Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні
(назва факультету)

кафедра металургійного обладнання
(повна назва кафедри)

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

На тему Аналіз роботи обладнання для розсіювання продуктів дроблення та обґрунтування їхніх конструктивних параметрів

Виконав: магістрант групи 8.1334

Луцишин М.В.
(ПІБ) (підпис)

спеціальності

133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма
Металургійне обладнання
(шифр і назва)

Керівник Гречаний О.М.
(прізвище та ініціали) (підпис)

Н.контроль Васильченко Т.О.
(прізвище та ініціали) (підпис)

Запоріжжя – 2025 року

Запорізький національний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні

Кафедра металургійного обладнання

Рівень вищої освіти магістр
(другий (магістерський) рівень)

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва)

Спеціалізація
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма Металургійне обладнання
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедрою А.О. Власов

_____

“____” _____20___ року

Завдання
до випускної кваліфікаційної роботи магістра

Луцишина Максима Віталійовича
(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: Аналіз роботи обладнання для розсіювання продуктів дроблення та обґрунтування їхніх конструктивних параметрів керівник кваліфікаційної роботи Ph.D., доцент Гречаний О.М., затверджені наказом вищого навчального закладу від “27“ лютого 2025 року № 319-с.
2. Строк подання здобувачем кваліфікаційної роботи 11 грудня 2025 року.
3. Вихідні дані кваліфікаційної роботи техніко-економічні показники роботи виробничого цеху
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Огляд науково-технічних рішень удосконалення обладнання для класифікації подрібненого матеріалу та обґрунтування обраного напряму роботи; 2. Розрахункова частина; 3. Дослідно-експериментальна частина; 4. Охорона праці та техногенна безпека в галузі. Загальні висновки та рекомендації
5. Перелік графічного матеріалу (плакати та кресленики): 1. Гуркіт інерційний ГІС1-100 – 1А1; 2. Вібратор інерційного гуркоту - 1А1; 3. Технологічні умови ефективної роботи віброгуркоту (плакат) – 1А1; 4. Вібраційний лоток (дослідна установка) – 1А1; 5. Логічна діагностична модель роботи вібролотка у явному виді (плакат) – 1А1; 6. Результати дослідження залежності швидкості вібротранспорування титанової губки (плакат) – 1А1; 7. Дослідження ефективності засобів пилопригнічення – 1А1

6. Консультанти кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Гречаний О.М., Ph.D., доцент		
2	Гречаний О.М., Ph.D., доцент		
3	Гречаний О.М., Ph.D., доцент		
4	Гречаний О.М., Ph.D., доцент		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційої роботи	Примітки
1	Збір матеріалу на кваліфікаційну роботу	29.05.2025 – 25.06.2025	
2	Групування та аналіз зібраного матеріалу. Уточнення завдань кваліфікаційної роботи	01.09.2025 – 17.09.2025	
3	Виконання теоретичної частини кваліфікаційної роботи	18.09.2025 – 18.10.2025	
4	Виконання графічної частини кваліфікаційної роботи	19.10.2025 – 19.11.2025	
5	Написання та оформлення пояснювальної записки	20.11.2025 – 30.11.2025	
6	Перевірка кваліфікаційної роботи консультантами	01.12.2025 – 03.12.2025	
7	Попередній захист	09.12.2025	
8	Переплітання пояснювальної записки	Згідно з графіком	
9	Захист	Згідно з графіком	

Здобувач _____ Луцишин М.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційої роботи _____ Гречаний О.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Луцишин М.В. Аналіз роботи обладнання для розсіювання продуктів дроблення та обґрунтування їхніх конструктивних параметрів

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 133 – Галузеве машинобудування, науковий керівник О. М. Гречаний. Запорізький національний університет, інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні, кафедра металургійного обладнання, 2025.

Виконаний огляд і аналіз існуючих технічних рішень щодо поліпшення конструктивних параметрів обладнання для класифікації та завантаження сипких матеріалів в дробарку. Запропоновано варіант модернізації завантажувального вузла дробарки. Побудована діагностична математична модель вібролотка у явному виді. Підібрано раціональний режим транспортування титанової губки на підставі досліджень залежності швидкості транспортування від кута нахилу лотка та амплітуди коливань.

Ключові слова: ПОДРІБНЕННЯ, ГУРКІТ, ВІБРОТРΛНСПОРТУВΛННЯ, ВІБРОЛОТОК, АМПЛІТУДА КОЛИВАНЬ, КУТ НАХИЛУ

ABSTRACT

Lutsyshyn M. V. Analysis o f the Operation o f Equipment for Dispersing Crushing Products and Justification o f Their Design Parameters

Qualification final work for obtaining a higher education degree of a master's degree in specialty 133 - Industrial engineering, scientific adviser O.M. Hrechanyi. Zaporizhzhia National University, Engineering Educational and Scientific Institute named after Yu.M. Potebni, Department of Metallurgical Equipment, 2025.

A review and analysis of existing technical solutions for improving the design parameters of equipment for classifying and loading bulk materials into the crusher was performed. A variant of upgrading the loading unit of the crusher was proposed. A diagnostic mathematical model of a vibrating tray was constructed in an explicit form. A rational mode of transportation of titanium sponge was selected based on studies of the dependence of the transportation speed on the angle of inclination of the tray and the amplitude of oscillations.

Keywords: CRUSHING, RUNNING, VIBROTRANSPORTATION, VIBROTRAY, VIBRATION AMPLITUDE, TILT ANGLE

Зміст

Вступ 7
1 ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ УДОСКОНАЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ КЛАСИФІКАЦІЇ ПОДРІБНЕНОГО МАТЕРІАЛУ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ОБРАНОГО НАПРЯМУ РОБОТИ 9
1.1 Вантажопотоки при переробці титанової губки 9
1.2 Аналіз конструктивних пропозицій щодо можливості покращення якості розсіювання продуктів дроблення на основі патентного пошуку 18
1.3 Обґрунтування обраного напряму досліджень при визначені конструктивних параметрів обладнання для розсіювання продуктів дроблення 27
2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА 31
2.1 Аналіз типів ґуркотів та їхнього функціонального признаяення. Вибір оптимальної конструкції для поставлених задач. 31
2.2 Визначення ефективної частоти обертання приводного валу гуркоту 36
2.3 Визначення номінальної потужності приводу вібраційного гуркоту 38
2.4 Визначення продуктивності вібраційного гуркоту 41
2.5 Вибір типу гнучкого елементу для передачі крутного моменту в приводній частині гуркоту 41
3 ДОСЛІДНО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА 47
3.1 Організація експериментальних досліджень вібротранспортування сипких матеріалів в лабораторних умовах 47
3.2 Розробка моделей контролю роботоздатних станів ґуркота на прикладі вібролотка 54
3.3 Розробка формальної логічної моделі та явної математичної моделей роботоздатних станів об’єкта технічного діагностування 56
3.4 Дослідження процесу вібротранспортування подрібненої титанової губки методом повного двофакторного експерименту 61
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА В ГАЛУЗІ 68

4.1 Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів відділення подрібнення титану губчастого 68
4.2 Аналіз та впровадження заходів щодо зниження впливу шкідливих виробничих чинників на робочий персонал 70
4.3 Розробка технічних рішень з покращення умов виробничої санітарії та гігієни праці 71
4.4 Протипожежні заходи 72
2.5 Дослідження ефективності засобів пилопригнічення 73
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ 77
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ 78
ДОДАТКИ 84

Вступ

На сучасному етапі титанова губка, що надходить на дільницю її обробки, являє собою масивні блоки масою 1 або 4 тонни. Для отримання товарної фракції матеріал проходить три послідовні стадії подрібнення.

На першій стадії, що виконується на гідравлічному пресі, блоки титанової губки роздавлюються під дією значних зусиль. Теоретично очікується формування кусків розміром близько 300 мм, однак фактичні результати мають інший характер: приблизно 80 % часток мають близькі до нормативних розміри, близько 10 % – перевищують їх, а ще близько 10 % становить титановий пил – високоабразивний порошкоподібний матеріал, який утворюється під час руйнування блоків.Оскільки отримана після преса фракція не відповідає необхідним характеристикам, матеріал підлягає подальшому подрібненню на другій та третій стадіях. Друга стадія подрібнення здійснюється на дисковій дробарці, куди титанова губка подається стрічковими живильниками. Саме на цьому етапі проявляються критичні недоліки існуючої системи завантаження.

Проведений аналіз виявлених недоліків показав, що існуюча конструкція завантажувального вузла не забезпечує попереднє видалення надкрупних фрагментів та абразивного пилу. Це створює технічні та експлуатаційні ризики та стає підставою для обґрунтування необхідності модернізації вузла подачі матеріалу до дробарки таким чином, щоб процес сортування фракцій відбувався на етапі завантаження, ще до потрапляння матеріалу в зону подрібнення.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є обґрунтування раціональних технічних характеристик системи завантажувального вузла дробарки та встановити оптимальні режими вібротранспортування подрібненної титанової губки.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- виконати аналіз раніше проведених досліджень в області процесів, застосовуваних схем та обладнання для класифікування матеріалу перед подрібненням;
- теоретично дослідити основні залежності впливу амплітуди коливань

та кута нахилу гуркота на швидкість транспортування подрібнюємого матеріалу;

– встановити експериментальним шляхом залежність швидкості вібротранспортування подрібненого матеріалу від амплітуди коливань та кута нахилу вібролотка.

Предмет дослідження – технологічні режими процесу вібротранспортування подрібненого матеріалу.

Об'єкт дослідження – завантажувальний лоток вібраційного типу.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг роботи включає 91 сторінку, у тому числі 83 сторінки основного тексту, на яких 20 рисунків, 9 таблиць, 56 найменувань використаних джерел на 6 сторінках, 7 додатків.

Робота виконана на кафедрі металургійного обладнання, інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю.М. Потебні, Запорізького національного університету.

1 ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ УДОСКОНАЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ КЛАСИФІКАЦІЇ ПОДРІБНЕНОГО МАТЕРІАЛУ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ОБРАНОГО НАПРЯМУ РОБОТИ

1.1 Вантажопотоки при переробці титанової губки

Подальший прогрес підприємств машинобудівного комплексу нерозривно пов’язаний з розробленням і впровадженням новітніх конструкційних матеріалів, а також із цілеспрямованим удосконаленням структури вже наявних металів і сплавів . Серед сучасних металевих матеріалів особливе місце посідає титан завдяки унікальному поєднанню високої питомої міцності, корозійної стійкості та термічної стабільності. Титанові сплави широко застосовуються під час проєктування й виготовлення наукоємних виробів, зокрема літальних апаратів, безпілотних систем і ракетно-космічної техніки [1]. Крім того, інтерметалідні матеріали на основі титану демонструють високий потенціал у ролі каталізаторів для очищення промислових газових викидів [2-4]. Стійка тенденція до зростання обсягів виробництва виробів із титанових сплавів свідчить про їх наближення за масштабами використання до традиційних кольорових металів [5, 6], що підтверджує їх стратегічну роль у сучасній промисловості.

Отримання металевого титану є процесом досить трудомістким. Основою для отримання металевого титану є титанова губка [7], яку в свою чергу отримують шляхом магнійтермічного або натрійтермічного (США, Велика відновлення тетрахлориду титану [7].

Титан губчастий при використанні в якості сировини для виробництва зливків металевого титану і титанових сплавів. Для цього титан губчастий попередньо подрібнюється (рис.1.1) [8] брикетується, після чого брикети направляються в печі електронно-променевого переплаву, де з них виплавляються зливки [9].

Загальна схема технологічного ланцюга виробничих підприємств, що

спеціалізуються на виробництві титанової губки наведено на рисунку 1.2



Рисунок 1.1 – Подрібнений титан губчастий [8]

Типовий процес отримання товарного титану губчастого (рис.1.2) умовно можна розділити на 5 виробничих етапів [10-13].

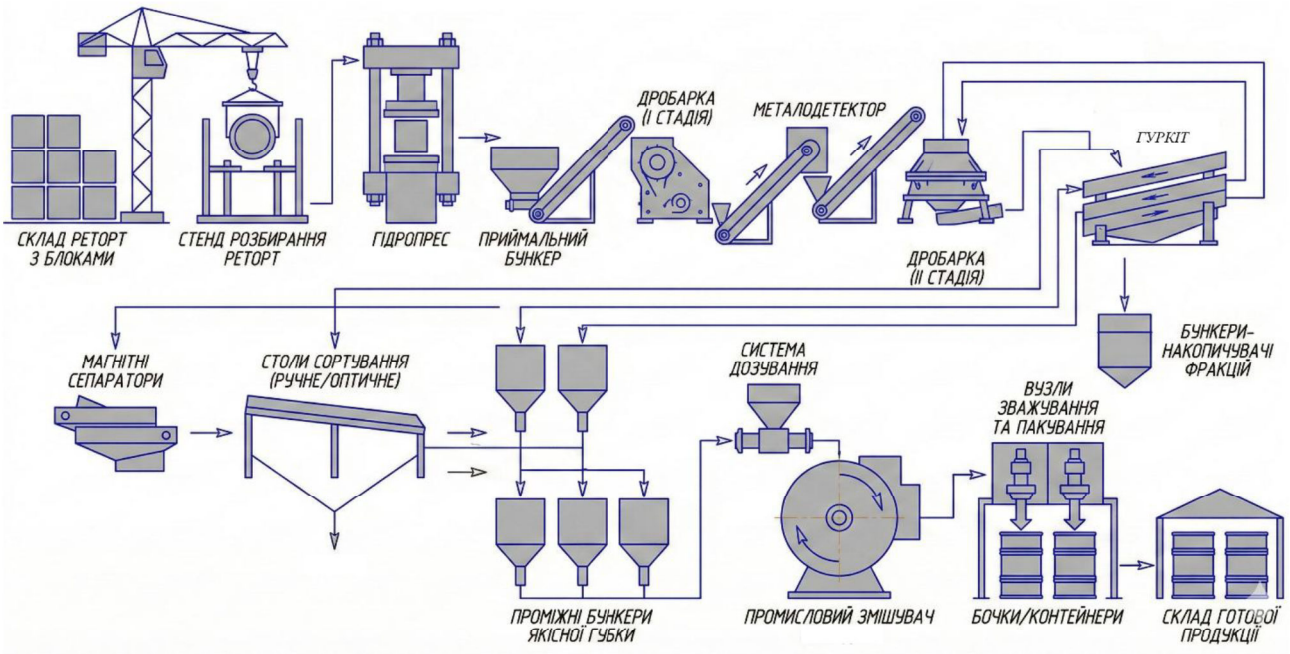


Рисунок 1.2 – Загальний технологічний ланцюг виробництва титану губчастого на типовому виробничому підприємстві

Перший, підготовчий етап – розбирання та первинне подрібнення. Блок

титану губчастого після процесу відновлення знаходиться всередині сталевої реторти. Він міцно "прикипає" до стінок, тому потрібно окремо виділити групу обладнання та процес його вивільнення:

- обладнання: стенди розбирання, мостові крани, спеціалізовані гідравлічні преси (преси випресовки);
- процес: Реторту фіксують, і потужний прес видавлює блок назовні. Блок може важити кілька тонн. Далі його розколюють на великі шматки (наприклад, гідроклином або великим пресом), щоб вони могли пройти у приймальний отвір першої дробарки.

Другий етап, який відповідає за розподіл отриманої подрібненої титанової губки на товарні фракції – етап дроблення та грохочення.

Це один з найвідповідальніших етапів, на якому великі шматки подрібнюють на фракцію потрібного розміру (наприклад, 2-12 мм, 12-25 мм, 25-70 мм):

Обладнання:

- дробарки (I стадія): для грубого дроблення великих шматків.
- дробарки (II стадія): для отримання дрібнішої фракції з меншою кількістю пилу.
- гуркіт (вібраційний або барабанний): "сито", яке розділяє матеріал на фракції. Те, що не пройшло крізь сито (надрешітний продукт), повертається назад у дробарку (замкнутий цикл).

Під час дроблення губка може забруднитися залізом від дробарок. Також у самому блоці можуть бути дефектні зони (наприклад, з підвищеним вмістом азоту або кисню – так званий "пригар"), тому на третьому етапі виконують усунення цих технологічних недоліків

Типове обладнання для третього етапу:

- магнітні сепаратори (барабанні або підвісні): витягують випадкові шматочки заліза, що могли відколотися від обладнання;
- сортувальні столи (часто з яскравим освітленням): оператори візуально оглядають потік губки на конвеєрі та вручну відбирають шматки

нехарактерного кольору (жовті, сині), які свідчать про забруднення. На сучасних заводах це можуть робити оптичні сортувальники.

Етап комплектування товарних партій відноситься до передфінальної 4-ї стадії технологічного процесу. Це критично важливий етап. Титанова губка з різних частин одного блоку, а тим паче з різних блоків (плавок), може мати різний хімічний склад і твердість. Замовнику потрібна однорідна партія вагою, наприклад, 5 або 10 тонн, тому на цьому етапі виконують вирівнювання партій за фізико-хімчними параметрами.

Обладнання:

- бункери-накопичувачі: використовуються для зберіганняя різних фракцій перед змішуванням.
- промисловий змішувач: величезна ємність (часто обертовий "п'яний" конус або V-подібний змішувач), куди завантажують губку з різних плавок. Він ретельно перемішує матеріал протягом кількох годин, усереднюючи хімічний склад по всьому об'єму.

Фінальний 5-й етап – етап пакування

- обладнання: дозатори, ваги, пакувальні машини.
- процес: гомогенізована губка вивантажується з блендера, автоматично зважується і засипається в герметичні сталеві бочки (зазвичай з поліетиленовим вкладишем) або спеціалізовані контейнери. Бочки маркуються, пломбуються і відправляються на склад.

Критичний аналіз джерел [8, 9], які знаходяться у вільному доступі дають можливість стверджувати, що технологічний процес отримання титану губчастого на ТОВ «ЗТМК» підпорядковується загільноприйнятому у світовій практиці але зі своїми специфічними особливостями. Загальна схема переробки титану губчастого на підприємстві наведено на рисунку 1.3

Потокова лінія подрібнення складається із дробарного й транспортного устаткування, розташованого послідовно в технологічному потоці, які за схемою керування роботою потоку скомплектовано в шість груп (умовно).

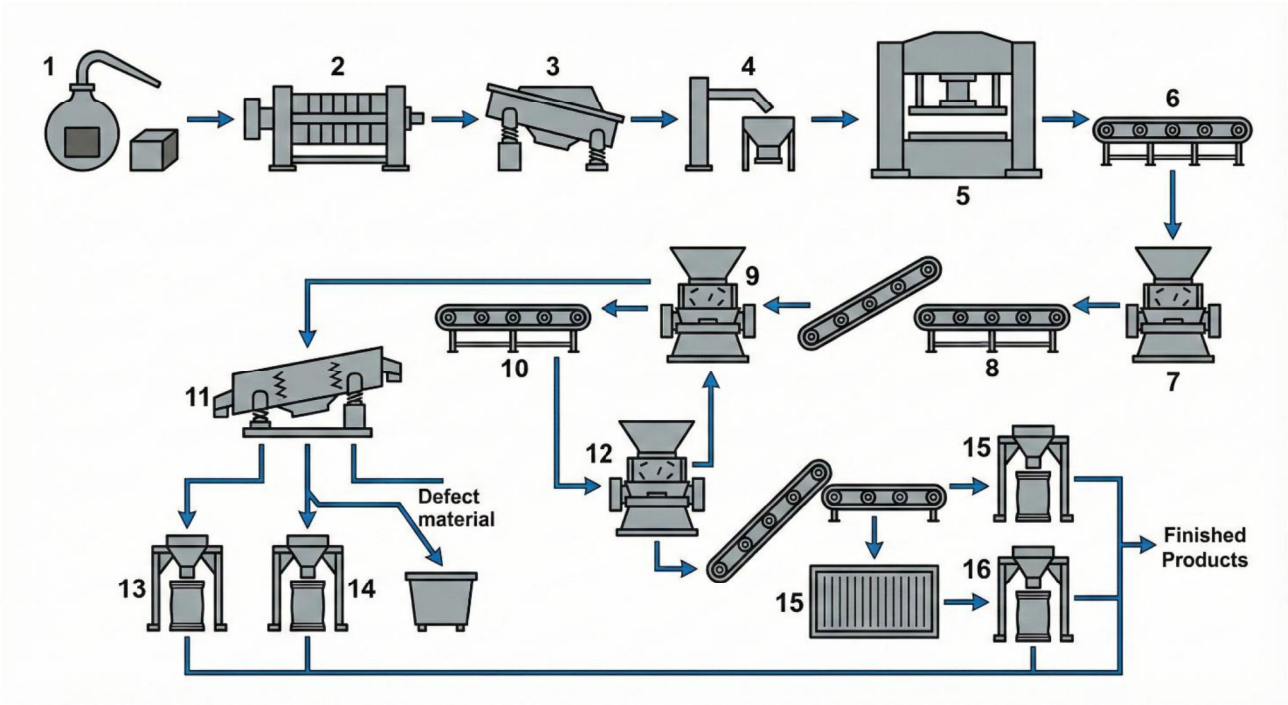


Рисунок 1.3 – Схема вантажопотоків по переробці титану губчастого ТОВ «Запорізький титано-магнієвий комбінат»: 1 – реторта з блоком; 2 – ВС1 (горизонтальний прес); 3 – вібровитрухувач; 4 – дільниця видалення обрубу; 5 – НАО-242 (прес гідравлічний); 6, 8 – стрічковий транспортувач; 7 – дробарка першої стадії; 9 – дробарка другої стадії; 10 – система транспортерів подачі на розсів; 11 – блок вібраційних гуркотів; 12 – дробарка третьої стадії (додроблення); 13 – вузол тарування (пакування) дрібної фракції; 14 – вузол тарування (пакування) середньої фракції; 15 – вузол завантаження у контейнери; 16 – вузол фінального тарування

Криці губчатого титана, у спеціальних касетах за допомогою електромостового крана піднімаються на площадку преса НАО-242 і за допомогою кліщового захвата витягають із касети й подаються на стіл преса таким чином, щоб частина криці виходила за призму стола преса на 250…282 мм.

Рухомий стіл (при верхньому положенні ножа) переміщається «уперед» до збігу площини внутрішнього торця призми з віссю преса. Після цього виконується включення робочого ходу клинового ножа преса й криця дробиться

на шматки величиною до 300 мм. Для подачі шматків під ніж використовується рухомий стіл преса. Зіштовхування великих шматків зі столу виконується за допомогою зіштовхувача, а дрібних – за допомогою шкребка вручну. Шматки менш 300 мм надходять у похилу ринву й далі транспортером подаються в розчин клинової дробарки. Потім стіл вертається у вихідне положення, подається наступна криця, і цикл дрібнення повторюється.

На пресі НАО-242 дозволяється різання криць 1-ї, 2-ї і 3-ї категорії якості, при цьому криці 1-ї і 2-ї категорії якості після порізки на пресі переробляються в товарну продукцію на технологічному потоці корпуса №4, криці 3-ї категорії якості після порізки на пресі до крупності шматків менш 300мм зіштовхувачем преса відправляються в знімний саморозвантажний контейнер, установлений для цієї мети поруч зі столом преса на спеціальній площадці. По мірі заповнення губчатим титаном контейнер направляють у корпус 2 на подальшу переробку. По закінченні процесу різання криць 3-ї категорії якості, прес очищається від залишків губчатого титана. Якість збирання преса контролюють працівники ВТК.

У процесі різання криць на пресі НАО-242 при виявленні прихованих дефектів усередині криці (внутрішній шлам, хлоридні включення) відокремлюють від якісної частини криці дефектну частину, поміщають її в окрему ємність і направляють на переробку в корпус №2. При цьому дрібні дефектні шматки видаляються зі столу преса вручну, а великі – за допомогою електромостового крана.

При виявленні в криці внутрішнього окислювання необхідно різання припинити, крицю видалити з технологічного потоку, повідомити майстра зміни й контролерові ВТК для рішення питання про зміну категорії якості криці й про подальшу її переробку.

Не допускати дрібнення криць на пресі у випадку перевищення температури донної частини блоку губки більше ніж на 60 ºС. Контроль температури здійснюється прикладенням кисті рук до губки. Дрібнення таких криць виконується через 3…4 години після добування її з реторт.

Для одержання однорідного губчастого титана вищих сортів марки ТГ-90, ТГ-100, ТГ-110 допускається від криць 1-ої і 2-ої категорій якості, при різанні їх на пресі НАО-242 відокремлювати низову частину криць. Низові частини криць кліщовим захватом за допомогою електромостового крана знімаються зі стола преса, і складуються в окрему ємність. У міру нагромадження з них комплектуються окремі партії марок ТГ-120, ТГ-130, ТГ-150.

Середнє дрібнення ТГ виконується на клиновій дробарці, куди стрічковим конвеєром подаються шматки крупністю до 300 мм.

Після заповнення проміжного контейнера (V= 3 м^3) необхідно виставити його на виставочну площадку. Заповненому в проміжний контейнер губчатому титану привласнюється номер партії.

Під час заміни проміжних ємностей, потік дрібнення не зупиняється, виконується знімання товарної проби представником відділу технічного контролю й установлюються порожні бідони для збору проби наступної партії. Заміна повних контейнерів із дрібною титановою губкою на порожні виконується без зупинки потоку.

Після надходження результатів аналізів на товарні партії за вказівкою майстра зміни, губчастий титан розфасовують у тару. Залежно від сорту й призначення даної партії готовлять тару. Тара повинна бути чистою, справною й зваженою.

Для чого :

- виконується візуальне відбраковування з видаленням контейнерів, що мають видимі механічні ушкодження (порушення цілісності стінок, днища й кришок, жолоблення кришки, еліпсність фланця).
- доукомплектовати контейнер елементами кріплення (болти, гайки, шайби, пальці), перевірити наявність і стан прокладок.
- очистити внутрішню поверхню контейнерів від забруднення, води.

Проміжний контейнер V=3 м^3 (з губчатим титаном даної партії) подавати за допомогою електромостового крана в спеціальний стенд із нахилом для

саморозвантаження (під теки дільника встановити 5 алюмінієвих контейнерів або 10 бочок з поліетиленовими мішками усередині).

Включити в роботу робочий живильник, губчатий титан подати на конусний дільник, рівномірно розподілити в товарні ємності.

За допомогою електромостового крана тару з титановою губкою зняти з під конусного дільника, подати на ваги й вібратор, установити кришки й загвинтити. Після маркування контейнера із ТГ причіпним візком до трактора або електрокарою доставити на контейнерний майданчик, комплектно по партіях. Партії в бочках вивозяться на склад готової продукції для подальшої обробки.

При роботі на установці для контрольного розбраковування титана губчатого (ТГ) послідовність технологічних операцій наступна:

1. Алюмінієвий контейнер із ТГ установити в кантувач, не відчіплюючи строп перекинути за допомогою крана контейнер і висипати вміст у бункер. Ця ж операція виконується й з бочкою, заповнюваної ТГ: доповненням є установка подстраховуючого ланцюга на кантувач для попередження випадання бочки в бункер.
2. Після заповнення бункера під розвантажувальну тічку встановлюється контейнер або бочка, у міру заповнення заміняється порожньою тарою.
3. Установки поряд з контрольною перевіркою якості готових партій використовуються й для повторної переробки ТГ, забракованих по наявності дефектних шматків, а також для переробки ТГ у бочки після тривалого зберігання.

Товарні партії губчастого титана складаються із фракцій +12–25 мм і +5–12 мм. Допускається комплектація партій із фракцій +2–5мм і +5–12мм. Всі товарні партії перевіряються на еталон і не повинні містити дефектних шматків губчастого титана.

Подрібнений губчастий титан із щокових дробарок подається у двосекційний барабанний гуркіт, де відбувається поділ на фракції; з гуркоту по

тічках фракція +12–30мм подається на сортувальні транспортери №1, 2, 3; фракція +2–12мм – в алюмінієві контейнера.

На транспортері ведеться візуальна оцінка якості ТГ. При цьому відділяються від загального потоку (відбираються) шматки губчастого титана з дефектами, що відповідають еталонам дефектної губки за ДСТ 17746–96 (горіла, окислена з явно вираженими кольорами мінливості, із хлоридами, зі шламом, збагачена залізом), а також відділяються сторонні включення, що випадково потрапили в потік, виконується магнітна сепарація металу на потоці.

Губчастий титан, що надходить на перевипробування після тривалого зберігання, також піддається сортуванню й додатковому контролю всієї маси шматків. Допускається повторний візуальний контроль робити на тому ж конвеєрі, з обов'язковою організацією додаткових окремих робочих місць.

З метою забезпечення оптимальних умов для сортування губчастого титана середня продуктивність сортувального конвеєра (транспортера), взятаа за період не менш 5 хвилин, повинна бути:

– для кричного ТГ фракцією –30+12мм – не більше 25 кг/хв,

– для гарнісажного ТГ фракцією –30+12 мм – не більше 15 кг/хв.

Відсортований губчастий титан на стрічці проходить під магнітним уловлювачем і далі надходить у контейнер (V=3м^3), установлений у приямок на рівні – 3,3м. При цьому 1/10 частина потоку відтинається автоматично пробовідборником у контейнер (V=0,6м^3) первинної проби. Губчастий титан у контейнері V=3м^3 зберігається до одержання аналізу проби, що характеризує якість (марку) скомплектованої товарної партії. Подальша переробка подрібненого губчастого титана із проміжного контейнера виконується після випробування проби ВТК.

Дробильне устаткування й сортувальні контейнери, призначені для переробки й сортування тільки криць I– ї, II– ї категорій якості й складання з них партій губчатого титана марок ТГ–90, ТГ–100, ТГ–110 і супутніх їм партій дрібних фракцій +2–12 мм, +5–12 мм.

З метою більше якісного сортування й раціонального, при цьому, завантаження сортувальні конвеєри спеціалізовані – №24 та №33 для сортування фракцій +10–30 мм.

Завантаження в цілому потокової лінії дрібнення й сортування визначені проєктною документацією й становлять 3 т/годину.

Контроль за відсутністю дефектних шматків у скомплектованій партії виконується контролером ВТК на об'єднаній первинній пробі, що беззупинно, по потоці надходить на стрічковий транспортер.

У випадку виявлення хоча б одного дефектного шматка відповідно до бракувальних еталонів, вся партія вертається на повторне сортування.

Пробовідбір ведеться автоматично на потоці й автоматично скорочується до проби вагою не менш 10 кг. Контролює роботу автопробників контролер ВТК.

Губчатий титан, скомплектований у партію, виставляється в проміжну ємність обсягом V=3м^3 до одержання результатів аналізу, і після присвоєння марки розфасовується в товарні ємності – бочки, алюмінієві контейнери або м'які контейнери « Біг–Бег». Губчастий титан упаковується згідно ДСТУ 17746–96 в алюмінієві контейнери V=(0, 5–0,575) м^3, металеві бочки V=200 л, м'які контейнери «Біг-Бег».

Як показує аналіз наведеного технологічного ланцюжка отримання титанової губки важливе місце займає процес сортування губки по фракціям, що висуває вимоги до розгляду обладнання для класифікування сипких матеріалів з можливостю його удосконалення.

1.2 Аналіз конструктивних пропозицій щодо можливості покращення якості розсіювання продуктів дроблення на основі патентного пошуку

Важливим етапом поділу на класи титанової губки є початковий, коли губка поступає після попереднього подрібнення на пресах. На цій стадії варто розглядати класифікуюче обладнання в якості живильників дробарок 1-ї та 2-ї стадій подрібнення, адже їхня взаємодія значною мірою визначає продуктивність

всіє виробничої лінії в цілому. При цьому варто враховувати вплив живильників і на роботорздатність безпосередньо самих дробарок.

Титанова губка, що поступає на ділянку обробки представляє собою блок вагою від однієї до чотирьох тон. Для одержання необхідної фракції, титан губчастий піддається трьом стадіям подрібнення [14].

Перша стадія подрібнення здійснюється на гідравлічному пресі НАО-242. Подрібнення відбувається завдяки роздавлюванню з великим зусиллям блоку титанової губки. Теоретично розмір шматка титанової губки після роздавлювання становить 300 мм. На практиці отримують 80 % шматків розмірами близькими до 300 мм та по 10 % відсотків шматків розмірами більше 300 мм та титановий пил, що представляє собою високоабразивну речовину. Для одержання більш дрібної фракції титанова губка піддається другій і третій стадіям подрібнення.

Друга стадія подрібнення здійснюється на дисковій дробарці, подача титанової губки, в яку, після роздавлювання на пресі, відбувається стрічковими живильниками.

Дискова дробарка відноситься до IV групи устаткування блоку по випуску титанової губки, що включає:

- живильники лоткові;
- клинові дробарки;
- дискові дробарки;

В зв’язку з недосконалістю стрічкового конвеєра як завантажувального вузла, а саме, при попаданні в дробарку шматка розмірами більшими ніж 300 мм виникає заклинювання дробарки, також в зв’язку з поданням стрічковим живильником постійно в одну точку подрібнюємого матеріалу, такого як високоабразивний титановий пил, виникає швидкий точковий знос абразивного характеру дисків та колосників дробарки, що викликає простої технологічної лінії в цілому на ремонтах і доволі часті та довготривалі простої дробарки на час заміни колосників та дроблячих дисків. Таким чином, постає важливе питання

класифікації крупних шматків губки та титанового пилу ще на стадії завантаження матеріалу, що потребує подрібнення.

В світовій та вітчизняній практиці існує декілька варіантів вирішення проблеми розділення матеріалу по фракціям перед подрібненням. Так в роботі [15] наприклад, пропонується метод сепарації заснований на магнітних властивостях складових гірничої маси, який має спільні риси з авторським свідотоцтвом № 184189 та направлений на підвищення продуктивності сепаратора за рахунок більш повного використання поверхні барабана й поліпшення розвантаження концентрату. Сепаратор (рис.1.4) включає обертовий барабан (Б) 1, встановлений у ванні 5. Виконаний барабан 1 з чергуючихся ферромагнітних кілець (ФМК) 2 і кільцевих постійних магнітів (М). Намагнічені М аксіально й звернені до ФМК 2 однойменними полюсами. Усередині Б 1 розміщена нерухлива магнітна система 6 у вигляді секторних магнітів 3, розділених немагнітними секторами й, закріпленими на магнітопроводі. Секторні магніти з намагнічені радіально й звернені до ФМК 2 тими ж полюсами, що й магніти, встановлені напроти ФМК 2. Магнітопровід виконаний у вигляді секторної частини циліндра. Розташований він у зоні розвантаження, між завантажувальним пристосуванням і розвантажувальним пристосуванням 7 для концентрату. Пульпу подають на поверхню барабану 1 через пристосування немагнітна фракція зливається через розвантажувальне пристосування 4 у приймач хвостів. Магнітна фракція притягається до поверхні барабана 1 і виноситься в зону розвантаження. Тут поле ослаблене через наявність магнітопроводу, який замикає поле на себе. Вода із бризкала 8 змиває концентрат у розвантажувальне пристосування. Таке виконання магнітної системи 6 підвищує поле на поверхні барабана 1 і поліпшує розвантаження концентрату 2.

Такее рішення являється досить ефективним при розділені магнітних матеріалів, але в силу того, що титанова губка не магнітна не може бути використаним при розділенні на фракції подрібнюємої губки.

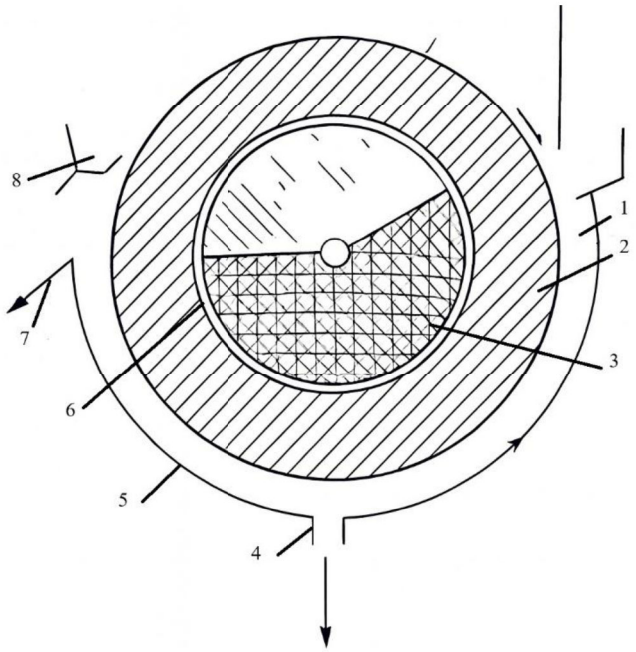


Рисунок 1.4 – Магнітний сепаратор (позиції наведено в тексті)

В основу корисної моделі [16] поставлена задачу підвищення ефективності розділення матеріалу по крупності та підвищення строку служби обладнання.

Поставлена задача вирішується тим, що у гідрогуркоті який містить короб з просіювальною поверхнею та віброзбудники, згідно з корисною моделлю в завантажувальній частині коробу встановлено днище, спряжене з просіювальною поверхнею, яке створює з боковими та торцевою стінками коробу ємкість, заповнену водою, при цьому торцева стінка коробу виконана у вигляді сита, яке має зливні патрубки. Гідрогуркіт (рис.1.5) містить короб 1 з боковими стінками 2, торцевою стінкою у вигляді сита 3 і зливним порогом 4, днище 5, зливні патрубки 6. Днище 5 коробу 1 спряжене з просіювальною поверхнею 7. Бокові стінки 2 зв'язані з балками 8, на яких розташовані днище 5 і просіювальна поверхня 7. Короб 1 встановлений на віброізоляторах 9, а на бокових стінках 2 закріплені віброзбудники 10. Короб 1 має завантажувальний пристрій 11 та розва- нтажувальні лотки 12 та 13.

Сипкий матеріал по завантажувальному пристрою 11 подається в завантажувальну частину коробу 1, який підвішено на віброізоляторах 9. Для піддержання рівня води в матеріал додається необхідна кількість води. Матеріал

попадає в ємність, яка утворена боковими стінками 2, торцевою стінкою у вигляді сита 3, та днищем 5, яке спряжене з просіювальною поверхнею 7, розташованою разом з днищем 5 на балках 8. Ємність заповнена водою.

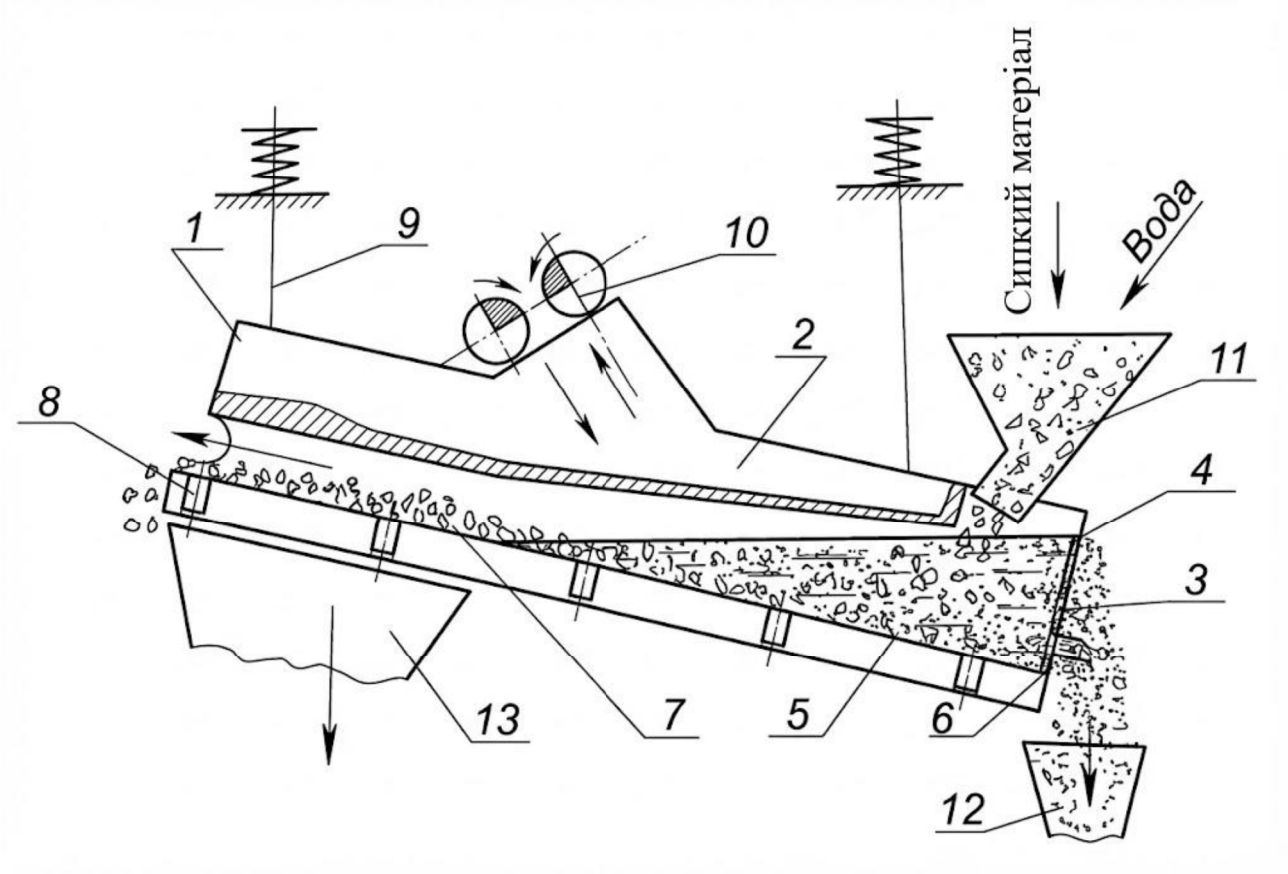


Рисунок 1.5 – Гідрогуркіт (позиції наведено в тексті) [16]

При коливаннях гідрогуркоту, які здійснюються віброзбудниками 10, зернам вихідного матеріалу надається прискорення. Під дією інерційних сил, переборюючи сили опору навколишнього середовища, крупні зерна матеріалу переміщуються у бік розвантаження до знезводнюючої просіювальної поверхні 7 з розвантажувальним лотком 13. Величина інерційної сили прямо пропорційна масі зерна матеріалу. Дрібні шламові зерна не можуть переборювати сили опору водяного середовища із-за малих інерційних сил. Вони видаляються потоком води через зливний патрубок 7 у розвантажувальний лоток 12. Шламові зерна, які із-за малої величини гравітаційних сил осідають до днища 5 повільніше, ніж

крупні разом із залишками води видаляються через зливний поріг 4 у розвантажувальний лоток 12.

Таким чином, у гідрогуркоті, який пропонується, здійснюється безситовий розділ зерен матеріалу по крупності, що підвищує ефективність роботи гідрогуркоту, а часткове заповнення гідрогуркота водою дозволяє зменшити його корозію і підвищити строк служби гідрогрохота.

Таким чином одночасно вирішується задача використання гідро-віброгуркота, що має досить складну конструкцію і вимагає підключення додаткових водогінних комунікацій, що в умовах існуючого виробництва не можливо.

Автори роботи [17] пропонують винахід, що відноситься до техніки для поділу матеріалів по окружності й може бути використаним в гірській і інших галузях промисловості, основною метою винаходу є можливість підвищення продуктивності роботи. Барабанний гуркіт (рис.1.6) містить циліндричне сито 1, розташоване між торцевими опорними цапфами 2 і 3 зі співвісними завантажувальним 4 і розвантажувальним 5 отворами розвантажувальний отвір 5 більше завантажувального отвору 4, ліфтери 6, живильник 7 і розвантажувальне пристосування 8. Гуркіт опирається на роликоопори 9 і скомплектований приводом 10 і кришками. Внутрішній радіус сита I виконаний рівним 1,8-3,1 радіуса розвантажувального отвору 5.

Пульпа 70-75% кл 74 мкм із живильника 7 через отвір 4 у цапфі 2 подається на циліндричне сито 1. За рахунок різниці радіусів циліндричного сита й розвантажувального отвору 5, на поверхні сита утворюється стовп пульпи висотою Н, під тиском якого підрешетний продукт просівається крізь сито. За допомогою привода 10 циліндричне сито 5 обертається на роликоопорах 9.

Надрешетний продукт постійно віддаляється з робочої зони й піднімається ліфтерами 6 нагору, де розвантажується в пристосування 8, по якім виводиться за межі сита. Таке рішення є досить цікавим з точки зору технологчності, але потребує встановлення додаткового живильника, що значно ускладнює конструкцію завантажувального вузла дробарки в цілому.

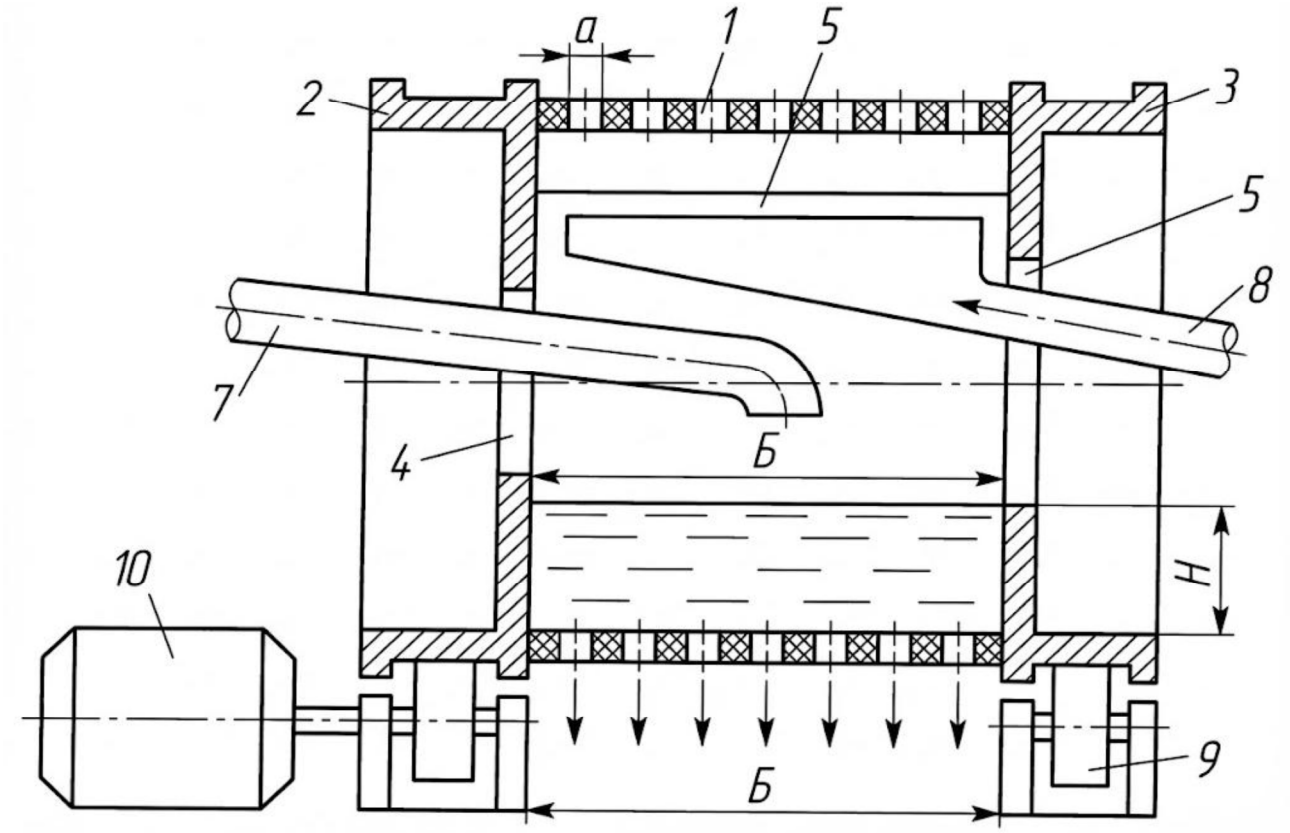


Рисунок 1.6 – Барабанний гуркіт (позиції наведено в тексті)

Найближчою по вирішенню проблеми підвищення енергоефективності дискової дробарки, а саме її завантажувального вузла є робота [18], в якій пропонується довольні технологічний та простий процес по виділенню великих домішок.

В основу винаходу поставлене завдання створення розділювача, у якого уведення нових елементів сита, зокрема введення додаткових осередкоутворюючих елементів із двома ступенями свободи, забезпечує їхнє самоочищення від великих часток, що забилися в гніздах, при обертанні сита й за рахунок цього збільшується пропускна здатність сита знижуються втрати при просіванні, що веде до збільшення ефективності.

Поставлене завдання вирішується тим, що у віддільнику великих домішок, що містить циліндричне сито, з'єднане із приводом обертання, шнековий живильник, установлений по осі сита, виконаного з ободів, на яких укріплені прутки, паралельні осі сита, згідно з винаходом, новими є те що пристрій містить

осередкоутворюючі елементи, виконані у вигляді втулок, що чергуються, і шайб, вільно насаджених на прутках.

Виконання на прутках додаткових осередкоутворюючих елементів утворених вільно насадженими шайбами, й втулками що чергуються, які мають два ступені свободи, забезпечує самоочищення гнізд сита від великих домішок, що забилися в них при обертанні сита. Частки, що потрапили в гніздо та мають розмір більше, ніж фракція, що просівається, під дією ваги й додаткового струшуючого ефекту за рахунок зміни конфігурації гнізда, випадають із гнізда у верхній точці й переносяться в зону вивантаження.

Віддільник великих домішок (рис.1.7) містить раму 1, на якій установлений привод 2 обертання з валом 3. На валу 3 установлений завантажувальний бункер 4 і циліндричне сито 5. Циліндричне сито 5 складається з ободів 6, усередині яких радіально розміщені перемички 7. Ободи 6 по периметру з'єднано між собою прутками 8, паралельними осі циліндричного сита 5 яке встановлено похило.

На прутках 8 вільно насаджені елементи, що чергуються, у вигляді втулок 9 і шайб 10 не з'єднані один з одним.

На валу 3 привода обертання в зоні підведення матеріалу в завантажувальному бункері 4 установлений шнек 11 для підведення, що просівається матеріалу в сито 5.

Втулки 9 і шайби 10 сусідніх прутків 8 утворюють гнізда 12 для просівання. Гнізда можуть мати різну конфігурацію, залежно від взаєморозміщення втулок 9 і шайб 10. Представлено два приклади їх розміщення: шайба напроти шайби й шайба напроти втулки. Таким чином, зміною взаємного розташування елементів регулюється розмір гнізда для просівання.

Для запуску у роботу пристрою включають привод 2 обертання, встановленого на рамі 1. При цьому приводиться в обертання вал 3 і циліндричне сито 5. матеріал, що просівається, наприклад зерно, завантажують у завантажувальний бункер 4. Матеріал із завантажувального бункера 4 попадає

на шнек 11 і далі подається усередину циліндричного сита 5 і розподіляється по внутрішній його поверхні.

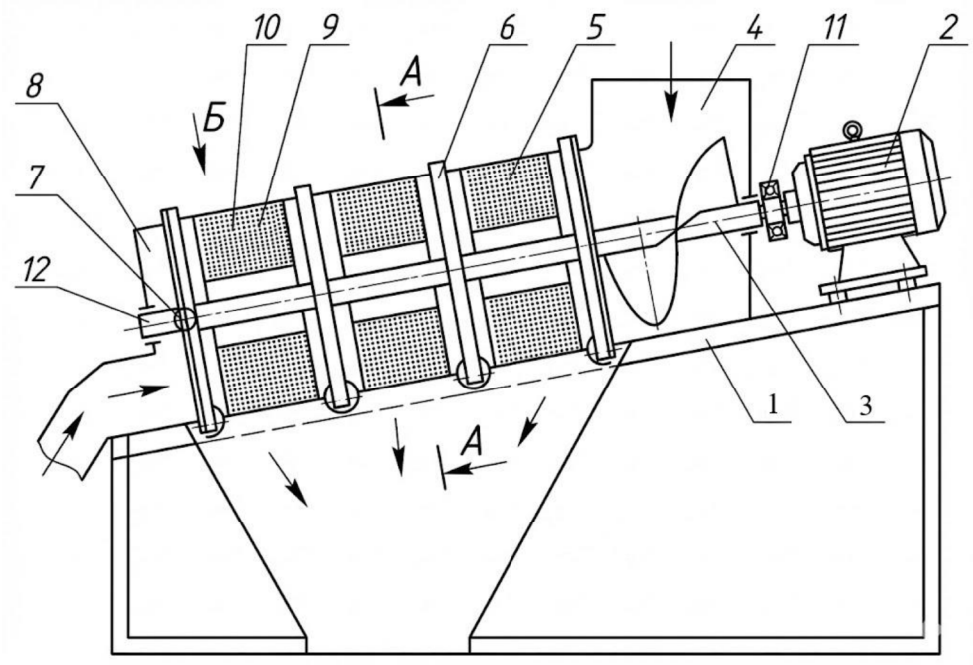


Рисунок 1.7 – Пристрій по відділенню великих домішок (позиції наведено в тексті)

За допомогою шнека 11 частково розбиваються злежалі грудки матеріалу, що просівається. Дрібна фракція матеріалу, що просівається, наприклад саме зерно, прокидається через гнізда 12, утворені втулками, що чергуються, 9 і шайбами 10, вільно насадженими на прутки 8. Втулки 9 і шайби 10 у міру обертання циліндричного сита 5 провертаються, прискорюючи, тим самим, проходження зерна через гнізда 12 і запобігаючи забивання цих гнізд 12. Ті частки,, які потрапили в гнізда 12 і були затиснуті в них осередкоутворюючими елементами, під дією ваги випадають із гнізд 12 у верхній точці при обертанні сита 5. При цьому вплив вібрації сприяє їхньому струшуванню за рахунок зміни форми гнізд 12. У міру обертання циліндричного сита 5 матеріал, що просівається, переміщається в напрямку зони вивантаження, і на виході із сита 5 залишається тільки велика фракція матеріалу, що просівається, тобто ті

включення, розмір яких перевищує розмір гнізд 12 сита 5, які вивантажуються із пристрою. Таким чином, здійснюється поділ матеріалу, що просівається, на фракції.

Але з огляду на існуючий технологічний процес такий тип живильника задовольнить вимоги до розділення на фракції всього на 50 %, в зв'язку з тим, що буде виконувати відділення або тільки крупної, або пиловидної фракції.

Проаналізувавши всі переваги та недоліки наведених вище пропозицій, в якості модернізації пропонується в завантажувальному вузлі дробарки встановити гуркіт інерційний самобалансний ГІС-100, конструктивні та технологічні особливості якого, нівелюють всі зазначені недоліки вищезгаданих конструкцій пристроїв, для попереднього розділення матеріалів на фракції. Також з огляду на високу продуктивність даного типу гуркоту є технічна можливість його використання і в якості живильника дробарки

1.3 Обґрунтування обраного напряму досліджень при визначені конструктивних параметрів обладнання для розсіювання продуктів дроблення

Передчасний вихід з ладу обладнання дільниці обробки титанової губки обумовлена, передусім, недосконалістю конструктивних рішень устаткування, яке проєктувалося на основі неактуальної інформації з приводу ефективної продуктивності цеху або помилкових інженерних критеріїв. Це призводить до інтенсивного зносу робочих елементів, суттєвого скорочення ресурсу експлуатації, підвищення аварійності та передчасних відмов основних вузлів машин.

Основними недоліками роботи обладнання на ділянці обробки титанової губки є:

- незадовільна робота гідравлічного преса НАО–242, що проявляється у частих вимушених зупинках, спричинених прискореним зношуванням і необхідністю регулярної заміни гумових ущільнювальних елементів;

- низька продуктивність вібросита, що виконує розсів дрібних кричних фракцій ТГ: +5 – 12 і –25 мм;
- відносно часті простої однобарабанного трьохсекційного гуркоту, зумовлені інтенсивним абразивним зношуванням секції, відповідальної за розсів фракції 12 мм;
- недостатня продуктивність дискової дробарки, яка значною мірою пов’язана з нераціональним гранулометричним складом матеріалу після стадії попереднього подрібнення. Для підвищення ефективності її роботи доцільним є зменшення максимального розміру кусків попередньо подрібненої титанової губки на клиновій дробарці зі 150 до 100 мм, що потенційно дозволить збільшити продуктивність дискової дробарки приблизно на 35 %.

Також одним з найбільш проблемних місць ділянки подрібнення титану губчатого є низька стійкість найбільше тяжконавантажених деталей дискової дробарки, а саме – часта заміна дисків і колосників, в зв’язку з їхнім швидким абразивним зносом та низька енергоефективність дробарки в цілому пов'язана з недостатньо надійною схемою завантажувального вузла. Вирішення даної проблеми і присвячено данну магістерську роботу.

Роботою [19] встановлено, що при попередньому відсіванні готового класу вугілля 0-3 мм перед дробленням, потужність, яка споживається електродвигуном молоткової дробарки, знижується, оскільки знижується технологічне навантаження (продуктивність за матеріалом, що поступає на дробарку), яке пропорційно впливає на затрачувану потужність. З великою часткою вірогідності ці показник дійсні й для дискових дробарок, що використовуються при дробленні титанової губки.

Для правильного вибору типу подрібнювального агрегату на стадії проєктування (пряме завдання) або у виробничих умовах (зворотне завдання) представляє інтерес проаналізувати енергетичні затрати роботи дробарки з відсівним пристроєм [19].

Продуктивність дробарки по вихідному живленню ($Q_В$, т/год), визначається продуктивністю подаючого конвейєра ($Q_К$, т/год), і відповідно до [20] може бути визначена як:

$$Q_В = Q_к = 3600 \cdot F_м \cdot \rho_н \cdot v_т, \text{ т/год} \quad (1.1)$$

де $F_м$ – площа поперечного перерізу матеріалу, м^2;

$\rho_н$ – насипна щільність матеріалу, т/м^3;

$v_т$ – швидкість транспортування.

З урахуванням відсівання готового класу після конвейєра продуктивність подрібнювального агрегату Q, т/год, може бути визначена за формулою:

$$Q = Q_В(1 - \gamma \frac{E_г}{100}), \text{ т/год} \quad (1.2)$$

де γ – дольовий вміст дріб'язку в вихідному продукті;

$E_г$ – ефективність грохочення, %.

Використовуючи емпіричну формулу для визначення потужності електродвигуна молоткової дробарки N, кВт, при дробленні вугілля [19]:

$$N = (0{,}1...0{,}15) \cdot Q \cdot i, \text{ кВт} \quad (1.3)$$

де i – ступінь дроблення,

При спільному рішенні рівнянь (1.1-1.3), отримаємо вираз, що дозволяє визначити потужність, використану електродвигуном дробарки залежно від вмісту готового класу в вихідній шихті та ефективності його відсівання перед дробленням

$$N = (0{,}1\ldots0{,}15)\cdot(1\text{-}0{,}01\cdot\gamma\cdot E_г)\cdot Q_в\cdot i,\ кВт \qquad (1.4)$$

З аналізу отриманої формули випливає, що потужність, яка споживається електродвигуном дробарки, лінійно залежить від частки готового класу у вихідній шихті та ефективності його відсівання перед дробленням. Отже, підвищення ефективності грохочення дозволяє більш раціонально використовувати витрачену електроенергію без втрати продуктивності процесу подрібнення.

Таким чином, на стадії проєктування дільниць подрібнення матеріалів використання наведеної залежності дає змогу обґрунтовано підібрати високоефективне та енергоощадне обладнання для попереднього відсівання готового класу (пряма задача) [7]. Очевидно, що в умовах реального виробництва ефективність грохочення дрібної фракції повинна підтримуватися на стабільно максимально можливому рівні у часі.

Як показав попередньо проведений аналіз, у межах існуючої дільниці подрібнення титанової губки, з урахуванням специфіки технологічних схем та обмеженості виробничих площ, найбільш доцільною є реалізація процесу відсівання дрібної фракції на слабконахиленому грохоті, у якого кут нахилу просіювальної поверхні не перевищує кут тертя матеріалу, що відсівається.

Відмінною особливістю такого способу є наявність фази майже горизонтального вібротранспортування матеріалу, під час якої одночасно здійснюється його переміщення та сортування. У зв’язку з цим актуальним є встановлення аналітичної залежності швидкості вібротранспортування титанової губки на вібраційному живильнику від амплітуди коливань і кута нахилу лотка живильника, що є необхідною умовою для подальшого удосконалення технологічної схеми та підвищення загальної ефективності процесу.

2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

2.1 Аналіз типів ґуркотів та їхнього функціонального признаяення. Вибір оптимальної конструкції для поставлених задач.

Ґуркоти (грохоти) є одним із найбільш поширених видів технологічного обладнання, що застосовується у гірничорудній, металургійній та будівельній промисловості для класифікації та фракціонування сипких матеріалів за крупністю частинок. Їх використання забезпечує ефективне розділення матеріалу на задані фракції, стабілізацію гранулометричного складу та підвищення якості подальшої переробки сировини [21].

Розсіювання сипких матеріалів базується на процесі проходження частинок через отвори ситової поверхні під дією механічних коливань. В результаті матеріал поділяється на надрешітний продукт (крупна фракція) та підрешітний продукт (дрібна фракція). Ефективність процесу визначається амплітудою і частотою коливань, кутом нахилу робочої поверхні, формою та розмірами отворів сит, а також фізико-механічними властивостями матеріалу (вологість, злипання, форма зерен) [22].

Плоскі вібраційні ґуркоти є найпоширенішим типом обладнання для сухого та вологого грохочення. Вони оснащуються однією або кількома ситовими поверхнями, що здійснюють гармонічні або близькі до гармонічних коливання. Функціональне призначення таких гуркотів полягає у класифікації матеріалів середньої та дрібної крупності, попередньому знепилюванні та відборі стандартних фракцій перед подрібненням або агломерацією [23].

Плоскі ґуркоти характеризуються високою продуктивністю, простотою конструкції та можливістю регулювання режимів роботи шляхом зміни частоти обертання дебалансних вібраторів [23].

Барабанні ґуркоти (троммелі) являють собою циліндричні або слабко конічні барабани з перфорованою поверхнею, які обертаються навколо своєї осі.

Функціональне призначення цього типу гуркотів – розсіювання матеріалів великої та середньої крупності, особливо при підвищеній вологості або схильності до злипання [23].

Перевагою барабанних ґуркотів є їхня здатність працювати зі складними матеріалами, що містять глину чи органічні домішки, а також можливість одночасного промивання матеріалу водою під час процесу грохочення [24].

Колосникові ґуркоти складаються з паралельних металевих прутків (колосників), між якими утворюються щілинні отвори. Вони застосовуються для попереднього (грубого) грохочення крупнокускових матеріалів перед дробленням [23].

Функціональне призначення колосникових ґуркотів – відокремлення дрібних включень із потоку крупного матеріалу, зменшення навантаження на дробарки та запобігання їх перевантаженню. Цей тип ґуркотів відзначається високою міцністю і стійкістю до абразивного зносу [21].

Резонансні ґуркоти працюють у режимі, близькому до власної частоти коливань системи «корпус – пружна підвіска», що дозволяє значно зменшити енергоспоживання при збереженні високої інтенсивності коливань.

Інерційні ґуркоти оснащуються дебалансними вібраторами та забезпечують примусові коливання ситової поверхні. Їх функціональне призначення – класифікація широкого спектра матеріалів у промислових умовах з підвищеними вимогами до надійності та стабільності технологічного процесу [23].

До спеціалізованих ґуркотів належать високочастотні, ультразвукові та комбіновані ґуркоти. Вони застосовуються для тонкого та надтонкого розсіювання, особливо у випадках, коли матеріали мають підвищену вологість або схильні до агломерації [22].

Функціональне призначення таких гуркотів полягає у підвищенні точності класифікації, інтенсифікації процесу просіювання та зменшенні забивання отворів сит [23].

Таким чином, гуркоти різних типів забезпечують ефективне розсіювання

сипких матеріалів у широкому діапазоні крупності. Вибір конкретного типу обладнання визначається фізико-механічними властивостями матеріалу, вимогами до точності розділення та умовами експлуатації. Раціональне застосування гуркотів сприяє підвищенню ефективності технологічних схем переробки сировини, зменшенню енергетичних витрат та збільшенню ресурсу технологічного обладнання.

Для поставлених задач в розділі 1.3 необхідно підібрати ґуркіт, який може працювати з відносно сдоровими шматками матеріалу і при цьому відсівати пиловидну фракію і для вирішення цієї задачі якнайкраще підходять інерційні гуркоти серії ГІС.

Основні переваги інерційного ґуркоту (ГІС) (рис.2.1):

- можливість роботи з відносно великими кусками: ґуркоти серії ГІС розраховані на поділ сипучих матеріалів на фракції ≈ 40…100 мм; допускають надходження шматків з максимальною крупністю до ~ 300 мм. [25, 26];
- посилена конструкція: порівняно з «легкими» ґуркотами (серії ГІЛ) – ГІС має міцніший корпус, що дає змогу працювати зі щебенем, гравієм, нерудними матеріалами, вугіллям – при стабільному промисловому навантаженні [25];
- ефективне розділення фракцій: завдяки вібраційно-інерційному принципу, матеріал проходить через ситову поверхню з високою точністю поділу, що забезпечує якісне фракціонування [27];
- відносно невисокі енергетичні витрати та експлуатаційні витрати: інерційні ґуркоти менш енергомісткі, ніж деякі інші види сит (наприклад, високочастотні), та простіші з точки зору організації механічної частини – це зменшує витрати на обслуговування й ремонти [28];
- надійність і довговічність при інтенсивному навантаженні: завдяки збалансованому механізму коливань та підсиленій конструкції, ґуркоти серії ГІС розраховані на стабільну роботу з важкими матеріалами [25];
- універсальність застосування: підходить для широкого спектра сипучих

матеріалів – нерудні, будівельні, гравій, щебінь, інертні маси, що робить ГІС гнучким рішенням для різних галузей.



Рисунок 2.1 – загальний вид ґуркоту ГІС 100

Переваги ґуркоту серії ГІС проявляються найкраще:

- при обробці середньо- або крупнокускових матеріалів з фракцією ~ 40-100 мм;
- коли потрібна висока продуктивність сортування з мінімальними витратами на обслуговування;
- якщо матеріал – відносно важкий або абразивний (щебінь, гравій, нерудні сипучі), і потрібна міцна конструкція;
- за умов, коли потрібне чітке фракціонування без втрати якості матеріалу (тобто не дроблення, а розсівання).

Інерційний гуркіт ГІС 100 має наступні технічні характеристики:

1.Продуктивність живлення, т/год	100
2.Розміри просіваючої поверхні, мм	1370×3000
3.Кількість ярусів сит, шт	2
4.Кут нахилу сит, град	15
5.Частота коливань короба, $хв^{-1}$	976

Привод гуркота виконано у вигляді механічного віброзбуджувача. В цьому випадку тягове зусилля розвивається в результаті дії сил інерції обертових неврівноважених мас – дебалансних вантажів. Принципова схема гуркоту показана на рис. 2.2.

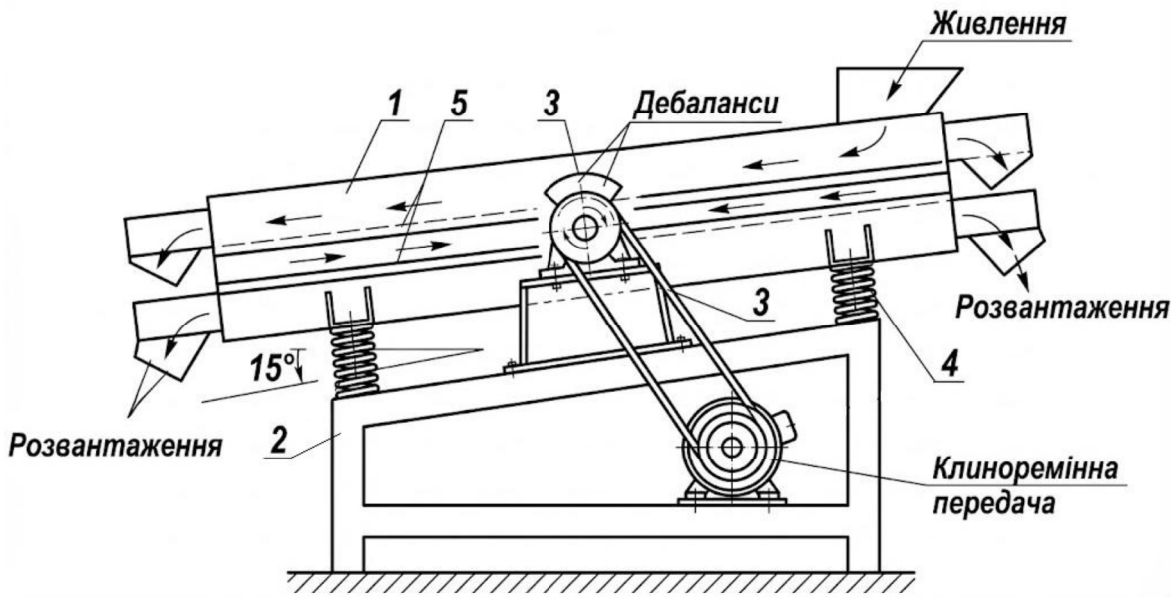


Рисунок 2.2 – Принципова схема конструкційного компонування гуркоту типу ГІС-100 (позиції наведено в тексті)

Короб 1 гуркоту опирається на циліндричні кручені пружини-амортизатори 4 ø 160 мм, опори змонтовані на нерухливій металевій конструкції 2. Короб 1 з ситами 5 приводиться в коливальний рух дебалансним віброзбуджувачем 3, вал якого обертається у вальницях і проходить усередині труби. Вал має ексцентриситет. На кінцях вала насаджені шківи, на яких закріплені дебалансні вантажі. Геометрична вісь вала перебуває поблизу від центру ваги короба $C_к$. Ця точка знаходиться від прямої, що з'єднує центри шківів, на відстані r. Центри ваги $C_д$ дебалансів перебувають на відстані R від тієї ж лінії. При обертанні шківів навколо геометричної осі вала виникають дві рівні й протилежно спрямовані відцентрові сили інерції:

При цьому геометричні центри шківів О залишаються нерухливими в просторі. Звідси й назва гуркоту – самоцентруючий. Обертання від двигуна валу передається через клиноремінну передачу.

2.2 Визначення ефективної частоти обертання приводного валу гуркоту

Для ефективності просівання необхідно, щоб шматки матеріалу робили стрибкоподібну траєкторію, тобто відривалися від поверхні (рис. 2.3) при цьому варто враховувати, що на частинку діють наступні сили:

1. Сила тяжіння ($G=mg$):

Основна сила, що діє на частинку масою m. Для аналізу руху по похилій площині її розкладають на дві складові:

- $G\cos\alpha$ (нормальна складова): притискає частинку до сита. Від неї залежить сила тертя;
- $G\sin\alpha$ (тангенціальна або скочуюча складова): головна сила, яка змушує матеріал рухатися вниз по ситу до розвантажувального кінця.

2. Сила нормальної реакції опори (N):

Це сила, з якою поверхня сита діє на частинку. Вона компенсує всі сили, що притискають частинку до сита перпендикулярно до його поверхні (у стані спокою $N = G\cos\alpha$, але при вібрації це змінюється).

3. Сила тертя ($F_{тер}$):

Виникає між матеріалом і поверхнею сита. Вона направлена протилежно до відносного руху частинки.

- $F_{тер} = f \cdot N$, де f – коефіцієнт тертя.
- сила тертя утримує матеріал від занадто швидкого скочування, даючи час для просівання дрібних частинок крізь отвори.

4. Відцентрова сила інерції ($F_{вц}$):

Це ключова сила у вібраційному ситі. Вона виникає через те, що короб сита здійснює коливальні рухи (кругові, еліптичні або прямолінійні) з частотою ω та амплітудою r.

- ця сила періодично змінює свій напрямок. Коли її вертикальна складова спрямована вгору і перевищує притискаючі сили ($G\cos\alpha$), частинка підкидається над ситом.

– **п**ідкидання розпушує шар матеріалу (сегрегація). Дрібні частинки провалюються вниз, ближче до отворів сита, а великі спливають нагору. Це значно підвищує ефективність просівання.

Баланс між скочуючою силою (Gsinα) та силою тертя ($F_{тер}$) визначає швидкість транспортування матеріалу вздовж сита. Відцентрова сила ($F_{вц}$) забезпечує підкидання та розпушення матеріалу, дозволяючи дрібним фракціям пройти крізь отвори.

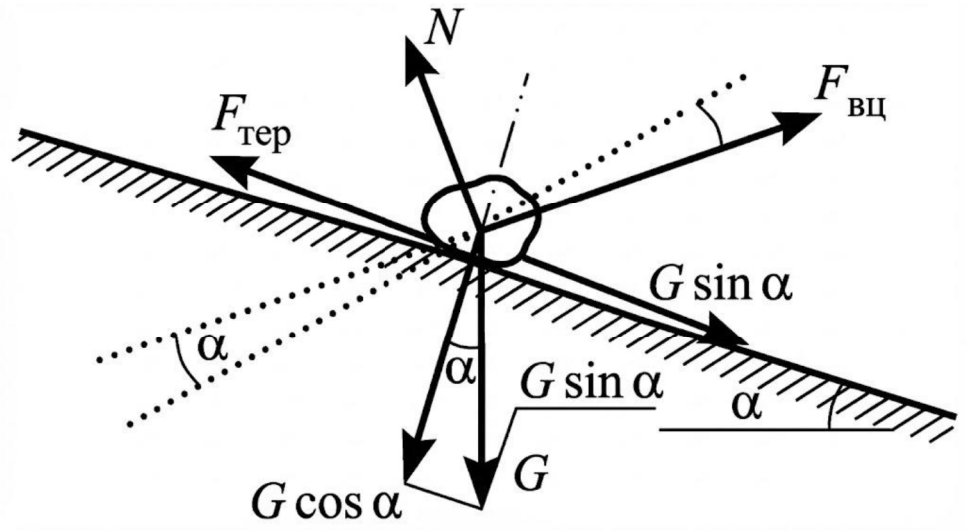


Рисунок 2.3 – Схема сил, що діють на матеріал при просіванні

Отже умовою організації стрибкоподібної траєкторії для матеріалу, що просіюється є:

$$\frac{G}{g}\omega^2 r > G\cos\alpha, \tag{2.1}$$

$$\omega = \frac{\pi n}{30}, \tag{2.2}$$

тоді

$$\frac{\pi^2 n^2 r}{g30^2} > \cos\alpha \rightarrow n > \sqrt{\frac{g30^2 \cos\alpha}{\pi^2 r}} \rightarrow n \geq 30\sqrt{\frac{\cos\alpha}{r}}, \qquad (2.3)$$

де G – вага, яка підлягає відрозбудженню та складається з:

$$G = G_1 + G_2$$

G_1 – вага короба гуркоту;

G_2 – вага подрібненого матеріалу, варто враховувати, що насипна вага титану губчастого 1,75 т/м^3.

r=0,04 мм – ексцентриситет.

$\alpha = 15°$ – кут нахилу гуркоту.

$$n \geq 30\sqrt{\frac{0,9659}{0,004}} = 465 \text{ хв}^{-1}.$$

Таким чином, оптимальна частота обертання ексцентрикового вала при просіванні подрібленної титанової губки складає 465 об/хв

2.3 Визначення номінальної потужності приводу вібраційного гуркоту

Потужність двигуна витрачається на подолання сил тертя у вальницях і передачі кінетичної енергії коробу з матеріалом (рис. 2.4).

$$N = k\frac{A_1 + A_2}{\eta}, \qquad (2.4)$$

де $k = 1,3 \div 1,5$ – коефіцієнт неврахованих втрат;

A_1 – робота, витрачена на подолання сил тертя в опорній вальниці, Нм;

A_2 – робота, витрачена на подолання сил тертя у вальниці короба, Нм;

$\eta = 7{,}75$ – число обертів приводного валу гуркоту в секунду.

$$A_1 = F_{TP_1} 2\pi R_1, \tag{2.5}$$

де F_{TP_1} – сила тертя в опорній вальниці, Н;

$R_1 = 0{,}12$ – радіус опорної вальниці.

$$F_{TP_1} = (G_1 + G_2)\mu_1, \tag{2.6}$$

де μ_1 – коефіцієнт тертя в опорній вальниці ($\mu_1 = 0{,}08$)

$$F_{TP_1} = 15300 \times 0{,}08 = 1224 \text{ н}=1{,}224 \text{ кН},$$

$$A_1 = 1{,}224 \times 6{,}28 \times 0{,}12 = 0{,}92 \text{ кНм}$$

$$A_2 = F_{TP_2} 2\pi R_2, \tag{2.7}$$

де R_2 – радіус вальниці короба ($R_2 = 0{,}13$ м)

F_{TP_2} – сила тертя у вальницях короба, Н;

$$F_{TP_2} = P\mu_2, \tag{2.8}$$

де P – відцентрова сила, що діє на вальницю;

μ_2 – коефіцієнт тертя-кочення у вальницях короба ($\mu_2 = 0{,}08$)

$$P = \frac{G}{g}\omega^2 r, \tag{2.9}$$

$$P = \frac{15300}{9,8} \times \frac{3,14^2 \times 465^2}{900} \times 0,04 = 14498,2\,Н$$

$$F_{ТР_2} = 14498,2 \times 0,08 = 1159,85\ Н \approx 1,16\ кН$$

$$A_2 = 1,16 \times 6,28 \times 0,13 = 0,947\ Н$$

$$N = 1,5\frac{0,92 + 0,947}{0,95} \times 7,75 = 22,8\ кВт.$$

По довіднику [29] вибираємо електродвигун типу 4А180М4УВ, потужністю 30 кВт

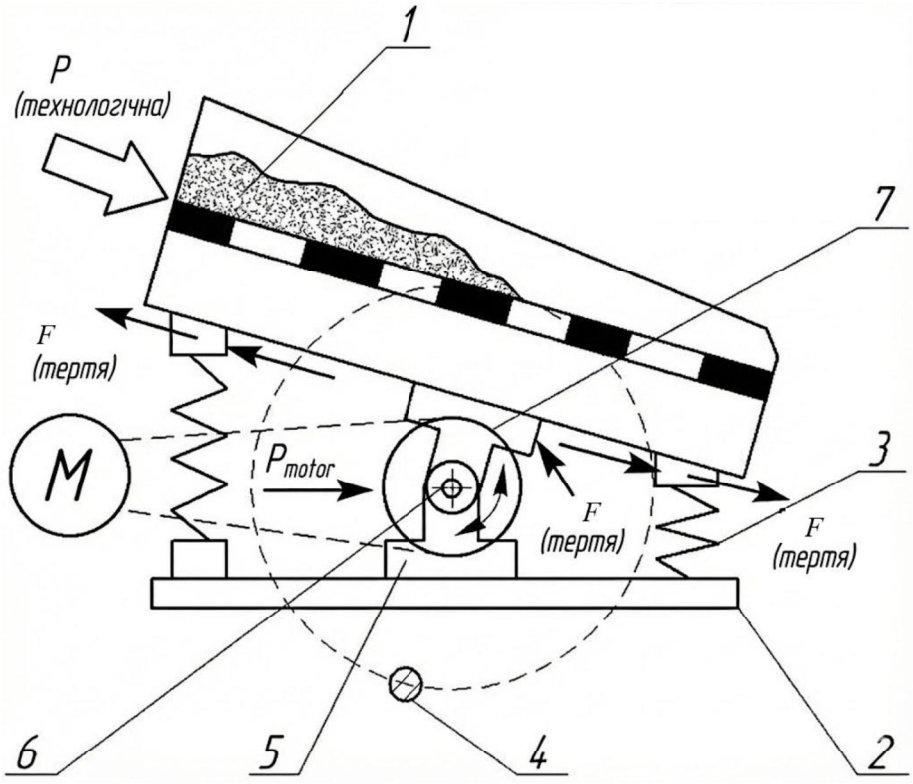


Рисунок 2.4 – Схема вібраційного гуркоту: 1 – короб з поверхнею, що просіває; 2 – підставка; 3 – пружні опори; 4 – вантаж, що врівноважує; 5 –

вальниці ексцентрикового вала; 6 – ексцентриковий приводний вал; 7 – вальниці короба

2.4 Визначення продуктивності вібраційного гуркоту

Продуктивність вібраційного гуркоту, як транспортуючого пристрою, може бути визначена по формулі [30]:

$$Q = 3600BhV\gamma\psi, \qquad (2.10)$$

де $B = 1{,}5$ – ширина короба, м;

$h = 0{,}2$ – висота шару матеріалу на ситі, м;

$V = 0{,}00125$ – швидкість руху матеріалу, м/с;

$\gamma = 1{,}75$ – питома вага матеріалу, т/м^3;

$\psi = 1{,}1$ коефіцієнт розпушення матеріалу.

$$Q = 3600 \times 1{,}5 \times 0{,}2 \times 0{,}00125 \times 1{,}75 \times 1{,}1 = 2{,}598 \text{ т/год}$$

Що цілком відповідає потребам виробничого цеху.

2.5 Вибір типу гнучкого елементу для передачі крутного моменту в приводній частині гуркоту

Вихідні дані для розрахунку:

N=30 кВт; n=1465 хв$^{-1}$; i=1,5

Для передачі заданої потужності рекомендуються ремені типу В и Г [31, 32].

Розмір D_1 вибираємо так, щоб швидкість ременя була не нижче 10 м/с.

Після вибору діаметра шківа визначаємо відповідні швидкості ременя:

$$V = \frac{\pi D_1 n_1}{60}, \qquad (2.11)$$

Для типу *В*

D_1=300мм; $$V = \frac{3{,}14 \times 300 \times 1465}{60} = 23 \text{ м/с}$$

Для типу *Г*

D_1=450мм; $$V = \frac{3.14 \times 450 \times 1465}{60} = 34.5 \text{ м/с}$$

Діаметр ведучого шківа D_1=300мм

Діаметр ведееого шківа, при відносному ковзанні ε=0,01, дорівнює

$$D_2 = D_1 i(1-\varepsilon)б \qquad (2.12)$$

В. D_2=300× 1.5× (1–0,01)=445,5. Приймаємо $D_2 \approx$ 450мм

Г. D_2=450× 1,5× (1–0,01)=668,25. Приймаємо $D_2 \approx$ 675мм

Уточнене значення передаточного числа:

$$i = \frac{D_2}{D_1(1-\varepsilon)}, \qquad (2.13)$$

В. $$i = \frac{450}{300(1-0{,}01)} = 1{,}50$$

Приймаємо i=1,5

Г. $$i = \frac{675}{450(1-0{,}01)} = 1{,}51$$

Приймаємо i=1,54

Попередня міжосьова відстань:

$$A=D_2, \qquad (2.14)$$

Довжина ременя

$$L = 2A + \frac{\pi}{2}(D_1 + D_2) + \frac{(D_2 - D_1)^2}{4A}, \qquad (2.15)$$

В. $$L = 2 \times 450 + \frac{3{,}14}{2}(300 + 450) + \frac{(450-300)^2}{4 \times 450} = 2090\text{мм}$$

Г. $$L = 2 \times 675 + \frac{3{,}14}{2}(450 + 675) + \frac{(675-450)^2}{4 \times 675} = 3135\text{мм}$$

Найближча розрахункова довжина ременя типу В за ДСТ……L_0=2120...

Найближча розрахункова довжина ременя типу Г за ДСТ……L_0=3150

Уточнена міжосьова відстань у мм

$$A = \frac{1}{8}\left\{2L_0 - \pi(D_1 + D_2) + \sqrt{2L_0 - \pi(D_1 + D_2)^2 - 8(D_2 - D_1)^2}\right\}, \qquad (2.16)$$

В:

$$A = \frac{1}{8}\left\{2 \times 2120 - 3{,}14(300 + 450) + \sqrt{2 \times 2120 - 3{,}14(300 + 450)^2 - 8(450 - 300)^2}\right\} = 410$$

Г:

$$A = \frac{1}{8}\left\{2 \times 3150 - 3{,}14(450 + 675) + \sqrt{2 \times 3150 - 3{,}14(450 + 675)^2 - 8(675 - 450)^2}\right\} = 607$$

Кут обхвату

$$\alpha_1 = 180 - 60 \times \frac{D_2 - D_1}{A}, \qquad (2.17)$$

В. $\alpha_1 = 180 - 60 \times \frac{450 - 300}{410} = 158$

Г. $\alpha_1 = 180 - 60 \times \frac{675 - 450}{607} = 157{,}5$

Коефіцієнт кута обхвату

$$C_\alpha = 1 - 0{,}003(180 - \alpha_1) \qquad (2.18)$$

В. $C_\alpha = 1 - 0{,}003(180 - 158) = 0{,}934$

Г. $C_\alpha = 1 - 0{,}003(180 - 157{,}5) = 0{,}932$

Швидкість ременя $V = \frac{\pi D_1 n_1}{60 \times 1000}$ (визначена на початку розрахунку при виборі типу ременя), тоді швидкісний коефіцієнт:

$$C_v = 1{,}05 - 0{,}0005V^2, \qquad (2.19)$$

В. $C_v = 1{,}05 - 0{,}0005 \times 23^2 = 0{,}79$

Г. $C_v = 1{,}05 - 0{,}0005 \times 34^2 = 0{,}47$

Коефіцієнт режиму роботи C_p=0,6

Число пробігів

$$u = \frac{V}{L_0}, \qquad (2.20)$$

В. $u = \frac{23}{2,12} = 10,8 \text{сек}^{-1}$

Г. $u = \frac{34}{3,15} = 10,7 \text{сек}^{-1}$

Вибір σ_0 залежно від числа пробігів: при u>5 σ_0=1.88 МН/м^2 для ременів типу В и Г

Значення k_0 при σ_0=1,88 МН/м^2

k_0=1,84 МН/м^2 для ременя типу В

k_0=1,91 МН/м^2 для ременя типу Г

Корисне напруження, що допускається:

$$[k_n] = k_0 C_v C_p, \qquad (2.21)$$

В. $[k_n] = 1,84 \times 0,934 \times 0,79 \times 0,6 = 0,815$ МН/м^2

Г. $[k_n] = 1,91 \times 0,932 \times 0,47 \times 0,6 = 0,5$ МН/м^2

Окружне зусилля

$$P = \frac{102N}{V}, \qquad (2.22)$$

В. $P = \frac{102 \times 30}{23} = 133$ кг =1330 Н

Г. $P = \frac{102 \times 30}{34,5} = 88,7$ кг =887 Н

Площа перетину ременя *F* у см^2

В. $F=2{,}30$ см^2

Г. $F=4{,}76$ см^2

Число ременів

$$Z=\frac{P}{[k_n]F}, \qquad (2.23)$$

В. $$Z=\frac{133}{8{,}15\times 2{,}30}=7{,}1$$

Приймаємо кількість ременів типу В $Z=8$

Г. $$Z=\frac{88{,}7}{5\times 4{,}76}=3{,}7$$

Приймаємо кількість ременів типу $Г$ $Z=4$

Тиск на вали:

$$Q=2S_0F\sin\frac{\alpha_1}{2}Z, \qquad (2.24)$$

де S_o – попередній натяг кожної гілки ременя;

F – площа перетину ременя в см^2;

α_1 – кут обхвату в градусах

В. $S_0=\sigma_0F=18{,}8\times 2{,}3=43{,}2$ кг=432 Н

Г. $S_0=\sigma_0F=18{,}8\times 4{,}76=89{,}5$ кг=895 Н

В. $Q=2\times 43{,}2\times 2{,}30\sin 79°\times 4=780{,}2$ кг=7802 Н

Г. $Q=2\times 89{,}5\times 4{,}76\sin 78°30^{I}\times 2=1669$ кг=16690 Н

Остаточно приймаємо 4 ремені типу Г

3 ДОСЛІДНО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Організація експериментальних досліджень вібротранспортування сипких матеріалів в лабораторних умовах

Аналіз зроблений в розділі 2.1 вказує на те, що для організації ефективного відсіювання продуктів дроблення з одночасним переміщенням основного матеріалу, тобто використання гуркота в якості транспортуючого пристрою, потрібно створи умови скочкоподібного руху часток. Для виконання таких досліджень в лабораторних умовах колективом кафедри металургійного обладнання розроблена унікальна конструкція вібраційного лотка загальна схема якого наведена на рисунку 3.1

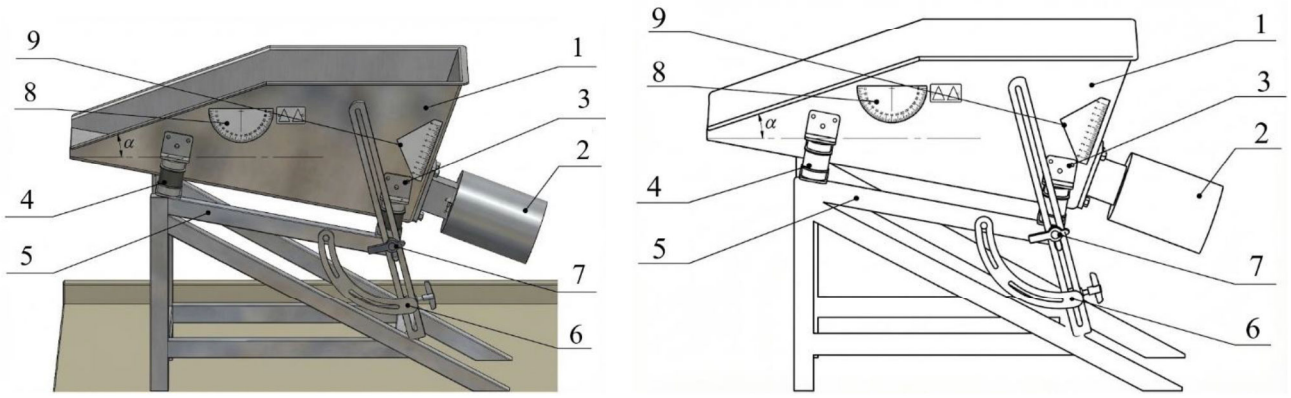


Рисунок 3.1 – Запропонована конструкція лотка для дослідження вібротранспортування сипких матеріалі: а – 3D модель, б – схематичне зображення

Конструктивно віброживильник складається із двох основних вузлів (рис. 3.1): безпосередньо виконавчого органа – лотка 1 і привода електромагнітного вібратора 2, з'єднаних за допомогою болтів 3. Живильник через опори 4 опирається на раму 5. Рама виконана з можливістю зміни кута нахилу до горизонталі за допомогою лекальних кривих 6 і затискача 7. Величина: кута

нахилу лотка α вимірюється за допомогою кутоміра 8. Величина амплітуди вібрації може вимірятися візуально за допомогою мірного клина 9, наклеєного на борт лотка. Змінюють амплітуду вібрації збільшенням або зменшенням напруги на електричній обмотці вібратора.

За принципом дії віброживильник ділиться на дві маси: активну й реактивну, зв'язану основним пружним зв'язком – циліндричними прорізними пружинами розтягання-стиску, що й опираються на амортизатори.

Пружні амортизуючі зв'язки віброживильника представляють собою металеві спіральні пружини на які опирається віброживильник (рис. 3.2).



Рисунок 3.2 – Загальний вид лабораторної установки для дослідження процесу вібротранспортування сипких матеріалів

Активна масса складається з лотка й прямокутного пакета заліза закріпленого на корпусній частині вібродвигуна. Реактивна маса складається з

електромагніту – Ш-видний пакет заліза, який разом з котушкою закріплений на якірній частині вібродвигуна.

Між пружинами, корпусної і якірної частин, а також між пакетом електромагніту якірної частини вібратора передбачені алюмінієві шайби, за допомогою зміни кількості яких можливо регулювати величину міжзалізового проміжку. Деталі вібродвигуна мають змінювану масу, а маса лотка звичайно приймається при проектуванні такою, щоб активна маса була приблизно рівна реактивній.

Виконавчий орган віброживильника – лоток. Середній кут між напрямком вібрації й днищем лотка становить 20° та може варіюватися в проміжку від 15° до 30°. Рух матеріалу по дну лотка відбувається згідно траєкторії наведеної на рис.3. 3

Коли частка матеріалу перебуває на вібруючій площині, то їй повідомляється рух, що збігається з напрямком вібрації, відбувається відрив її від площини, політ й падіння під дією сил ваги [33]. Під час польоту частки лоток робить зворотне коливання. Відстань від початку руху частки до точки її падіння приблизно рівно величині амплітуди [34]. Звичайно величина амплітуди лотка не перевищує 0,4–0,5 мм, а частота коливань дорівнює частоті електромережі (50 коливань/с).

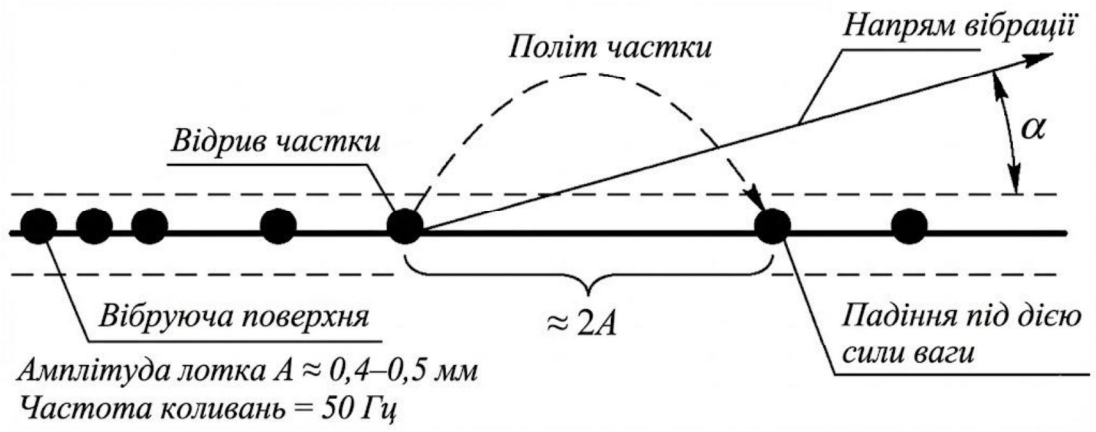


Рисунок 3.3 – Схема переміщення частинок матеріалу по дну лотка

Швидкість руху частки може бути приблизно визначена по формулі [35]:

$$\nu = 2 \cdot A \cdot \upsilon \cdot k, \text{ мм/с} \qquad (3.1)$$

де k – коефіцієнт режиму роботи віброживильника

$$k = \frac{A \cdot \omega^2 \cdot \sin\beta}{g \cdot \cos\alpha} \qquad (3.2)$$

де A – амплітуда;

ω – кутова частота вібрації;

β – кут вібрації;

α – кут нахилу вібруючої поверхні до горизонту.

При різних значеннння к, рух транспортуємого матеріалу підпорядковується різним законам руху:

$k > 1$ – рух часток з підкиданням

$k < 1$ – рух часток із проковзуванням

При нахилі вібруючої площини до 20° швидкість руху частки збільшується приблизно вдвічі.

Продуктивність живильника залежить від ширини лотка, амплітуди й частоти коливань, від кута нахилу, від висоти шару матеріалу, вологості й липкості, від гранулометричного складу, закону руху матеріалу й може бути приближенно визначена по формулі [36]:

$$Q = \frac{3600 \cdot b \cdot h \cdot v}{10^9}; \text{ т/год} \qquad (3.3)$$

де b – ширина лотка в мм;

h – висота шару в мм;

ν – швидкість руху матеріалу в мм/с;

γ – об'ємна вага матеріалу в т/м^3.

Для забезпечення стабільної швидкості матеріалу у всіх точках, лоток повинен бути досить твердим, а лінія дії вібрації (вісь вібратора) повинна проходити через центр ваги лотка.

Електромагнітний вібратор С-918А (рис. 3.4) є вібраційним приводом спрямованих коливань і використовується в якості віброприводa живильників і транспортерів для подачі й транспортування сипких і кускових матеріалів. Електромагнітний вібратор може бути також застосований як збуджувач на бункерах і тічках, на віброустановках для ущільнення бетону й інших пристроях, де потрібно створювати спрямовані коливання.

Технічна характеристика

Число коливань	3000 коливань/хв
Приєднана вага	50 кг
Амплітуда коливань корпусної частини при приєднаній вазі	0,5 мм
Живлення вібратора:	
рід струму	пульсуючий однополуперіодний
частота	50 Гц
напруга	220 В
сила струму середня	0,6 А
Габаритні розміри	300×150×250 мм
Вага (без вантажів)	15 кг

Електромагнітний вібратор С-918А представляє собою двохмасову коливальну систему, що складається із двох основних частин (рисунок 3. 4) – корпусної 1 і якірної 2, з'єднаних одна з одною двома циліндричними прорізними пружинами розтягнення – стиску 3, 4.

Збудником змушених коливань є електромагніт, Ш-видний пакет заліза 5 який разом з котушкою 6 закріплений на якірній частині вібратора. Прямокутний пакет заліза 7 закріплений на корпусній частині.

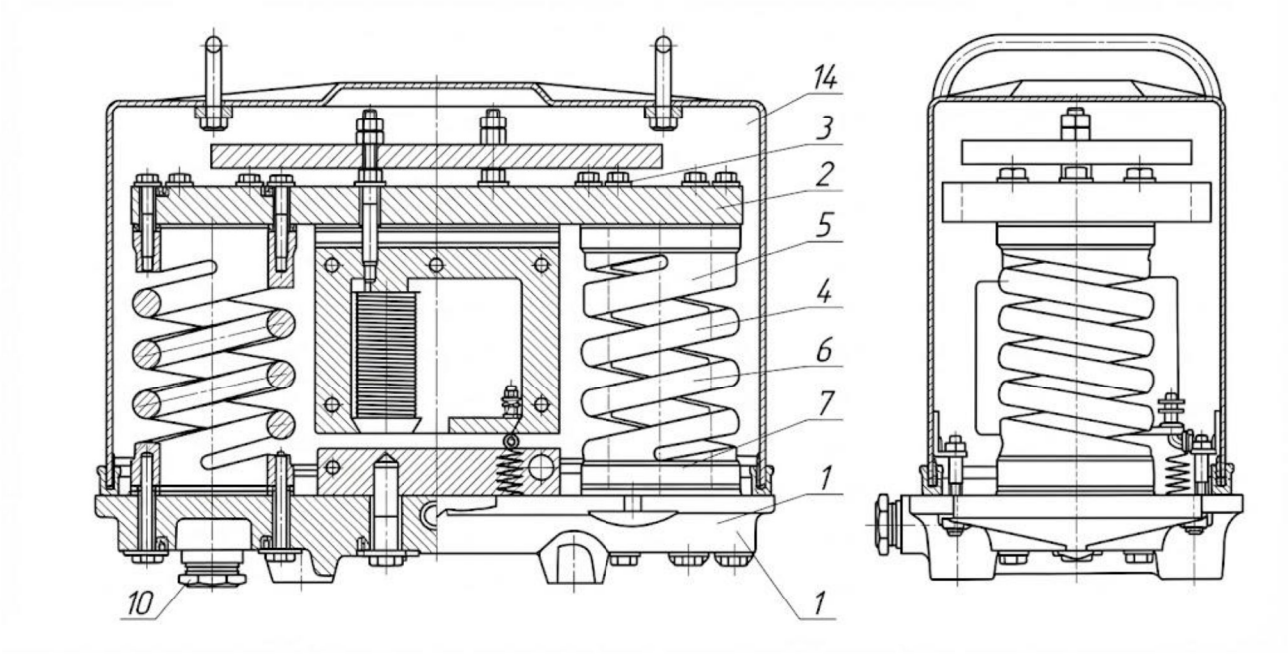


Рисунок 3.4 – Загальний вид електромагнітного вібратора С-918А (позиції наведено в тексті)

Живлення котушки електромагнітної системи здійснюється випрямленим струмом однопівперіодної форми. Процес випрямлення реалізується за допомогою кремнієвих напівпровідникових діодів, що забезпечують перетворення змінної напруги в пульсуючу постійну.

Пульсуючий струм, проходячи через котушку електромагніту, формує змінне магнітне поле, яке спричиняє періодичне притягання якірної частини до осердя корпусної частини та її зворотний рух під дією пружних елементів. Частота таких коливальних процесів відповідає частоті пульсацій струму і становить 50 Гц, що еквівалентно приблизно 3000 коливанням за хвилину.

Амплітуда механічних коливань визначається максимальним зміщенням якоря відносно положення рівноваги і конструктивно обмежується половиною величини повітряного проміжку між якорем та магнітним сердечником. Регулювання амплітуди здійснюється шляхом зміни постійної складової магнітного потоку, що досягається коригуванням струму збудження.

Корпусна частина вібратора виконана у вигляді литого металевого елемента коробчатої округлої форми, у центральній частині якого болтовими

з’єднаннями закріплено прямокутний пакет електротехнічної сталі. У цьому пакеті змонтовано текстолітову клемну панель, на якій закріплені бронзові струмопровідні пружини. Верхні кінці пружин з’єднуються з виводами котушок якірної частини.

У нижній зоні клемної колодки розміщена підвідна коробка з різьбовим отвором під штуцер і гумовим патрубком, які забезпечують надійне кріплення та введення живильного кабелю в корпус пристрою.

З двох боків корпусу на кільцевих прокладках установлені прорізні циліндричні пружини, що фіксуються болтовими з’єднаннями зі стопорними шайбами. Для монтажу вібратора на вібруючу конструкцію в корпусі передбачені чотири кріпильні отвори діаметром 13 мм.

Якірна частина вібратора виконана у вигляді масивної округлої плити, у центральній частині якої закріплено Ш-подібний пакет електротехнічної сталі з намотаною котушкою. Кріплення пакета до плити здійснюється за допомогою шпильок, гайок та стопорних шайб. Між плитою та пакетом встановлено алюмінієві прокладки, що виконують функцію переривання та регулювання магнітного потоку.

У нижній частині пакета змонтовані текстолітові клини, до яких прикріплені клемні елементи. До клем під’єднані обмотки та бронзові контактні пружини.

Між пружними елементами корпусної та якірної частин, а також між пакетом електромагніту та конструктивними вузлами встановлюються алюмінієві шайби товщиною 0,5 мм. Зміна їх кількості дозволяє регулювати величину міжзалізного зазору в межах 3-5 мм.

У верхній частині якоря передбачене встановлення додаткових регулювальних вантажів масою 0,5 та 1,0 кг. Вони монтуються на шпильках і фіксуються гайками та дозволяють змінювати амплітуду коливань і налаштовувати робочий режим вібратора залежно від співвідношення приєднаних мас.

Для запобігання попаданню сторонніх часток у міжзалізний проміжок і захисту котушки від механічних пошкоджень робочий вузол закритий захисним кожухом 14.

У коло випрямляча паралельно включається шунтувальний резистор номіналом 200 Ом, що забезпечує можливість регулювання величини живильного струму, а отже – і амплітуди коливань вібратора.

3.2 Розробка моделей контролю роботоздатних станів ґуркота на прикладі вібролотка

Математична модель об’єкта діагностування являє собою формалізований опис технічної системи та відображає характер її функціонування як у справному, так і в несправному станах. У загальному випадку будь-яку машину доцільно розглядати як динамічну систему, що здійснює перетворення вхідних технологічних впливів x у вихідні параметри z [37]. Таке перетворення може бути подане у вигляді операторного співвідношення [38]:

$$z(t)=A\cdot x(t) \tag{3.4}$$

де t – період спостереження за об’єктом діагностування;

A – ператор, який характеризує закон перетворення вхідних величин у вихідні.

За відсутності дефектів і пошкоджень ця залежність описує працездатний стан об’єкта та відповідає його математичній моделі у справному режимі роботи.

Введемо позначення S як множини всіх можливих відмов машин і припустимо, що система перебуває в i-му несправному стані. У такому разі функціональний зв’язок набуває вигляду:

$$z(t)=S\cdot x_i(t) \tag{3.5}$$

що відповідає математичній моделі i-го непрацездатного стану об’єкта.

Отже, сукупність співвідношень (3.4) та (3.5), побудованих для всіх можливих видів відмов, утворює явну математичну модель об’єкта діагностування, яка дозволяє формалізувати як нормальні, так і аварійні режими його функціонування. Така модель забезпечує можливість аналітичного дослідження процесів деградації технічного стану, прогнозування розвитку несправностей та оцінювання надійності роботи обладнання в умовах експлуатації.

Разом з тим, для металургійного обладнання практична реалізація явних моделей для всіх можливих видів несправностей є вкрай складною через велику кількість елементів, складність їхніх взаємодій та значну варіативність режимів навантаження. У більшості випадків у технічній практиці задається лише математична модель працездатного стану, тоді як поведінка системи в несправних режимах описується опосередковано через множину потенційних відмов, дефектів і пошкоджень. Такий підхід формує так звану неявну математичну модель обладнання, яка широко використовується в системах технічної діагностики та моніторингу стану.

У процесі тривалої експлуатації обладнання виникає потреба у вирішенні комплексу практичних завдань, спрямованих на підвищення його надійності та безвідмовності. Найбільш важливими серед них є визначення фактичного залишкового ресурсу деталей і вузлів, прогнозування термінів їх критичного зносу, а також науково обґрунтований вибір моменту початку ремонтно-відновлювальних впливів. Своєчасне розв’язання цих завдань дозволяє мінімізувати ризик аварійних зупинок, знизити експлуатаційні витрати та підвищити загальну ефективність роботи виробничого обладнання.

Для розв’язання зазначених задач можуть застосовуватися різні методологічні підходи. Перший з них передбачає побудову явної або неявної аналітичної моделі об’єкта з подальшим уточненням показників напрацювання на відмову, довговічності та інтенсивності відмов. Однак практична реалізація такого підходу істотно ускладнюється через відсутність точних даних про закони зміни умов експлуатації, нестабільність навантажувальних режимів, зміну

механічних властивостей матеріалів у процесі старіння та вплив технологічних похибок, що виникають під час виготовлення та складання деталей.

Другий підхід базується на аналізі змін вхідних, вихідних і супровідних параметрів функціонування обладнання – таких як віброакустичні характеристики, температурні режими, частота обертання, споживана потужність, рівень навантаження тощо. На основі цих даних робляться висновки щодо працездатності об'єкта за принципом допустимих відхилень від нормативних значень. Для формалізації таких станів широко застосовуються моделі логічного та евристичного типу, побудова яких ґрунтується на встановленні причинно-наслідкових зв'язків між діагностичними ознаками та контрольованими параметрами, що забезпечує достатньо високу ефективність діагностування в умовах реальної експлуатації [39].

3.3 Розробка формальної логічної моделі та явної математичної моделей роботоздатних станів об'єкта технічного діагностування

Будемо розглядати вібростенд як систему, що включає N взаємопов'язаних компонентів, між якими існують внутрішні та зовнішні зв'язки, що формують загальну структурну схему об'єкта. Введемо позначення:

- x_{i1}, x_{i2}, x_{in} – вхідні сигнали блоку P_i, які надходять із зовнішнього середовища та визначають зовнішній вплив на вібростенд;
- y_{i1}, y_{i2}, y_{in} – внутрішні вхідні сигнали блоку P_i, що формуються вихідними сигналами інших блоків системи;
- z_{i1}, z_{i2}, z_{in} – вихідні сигнали блоку P_i, які характеризують реакцію цього блока на отримані вхідні дії.

Кожен сигнал може мати один або декілька фізичних параметрів. На структурних схемах їх позначають стрілками, кількість яких відповідає числу параметрів, що описують відповідний сигнал.

Враховуючи функціональний принцип роботи вібростенда, визначимо склад його вхідних і вихідних сигналів. У системи передбачено два основні

вхідні сигнали:

– живлення від електромережі;

– подача матеріалу до лотка.

Контрольованим вихідним параметром є інтенсивність транспортування матеріалу вібролотком. Відмовою вібростенда вважається ситуація, коли подача матеріалу через лоток припиняється.

Позначивши через Н нормативну витрату матеріалу, сформулюємо можливі причини відмови:

– зменшення фактичної витрати матеріалу порівняно з нормою: *(Р < Н)*;

– відмова вібратора, що може проявлятися у таких формах:

а) несправність електромагнітної частини (ЕМ);

б) порушення роботи пружного зв'язку (ПЗ);

в) ослаблення елементів кріплення (ОКР);

г) відмова амортизувальних зв'язків (АЗ).

На основі наведених припущень будуємо формальну логічну модель функціонування вібролотка, яка схематично представлена на рисунку 3.5.

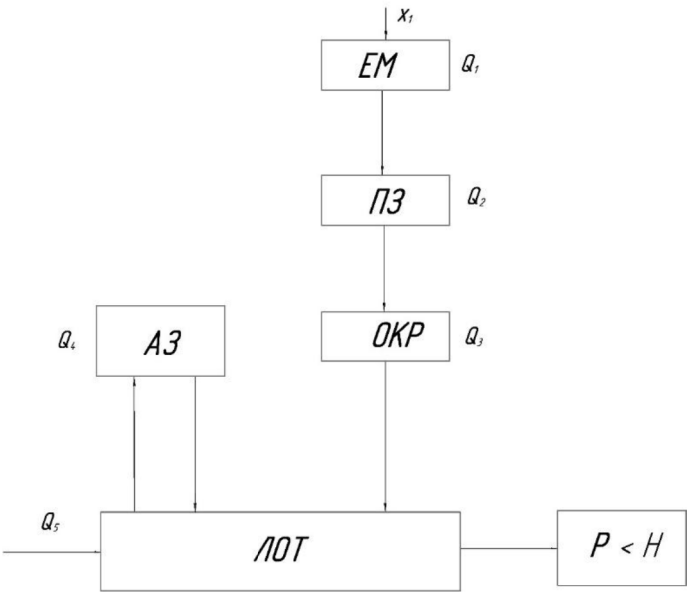


Рисунок 3.5 – Логічна модель роботи вібролотка у формальному виді

Явна математична модель охоплює повний набір можливих станів об'єкта діагностування, включаючи як працездатні, так і непрацездатні режими його

роботи. На основі логічної моделі формується таблиця, у якій кожний рядок відповідає певній елементарній перевірці, а кожний стовпець відображає конкретний технічний стан об'єкта [40, 41]. У такій таблиці приймаються такі позначення:

e – справний (працездатний) стан;

i – несправний стан.

Таблицю, побудовану за цим принципом, називають таблицею функцій несправності. Вона є основою для створення алгоритмів технічної діагностики.

При цьому вважається, що в металургійному обладнанні можливі лише одиничні відмови, а функціональні умови роботи кожного блока визначаються логічним добутком його зовнішніх та внутрішніх вхідних сигналів [38]:

$$F_i=(x_{i1}\ldots x_{in})\cdot(y_{i1}\ldots y_{in}) \qquad (3.6)$$

Крім того, у процесі побудови моделі визначають глибину діагностування, наприклад – до рівня окремого змінного блока. Фактичне значення вихідного сигналу z_i будь-якого блока Q_i визначається значенням його функції F_i, а також тим, у справному він стані чи ні. Для позначення стану блока приймають:

- $Q_i = 1$ – блок працездатний;
- $Q_i = 0$ – блок несправний.

Як випливає з таблиці (3.1), вихідний сигнал z_i утворюється шляхом логічного множення функції F_i (яка враховує всі вхідні та внутрішні сигнали) на параметр Q_i, що характеризує фактичний стан блока.

У фізичному розумінні це означає, що сигнал z_i з'являється лише тоді, коли:

1. усі входи блока перебувають у допустимому стані ($F_i = 1$), і
2. сам блок є працездатним ($Q_i = 1$).

У протилежному випадку вихідний сигнал вважається недостовірним або відсутнім. Відомості про технічний стан об'єкта отримують шляхом зчитування сигналів з виходів блоків його логічної моделі.

Таблиця 3.1 – Можливі набори двійкових змінних

F_i	Q_i	z_i
1	1	1
0	1	1
1	0	0
0	0	0

Найповнішу діагностичну інформацію можна забезпечити тоді, коли контролюються вихідні сигнали всіх без винятку блоків. За таких умов добуток сигналів має значення $z_i = 1$.

$$\prod_{i=1}^{n} z_i = 1 \qquad (3.7)$$

де n – числове визначення блоків, що забезпечують адекватність математичної моделі.

У процесі технічної діагностики немає потреби відстежувати вихідні сигнали всіх без винятку блоків логічної моделі. Натомість ставлять за мету, спираючись на властивості логічних структур, сформувати мінімальний набір елементарних перевірок, який все одно дозволить достовірно визначити технічний стан об'єкта. Для цього використовують два базові правила:

1. Якщо вихід блока Q_i під'єднаний лише до входу іншого блока Q_j, то вихід Q_i обов'язково включається до мінімального алгоритму діагностування. Це пов'язано з тим, що сигнал цього блока не дублюється іншими каналами, а отже є унікальним джерелом інформації про працездатність елемента.
2. У мінімальний набір перевірок обов'язково входять зовнішні виходи логічної моделі. Саме вони формують найменшу, але достатню множину контрольованих точок, які забезпечують можливість ідентифікації несправностей.

Спираючись на ці принципи та теоретичні положення методики

діагностування, далі будуємо логічну модель роботи вібростенда. На першому етапі формулюються функції умов роботи для кожного блока, які відображають залежність між вхідними сигналами, внутрішнім станом елемента та його вихідним сигналом:

$$F_1 = x_1, \tag{3.8}$$

$$F_2 = z_1, \quad F_3 = z_2, \quad F_4 = y_5, \quad F_5 = z_3 \cdot z_4 \cdot x_5. \tag{3.9}$$

Формуємо рівняння, що характеризують вихідні сигнали:

$$Z_i = Q_j \cdot F_i,$$

$$Z_1 = Q_1 \cdot x_1$$

$$Z_2 = Q_2 \cdot Z_1$$

$$Z_3 = Q_3 \cdot Z_2$$

$$Z_4 = Q_4 \cdot y_5$$

$$Z_5 = Q_5 \cdot Z_3 \cdot Z_4 \cdot x_5$$

На основі отриманих співвідношень логічна схема функціонування вібростенда, подана на рисунку 3.5 у формальному вигляді, трансформується у вигляд, поданий на рисунку 3.6. Використовуючи побудовану логічну модель, формуємо явну математичну модель об’єкта діагностування у табличній формі (таблиця 3.2).

Таблиця 3.2 – Математична модель роботи вібролотка у явному виді

R	e	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5
Z_1	1	0	1	1	1	1
Z_2	1	0	0	1	1	1
Z_3	1	0	0	0	1	1
Z_4	1	0	0	0	0	0
Z_5	1	0	0	0	0	0

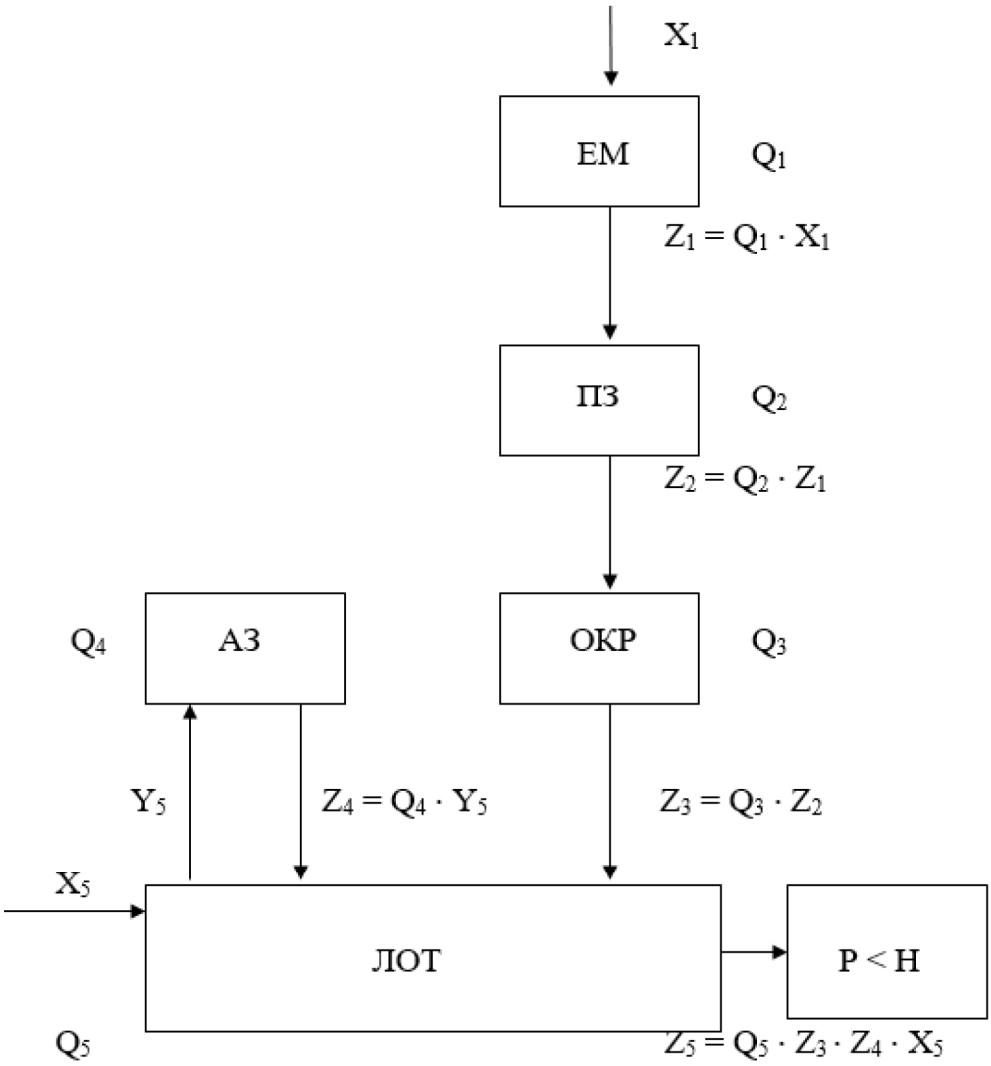


Рисунок 3.6 – Логічна модель роботи вібростенда

Таким чином з отриманої моделі можна зробити висновок, що основний напрям діагностування – контроль роботоздатності вібруючої частини лотка.

3.4 Дослідження процесу вібротранспортування подрібненої титанової губки методом повного двофакторного експерименту

Дослідження процесу переміщення титанової губки за допомогою вібраційного живильника виконували на лабораторному стенді, характеристика якого наведена у розділі 3.1. Оскільки використання реальної титанової губки є економічно недоцільним, як модельний сипкий матеріал застосовували

піношамот (легковісний шамот). Його насипна густина становить близько 950 кг/м³, що практично збігається з густиною титанової губки (приблизно 960 кг/м³), що дозволяє коректно відтворити умови транспортування.

Основним завданням дослідження є встановлення закономірностей зміни швидкості вібротранспортування матеріалу залежно від амплітуди коливань та кута нахилу лотка живильника.

Під час проведення експериментальних робіт було застосовано метод математичного планування, а саме повний факторний експеримент типу 2^n першого порядку. У ролі варійованих факторів прийнято:

- A – амплітуда коливань вібролотка;
- α – кут нахилу вібролотка.

Значення факторів задавались на двох рівнях – мінімальному та максимальному. Робочий інтервал амплітуди коливань становив 0,1…0,25 мм, а допустимий кут нахилу лотка – 2,5…12,5°. Як вихідний параметр (функцію-відгук) приймали середню швидкість переміщення модельного матеріалу по поверхні вібролотка.

Для спрощення математичної обробки даних використовували кодовані позначення факторів:

- X_1 – амплітуда коливань вібролотка;
- X_2 – кут нахилу вібролотка;
- Y – швидкість транспортування матеріалу.

У загальному вигляді математична модель процесу вібротранспортування має такі формальні залежності:

$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_{12}X_1X_2 \qquad (3.4.4)$$

де B - коефіцієнти математичної моделі руху транспортуємого матеріалу.

Обмеження та визначення параметрів проведення експерименту представлено в таблиці 3.3

Таблиця 3.3 – Обмеження та параметричні дані експерименту

Фактор	Код	Рівень		Рівень	
		натур. значення	кодоване значення	натур. значення	кодоване значення
Амплітуда коливань, A	x_1	0,1 мм	-1	0,25	+1
Кут нахилу лотка, α	x_2	2,5°	-1	12,5°	+1

Оцінку дисперсії відтворюваності експерименту знаходимо як [42]:

$$S_U^{\,2}\{Y\} = \frac{\sum_{L=1}^{C} \left| Y_{UL} - \overline{Y}_U \right|}{C-1} \tag{3.10}$$

де $S_U^{\,2}\{Y\}$ – дисперсія u – го значення;

C – кількість повторень;

L – порядковий номер досліду;

YU – експериментальний результат;

$\overline{Y}_U$ – середнє експериментальне значення.

Для повної оцінки дисперсії обчислюємо критерій [42]:

$$G_{max} = \frac{\max S_U^{\,2}\{Y\}}{\sum_{U=1}^{N} S_U^{\,2}\{Y\}} \tag{3.11}$$

Отримане значення G_{max} порівнюємо з табличним $G\upsilon_{1;\upsilon 2;\alpha}$ [43]:

$$G_{max} < G_{\upsilon 1;\upsilon 2;\alpha} \tag{3.12}$$

де $\upsilon 1$ –C – 1

$\upsilon 2$ = N (C – 1)

N – кількість повторів дослідної частини

Для подальших розрахунків приймаємо дисперсію відтворюваності [44]:

$$S^2\{Y\} = \frac{\sum_{U=1}^{N} S^2\{Y\}}{N} \quad (3.13)$$

Визначаємо дисперсію помилки визначення коефіцієнтів моделі [44]::

$$S^2\{b_i\} = \frac{S^2\{Y\}}{N \cdot C} \quad (3.14)$$

Критичне значення коефіцієнтів моделі [45]:

$$b_{кр} = t_{\upsilon_1 \alpha} \cdot S\{b\} \quad (3.15)$$

Коефіцієнти моделі розраховуємо за формулою [46]:

$$B_i = \frac{1}{N} \sum_{U=1}^{N} X_{iu} \cdot \overline{Y}_u \quad (3.16)$$

За визначеними коефіцієнтами моделі будуємо матрицю плану 2^n порядку (табл.3.4). Для визначення функціональної залежності та розробки математичної моделі знаходимо розрахункові значення змінних з використанням спеціалізованих програм на кшталт Excel. Результати розрахунків зводимо в таблицю 3.5

Таблиця 3.4 – Матриця плану проведення експерименту 2^n порядку

Номер досліду	Змінні				Відгук			
	x_0	x_1	x_2	x_1x_2	B_1	B_2	B_3	Y
1	+	+	+	+	0.083333	0.0625	0.071428571	0.0724
2	+	–	+	–	0.038462	0.041667	0.038461538	0.0395
3	+	+	–	–	0.041667	0.045455	0.038461538	0.04
4	+	–	–	+	0.015625	0.018519	0.017857143	0.0173

Таблиця 3.5 – Результати теоретичого визначення залежності швидкості транспортування титанової губки від амплутуди коливань та кута нахилу вібролотка

α (X_2), °	A (X_1), мм			
	0.1 (–1)	0.175 (0)	0.2 (+0.5)	0.25 (+1)
2.5 (–1)	0.017	0.030	0.036	0.042
5 (–0.5)	0.023	0.036	0.043	0.050
7.5 (0)	0.028	0.043	0.050	0.057
10 (+0.5)	0.034	0.049	0.057	0.065
12.5(+1)	0.040	0.056	0.064	0.072

Результати проведення варіаційного експерименту, для порівняння з модсльною залсжністю, зводимо в таблицю 3.6.

Таблиця 3.6 – Результати експериментального дослідження залежності швидкості транспортування титанової губки від амплутуди коливань та кута нахилу вібролотка

α, °	A, мм			
	0.1	0.175	0.2	0.25
2.5	0.017	0.034	0.041	0.042
5	0.021	0.036	0.052	0.053
7.5	0.024	0.038	0.057	0.059
10	0.029	0.046	0.060	0.071
12.5	0.040	0.062	0.069	0.072

За даними таблиць 3.5 та 3.6 будуємо графіки залежності швидкості транспортування титанової губки від амплутуди коливань та кута нахилу вібролотка (рисунок 3.6 та 3.7)

Таким чином рівняння залежності швидкості транспортування від

амплітуди коливань віброгрохоту в діапазоні досліджуваних параметрів (рисунок 3.6), мають вигляд:

– при α=12,5° $y = 0,2224x + 0,0204$
  достовірність апроксимації $R^2 = 0,9248$
– при α=7,5° $y = 0, 2507x – 0,0009$
  достовірність апроксимації $R^2 = 0,8882$
– при α=2,5° $y = 0,2224x + 0,0204$
  достовірність апроксимації $R^2 = 0,9052$

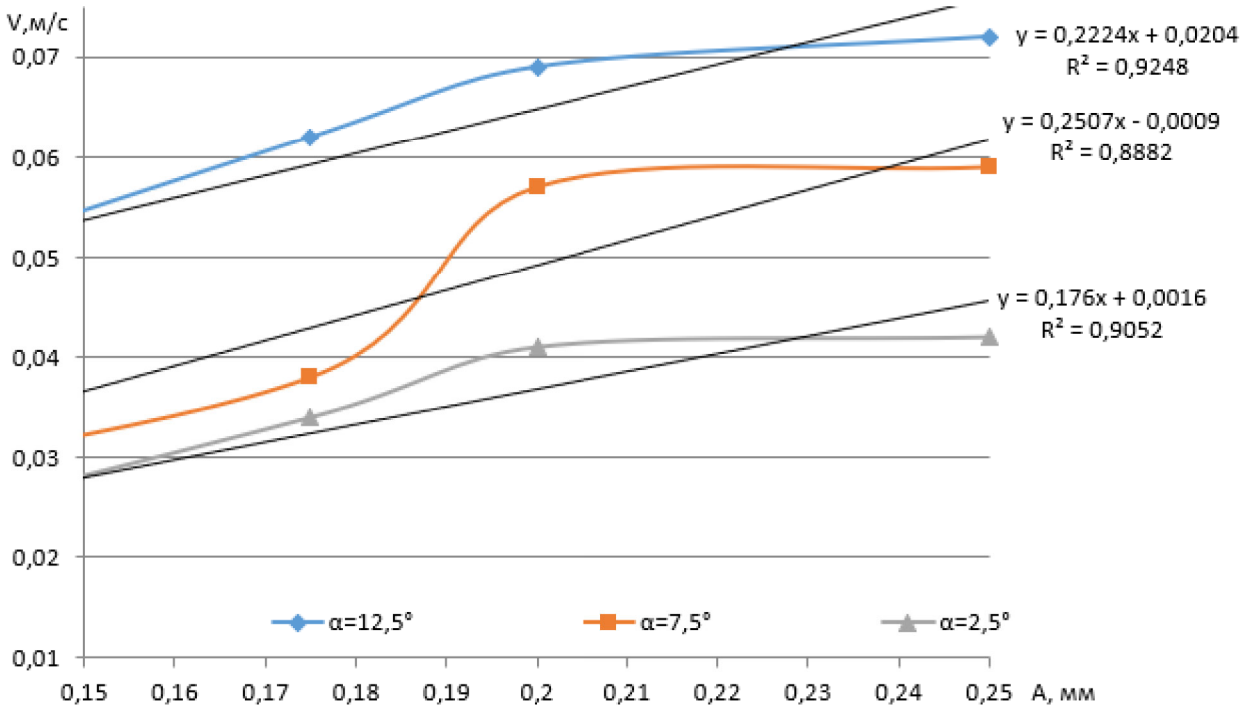


Рисунок 3.7 – Графік залежності швидкості транспортування титанової губки від амплутуди коливань вібролотка V = f (A)

Рівняння залежності швидкості вібротранспортування від кута нахилу віброгрохоту в діапазоні досліджуваних параметрів (рисунок 3.8), мають вигляд:

– при A=0,1 мм $y = 0,0031x + 0,036$
  достовірність апроксимації $R^2 = 0,9548$
– при A=0,175 мм $y = 0,0026x + 0,0234$

достовірність апроксимації $R^2 = 0,83$

– при А=0,25 мм $y = 0,0031x + 0,036$

достовірність апроксимації $R^2 = 0,9263$

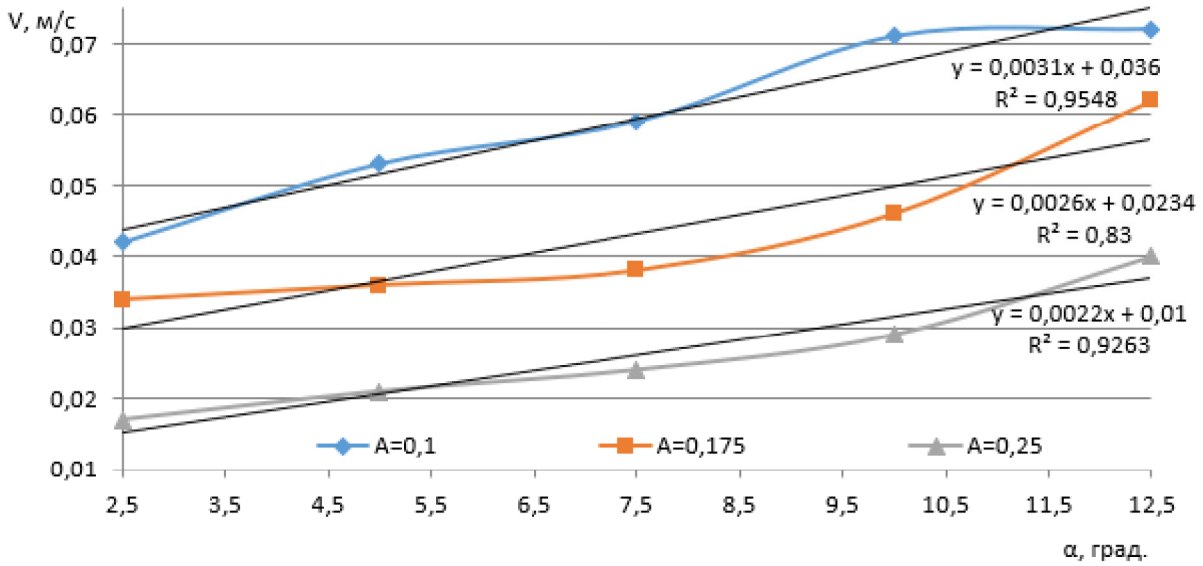


Рисунок 3.8 – Графік залежності швидкості транспортування титанової губки від кута нахилу вібролотка V = f (α)

Проведений візуальний аналіз експериментальних кривих (рис. 3.7 та 3.8) свідчить, що швидкість переміщення титанової губки по вібраційному лотку зростає пропорційно збільшенню як амплітуди коливань, так і кута нахилу лотка. Дослідження також показали, що оптимальним режимом роботи вібраційного лотка є поєднання амплітуди коливань 0,175 мм та кута нахилу 7,5°. Саме за таких параметрів експериментальні криві найточніше узгоджуються з теоретичними залежностями. Крім того, у цьому режимі забезпечується стрибкоподібний характер руху частинок матеріалу, що сприяє самоочищенню та запобігає забиванню сит під час роботи гуркоту.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА В ГАЛУЗІ

4.1 Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів відділення подрібнення титану губчастого

Для оцінювання умов праці ремонтного персоналу проведемо аналіз технологічної карти умов праці слюсаря-ремонтника (табл. 2.1). Метою є встановлення фактичних значень виробничих факторів, порівняння їх із нормативами та визначення ступеня шкідливості згідно з чинними нормативними документами.

Умови праці характеризуються комплексним впливом хімічних, фізичних та ергономічних чинників [46]. У більшості випадків тривалість дії факторів у межах робочої зміни становить понад 80 %, що вказує на високий рівень професійних ризиків.

Найбільш значущими є такі небезпечні й шкідливі фактори:

- хімічні речовини, зокрема оксиди марганцю, оксиди азоту, сірчистий ангідрид та мінеральні масла, концентрації яких перевищують гранично допустимі значення;
- титановий пил фіброгенної дії, здатний спричиняти професійні захворювання органів дихання;
- підвищений рівень шуму, що сягає 96 дБА при нормативному значенні 80 дБА;
- надмірно високі температури у теплий період року (до 34 °С);
- вимушена робоча поза, пов’язана з постійним нахилом корпуса.

Загальна оцінка свідчить про наявність:

- 2 фактори III ступеня шкідливості;
- 2 фактори II ступеня;
- 5 факторів I ступеня.

Відповідно до класифікації умов праці робоче місце належить до III класу 3 ступеня – особливо шкідливі та особливо тяжкі умови праці. Це відповідає

вимогам Списку № 1, пункт 1, що передбачає [47]:

- пільгове пенсійне забезпечення;
- додаткову відпустку тривалістю 7 днів;
- видачу 0,5 л молока за зміну.

Таблиця 4.1 – Технологічна карта умов праці, професія ремонтний персонал

Фактори	Нормативне значення, ГДК, ГДУ	Фактичне значення	III клас шкідливих і небезпечних умов., і характер праці			Час дії фактору % у зміну
			1 ступінь	2 ступінь	3 ступінь	
I. Шкідливі хімічні речовини, мг/м^3						
1 клас небезпеки						
2 клас небезпеки						
Марганцю оксиди (дезінтегр.)	0,3	0,56	1,87			83,1
3-4 клас небезпеки						
Масла мінеральні	5,0	6,5	1,3			83,1
Азоту діоксид	2,0	4,0	2			83,1
Ангідрид сірчистий	10,0	13,5	1,35			83,1
II. Пил титановий, мг/м^3						
Пил переважно фіброгенної дії	10	35		3,5		83,1
Зміст кремнію діоксиду – 2,5%	4,0	26,4			6,6	83,1
III. Шум, дБА	80	96			16	100
IV. Мікроклімат у приміщенні, теплий період року						
- температура повітря, °С	16-27	34		7		83,1
V. Робоча поза						
Нахил корпусу в просторі, обумовлений технологічним процесом, град	перебування в похилому положенні понад					
	28,1	30	30			
Категорія важкості праці – середня II6 напруженості праці – помірна.						
Кількість факторів			5	2	2	

Отримані дані свідчать про необхідність упровадження ефективних заходів для мінімізації впливу небезпечних факторів та покращення умов праці.

4.2 Аналіз та впровадження заходів щодо зниження впливу шкідливих виробничих чинників на робочий персонал

Для забезпечення безпечних умов праці на дільниці переробки титанової губки застосовується комплекс технічних та організаційних заходів. Основні засоби захисту наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Ефективні засоби захисту від шкідливих факторів на виробництві

№ п/п	Небезпечний або шкідливий фактор виробничого середовища	Захисний пристрій	Тип пристрою	Параметри пристрою	Місце установки
1	Запилованість	Витяжна вентиляція	Механічна	До 10000 $м^3$/год.	Біля джерел виділення
2	Запиленість	Респіратор ЗІЗОД	Росток Тополь	≤ 30 мг/$м^3$	Індивідуально
3	Шум	Навушники противошумові	шумозахисні навушники НІОТ	Придатний до 110 дБА	Індивідуально
4	Температура	Утеплена куртка, ватяні штани,	ІПФ – 1	≤ -20 °С	Індивідуально
5	Шкідливі хімічні речовини	Теж що й при запилованості + костюм х/б, рукавиці	ШБ-1	≤ 13 мг/$м^3$	Індивідуально

До найбільш ефективних технічних засобів належать:

- місцеві системи витяжної вентиляції, що забезпечують відведення пилу й аерозолів безпосередньо від джерел їх утворення;
- засоби індивідуального захисту органів дихання (респіратори ЗІЗОД «Росток», «Тополь»);
- акустичні засоби захисту – протишумові навушники, здатні знижувати рівень шуму до допустимих меж [48];
- теплозахисні костюми та спеціальний одяг, що запобігає перегріванню

та контакту з хімічними речовинами [49];

- захисні рукавиці й костюми х/б, які зменшують вплив хімічних речовин на шкіру [49].

Застосування таких заходів дозволяє значно скоротити вплив небезпечних факторів і підтримувати рівень ризику на допустимому рівні [50, 51].

4.3 Розробка технічних рішень з покращення умов виробничої санітарії та гігієни праці

Для підтримання нормативного стану повітряного середовища у приміщеннях застосовуються природна та механічна вентиляція. Витяжні зонти, розміщені над дробарками та завантажувальними вузлами, приєднані до повітропроводів, що транспортують забруднене повітря на фільтраційні установки. Системи проектують відповідно до вимог [52].

Виробнича специфіка передбачає утворення парів технологічного змащення, тому за дробарками змонтовані локальні парасолі для їх видалення.

Нормативні параметри мікроклімату для робіт середньої важкості IIб наведені в таблиці 4.3. Для забезпечення відповідного рівня комфорту застосовують:

- системи повітрообміну;
- оптимізацію теплових параметрів;
- контроль температури й вологості.

Недотримання мікрокліматичних норм може призводити до перевтоми, теплових стресів та зниження продуктивності праці.

Раціональне освітлення є ключовим фактором у створенні безпечних умов праці. У приміщенні використовується штучне освітлення з LED-лампами потужністю 150 Вт та глибоковипромінюючими світильниками.

Згідно з [53] зорові роботи IV розряду потребують освітленості не менше 400 лк, що забезпечується системою загального та комбінованого освітлення.

Таблиця 4.3 – Допустимі норми мікроклімату в робочій зоні при роботі середньої важкості IIб [52].

Період року	Параметри мікроклімату		
	t, °C	$V_{пов}$, м/с	φ,%
Холодний	17 – 19	0,2	75
Теплий	20 – 22	0,3	70 при 25 °C

Джерелами шуму у виробничому приміщенні є:

- приводи дробарок;
- гуркоти та живильники;
- ударні взаємодії робочих органів.

Довготривала дія шуму викликає зниження слуху, перевантаження нервової системи та загальне погіршення самопочуття. Для зниження шуму застосовують:

- демпфуючі матеріали;
- конструктивне удосконалення обладнання;
- облицювання шумогенеруючих поверхонь;
- індивідуальні засоби захисту – навушники ВЦНІІОТ-4А.

4.4 Протипожежні заходи

Згідно з [54, 55] дільниця подрібнення титанової губки відноситься до категорії Д, що характеризує обробку негорючих матеріалів у холодному стані. За [55]будівля має II ступінь вогнестійкості.

У цеху передбачено:

- порошкові, вуглекислотні й пінні вогнегасники;
- інвентар для локалізації пожеж;
- внутрішній протипожежний водопровід;
- пожежні крани, рукави та гідранти.

Забороняється:

- паління в несанкціонованих місцях;
- захаращення підходів до пожежного обладнання;
- зниження тиску у водогінній мережі;
- проведення вогневих робіт працівниками без інструктажу;
- використання пожежного обладнання не за призначенням;
- застосування відкритого вогню для огляду обладнання.

2.5 Дослідження ефективності засобів пилопригнічення

Основним джерелом пилопиловиділення є процеси завантаження та подрібнення матеріалу. Для його усунення використовують герметизовані укриття та системи витяжної вентиляції, розміщені над завантажувальним вузлом дробарки (рис. 4.1).

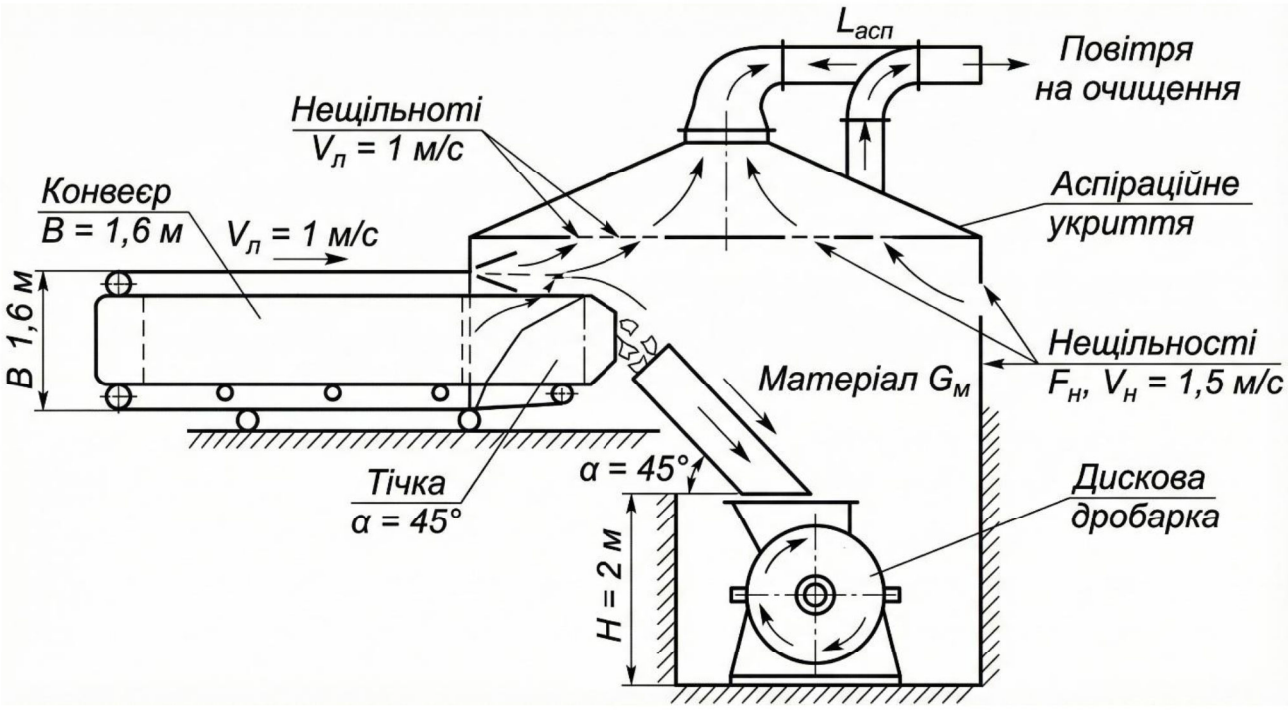


Рисунок 4.1 – Схема до розрахунку витяжної вентиляції над завантажувальним вузлом дробарки

Розрахунок необхідної витрати повітря виконується на основі [56]:

- швидкості руху матеріалу;
- продуктивності стрічкового транспортера;
- площі нещільностей укриття;
- необхідної швидкості відсмоктування.

Під час переходу матеріалу з одного стрічкового транспортера на інший утворюється інтенсивний потік пилу, який необхідно своєчасно вилучати з робочої зони. Об'єм повітря, що має бути відведений для забезпечення ефективного пилопригнічення, визначають за розрахунковою залежністю, $м^3$/год:

$$L = L_e + L_н, \tag{4.1}$$

де L_e – обсяг повітря, який потрапляє під укриття разом із матеріалом за рахунок ежекції, $м^3$/год;

$L_н$ – додаткова кількість повітря, що надходить у зону через наявні нещільності укриття, $м^3$/год.

Об'єм повітря, що надходить під укриття разом із матеріалом (L_c), визначають як:

$$L_e = 0{,}04 \cdot K \cdot G_м \cdot V_k^2; \tag{4.2}$$

де К – коефіцієнт, залежний від конструктивних особливостей укриття та умов подачі матеріалу (звичайно К = 2…2,5);

$G_м$ – кількість матеріалу, який надходить у завантажувальну зону, $м^3$/год.:

Значення G_m знаходимо через параметри транспортера:

$$G_м = 300 \cdot B^2 \cdot V_c; \tag{4.3}$$

де В – ширина стрічки конвеєра (у нашому випадку В = 1,6 м);

V_c – швидкість переміщення стрічки (V_c = 1 м/с).

$$G_м = 300 \cdot 1{,}6^2 \cdot 1 = 768 \text{ м}^3/\text{год.}$$

V_k – швидкість руху матеріалу в момент входу до зони укриття визначають залежно від висоти падіння та початкових умов руху:

$$V_k = \sqrt{2g \cdot H \cdot (1 - 1{,}2 \cdot f \cdot \text{ctg}\alpha) + (V_н \cdot K_м)^2}; \quad (4.4)$$

де II=2– висота, з якої матеріал падає взавантажувальний вузол, м;

f= 0,65 – коефіцієнт, що враховує зчеплення матеріалу з поверхнею тічки;

α= 45° – кут нахилу приймальної ринви відносно горизонталі;

$V_н$. = 1 – швидкість переміщення матеріалу по конвейеру, м/с;

$K_м$=1,1 – коефіцієнт зміни швидкості при переході матеріалу з транспортера в приймальну ринву;

$$V_k = \sqrt{2 \cdot 9{,}81 \cdot 2 \cdot (1 - 1{,}2 \cdot 0{,}65 \cdot \text{ctg}45^0) + (1 \cdot 1{,}1)^2} = 3{,}14 \text{ м/с}$$

$$L_e = 0{,}04 \cdot 2 \cdot 768 \cdot 3{,}14 = 193 \text{м}^3/\text{год.}$$

Другу складову витрати повітря – повітря, що надходить у зону через щілини й отвори (L_n) – розраховують за залежністю:

$$L_н = 3600 \cdot F_н \cdot V_н; \quad (4.5)$$

де $F_н$ – сумарна площа нещільностей та технологічних отворів у стінках укриття, м^2;

$V_н$ – мінімальна нормативна швидкість повітря у цих отворах (приймається V_n = 1,5 м/с).

$$L_н = 3600 \cdot 1 \cdot 1{,}5 = 5400 \text{ м}^3/\text{год}.;$$

$$L_т = 120 + 5400 = 5520 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Для видалення парів технологічного масла та легких аерозолів застосовують витяжні шафи. Необхідна витрата повітря через них визначається формулою, м^3/год.:

$$L = 3600 \cdot F_o \cdot V_o, \qquad (4.6)$$

де F_o – площа відкритих прорізів витяжної шафи, м^2;

V_o – швидкість відсмоктування повітря (рекомендоване значення V_o = 1,5 м/с).

$$L = 3600 \cdot 2 \cdot 1{,}5 = 10800 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Отримані значення витрат повітря дозволяють забезпечити ефективне видалення пилу та парів, а також підтримувати санітарні параметри повітря у допустимих межах.

Таким чином запропонований комплекс технічних заходів дозволяє утримувати концентрацію пилу в повітрі робочої зони на рівні, що відповідає гігієнічним нормам та вимогам безпеки праці.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Проведене ознайомлення з технологічним процесом та обладнанням дільниці обробки титанової губки показало, що одним із ключових проблемних елементів виробничої схеми є завантажувальний вузол дискової дробарки.
2. На основі аналізу технічної документації, наукових джерел та патентів встановлено, що у світовій практиці для подрібнення титанової губки застосовуються різні типи машин. Водночас найбільш широке поширення мають дискові дробарки, котрі, попри свої переваги, зберігають низку конструктивних недоліків, зокрема в завантажувальному вузлі.
3. З метою усунення виявлених недоліків запропоновано модернізувати систему дозування дробарки. Суть технічного рішення полягає у заміні стрічкового живильника в завантажувальному вузлі на інерційний самобалансний грохот ГІС-100. Вивільнений стрічковий живильник доцільно встановити у підрешітному просторі гуркоту. Така компоновка дозволить відсіяти фракції, що не потребують подрібнення, та одразу спрямовувати їх на наступну технологічну операцію, уникаючи перевантаження дробарки.
4. Запропоноване технічне рішення дозволить забезпечити: зростання продуктивності дробарки, збільшення ресурсу її вузлів та агрегатів, а також подовження міжремонтних інтервалів.
5. Отримані експериментальним шляхом залежності швидкості вібротранспортування титанової губки від амплітуди коливань віброгуркоту та кута його нахилу, дозволяють визначити оптимальні параметри для забезпечення стабільного транспортування матеріалу.
6. Результати проведених досліджень і запропоновані технічні рішення можуть бути впроваджені на ТОВ «Запорізький титано-магнієвий комбінат», а також на інших підприємствах чорної та кольорової металургії, де здійснюється переробка титановмісних матеріалів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Potapov, O. M. Composites: prospects for the use in the space and rocket equipment. Kosmìčna nauka ì tehnologìâ, 21(5(96)), 2015, 69–74. https://doi.org/10.15407/knit2015.05.069
2. Belokon, Y., Hrechanyi, O., Vasilchenko, T., Krugliak, D., Bondarenko, Y. Development of composite materials based on TiN – Mo cermets during thermochemical pressing, International Journal of Lightweight Materials and Manufacture, 2023, https://doi.org/10.1016/j.ijlmm.2023.05.006
3. Y. Belokon, O. Hrechanyi, T. Vasilchenko, D. Krugliak, Y. Bondarenko, Development of new composite materials based on TiN–Ni cermets during thermochemical pressing, *Results in Engineering*, 16, 2022, 100724, https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100724
4. Belokon, Y., Hrechanyi, O., Vasilchenko, T., Kruglyak, D. Exploring thermochemical pressing in the manufacture of TiN – W cermet–based composite materials. *International Journal of Thermofluids*, 25, 2025, 101020. https://doi.org/10.1016/j.ijft.2024.101020
5. Schauerte O. Titanium in Automotive Production. *Titanium and Titanium Alloys*. Weinheim, FRG, 2005. P. 467–482. https://doi.org/10.1002/3527602119.ch18
6. Sibum H. Titanium and Titanium Alloys – From Raw Material to Semi–finished Products. *Titanium and Titanium Alloys*. Weinheim, FRG, 2005. P. 231–244. https://doi.org/10.1002/3527602119.ch7
7. Учасники проектів Вікімедіа. Титанова губка – Вікіпедія. *Вікіпедія*. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Титанова_губка (дата звернення: 07.10.2025).
8. Титан губчастий. *ТОВ «ЗТМК» | ZTMC Ltd.* URL: https://ztmc.zp.ua/uk/титан–губчастий/ (дата звернення: 07.10.2025).
9. Технологія виробництва. *ТОВ «ЗТМК» | ZTMC*

Ltd. URL: https://ztmc.zp.ua/uk/технологія–виробництва/ (дата звернення: 07.10.2025).

10. Строітелєв І. О., Лукошніков І. Є., Червоний І. Ф. Металургія кольорових металів : метод. посіб. Запоріжжя : ЗДІА, 2008. 125 с.
11. Колобов Г. О. Первинна переробка відходів легких кольорових металів (алюмінію, магнію, титану) : навч. посіб. Київ : НМК ВО, 1992. 95 с.
12. Металургія кольорових металів. Ч.2. Збагачення руд кольорових металів: підручник / В. О. Смирнов та ін. ; за заг. ред. д.т.н., проф. І. Ф. Червоного. Запоріжжя :ЗДІА, 2008. 322 с.
13. Єгоров С. Г., Червоний І. Ф., Воляр Р. М. Конструкції агрегатів кольорової металургії : підручник. Запоріжжя: ЗДІА, 2012. 230 с.
14. РІ 07.011-2007. Робоча інструкція для роздільника губчатого титану на ділянці обробки титанової губки цеху №7 КП «Запорізький титано-магнієвий комбінат».
15. Спосіб сепарації гірничої маси : пат. 148141 Україна : B07B13/00 B03C1/00. № u202101641 ; заявл. 29.03.2021 ; опубл. 07.07.2021, Бюл. № 27/2021. 3 с.
16. Гідрогрохот: К.М. 51353. U. МПК (2009) B07B 1/00. Берлін А. М. , Заявл. 04.02.2010; Опубл. 12.07.2010, Бюл. № 13. 2 с.
17. Барабаний грохіт: пат. 12299 Україна : B07B1/18. № 4464532 ; заявл. 20.07.1988 ; опубл. 25.12.1996, бюл. № 4/1996. 2 с. URL: https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/291755/
18. Віддільник великих домішок: пат. 19020 Україна : B02C23/08 B02C23/16 B07B1/18. № 93111368 ; заявл. 28.04.1993 ; опубл. 25.12.1997, бюл. № 6/1997. 2 с. URL: https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/328518/
19. Зайцев Г.Л. Обґрунтування раціональних технічних характеристик системи «грохот–дробарка» для зменшення енергозатрат та підвищення якості підготовки вугілля до коксування// Дис. к. т. н. – КНУ. – Кривий Ріг. – 2016.
20. Шевченко І. А., Купрін Д. В., Ткачов М. Є. Аналіз можливостей

збільшення енергоефективності процесів подрібнення матеріалів. *Матеріали І Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти, аспірантів та молодих вчених «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України»*. Запоріжжя: ЗНУ, 2021. С. 10-12.

21. Петрушов С.М. Сировинна база та підготовка матеріалів до металургійної переробки: навчальний посібник для вузів. Алчевськ: ДГМІ, 2003. 213 с.
22. Смирнов В.О., Білецький В.С. Фізичні та хімічні основи виробництва. Навчальний посібник. Донецьк: Східний видавничий дім, 2005. 148 с.
23. Технологія та обладнання виробництва щебеню : навчальний посібник. І. А. Піскун, В. В. Котенко, Р. М. Ігнатюк, Я. О. Наумов. Електронні дані. Житомир : «Житомирська політехніка», 2025. 298 с.
24. Білецький В.С., Смирнов В.О. Технологія збагачення корисних копалин (видання друге). Донецьк: Східний видавничий дім, 2009. 272 с.
25. Грохоти вібраційні серії "ГІС". *Захищена сторінка*. URL: https://mineraltech.com.ua/ua/gis.html (date of access: 09.10.2025).
26. Гуркоти для просіювання інертних матеріалів, вибрати та купити в Україні - "LLC HYPERPRESS TECHNOLOGIES". *LLC HYPERPRESS TECHNOLOGIES-Будівництво та проектування заводів напівсухого пресування.* URL: https://hyperpress.com.ua/ua/g84289386-grohoty-dlya-proseivaniya?srsltid=AfmBOopzsReIqS1PAQ6EO0W_BwgBW80spKlmp8GDhPRFWy-XUXulUXJb (дата звернення: 09.10.2025).
27. Hodges C. What Are the Benefits of a Vibratory Screen?. *Industrial Sieves, Screens and Material Conveying Management | Gough Engineering*. URL: https://www.goughengineering.com/en/articles/what-are-the-benefits-of-a-vibratory-screen?utm_source=chatgpt.com (date of access: 09.10.2025).
28. Industrial Vibrating Screens - Advantages & Its Uses. *Jaykrishna Magnetics Pvt. Ltd.* URL: https://www.jkmagnetic.com/vibrating-screens-for-industrial-uses/ (date of access: 09.10.2025).
29. Півняк Г.Г., Бешта О.С., Фількін М.П. Автоматизований електропривод у

прокатному виробництві. Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2008. 352 с.

30. Заєць В.В., Семенюк В.В., Оксенюк Р.Р. Технології переробки та збагачення корисних копалин: метод. вказівки. Рівне: НУВГП, 2021. 31 с.
31. Мельник О.Є. Деталі машин: метод. рекомендації. Кривий Ріг: Донецький національний університет економіки та торгівлі імені Михайла Туган-Барановського, 2020. 139 с.
32. Кірієнко О.О., Гузенко Ю.М. Теорія механізмів та машин. Деталі машин. Розрахунки механічних передач: навч. посіб. Київ: Київський політехнічний інститут, 2016. 188 с.
33. Повідайло В. О. Вібраційні процеси та обладнання: навч. посіб. Львів: Видавництво Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2004. 248 с.
34. Коруняк П.С. Керницький І.С. Вібраційні машини у виробничих процесах та технологіях: навч. посібник. Львів: Сполом, 2019. 346 с.
35. Коруняк П.С., Ніщенко І.І., Керницький І.С. Траспортувальні машини. Основи конструювання та розрахунку вібраційних транспортувальних машин: навч. посіб. Львів: Сполом, 2017, 244 с.
36. Кодра Ю. В., Стоцько З. А., Гаврильченко О. В. Завантажувальні пристрої технологічних машин. Розрахунок і конструювання: навч. посіб. Львів: Видавництво «Бескид Біт», 2008. 356 с.
37. Білодіденко С. В., Біліченко Г. М., Гануш В. І. Періодичність діагностування механічних систем: навч посіб. Дніпро: НМетАУ, 2017. 89 с.
38. Жук А. Я., Малишев Г. П. Основи технічного діагностування : навч.-метод. посіб. Запоріжжя : ЗДІА, 2007. 114 с.
39. Жук А. Я., Желябіна Н.К., Малишев Г. П. Основи наукових досліджень в сфері практичної механіки. Кн. 1. Теоретичні дослідження: навч. посіб. Київ : Кондор, 2012. 186 с. ISBN 978–966–2781–10–6
40. Гречаний О. М., Власов А. О., Атмаджиді Г. С. Використання логічних моделей у формальному вигляді для технічного діагностування

металургійного обладнання. V Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні технології промислового комплексу» Херсон: ХНТУ, 2019. С. 37-39.

41. Гречаний О. М., Фіялов С. Е. Використання формальної логіки при діагностуванні роботоздатних станів металургійного обладнання. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Теоретичні та практичні засади розвитку економіки, обліку, фінансів, менеджменту та права». Запоріжжя: ЗНУ, 2021. С. 171-172.
42. Жук А. Я., Желябіна Н.К. , Малишев Г. П. Основи наукових досліджень. Ч. 2: Експериментальні дослідження: навч.-метод. посіб. Запоріжжя: ЗДІА, 2008. 206 с.
43. Жук А. Я., Желябіна І.К. , Малишев Г. П. Основи наукових досліджень в сфері практичної механіки. Кн. 2. Експериментальні дослідження: навч. посіб. Київ : Кондор, 2012. 224 с. ISBN 978-966-2781-11-3
44. Полтавець В.В. Планування і обробка даних наукового експерименту: Конспект лекцій. Донецьк: ДВНЗ ДонНТУ. 2008. 52 с.
45. Засименко В.М. Основи теорії планування експерименту: навч. посібник. Львів: Видав. ДУ «ЛП». 2000. 205 с.
46. Державні санітарні норми та правила. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу. *БУДСТАНДАРТ Online – нормативні документи будівельної галузі України*. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc–page.html?id_doc=58073 (дата звернення: 04.12.2025).
47. Пільговий стаж і достроковий вихід на пенсію – КВПУ, Конфедерація вільних профспілок України. *КВПУ, Конфедерація вільних профспілок України*. URL: https://kvpu.org.ua/profnews/konsultatsiia–uk/pilgovyj–stazh–i–dostrokovyj–vyhid–na–pensiyu/ (дата звернення: 04.12.2025).
48. ДСТУ–Н Б В.1.1–35:2013. Настанова з розрахунку шуму в приміщеннях і на територіях. Чинний від 2014–01–01. Вид. офіц.

49. НПАОП 0.00-4.01-08 Положення про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту [Електронний ресурс] // Державний комітет України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду. 2008. Режим доступу до ресурсу: http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id_doc=28566.
50. Охорона праці на гірничо–металургійному підприємстві: навч. посібник. Ч.І: Металургійний комплекс. / В.О.Шеремет та ін. Дніпропетровськ: Січ, 2002. 375 с.
51. ДСТУ ISO 45001:2019 Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування (ISO 45001:2018, IDT). Ha заміну ДСТУ OHSAS 18001:2010; чинний від 01.01.2021. Вид. офіц. 2019. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=88004
52. ДСН 3.3.6.042–99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень
53. ДБН В.2.5–28–2006. Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення [Електронний ресурс] // Мінбуд України. – 2006. – Режим доступу до ресурсу: http://www.gorsvet.kiev.ua/wp–content/uploads/2016/08/ДБН–В.2.5–28–2006.pdf.
54. ДСТУ 3855–99 Пожежна безпека. Визначення пожежної небезпеки матеріалів та конструкцій. Терміни та визначення. Зі Зміною (ІПС № 1–7–2006) та Поправками (ІПС № 1–7–2006), (ІПС № 5–2007)
55. ДБН В.1.1–7:2016 Пожежна безпека об`єктів будівництва. Загальні вимоги. *БУДСТАНДАРТ Online – нормативні документи будівельної галузі України*. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc–page.html?id_doc=68456 (дата звернення: 04.12.2025).
56. Румянцев В. Р. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці та техногенна безпека» у дипломних роботах (проектах) для студентів ЗДІА спеціальностей МЧМ, МБ та інші / В. Р. Румянцев, І. О. Ткаліч. Запоріжжя: ЗДІА, 2012. 16 с.

ДОДАТКИ