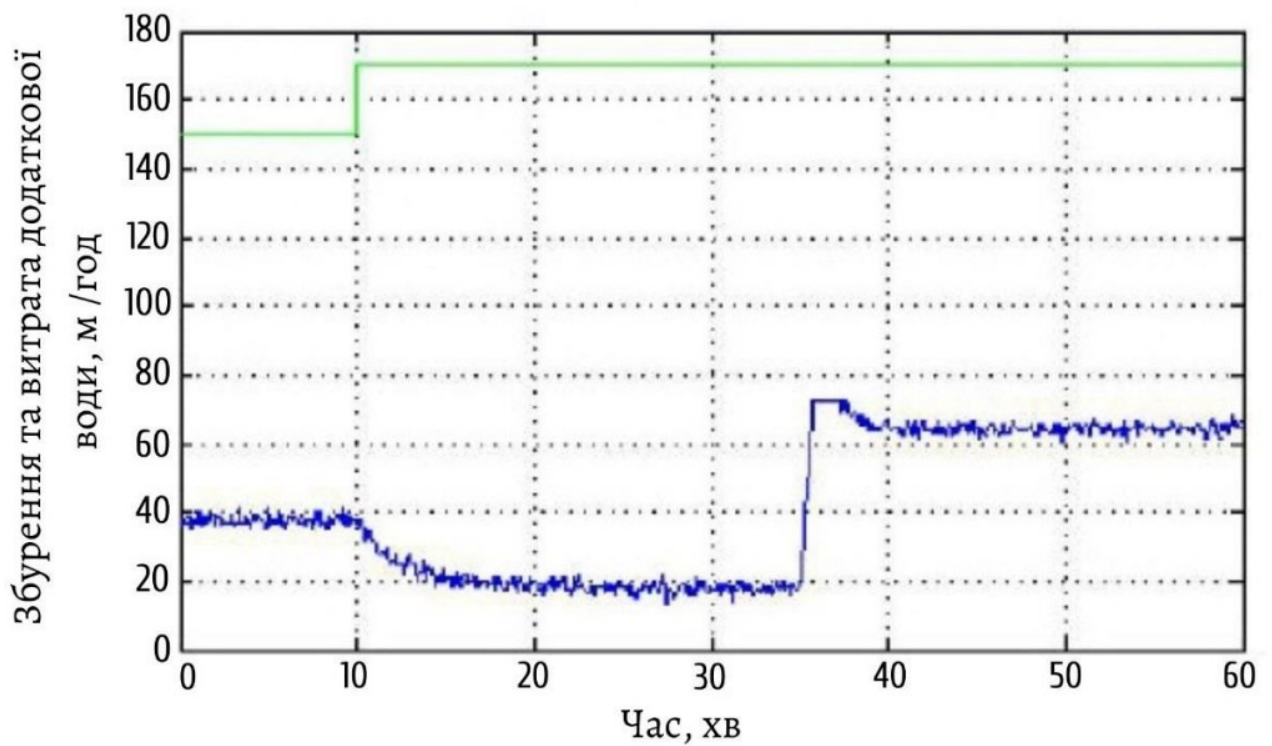


Рисунок 2.12 - Збурення та витрата технічної води

Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата

КНУ.КРБ.151.24.04.02.ПЗ

Арк.

46

## 2.3 Інформаційне забезпечення системи

Створимо інформаційного забезпечення для автоматизованої системи, яка автоматизує керування технологічним процесом дешламації в секції збагачення гірничозбагачувального комбінату.

Таблиця 2.1 - Інформаційне забезпечення системи

№	Назва сигналу	Тип сигналу
1	Рівень магнетиту	AI
2	Рівень переливу	AI
3	Положення виконавчого механізму пристрою розвантаження	AI
4	Положення виконавчого механізму засувки додаткової води	AI
5	Керування засувкою розвантаження дешламатора	DO
6	Керування засувкою додаткової води	DO
7	Керування засувкою подачі живлення	DO
8	Запуск/зупинка приводу граблін дешламатора	DI

## 2.4 Алгоритмічне забезпечення системи

### 2.4.1 Алгоритм контуру регулювання рівня магнетиту дешламатора

На рисунку 2.13 продемонстровано алгоритм для контуру регулювання рівня магнетиту в дешламаторі, який є основним контуром функціонування нижнього рівня автоматизованої системи автоматизованого керування технологічним процесом дешламації. Алгоритм реалізовується у вигляді програмного коду для контролера і відповідає за виконання основних функцій контролера.

Функції цього алгоритму включають:

- конфігурацію параметрів контролера та ініціалізацію змінних для оптимального керування;
- аналіз отриманих даних для виявлення та запобігання аварійних ситуацій. У випадку виявлення аварійної ситуації, оператора буде негайно повідомлено [13];
- збір даних з польових датчиків і встановлення значень від оператора для точного моніторингу та контролю;
- прийняття керівних рішень на основі аналізу поточного стану технологічного процесу дешламації. Визначаються величини відхилень між завданням і поточним значенням рівня магнетиту. В залежності від величини помилки формується керуючий вплив. Якщо вона  $\leq 0.05\%$ , то керуючий вплив формується пропорційно сигналу неузгодженості ПІД-регулятор. Далі відбувається обробка за релейним законом регулювання. Виконується порівняння між цільовим значенням положення засувки в розвантаженні дешламатора та реальним значенням, яке отримано від датчика положення. За потреби генерується керуючий вплив [12];
- прийняті рішення передаються на виконавчий механізм підсистеми реалізації керуючих впливів для їх подальшої реалізації.

					КНУ.КРБ.151.24.04.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		48



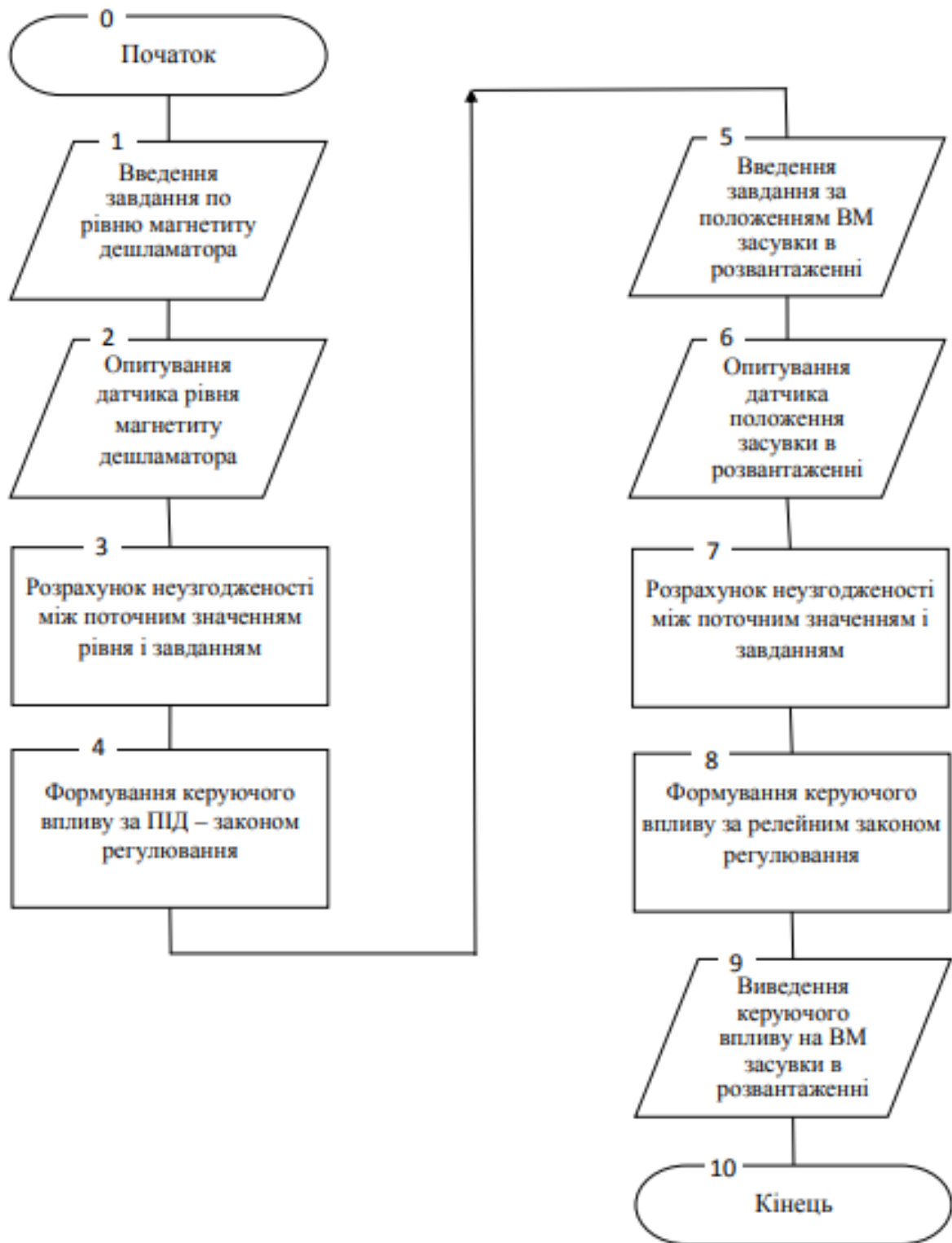


Рисунок 2.13 – Алгоритм контуру керування рівня магнетиту в дешламаторі

Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата

## 2.4.2 Алгоритм контуру регулювання рівня переливу дешламатора

Алгоритм контуру регулювання рівня переливу дешламатора представлено на рисунку 2.14

Основним контуром функціонування нижнього рівня автоматизованої системи автоматизованого керування технологічним процесом дешламації є алгоритм контуру регулювання рівня переливу дешламатора. Він реалізований як програма для контролера і має забезпечувати виконання контролером основних функцій [13, 20, 21]:

- налаштування контролера і ініціалізація змінних;

- збір даних з датчиків польового рівня і уставок від оператора. Контролер опитує значення завдання рівня переливу і поточне значення, виміряне датчиком рівня переливу в дешламаторі;

- аналіз отриманої інформації з метою недопущення аварійних ситуацій.

При аварійній ситуації відбувається оповіщення оператора;

- прийняття керуючих рішень на основі наявної інформації. Обчислюються величини неузгодженості між завданням та поточним значенням рівня переливу. Якщо величина помилки становить  $\leq 0.05\%$ , ПІД-регулятор формує керуючий вплив пропорційно сигналу неузгодженості. Завдання виконується контуром керування виконавчим механізмом засувки подачі додаткової води в дешламатор за релейним законом регулювання. Порівнюються значення завдання щодо положення засувки подачі додаткової води і фактичного значення, отриманого з датчика положення. За необхідності формується керуючий вплив за релейним законом регулювання, пропорційно сигналу неузгодженості, на виконавчий механізм засувки подачі додаткової води в дешламатор;

- передача прийнятих рішень на виконавчий механізм підсистеми реалізації керуючих впливів.

					КНУ.КРБ.151.24.04.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		50



Рисунок 2.14 – Алгоритм контуру керування рівня переливу в дешламаторі

## 2.5 Технічне забезпечення автоматизованої системи керування

### 2.5.1 Вибір програмованого контролера

Програмований логічний контролер (ПЛК) - який є основою комп'ютерно інтегрованої системи автоматизованого керування технологічним процесом дешламатора секції збагачення, включає в себе дубльовані процесорні модулі, джерела живлення, модулі входів та виходів. До останніх модулів підключається регулююче устаткування та датчики. Процесорні модулі містять логіку автоматичного регулювання та захисного блокування [15].

Для автоматизованої системи автоматизованого керування технологічним процесом дешламатора секції збагачення вибираємо контролер SIMATIC S7-400 фірми Siemens [14, 16]. Ці контролери використовуються, оскільки вони вже інтегровані в кожну секцію збагачення і виконують задачі моніторингу та управління основним обладнанням цих секцій. Варто відмітити, що це обладнання відрізняється високою надійністю.

SIMATIC S7-400 є програмованими логічними контролерами преміум-класу, розробленими для вирішення викликів автоматизації складних технологічних процесів.



Рисунок 2.15 – Контролер Siemens S7-400

					КНУ.КРБ.151.24.04.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		52

Ці контролери можуть бути використані в широкому спектрі промислових галузей. Мова програмування STEP 7 використовується для налаштування контролерів. Крім того можна задіяти додаткові інжинірингові пакети.

Центральний процесор CPU 416-2 використовується для обробки даних. Комунікаційний процесор CP 443-1 використовується для з'єднання даних контролерів з потрібною мережею. Найчастіше використовується Industrial Ethernet (10/100 Мбіт/с). Він може працювати в комбінованому режимі, підтримуючи транспортні протоколи ISO, TCP/IP, PG/OP та S7 функції зв'язку [17].

При підключенні контролерів SIMATIC S7-400 до мережі Profibus використовується процесор комунікаційний CP 443-5. Він також може діяти в комбінованому режимі, підтримуючи транспортні протоколи функцій зв'язку.

Периферія ET200M, що є децентралізованою забезпечує можливості дистанційного введення-виводу аналогових і дискретних сигналів.

Комплектація основного кошику контролера S7-400:

- блок живлення PS407;
- центральний процесор CPU416 2DP;
- комунікаційний процесор PROFIBUS CP 443-5;
- комунікаційний процесор INDUSTRIAL ETHERNET CP 443-1.

Комплектація кошика ET200M:

- блок живлення PS307 10A;
- модуль введення аналогових сигналів SM331;
- інтерфейсний модуль IM153-1;
- модуль введення дискретних сигналів SM321;
- модуль виводу дискретних сигналів SM22;
- модуль виведення аналогових сигналів SM332.

					КНУ.КРБ.151.24.04.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		53

### 2.5.2 Вибір інженерної та операторської станції системи

В якості автоматизованих робочих місць (АРМ) [18] оператора та інженера необхідні персональні комп'ютери з наступними ресурсами (при заміні, в разі необхідності, повинен бути використаний комп'ютер з параметрами не нижче існуючих):

- процесор - Intel 3.0 ГГц (можливе використання більш швидкісного процесора);
- об'єм оперативної пам'яті - щонайменше 2000 Мбайт;
- об'єм HDD > 500 Гбайт;
- мережева плата, що підтримує швидкість 100 Мбіт/с;
- відеоадаптер, з роздільною здатністю > 1280x1024;
- монітор з діагоналлю > 23 дюйма;
- стандартна клавіатура + маніпулятор типу «мишка».

### 2.5.3 Вибір датчика рівня магнетиту

Для вимірювання рівня магнетиту дешламатора обраний індуктивний датчик рівня магнетиту РУМ-3 [19]. Датчик рівня магнетиту РУМ-3, також відомий як реєстратор рівня магнетиту РУМ-3, розроблений для безперервного автоматичного моніторингу рівня поверхневого шару зони концентрації матеріалу з магнітними властивостями в ємності установки.

Цей занурюваний датчик РУМ-3 використовується в системі автоматичного керування технологічним процесом розвантаження дешламатора як сенсор.

Датчик РУМ-3 працює на принципі перетворення магнітної сприйнятливості середовища в сигнал взаємоіндукції. Він контролює об'ємну концентрацію феромагнітного матеріалу в ємності дешламатора МД. Сигнал взаємоіндукції трансформується в нормований вихідний сигнал.

Зображення датчика РУМ-3 представлено на рисунку 2.16.

					КНУ.КРБ.151.24.04.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		54



Рисунок 2.16 - Загальний вигляд датчика рівня магнетиту РУМ-3

В таблиці 2.2 зібрано технічні дані датчика рівня магнетиту РУМ-3.

У пристрої для магнітної дешламації відбувається процес розділення пульпи в рідкому стані. Під час цього процесу важкі частинки та частинки, які магнітно з'єднані, осідають на дні ємності. Після цього вони видаляються через розвантажувальний пристрій. В цей же час легкі і немагнітні частинки випливають вгору і проходять через перелив у відходи.

На рисунку 2.17 наведено схему, яка демонструє процес встановлення датчика для вимірювання рівня магнетиту на дешламаторі.

Під час зростання подачі живлення пульпою, також зростає концентрація магнітного матеріалу на дні ємності. Така ситуація призводить до зростання сигналу датчика рівня магнетиту на реєстраторі. Навпаки, при зменшенні живлення цей процес відбувається у зворотному порядку. При зниженні живлення - процес обертається. З постійним збільшенням ступеня помелу пульпи, що живить дешламатор, швидкість осадження частинок у ємності дешламатора може постійно змінюватися. Тому, для ефективного керування

процесом розвантаження дешламатора в автоматичному режимі, необхідний контроль рівня магнетиту.

Ефективна робота дешламатора дозволяє підвищити якість концентрату в розвантаженні при мінімальних втратах при відведенні відходів.

Таблиця 2.2 - Технологічні характеристики датчика рівня магнетиту РУМ-3

№	Характеристика	Значення
1	Максимальний рівень положення занурювального датчика, м	1,0
2	Межі контролю (безперервного) рівня датчика в робочому положенні, мм	0...100
3	Нормований вихідний сигнал постійного струму, мА	0...5; 0...20; 4...20
4	Час інтегрування, с	0,1; 1,5; 25
5	Режим роботи	безперервний
6	Захист від перевантаження та короткого замикання на вході з самовідновленням	+
7	Максимальний опір навантаженню, кОм	0...2; 0...5; 0...0,5
8	Живлення датчика: Номінальна вихідна напруга, В Номінальний вихідний струм, А	24 1,25
9	Розміри: Занурюваний датчик Перетворювач Блок живлення Пульт налаштування Пристрій для калібрування	260x70x63 140x110x50 140x80x17 130x68x55 400x40x40



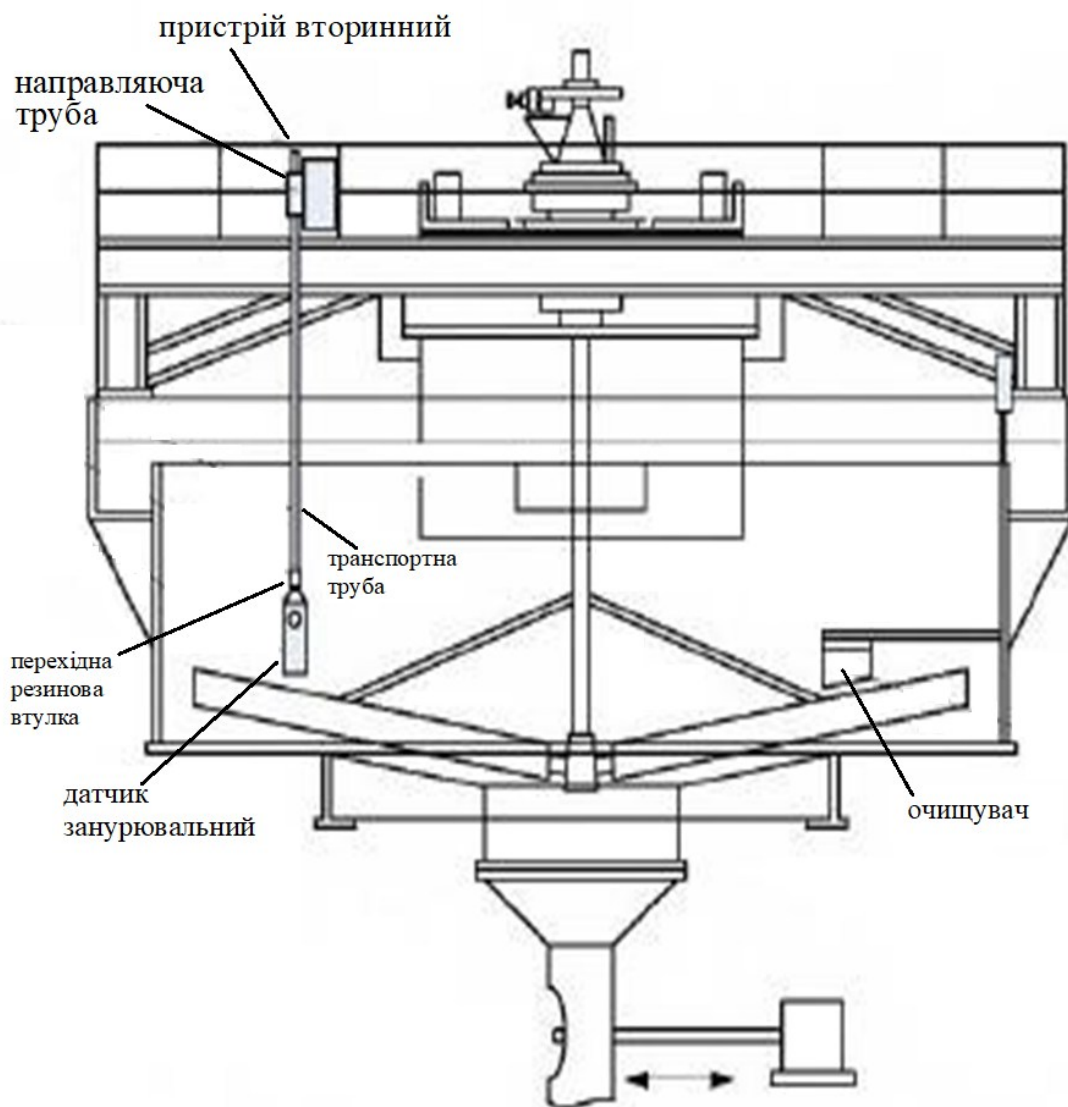


Рисунок 2.17 – Монтажна схема датчика рівня магнетиту на дешламаторі

#### 2.5.4 Вибір датчика рівня переливу

Для вимірювання рівня переливу обраний мікрохвильовий рівнемір VEGAFLEX 86 (рис.3.6). VEGAFLEX 86 [20], виготовлений в Німеччині, призначений для вимірювання майже всіх типів рідин при екстремальних умовах тиску та температури. Цей рівнемір надає точні та надійні вимірювальні значення, навіть при налипанні продукту, піноутворенні або конденсації. Надійність вимірювань гарантується завдяки врахуванню сигналу від спеціального репера на зонді. VEGAFLEX 86 - це вартісно-ефективний

					КНУ.КРБ.151.24.04.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		57

технічний інструмент, призначений для вимірювання рівня та фазового розподілу.

Відмінності VEGAFLEX 86 включають:

1. Початкова настройка з допомогою програми-помічника, що забезпечує простий та швидкий запуск в експлуатацію.
2. Розширені можливості діагностики означають високу готовність до роботи і тривалу експлуатацію без обслуговування.
3. Зонди, які можна скоротити, спрощують проектування місць вимірювання.



Рисунок 2.18 – Загальний вигляд датчика рівня VEGAFLEX 86

В таблиці 2.3 представлені технічні дані мікрохвильового рівнеміра VEGAFLEX 86.

					КНУ.КРБ.151.24.04.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		58

Таблиця 2.3 - Технічні характеристики рівнеміра VEGAFLEX 86

№	Характеристика	Значення
1	Марка	VEGA (Німеччина)
2	Тип приладу	Рівнемір (датчик рівня)
3	Спосіб застосування	Контактний
4	Середовище вимірювання	Рідкі продукти
5	Рідке середовище	Агресивна рідина; нафта; нафтопродукти; згущені гази; харчові продукція; рідина-діелектрик; забруднена рідина; електропровідна рідина
6	Режим вимірювання	Безперервне вимірювання
7	Принцип дії	Рефлекс-радарний
8	Функції	Вимірювання рівня, вимірювання рівня розподілу середовищ
9	Діапазон вимірювання для рідини	0...6 м; 0...75 м
10	Температура контрольованого середовища	-196...450 С
11	Температура зовнішнього середовища для датчика	-40...80 С
12	Максимальний тиск контрольованого середовища	40 МПа
13	Точність вимірювання	2 мм
14	Вихідні сигнали	Струмовий 4-20 мА, HART
15	Тип з'єднання	Фланець, різь
16	Ступінь захисту	IP67; IP66
17	Вибухозахист	Є
18	Напруга живлення	9,6...48 В; 90...253 В

Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата

КНУ.КРБ.151.24.04.02.ПЗ

Арк.

59

### 2.5.5 Вибір виконавчих механізмів

Електроприводи AUMA відомі як провідний глобальний виробник електроприводів, призначених для автоматизації промислової арматури. Заснована у 1964 році, компанія зосереджена на розробці, виробництві та продажу електроприводів під своїм брендом. Вся продукція AUMA виготовляється за принципом модульності і збирається з широкого асортименту компонентів.

Загальний вигляд електроприводу AUMA представлено на рисунку 2.19.



Рисунок 2.19 - Зовнішній вигляд електроприводу AUMA

В рамках технологічного процесу, рідина постійно пересувається через трубопроводи. Регулювання витрати води та контроль швидкості потоку здійснюється за допомогою промислової арматури, яка відкривається або закривається. Електроприводи AUMA дозволяють дистанційно керувати арматурою з диспетчерського пункту.

Сучасне виробництво, яке характеризується складними процесами, обов'язково керується системами автоматизації. Положення арматури визначається приводом, який отримує команди від розподіленої системи

					КНУ.КРБ.151.24.04.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		60

керування (РСК) [21]. Коли привід досягає кінцевого або проміжного положення, він вимикається, а сигнал про стан передається в РСК.

Електропривід можна описати як пристрій, управління яким здійснює спеціалізований блок автоматизації, що складається з електродвигуна і редуктора. Електродвигун генерує обертаючий момент, який використовується для управління різноманітною арматурою, включаючи засувки, заслінки, крани та клапани. У випадку збою електричного обладнання, можливе механічне управління арматурою за допомогою маховика. Реєстрація даних про хід і моменти арматури здійснюється приводом. Ці дані зберігаються в блоку керування, який аналізує їх і контролює порядок включення і відключення електродвигуна приводу. Зазвичай блок управління та привід об'єднуються в одну структурну одиницю, на якій розміщено інтерфейс для електричного з'єднання з системою автоматичного керування та панель для локального управління. Вимоги до установки та роботи електроприводу встановлюються міжнародними нормами.

Електроприводи AUMA мають ряд переваг:

1. Вони відповідають кліматичним умовам експлуатації для типового регіону.
2. Вони надійні та безпечні.
3. Вони не шкодять навколишньому середовищу.
4. Якість приводів AUMA отримала визнання від міжнародних сертифікаційних організацій.
5. Приводи AUMA проєктуються, виробляються та тестуються відповідно до вимог замовника.

В процесі підбору електроприводу для пристрою розвантаження дешламатора ми вибираємо багатооборотні приводи SA.

Багатооборотний привід - це електромеханічний пристрій, який активує арматуру, створюючи обертаючий момент, що дорівнює принаймні одному повному оберту. Такий привід може витримати осьове навантаження. Багатооборотні приводи компанії AUMA працюють на основі електродвигунів.

					КНУ.КРБ.151.24.04.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		61

Маніпулювання вручну відбувається за допомогою спеціалізованого маховика. Відключення в кінцевому положенні здійснюється за допомогою кінцевого або моментного вимикача. Для керування та обробки сигналів приводу потрібен блок керування. У випадку, коли конкретна модифікація приводу не включає блок керування, його можна додатково придбати.

Багатооборотні приводи AUMA використовуються як механізм керування для промислової арматури, такої як клапани, засувки, заслінки, крани тощо. При виникненні потреби використовувати привід для управління іншими пристроями, це вимагає письмового дозволу від виробника.

Як виконавчий механізм для пристрою розвантаження дешламатора було обрано багатооборотний електропривід AUMA SAR. Цей привід має час повного ходу робочого органу 400 секунд і момент на валу 100 Н\*м.

На рисунку 2.20 подано зображення багатооборотного електроприводу AUMA SAR.



Рисунок 2.20 - Загальний вигляд виконавчого механізму AUMA SAR

В таблиці 2.4 продемонстровані основні технічні дані електроприводу AUMA SAR.

При виборі електроприводу для засувки подачі додаткової води дешламатора ми віддаємо перевагу приводам SG, які виконують неповний

					КНУ.КРБ.151.24.04.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		62

оберт. Цей тип приводу представляє собою електричний механізм, здатний активувати арматуру, генеруючи певний крутний момент, що є меншим за один повний оберт. Привід не може витримати осьового навантаження.

SG - це базовий привід, який працює в двох станах - “відкрито / закрито”. SGR - це привід, який можна встановити на регулюючу арматуру. SGEXC - це електропривід, виготовлений у вибухозахищеному корпусі.

Таблиця 2.4 - Технічні характеристики виконавчого механізму розвантаження AUMA SAR

№	Характеристика	Значення
1	Умовне позначення електроприводу	AUMA SAR 07.1
2	Номінальний обертаючий момент на вихідному валу	100 Н*м
3	Номінальний час повного ходу вихідного валу	400 с
4	Номінальне значення повного ходу вихідного валу	63 об.
5	Напруга та частота живлення	380 В, 50 Гц
6	Споживана потужність	430 Вт
7	Рівень шуму, що допускається	80 dBA
8	Ступінь захисту	IP65
9	Тип датчика сигналізації положення вихідного валу	Струмівий 4-20 мА

Приводи SG AUMA, які виконують неповний оберт, працюють на основі електродвигунів. У випадку відсутності електроенергії, привід може бути активований механічно за допомогою маховика, передбаченого в конструкції. Вимкнення в кінцевому положенні здійснюється за допомогою кінцевих або моментних вимикачів. Для керування та обробки сигналів приводу

встановлюється блок керування. Моделі без блоку можуть бути поставлені з блоком АУМА за додатковою угодою.

Ці електроприводи АУМА також використовуються як механізм керування промисловою арматурою, такою як заслінки або крани.

Для засувки, що регулює подачу додаткової води в дешламатор, ми обираємо привід SGR. Неповний оберт приводу становить 63 секунди, момент на валу 250 Н·м. Щодо електроприводу неповного оберту АУМА SGR, його загальний вигляд можна побачити на рисунку 3.9.



Рисунок 2.21 - Загальний вигляд виконавчого механізму засувки води АУМА SGR

В таблиці 3.5 продемонстровані основні технічні дані електроприводу засувки води АУМА SGR.

					КНУ.КРБ.151.24.04.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		64



Таблиця 2.5 - Технічні характеристики виконавчого механізму засувки води AUMA SAR

№	Характеристика	Значення
1	Умовне позначення електроприводу	AUMA SGR 08.1
2	Номінальний обертаючий момент на вихідному валу	250 Н·м
3	Номінальний час повного ходу вихідного валу	63 с
4	Номінальне значення повного ходу вихідного валу	63 об.
5	Напруга та частота живлення	380 В, 50 Гц
6	Споживана потужність	250 Вт
7	Рівень шуму, що допускається	80 дБА
8	Ступінь захисту	IP65
9	Тип датчика сигналізації положення вихідного валу	Струмівий 4-20 мА

## 2.6 Вибір програмного і системного забезпечення

### *Вибір програмного забезпечення верхнього рівня*

Для автоматизованої системи автоматизованого керування [22] технологічним процесом технологічного об'єкта гірничо-гірничозбагачувального комбінату дешламатора вибрано наступне програмне забезпечення верхнього рівня, як інструмент розробки системи візуалізації - SCADA WinCC (Supervisory Control And Data Acquisition).

					КНУ.КРБ.151.24.04.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		65

### *Вибір програмного забезпечення для нижнього рівня*

Для автоматизованого керування технологічним процесом дешламації в рамках автоматизованої системи ми вибрали високоефективний інструмент нижнього рівня для програмування та управління промисловими автоматизованими системами Simatic Step 7. Це програмне забезпечення від компанії Siemens, яке призначене для створення систем автоматизації на базі програмованих логічних контролерів Simatic S7-300/S7-400.

### *Вибір системного забезпечення*

Програмний комплекс SIMATIC Windows Control Center (або WinCC) надає всі необхідні засоби для найкращого керування процесами в операційних системах Microsoft Windows [23].

Дешламатор секції збагачення гірничо-гірничозбагачувального комбінату є складним та відповідальним об'єктом, де параметри технологічного процесу перебувають у взаємодії та взаємозв'язку. Для оптимізації процесу дешламації в гірничо-збагачувальному комбінаті потрібна комп'ютерно-інтегрована система автоматизованого керування технологічним процесом з багаторівневою децентралізованою структурою.

Архітектура розроблюваної системи представляє собою автоматизовану систему керування технологічним процесом, яка складається з трьох рівнів: польового, контролерного та операторського. Понад цими рівнями розташований рівень керування виробництвом в цілому. [22].

Польовий (нижній) рівень - це вимірювальні пристрої та регулюючі прилади.

Контролерний (середній) рівень - контролерне обладнання SS7- 400.

На середньому рівні відбувається:

- збір даних;
- алгоритмічна обробка;
- виконання керуючих сигналів на керуючі пристрої відповідно до встановлених алгоритмів.
- протокольний мережевий обмін інформацією з оператором.

					КНУ.КРБ.151.24.04.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		66

*Операторський (верхній) рівень* - це віддалене автоматизоване робоче місце оператора. На цьому рівні відбувається:

- збір і зберігання даних;
- візуалізація інформації;
- введення завдань від оператора;
- звітна документація;
- протокольний мережевий обмін даними.

Система надає можливість швидкої зміни та переконфігурації проектного програмного забезпечення, призначеного для користувача, без порушення її функціонування. САУ технологічним процесом дешламації секції збагачення володіє гнучкою архітектурою. Завдяки гнучкості для неї можливі різноманітні зміни алгоритмів основних контурів управління дешламацією. Ще одна можливість – робота зі схемами регулювання і керування.

Система, що розглядається, включає комунікаційні інструменти для інтеграції в оптоволоконну кільцеву структуру технологічної мережі комбінату.

На рисунку 2.22 відображено поєднання технічних засобів САК ТП дешламатора секції збагачення гірничо-гірничозбагачувального комбінату.

					КНУ.КРБ.151.24.04.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		67

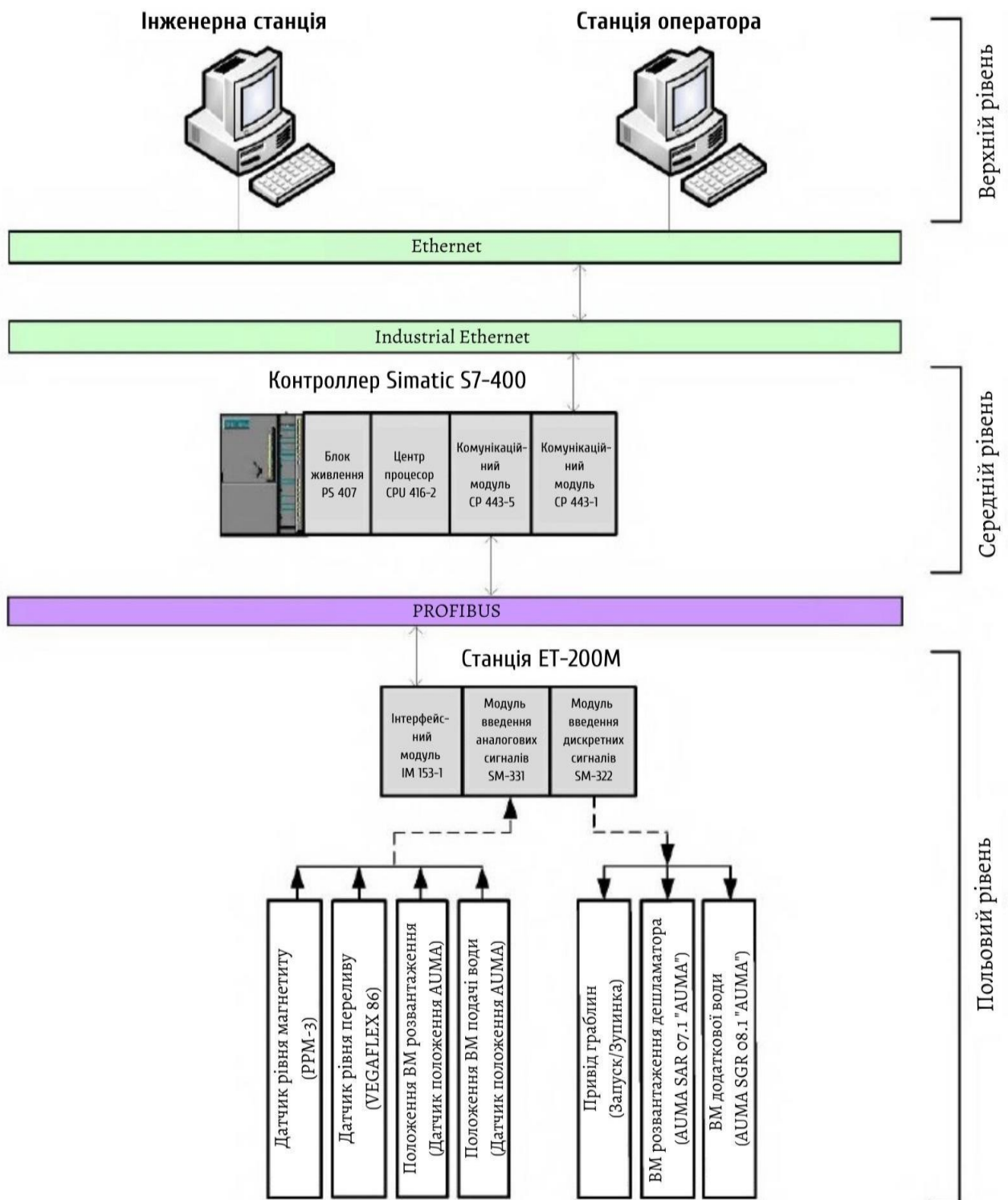


Рисунок 2.22 – Структура комплексу технічних засобів комп'ютерно-інтегрованої системи автоматизованого керування дешламатором

## 2.7 Розробка візуалізації керування технологічним процесом

Візуалізація технологічного процесу є основним елементом інтерфейсу між людиною та машиною в автоматизованій системі керування рівнем SCADA. Основна мета візуалізації полягає в відображенні поточних (миттєвих) значень контрольованих технологічних параметрів та подій. Цей компонент прикладного програмного забезпечення автоматизованої системи керування зазвичай відомий як його графічна частина. Візуалізація технологічного процесу, як правило, представлена у вигляді набору графічних екранів, ключовими елементами яких є мнемосхеми, панелі приладів та індикатори. У програмному пакеті WinCC, мнемосхеми формують вміст основного робочого вікна програми. Розміщення елементів робочого столу (мнемосхем) налаштовується користувачем.

Основним елементом супервізорного керування, де об'єкти графічних екранів використовуються як елементи управління вважається візуалізація. Додатковими аспектами завдання візуалізації є відображення трендів та текстових даних про події, які вже відбулися або завершилися, на графічних екранах, що вимагає контролю обслуговуючого персоналу. Інтерфейс візуалізації може бути як одновіконним, так і багатовіконним. Реалізація графічної частини прикладного програмного забезпечення (графічної бази даних), як і для математичної частини, визначається використовуваною інструментальною системою. Маємо можливість розв'язати 2 задачі програмування: формування вмісту графічних екранів за допомогою набору графічних елементів та динамічна активізація (потенціювання) цих графічних елементів.

У рамках дипломної роботи було розроблено мнемосхеми для візуалізації та керування технологічним процесом дешламатора секції збагачення гірничо-збагачувального комбінату. Ця мнемосхема представлена на рисунку 2.23.

					КНУ.КРБ.151.24.04.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		69

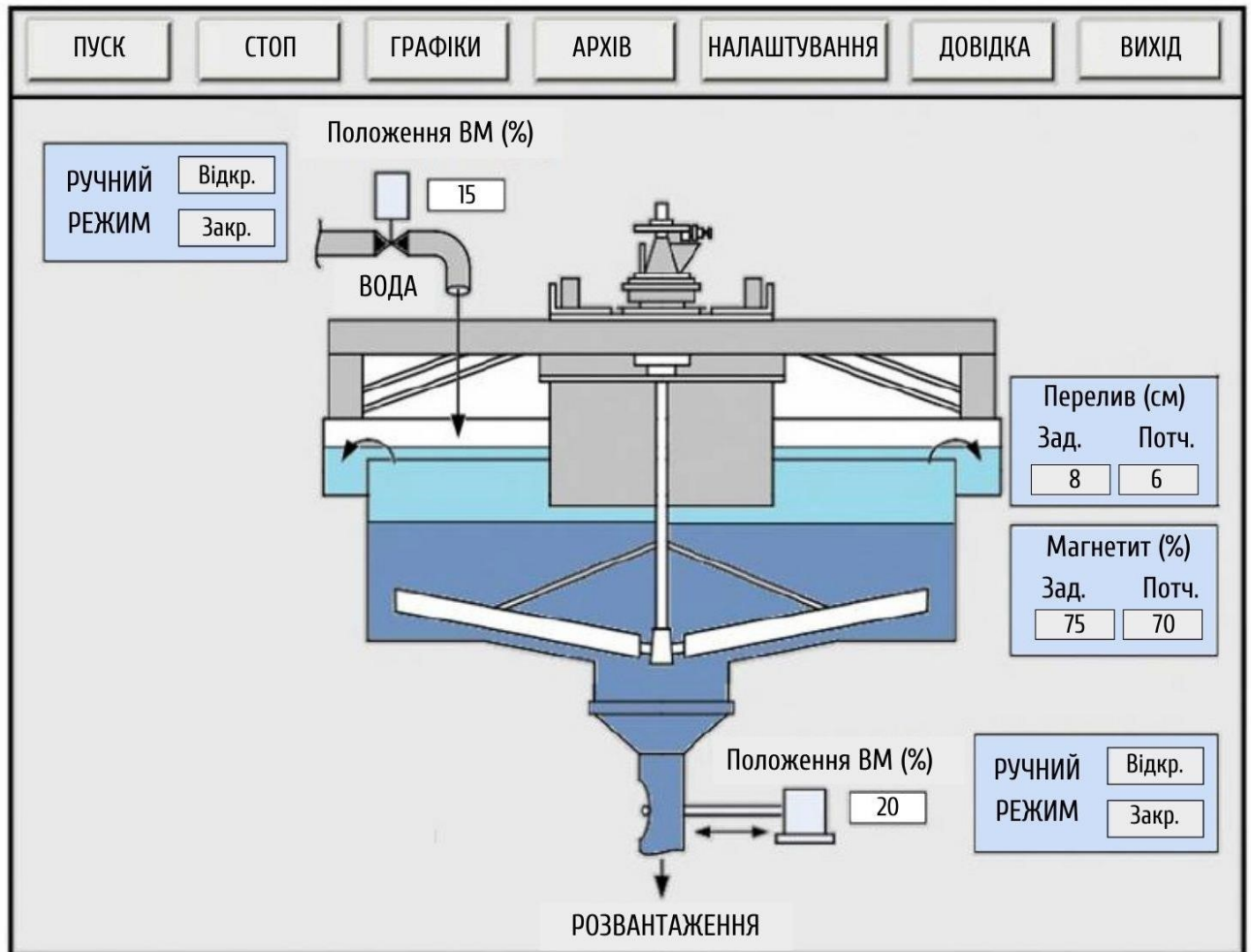


Рисунок 2.22 –Візуалізація та керування технологічним процесом дешламатора

## Висновки до розділу 2

1. Встановлені вимоги до функціональних характеристик, технічних параметрів (апаратних), програмного забезпечення, а також до структури та надійності автоматизованої системи для керування процесом дешламації в секції збагачення гірничо-гірничозбагачувального комбінату.

2. Враховуючи визначені вимоги, були створені структурна та функціональна моделі автоматизованої системи для керування процесом дешламації в секції збагачення гірничо-гірничозбагачувального комбінату.

3. Представлена структура та математичне моделювання контуру регулювання рівня магнетиту в дешламаторі секції збагачення гірничо-гірничозбагачувального комбінату, які були синтезовані за допомогою Matlab. Аналіз перехідних характеристик, отриманих в результаті моделювання в Matlab, демонструє ефективність системи керування при зміні завдання та компенсації збурень.

4. Представлена структура та математичне моделювання контуру регулювання рівня переливу в дешламаторі секції збагачення гірничо-гірничозбагачувального комбінату, які були синтезовані за допомогою Matlab. Аналіз перехідних характеристик, отриманих в результаті моделювання в Matlab, демонструє ефективність системи керування при зміні завдання та компенсації збурень.

5. Враховуючи визначені вимоги, було розроблено інформаційне забезпечення автоматизованої системи для керування процесом дешламації в секції збагачення гірничо-гірничозбагачувального комбінату. Для зручності воно представлено як список інформації для контролера.

6. Сформовані два алгоритми - ключові контури функціонування нижнього рівня. Вони реалізовані у вигляді програми для контролера, що дозволяє контролеру виконувати основні функції.

7. Здійснено підбір технічних засобів для реалізації автоматизованої системи для керування процесом дешламації. Обрано контролер фірми Siemens.

8. Створена структура комплексу технічних засобів автоматизованої системи для керування процесом дешламатора, яка дозволяє оперативно змінювати та переконфігурувати проектне програмне забезпечення, призначене для користувача, без порушення функціонування системи. Екранна форма була розроблена для візуалізації управління процесом дешламації за допомогою програмного пакету SCADA. Ця форма є частиною автоматизованої системи керування процесом дешламації в секції збагачення гірничо-гірничозбагачувального комбінату.

					КНУ.КРБ.151.24.04.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		71

## ВИСНОВКИ

1. Приведена загальна характеристика гірничозбагачувального комбінату та його технологічних процесів.

2. Аналіз технологічного процесу збагачення показав, що магнітні дешламатори або гідросепаратори використовуються на збагачувальній фабриці для видалення шламів і концентрації зливу гідроциклонів (дрібно подрібнені магнетитові проміжні продукти) перед магнітним збагаченням і концентрату магнітного продукту перед його водовідведенням.

3. Визначено параметри дешламатора як об'єкта керування. Циркуляційне навантаження визначається продуктивністю секції, густини відливу класифікатора, станом насосів та параметрами магнітної сепарації. Дешламація вважається процесом з обмеженою кількістю регульованих параметрів. Для забезпечення мінімальної кількості концентрату (з втратами) в переливі та ефективного видалення нерудних частинок з пульпи, необхідно утримувати висоту магнетитового флокуляційного шару на визначеному рівні, що сприяє ефективності поділу та технологічному навантаженню апарату.

4. Виконано аналіз поточного стану автоматизації секції збагачення на гірничозбагачувальному комбінаті. Управління ТП виконується за допомогою схем автоматичного регулювання (САР), які базуються на контролерах. Однак, станом на сьогодні, в секції збагачення гірничозбагачувального комбінату відсутня автоматизація процесу дешламації. Керування процесом розвантаження дешламатора виконується вручну.

5. Виконано огляд відомих рішень керування технологічним процесом

6. Сформульовано основні вимоги до системи керування процесом дешламації.

					<i>КНУ.КРБ.151.24.04.00.ПЗ</i>		
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<b>ВИСНОВКИ</b>		
<i>Разробив</i>	<i>Павлічук О.Ю.</i>						
<i>Перевірів</i>	<i>Тиханський М.П.</i>						
<i>Н.контроль</i>	<i>Маринич І.А.</i>						
<i>Затвердив</i>							
					<i>Літера</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
						72	3
					<i>КНУ АКІТ-20</i>		



9. Встановлені вимоги до функціональних характеристик, технічних параметрів (апаратних), програмного забезпечення, а також до структури та надійності автоматизованої системи для керування процесом дешламації в секції збагачення гірничо-гірничозбагачувального комбінату.

10. Враховуючи визначені вимоги, були створені структурна та функціональна моделі автоматизованої системи для керування процесом дешламації в секції збагачення гірничо-гірничозбагачувального комбінату.

11. Представлена структура та математичне моделювання контуру регулювання рівня магнетиту в дешламаторі секції збагачення гірничо-гірничозбагачувального комбінату, які були синтезовані за допомогою Matlab. Аналіз перехідних характеристик, отриманих в результаті моделювання в Matlab, демонструє ефективність системи керування при зміні завдання та компенсації збурень.

12. Представлена структура та математичне моделювання контуру регулювання рівня переливу в дешламаторі секції збагачення гірничо-гірничозбагачувального комбінату, які були синтезовані за допомогою Matlab. Аналіз перехідних характеристик, отриманих в результаті моделювання в Matlab, демонструє ефективність системи керування при зміні завдання та компенсації збурень.

13. Враховуючи визначені вимоги, було розроблено інформаційне забезпечення автоматизованої системи для керування процесом дешламації в секції збагачення гірничо-гірничозбагачувального комбінату. Для зручності воно представлено як список інформації для контролера.

14. Сформовані два алгоритми - ключові контури функціонування нижнього рівня. Вони реалізовані у вигляді програми для контролера, що дозволяє контролеру виконувати основні функції.

15. Здійснено підбір технічних засобів для реалізації автоматизованої системи для керування процесом дешламації. Обрано контролер фірми Siemens.

16. Створена структура комплексу технічних засобів автоматизованої системи для керування процесом дешламатора в секції збагачення гірничо-

					КНУ.КРБ.151.24.04.00.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		73

гірничозбагачувального комбінату, яка дозволяє оперативно змінювати та переконфігурувати проектне програмне забезпечення, призначене для користувача, без порушення функціонування системи. Екранна форма була розроблена для візуалізації управління процесом дешламації за допомогою програмного пакету SCADA. Ця форма є частиною автоматизованої системи керування процесом дешламації в секції збагачення гірничо-гірничозбагачувального комбінату.

					КНУ.КРБ.151.24.04.00.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		74

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Іванов С.В., Чекіна В.Д. Розвиток гірничодобувної промисловості в умовах Індустрії 4.0: нові виклики та можливості. *Економіка промисловості*. 2020. № 1 (89). С. 45-74.
2. Магнітний дешламатор. Конструкція і принцип дії. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Магнітний\\_дешламатор](https://uk.wikipedia.org/wiki/Магнітний_дешламатор).
3. Магнітний дешламатор МД-5. URL: <https://zdvp.com.ua/product/mining/deshlam/6-magnitnyy-deshlamator-md-5.html>.
4. Особливості технології збагачення руд кременчуцького залізорудного району / В. Равінська та ін. // *Вісник Кременчуцького національного університету ім. Михайла Остроградського*. Кременчук, 2022. Вип. 1 (132). С. 141-148.
5. Зайцев Г.Ф., Костюк В.І., Чинаєв П.І. Основи автоматичного управління і регулювання. Київ: Техніка, 2006. 496 с.
6. Моркун В.С., Моркун Н.В., Сердюк О.Ю. Використання високоенергетичного ультразвуку для оцінки параметрів процесу осадження часток твердої фази пульпи. *Вісник Криворізького національного університету*. 2019. Вип. 48. С. 3-7. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vktu\\_2019\\_48\\_3](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vktu_2019_48_3).
7. Магнітний гідросепаратор МГС-5. URL: <http://www.vrs.dp.ua/deshlamator.html>
8. Ronald P. Hunter Automated process control systems: concepts and hardware. Prentice-Hall , Englewood Cliffs, NJ, 1978. 501 с.
9. Мала гірнича енциклопедія : у 3 т. / за ред. В. С. Білецького. Д. : Донбас, 2007. Т. 2 : Л - Р. 670 с.
10. Техніка та технологія збагачення корисних копалин. Частина І. Підготовчі процеси. / В.С. Білецький, Т.А. Олійник, В.О. Смирнов, Л.В. Скляр Кривий Ріг: Видавець ФОП Чернявський Д.О., 2019. 200 с.

					<b>КНУ.КРБ.151.24.04.00.ПЗ</b>		
<b>Зм.</b>	<b>Лист</b>	<b>№ документа</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>			
Разробив		Павлічук О.Ю.			<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</b>		
Перевірів		Тиханський М.П.					
						75	3
Н.контроль		Маринич І.А.			<b>КНУ АКІТ-20</b>		
Затвердив							

11. Масловський Б.І., Дрововозов В.І., Коба О.В. Технології проектування комп'ютерних систем. Київ, 2015. 500 с.

12. Васильківський І.С., Фединець В.О., Юсик Я.П. Виконавчі пристрої систем автоматизації: навч. посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2020. 220 с.

13. Синєглазов В.М., Сергєєв І.Ю. Автоматизація технологічних процесів: навч. посіб. К.: НАУ, 2015. 444 с.

14. SIEMENS: Siemens S7-300 Програмуємий контролер URL: <https://www.siemenspro.ru/components/s7-300.htm>

15. Трегуб В.Г. Проектування систем автоматизації: навч. посіб. К.: Ліра-К, 2017. 344 с.

16. Опис контролерів серії SIMATIC S7-300 / 400. / Siemens Nixdorf. Germany, 2008. 74 с.

17. Боровська Т.М., Северілов В.А., Васюра А.С. Теорія автоматичного управління. Частина 1. Аналіз САУ. Вінниця: ВДГУ, 2002. 97 с.

18. Самотокін Б.Б. Лекції з теорії автоматичного керування: навч. посіб. для студентів ВНЗ. Житомир: ЖІТІ, 2001. 508 с.

19. Лесовой Л.В., Матіко Ф.Д., Федоришин Р.М. Автоматизоване проектування систем вимірювання витрати плинних енергоносіїв: навч. посіб. Львів: Сполом, 2019. 252 с.

20. Остапенко Ю.А. Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів керування: підручник. К.: Задруга, 1999. 424 с.

21. Автоматизація виробничих процесів: підручник. / І.В. Ельперін, О.М. Пупена, В.М. Сідлецький, С.М. Швед. К.: Ліра-К, 2015. 300 с.

22. Левченко О.І., Сідлецький В.М. Основи автоматизації теплоенергетичних процесів та установок: навч. посіб. К.: НУХТ, 2014. 227 с.

23. Програмний комплекс SIMATIC Windows Control. URL: <https://www.avigan.com.ua/page/scada-sistema-simatic-wincc/mp/16283/>

24. McMillan Greg K. Advances in Reactor Measurement and Control. ISA, 2015. 311 с.

					КНУ.КРБ.151.24.04.00.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		76

25. Проектування автоматизованих систем управління: навчальний посібник / за ред. Б.П. Шохіна. К.: ВІТІ НТУУ «КПІ», 2003.

26. Проектування інформаційних систем: навч. посіб. / за ред. В.С. Пономаренка. К.: Видавничий центр «Академія», 2002. 489 с.

27. Корчемний М.О., Клендій П.Б., Потапенко М.В. Теоретичні основи автоматики. Тернопіль, 2012. 304 с.

28. Майба Н.В. Будівництво та архітектура / Теплогазопостачання і вентиляція. Київський національний університет України «Київський політехнічний інститут»

29. Єнін П.М., Швачко Н.А. Теплопостачання. Частина перша. Київ, 2007. 243 с.

30. Про спільне використання Photoshop та MATLAB. URL: <https://helpx.adobe.com/ua/photoshop/using/photoshop-matlab.html>

31. Основи роботи з системою інженерних та науковотехнічних обчислень MATLAB. URL: [https://mte.nure.ua/pdf/studying/zov\\_itpz\\_lk6.pdf](https://mte.nure.ua/pdf/studying/zov_itpz_lk6.pdf)

32. Мікросхемотехніка. Основні типи електричних схем: електр. посіб. URL: <http://mcx.lab-101.org.ua/Tema4.htm>

33. Міловзоров О.В. Електроніка. 2015. URL: [https://stud.com.ua/28286/tovaroznavstvo/rozpodilniki\\_multipleksori](https://stud.com.ua/28286/tovaroznavstvo/rozpodilniki_multipleksori)

34. Що таке електродвигун. *Національний ТУ «Дніпровська політехніка»*. URL: <https://elprivod.nmu.org.ua/ua/entrant/electricmotor.php?print=Y>

35. Довідник по експлуатації теплових мереж та тепловикористовуючого обладнання. URL: [https://odz.gov.ua/lean\\_pro/normdocs/files/dovidnikexpl.pdf](https://odz.gov.ua/lean_pro/normdocs/files/dovidnikexpl.pdf)

36. Опря А.Т. Статистика: навч. посіб. Київ, 2012. URL: [https://pidru4niki.com/12991010/statistika/pomilki\\_vibirki\\_viznachennya\\_pri\\_riznih\\_sposobah\\_vidboru](https://pidru4niki.com/12991010/statistika/pomilki_vibirki_viznachennya_pri_riznih_sposobah_vidboru).

37. Перетворювачі частоти серії Hitachi SJ700D. URL: <https://eltech.kiev.ua/g2338404-sj700dvektornye-075>

38. Моркун Н.В., Маринич І.А. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавру для студентів спеціальності 151

					КНУ.КРБ.151.24.04.00.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		77

“Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”. Кривий Ріг :  
Видавничий центр КНУ, 2019. 50 с.

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

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

41. ДСТУ 3582:2013. Бібліографічний опис. Скорочення слів і словосполучень в українській мові.

42. Загальні вимоги та правила. Київ, ДП «УкрННЦ», 2013. 23 с. (Інформація та документація)

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

					КНУ.КРБ.151.24.04.00.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		78

## ДОДАТКИ

### Додаток А

Технічні характеристики основного обладнання СЗ збагачувальної фабрики ГЗК

Таблиця А.1 - Технічна характеристика млину СЗ

Параметри	Од. вимір.	ММС 70x23	МГР 40x75
Максимальний розмір тіл, що мелють	мм	350-400	100-150
Внутрішні розміри барабану: діаметр/довжина	мм	7000/2300	4000/7510
Номінальний робочий об'єм	м <sup>3</sup>	80	83
Частота обертів барабану	об/хв	13	17,8
Потужність електродвигуна	кВт	1600	1600
79 Маса млину без електрообладнання, механізмів, запчастин, системи змазки	кг	430000	310000

					<b>КНУ.КРБ.151.24.04.00.ПЗ</b>		
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Разробив</i>	<i>Павлічук О.Ю.</i>				<i>Літера</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевірів</i>	<i>Тиханський М.П.</i>					79	2
<i>Н.контроль</i>	<i>Маринич І.А.</i>				<b>ДОДАТКИ</b>		
<i>Затвердив</i>					<b>КНУ АКІТ-20</b>		

Таблиця А.2 - Технічна характеристика спіральних класифікаторів СЗ

Параметри	Од. вимір.	1КСН-5х45
Довжина корита	мм	4500
Кількість спіралей	шт	1
Діаметр спіралі	мм	500
Потужність електродвигуна	кВт	1,1
Частота обертів спіралі	об/хв	12
Маса	кг	2020

Таблиця А.3 - Технічна характеристика гідроциклонів СЗ

Параметри	Од. вимір.	ГЦ-500
Внутрішній діаметр	мм	500
Кут конусу	град.	20
Діаметр зливного отвору	мм	160
Діаметр піскового отвору	мм	55-70
Тиск на вході	МПа	0,25