

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

«Допущено до захисту»
Гарант ОПП

Світлана ГУРКОВСЬКА

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня магістра

за підсумками виконання
освітньо-професійної програми
«Комп'ютерне конструювання мехатронних систем»
за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування»

на тему «Розробка системи керування обладнанням технологічного
процесу зневоднення концентрату РЗФ».

Керівник роботи

Олена НАЛОБІНА

Консультант від
бази практики

Роман ГОРЕЛОВ

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

Здобувач

Костянтин ЯРОВИЙ

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

Голова ЕК

Андрій ГОЛОЯДОВ

Запоріжжя 2024



ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет автоматизації виробництва та цифрових технологій
Кафедра автоматизації, електро- та робототехнічних систем
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр
Спеціальність 133 Галузеве машинобудування
ОПП Комп'ютерне конструювання мехатронних систем

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми
«Комп'ютерне конструювання
мехатронних систем»

Світлана ГУРКОВСЬКА

(прізвище та ініціали)

(підпис)

«12» липня 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Ярового Костянтина Віталійовича

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи (проекту) Розробка системи керування обладнанням технологічного процесу зневоднення концентрату РЗФ

керівник роботи (проекту) Налобіна Олена Олександрівна, доктор технічних наук, професор кафедри АБЕРС

(прізвище, ім'я, по батькові науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Університету від 01.07.2024 р. №162/01.07.2024

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи 01.12.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Навчальна література, державні стандарти з галузевого машинобудування, автоматизації; методична література з спеціальних дисциплін та дипломування, науково-дослідницькі роботи за тематикою досліджень; літературні джерела, технологічні інструкції, результати власних експериментів та досліджень тощо

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Анотація. Зміст. Вступ. 1. Аналіз предметної області. 2. Теоретичні дослідження. 3. Програма, методика та результати експериментальних досліджень (3.1 Мета та методи експериментальних досліджень; 3.2 Перелік використаної апаратури, обладнання; 3.3 Результати досліджень із аналізом отриманих результатів; висновки). 4. Розділ з економіки. Висновки. Додатки.

5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу: _____

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

Розділ	Консультант (прізвище, ініціали та посада)
1-4	Налобіна О.О., доктор технічних наук, професор кафедри АВЕРС

7. Дата видачі завдання 05 липня 2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи (проєкта)	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Розділ 1. Аналіз предметної області	09.09.2024 – 03.11.2024	
2	Розділ 2. Теоретичні дослідження	04.11.2024 – 10.11.2024	
3	Розділ 3. Програма, методика та результати експериментальних досліджень	11.11.2024 – 17.11.2024	
4	Розділ 4. Економічне обґрунтування запропонованих змін	18.11.2024 – 20.11.2024	
5	Висновки, перелік посилань, вступ, зміст, реферат	21.11.2024 – 24.11.2024	
6	Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	25.11.2024 – 27.11.2024	
7	Остаточне оформлення роботи, презентаційного матеріалу, автореферату	25.11.2024 – 27.11.2024	
8	Рецензування завершеної роботи.	28.11.2024 – 01.12.2024	
8	Захист	02.12.2024 – 07.12.2024	

Здобувач

Яровий Костянтин Віталійович

(підпис)

Керівник роботи

Налобіна Олена Олександрівна

(підпис)



АНОТАЦІЯ

Яровий Костянтин Віталійович. Розробка системи керування обладнанням технологічного процесу зневоднення концентрату РЗФ-Кваліфікаційна праця на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування». ОПП «Комп'ютерне конструювання мехатронних систем» – ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Кривий Ріг, 2024.

Об'єктом дослідження є процес зневоднення концентрату.

Предмет дослідження – конструкції вакуум-фільтрів та їх характеристики.

Робота є актуальною бо процес зневоднення залізородного концентрату виконується найчастіше на дискових вакуум-фільтрах, а їхня продуктивність розраховується одночасно на групу фільтрів. Така методика розрахунку продуктивності призводить до того, що практично не можливо об'єктивно оцінити продуктивність окремо взятого фільтра і перевірити його налаштування. Для оператора, який керує процесом зневоднення концентрату в режимі реального часу, виникають труднощі у виконанні даного процесу.

Мета роботи: проведення системного дослідження, спрямованого на обґрунтування доцільності використання системи керуванням обладнанням у технологічному процесі зневоднення концентрату, як засобу підвищення ефективності зневоднення концентрату.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні задачі:

- виконати аналіз чинних наукових досліджень за темою кваліфікаційної роботи;
- проаналізувати сучасні методи та можливості зневоднення концентрату;
- провести теоретичні дослідження з метою встановлення можливостей використання систем керування;
- змодельювати процес управління обладнанням;
- виконати економічне обґрунтування проекту.

Методи досліджень: емпіричний для збору інформації; описовий; спостереження; роботи з інформацією; математичного моделювання, діалектичний, системний аналіз, порівняльний аналіз.

У першому розділі проаналізована предметна область процесу зневоднення концентрату. Надана загальна характеристика технологічного процесу та наявної системи автоматизації. Приведено аналіз рішень на аналогічних об'єктах. В результаті визначена необхідність модернізації наявної системи та сформульована невирішена частина проблеми, яку планується досліджувати та вирішувати в рамках кваліфікаційної роботи.



У другому розділі проведено аналіз технологічного процесу як об'єкту автоматизації, обґрунтовано вибір всіх технічних складових робото технічного комплексу, виконано проектний розрахунок запропонованої системи, виконано потрібні розрахунки та побудовано моделі та алгоритми, які включено до складу робото технічного комплексу, розраховано продуктивність виконання робіт та обґрунтовано математичну модель оцінки енерговитрат.

У третьому розділі наведено методику виробничих випробувань, наведено опис використаних приладів і апаратури.

У четвертому розділі відповідними розрахунками підтверджено економічну доцільність впровадження запропонованої зміни в організації процесу виготовлення деталей.

**ВАКУУМ-ФІЛЬТР,ЗНЕВОДНЕННЯ,ЗАЛІЗОРУДНИЙ КОНЦЕНТРАТ,
МЕХАТРОННА СИСТЕМА,АВТОМАТИЗАЦІЯ**



ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ЗНЕВОДНЕННЯ	8
1.1 Літературний огляд	8
1.2 Технологічні та якісні параметри процесу зневоднення	9
1.3 Обладнання для зневоднення	14
1.3.1 Барабанний вакуум-фільтр	14
1.3.2 Стрічковий вакуум-фільтр	15
1.3.3 Фільтр-прес	16
1.3.4 Дисковий вакуум-фільтр	17
1.4 Принцип роботи дискового вакуум-фільтра	18
2 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗНЕВОДНЕННЯ	22
2.1 Параметри процесу зневоднення	22
2.2 Моделювання схеми автоматизації дискового вакуум-фільтра	23
2.2.1 Факторна модель процесу фільтрування	26
2.2.2 Феноменологічна модель процесу фільтрування	27
2.3 Розробка моделей системи керування	30
3 МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ	34
3.1 Розробка алгоритмів системи керування	34
3.2 Алгоритм функціонування автоматизованої системи керування	37
4 ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ НАУЧНО ДОСЛІДНИЦЬКИХ РОБІТ	42
4.1 Визначення етапів та тривалості проведення досліджень	42
4.2 Визначення витрат на оплату праці та соціальні відрахування	44
4.3 Розрахунок витрат на електроенергію	47
4.4 Розрахунок витрат на матеріали	47
4.5 Розрахунок амортизаційної суми	48
4.6 Обчислення накладних витрат	49
4.7 Складання кошторису витрат	49
4.8 Визначення економічної ефективності та терміну окупності	49
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	53



ВСТУП

Заключні операції в схемах переробки корисних копалин призначені, як правило, для зниження їхньої вологості до кондиційної, а також для регенерації оборотних вод збагачувальної фабрики.

Вибір методу зневоднення залежить від характеристики матеріалу, що зневоднюється (початкової вологості, гранулометричного і мінералогічного складів) та вимог до кінцевої вологості. Часто необхідної кондиційної вологості важко досягти за одну стадію, тому на практиці для деяких продуктів збагачення використовують операції зневоднення різними методами в декілька стадій.

Сьогодні для зневоднення продуктів збагачення використовують методи дренування (грохоти, елеватори), центрифугування (фільтруючі, відсаджувальні і комбіновані центрифуги), згущення (згущувачі, гідроциклони), фільтрування (вакуум-фільтри, фільтр-преси, гіпербарфільтри) і термічного сушіння (барабанні сушарки, парові трубчаті сушарки).

У гірничо-металургійному виробництві процес зневоднення залізородного концентрату характеризується високими витратами енергоресурсів, а також заниженою продуктивністю. Це викликано застосуванням ручної праці при виконанні лабораторних досліджень вологості осаду. Збільшення продуктивності здійснюється за умови дотримання певного переліку технологічних обмежень, зокрема, вологість осаду не повинна перевищувати унормований рівень.

Процес зневоднення залізородного концентрату виконується найчастіше на дискових вакуум-фільтрах, а їхня продуктивність розраховується одночасно на групу фільтрів. Така методика розрахунку продуктивності призводить до того, що практично не можливо об'єктивно оцінити продуктивність окремо взятого фільтра і перевірити його налаштування. Для оператора, який керує процесом зневоднення концентрату в режимі реального часу, виникають труднощі у виконанні даного процесу.

Апробація роботи:

Результати роботи були опробовані на наступній конференції 1 Яровий К.В. , Інтелектуальні системи управління, робототехнічні, мехатронні та електроенергетичні комплекси. *Концепція процесу керування зневодженням залізородного концентрату*: Мат. Міжнародної науково-технічної конференції «MININGMETALTECH 2024 – Гірничо-металургійний комплекс: інтеграція бізнесу, технологій та освіти».

м. Запоріжжя, 28-29 листопада 2024р. С 124-125. DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-157>



1 АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ЗНЕВОДНЕННЯ

1.1 Літературний огляд

Дослідженням процесу зневоднення займалися багато вітчизняних та закордонних вчених.

Зокрема В. Гарбер та ін. провели аналіз використання процесів фільтрації суспензій залізорудних концентратів та сучасних методів термічного сушіння та встановлення основних тенденцій у розвитку обладнання для зневоднення залізорудних концентратів [1].


Авторами проаналізовано тенденції у розвитку обладнання для фільтрування залізорудного концентрату. Виділено можливості та недоліки використання дискових вакуум-фільтрів з керамічними секторами.

Автори також виконали техніко-економічне порівняння зарубіжних фільтрів та встановлено, що вологість осаду та високі питомі енергетичні витрати зумовили тенденцію впровадження нових конструкцій фільтрів імпортного виробництва, незважаючи на незначне зниження кінцевої вологості залізорудних концентратів з 9,5 до 7,5%. У роботі наголошено, що подібні концентрати не можна використовувати у наступних металургійних процесах. Розраховані питомі вартості механічного зневоднення та термічного сушіння. Також зроблено висновок, щодо необхідності запровадження перспективних технологій збагачення залізних руд, які пов'язані з процесами прямого термічного відновлення руд та концентратів до чавуну, минаючи виробництво високоякісних концентратів 68-70% вмісту заліза, або залізорудних окатишів. Це дозволить на тих самих виробничих площах підвищити капіталізацію збагачувальних фабрик України у кілька разів.

Т.А. Олійник та ін. [2] дослідили можливість виробництва концентрату з якістю та вологою придатною до виробництва залізорудних окатишів що є сировиною для технології прямого відновлення заліза (DRI) на вітчизняних підприємствах, зокрема, забезпечення масової частки вологи концентрату у керованому діапазоні від 8,2 до 9,5%, що дозволяє стабільно виробляти окатиші з високими показниками якості.

Викладено результати вимірювання параметрів роботи керамічних вакуум-фільтрів КДФ-90 і обробки отриманих даних величин, за допомогою програми Microsoft Excel. Авторами проведено аналіз впливу кожного з параметрів на показник залишкової масової частки вологи концентрату: масова частка класу $-0,056$ мм, величина вакууму у зоні набору кеку, величина вакууму у зоні сушки кеку, швидкість обертання дисків вакуум-фільтру, рівень живлення у ванні фільтра, питома продуктивність апарату.

На підставі проведених досліджень авторами доведено, що технологія фільтрації з використанням керамічних вакуум-фільтрів є перспективною у порівнянні з традиційними тканинними фільтрами.



Вищезазначена технологія дає можливість забезпечити стабільний випуск концентрату за масовою часткою вологи та зменшити витрат енергоресурсів.

У роботі [3] Є. С. Лапшина та О. І. Шевченко викладено результати досліджень, спрямованих на аналіз новітніх технічних рішень для зневоднення й класифікації за крупністю при тонкому та надтонкому вібраційному грохоченні мінеральної сировини. Авторами зазначено, що вміст вологи в багатьох продуктах обмежений ГОСТом або тимчасовими нормами. Вода є баластом під час їх перевезень [4]. Надлишкова вода, що міститься у сировині може призвести до її замерзання. Відмічено, що «традиційні методи дозволяють ефективно розділяти лише матеріали з розмірами частинок понад 1 мм, а вологість готового продукту знизити до 18-22% залежно від крупності, що не відповідає необхідним нормам. Необхідне зниження вологи до 8- 10% і менше.» [5]. На думку авторів перспективним є розроблення та запровадження віброударного грохоту, в якому буде реалізовано розширення спектра впливу на матеріал, що переробляється, збільшення ресурсу роботи грохоту, можливості оперативного автоматичного управління, підвищення стабільності роботи і при цьому простота конструкції [6].

О.В. Замицький [7] виклав результати аналізу підходів до вибору оптимального апаратурно-технологічного оформлення процесу сушіння конкретного матеріалу, що включає комплексний аналіз матеріалу як об'єкта сушіння. В статті розглянуто основні особливості сушки тонко дисперсивних матеріалів. Автором сформульовано висновок щодо енергоефективності та економічності сушильних апаратів. Наголошується на потребі врахування проблем екологічності процесів сушіння.


1.2 Технологічні та якісні параметри процесу зневоднення

Зневоднення корисних копалин у більшості випадків здійснюється у водному або у важкому середовищі, тому продукти збагачення містять воду в кількості від 30 до 90 мас.%. Для подальшої металургійної, хімічної переробки або транспортування з таких продуктів вода повинна бути видалена одним з процесів зневоднення.

Зневоднення відноситься до допоміжних операцій збагачення, але значення його постійно підвищується, оскільки зростає випуск тонкоподрібнених продуктів, які утримують воду, і посилюються вимоги до охорони навколишнього середовища. Сьогодні у всьому світі згущують і зневоднюють понад 1 млн. т/добу продуктів крупністю менше 100 мкм.

Зневодненням називають процес видалення води з корисної копалини або з продукту збагачення. Розрізняють механічне і термічне зневоднення.

До механічного зневоднення відносять: дренавання, згущення, фільтрування і центрифугування. Термічне зневоднення – це видалення води випаровуванням.



Залежно від мінерального складу корисної копалини і прийнятої схеми збагачення операції зневоднення займають різне місце в технологічній схемі збагачення корисної копалини. Якщо передбачені пневматичні, радіометричні або електричні методи збагачення, а сировина, що надходить, містить надлишок вологи, то її заздалегідь зневоднюють.

Концентрати зневоднюють для отримання продукту необхідної вологості, запобігання замерзання продуктів в зимовий час і поліпшення умов транспортування.

Хвости (відходи) збагачення зневоднюють для зручності їх складування і отримання оборотної води для технологічних потреб. Зневоднюють і промпродукти збагачення, якщо з них необхідно видалити частину води перед подальшою обробкою. Рідку фазу при цьому направляють у зворотній цикл або скидають у хвостосховище.

Вологість – кількісна міра вмісту води у продукті. У поняття вологості не входить вміст хімічно зв'язаної (конституційної), а також кристалогідратної води.

Вологість (%) – це відношення маси води в продукті до маси сирого продукту:

$$8W = \frac{100q}{(G+q)} \quad (1.1)$$

де q – маса води;

G – маса сухого продукту.

Вологість підрозділяють на робочу W_p , лабораторну W_l і зовнішню $W_{вн}$, які зв'язані між собою наступним співвідношенням:

$$W_{вн} = W_p + W_l \quad (1.2)$$


Лабораторну вологість визначають висушуванням наважки продукту в лабораторних умовах до легко-сухого стану.

На механізм процесів зневоднення суттєво впливає енергія зв'язку рідини з матеріалом. Чим більше енергія зв'язку, тим важче відокремити вологу від матеріалу. На цьому принципі заснована класифікація форм зв'язку вологи з матеріалом, розроблена академіком П. О. Ребіндером. За цією класифікацією розрізняють хімічний, фізико-хімічний і фізико-механічний зв'язок [8].

Хімічно зв'язана волога володіє найбільшою енергією зв'язку з матеріалом і при сушці не видаляється. Хімічно зв'язана вода містить конституційну й кристалізаційну вологу.

Класифікацію форм зв'язку вологи, запропоновану П. О. Ребіндером, застосовують при вивченні механізму процесу сушки [9].

Дериватографічним методом можна визначити частку міцно-зв'язаної з поверхнею мінералу (гірської породи) води, яка видаляється тільки сушкою .



При механічному зневодненні розрізняють гігроскопічну, адсорбційну, капілярну і гравітаційну вологу.

Гігроскопічна волога конденсується на поверхні частинок у вигляді плівок і утримується адсорбційними силами. Таку вологу відносять до найміцніше зв'язаної.

Капілярна волога заповнює проміжки між частинками і утримується в них силами капілярного тиску.

Гравітаційна (вільна) волога заповнює всі проміжки між частинками і переміщується під дією гравітаційних сил. Видаляється способом дренажування.

Продукти збагачення залежно від вмісту в них води підрозділяють на ті, що обводнюють (рідкі), мокрі, вологі, легко–сухі і сухі.

Рідкі продукти містять не менше 40 мас.% води і володіють рухливістю рідини (текучі). До таких продуктів відносять зливи млинів і класифікаторів, концентрати флотації, хвости тощо. Ці продукти характеризуються вмістом твердого в одиниці об'єму або відношенням твердого до рідкого (Т:Р) у вагових одиницях. Рідкі продукти зневоднюються на грохотах, в елеваторах, зумпфах, у згущувачах або відстійниках.

Мокрі продукти (від 15 до 40 мас.% води) містять частково гравітаційну, капілярну і адсорбційну вологу і не володіють рухливістю рідини. Їх отримують в результаті зневоднення рідких продуктів збагачення. Мокрі продукти зневоднюються на грохотах, в бункерах, на складах, в центрифугах, на фільтрах. Частина води з таких продуктів може виділятися при зберіганні, транспортуванні і перевантаженнях.

Вологі продукти (від 5 до 15 мас.% води) не містять гравітаційної вологи, не володіють текучістю, але містять деяку кількість капілярної і адсорбційної вологи. Їх отримують в результаті інтенсивного зневоднення мокрих продуктів. Вологі продукти зневоднюються термічною сушкою.

Легко–сухі продукти – сипкі, одержуються після висушування на повітрі, містять тільки гігроскопічну вологу. Волога, що конденсується на поверхні частинок, як правило, не перевищує 5 мас.%.

Сухі продукти практично не містять вологи, одержуються після випаровування води з вологих продуктів при термічній сушці.

Корисні копалини і продукти збагачення володіють різною водоутримувальною здатністю, яка залежить від питомої поверхні частинок і енергії, що витрачається на взаємодію з водою.

Розрізняють об'ємну і масову питому поверхню зернистого матеріалу.

Поверхню, що припадає на одиницю об'єму продукту, називають питомою об'ємною S_v ($\text{м}^2 / \text{м}^3$, або $1/\text{м}$) та визначають за формулою:

$$S_v = \frac{S}{V} \quad (1.3)$$



де S – сумарна поверхня частинок, м² ;

V – об'єм продукту, м³ .

Поверхню, що припадає на одиницю маси, називають питомою масовою S_m (м² /кг) та визначають за формулою:

$$S_m = \frac{S}{M} \quad (1.4)$$

де M – маса продукту, кг.

Розрізняють також зовнішню і внутрішню поверхні частинок.

Під зовнішньою розуміють геометричну поверхню частинок, а під внутрішньою – поверхню мікро-, мезо- і макропор та мікротріщин. Повна поверхня дорівнює сумі зовнішньої і внутрішньої поверхонь. Чим більша питома поверхня продукту, тим більше вологи може утримуватися на ній.

Вологоутримувальна здатність зневоднюваних матеріалів залежить від їх змочуваності і гранулометричного складу.

Змочуваність характеризує молекулярну взаємодію води (рідини) з поверхнею частинок продукту збагачення. Змочуваність виявляється в частковому або повному розтіканні краплі рідини по поверхні частинки і характеризується крайовим кутом змочування, що утворюється дотичною до поверхні рідини з поверхнею твердих частинок. Відлічується у бік рідкої фази.

Загальна класифікація методів зневоднення представлена на рисунку 1.1.

Метод зневоднення	Пристрої та апарати	Крупність зневоднюваного продукту. Характер операції.	Зневоднюваний продукт	Загальна кінцева вологість, %	
Дренування	бункери	класи крупністю 10–3 мм	вугілля руда	6–7 4–6	
	дренажні склади	крупні продукти дрібні продукти	вугілля руда	4–5 6–10	
	елеватори	попереднє зневоднення	Вугілля >10 мм		9–10
		Крупні продукти	руда		16
		класи крупністю 3–35 мм	вугілля		18–22
		Дрібні продукти 3–35 мм	в руда		18–20
Дренування з використанням сил інерції	Грохоти вібраційні, резонансні	крупні продукти	вугілля	6–7	
		крупні продукти	руда	4–6	
		дрібні продукти	вугілля	18	
		дрібні продукти	руда	10–12	
		шлам	вугілля	25–30	
		шлам	руда	18	
Центрифугування	Дугові сита	попереднє зневоднення дрібних класів	вугілля	16–18	
	Центрифуги фільтруючі	зневоднення дрібних класів	вугілля	8	
	Центрифуги осаджувальні	зневоднення дрібного вугілля	вугілля	12–15	
Згущення	Циліндричні та інші згущувачі	згущення пульпи	шлами	P:T=2–4	
	Воронки		шлам	P:T=2–4	
	Гідроциклони		шлами	P:T=2–4	
Фільтрування	Вакуум-фільтри дискові, барабанні	зневоднення шламів	вугілля	20	
			руда	10	
	Фільтри ланцюгові	0–0,5 мм	руда	10	
	План-фільтри Прес-фільтри	0–0,5 мм	руда	10	
Термічна сушка	Барабанні сушарки	Дрібні продукти, шлами	вугілля	2–3	
			руда	2–3	
	Труби-сушарки	Дрібні продукти, шлами	вугілля	2–3	
	Сушарки з киплячим шаром	Дрібні продукти, шлами	вугілля	2–3	
Сублимація	Установи сублимації	Дрібні продукти, шлами	шлами	2–4	

Рисунок 1.1 Загальна класифікація методів зневоднення

1.3 Обладнання для зневоднення

Фільтруванням (зневодненням) називають процес розділення твердої і рідкої фаз тонкозернистих і шламистих суспензій, оснований на примусовому (під дією тиску або вакууму) видаленні з них води через пористу перегородку. Тверді частинки, які утрималися на пористій перегородці, називають осадом, а рідку фазу, яка пройшла через систему фільтрувальної перегородки – фільтратом.

Процес фільтрування протікає під дією різниці тисків по обидві сторони фільтрувальної перегородки. Залежно від способу створення необхідної різниці тиску розрізняють вакуум-фільтри і фільтр-преси.

У перших апаратах різницю тисків по обидва боки фільтрувальної перегородки створюють за допомогою вакууму, а у других – за допомогою тиску. Апарати комбінованої дії, в яких використовують вакуум і тиск, називають гіпербарфільтрами.

1.3.1 Барабанний вакуум-фільтр

Барабанні вакуум-фільтри (рисунок 1.2) застосовуються в основному для видалення води з осадів, які мають однорідний фракційний склад і низьку швидкість осадження.



Рисунок 1.2 – Барабанний вакуум-фільтр

Основний елемент даних фільтрів-циліндричний барабан, який розташований горизонтально і частково занурений у ємність. У цю ємність подається пульпа для зневоднення. Барабан складається із суцільного внутрішнього і перфорованого зовнішнього шару, який обтягнутий фільтротканиною.

Внутрішній порожнистий простір барабана ділиться на секції. До кожної секції підходить колектор для відведення фільтрату, що має на кінці цапфу і виходить у торець барабана. До цапф притискається розподільна головка. Під час обертання барабана його секції послідовно занурюються в пульпу, змінюючи одна одну, при цьому відбувається їхнє підключення до відповідних камер розподільчої головки. У зоні фільтрування тверда частина пульпи, що знаходиться в ємності, під дією розрідження прилипає до поверхні фільтротканини, утворюючи шар осаду, а фільтрат відводиться через колектор і камеру розподільної головки за межі вакуум-фільтра. У зоні просушування осад піддається впливу атмосферного повітря, при цьому під дією розрідження він продовжує просушуватися. У зоні зняття осаду в секції барабана йде подача стисненого повітря. Це полегшує процес відділення осаду від фільтротканини за допомогою скребкового механізму. Потім у зоні регенерації проводиться відновлення фільтротканини шляхом її обробки стисненим повітрям або паром.

1.3.2 Стрічковий вакуум-фільтр

Для зневоднення осадів, що швидко розшаровуються і неоднорідних за фракційним складом осадів використовується стрічковий вакуум-фільтр (рисунок 1.3).



Рисунок 1.3 – Стрічковий горизонтальний вакуум-фільтр

Цей вакуум-фільтр являє собою агрегат, що складається з фільтрувального столу і нескінченної стрічки. У середній частині фільтрувального столу знаходиться проріз, що має пряме сполучення з колектором для збору фільтрату.

На робочій поверхні стрічки розташовані поперечні жолоби для відведення фільтрату і прорізи, такі самі, як і у фільтрувальному столі. Фільтротканина кріпиться на стрічці. Її краї загинаються так, що вона набуває жолобоподібної форми. Фільтрат відводиться з внутрішнього боку тканинного полотна і через прорізи на ньому йде в збірний колектор. Рух потоку під час фільтрування спрямований вниз, у той самий бік що і сила тяжіння. У результаті чого спочатку відбувається осадження крупно дисперсних частинок, що становлять основу осаду, а потім шар дрібної фази осаду.

Істотний недолік стрічкового фільтра – його габаритні розміри.

1.3.3 Фільтр-прес

Фільтр-прес (рисунок 1.4) застосовують для фільтрації суспензій із низьким вмістом твердого. Розрізняють рамні та камерні фільтр-преси, а також автоматичні камерні зі схожим принципом дії.

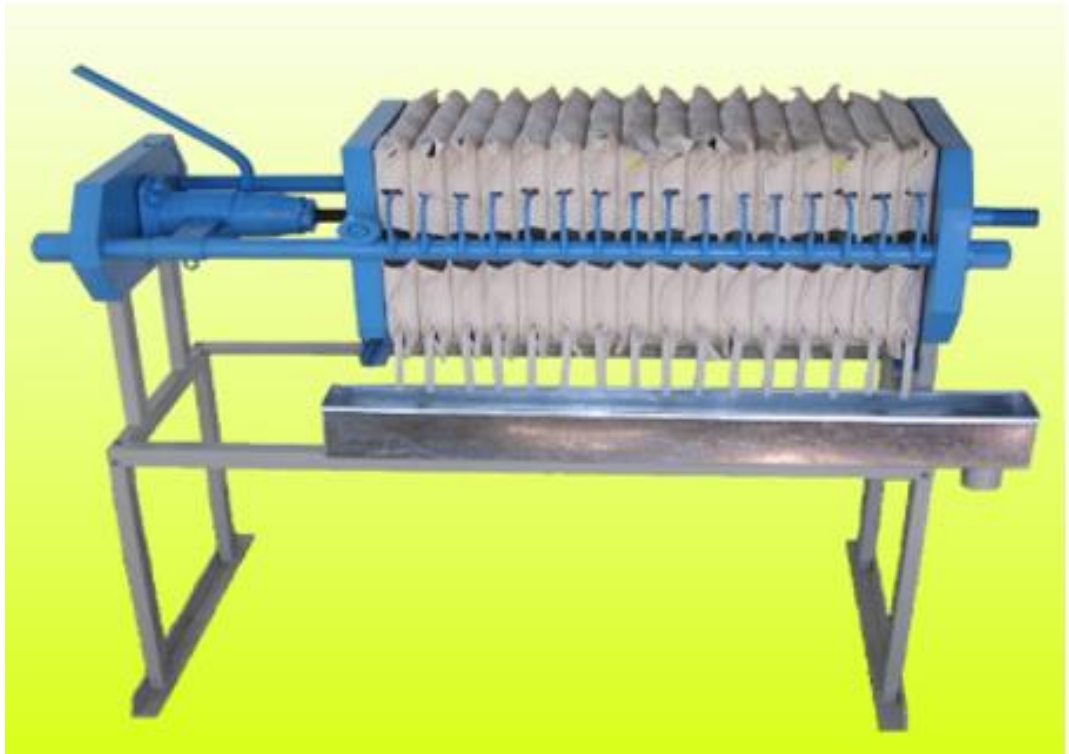


Рисунок 1.4 – Фільтр-прес

Під дією зовнішнього насоса пульпа, що фільтрується, подається в внутрішні порожнини фільтра. Рідка фаза пульпи проходить крізь фільтрувальні перегородки і по дренажних каналах відводиться в піддон або колектор. Вивантаження осаду, що утворився, може здійснюватися вручну (струшуванням, змивом водою або зніманням лопатою) або автоматично. Площа поверхні фільтрування становить від 2 до 800 м². Вхідний тиск суспензії може становити до 2 МПа. Рами та плити виготовляються з чавуну, сталі або сталі з антикорозійним покриттям.



Фільтр-преси мають велику поверхню фільтрування на одиницю площі, значні показники переробки суспензії, одиницю площі, значні показники перепаду тиску. При цьому відсутні рухомі частини і є можливість контролю роботи окремих плит.

Робочий процес прес-фільтра складається з чотирьох циклів, що повторюються періодично: подача суспензії; процес фільтрування; промивання і сушіння осаду, розкриття фільтра, вивантаження осаду і закриття.

Рамний фільтр-прес складається з пакета прямокутних пластин і рам. Вони розташовані по черзі в один ряд і підвішені до опори. На пластинах рифлена поверхня і вони обтягнуті фільтротканиною.

Суспензія під тиском проходить каналами в порожнину рами і поділяється фільтрувальною перегородкою. На поверхні тканини залишається осад, а фільтрат проходить через перегородку і відводиться по жолобах плити у ємність для збирання фільтрату. Осад, що утворився на фільтрі, видаляється, пластини роз'єднуються і осад відокремлюється під тяжінням своєї ваги або зрізається ножом. Після цього пластини закриваються і цикл фільтрування починається заново.

Камерні фільтр-преси використовуються для фільтрації та промивання опадів суспензій на різних хімічних виробництвах.

Фільтр-прес складається з набору плит, розташованих вертикально. Бувають декілька типів плит: фільтруючі; кінцеві; нажимні; упорні.

Плити встановлюються на поздовжніх стяжках з напрямними, якими переміщуються плити. При закритті преса фільтруюча плита з прилеглими плитами утворює камеру фільтрування та промивання.

Пульпа подається колектором, який формується при затиску плит. Фільтрат виводиться через штуцер, з'єднаний із колекторами відведення. Для промивання осаду фільтр-прес оснащується отворами для подачі промивної рідини.

Промивний фільтрат виводиться праворуч від осі фільтра. Коли промивна рідина подається під тканину, що фільтрує, вона проходить подвійну товщину осаду і потім крізь тканину наступної плити відводиться каналом в колектор.

1.3.4 Дисковий вакуум-фільтр

Дисковий вакуум-фільтр (рисунок 1.5) – вакуум-фільтр, в якому робочим органом є порожнистий обертовий диск з розміщеною на бокових поверхнях фільтруючою перегородкою.

Дискові вакуум-фільтри мають наступні переваги перед барабанними вакуум-фільтрами: більша площа фільтрувальної поверхні, а отже, і продуктивність (при однакових габаритах фільтра); можливість простої і швидкої заміни секторів з порваною фільтрувальною тканиною; менша металоємність.



Рисунок 1.5 – Дісковий вакуум-фільтр

Діскові вакуум-фільтри використовують на збагачувальних фабриках великої продуктивності для фільтрування тонкоподрібнених рудних концентратів крупністю до 0,2 мм і вугільних – до 0,5 мм

У порівнянні з іншими апаратами діскові фільтри відрізняються найбільшою фільтруючою поверхнею на одиницю займаної площі, можливістю незалежного ремонту окремих дисків, малою витратою фільтруючої тканини і невеликою витратою енергії. Проте, в цих апаратах погано здійснюється промивка осаду, при якому розбавляється суспензія у ванні фільтру.

1.4 Принцип роботи дискового вакуум-фільтра

На збагачувальних фабриках великої продуктивності для фільтрування тонкоподрібнених рудних концентратів крупністю до 0,2 мм і вугільних – крупністю до 0,5 мм використовують діскові вакуум-фільтри.

Дісковий вакуум-фільтр – вакуум-фільтр, в якому робочим органом є порожнистий обертовий диск з розміщеною на бокових поверхнях фільтруючою перегородкою.

Діскові вакуум-фільтри мають наступні переваги перед барабанними вакуум-фільтрами: більша площа фільтрувальної поверхні, а отже, і продуктивність (при однакових габаритах фільтра); можливість простої і швидкої заміни секторів з порваною фільтрувальною тканиною; менша металоємність.

Дискові вакуум-фільтри (рисунок 1.6) використовують на збагачувальних фабриках великої продуктивності для фільтрування тонкоподрібнених рудних концентратів крупністю до 0,2 мм і вугільних – до 0,5 мм

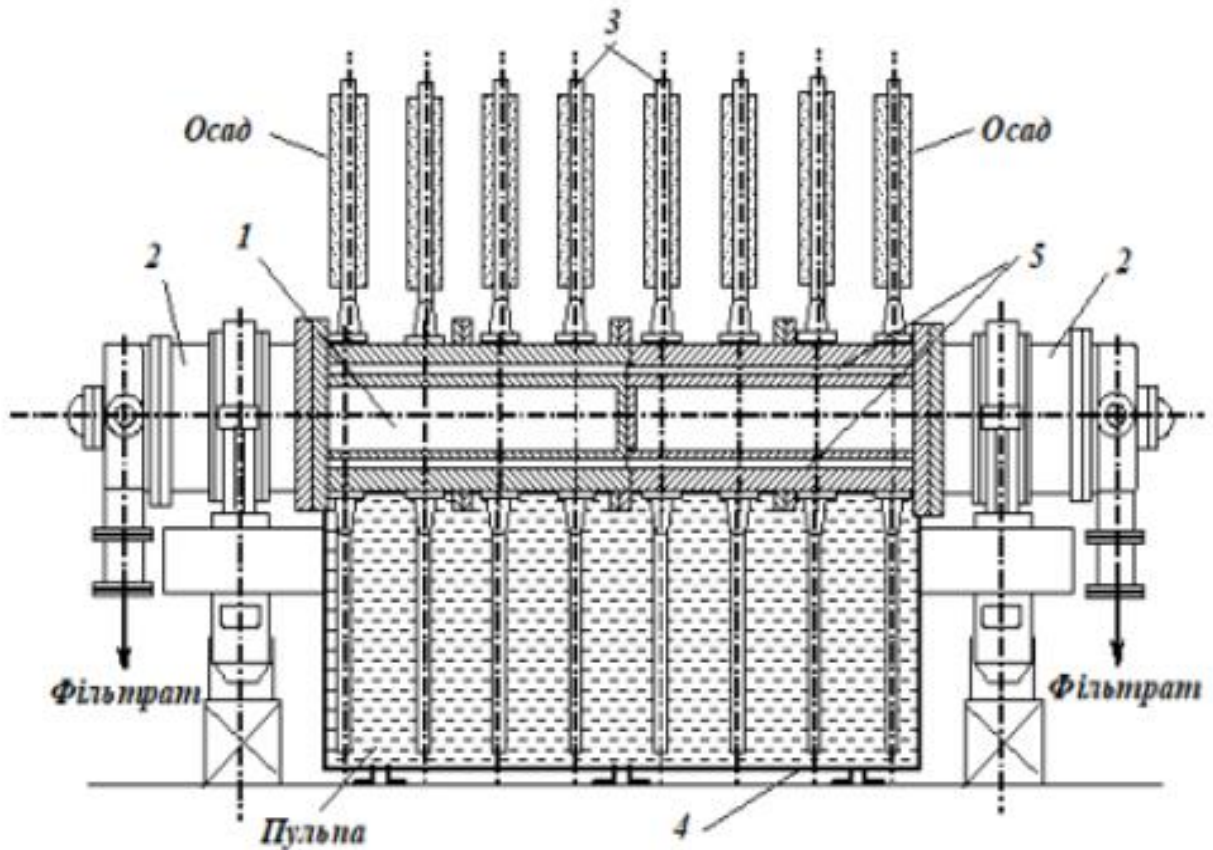



Рисунок 1.6 -Дисковий вакуум-фільтр

Дисковий вакуум-фільтр складається з полого валу (1), розподільної головки (2), дисків (3) і ванни (4). Вал обертається в підшипниках, що установлені у бокових стінках ванни. Усередині вал (1) полий, а по периферії розташовані ізольовані один від одного канали (5). В каналах є отвори для підключення до них секторів, з яких складаються диски. Число отворів на валу відповідає числу секторів.

Сектори вставляють в спеціальні гнізда пустотілого валу і кріплять до нього за допомогою шпильок з накладками. До торців валу притискуються за допомогою пружин розподільні головки. Вихідна пульпа надходить між дисками у ванну. Фільтруюча поверхня створюється боковими стінками дисків. У зоні фільтрування сектори дисків через розподільну головку підключені до вакуум-насоса.

Фільтруюча поверхня створюється боковими стінками дисків. Під дією вакууму вода проходить крізь отвори фільтрувальної тканини і осад, потрапляє через відповідні канали валу в розподільну головку і далі у ресивер.



При виході з пульпи сектори входять у зону просушування, де вода з осаду витісняється повітрям. В «мертвих» зонах здійснюється зміна вакууму на стиснене повітря або навпаки.

У зоні віддувки осад відділяється від фільтрувальної тканини стисненим повітрям і шкребками, а також в цій зоні тканина продувається повітрям і готується до наступного циклу фільтрування.

Ці апарати мають більш розвинену фільтрувальну поверхню, ніж барабанні.

Поверхня фільтрації стандартних фільтрів складає від 1 до 85 м², діаметр диска від 0,9 до 3,5 м, число дисків від 1 до 10, частота обертання фільтруючих дисків 0,13 – 2 об/хв., потужність електродвигуна 0,2 – 5 кВт, великі фільтри мають дві розподільні головки.

Дискові фільтри, так само, як і барабанні, виготовляють для роботи під тиском. Фільтрувальну тканину натягують на сектор у вигляді попередньо зшитого чохла.

На патрубку у валу фільтра цей чохол обв'язують дротом або шпагатом, а по контуру сектора зшивають і затискають накладкою.

Для знімання осаду застосовують безперервну і миттєву віддувку. При використанні безперервної віддувки не забезпечується ефективно відділення осаду з фільтруючої поверхні.

Внаслідок того що потоком стисненого повітря частина вологи з каналів вала і секторів повертається до фільтрувальної поверхні і частково в осад, на 0,44–1,62 % підвищується вологість осаду.

При миттєвій віддувці осаду повітря подають під тиском в два рази більшим, ніж при безперервній віддувці, а витрата його приблизно в два рази нижче.

Застосування миттєвої віддувки осаду дозволяє знизити його вологість на 0,3–0,5%. Для забезпечення миттєвої віддувки осаду використовують спеціальні клапани.

На рудозбагачувальних фабриках одного з ГЗК України використовуються вакуум-фільтри від виробника ПРАТ «Бердичівський машинобудівний завод «Прогрес» яким була розроблена конструкція нових дискових вакуум-фільтрів з трубчатим чарунковим валом та литим чавунним валом прохідного перетину з площею поверхні фільтрування 160 м².

Дискові вакуум-фільтри «ПРОГРЕС–ДОО» нової серії призначені для зневоднення тонкоподрібнених залізородних концентратів з вмістом твердої фази 5000 кг/ м³.

Технічна характеристика дискових вакуум-фільтрів ДОО 160-3,2 наведена у таблиці 1.1.



Таблиця 1.1 - Технічна характеристика дискових вакуум-фільтрів

Найменування	Величина
Тип	Д00160х3,2х5Ух04У(М)
Продуктивність , т/год	50
Площа поверхні фільтрації, м ²	160
Діаметр диска, мм	3200
Кількість дисків, шт	18
Частота обертання дисків, об/хв	0,2-1,1
Частота обертання мішалки, об/хв	56
Електро двигун приводу дисків потужність, кВт кількість обертів, об/хв	4АМУ160S6 11 1000
Електро двигун приводу мішалки потужність, кВт кількість обертів, об/хв	АИРУ112М4 5,5 1500
Габаритні розміри: довжина, мм ширина, мм висота, мм	7110 3790 4020
Маса, кг.	23685

Основними перевагами фільтрів після модернізації є: збільшені прохідні перетини каналів валу, які дозволяють значно збільшити продуктивність фільтрів; виготовлення розподільних головок зі збільшеним перетином; введення у конструкцію розподільних та чарункових шайб, виготовлених із поліамідних матеріалів, що підвищило зносостійкість у 5 разів; виготовлення трубчатого чарункового валу зварної конструкції дозволило підвищити ремонтно-придатність фільтра; використання пластикових секторів «Tamfelt», з підвищеним прохідним перетином та вихідним діаметром штуцера, збільшує питому продуктивність фільтра.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗНЕВОДНЕННЯ

2.1 Параметри процесу зневоднення

Процес фільтрування на вакуум-фільтрах рисунок 2.1 складається з ряду послідовних операцій:

1) в зоні фільтрування I фільтруюча поверхня занурена у ванну з пульпою і знаходиться під вакуумом. Під дією перепаду тиску рідка фаза (фільтрат) відсмоктується і видаляється з фільтру, а тверді частинки затримуються на фільтрувальній поверхні;

2) в зоні просушування II фільтрувальна поверхня виходить з пульпи і фільтрат інтенсивно видаляється з осаду. Під дією перепаду тиску через осад просмоктується атмосферне повітря і витісняє останню вологу з пор;

3) «мертва» зона III служить для розділення зон просушування і віддувки, а також для запобігання витіку стисненого повітря у зону просушування;

4) в зоні IV під фільтрувальну поверхню подається стиснене повітря і відбувається віддувка зневодненого осаду (кеку);

5) «мертва» зона V розділяє зони віддувки і фільтрування і має те ж призначення, що і зона III.

Зона I характеризується постійним збільшенням товщини осаду і видаленням фільтрату, зона II – частковим видаленням фільтрату

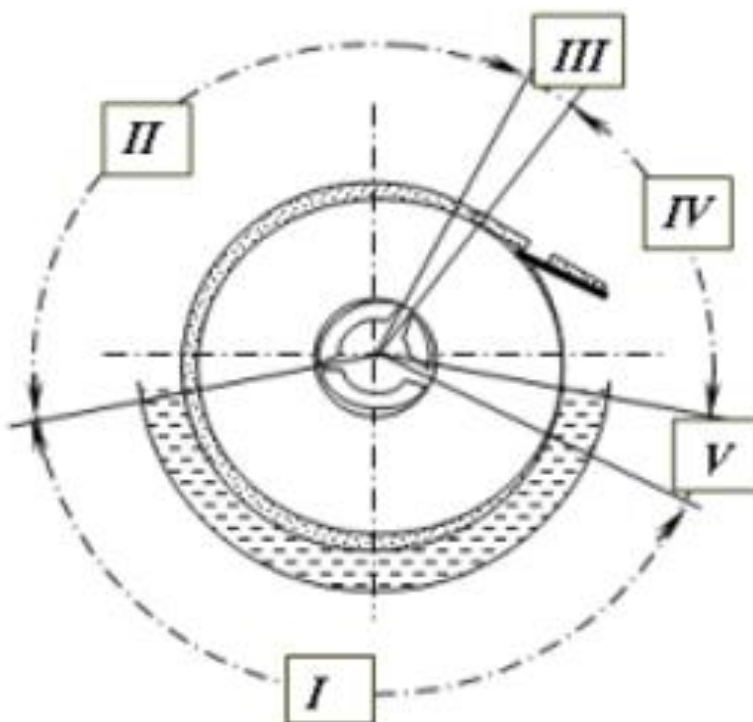


Рисунок 2.1 – Процес фільтрування на дискових вакуум-фільтрах

З урахуванням ламінарності течії рідини крізь шар осаду і отвори фільтруючої поверхні рівняння фільтрування може бути записане у такому вигляді:

$$\omega = \frac{dV}{Fdt} = \frac{dV'}{dt} = \frac{\Delta p}{\mu R} \quad (2.1)$$

де ω – швидкість фільтрування, м/с;
 V – об'єм фільтрату, м³ ;
 F – поверхня фільтрування, м² ;
 t – тривалість фільтрування, с;
 V' – об'єм фільтрату на одиницю поверхні фільтрування, м³ /м² ;
 Δp – різниця тиску, Па;
 μ – в'язкість фільтрату, Па·с;
 R – спільний опір осаду і поверхні фільтрування течії фільтрату, м⁻¹ .
 У початковий момент фільтрування рідина вільно проходить крізь отвори фільтруючої поверхні, тому у цьому випадку опором нехтують.

Однак зі збільшенням маси осаду опір зростає і описується формулою:

$$R_{oc} = rmV \quad (2.2)$$

де r – середній питомий масовий опір осаду, м/кг;
 m – маса осаду, що відклався на поверхні фільтрування при отриманні одиниці об'єму фільтрату, кг/м³ .

Після заміни R_{oc} на R одержимо остаточне диференціальне рівняння фільтрування:

$$\frac{dV'}{dt} = \frac{\Delta p}{mrmV} \quad (2.3)$$

Фільтрування застосовують для зневоднення тонких матеріалів – шламів, флотаційних концентратів і відходів.

2.2 Моделювання схеми автоматизації дискового вакуум-фільтра

При розробці схеми автоматизації вакуум-фільтра потрібно враховувати, що процес фільтрації є допоміжним і завдання фільтрувального відділення приймати і зневоднювати весь рідкий концентрат який надходить з попереднього відділення.

Структура чинників вакуум-фільтра показана на рисунку 2.2.

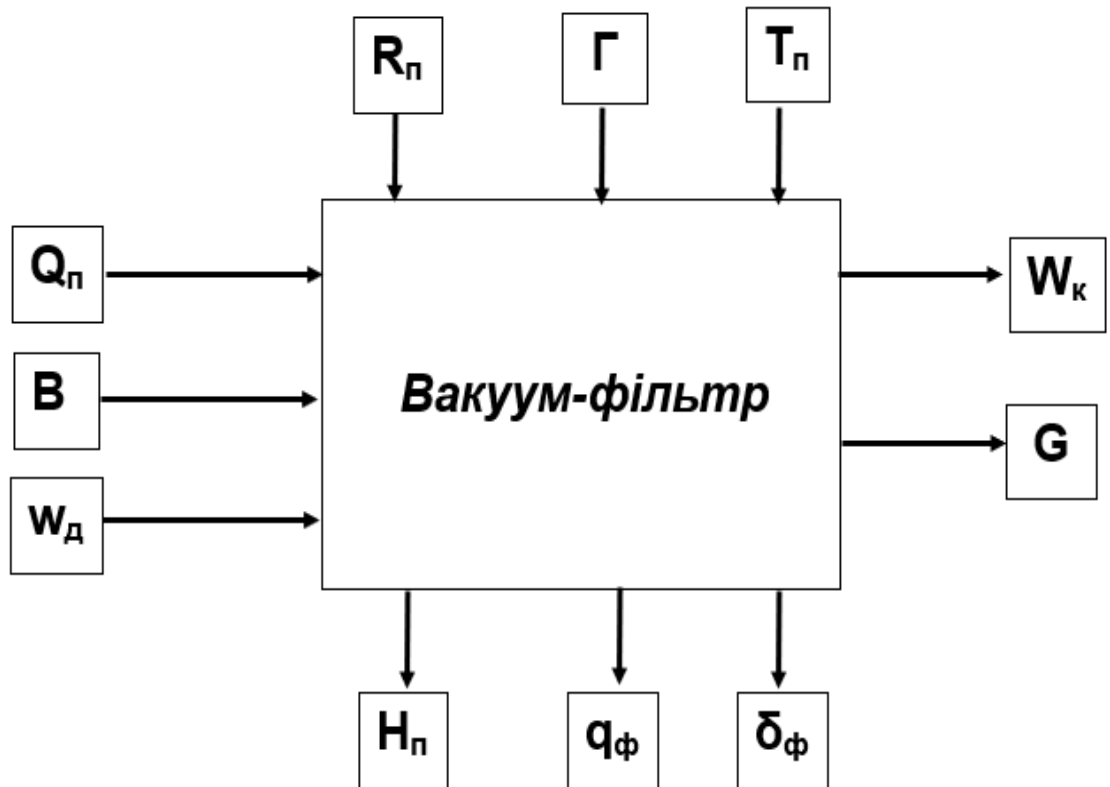


Рисунок 2.2 – Структура чинників вакуум-фільтра

Основними вихідними параметрами є продуктивність фільтра по кеку і його вологість (G, W_k). Додаткові вихідні чинники — витрата і густина фільтрату (q_f, δ_f).

До проміжного вихідного параметра потрібно віднести рівень пульпи у ванні вакуум-фільтра (H_p), який суттєво визначає його режим роботи.

Збурюючі впливи: гранулометричний склад концентрату (Γ), розрідженість і температура пульпи (R_p, T_p). Основними керуючими впливами на об'єкт прийняті об'ємне навантаження (Q_p), вакуум у дисках фільтра (B) і частота обертання дисків (w_d).

Зазначимо, що вакуум-фільтр як об'єкт автоматизації по каналу «навантаження на фільтр» — «рівень пульпи у ванні» з достатньою точністю можна представити реальною інтегруючою ланкою з незначним транспортним запізненням, а по каналу «частота обертання дисків» — «вологість кеку» — аперіодичною ланкою першого порядку.

На рисунку 2.3 спрощено зображена технологічна схема зневоднення концентрату, що включає збірний зумпф концентрату, насос, трубопровід з регулюючим органом.

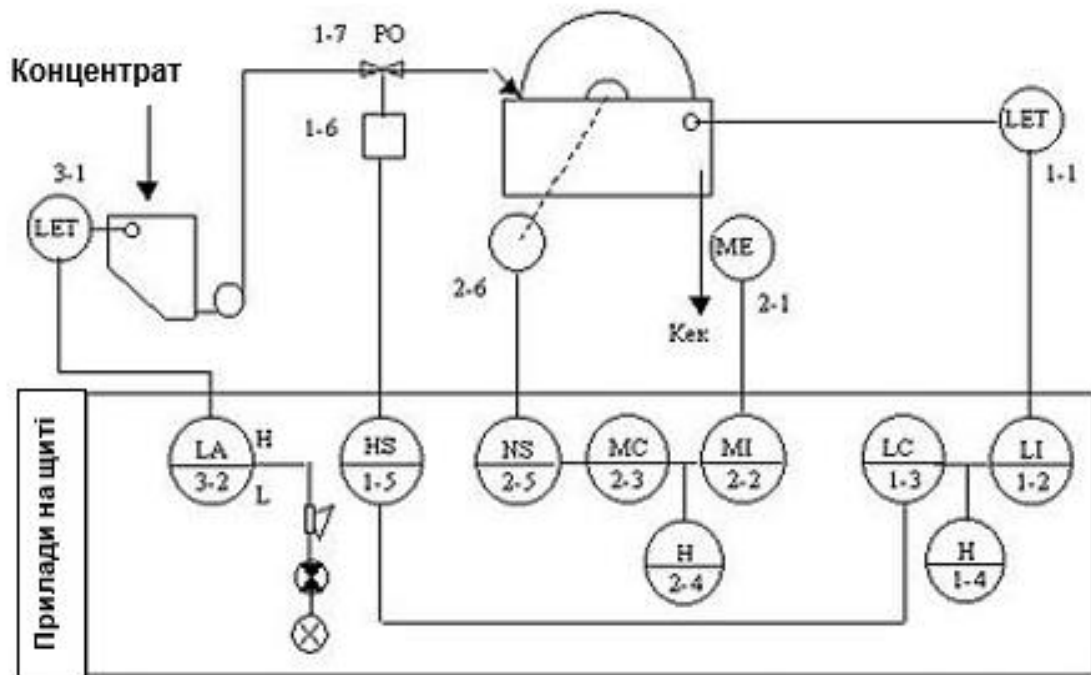


Рисунок 2.3 – Технологічна схема зневоднення концентрату


Вакуум-фільтр забезпечений приводом з регульованою частотою обертання (позиція 2-6). Потрібно врахувати, що вакуум-фільтр є складним об'єктом управління, оскільки присутній істотний взаємозв'язок між різними чинниками. Наприклад, частота обертання дисків вакуум-фільтра зумовлює, з одного боку, його продуктивність, з іншого, вологість кеку.

З технологічних міркувань приймаємо, що для вакуум-фільтра найважливішими параметрами є вологість кеку і рівень пульпи у ванні.

Рівень пульпи залежить від ряду параметрів — навантаження на вакуум-фільтр, його продуктивності, яка, своєю чергою, визначається частотою обертання дисків, вакуумом у системі, гранулометричним складом живлення та ін. Приймаємо найпростіший канал управління рівнем пульпи — об'ємне навантаження на вакуум-фільтр, яке можна змінювати за допомогою дросельної заслінки, розташованої на нагнітальному пульпопроводі (PO, позиція 1-7).

Вологість кеку також залежить від багатьох чинників (вакуум в системі, частота обертання дисків, об'ємне навантаження на вакуум-фільтр, гранулометричний склад флотоконцентрату). Враховуємо, що вакуум у системі зневоднення завжди підтримується максимально можливим.

Гранулометричний склад живлення вакуум-фільтра змінювати практично неможливо. Отже, приймаємо найраціональніший канал управління вологістю концентрату- зміну частоти обертання дисків вакуум-фільтра за допомогою привода (позиція 2-6). Зазначимо, що сучасні вакуум-фільтри обладнуються приводом з керованою частотою обертання дисків.



Важливим параметром у даній схемі є і рівень пульпи у зумпфі. При цьому не можна допускати як перелив, так і захоплення повітря всмоктувальним патрубком насоса.

Таким чином, приймаємо для схеми автоматизації вакуум-фільтром незалежні системи:

- 1) систему стабілізації рівня пульпи у ванні вакуум-фільтра;
- 2) систему регулювання вологості кеку;
- 3) систему контролю верхнього рівня пульпи в зумпфі.

Система 1 містить первинний датчик рівня пульпи (чутливий елемент з перетворювачем, поз 1-1), встановлений за місцем, вторинний шкальний (показуючий) прилад контролю рівня (поз. 1-2), регулятор (поз. 1-2), задатчик (поз. 1- 4), перемикач вибору режиму роботи системи (поз. 1-5), виконавчий механізм з регулюючим органом, який встановлено на пульпопроводі (поз. 1-6 і 1-7).

Аналогічно, система регулювання вологості (2) кеку включає первинний датчик вологості (2-1), вторинний показуючий і реєструючий прилад (2-2), регулятор із задатчиком (2-3 і 2-4), тиристорну станцію управління (2-5) і привод фільтра (2-6).

Система контролю рівня (3) в зумпфі містить первинний дискретний датчик рівня (наприклад, 2 електроди 3-1) і рівнемір (наприклад, типу УКС, - 3-2). Останній настроєний на контроль двох рівнів — верхнього (Н) і нижнього (L). Сигналізація здійснюється за допомогою індикаторної лампочки і гудка.

Комплекс забезпечує:

- а) автоматичну стабілізацію заданих питомих витрат реагентів;
- б) стабілізацію густини і витрати пульпи на флотацію;
- в) автоматичне регулювання рівня пульпи у ванні вакуум-фільтра і його продуктивності.

2.2.1 Факторна модель процесу фільтрування

Вхідними факторами процесу фільтрування згідно рисунку 2.4 є :

- 1) характеристики вихідної сировини, зокрема, гранулометричний склад вихідного матеріалу (Γ_1);
- 2) об'ємне навантаження на операцію (Q1);
- 3) вакуум і тиск повітря (w, p).

Вихідні фактори:

- 1) вихід і вологість кеку ($\gamma_k, W_k r$);
- 2) вміст твердої фази у фільтраті (β_f).

Проміжним фактором можна розглядати:

- 1) рівень пульпи у ванні вакуум-фільтра (H).

Основними оперативними керуючими факторами процесу фільтрування є:

- 1) об'ємне навантаження на операцію (Q1);
- 2) вакуум і тиск повітря (w, p);

3) швидкість руху фільтруючої поверхні (час її перебування під вакуумом, t_v).

Фактори, які збурюють процес:

- 1) гранулометричний склад (Γ_1) вихідної сировини;
- 2) розрідження пульпи (R).

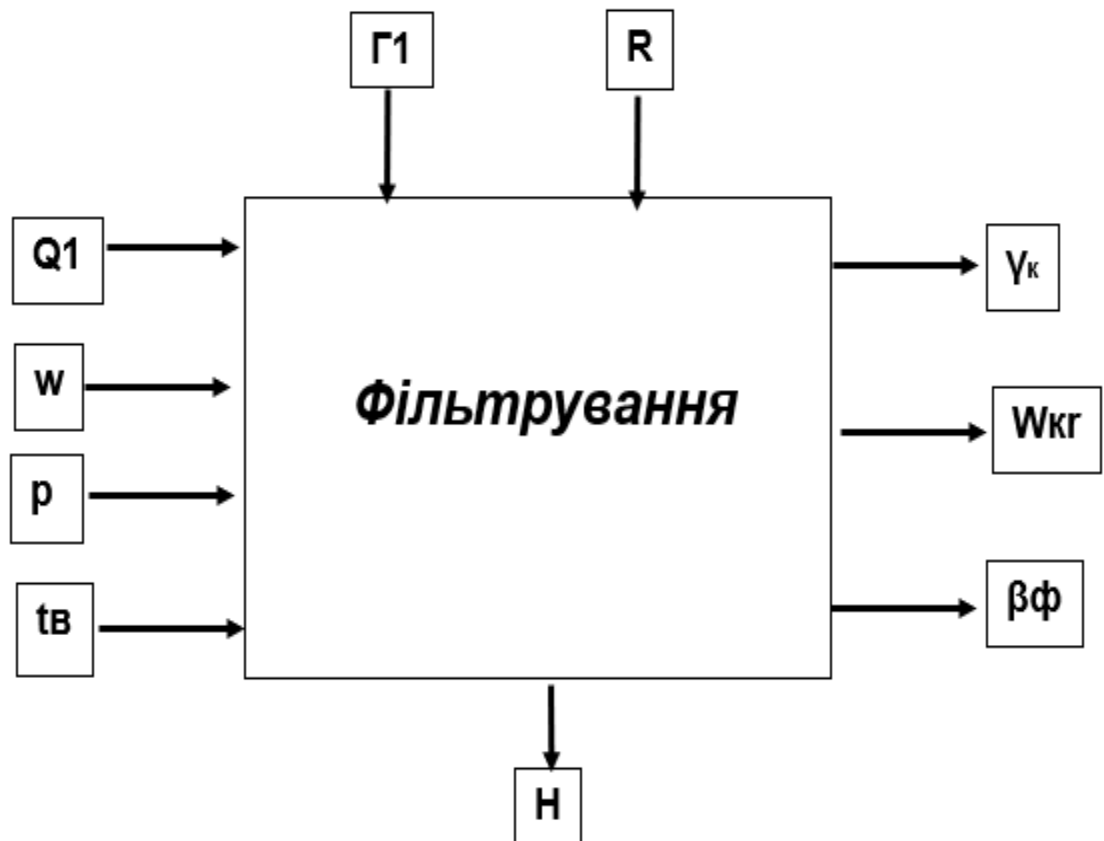



Рисунок 2.4 – Факторна модель процесу фільтрування

2.2.2 Феноменологічна модель процесу фільтрування

Важливими конструктивними характеристиками вакуум-фільтрів, які впливають на процес і його результати, є: конструкція вакуум-фільтра, площа фільтруючої поверхні. Крім того, можлива зміна фізико-хімічних характеристик твердої фази, що може суттєво вплинути на процес.

Розглянемо вплив цих факторів на процес фільтрування.

Зі збільшенням густини пульпи продуктивність вакуум-фільтрів збільшується. Однак при фільтруванні мулистих шламів підвищення густини пульпи до підвищення продуктивності не приводить. Найбільш сприятливий за гранулометричним складом флотаційний концентрат коксівного вугілля містить від 20 до 40 % класу $-0,06$ мм. При вмісту класу $-0,06$ мм менше вказаної норми збільшується розшарування пульпи за крупністю у ванні фільтра і погіршується процес фільтрування. При збільшенні вмісту класу $-0,06$ мм у пульпі (особливо якщо він перевищує 50 %) продуктивність фільтру зменшується, а вологість осаду збільшується.



На ефективність роботи вакуум-фільтрів суттєво впливає розшарування матеріалу у ванні за крупністю.

Одночасно зі зміною гранулометричного складу по висоті шару пульпи у ванні вакуум-фільтру змінюється вміст твердого. Якщо у переливі він складає 450 кг/м³, то на дні ванни – 900 кг/м³, тобто у 2 рази вище, ніж у верхніх шарах пульпи.

На продуктивність вакуум-фільтрів суттєво впливає зольність тонких класів (–0,06 мм) у флотоконцентраті, що надходить на фільтрування. Присутність глинистих частинок приводить до створення щільних осадів з малою проникністю, зниження швидкості фільтрування і забивання фільтруючої поверхні.

Додання (до 40 %) зернистого шламу крупністю 0,3 – 0,4 мм при фільтруванні тонких флотаційних концентратів є одним з методів покращення процесу фільтрування, так як збільшує пористість шару сипкого матеріалу [5].

Продуктивність вакуум-фільтрів збільшується в 1,5 рази при флокуляції флотаційного концентрату перед фільтруванням.

Крім того, при цьому полегшується віддувка осаду і знижується вміст твердого у фільтраті до 10 – 20 кг/м³ (без флокуляції 30 – 40 кг/м³). Однак при флокуляції пульпи вологість осаду збільшується.

Вакуум впливає на продуктивність фільтру і вологість осаду: зі збільшенням вакууму питома продуктивність збільшується, а вологість осаду зменшується. Раціональні межі вакууму – не менше 60 – 67 кПа.

Тиск стисненого повітря при віддувці не повинен перевищувати 50 кПа для запобігання пориву фільтрувальної тканини. Найбільший ефект при розвантаженні шару осаду (коржа) дає віддувка тривалістю 2–4 с. [6].

Частота обертання дисків впливає на продуктивність вакуум-фільтру і вологість осаду: зі збільшенням частоти обертання продуктивність і вологість осаду збільшуються. Оптимальна частота обертання дисків встановлюється експериментально у залежності від гранулометричного складу твердої фази.

До аналогічних результатів приводить збільшення швидкості руху стрічки стрічкових вакуум-фільтрів.

Зниження рівня пульпи у ванні приводить до зменшення товщини осаду, погіршення віддувки і, отже, до зменшення продуктивності вакуум-фільтра.

Рівень пульпи необхідно підтримувати постійним автоматично або циркуляцією 5 – 10 % пульпи через перелив з ванни.

На рисунку 2.5 представлена феноменологічна модель процесу фільтрування.

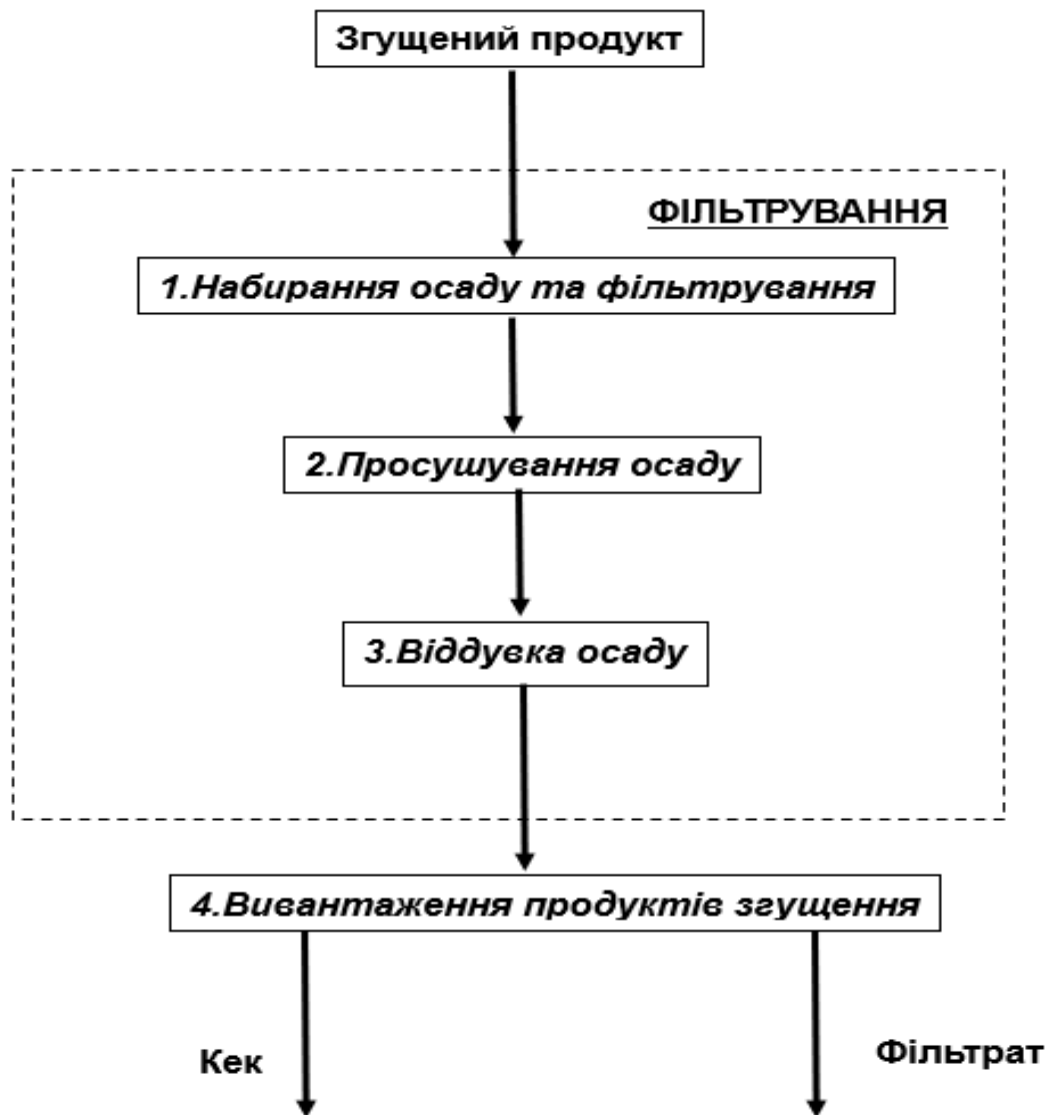


Рисунок 2.5 – Феноменологічна модель процесу фільтрування

Субпроцес 1 «Набирання осаду і фільтрування води». Під дією вакууму в ванні фільтру на фільтрувальну поверхню з пульпи осаджується тверда фаза і з неї відсмоктується вода (фільтрат).

Субпроцес 2 «Просушування осаду». Фільтрувальна поверхня виходить із пульпи і з осаду (кеку) під дією вакууму відсмоктується остаточна волога.

Субпроцес 3 «Віддувка осаду». Для відділення кеку від фільтрувальної поверхні під неї подається стиснене повітря.

Субпроцес 4 «Вивантаження продуктів фільтрування». Вивантаження кеку здійснюється його віддувкою стисненим повітрям і зняттям шкребками. Фільтрат проходить крізь шар осаду, отвори фільтрувальної тканини і через канали полого валу фільтру і потрапляє в розподільну головку, далі у ресивер.



2.3 Розробка моделей системи керування

Під час побудови моделі розробленої системи управління необхідно врахувати, що під час роботи дискових вакуум-фільтрів вологість осаду вимірюється 1 раз на хвилину. Частота обертання дисків фільтра, положення засувки на трубопроводі подачі розрідження в зону набору осаду, щільність і рівень пульпи у ванні вакуум-фільтра, а також рівень пульпи в пульпо розподілювачі регулюються автоматично.

Продуктивність вакуум-фільтра підтримується на максимальному рівні зміною завдань густини пульпи у ванні фільтра і положення засувки на трубопроводі подачі розрідження в зону набору осаду.

Відмітна особливість розробленої системи керування процесом зневоднення є те, що густина пульпи у ванні вакуум-фільтра і положення засувки на трубопроводі подачі розрідження в зоні набору осаду підтримується на необхідному рівні індивідуально для кожного дискового вакуум-фільтра, що в підсумку призводить до підвищення якості управління процесом, а згодом до зростання продуктивності фільтрів і зниження коливань вологості осаду.

Під час цього дослідження для моделі розробленої системи управління процесом зневоднення було отримано моделі контурів регулювання рівня і щільності пульпи у ванні вакуум-фільтра, регулювання рівня в пульпо розподілювачі, регулювання положення засувки на трубопроводі подачі розрідженого продукту, засувки на трубопроводі подачі розрідження і регулювання вологості осаду.

Для всіх контурів було обрано ПІ-регулятор, оскільки він дає високу якість регулювання і при цьому не складний у налаштуванні, як ПІД регулятор. Обмеження управлінь регуляторів у розглянутих контурах регулювання було задано за допомогою блоків Saturation.

Збуренням для об'єкта керування є зміна сумарного питомого опору осаду і фільтротканини. Зміна питомого опору осаду викликана зміною гранулометричного складу концентрату, а зміна питомого опору фільтротканини — її забрудненістю.

Похибка вимірювання в контурах регулювання описується за допомогою блоку Uniform Random Number.

Контур регулювання рівня пульпи у ванні вакуум-фільтра регулює його, впливаючи на витрату пульпи і води у ванну фільтра зміною положення засувки.

Контур регулювання густини пульпи у ванні вакуум-фільтра регулює цей параметр зміною співвідношення «вода-пульпа».

У контурі регулювання рівня пульпи у ванні вакуум-фільтра обурення імітує зміну витрати пульпи з ванни. Ця зміна витрати може бути викликана зміною гранулометричного складу концентрату в пульпі живлення фільтра.

Отримана модель контуру регулювання положення засувки витрати пульпи з ванни представлена на рисунку 2.6.

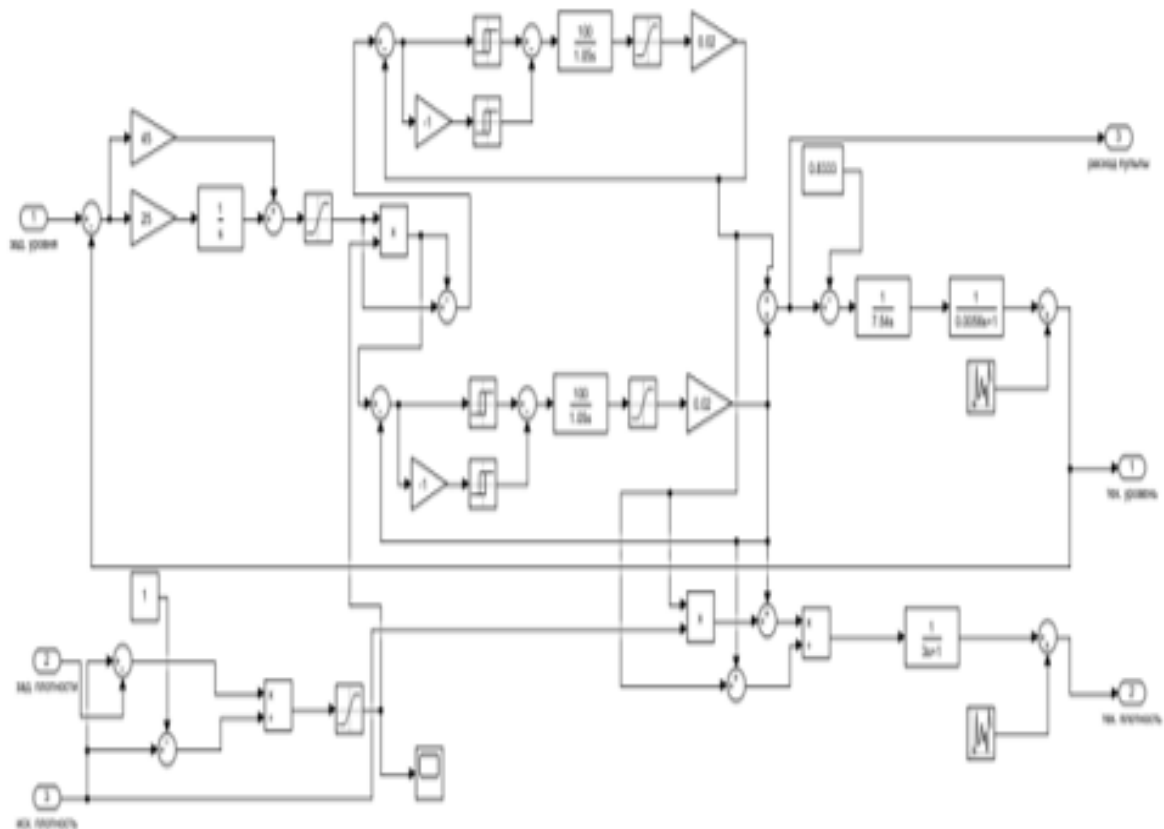


Рисунок 2.6 – Модель контурів регулювання рівня і густини пульпи у ванні вакуум-фільтра

Контур регулювання положення засувки на трубопроводі подачі розрідження в зону набору осаду обчислює керуючий вплив для багато параметричного екстремального регулятора (МЕО) засувки за допомогою трипозиційного реле.

Отримана модель контуру регулювання положення засувки витрати пульпи з ванни представлена на рисунку 2.7.

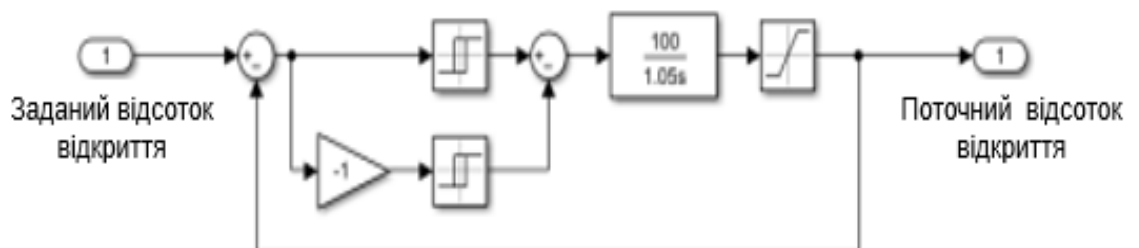


Рисунок 2.7 – Модель контуру регулювання положення засувки витрати пульпи з ванни

Контур регулювання рівня пульпи в пульпо розподілювачі регулює рівень, впливаючи на витрату пульпи зміною частоти обертання валу електроприводу насоса.

У контурі регулювання рівня пульпи в пульпо розподілювачі обурення імітує зміну витрати пульпи з пульпо розподілювача. Ця зміна витрати може бути спричинена запуском або зупинкою вакуум-фільтрів.

Під час налаштування регуляторів було отримано такі параметри регулятора: $K_i = 25$ і $K_p = 80$.

Отримана модель контуру регулювання рівня пульпи в пульпо розподілювачі представлена на рисунку 2.8.

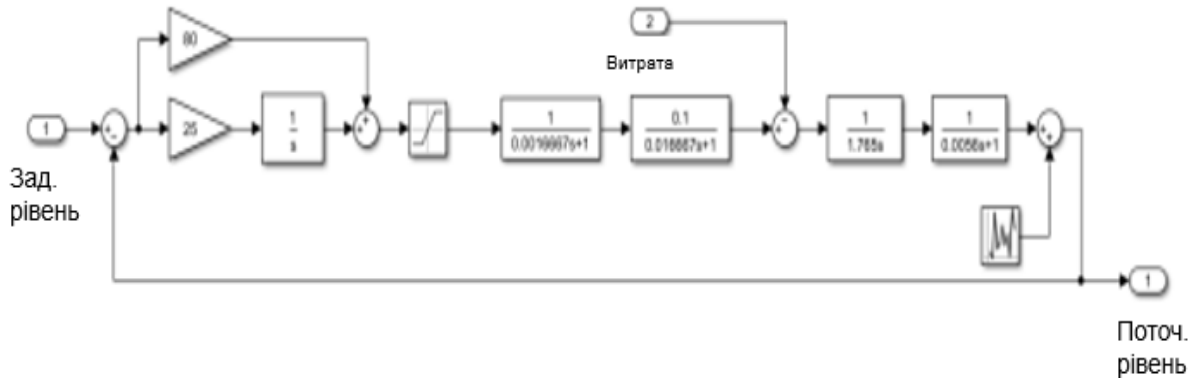


Рисунок 2.8 – Модель контуру регулювання рівня пульпи в пульпо розподілювачі

Контур регулювання вологості осаду регулює цей параметр, змінюючи частоту обертання дисків фільтра.

У цьому контурі регулювання збуренням є зміна завдань у контурах регулювання щільності пульпи і положення засувки на трубопроводі подачі розрідження в зону набору осаду, а також забрудненість фільтротканини і гранулометричний склад концентрату в пульпі живлення.

Зміна завдань для даних контурів викликана роботою багато параметричного екстремального регулятора, що входить до складу контуру регулювання продуктивності вакуум-фільтра.

Розроблена система управління процесом зневоднення дасть змогу підтримувати вологість осаду на необхідному рівні. Ця обставина дасть змогу, зменшивши запас за вологістю, підвищити частоту обертання дисків, а отже, і продуктивність вакуум-фільтра.

У контурі регулювання продуктивності вакуум-фільтра буде використовуватися багато параметричний кроковий екстремальний регулятор, що функціонує на основі методу по координатного підйому і здійснює пошук екстремуму (максимуму) продуктивності вакуум-фільтра, змінюючи завдання для контурів регулювання густини пульпи в ванні фільтра і положення засувки на трубопроводі подачі розрідження в зону набору осаду.

Метод по координатного підйому полягає в почерговій зміні керованих каналів (щільності пульпи і положення засувки) з метою визначення приватних екстремумів основного параметра (продуктивності).

Принцип дії багато параметричного крокового екстремального регулятора за результатами кожного кроку - зміни завдання густини пульпи або положення засувки - виконується порівняння поточного значення продуктивності та його значення на попередньому кроці роботи системи; у разі якщо продуктивність збільшилася, наступний крок системою здійснюється в тому самому напрямку, в іншому разі проводиться зміна напрямку кроку на протилежний.

Отримана модель розробленої системи керування процесом зневоднення концентрату з використанням багато параметричного екстремального регулятора представлена на рисунку 2.9.

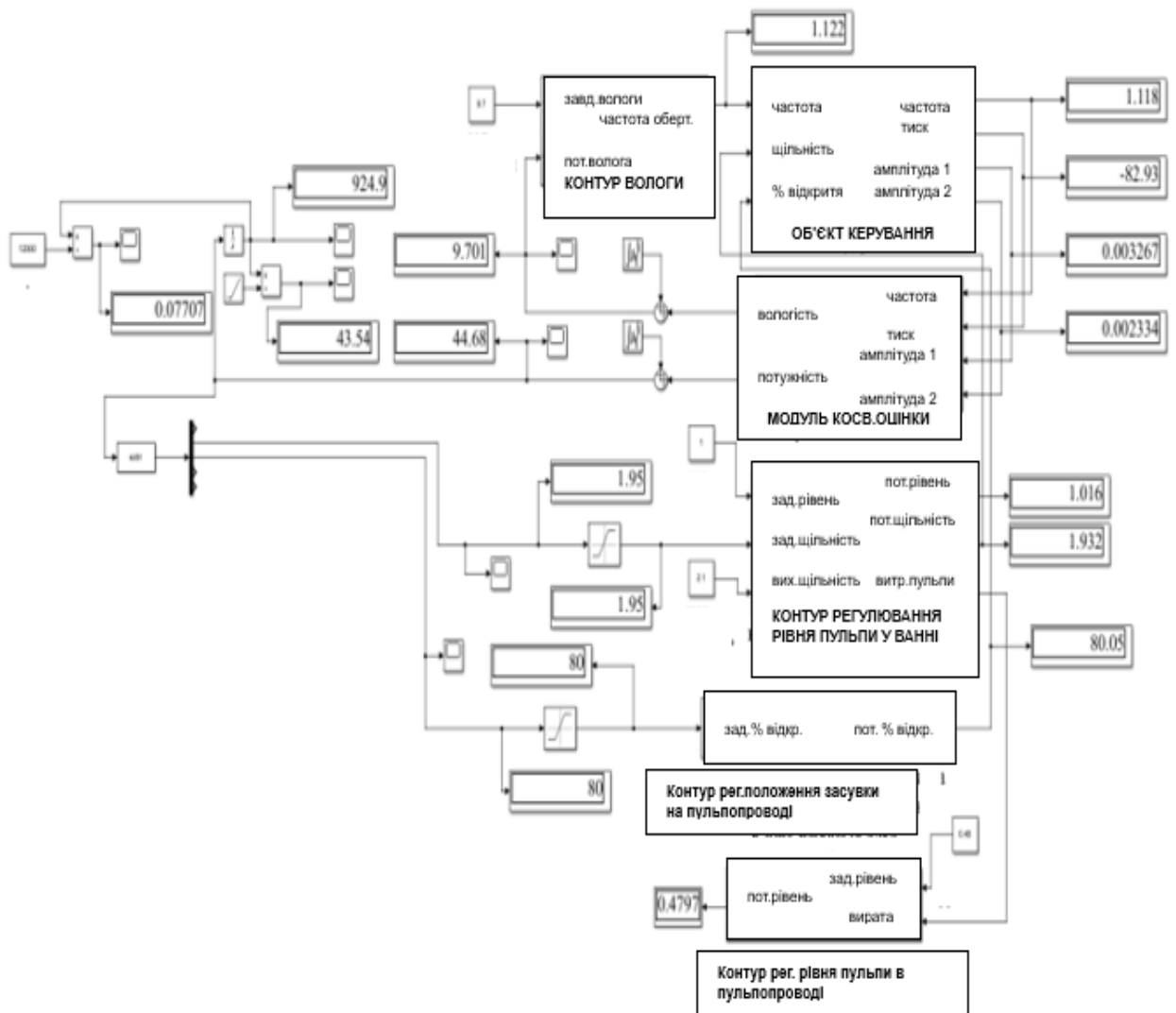


Рисунок 2.9 – модель розробленої системи керування процесом зневоднення концентрату з використанням багато параметричного екстремального регулятора

3 МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

3.1 Розробка алгоритмів системи керування

Для зменшення кількості перемикачів завдань густини пульпи і положення засувки, що знаходиться на трубопроводі подачі розрідження в зону набору осаду з метою збільшення ресурсу роботи засувок та їхніх приводів у цьому дослідженні пропонується використовувати гібридний інтелектуальний блок управління екстремальним регулятором (ГБУЕР), який відключатиме його на певні періоди часу.

Цей блок управління містить у собі знання оператора, який керує вакуум-фільтром.

Гібридний інтелектуальний блок керування екстремальним регулятором визначає момент, коли екстремальний регулятор знайде екстремум продуктивності, і відключає регулятор. Потім на основі даних, що надходять на його входи, визначає момент увімкнення екстремального регулятора, активний параметр (щільність або положення засувки) і напрямок його кроку (збільшення або зменшення).

Гібридний інтелектуальний блок керування екстремальним регулятором має 5 входів.

За історією зміни продуктивності дискового вакуум-фільтра q блок керування екстремальним регулятором отримує інформацію про зміщення її максимуму.

Частота обертання дисків вакуум-фільтра v дає блоку керування екстремальним регулятором інформацію про поточний сумарний питомий опір осаду і фільтротканини, пов'язаний зі зміною з плином часу крупності концентрату в пульпі живлення фільтра і забрудненням фільтротканини на його дисках.

За умови підтримання вологості осаду на постійному рівні та відсутності змін інших технологічних параметрів вакуум-фільтра, таких як щільність пульпи і положення засувки на трубопроводі подачі розрідження, збільшення забрудненості фільтротканини (її питомого опору) призводить до зниження частоти обертання дисків фільтра.

Зростання питомого опору осаду, в умовах підтримання вологості осаду, щільності пульпи і положення засувки на трубопроводі подачі розрідження на постійному рівні призводить до зниження частоти обертання дисків фільтра і навпаки зниження питомого опору осаду за тих самих умов дає зростання частоти обертання дисків.

Також вхідними параметрами гібридного інтелектуального блока керування екстремальним регулятором є: завдання густини пульпи у ванні вакуум-фільтра ($\rho_{зад}$) і завдання положення засувки на трубопроводі подачі розрідження в зону набору осаду ($h_{зад}$) відповідно, а також активний параметр (k) екстремального регулятора.

Ці параметри дають змогу визначити момент досягнення екстремуму продуктивності і деактивувати регулятор (зафіксувавши його вихідні параметри).

Виходами інтелектуального блока керування є:

- 1) k^* визначає активний параметр у момент активації регулятора;
- 2) u^* використовується для передачі екстремальному регулятору інформації про напрямок кроку його активного параметра або про деактивацію регулятора.

До складу розроблюваного інтелектуального блока керування екстремальним регулятором входять:

- 1) блок розрахунку різниці поточної продуктивності фільтра і продуктивності фільтра на попередньому кроці роботи регулятора;
- 2) блок активації та деактивації екстремального регулятора;
- 3) блоки оцінювання доцільності корекції $\rho_{зад}$ і $h_{зад}$.

Структурну схему розробленого інтелектуального блока керування екстремальним регулятором подано на рисунку 3.1.

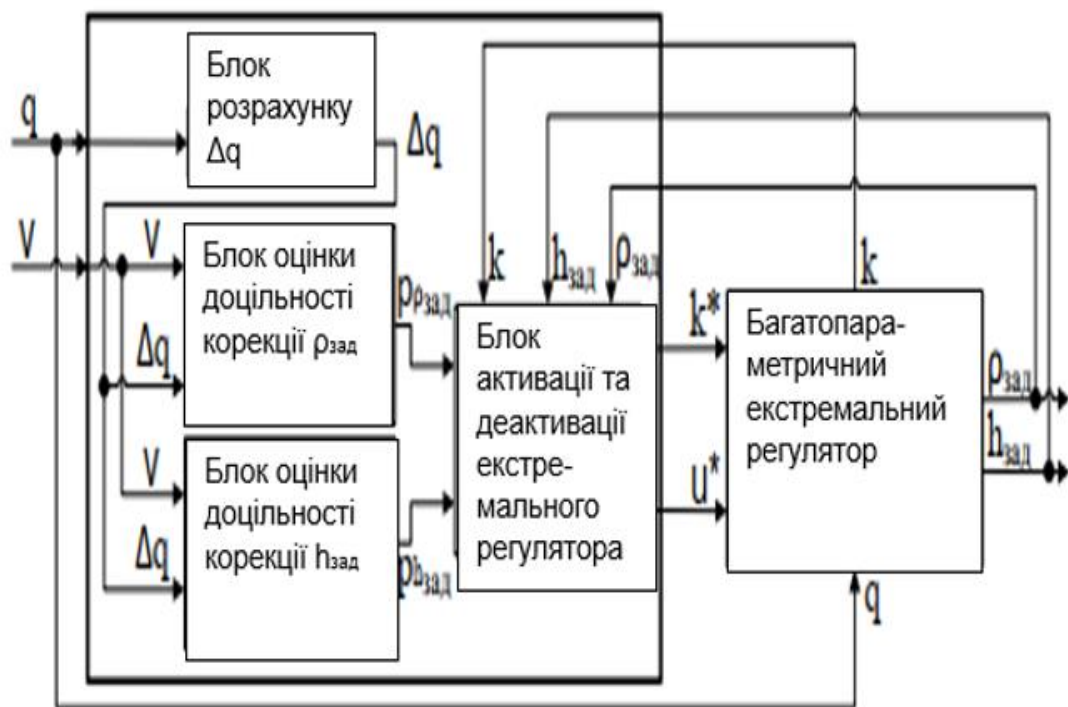


Рисунок 3.1 – Структурна схема розробленого інтелектуального блока керування екстремальним регулятором

Алгоритм функціонування інтелектуального блока керування викликається циклічно 1 раз на 20 хвилин ($\Delta t = 20$) і передбачає такі дії:

- 1) якщо в поточний момент часу екстремальний регулятор увімкнено, здійснюється перехід до п. 6;

2) на основі сигналу продуктивності вакуум-фільтра блок розрахунку Δq визначає зміну продуктивності фільтра в результаті останнього кроку роботи регулятора;

3) значення Δq і v подаються на блоки оцінки доцільності корекції завдань густини пульпи і положення засувки, які обчислюють оцінку зміщення екстремуму за густиною пульпи ($r_{pзад}$) і за положенням засувки ($r_{hзад}$) відповідно на основі значень $r_{pзад}$ і $r_{hзад}$ блок активації та деактивації екстремального регулятора приймає рішення про активацію екстремального регулятора і визначає, який із керованих параметрів (k^*) буде активним, а також напрямок кроку активного параметра ($u^*=1$ або -1);

4) алгоритм завершується якщо блок активації та деактивації екстремального регулятора на основі значень $r_{зад}$, $h_{зад}$ і k визначив факт досягнення екстремуму продуктивності, екстремальний регулятор деактивується, шляхом встановлення параметра u^* у значення 0.

Блок-схема алгоритму функціонування гібридного інтелектуального блоку управління екстремальним регулятором наведено на рисунку 3.2.

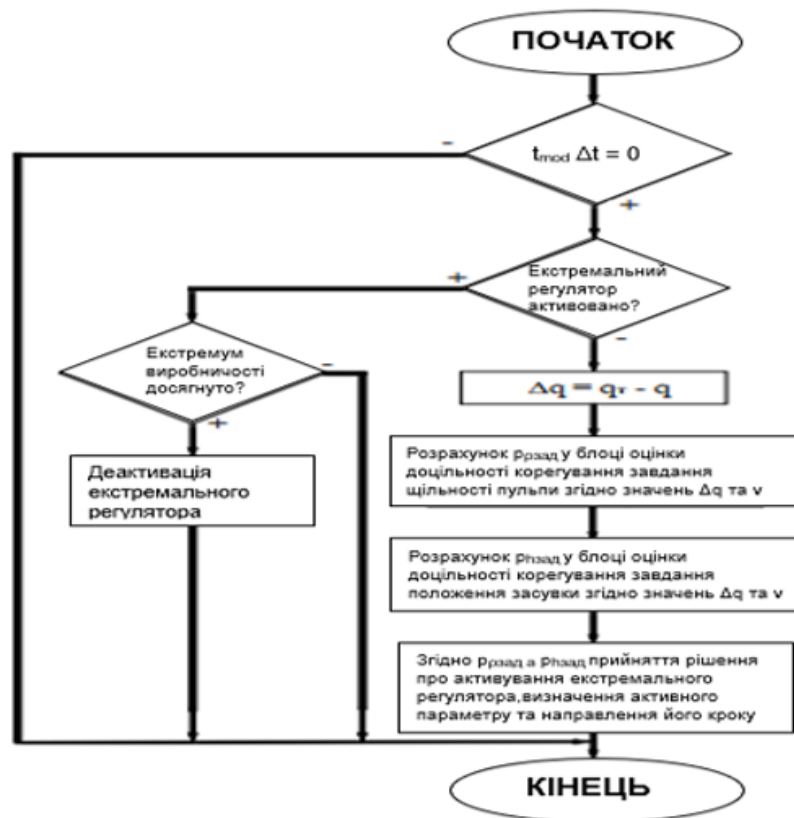


Рисунок 3.2 – Блок – схема алгоритму функціонування гібридного інтелектуального блоку управління екстремальним регулятором

Оскільки у вихідних даних, використовуваних для розроблення гібридного інтелектуального блоку керування екстремальним регулятором, містяться знання оператора, який керує дисковим вакуум-фільтром, отже, при створенні блоку оцінювання доцільності корекції завдання положення засувки може бути використано математичний апарат, який вміє описувати логіку мислення людини, але при цьому має здатність до навчання.



3.2 Алгоритм функціонування автоматизованої системи керування

Автоматизована система керування процесом зневоднення з індивідуальним регулюванням технологічних параметрів кожного дискового вакуум-фільтра складається з трьох рівнів:

- а) верхнього (операторський);
- б) середнього (рівня управління);
- в) нижнього (польового рівня).

Нижній рівень автоматизованої системи керування представлений датчиками і виконавчими механізмами (ВМ).

На середньому рівні знаходиться програмований логічний контролер (ПЛК).

Верхній рівень автоматизованої системи керування містить у собі автоматизоване робоче місце оператора.

На середньому рівні автоматизованої системи керування виконуються такі функції:

- 1) збір даних від датчиків;
- 2) формування керуючих впливів;
- 3) обмін даними з верхнім рівнем автоматизованої системи керування;
- 4) реалізація багато параметричного екстремального регулятора;
- 5) видача обчислених керувальних впливів на виконавчі механізми.

На верхньому рівні автоматизованої системи керування виконуються такі функції:

- 1) обмін даними із середнім рівнем автоматизованої системи керування;
- 2) візуалізація технологічного процесу зневоднення залізорудного концентрату;
- 3) дистанційне керування обладнанням (пуск і зупинка);
- 4) введення завдань для локальних контурів регулювання;
- 5) архівування даних про роботу обладнання та про протікання процесу зневоднення в цілому;
- 6) зберігання та відображення архівних даних;
- 7) виведення на екран поточних значень параметрів технологічного процесу;
- 8) видачу аварійних повідомлень;
- 9) виведення історії зміни технологічних параметрів у вигляді трендів;
- 10) перемикання між ручним і автоматичним режимом роботи системи управління;
- 11) розрахунок у модулі непрямого вимірювання поточних значень вологості осаду і продуктивності дискового вакуум-фільтра;
- 12) розрахунок у ПБУЕР керуючих параметрів для екстремального регулятора.

Автоматизоване робоче місце оператора, що знаходиться на верхньому рівні автоматизованої системи керування, включає в себе:

а) SCADA-систему, а також модуль непрямого вимірювання і гібридний інтелектуальний блок управління екстремального регулятора, реалізовані мовою програмування C++.

Структурно-функціональна схема автоматизованої системи керування процесом зневоднення залізородного концентрату з індивідуальним регулюванням технологічних параметрів вакуум-фільтра представлена на рисунку 3.3.

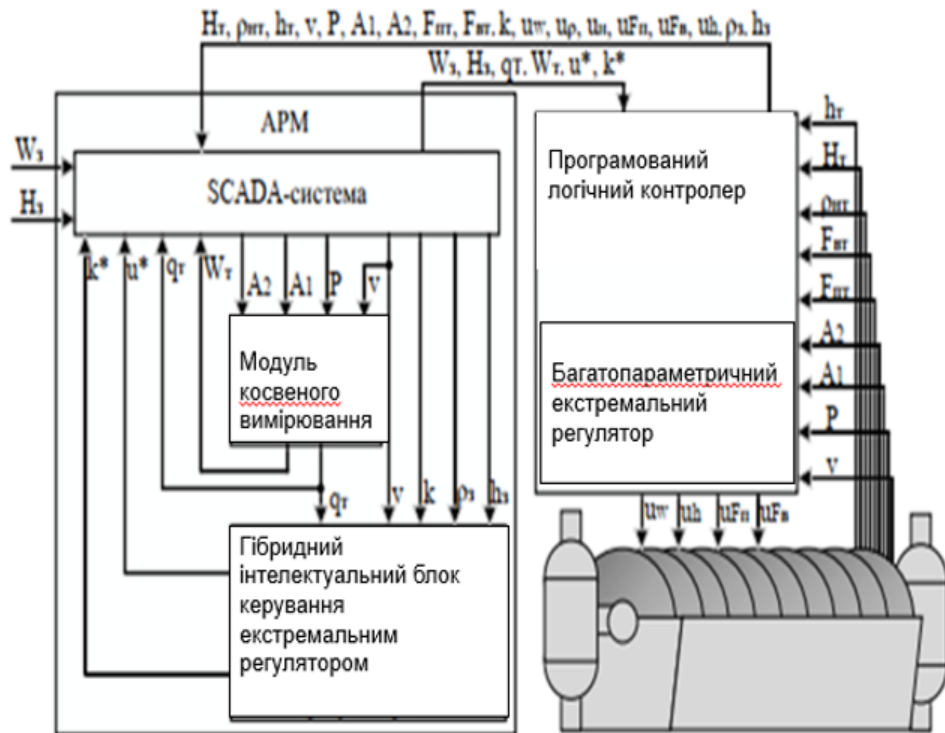



Рисунок 3.3 – Структурно-функціональна схема автоматизованої системи керування процесом зневоднення залізородного концентрату з індивідуальним регулюванням технологічних параметрів вакуум-фільтра

Автоматизована система керування процесом зневоднення, структурна схема якої представлена на рисунку 3.3, має такі потоки даних:

1) від датчиків до програмованого логічного контролера. За цим потоком передаються показання датчиків: рівня (H_T), щільності (ρ_{HT}), положення засувки (h_T), частоти обертання дисків (v), тиску розрідження (P), вібрації (A_1, A_2), витрати пульпи і води (F_{PT}, F_{VT});

2) від програмованого логічного контролера до об'єкта управління, за цим потоком передаються розраховані значення управлінь: для перетворювача частоти (u_w), для засувки, що регулює витрату пульпи (u_{Fp}), для засувки, що регулює витрату води (u_{Fv}), для засувки, що регулює розрідження в зоні набору осаду (u_h);



3) двонаправлений потік даних між ПЛК і SCADA-системою, за цим потоком у SCADA-систему передаються такі дані: управління для перетворювача частоти (u_w), управління для засувки, що регулює витрату пульпи ($u_{Fп}$), управління для засувки, що регулює витрату води ($u_{Fв}$), керування для засувки, що регулює розрідження в зоні набору осаду (u_h), керування від контуру регулювання щільності пульпи (u_p), керування від контуру регулювання рівня пульпи (u_H), значення рівня (H_t), значення щільності ($\rho_{нт}$), значення положення засувки (h_t), значення частоти обертання дисків (v), значення тиску розрідження (P), значення вібрації (A_1, A_2), значення витрати пульпи і води ($F_{пт}, F_{вт}$), завдання густини пульпи ($\rho_з$), завдання положення засувки на трубопроводі подачі розрідження в зону набору осаду ($h_з$). По даному потоку з SCADA-системи в ПЛК передаються такі дані: завдання вологості осаду ($W_{зз}$), завдання рівня пульпи у ванні вакуум-фільтра ($H_з$), поточне значення вологості осаду (W_t), поточне значення продуктивності фільтра (q_t), керуючі параметри (k^*) і (u^*);

4) двонаправлений потік даних між МКІ і SCADA-системою, за цим потоком із SCADA-системи в МКІ передаються такі дані: значення частоти обертання дисків (v), значення тиску розрідження (P), значення вібрації (A_1, A_2). По даному потоку з МКІ в SCADA-систему передаються такі дані: поточне значення вологості осаду (W_t) і поточне значення продуктивності дискового вакуум-фільтра (q_t);

5) з МКІ в ГБУЕР, за цим потоком передається значення продуктивності дискового вакуум-фільтра (q_t);

6) двоспрямований потік даних між ГБУЕР і SCADA системою, за цим потоком із SCADA-системи в ГБУЕР передаються такі дані: частота обертання дисків (v), завдання щільності пульпи ($\rho_з$), завдання положення засувки на трубопроводі подачі розрідження в зону набору осаду ($h_з$), активний параметр екстремального регулятора (k). За цим потоком із ГБУЕР у SCADA-систему передаються такі дані: керуючі параметри (k^*) і (u^*);


7) від оператора в SCADA-систему, за цим потоком передаються такі дані: завдання вологості осаду ($W_з$), завдання рівня пульпи у ванні вакуум-фільтра ($H_з$).


Алгоритм функціонування розробленої системи керування процесом зневоднення залізорудного концентрату з індивідуальним регулюванням технологічних параметрів вакуум-фільтра складається з таких шагів:

1) опитування датчиків рівня (H_t), густини ($\rho_{нт}$), положення засувки (h_t), швидкості (v), тиску розрідження (P), вібрації (A_1, A_2), витрати пульпи і води ($F_{пт}, F_{вт}$);

2) передача отриманих значень ($H_t, \rho_{нт}, h_t, v, P, A_1, A_2, F_{пт}, F_{вт}, k, k^*, u^*$);

3) опитування SCADA-системи за завданнями вологості осаду ($W_з$) і рівня пульпи у ванні вакуум-фільтра ($H_з$);

- 
- 4) передача значень частоти обертання дисків (v), тиску розрідження (P), вібрації у двох точках ресивера ($A1, A2$) з SCADA-системи у МКІ;
 - 5) розрахунок поточної вологості осаду (W_t) і продуктивності дискового вакуум-фільтра (q_t) за допомогою багатосарової нейронної мережі на основі значень $v, P, A1, A2$;
 - 6) передача розрахованого значення поточної вологості осаду (W_t) і продуктивності дискового вакуум-фільтра (q_t) з МКІ в SCADA-систему;
 - 7) передача значення частоти обертання дисків (v), завдання густини пульпи (ρ_3), завдання положення засувки на трубопроводі подачі розрідження в зону набору осаду (h_3), активний параметр екстремального регулятора (k) з SCADA-системи і поточного значення продуктивності дискового вакуум-фільтра (q_t) з МКІ в ГБУЕР;
 - 8) розрахунок у ГБУЕР керуючих параметрів (k^*) і (u^*) на основі v, q_t, ρ_3, h_3 і k з використанням багатосарової нейронної мережі та нечіткої нейронної мережі;
 - 9) передача розрахованих керуючих параметрів (k^*) і (u^*) з ГБУЕР у SCADA-систему;
 - 10) передача керуючих параметрів (k^*) і (u^*), завдань вологості осаду (W_3) і рівня пульпи у ванні вакуум-фільтра (H_3), поточних значень вологості осаду (W_t) і продуктивності вакуум-фільтра (Q_t) з SCADA-системи в ПЛК;
 - 11) розрахунок завдання густини пульпи (ρ_3), завдання положення засувки на трубопроводі подачі розрідження в зону набору осаду (h_3) і активного параметра (k) за допомогою багато параметричного екстремального регулятора на основі k^*, u^* і q_t ;
 - 12) розрахунок помилки за вологістю осаду (e_w) на основі значень заданої та поточної вологості осаду (W_3 і W_t);
 - 13) розрахунок керування для ПЧ (u_w) за ПІ-законом регулювання на основі помилки за вологістю (e_w);
 - 14) обмеження значення u_w у заданому діапазоні;
 - 15) розрахунок керування від контуру регулювання щільності пульпи (u_p) на основі завдання густини (ρ_3) і початкової густини пульпи ($\rho_{пН}$);
 - 16) обмеження значення u_p у заданому діапазоні;
 - 17) розрахунок помилки за рівнем пульпи у ванні вакуум-фільтра (e_H) на основі значень заданого і поточного рівня пульпи (H_3 і H_t);
 - 18) розрахунок керування від контуру регулювання рівня пульпи (u_H) за ПІ-законом регулювання на основі помилки за рівнем пульпи (e_H);
 - 19) обмеження значення e_H у заданому діапазоні;
 - 20) розрахунок завдань для контурів регулювання витрати пульпи ($u_{зФп}$) і води ($u_{зФв}$) у ванну вакуум-фільтра на основі управлінь від контурів регулювання густини (u_p) і рівня пульпи у ванні вакуум-фільтра (u_H);
 - 21) розрахунок помилки за витратою пульпи у ванну вакуум-фільтра ($e_{Фп}$) на основі значень заданої ($u_{зФп}$) і поточної витрати пульпи ($F_{пт}$);



22) розрахунок керування для засувки, що регулює витрату пульпи (uFп) за допомогою 3-х позиційного реле на основі помилки за витратою пульпи у ванну вакуум-фільтра (eFп);

23) розрахунок помилки за витратою води у ванну вакуум-фільтрі (eFв) на основі значень заданої (uzFв) і поточної витрати води (Fвт);

24) розрахунок управління для засувки, що регулює витрату води (uFв) за допомогою 3-х позиційного реле на основі помилки за витратою води у ванну вакуум-фільтрі (eFв);

25) розрахунок помилки за положенням засувки, встановленої на трубопроводі подачі розрідження в зону набору осаду (eh) на основі значень заданого і поточного положення засувки (hz і ht);

26) розрахунок керування для засувки, що регулює розрідження в зоні набору осаду (uh) за допомогою 3-х позиційного реле на основі помилки за положенням засувки (eh);

27) передача розрахованих значень управлінь: uw, up, uH, uFп, uFв, uh з програмованого логічного контролера в SCADA-систему;

28) передача розрахованих значень управлінь: uw, uFп, uFв, uh з програмованого логічного контролера програмованого логічного контролера на виконавчі механізми.

Розглянутий алгоритм розробленої системи управління процесом зневоднення залізорудного концентрату з індивідуальним регулюванням технологічних параметрів вакуум-фільтра виконується циклічно.

Використання розробленої системи керування процесом зневоднення залізорудного концентрату з індивідуальним регулюванням технологічних параметрів кожного дискового вакуум-фільтра дасть змогу:

а) підвищити продуктивність переділу і знизити питомі витрати ресурсів, необхідних для протікання процесу, таких як електрика, стиснене повітря, технічна вода, за рахунок індивідуального управління кожним дисковим вакуум-фільтром, а також за рахунок підвищення частоти і зниження часу затримки вимірювання вологості вихідного продукту процесу;

б) знизити навантаження на оператора;

в) надавати дані про перебіг протікання технологічного процесу в режимі реального часу;

г) керувати всіма вакуум-фільтрами відділення віддалено з одного АРМ оператора;

д) отримувати за необхідності поточні значення технологічних параметрів, а також передісторію їхньої зміни;

е) керувати процесом у ручному й автоматичному режимах.



4 ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ НАУЧНО ДОСЛІДНИЦЬКИХ РОБІТ

Метою даного розділу є економічне обґрунтування магістерської кваліфікаційної роботи. Цей розділ дозволяє визначити доцільність проведення науково-дослідних робіт і економічно обґрунтувати застосування конкретних засобів.

Відомо, що розробка надійної та ефективної автоматизованої системи вимагає значних витрат часу. Важливо відмітити, що ці витрати залежать від кваліфікації розробника та його можливостей. Розробник повинен володіти навиками програмування, вміти адекватно застосовувати математичний апарат та бути добре ознайомленим із предметом дослідження.

Метою даного розділу є виконання розрахунку вартості науково-дослідної роботи, спрямованої на доведення доцільності розробки автоматизованої системи керування технологічним процесом зневодненням концентрату на збагачувальних фабриках і наступного запровадження обраної конструкції а саме:

- 1) опис технологічного процесу розробки з вказівкою трудомісткості кожної окремої операції;
- 2) визначення суми витрат на оплату праці основного і допоміжного персоналу, включаючи відрахування на соціальні заходи;
- 3) визначення суми матеріальних витрат;
- 4) обчислення витрат на електроенергію для науково-виробничих потреб;
- 5) розрахунок суми амортизаційних відрахувань;
- 6) визначення суми накладних витрат;
- 7) складання кошторису та визначення собівартості науково дослідних робіт;
- 8) розрахунок ціни науково дослідних робіт;
- 9) визначення економічної ефективності та терміну окупності продукту;

На підставі отриманих розрахунків будуть розроблені техніко-економічні показники запропонованого виробництва

4.1 Визначення етапів та тривалості проведення досліджень

Розробку даної інформаційної системи можна розподілити на наступні етапи:

- а) формулювання постановки задачі;
- б) збір інформації за тематикою роботи;
- в) проведення огляду публікацій авторів, які займались питанням розробки автоматизованої системи зневоднення концентрату;
- г) прийняття рішень щодо вибору оптимального шляху розв'язання поставленої задачі;
- д) аналіз математичної моделі інформаційної системи;
- е) проектування архітектури системи;



- ж) розробка системи опрацювання;
- з) написання програмного забезпечення;
- і) тестування розробленого програмного забезпечення;
- ї) доопрацювання розробленого програмного забезпечення та проведення додаткових тестів;
- к) написання і оформлення документації.

Для визначення тривалості окремих робіт використовуються нормативи часу або попередній досвід. До таких нормативів входить тривалість написання операцій (команд), які на деяких підприємствах становлять: для однієї операції - від 0,6 до 2 годин, та 8 годин для п'яти операцій (тривалість зміни). У випадку відсутності таких нормативів застосовують експертні оцінки для визначення тривалості кожного етапу (стадії):

- при двох оцінках:

$$T_{bc} = \frac{(3t_{min} + 2t_{max})}{5} \quad (4.1)$$

- при трьох оцінках:

$$T_{bc} = \frac{(t_{min} + 4t_{нй} + t_{max})}{6} \quad (4.2)$$

де T_{bc} – очікуване (середнє) значення тривалості виконання етапу (стадії);

t_{min} , $t_{н.й.}$, t_{max} – відповідно мінімальна, найбільш імовірна і максимальна оцінки тривалості виконання етапу (стадії).

Для зручного подання та визначення загальної тривалості проведення науково дослідних робіт рекомендовано узагальнити витрати часу на окремі операції технологічного процесу у таблиці 4.1.

У випадку обмеженої кількості інформації щодо витрат часу наукового керівника на виконання окремих стадій (етапів), доцільно припускати, що ці витрати становлять не більше 5% від загальних витрат часу інженерів на виконання цих стадій (етапів).


Таблиця 4.1 - Основні етапи та час на їх виконання у НДР

№ п/п	Етап	Середній час виконання етапу, год	
		інженер	керівник
1	2	3	4
1	Формулювання постановки задачі.	3	2
2	Збір інформації за тематикою роботи.	12	4
3	Проведення огляду публікацій авторів, які займались питанням автоматизації процесу зневоднення концентрату.	16	4
4	Прийняття рішень щодо вибору оптимального шляху розв'язання поставленої задачі.	8	1
5	Аналіз математичної моделі інформаційної системи	8	6
6	Проектування архітектури системи	8	2
7	Розробка системи опрацювання алгоритму автоматизації процесу зневоднення	8	6
8	Написання програмного забезпечення для автоматизації вакуум-фільтра	40	6
9	Налаштування середовища розробки і роботи з вже готовою програмою.	6	3
10	Тестування розробленого програмного забезпечення	14	6
11	Доопрацювання розробленого програмного забезпечення і проведення додаткових тестів	12	10
12	Написання і оформлення документації	36	12
Разом		174	70

Отже, сумарний час виконання операцій інженером становить 174 години, а керівником 70 годину.

4.2 Визначення витрат на оплату праці та соціальні відрахування

Винагорода працівника, незалежно від типу підприємства, визначається його особистим внеском у трудову діяльність, є результатом його внеску у кінцеві результати підприємства та піддається



оподаткуванню, але не обмежується максимальними розмірами. Розміри, порядок нарахування і виплати заробітної плати регулюються чинним законодавством України, відповідними указами і постановами, а також галузевими інструкціями. Величина заробітної плати залежить від складності та умов виконуваної роботи, професійних якостей працівника, результатів його трудової діяльності та економічної ефективності підприємства. Заробітна плата включає як основну, так і додаткову компенсацію за трудову діяльність.

Основна заробітна плата визначається на підставі виконаної роботи з використанням тарифних ставок, відрядних розцінок або посадових окладів і не залежить від економічних результатів діяльності підприємства.

Додаткова заробітна плата є складовою частиною оплати праці працівників і включає витрати на оплату праці, не пов'язані з виплатами за фактично відпрацьований час. Вона нараховується в залежності від досягнутих та запланованих показників, умов виробництва та кваліфікації виконавців. Джерелом додаткової оплати праці є фонд матеріального стимулювання, створений за рахунок прибутку.

Основна заробітна плата складається з прямої заробітної плати та доплати, яка при загальних розрахунках становить від 20% до 25% від прямої заробітної плати. При розрахунках заробітної плати приймається кількість робочих днів у місяці - 24 дні/міс., що відповідає 192 год./міс. Розмір місячних окладів для керівника та інженерів визначається відповідно до поточних норм.

Основна заробітна плата розраховується за формулою:

$$Z_{\text{осн}} = T_c * K_r \quad (4.3)$$

де T_c – тарифна ставка, грн.;

K_r - кількість відпрацьованих годин.

Посадові оклади або тарифні ставки для різних розрядів Єдиної тарифної сітки встановлюються шляхом перемноження окладу (ставки) працівника 1 тарифного розряду на відповідний тарифний коефіцієнт. У випадку, якщо посадовий оклад (тарифна ставка) виражений в гривнях і копійках, числа до 0,5 відсікаються, а від 0,5 і вище - округлюються до цілої гривні.

Законом України “Про Державний бюджет України на 2024 рік” встановлено у 2024 році мінімальну заробітну плату: у місячному розмірі: з 1 січня - 4173 гривні; у погодинному розмірі: з 1 січня - 25,13 гривні. Приймемо 77 грн. для інженера, для керівника — 110 грн.

Тарифні ставки: керівник проекту – 110 грн./год., інженер – 87 грн./год.

Скориставшись формулою 4.3 розрахуємо основну заробітну плату для інженера та керівника проекту.



Керівник проекту:

$$З_{\text{осн}} = 110 * 70 = 7700 \text{ грн.}$$

Інженер:

$$З_{\text{осн}} = 77 * 174 = 13398 \text{ грн.}$$

Додаткова заробітна плата становить 10–15% від суми основної заробітної плати:

$$З_{\text{дод}} = З_{\text{осн}} * K_{\text{допл}} \quad (4.4)$$

де $K_{\text{допл}}$ – коефіцієнт додаткових виплат працівникам 0,1.

Керівник проекту:

$$З_{\text{дод}} = 7700 * 0,1 = 770 \text{ грн.}$$

Інженер:

$$З_{\text{дод}} = 13398 * 0,1 = 1339,8 \text{ грн.}$$

Загальні витрати на оплату праці ($V_{\text{оп}}$) визначаються за формулою, і становлять:

$$V_{\text{оп}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{дод}} \quad (4.5)$$

Керівник проекту:

$$V_{\text{оп}} = 7700 + 770 = 8470 \text{ грн.}$$

Інженер:

$$V_{\text{оп}} = 13398 + 1339,8 = 14737,8 \text{ грн.}$$

Тож загальна сума становить 23207,8 грн. окрім того, слід взяти до уваги та визначити відрахування на соціальні заходи:

- 1) податок на доходи фізичних осіб – 18%;
- 2) військовий збір – 1,5%;
- 3) єдиний соціальний внесок – 22%.

У сумі зазначені відрахування становлять 41,5 %.

Отже, сума відрахувань на соціальні заходи розраховуємо за формулою:

$$\text{Вс. з.} = \text{ФОП} * 0,415 \quad (4.6)$$

де ФОП – фонд оплати праці в гривнях.
Сума відрахувань на соціальні заходи буде становити:

$$\text{Вс. з.} = 23207,8 * 0,415 = 9631,24 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки витрат на оплату праці зведемо у таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 - Зведені розрахунки витрат на оплату праці

№ п/п	Категорія працівників	Основна заробітна плата, грн.			Додаткова заробітна плата, грн.	Нарах. на ФОП, грн.	Всього витрати на оплату праці, грн. 8=5+6+7
		Тарифна ставка, грн.	К-сть відпрацьов. год.	Фактично нарах. з/пл., грн.			
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Керівник проекту	110	70	7700	770	3515,05	11985,05
2	Інженер	77	174	13398	1339,8	5560,17	20297,97
Разом				21098	2109,8	9075,22	32283,02

4.3 Розрахунок витрат на електроенергію

Затрати на електроенергію для однієї одиниці обладнання визначаються за формулою:

$$Z_E = W * T * S \quad (4.7)$$

де W – необхідна потужність, кВт;

T – кількість годин роботи обладнання;

S – вартість кіловат-години електроенергії.

вартість електроенергії становить 485 коп./кВт·год.

Потужність комп'ютера – 240 Вт, кількість годин роботи обладнання згідно таблиці 4.1 – 244 год.

$$Z_E = 0,41 * 244 * 485 = 485,19 \text{ грн.}$$

4.4 Розрахунок витрат на матеріали

Результати розрахунку затрат на матеріали зводяться в таблицю 4.3.

Таблиця 4.3 - Визначення величини затрат на матеріали

Найменування матеріальних ресурсів	Од. вим.	Норма витрат	Ціна за од., грн.	Затрати матеріалів, грн.	Трансп.-загот. витрати, грн.	Загальна сума витрат на матеріали, грн.
Папір А4 ZOOM	пач.	1	200	200	-	200
Ватман	шт.	10	55	550	-	550
Чорнила для принтера	шт.	1	350	350	-	350
Датчики	шт.	5	180000	900000	100	900100
Рукавиці	шт.	2	40	80	-	80
Комплект кабелів	шт.	1	48500	48500	400	48900
З'єднувальні провідники	пач.	4	50	200	-	200
Кріплення	шт.	1	1000	1000	50	1050
Разом						951430

4.5 Розрахунок амортизаційної суми

Використання основних фондів у виробничому процесі відзначається їх відновленням. Для відновлення матеріальних активів у природному виразі потрібне компенсування їхньої вартості у грошовій формі, що здійснюється через амортизацію.

Амортизація - це процес перенесення вартості основних фондів на вартість новоствореної продукції з метою їх повного відновлення. Для заміщення зношеної частини обладнання підприємства роблять амортизаційні відрахування, тобто відрахування певних грошових сум відповідно до розмірів фізичного і морального зносу обладнання.

Комп'ютери та офісна техніка входять до четвертої групи основних фондів. Для цієї групи річна норма амортизації становить 60% (квартальна - 15%). Для розрахунку амортизаційних відрахувань використовується така формула:

$$A = \frac{B_B * H_A}{100} \quad (4.8)$$

де A – амортизаційні відрахування за звітний період, грн.

B_B – балансова вартість комп'ютера, на початок звітного періоду, грн.

H_A – норма амортизації, %.

Для роботи використовується один комп'ютер (вартість якого становить 18000 грн.), який працював 244 годин.

$$A = \frac{18000 * 15\%}{100\%} = 2700 \text{ грн}$$

4.6 Обчислення накладних витрат

Витрати, пов'язані із обслуговуванням виробництва, утриманням апарату управління підприємства (фірми) та створенням необхідних умов праці, відомі як накладні витрати. Вони можуть складати 20% від загальної суми оплати праці основної та додаткової, що сплачується працівникам.

$$H_B = V_{OP} * 0,2 \quad (4.9)$$

$$H_B = 32283,02 * 0,2 = 6456,6 \text{ грн.}$$

4.7 Складання кошторису витрат

Результати проведених розрахунків зведемо у таблицю 4.4.

Таблиця 4.4 - Кошторис витрат на НДР

№ з/п	Зміст витрат	Сума, грн.	У % до загальної суми
1	2	3	4
1	Витрати на оплату праці (основну і додаткову заробітну плату)	32 283,02	3,21
2	Відрахування на соціальні заходи	9 631,24	0,9
3	Матеріальні витрати	951 430	95,05
4	Витрати на електроенергію	485,19	0,04
5	Амортизаційні відрахування	2 700	0,2
6	Накладні витрати	6 456,6	0,6
7	Собівартість	1 002 986,07	—

Собівартість (C_B) НДР розраховуємо за формулою:

$$C_B = V_{OP} + V_{C3} + Z_{MB} + Z_e + H_B + A \quad (4.10)$$

$$C_B = 32283,02 + 9631,24 + 951430 + 485,19 + 2700 + 6456,6 = 1002986,07 \text{ грн.}$$

4.8 Визначення економічної ефективності та терміну окупності

Ціну робіт визначаємо за формулою:

$$Ц = \frac{C_B * (1 + P_{рен}) + K * B_{н.і.}}{K} * (1 + ПДВ) \quad (4.11)$$

де $P_{рен}$ – рівень рентабельності, 25 %;
 K – кількість замовлень;
ПДВ – ставка податку на додану вартість, 20 %.
 $V_{н.і.}$ – вартість носія інформації, грн.

$$Ц = \frac{1002986,05 * (1 + 0,25) + 1 * 15}{1} * (1 + 0,2) = 1504487,47 \text{ грн.}$$

Таким чином ціна рівна 1504487,47 грн.
Визначимо величину прибутку за формулою:

$$П = Ц - C_B \quad (4.12)$$

$$П = 1504487,47 - 1002986,07 = 501501,4 \text{ грн.}$$

Отже згідно формули отримаємо 501501,4 грн.

Ефективність виробництва – це узагальнене і повне відображення кінцевих результатів використання робочої сили, засобів та предметів праці на підприємстві за певний проміжок часу. Економічна ефективність (E_p) полягає у відношенні результату виробництва до затрачених ресурсів:

$$E_p = \frac{П}{C_B} \quad (4.13)$$

де $П$ – прибуток;
 C_B – собівартість.

$$E_p = \frac{501501,4}{1504487,47} = 0,33$$

Поряд із економічною ефективністю розраховують термін окупності капітальних вкладень (T_p):

$$T_p = \frac{1}{E_p} \quad (4.14)$$

$$T_p = \frac{1}{0,33} = 3,03 \text{ роки.}$$

Про доцільність розробки програми можна сказати при врахуванні критеріїв, які наведено у таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 - Техніко-економічні показники НДР

№ п/п	Показник	Значення
1	Собівартість, грн.	1 002 986,07
2	Плановий прибуток, грн.	501 501,4
3	Ціна, грн.	1 504 487,47
4	Економічна ефективність	0,33
5	Термін окупності, рік	3,03

Після аналізу розрахунків можна зробити висновок: розробка показує оптимальну економічну ефективність на рівні 0,33 та термін окупності триватиме понад три роки (3,03 року).

Важливо відзначити, що ці розрахунки мають номінальний характер, і їхня основна мета полягає в оцінці приблизної вартості дослідження та створення даного продукту.

Номінальний характер розрахунків обумовлений тим, що цей програмний продукт визначено як дослідницький за своєю природою.



ВИСНОВКИ

В даній роботі була розглянута теоретична можливість розробки автоматизованої системи керування обладнанням технологічного процесу зневоднення концентрату збагачувальних фабрик, проаналізована література, видання, статті схожі по тематиці. Хотілось би відмітити що переважна кількість робіт знаходяться на стадії теоретичного дослідження та майже не мають фактичного (практичного) застосування.

Обґрунтовано модель управління процесом зневоднення із прийнятим основним критерієм - регулювання густини пульпи в ванні фільтра і положення засувки на трубопроводі подачі розрідження в зону набору осаду.

Запропоновано використання ПІ-регулятора для системи управління.

На основі системного аналізу сформовано перелік основних вимог до автоматизованої системи керування.


Виконано дослідження та запропоновано для зменшення кількості перемикань завдань густини пульпи і положення засувки, що знаходиться на трубопроводі подачі розрідження в зону набору осаду з метою збільшення ресурсу роботи засувок та їхніх приводів пропонується використовувати гібридний інтелектуальний блок управління екстремальним регулятором (ГБУЕР), який відключатиме його на певні періоди часу.


Виконано розрахунки вартості науково-дослідної роботи, спрямованої на доведення доцільності використання запропонованої моделі автоматизації процесу зневоднення і наступного запровадження та встановлено термін окупності проекту - 3,03 роки.



СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Смирнов В. О., Білецький В. С., Шолда Р. О. Переробка корисних копалин (монографія). Донецьк: Східний видавничий дім. 2013. 600 с.
2. Папушин Ю. Л., Білецький В. С. Основи автоматизації гірничого виробництва (курс лекцій). – Донецьк: Східний видавничий дім, 2007. – 168 с.
3. Мала гірнича енциклопедія: в 3 т. / В.С. Білецький, В.С. Бойко, В.С. Букін [та ін.]; за ред. В.С. Білецького. – Донецьк : Донбас, 2004. – 640 с.
4. Мала гірнича енциклопедія. Т. 2: Л–Р/[В. С. Білецький, В. С. Бойко, П. П. Голембієвський та ін.] за ред. В. С. Білецького. — 2007. – 650 с.
5. Мала гірнича енциклопедія. т. III. (за редакцією В. С. Білецького). — Донецьк: Східний видавничий дім, 2013. — 644 с.
6. Білецький В.С., Олійник Т.А., Смирнов В.О., Скляр Л.В. Техніка та технологія збагачення корисних копалин. Частина I. Підготовчі процеси. – Кривий Ріг: Криворізький національний університет. 2019. – 202 с.
7. Білецький В.С., Олійник Т.А., Смирнов В.О., Скляр Л.В. Техніка та технологія збагачення корисних копалин. Частина II. Основні процеси. – Кривий Ріг: Криворізький національний університет. 2019. – 212 с.
8. Гарбер В. Зневоднення залізрудних концентратів та сучасні сушильні процеси / В. Гарбер, В. І. Головань, Л. В. Скляр // Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. праць. – Кривий Ріг, 2023. – Вип. 56. – С. 162–168. URL: <http://ds.knu.edu.ua/jspui/handle/123456789/5247>
9. Campbell Q.P. Coal Moisture Variations in Response to Rainfall Event in Mines and Coal-Fired Power Plant Stockpiles—Part 1: Runoff, Infiltration, and Drainage/ Minerals, 2021. V. 11, 1365. DOI:10.3390/min11121365
10. Купін А. І. Інтелектуальна ідентифікація та керування в умовах процесів збагачувальної технології / А. І. Купін. – Київ : Корнійчук, 2008. – 202 с. – ISBN 966-7599-56-0.
11. Лапшин, Є. С.; Шевченко, О. І. Аналіз технічних рішень для зневоднення та класифікації за крупністю мінеральної сировини при тонкому і надтонкому вібраційному грохоченні. Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії, 2022. Вип. 36 С. 507-521. URL: <http://jnas.nbuuv.gov.ua/uk/article/UJRN-0001393494>
12. Младецький І.К. Моделювання процесу магнітної сепарації руд. Дніпропетровськ. 1986.
13. Пилов П.И., Мильцын А.М., Олевский В.И. Математическое моделирование и структурно-экстраполярный анализ в задачах обогащения: монография – 2-е изд., испр. и доп. – Д., Национальный горный университет, 2011. – 187 с.
15. Сергеев П. В., Білецький В. С. Комп'ютерне моделювання технологічних процесів переробки корисних копалин (практикум) — Маріуполь: Східний видавничий дім, 2016. — 119 с.

- 
16. Persson P.A., Holmberg R. and Jailing. L.– Rock Blasting and Explosives Engineering, CRC Press, London, 1994. PP 540.
 17. Бетин В.Д. Розвиток детонації в свердловинних зарядах із порожнистими циліндрами // Розробка рудних родовищ. Науково-техн.зб. - Кривий Ріг: видавництво КТУ, 2003. - Вип. 83. - С.68-74.
 18. Кутузов Б.Н. Методи ведення вибухових робіт. Частина 1. - М.: Гірнична книга, 2009. - 471 с.
 19. Перегудов В.В., Жуков С.О. Шляхи підвищення якості вибухових робіт при руйнуванні гірських порід складної структури. Монографія. - Кривий Ріг: Видавничий дім, ISBN 966-7388-47-6. 2002. - 305 с.
 20. Антонов А.Ю., Кириченко І.А. Розробка технології відбою на нижніх горизонтах залізорудних кар'єрів // Вісник КТУ. Кривий Ріг: КТУ, 2004 - № 5. - С.16-20.
 21. Перегудов В.В., Жуков С.О. Шляхи підвищення якості вибухових робіт при руйнуванні гірських порід складної структури. - Кривий Ріг: Видавничий дім, 2002. - 179 с.
 22. Алгоритми адаптації в системах управління енергоблоками / Ротач В.Я., Кузицин В.Ф., Бутирев В.П., Солодовников В.Н. Теплоенергетика. 1981. №10. С. 11-15.
 23. Хобін В.А., Марчук О.А. Самоналагоджувальна система [Текст]: патент на корисну модель UA 36671, МПК2006 G05B13/02. / (Україна); заявник Одеська національна академія харчових технологій. № u200801328; заявл. 04.02.2008; опубл. 10.11.2008. Бюл. 21. 5 с.
 24. Astrom K.D., R.D. Bell Drum - boiler Dynamics. Automatica, 36(2000). pp. 363-378. 14. Хобін В.А., Левінський М.В. Вдосконалення алгоритмів самоналагоджувальної системи керування для забезпечення ефективності її пускових режимів [Текст] // Радіоелектроніка, інформатика, управління. 2018. № 3. С. 120-129. ISSN 1607-3274.
 25. O'Dwyer A. Handbook of PI and PID Controller Tuning Rules, 2nd edition, Imperial College Press, 2006 - 564 p.
 26. Адаптивне та робастне управління з компенсацією невизначеностей / під ред. Бобцов О.О., Пиркін А.О.: Вид.: НІУ ІТМО 2013. 132с.
 27. Rejection of sinusoidal disturbance of unknown frequency for linear system with input delay / Pyrkin A., Smyshlyaev A., Bekiaris-Liberis N., Krstic M. American Control Conference. Baltimore, USA, 2010.
 28. Хобін В.А., Левінський М.В. Автоматична самоналагоджувальна система керування об'єктом технологічного типу. Одеська національна академія харчових технологій.
 29. Ardell G. G., Gumovski B. Model Prediction for Reactor Control. Chemical Engineering Progress. 1983. V.79. №6. P.77-83. 19. Ed. by Tariq Samada. John Weyrauch Automation, control and complexity: An integrated approach. Chichester [etc.]: Wiley, Cop. 2000. 328 с., ил.
 30. Ed. William, S. Levine Control system fundamentals. Boca Raton [etc.]: CRC press, Cop. 2000. 466 с., ил.



31. Соколов С.В. Оптимальні та адаптивні системи : навч. посіб. Суми : Сумський державний університет, 2018. 221 с. ISBN 978-966-657-725-5