

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 Удосконалення конструкції механізмів огрудковувача рудних матеріалів з метою покращення ефективності його роботи

Виконав: магістрант групи 8.1332

Вігант В. Т.

(ПІБ)

(підпис)

спеціальності

133 Галузеве машинобудування

(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма

133.00.12 Металургійне обладнання

(шифр і назва)

Керівник Гречаний О.М.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Н. контроль Васильченко Т.О.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Запоріжжя – 2023 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 133.00.12 Металургійне обладнання

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедрою А.О. Власов

“ _____ ” _____ 20__ року

Завдання

до випускної кваліфікаційної роботи магістра

Вігант Валерій Тимофійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема магістерської роботи: Удосконалення конструкції механізмів огрудковувача рудних матеріалів з метою покращення ефективності його роботи
керівник магістерської роботи Ph.D., ст.викладач Гречаний О.М.,
затверджені наказом вищого навчального закладу від “09” жовтня 2023 року № 1581-с.
2. Строк подання студентом магістерської роботи 07 грудня 2023 року.
3. Вихідні дані магістерської роботи техніко-економічні показники роботи прокатного цеху
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Огляд і аналіз науково-технічних рішень підвищення продуктивності обладнання ділянки огрудкування аглофабрики та обґрунтування обраного напрямку роботи; 2. Розрахункова частина; 3. Дослідно-експериментальна частина; 4. Охорона праці та техногенна безпека в галузі. Загальні висновки та рекомендації
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 1. Змішувач-огрудковувач – 1А1; 2. Привод барабана – 1А1; 3. Вал проміжний – 1А1; 4. Деталювання – 2А2 5. Характеристики типів руху сипучого матеріалу в обертовому барабані – 1А1 6. Результати експериментів по визначенню впливу технологічних параметрів на характер руху матеріалу в обертовому барабані – 1А1; 7. Циклон ЦН15-800 – 1А1;

6. Консультанти розділів магістерської роботи

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів магістерської роботи	Примітки
1	Збір матеріалу на проєктування	29.05.2023 – 25.06.2023	
2	Групування та аналіз зібраного матеріалу. Уточнення завдань проєктування	01.09.2023 – 17.09.2023	
3	Виконання теоретичної частини проєкту	18.09.2023 – 18.10.2023	
4	Виконання графічної частини проєкту	19.10.2023 – 19.11.2023	
5	Написання та оформлення пояснювальної записки	20.11.2023 – 30.11.2023	
6	Перевірка проєкту консультантами	01.12.2023 – 03.12.2023	
7	Попередній захист проєкту	04.12.2023	
8	Переплітання пояснювальної записки	Згідно з графіком	
9	Захист проєкту у ЕК	Згідно з графіком	

Студент _____
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник магістерської роботи _____
 (підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Вігант В.Т. Удосконалення конструкції механізмів огрудковувача рудних матеріалів з метою покращення ефективності його роботи.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальність 133 – Галузеве машинобудування, науковий керівник О.М. Гречаний. Запорізький національний університет, інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні, кафедра металургійного обладнання, 2023.

Виконаний аналіз конструкцій огрудковувачів, проаналізовані переваги та недоліки наявних технічних рішень. Запропонований варіант модернізації барабанного змішувача-огрудковувача. Проведено аналіз руху сипкого тіла в барабані при огрудковуванні. Проведено експериментальну перевірку впливу щільності матеріалу на ефективність огрудковування.

Ключові слова: ПРИВОД, БАРАБАН, ШИХТА, ЗМІШУВАННЯ, ОГРУДКУВАННЯ, ХАРАКТЕР РУХУ, СИПУЧЕ ТІЛО

ABSTRACT

Vigant V.T. Improvement of the design of the mechanisms of the lumpers of ore materials in order to improve the efficiency of its operation.

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 them. Yu.M. Potebni, Department of Metallurgical Equipment, 2023.

The design of pelletizers was analyzed, the advantages and disadvantages of existing technical solutions were analyzed. An option for modernizing a drum mixer-pelletizer has been proposed. An analysis of the movement of a granular body in a drum during pelletization was carried out. An experimental verification of the influence of material density on the efficiency of pelletizing was carried out.

Key words: DRIVE, DRUM, BARCH, MIXING, PELLETING, NATURE OF MOTION, POWER BODY

Зміст

Вступ	7
1 ОГЛЯД І АНАЛІЗ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ОБЛАДНАННЯ ДІЛЯНКИ ОГРУДКУВАННЯ АГЛОФАБРИКИ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ОБРАНОГО НАПРЯМКУ РОБОТИ	9
1.1 Опис технологічного процесу виготовлення агломерату місце в ньому огрудковувача	9
1.1.1 Змішування, зволоження й огрудкування аглошихти	9
1.1.2 Завантаження шихти на стрічку агломашини	11
1.1.3 Запалювання шихти	12
1.1.4 Спікання шихти	12
1.2 Вантажопотоки аглофабрики	14
1.3 Огляд технічних рішень по підвищенню продуктивності огрудкування шихти	18
1.4 Пропозиції щодо поліпшення технічних характеристик обладнання та обґрунтування обраного напрямку досліджень	28
2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА	32
2.1 Теоретичний розрахунок потужності огрудкування шихти	32
2.2 Розрахунок відкритої зубчастої передачі	40
2.3 Розрахунки на міцність та довговічність	42
2.3.1 Розрахунок приводного вала на міцність	42
2.3.2 Розрахунок вальниць приводного вала на циклічну довговічність	45
2.3.3 Перевірочний розрахунок шпонки приводного вала	46
2.3.4 Розрахунок роликів опор барабанного змішувача-огрудковувача на міцність	48
2.3.5 Перевірка підшипників опорного ролика на циклічну довговічність	51
3 ДОСЛІДНО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	53
3.1 Дослідження руху сипучого матеріала в поперечному перерізі барабана	53
3.2 Дослідження режимів руху сипучого тіла в обертовому барабані	58

	6
3.3 Експериментальне дослідження режимів руху шихти в барабані змішувача-огрудковувача	67
3.3.1 Методи контролю частоти обертів барабана змішувача-огрудковувача	67
3.3.2 Експериментальне визначення режимів руху сипучого тіла в обертовому барабані змішувача-огрудковувача	69
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА В ГАЛУЗІ	75
4.1 Оцінювання стану цеху з гігієнічної точки зору	75
4.2 Технічні рішення по виробничій санітарії	76
4.2.1 Мікроклімат	76
4.2.2 Побутові й допоміжні приміщення	78
4.2.3 Виробничий шум, виробнича вібрація	78
4.2.4 Виробничі випромінювання	79
4.2.5 Природне й штучне освітлення	79
4.3 Техногенна безпека	81
4.3.1 Заходи щодо техніки безпеки	81
4.3.2 Заходи пожежної безпеки	82
4.4 Дослідження шляхів по поліпшенню екологічних показників цеху	83
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ	87
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	88
СПИСОК ГРАФІЧНОГО МАТЕРІАЛУ	92
ДОДАТКИ	93

Вступ

Продуктивність доменних печей, витрата коксу при доменній плавці і якість виплавленого чавуну залежать від якості шихтових матеріалів (змісту заліза, постійності фізико-хімічного складу, кількості шкідливих домішок і т.д.). Тому підготовка шихтових матеріалів до плавки є одним з найважливіших етапів металургійного виробництва.

Агломерацією називається термічний процес огрудкування здрібнених матеріалів, що є залізовмісною частиною шихти, шляхом їхнього спікання з метою додання властивостей, необхідних для доменної плавки. Спосіб агломерації заснований на горінні палива в шарі спеченого матеріалу при безперервному просмоктуванні через нього повітря.

Основними компонентами агломераційної шихти є: залізорудний концентрат, дрібна сира залізна руда величиною менше 10 мм, колошниковий пил, повернення (побічний продукт попередніх спікань) величиною менш 10 мм (у кількості 15-25 % від маси шихти); флюси — вапняк фракції менше 3 мм і паливо — коксик фракції менш 3 мм (у кількості 4-6 % від маси шихти); до складу агломераційної шихти входять 7-9 % (від маси шихти) вологи. Якість агломерату визначається його хімічним складом, міцністю, крупністю й відновлюваністю. У цей час роблять тільки офлюсований агломерат (тобто з добавками флюсу), завдяки чому процес розкладання флюсу переноситься з доменної печі на агломераційну машину; це дозволяє знизити витрата коксу в доменній печі.

Перед спіканням шихту змішують, воложать і огрудковують або гранулюють, у результаті чого з пилюватого матеріалу утворюються вологі грудочки розміром 0,5-5 мм, при цьому шар шихти стає газопроникним, що сприятливо позначається на процес спікання.

Таким чином на якість агломерата впливає попередньо огрудкована шихта, тому дослідження технологічних аспектів огрудкування є доволі перспективною та актуальною темою.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є дослідження роботи привода змішувача-огрудковувача та удосконалення його конструкції.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- виконати аналіз відомих конструкцій обладнання для огрудкування сипучих матеріалів з метою виявлення оптимальної конструкції;
- виконати розрахунок найбільш навантажених вузлів змішувача-огрудковувача;
- за отриманими результатами обрати з'єднувальні елементи, визначити тип приводу та підібрати електродвигун;
- виконати аналіз режимів руху сипкого матеріала в поперечному перерізі та обертовому барабані;
- експериментальним шляхом встановити вплив щільності сипкого матеріалу на процес огрудкування.

Предмет дослідження – конструктивні параметри змішувача-огрудковувача та навантаження, що діють на його найбільш навантажені вузли.

Об'єкт дослідження – привод змішувача-огрудковувача.

Апробація результатів роботи. Основні положення роботи доповідалися на: 18th International scientific and practical conference “Theoretical and applied aspects of the development of science”, (Bilbao, Spain, May 09-12, 2023). Опубліковано тези доповіді.

Структура та обсяг роботи. Магістерська робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг роботи включає 105 сторінок, у тому числі 89 сторінок основного тексту, 30 рисунків, 12 таблиць, 37 найменувань використаних джерел на 4 сторінках, додатки на 12 сторінках.

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

1 ОГЛЯД І АНАЛІЗ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ОБЛАДНАННЯ ДІЛЯНКИ ОГРУДКУВАННЯ АГЛОФАБРИКИ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ОБРАНОГО НАПРЯМКУ РОБОТИ

1.1 Опис технологічного процесу виготовлення агломерату місце в ньому огрудковувача

1.1.1 Змішування, зволоження й огрудкування аглошихти

Процес виробництва офлюсованого агломерату складається з наступних етапів: готування шихти, змішування, зволоження й огрудкування готової шихти, відсівання, повернення й транспортування його в шихтове відділення; завантаження агломерату в хопери й контроль його якості.

Всі матеріали, що входять до складу агломераційної шихти, перед спіканням піддаються змішуванню, зволоженню й огрудкуванню.

Призначення змішування, зволоження й огрудкування шихти - забезпечення нормального протікання процесу спікання шляхом одержання однорідної суміші всіх шихтових компонентів пилових фракцій для підвищення газопроникності шару шихти.

Змішування, зволоження й огрудкування шихти виконується за одностадійною схемою в змішувальних барабанах, розташованих над агломераційними машинами.

Довжина барабанів – 7,5 м, діаметр – 2,5 м, швидкість обертання – 8 об/хв. Для забезпечення нормального змішування й огрудкування ступінь заповнення барабана шихтою повинен становити 10–15 %.

Нормально зволожена шихта (зміст вологи 7,5–8,5% з коливанням не більше $\pm 0,5$ %) дрібно огрудкувана, пухка, пориста, має найменшу насипну вагу й більшу вертикальну швидкість спікання.

Сталість вологості досягається гарним усередненням сирих матеріалів, подачею в шихту оборотних продуктів (повернення, колошникового пилу)

постійної якості та кількості й ретельним контролем за надходженням води в змішувальні барабани.

При надлишковому зволоженні й великому огрудкуванню шихти агломерат має занадто великі пори й стає тендітним. Відбувається процес брудовиникнення й руйнування огрудкуваної структури, особливо в нижньому шарі шихти, що спікається. Газопроникність при цьому різко погіршується й знижується вертикальна швидкість спікання.

При недостатньому зволоженні шихти її огрудкування відбувається погано, газопроникність різко погіршується й знижується вертикальна швидкість спікання [1].

Ступінь зволоження шихти контролюється автоматичною системою, в основу якої покладений фотометричний спосіб контролю ступеня огрудкування шихти при її зволоженні. При різкій зміні вихідної вологості шихти (зупинці – пуску вапнообпалюючих машин й ін.) агломератчик зобов'язаний ретельно стежити за вологістю шихти й вчасно змінювати завдання витрати води на задатчику – потенціометрі КСП – 3, сигнал якого через ізодромний регулятор, впливаючи на виконавчий механізм, пов'язаний з регулюючим краном, змінює витрату води, що надходить у змішувальний барабан.

При зупинці 2 машин КМ–14 через 15 хвилин знизити швидкість руху аглострічки на 0,3 м/хв, і витрату води зменшити на 0,5 м³/год. При зменшенні крупності шихти вміст вологи необхідно збільшити, а при збільшенні крупності – зменшити.

Визначення вологості шихти по зовнішніх ознаках виконується в такий спосіб:

- стисла в руці шихта з нормальною вологістю повинна зберегти надану їй форму;
- при нестачі вологи шихта розсипається;
- при надлишку вологи шихта прилипає до руки.

1.1.2 Завантаження шихти на стрічку агломашины

Важливою умовою одержання якісного агломерату є правильне завантаження шихти на спічні візки агломашины. Після виходу зі змішувального барабана аглошихта подається в проміжний бункер, у якому підтримується постійний рівень.

Із проміжного бункера шихта рівномірно подається на всю ширину електровібровживильника, з якого по завантажувальному лотку рівномірним шаром скачується на аглострічку.

Поверхня шихти, завантаженої на стрічку повинна постійно загладжуватися за допомогою спеціальної гладилки, розташованої за завантажувальним пристроєм.

Висота шару аглошихти на кожній агломашині встановлюється начальником цеху або заступником із записом у книгу розпоряджень і реєстрацією в технічній карті й підтримується постійної в межах 400...450 мм.

Зниження висоти шару супроводжується погіршенням міцності агломерату, підвищенням відносного виходу повернення.

Збільшення висоти шару сприяє поліпшенню якості агломерату, тобто його зміцненню, зменшенню питомої витрати палива на спікання, зниженню відносного повернення й вертикальної швидкості спікання. Рівномірний розподіл шихти по всій ширині аглострічки є однією з необхідних умов для нормального протікання процесу спікання. У випадку нерівномірного по висоті розподілу шихти на аглострічці й при виявленні не спечених гнізд шихти по ширині палет у розвантажувальній частині агломашины, агломератчик повинен вжити заходів до усунення зазначених порушень.

Провали шихти на аглострічці не допускаються. Агломератчик зобов'язаний підтримувати колосникові ґрати в справному стані, для чого вчасно треба:

- замінити колосники, що випали або обгоріли;
- ліквідувати перекося колосників, що утворилися;

- очищати зазори між колосниками;
- закріплювати кулачками колосники спічних візків.

Шар шихти перед завантажувальним лотком повинен бути на рівні або вище крайки лотка на 30–50 мм.

1.1.3 Запалювання шихти

Процес спікання шихти починається із запалювання верхнього шару при просуванні його під запальним горном.

Запалювання шихти має на меті не тільки запалення твердого палива, але й одержання рівномірної оплавленої поверхні пирога агломерату. Запалювання шихти повинне бути рівномірним і досить інтенсивним. Рівномірне й інтенсивне запалювання сприяє швидкому розвитку процесу в шарі й досягнення високої продуктивності агломашин. Оптимальна температура факелу утворюється при коефіцієнті надлишку повітря $\alpha=1,8...2,0$.

При цьому полум'я має яскравий ясно-жовтий відтінок. При придусі полум'я синіє, а при великому надлишку полум'я стає червонуватим і тьмяним.

Для забезпечення нормального запалювання шихти необхідно підтримувати температуру горна в межах $+1250...+1300$ °С У зоні термообробки агломерату температура горна постійно знижується за рахунок надлишку повітря.

Запальне горно має водяне охолодження передньої й задньої стінок.

1.1.4 Спікання шихти

Спікання шихти є основним етапом у технології одержання високоякісного агломерату. У результаті процесу спікання повинен вийти однорідний по хімічному складу, міцний, кусковатий і пористий агломерат. Сталість хімічного, гранулометричного й мінералогічного складу шихти має вирішальне значення для одержання агломерату з гарною металургійною характеристикою. Спікання ведеться на колосникових ґратах палет агломераційної машини методом

просмоктування повітря за рахунок розвитку високих температур у шарі шихти, при горінні палива, що перебуває в шихті.

Відповідальним за якість спікання є старший агломератчик, що забезпечує видачу якісного агломерату шляхом строгого дотримання технології процесу спікання, включаючи змішування й зволоження шихти, а також завантаження її на палети й запалювання.

Швидкість руху аглострічки регулюється відповідно до вертикальної швидкості спікання так, щоб процес спікання закінчувався останньою вакуум-камерою. При зупинці машини тривалістю:

- до 3 хвилин – швидкість аглострічки при пуску встановлюється така ж, як до зупинки;
- на $4 \div 7$ хвилин – швидкість аглострічки при пуску повинна бути протягом 8–10 хвилин на $0,2 \div 0,3$ м/хв менше, ніж до зупинки;
- понад 10 хвилин необхідно через $8 \div 10$ хвилин після її зупинки закрити засувку експаустера.

Швидкість стрічки при пуску встановлюється така ж, як до зупинки. Вертикальна швидкість спікання визначається швидкістю переміщення зон високих температур у шарі шихти після запалювання (від поверхні шихти до колосникових ґрат), а також швидкістю горіння вуглецю. Причинами зниження вертикальної швидкості спікання можуть бути:

- коливання змісту вологи, горючого концентрату, вапна й повернення в шихті;
- надмірне ущільнення шар шихти при завантаженні;
- наявність більш шкідливих прососів повітря в газовому тракті;
- зниження або надмірне збільшення температури запального горна;
- залипання колосникових ґрат дрібною шихтою або рідкою масою аглоспека.

При всіх випадках зниження вертикальної швидкості спікання необхідно знайти причину й усунути її.

Для одержання максимальної продуктивності агломашин необхідно прагнути й використати повну потужність ексгаустера, для чого:

- працювати при повністю відкритій засувці ексгаустера;
- ретельно стежити за ущільненням агломашин, не допускаючи шкідливих прососів повітря;
- ретельно стежити за справним станом колосникових ґрат [2].

1.2 Вантажопотоки аглофабрики

Сировина (залізна руда, вапняк й ін.) надходить на агломераційну фабрику в залізничних вагонах, які розвантажуються на рудному дворі роторними вагоперекидачами. Потім руду завантажують грейферними кранами в трансферкари – спеціальні залізничні вагончики (з електроприводом) і доставляють у прийомне бункерне відділення шихти. Звідки стрічковими конвеєрами шихта доставляється в корпус спікання.

Транспортний зв'язок між відділеннями й окремими установками здійснюється, в основному, стрічковими конвеєрами. Готовий агломерат відвантажують у спеціальні залізничні вагони, і він іде в доменний цех. На шляху до доменного цеху агломерат вистигає, так що спеціальних барабанів для охолодження агломерату не потрібно.

Агломераційний цех складається з наступних основних відділень:

- відділення прийомних бункерів;
- складу шихтових матеріалів;
- корпусу подрібнення вапняку;
- корпусу здрібнювання палива;
- змішувального відділення;
- корпусу спікання;
- відділення охолодження й сортування агломерату.

Транспортний зв'язок між відділеннями й окремими машинами й агрегатами фабрики здійснюється, в основному, стрічковими конвеєрами.

Принципова схема вантажопотоків аглофабрики представлена на рисунку 1.1. У бункери 1 подають залізовмісну частину шихти (концентрат, руду, колошниковий пил і повернення), а також коксик і вапняк. Перед подачею коксик піддають подрібненню в чотирьохвалковій дробарці, а вапняк – у молотковій. З бункерів шихтові матеріали в певних співвідношеннях видають живильниками 2 на стрічковий конвеєр 3. Потім матеріали надходять у барабанний змішувач 4 й огрудкувач 5, у яких вони перемішуються, звожуються й огрудковуються.

Далі підготовлена в такий спосіб шихта подається в бункери – розподільники 6, де просіванням із шихти виділяють велику фракцію – підстилковий матеріал (постіль) . Живильниками шихти укладають на стрічку машини 8 спочатку велику фракцію, а потім іншу частину шихти.

Покладена на безупинно рухливі візки (стрічку) шихта надходить під запальне горно 7, що запалює в шихті коксик, і завдяки безперервному просмоктуванню через шихту повітря ексаустером 17 відбувається її спікання. Ексаустер створює розрідження під робочою гілкою стрічки машини у вакуум-камерах 8а, що забезпечує видалення в атмосферу через димар 18 газоподібних продуктів горіння. На ділянці газового колектора 15 між машиною й ексаустером продукти горіння очищаються в газоочисному пристрої 16 від пилу, просипаної шихти й агломерату.

Агломерат піддається подрібненню в дробарці 9 і розсіву на гуркоті 10. Фракція менш 10 мм повертається в бункери 1. Агломерат величиною більше 10 мм вважається придатним для доменної плавки.

Середня температура спеченого агломерату становить 500–600 °С, а в нижній частині 1200 °С. Використання гарячого агломерату в доменній плавці не активізує процеси відновлення; разом з тим воно негативно впливає на стійкість устаткування шихтоподачі до доменних печей і погіршує умови роботи в доменному цеху. Тому агломерат прохолоджують в охолоджувачі 12, установлюваному за гуркотом гарячого агломерату, або частково прохолоджують його на хвостовій частині агломераційної стрічки продувкою

зверху вниз (або знизу нагору) холодного повітря через шар матеріалу. Агломерат з гуркоту в охолоджувач подається живильником 11.

З охолодженого агломерату на гуркоті 13 виділяють дріб'язок. Готовий агломерат доставляють у доменний цех в агловозах 14 (спеціальних металевих залізничних вагонах) або стрічковими конвесрами.

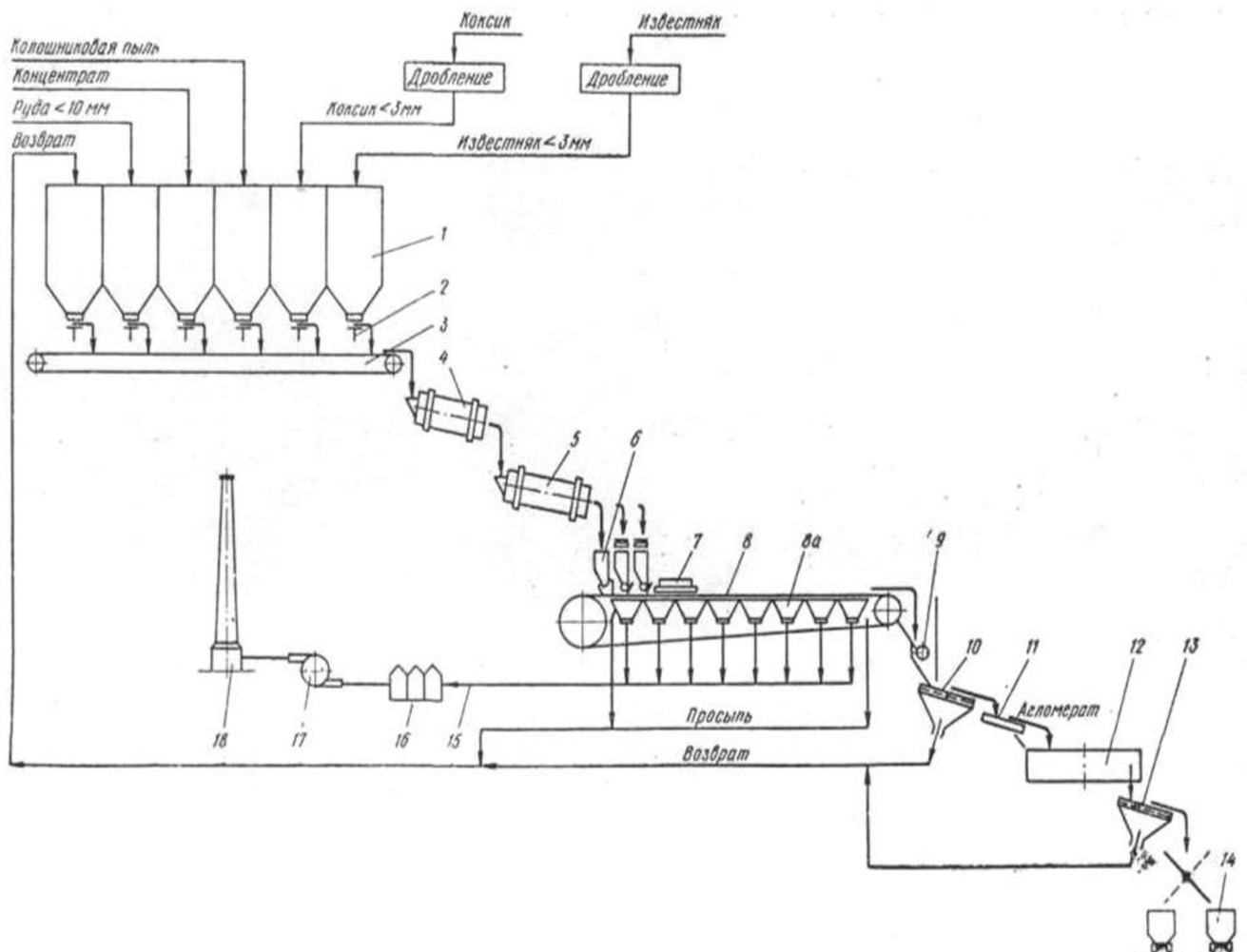


Рисунок 1.1 – Принципова схема вантажопотоків агломераційної фабрики (позиції наведені в тексті)

Основні технічні характеристики устаткування цеху наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Характеристика технічного устаткування агломераційного цеху

№ п/п	Найменування устаткування	Тип	Кіл.	Призначення	Основні показники			
					Продуктивність	Потужність кВт	Габаритні розміри, мм	Маса т
1	Чотирьох-валкова дробарка	ЧВД-4	6	здрібнювання коксу	15 т/год	46	6255×4170×3322	12,7
2	Молоткова реверсивна дробарка	МРД-1р	3	подрібнення вапняку	200÷ 500 т/год	360	2956×2680×2110	5,65
3	Тарілчастий живильник	МА148-2/6	12	дозування шихти	80 м ³ /ч	11	ø2000×1100	3,9
4	Стрічковий живильник	ЛП-2	14	дозування шихти	100 м ³ /ч	34	2000×800×535	1,349
5	Електровібраційний гуркіт	383 Рм	6	дозування шихти	300 т/год	4	1500×2500×600	1,8
6	Барабаний змішувач	БС	6	перемішування й огрудкування шихти	150 т/год	37	2800×4000	21,2
7	Обпалювальна машина	КМ-14	1	випалювання вапняку й коксу	100 т/с	20÷7	4000×15000×2000	105
8	Агломераційна машина	К-2-50	6	випікання шихти	70 т/год	11÷15	10417,5×30400×5197,5	288
9	Газове горно	Камерний	6	запалювання шихти	600-700 м ³ /ч	-	1800×2600×1600	13,2
10	Палети	ТС-2,5	70	випікання шихти	0,3 м ³ /ч	-	2710×1000×555	2,052
11	Експаустер	Д-3500-13	6	просмоктування повітря через спічну шихту	3500 м ³ /хв	1300	4410×4410×4400	18
12	Одновалкова зубчаста дробарка	ОЗД-1	6	подрібнення агломерату	80 м ³ /ч	28	6690×3010×1650	18,3
13	Самобалансовий гуркіт	200 Гр-1	14	просівання агломерату	180 т/год	4	4765×200×2166	5,05
14	Стрічковий конвеєр	Стрічковий	18	транспортування шихтових матеріалів	250 т/м ³	12/6	1000×3500×5300	23
15	Газова засувка	Д _у =1500	6	перекриття лінії газів, що відходять	1500 м ³ /хв	2	680×4650	5,1

Аналіз технологічного процесу вказує на важливість такого обладнання як барабаний змішувач-огрудковувач і від його технічних характеристик багато в чому залежить і виробнича потужність аглофабрики в цілому, тому гостро постає питання по знаходженню виробничих резервів методом модернізації обладнання.

1.3 Огляд технічних рішень по підвищенню продуктивності огрудкування шихти

Виробництво окатишів – кулястих грудок діаметром 10-15 мм, є порівняно новим способом огрудкування рудних матеріалів, що швидко розвивається. Огрудковуванням називають процес одержання окатишів з вологих концентратів в огрудковувачах з наступним сушінням і зміцнюючим випалом окатишів у випалювальних агрегатах.

Окатиші, так само як і агломерат, роблять офлюсованими. Якість окатишів визначається насамперед їх гранулометричним складом, міцністю й хімічним складом. Огрудковування протікає задовільно тільки при змісті в концентраті 85-90 % фракції менш 0,074 мм. Вапняк і повернення подрібнюють до 0,5 мм. Вологість подаваного в гранулятор концентрату повинна бути строго певною – близько 9 %. У якості зв'язувального речовини звичайно застосовують бентонітову глину (бентоніт) у кількості 0,3-1,5 % від маси [3].

По технологічному призначенню залежно від фізичного стану речовин, що перемішуються, змішувальні машини розділяють на змішувачі для сухих сипучих (порошкових і зернистих) матеріалів з наступним або одночасним зволоженням (за необхідності); для рідких складів; для в'язкопластичних (пастообразних) сумішей (перед брикетуванням, огрудковуванням).

По виду робочого органа й конструкції розрізняють змішувачі лопатеві (шнекові), роторні, барабанні, з 2-образними валками, бігункові, дискові, колонні, комбіновані (наприклад, шнеко-барабанні).

По наявності привода розрізняють змішувачі приводні й безприводні (наприклад, колони, що представляють собою вертикальну або похилу колону-трубу або прямокутну вирву із закріпленими лотками-лопатами, прокидаючись крізь які, сипуча шихта перемішується).

По наявності власного корпусу (ємності), у яких вихідний склад перемішується, розрізняють змішувачі корпусні й безкорпусні (наприклад,

роторні змішувачі, що встановлюються в будь-якій місці стрічкового конвеєра, стрічка якого служить робочим майданчиком для змішування).

Огрудкування (одержання грудок зі змішаної шихти) досягається в значній мірі на аналогічних агрегатах (широко розповсюджених барабанних), часто навіть у дві послідовні стадії в одному агрегаті (барабані) [4].

Лопатеві шнекові змішувачі виготовляються одно- і двовальними й призначені для перемішування дрібно розмелених матеріалів. Двовальні мають спрямованість руху матеріалу в різні сторони – протivotочні конструкції й в одну сторону – прямоточні. На рис. 1.2 показана схема прямоточного змішувача. У коробі 1 у протилежні сторони обертаються два вали 9 з лопатями 8. Вали встановлено на підшипниках 7, розташованих за коробом змішувача. Привод одного з валів здійснюється від редуктора 2, другого – через зубчасту передачу 4. Електродвигун 3 з'єднаний з редуктором через муфту. Завантажують матеріал через вирву 5, розвантажують перемішану шихту через розвантажувальний отвір 10. У торці короба в місцях виходу валів є лабіринтові ущільнення 6 для усунення виходу пилу з короба. Лопаті на валах розташовують так, щоб вони утворювали гвинтову лінію. Кут закручення лопаті в плані становить $20-35^\circ$ до вертикальної осі. Лопаті бувають суцільнолитими й рознімними. При литій конструкції лопать закінчується отвором, куди загвинчується один кінець шпильки, що проходить через отвір у валу. Інший кінець шпильки на виході з вала закріплюється гайкою. Залежно від складу шихти лопаті виготовляються із сірого чавуну, високохромистої сталі або вуглецевої з наплавленням твердими сплавами на робочій частині лопаті. При складальній конструкції в отвір вала вставляється різьбовий стрижень кронштейна й закріплюється гайкою зі стопорним пристроєм.

До кронштейна пригвинчується змінна кована або штампована лопать. Вали змішувачів виготовляються круглого або квадратного перетину. Для довгих валів використовують труби, з'єднані зварюванням із цапфами. Якість перемішування шихти в лопатевому барабані залежить від швидкості перемішування, регульованої кутом нахилу лопаті [5].

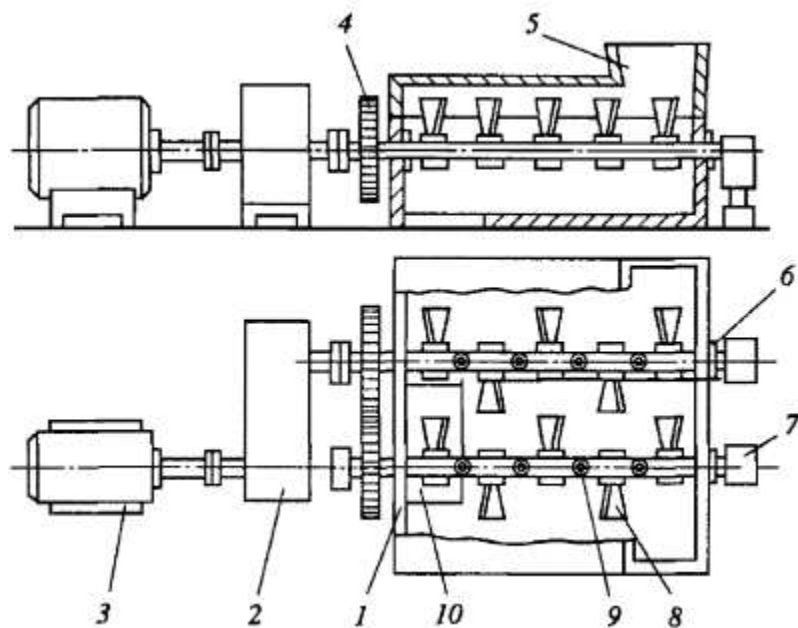


Рисунок 1.2 – Схема прямоточного змішувача (позиції наведено в тексті)

В сучасному агломераційному виробництві процес одночасного змішування та огрудковування шихти виконують на машинах двох типів – чашового та барабанного.

Принцип дії чашевого огрудковувача наступний, в обертову чашу на відкриту частину днища безупинно подається шихта, яка в присутності розпиленої води огрудковується, перетворюючись у круглі тіла — окатиші. У міру переміщення в чаші окатиші збільшуються в діаметрі, пересипаються через борт чаші в розвантажувальний лоток і з нього надходять на стрічковий конвеєр.

На рисунку 1.3 показані механізми обертання й нахилу чаші чашевого огрудковувача, який складається із чаші, привода, опори, рами, механізмів обертання, нахилу й очищення. Чаша 1 зварної конструкції виконана для зручності транспортування із двох половин, з'єднаних між собою болтами. Опора 3 представляє собою тверду зварену раму зі змонтованою в ній на підшипниках кочення обертовою віссю 2, на верхньому конічному хвостовику якої нерухомо закріплена чаша 1. Осьові зусилля сприймають установлені в нижній частині рами упорні підшипники.

Привод обертання чаші складається з електродвигуна 4 постійного струму, муфти 5, конічно-циліндричного редуктора 6 і тахогенератора, пов'язаного з

валом електродвигуна кінематичною зубчастою передачею. На вихідному валу редуктора розташована шестірня 6а, що перебуває в зачепленні із зубчастим вінцем 7, який закріплений на чаші й обертає її при включенні електродвигуна.

Опора 3 валиками 3 шарнірно закріплена на рамі, що складається із двох стійок 9 які жорстко з'єднано між собою поперечною балкою 10.

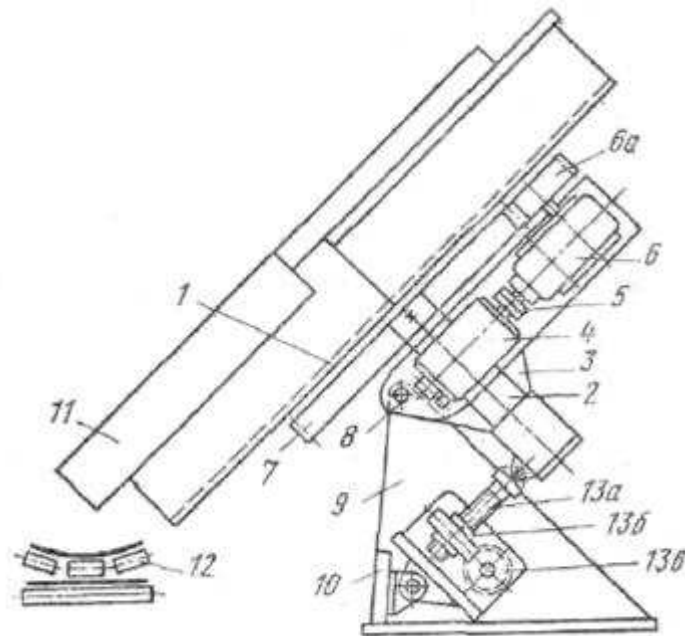


Рисунок 1.3 – Механізми обертання й нахилу чашевого огрудковувача (позиції наведено в тексті)

Механізм нахилу чаші складається з тяги-гвинта 13а, що зв'язує між собою балку 10 і частину опори 3, до яких шарнірно прикріплені тяги гвинтової пари 13б і черв'ячної передачі 13в. При обертанні вала черв'яка вручну гвинт, зв'язаний гайкою із черв'ячним колесом, робить поступальний рух, змінюючи кут нахилу чаші. Внутрішню поверхню борту й днища чаші очищають від налиплого матеріалу механізмом очищення, що складається із бічного й шести регульованих радіальних ножів. Зволоження поступаючої в чашу шихти роблять форсунками з індивідуальними трубопроводами, виконаними у вигляді гнучких шлангів з вентилями для регулювання витрати води. Із чаші готові окатиші вивантажують на конвеєр 12 за допомогою лотка 11, прикріпленого до каркаса [3].

Єдиним суттєвим недоліком роботи чашевого огрудковувача являється його низька продуктивність – від 40 до 130 т/год [6].

Даний недолік відсутній в барабанних змішувачах огрудковувачах таблиця 1.2.

Таблиця 1.2 – Технічна характеристика змішувачів-огрудковувачів

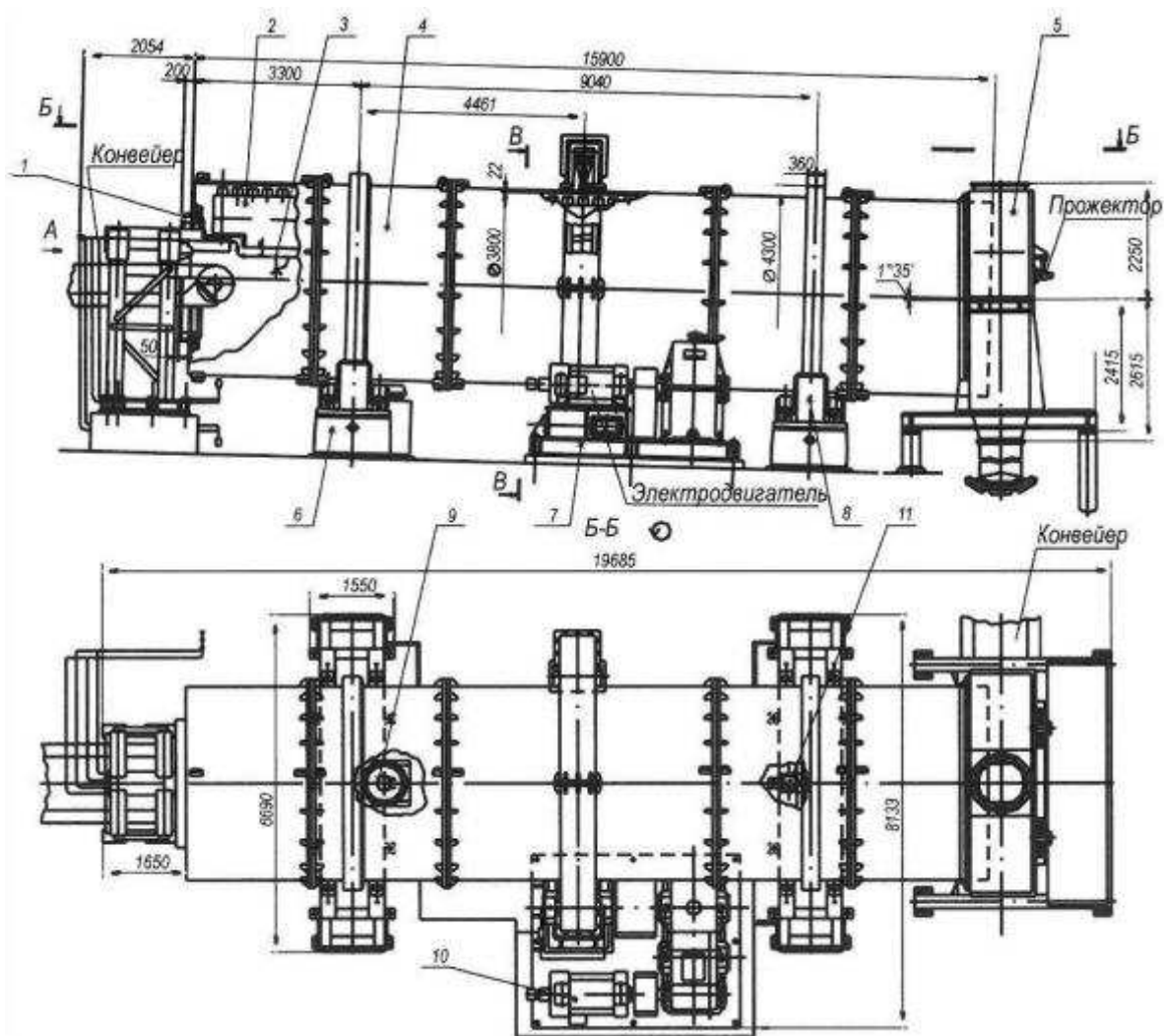
Параметр	Змішувачі огрудковувачі			
	ЗОБ- 3,2x12,5	ЗОБ- 3,8x 15,9	ЗОБ- 4,2x16	ЗОБ- 4,2x24
Продуктивність, т/год	240	460-480	500	900
Діаметр барабана (внутрішній), м	3,2	3,8	4,2	4,2
Довжина барабана, м	12,5	15,9	16	24
Кут нахилу, град.	2°30'	1°35'	1°30'	2°30'
Частота обертання барабана хв ⁻¹	4,08- 8,16	4,5-7	4,5-7	5-7
Потужність електродвигуна, кВт	320	4000	400	560
Маса з електрообладнанням, т	88	145	207,5	235

Барабанні змішувачі-огрудковувачі (рис.1.4) складаються з наступних вузлів: циліндричного барабана, чотирьох опорних, одного або двох опорних роликів, привода, пристрою для зволоження шихти, пристосування для очищення гарнісажу, завантажувальної вирви, розвантажувальної камери й системи змащення.

Склад вузлів міняється залежно від конкретних умов технології, для яких призначається змішувач або огрудковувач. Так, наприклад, первинні змішувачі звичайно працюють без очисних пристроїв.

Барабан представляє собою пустотілий циліндр, зварений з листової сталі. Барабани діаметром більш 2,8 м складаються з декількох секцій, з'єднаних болтами. Для забезпечення точності й міцності з'єднання на торцях секцій є заточення, що центрують, а частина болтів виконана презонними. Барабан опирається на опорні ролики сталевими бандажами, які виконуються на

підбивках і клинах, або привареними до обічайок. Внутрішня поверхня барабанів має в змішувачів поздовжні ребра висотої до 60 мм або сталеву футеровку. Барабани огрудковувачів усередині покривають сталевим ніздрюватим (просічно-витяжним) листом. Ці заходи призначені для утворення й утримання шару матеріалу (гарнісажу) на внутрішній поверхні барабана для захисту його від зношування, а також для поліпшення умов тертя при огрудкуванні й змішуванні.



- 1 – елеватор; 2 – балка з різцями; 3 – зволоження шихти; 4 – барабан;
 5 – розвантажувальна камера; 6 – опора ролика; 7 – рама привода; 8 – опорний ролик; 9 –
 упорний ролик; 10 – привод; 11 – контрольний ролик

Рисунок 1.4 – Змішувач-огрудковувач барабанний ЗОБ-3,8x15,9

Обертання барабану передається через сталевий зубчастий вінець, закріплений на фланці секцій. Зубчасті вінці звичайно виконані литими із двох половин, з'єднаних болтами. Привод обертання барабана містить у собі електродвигун, редуктор, з'єднаний муфтами з електродвигуном і валом підвінцевої шестірні, що перебуває в зачепленні із зубчастим вінцем барабана. Вал підвінцевої шестірні встановлюється на сферичні вальниці, встановлені в литому корпусі. Для вивірення бічного й радіального зазорів корпус підвінцевої шестірні може бути пересунутим у напрямку, перпендикулярному поздовжньої осі барабана. Електродвигуни приводів барабанних змішувачів змінного струму мають кілька ступенів регулювання частоти обертання. Електродвигуни постійного струму – з безступінчастим регулюванням частоти обертання. Кожний опорний ролик напресований на вісь, яка опирається на сферичні вальниці, установлені в чавунному литому корпусі. Регулювання положення опорного ролика щодо бандажа барабана і його фіксування здійснюються за допомогою двох гвинтових упорів, закріплених на рамі із зовнішньої сторони корпусу ролика. Кожний упорний ролик установлений на вальницях кочення, змонтованих на вертикальній осі.

Зустрічаються конструкції, коли упорні ролики мають різний пристрій: нижній - силовий ролик більшого діаметра - сприймає осьове зусилля від нахилу барабана, а верхній - контрольний - установлюється для запобігання аварійного «відходу» барабана нагору при розкосі опорних роликів.

Очисний пристрій призначений для зрізання під час роботи огрудковувачів із внутрішньої поверхні барабана зайвого шару налиплого матеріалу. Пристрій складається з балки із установленими на ній шкребками (різцями). Балка з різцями розміщується всередині уздовж барабана. Вона може бути рухливою з електромеханічним приводом або стаціонарно встановленою на опорах завантажувальної вирви й розвантажувальної камери.

Шихтові матеріали подаються в барабан по завантажувальній вирві. З метою зменшення налипання шихти днище вирви обладнане змінним вібролистом. На нижній похилій стінці вирви встановлюють електровібратор.

При періодичному включенні вібратора відбувається обвалення налиплого матеріалу зі стінок завантажувальної вирви. На нижній частині вирви всередині барабана встановлені козирки, які в комбінації з відбійним конусом на торцевій стінці перешкоджають просипу шихти з барабана.

Готовий матеріал через відкритий торець барабана вивантажується по розвантажувальній камері на конвеєр або на човниковий розподільник шихти. Розвантажувальна камера зварної конструкції рознімна. Верхня частина камери відкрита і має фланець для приєднання до цехової аспіраційної системи. Нижня частина камери звужується й кінчається прямокутним отвором, через який розвантажувальна камера вивантажується шихта. У торцевій стінці камери є люк з дверцятами для взяття проб шихти й огляду. Для освітлення внутрішнього простору барабана на розвантажувальній камері встановлюють прожектор.

Для зволоження шихти передбачаються водопроводи й форсунки всередині барабана. На кожному трубопроводі встановлені сітчасті фільтри й запорні крани. Для можливості використання технічної води, що містить суспензії, сучасні конструкції форсунок для розпилення використовують стисле повітря й мають вихідний отвір до 6-8 мм [7].

Не зважаючи на перевагу над чашовими огрудковувачами у сфері продуктивності будова барабанних змішувачів-огрудковувачів далека від конструктивної досконалості і потребує подальшого розгляду в плані можливої модернізації.

При вмісті в тонкоподрібнених концентратах 75-80 % часток розмірами менше 50 мкм матеріал піддають огрудкуванню. Агрегати, в яких відбувається огрудкування шихти, називають огрудковувачами або грануляторами [8].

Конструкції барабанних змішувачів-огрудковувачів є відносно простими в експлуатації та виробництві, але і вони ще далекі від конструктивної досконалості.

Так в роботі [9] описується доволі оригінальна конструкція барабанного огрудковувача, який задля збільшення продуктивності виконано багатоконусним

і таким чином має більшу внутрішню поверхню при однакових зі звичайним барабаном габаритах.

Даний огрудковувач (рис. 1.5), складається з барабану 1, усередині якого розміщається сім вставок 2, що утворюють усічені конуси, причому більший діаметр конуса звернений убік розвантаження.

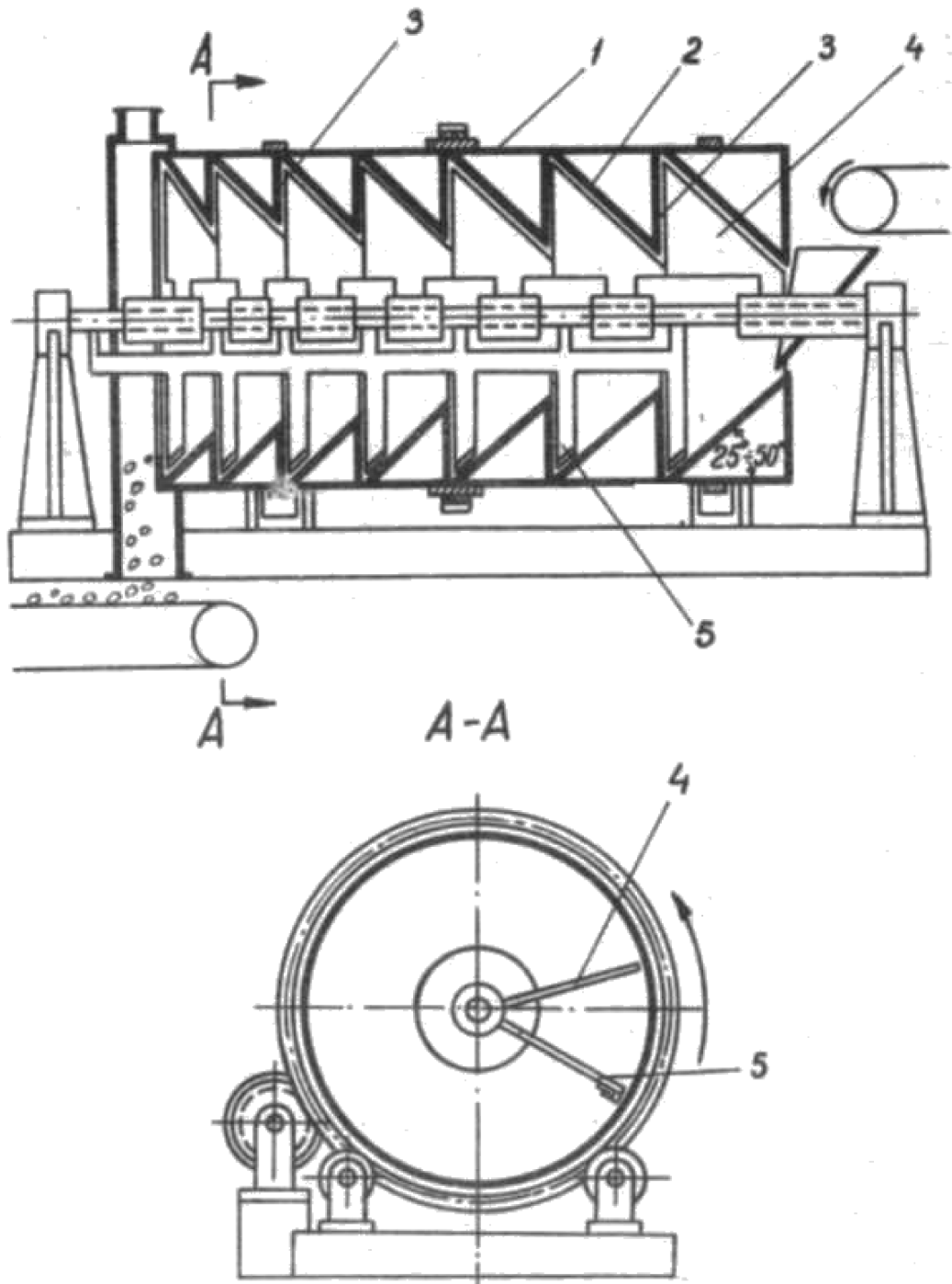


Рисунок 1.5 – Багатоконусний барабанний огрудковувач (позиції наведено в тексті)

Висота виступів 3 поступово зменшується до вихідного кінця, так що лінія, проведена через вершини виступів, утворить з горизонталлю кут 3-6°. Відстань між виступами, що постійно зменшується до вихідного кінця, вибирається таким, щоб кут нахилу утворюючої вставки до поверхні барабана становив 25-50°. Найкращі результати виходять при куті 34°. Налипий на внутрішню поверхню огрудковувача матеріал віддаляється нерухомими шкребками 4.

Для передачі матеріалу з однієї секції в іншу служать піднімальні злегка загнуті лопатки 5. Положення лопаток регулюється залежно від швидкості обертання барабана. При такій конструкції огрудковувача істотно збільшується тривалість перебування в ньому матеріалу і відповідно питома продуктивність на одиниці об'єму.

З аналізу роботи барабанних змішувачів-огрудковувачів аглофабрик видно, що основним недоліком їхньої роботи є налипання шихти на стінки барабану, за рахунок чого знижується вихід готової продукції та значно зростають навантаження на несучі елементи конструкції, внаслідок чого виникають непланові простой обладнання на ремонтні простой. В світовій та вітчизняній практиці існує декілька варіантів вирішення проблеми налипання шихти на стінки барабану змішувачів.

Так, наприклад, авторським свідоцтвом [10], пропонується така конструкція барабанного огрудковувача, що містить з'єднаний із приводом обертання циліндричний корпус, живильник і ніж, розміщений у верхній частині барабана, що відрізняється тим, що, з метою збільшення продуктивності огрудковувача, підвищення міцності й рівномірності гранулометричного складу окатишів, ніж установлено під кутом 15-80° до дотичної барабана й зміщений від вертикальної осі барабана убік протилежну напрямку обертання на 0,2-0,8 радіуса барабана.

Автори [11] пропонують наступну конструкцію барабанний змішувач-огрудковувач шихти, що містить раму, опорні й упорні ролики, завантажувальну вирву, барабан з бандажами, зубчастим вінцем і приводом, систему зволоження шихти, вал із гвинтовим шнеком, що відрізняється тим, що, з метою підвищення

ефективності огрудковування, діаметр гвинтового шнека виконаний таким, що збільшується від завантажувальної до розвантажувальної частини барабана від 0,8-0,9 до 0,93-0,99 внутрішнього діаметра барабана, причому ширина спіралі шнека рівна 0,03-0,06 діаметра барабан. Але в умовах існуючого обладнання виконання гвинтового шнека є доволі трудомісткою та затратною операцією.

Авторським свідоцтвом [12] пропонується підвищення продуктивності існуючих конструкцій барабанних змішувачів. Поставлена мета досягається тим, що установка для змішування й огрудковування агломераційної шихти, має конструкцію, котра тримає короб із закріпленою на ній ґратами, що має опору через амортизатори на раму, колектор, систему труб для підведення до короба стислого повітря або пару й дебалансний вал із приводом, ґрати виконані з відділів – поздовжніх криволінійних гнізд, причому центральне гніздо, вісь якої збігається з поздовжньою центральною площиною симетрії короба, виконана у вигляді напівциліндра, а інші – у вигляді гіперболоїда обертання, причому гнізда ліворуч і праворуч від центральної представляють собою дзеркальні відображення один одного, а дебалансний вал розташований над центральним гніздом уздовж неї. Крім того, отвори ґрат виконані зі змінним кутом до поверхні ґрат. Але світова практика використання схожих конструкцій вказує на їхню доволі низьку ефективність

1.4 Пропозиції щодо поліпшення технічних характеристик обладнання та обґрунтування обраного напрямку досліджень

Найближчим до рішення поставлених задач являється пропозиція висвітлена в авторському свідоцтві [13]. Ціль досягається тим, що барабанний огрудковувач комплектується закріпленою в розвантажувальній частині на діаметрально протилежних сторонах еластичною перегородкою з куточками, прикріпленими по обидва боки, при цьому довжина перегородки рівна $2/3-1/2$ довжини барабана, а ширина 1,05-1,1 внутрішнього діаметра барабана.

Барабанный огрудковувач (рис.1.6) містить в своєму складі циліндричний корпус 1, установлений на опорних котках 2. Всередині барабана перебуває поздовжня перегородка 3 з еластичного матеріалу, наприклад гуми, яка закріплена в діаметрально протилежних точках внутрішньої порожнини. По обидва боки перегородки жорстко кріпляться за допомогою заклепок куточки. Обсяг заповнення барабана шихтою вибирається дослідним шляхом і перебуває в межах 10-15 %.

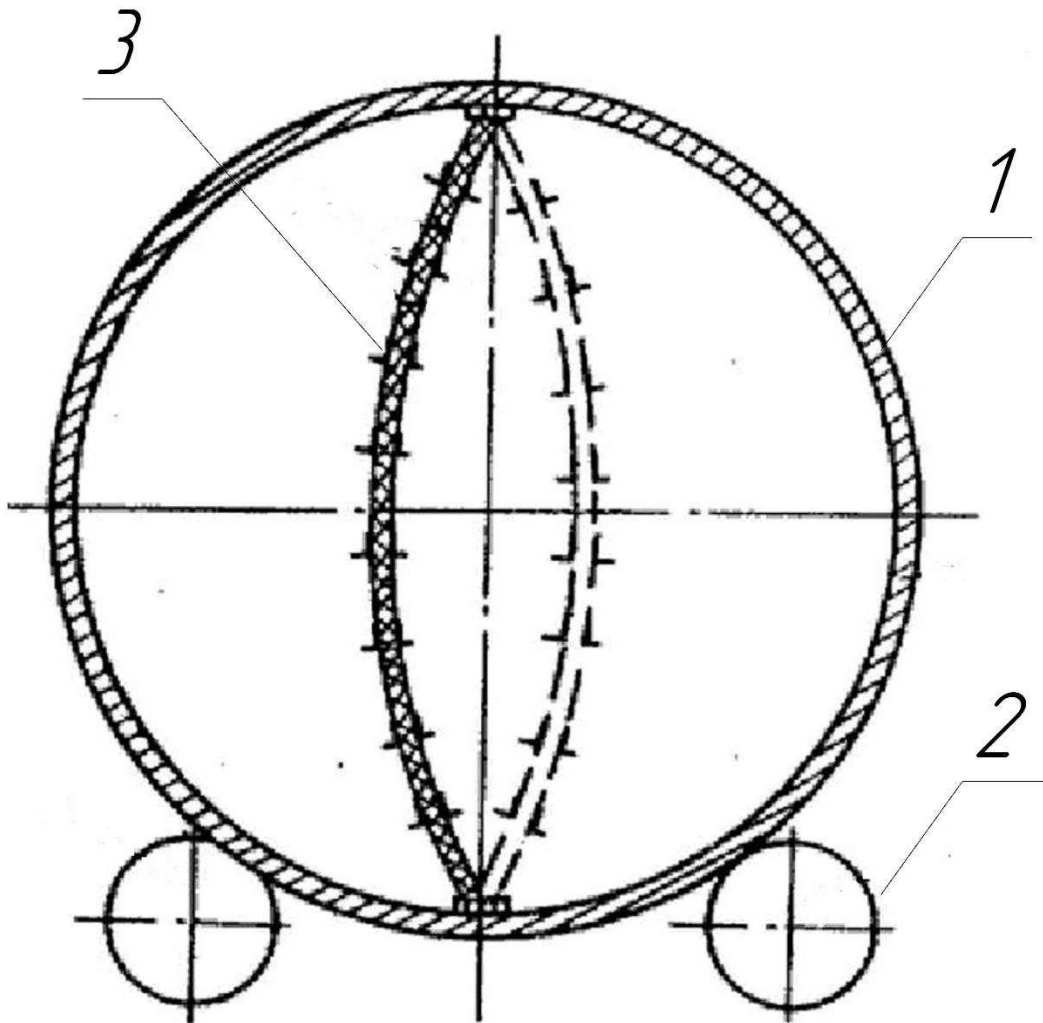


Рисунок 1.6 – Пропозиція з модернізації змішувача-огрудковувача
(позиції наведено в тексті)

Зволожена шихта в завантажувальній частині барабана розділяється на два потоки за допомогою еластичної перегородки й подальше її огрудковування здійснюється у двох порожнинах барабана. Перегородка встановлена з боку

розвантажувального кінця на відстані $2/3-1/2$ довжини барабана. Розміщення перегородки в таких межах вибирається з урахуванням діаметра, довжини й швидкості обертання барабана. Установка еластичної перегородки, ширина якої в 1,05-1,1 раза більша діаметра барабана, дозволяє шихті займати положення, відповідне до кривизни огрудковуємої поверхні.

Куточки на перегородці запобігають ковзанню огрудковуємих матеріалів з поверхні еластичного матеріалу й тим самим збільшують термін служби перегородки.

Перевага описуваного огрудковувача полягає в тому, що при мінімальній металоємності барабана забезпечується висока якість підготовки шихти. Огрудковування шихти в порожнинах циліндра, утворених поздовжньою еластичною перегородкою, дозволяє збільшити довжину шляху огрудковування й пропорційно цьому збільшити ступінь грануляції матеріалу при незмінній продуктивності агрегату. Крім того, конструктивне виконання барабана нескладне й не вимагає більших енерговитрат при експлуатації.

Сучасна технологія агломерації пред'являє підвишені вимоги до якості підготовки спікаємих матеріалів. Найкращим способом змішуються частки однакової крупності, вологості та форми. Тому гомогенізація агломераційної шихти та наступне гранулоутворення в барабанах-огрудковувачах будуть залежати від ступеня однорідності гранулометричного та хімічного складу компонентів шихти [14].

Змішувачі-огрудковувачі призначені для змішування й огрудковування в одному агрегаті агломераційної шихти й повернення з додаванням води з метою додання їй зернистості й підвищеної газопроникності [8].

Гранулометричний склад огрудкованої аглошихти, який визначає фільтруючу здатність агломеруємого шару, залежить від вихідного складу шихти; конструкції змішувачів, огрудковувачів і режимів їх роботи, виражаються через середньозважену крупність, еквівалентну по поверхні крупність, порізність шару, і через тривалість змішування й огрудковування, і т.д. Агломераційна шихта представляє собою полідисперсний матеріал, що

складається з огрудкованих гранул різних фракцій, що є одним з головних факторів, які визначають газопроникність спікаємого шару й результат аглопроцеса [13].

Головним завданням вивчення процесу огрудкування є встановлення мінімально необхідного часу обробки шихти в грануляторі, при якому виходить добре огрудкований матеріал. Цей час залежить як від властивостей огрудковуємого матеріалу, так і від технологічних факторів і робочих параметрів огрудковувачів: діаметра, довжини, кута нахилу, швидкості обертання, ступені заповнення й ін. У зв'язку із цим для розробки найбільш робочої технології огрудкування потрібно знайти оптимальні параметри роботи грануляторів [16].

Безпосередньо удосконалювання процесу огрудкування можливе двома методами – внутрішнього й зовнішнього впливу:

- внутрішнього впливу – через склад шихти, попередньою грануляцією окремих її компонентів, добавкою в шихту в'язких матеріалів (вапно, ПАР);
- зовнішнього впливу – шляхом зміни апаратурного забезпечення процесу огрудкування, комбінації відомих огрудковуючих апаратів, зміни роботи існуючого устаткування, застосування нової техніки. [17]

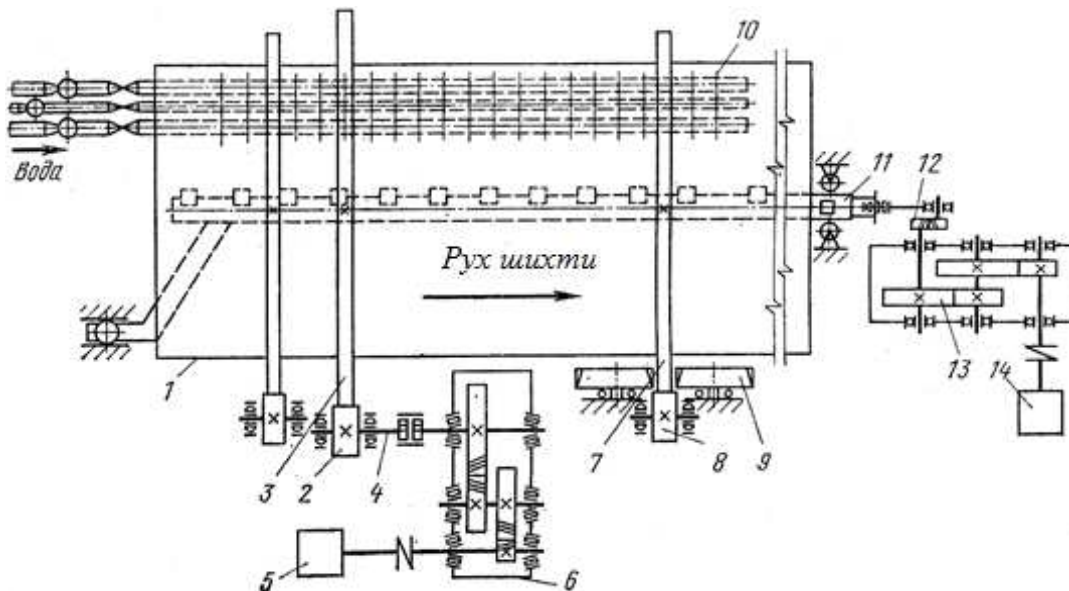
Таким чином, підсумовуючи все вищесказане, можна зробити висновок, що при роботі барабанного змішувача-огрудковувача важливою частиною є встановлення оптимальних параметрів технологічного процесу змішування та огрудкування шихти експериментальним шляхом на лабораторних моделях, чому й присвячено данну роботу.

2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

2.1 Теоретичний розрахунок потужності огрудкування шихти

На даний момент в аглоцеху ПАТ «Запоріжсталь» для змішування, зволоження й огрудкування шихти перед спіканням використовується змішувач-огрудковувач, кінематичну схему приводу якого наведено на рисунку 2.1, що має наступну технічну характеристику:

1. Число обертів барабана, хв^{-1}	8,48
2. Діаметр барабана (внутрішній), м	2,5
3. Довжина барабана, м	7,5
4. Електродвигун головного приводу АО-94-6:	
– частота обертів, хв^{-1}	985
– потужність, кВт	75
5. Редуктор головного приводу ЦДН-630-22,4-21:	
– передаточне число, i	22,4
– маса редуктора, кг	3330



1 – барабан; 2 – шестерня проміжного вала; 3 – зубчастий вінець; 4 – проміжний вал; 5 – електродвигун; 6 – циліндричний редуктор; 7 – бандаж; 8 – опорний ролик; 9 – упорний ролик; 10 – труба; 11 – очисний пристрій; 12 – кривошипно-шатунний механізм; 13 – циліндричний редуктор; 14 – електродвигун

Рисунок 2.1 – Кінематична схема приводу змішувача-огрудковувача

Таким чином, зогляду на технічну характеристику змішувача-огрудковувача початковими даними до розрахунку є:

$R_1=1265$ мм – зовнішній радіус барабана;

$R_2=1250$ мм – внутрішній радіус барабана;

$\gamma=15$ мм – товщина стінок барабана;

$L=10000$ мм – довжина барабана.

Визначимо силу ваги бочки барабана:

$$P_{\text{боч}} = (4 \cdot R_1^2 - 4 \cdot R_2^2) \cdot L \cdot \gamma, \quad (2.1)$$

де $\gamma=78,5$ кН/м³ – питома вага сталі.

$$P_{\text{боч}} = (4 \cdot 1,265^2 - 4 \cdot 1,25^2) \cdot 10 \cdot 78,5 = 112,46 \text{ кН}$$

Вага елементів металоконструкцій, що належать барабану, складає 25% ваги бочки і рівний $P_{\text{ел}}=28,115$ кН.

Маса шихти, що завантажується в барабан (за даними технологічної служби цеху) складає 8-10% об'єму барабана:

$$P_{\text{ш}} = V_{\text{ш}} \cdot \gamma_{\text{ш}}, \quad (2.2)$$

Об'єм барабана:

$$V_{\text{бар}} = \pi \cdot R_2^2 \cdot L = 3,14 \cdot 1,25^2 \cdot 10 = 49,08 \text{ м}^3$$

8-10% від об'єму складає 3,92 м³.

Питома вага шихти складає $\gamma_{\text{ш}}=18-20$ кН/м³.

Тоді вага шихти в барабані:

$$P_{\text{ш}} = 3,92 \cdot 18 = 70,67 \text{кН}$$

Загальна вага барабана і шихти складе:

$$P_{\text{бар}} = P_{\text{боч}} + P_{\text{эл}} + P_{\text{ш}}, \quad (2.3)$$

Підставивши отримані значення, отримаємо:

$$P_{\text{бар}} = 112,46 + 28,115 + 70,67 = 211,245 \text{кН}$$

Для спрощення розрахунків приймемо допущення, що при обертанні барабана шихта розподіляється рівномірно по внутрішньому діаметру бочки.

Використовуючи теорему про кінетичну енергію системи, запишемо рівняння [18]:

$$T - T_0 = \sum A, \quad (2.4)$$

де T – кінетична енергія в конусі при повороті;

T_0 – кінетична енергія в початковий момент.

Зміна кінетичній енергії системи відбувається за рахунок прикладеного до системи моменту, робота якого дорівнює A :

$$A = M_{\text{кр}} \cdot \varphi, \quad (2.5)$$

де φ – кут повороту системи при досягненні номінальних обертів в радіанах.

Кінетична енергія повороту барабана дорівнює:

$$T = \frac{I \cdot \omega^2}{2}, \quad (2.6)$$

де I – момент інерції системи;

ω – кутова швидкість системи.

Оскільки в початковий момент часу система була нерухомою, то справедливий вираз-рівність, у цей момент її кінетична енергія дорівнює нулю:

$$T = \frac{I \cdot \omega_0^2}{2} = 0$$

Тоді вставивши вирази (2.4-2.6), отримаємо вираз для крутного моменту:

$$\frac{I \cdot \omega^2}{2} = M_{\text{кр}} \cdot \varphi,$$

$$M_{\text{кр}} = \frac{I \cdot \omega^2}{2 \cdot \varphi}, \quad (2.7)$$

Момент інерції I знайдемо з формули для порожнього циліндра [19]:

$$I = \frac{m \cdot (R_1^2 + R_2^2)}{2}, \quad (2.8)$$

де m – маса барабана, розподілена по ободу.

Тоді, вираз 2.8 прийме вигляд:

$$I = \frac{P_{\text{БАР}} \cdot (R_1^2 + R_2^2)}{2 \cdot g}, \quad (2.9)$$

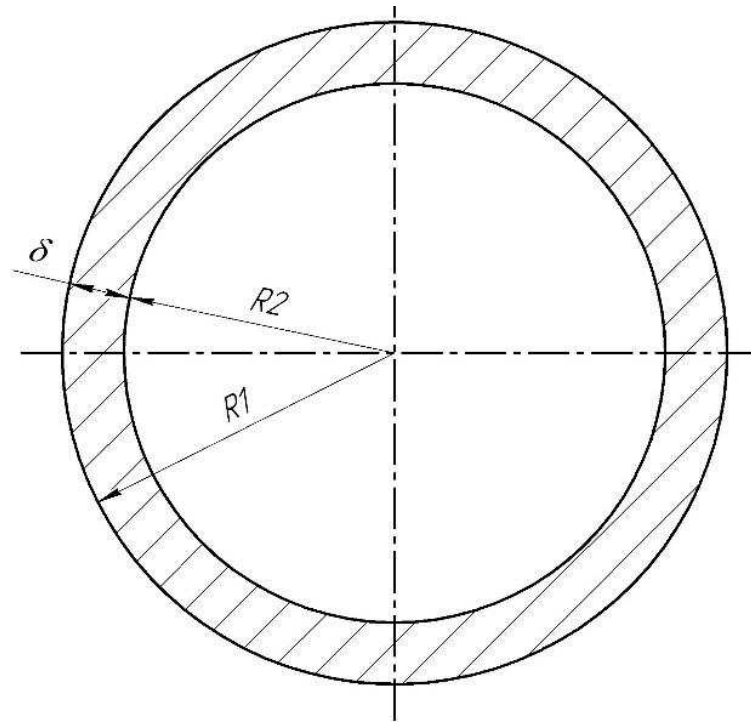


Рисунок 2.2 – Схема до визначення крутного моменту на барабані

Підставивши чисельні значення, отримаємо:

$$I = \frac{211,245 \cdot (1,265^2 + 1,25^2)}{2 \cdot 9,81} = 29,052 \text{ кН} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2$$

Кутову швидкість системи визначимо з виразу:

$$\omega = \frac{\pi \cdot n_{\text{БАР}}}{30}, \quad (2.10)$$

де $n_{\text{бар}}=8,48 \text{ хв}^{-1}$ – число обертів барабана (дані з технічної характеристики машини).

$$\omega = \frac{3,14 \cdot 8,48}{30} = 0,2826\pi \text{ рад/с}$$

Підставивши отримані значення у вираз 2.7, одержимо значення моменту, що крутить барабан:

$$M_{\text{кр.бар}} = \frac{29,052 \cdot (0,2826 \cdot \pi)^2}{2 \cdot 0,05 \cdot \pi} = 72,889 \text{ кНм}$$

Передаточне число приводу барабана можна визначити з виразу:

$$i_{\text{б}} = \frac{D}{d}, \quad (2.11)$$

де $D=3360$ мм – дільний діаметр зубчастого колеса барабана;

$d=648$ мм – дільний діаметр зубчастої шестерні приводного валу.

$$i_{\text{б}} = \frac{3360}{648} = 5,185$$

У вузлі приводу встановлений циліндричний горизонтальний двоступінчастий редуктор ЦДН-630-22,4-21 з передаточним числом $i_{\text{р}}=22,4$.

Загальне передаточне число приводу дорівнює:

$$i = i_{\text{б}} \cdot i_{\text{р}} = 5,185 \cdot 22,4 = 116,144$$

Визначимо крутний момент на приводному валу:

$$M_{\text{пр.в.}} = \frac{M_{\text{кр.бар}}}{i_{\text{б}} \cdot \eta}, \quad (2.12)$$

де $\eta=0,95$ – ККД зубчастої пари.

Тоді:

$$M_{\text{пр.в.}} = \frac{72,889}{5,185 \cdot 0,95} = 14,797 \text{ кНм}$$

Число обертів приводного валу дорівнює:

$$n_{\text{пр.в.}} = n_{\text{бар}} \cdot i_{\text{б}} = 8,48 \cdot 5,185 = 43,968 \text{ хв}^{-1}.$$

Число обертів тихохідного валу редуктора дорівнює числу обертів приводного валу $n_{\text{т.}} = n_{\text{пр.в.}} = 43,968 \text{ хв}^{-1}$.

Число обертів швидкохідного валу редуктора, а значить і електродвигуна:

$$n_{\text{дв}} = n_{\text{б}} = n_{\text{т}} \cdot i_{\text{п}} = 42,25 \cdot 22,4 = 984,93 \text{ хв}^{-1}.$$

Момент на тихохідному валу редуктора:

$$M_{\text{т}} = M_{\text{пр.в.}} = 14,797 \text{ кНм}$$

Момент на швидкохідному валу редуктора:

$$M_{\text{б}} = \frac{M_{\text{т}}}{i_{\text{п}} \cdot \eta_1 \cdot \eta_2}, \quad (2.13)$$

де $\eta_1=0,97$; $\eta_2=0,96$ – ККД зубчастих зачеплень кожного із ступенів редуктора.

$$M_{\text{б}} = \frac{14,797}{22,4 \cdot 0,97 \cdot 0,96} = 0,7093 \text{ кНм}$$

Потрібний момент на валу електродвигуна:

$$M_{\text{дв}} = M_{\text{б}} = 0,7093 \text{ кНм}$$

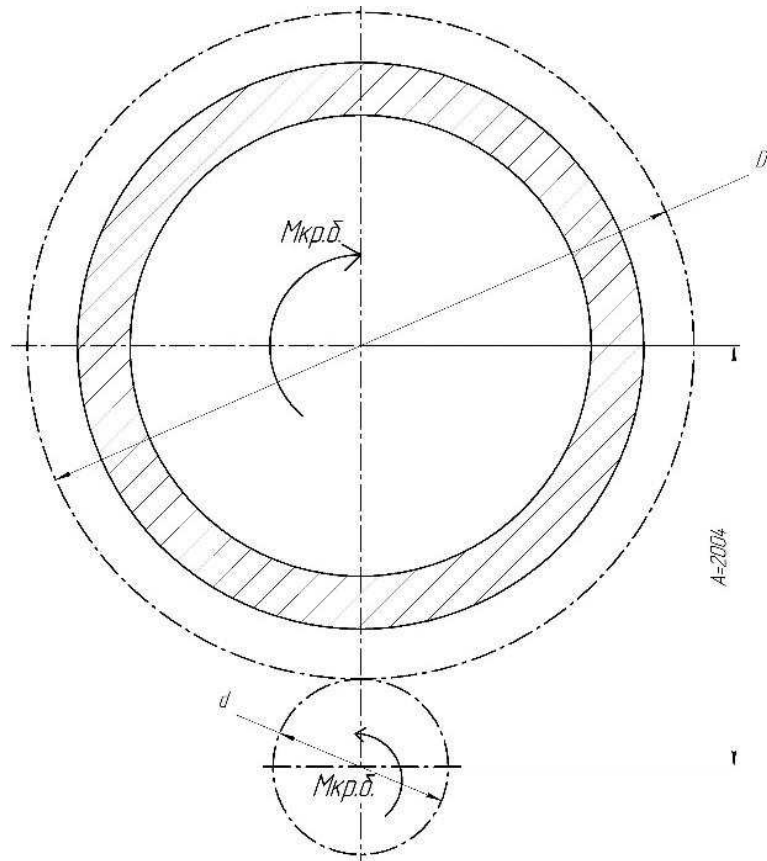


Рисунок 2.3 – Схема до визначення потужності приводу барабана

Тоді потрібна потужність електродвигуна буде:

$$P = \frac{M_{\text{дв}} \cdot n_{\text{дв}}}{975} = \frac{0,7093 \cdot 984,93}{975} = 71,66 \text{ кВт}, \quad (2.14)$$

На підставі розрахункових даних вибираємо електродвигун 2В280S6 вибухобезпечного виконання з характеристиками: $n_{\text{дв}}=985 \text{ хв}^{-1}$; $P_{\text{дв}}=75 \text{ кВт}$. По каталогу вибираємо редуктор ЦДН-630-22,4-21 при числі обертів швидкохідного валу $n_6=1000 \text{ хв}^{-1}$ і реверсивному навантаженні може передати потужність 180 кВт.

2.2 Розрахунок відкритої зубчастої передачі

Зачеплення пари приводний вал-барабан циліндричне прямозубе без зсуву. Початкові параметри: модуль зачеплення $m=24$ мм; число зубів колеса і шестерні $Z_k=140$; $Z_{ш}=27$.

Визначимо міжосьову відстань (рис.2.4):

$$a_w = \frac{(z_k + z_{ш})}{2} m = \frac{(140 + 27)}{2} 24 = 2004 \text{ мм}$$

Основні розміри, мм:

- колеса:

$$D_k = m \cdot z_k = 24 \cdot 140 = 3360; \text{ мм}$$

$$D_a = D_k + 2 \cdot m = 3360 + 2 \cdot 24 = 3408; \text{ мм}$$

$$D_f = D_k - 2(c+m) = 3360 - 2(6+24) = 3300; \text{ мм}$$

$$B_k = 180 \text{ мм}$$

- шестерні:

$$d_{ш} = m \cdot z_{ш} = 24 \cdot 27 = 648; \text{ мм}$$

$$d_a = d_{ш} + 2 \cdot m = 648 + 2 \cdot 24 = 696; \text{ мм}$$

$$d_f = d_{ш} - 2(z+m) = 648 - 2(6+24) = 588; \text{ мм}$$

$$b_{ш} = 190 \text{ мм}$$

При визначенні зусиль в зачепленні (рис.2.4) нехтують силами тертя, викликаними ковзанням профілів, розподілене навантаження замінюють зосередженою силою прикладеною в середині зубчастого вінця.

Окружне зусилля дорівнює:

$$P_w = \frac{2 \cdot M_{\text{пп.в.}}}{d_{ш}} = \frac{2 \cdot 14,79}{0,648} = 45,648 \text{ кН}, \quad (2.15)$$

Радіальне зусилля дорівнює:

$$P_R = P_W \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (2.16)$$

де $\alpha=20^\circ$ – кут зачеплення.

$$P_R = 48,8 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ = 17,8 \text{ кН}$$

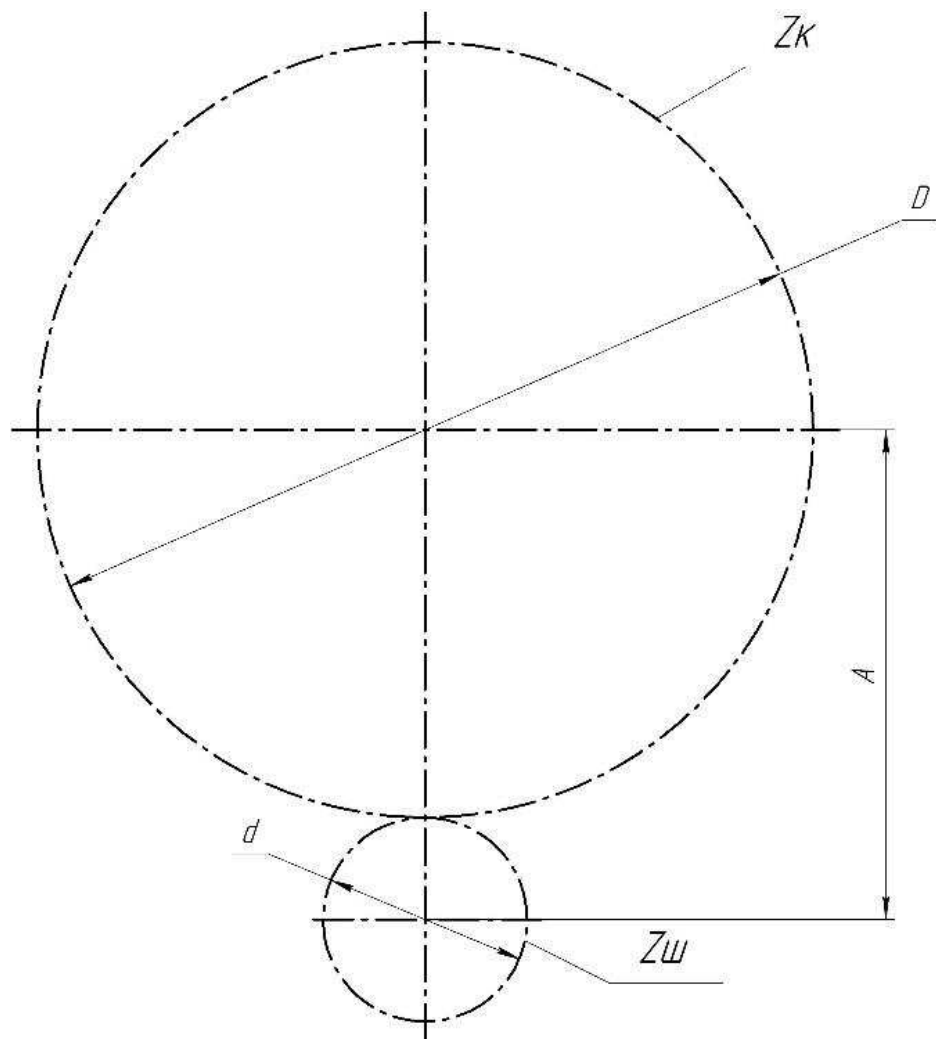


Рисунок 2.4 – Схема до визначення геометричних розмірів зачеплення

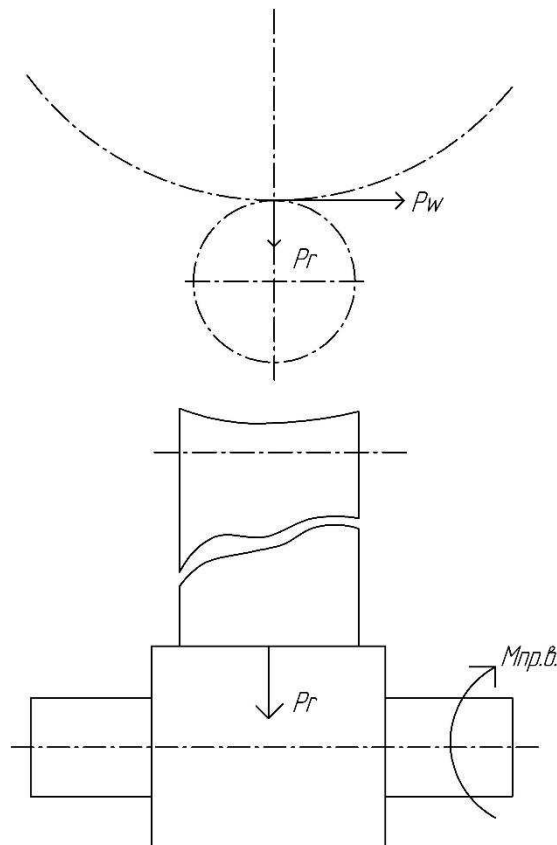


Рисунок 2.5 – Схема до визначення зусиль в зачепленні

Насправді із-за нерівномірного розподілу навантаження по ширині зубчастого вінця результуюча сила зміщена від середини зубчастого вінця, проте цей зсув не перевищує $1/6$ ширини вінця B і ним можна знехтувати при визначенні зусиль в опорах і розрахунку приводного вала на міцність.

2.3 Розрахунки на міцність та довговічність

2.3.1 Розрахунок приводного вала на міцність

З умов навантаження приводного вала розглядаємо його як балку на двох опорах (рис.2.6), навантажену радіальним зусиллям P_R і крутним моментом $M_{пр.в.}$

$P_R=16,65$ кН $M_{пр.в.}=14797$ Н м

Визначимо реакції в опорах А і В:

$$R_A = R_B = \frac{P_R}{2} = \frac{16,65}{2} = 8,325 \text{ кН}$$

Небезпечним перетином є перетин під силою P_R .

Момент в небезпечному перетині згинаючий :

$$M_{\text{и}} = R_A \cdot l_1 = 8,325 \cdot 0,19 = 1581 \text{ Нм}$$

де $l_1=0,19$ м – плече сили R_A .

Визначимо напруження в небезпечному перерізі від перерізуючої сили і моменту, що вигинає:

$$\sigma = \frac{P_R}{F} + \frac{M_B}{W_B} \leq [\sigma_B], \quad (2.17)$$

де F – площа поперечного перерізу;

W_B – момент опору вигину.

$$F = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,17^2}{4} = 0,0227 \text{ м}^2$$

$$W_B = 0,1 \cdot d^3 = 0,1 \cdot 0,17^3 = 491,3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$$

$[\sigma_B] = 135$ МПа – допустиме значення напружень по вигину.

Тоді:

$$\sigma = \frac{16650}{0,0227} + \frac{14797}{491,3 \cdot 10^{-6}} = 30,85 \text{ МПа} < [\sigma]_{\text{и}} = 135 \text{ МПа}$$

Умова виконується.

Визначимо напруження в небезпечному перерізі від крутного моменту:

$$\tau = \frac{M_{\text{пр.в}}}{0,2 \cdot d^3} = \frac{14797}{0,2 \cdot 0,17^3} = 15,02 \text{ МПа} < [\tau_k] = 80 \text{ МПа}, \quad (2.18)$$

де $[\tau_k] = 80 \text{ МПа}$ – допустиме значення напруження по крученню.

Умова виконується.

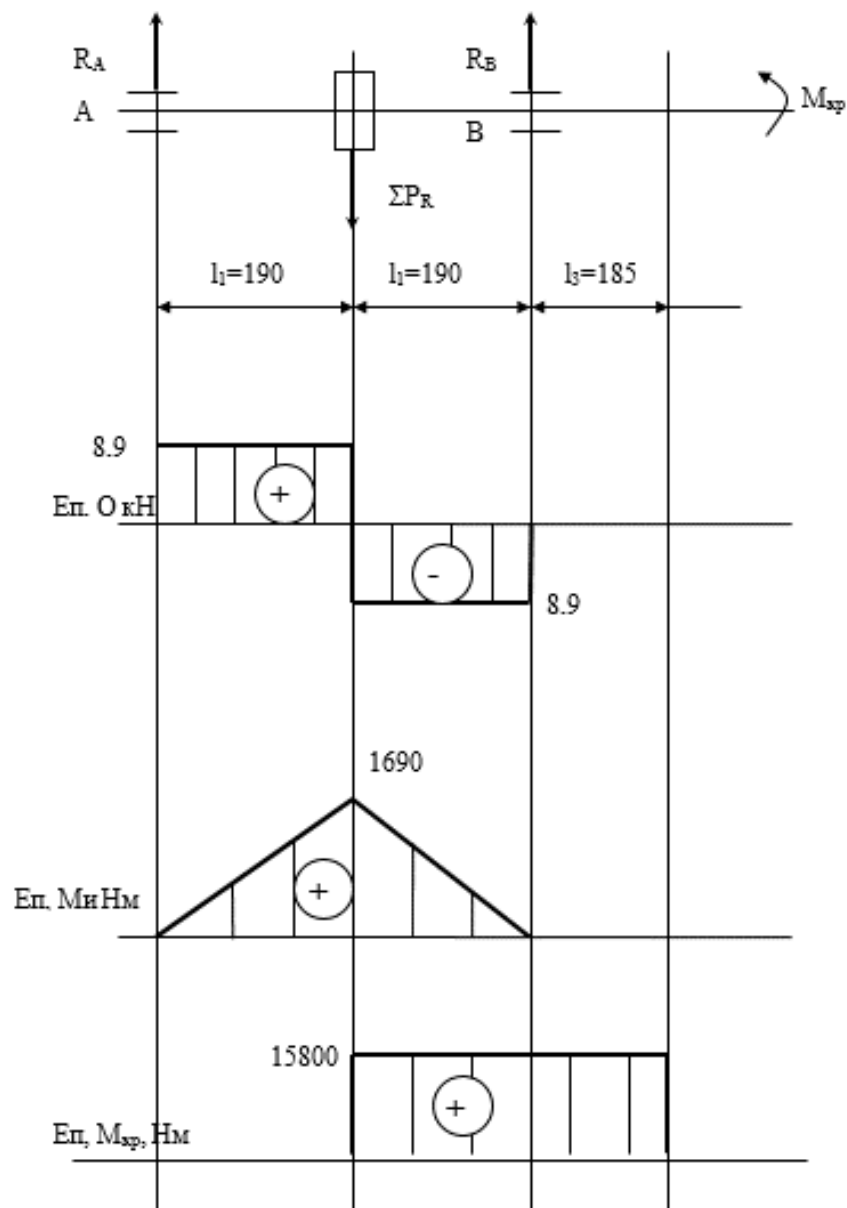


Рисунок 2.6 – Схема сил навантаження, епюри сил, що перерізують, згинаючого і крутного моментів

Всі допустимі напруження взяті з урахуванням того, що навантаження є знакозмінним, тобто вал під навантаженням може обернутися в обидві сторони. Отже, вал задовольняє умові міцності.

2.3.2 Розрахунок вальниць приводного вала на циклічну довговічність

На валу встановлені радіальні сферичні дворядні підшипники №3526 по [20], з параметрами $d=130\text{мм}$; $D=230\text{мм}$.

$C=342$ кН - динамічна вантажопідйомність;

$C_0=381$ кН - статична вантажопідйомність;

$n_{\text{пр}}=1600$ об/хв – гранична частота обертання;

$P_R=8,325$ кН - радіальне навантаження на підшипник;

$n_{\text{п}}=43,968$ об/хв – число обертів підшипника

Номінальна довговічність підшипників складає (у мільйонах оборотів):

$$L = \left(\frac{C}{P}\right)^{\rho}, \quad (2.19)$$

де $C=342$ кН – динамічна вантажопідйомність;

P – еквівалентне динамічне навантаження;

$\rho=10/3$ – показник статичної навантаженості.

Еквівалентне динамічне навантаження дорівнює:

$$P = x \cdot V \cdot P_R \cdot K_{\sigma} \cdot K_T, \quad (2.20)$$

де $x=0,75$ – коефіцієнт радіального навантаження [21];

$V=1$ – коефіцієнт обертання [21];

$K_{\sigma}=1,2$ – коефіцієнт безпеки [21];

$K_T = 1,05$ – температурний коефіцієнт [21].

Тоді:

$$P = 0,75 \cdot 1 \cdot 8,325 \cdot 1,2 \cdot 1,05 = 7,86 \text{ кН}$$

Підставивши отримані значення, отримаємо:

$$L = \left(\frac{342}{16,8}\right)^{10/3} = 283742 \text{ млн обертів} = 2,5 \cdot 10^{10} \text{ обертів}$$

Що задовольняє умовам роботи металургійного обладнання.

2.3.3 Перевірочний розрахунок шпонки приводного вала

На валу встановлена шпонка призматична 36x20x160 виконання В [22], основні параметри шпонкових з'єднань наведено в таблиці 2.1. Схему до розрахунку з'єднання наведено на рисунку 2.6

Перевіримо робочі грані шпонки на зминання і зрізання.

Таблиця 2.1 – Параметри шпонкових з'єднань

Вал	Ділянка	Діаметр, мм	Крутний момент, Н·м	Розміри шпонки, мм		
				b×h×l	t ₁	t ₂
Приводний	шестерня	d=160	M _{пр.в.} =14797	36×20×160	12	8,4

Перевірка шпонки на зминання:

$$\sigma_{зм} = \frac{2 \cdot M_{\text{пр.в.}} \cdot 10^3}{d \cdot t_2 \cdot l_p} < [\sigma_{зм}], \quad (2.21)$$

де $[\sigma_{зм}] = 140 \text{ МПа}$ – допускаєме напруження зминання;

$l_p = 160$ мм – робоча довжина шпонки.

$$\sigma_{зм} = \frac{2 \cdot 14797 \cdot 10^3}{160 \cdot 8,4 \cdot 160} = 137 \text{ МПа} > [\sigma_{см}] = 140 \text{ МПа}$$

Умова виконується.

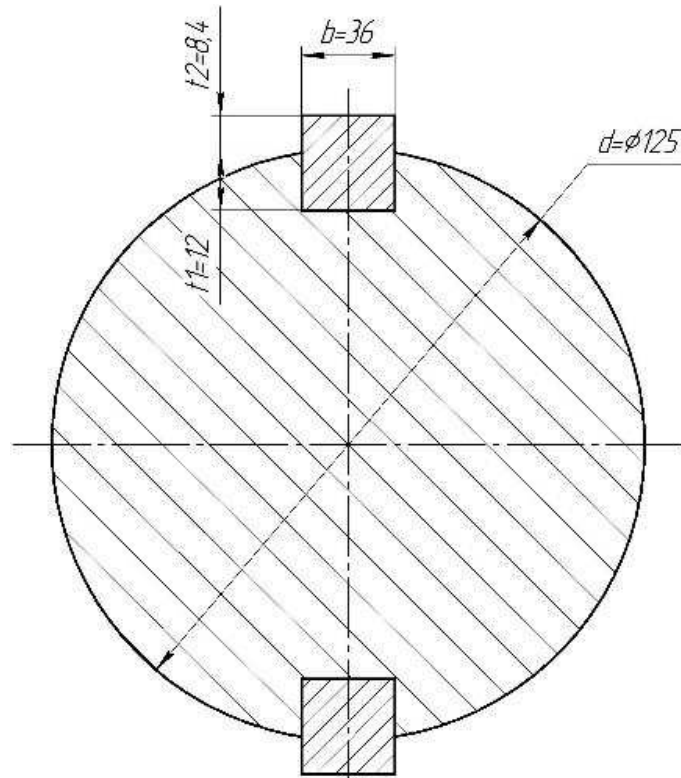


Рисунок 2.7 – Схема до розрахунку шпонки приводного вала

Перевірка шпонки на зріз:

$$\tau_{зр} = \frac{2 \cdot M_{\text{пр.в.}} \cdot 10^3}{2 \cdot d \cdot b \cdot l_p} \leq [\tau_{зр}], \quad (2.22)$$

де $[\tau_{зр}] = 90$ МПа – допускаєме напруження на зрізання.

$$\tau_{зр} = \frac{2 \cdot 14797 \cdot 10^3}{160 \cdot 36 \cdot 160} = 32 \text{ МПа} < [\tau_{зр}] = 90 \text{ МПа}$$

Умови на зминання і зріз виконуються.

2.3.4 Розрахунок роликів опор барабанного змішувача-огрудковувача на міцність

Барабан опирається на 4 опорних ролика:

$$P_{\text{БАР}} = 211,245 \text{ кН}$$

На ліву пару роликів доводиться $1/2 P_{\text{бар}}$ (рис.2.7):

$$\frac{1}{2} P_{\text{БАР}} = \frac{211,245}{2} = 105,62 \text{ кН}$$

Звідки:

$$P_1 = \frac{P_{\text{БАР}}}{2} \cdot \cos \alpha, \quad (2.23)$$

де $\alpha=30^\circ$ – кут між напрямом сили P_1 і вертикальною віссю.

$$P_1 = \frac{105,62}{2} \cdot \cos 30 = 91,46 \text{ кН}$$

$$P_2 = \sqrt{\left(\frac{P_{\text{БАР}}}{2}\right)^2 - P_1^2} = \sqrt{105,62^2 - 91,46^2} = 52,81 \text{ кН}$$

Тоді нормальна складова зусилля на кожен ролик дорівнює:

$$P_p = \frac{P_1}{2} = \frac{91,46}{2} = 45,73 \text{ кН}$$

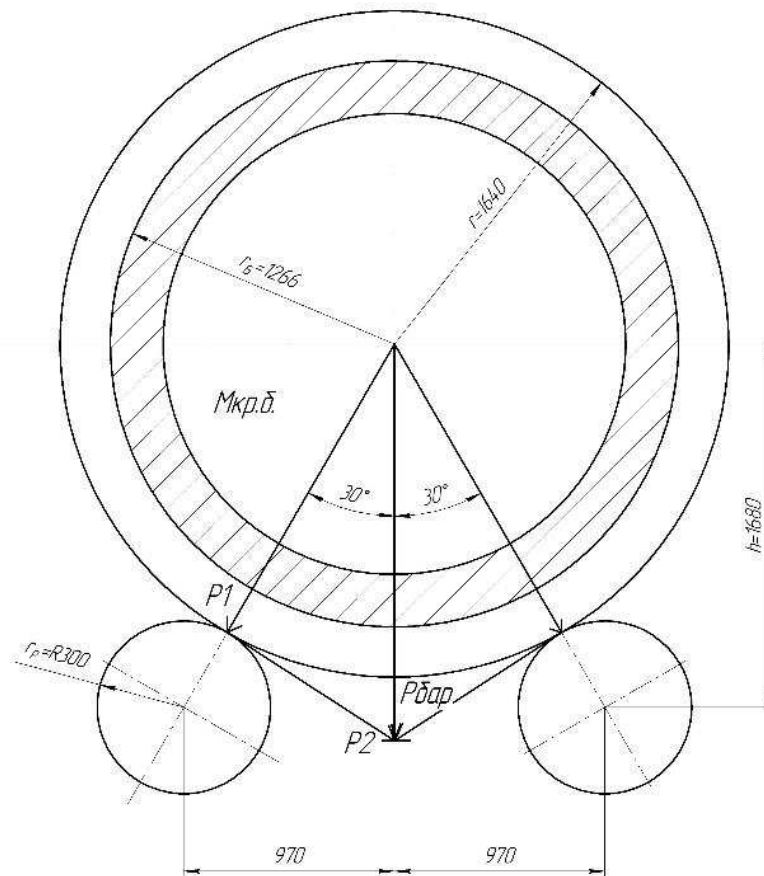


Рисунок 2.8 – Схеми до визначення зусиль в опорних роликах

Таким чином, якщо навантаження на кожен опорний ролик складає $P_p=45,73$ кН, то воно представляє собою навантаження, розподілене по висоті ролика $h=190$ мм.

$$q = \frac{P_p}{h} = \frac{45,73}{0,190} = 240 \text{ кН/м}$$

Зобразимо опорний ролик у вигляді двохопорної балки, навантаженої силою q (рис.2.8).

Реакцію в опорі В знаходимо склавши рівняння:

$$\sum M(A) = 0$$

$$q \cdot l_2 \cdot (l_1 + 0,5 \cdot l_2) - R_B \cdot (l_1 + l_2 + l_3) = 0$$

$$184 \cdot 0,19 \cdot (0,1025 + 0,5 \cdot 0,19) - R_B \cdot (0,1025 + 0,19 + 0,1025) = 0$$

Звідки $R_B = 17,5$ кН.

Реакцію в опорі А знаходимо з умови:

$$\sum P = 0$$

$$R_A - q \cdot l_2 + R_B = 0$$

$$\text{Звідки } R_A = q \cdot l_2 - R_B = 184 \cdot 0,19 - 17,5 = 17,5 \text{ кН}$$

Момент в перетині I-I:

$$M_I = R_A \cdot l_1 = 17,5 \cdot 0,1025 = 1800 \text{ Нм}$$

Момент в перетині II-II:

$$M_{II} = R_B \cdot l_3 = 17,5 \cdot 0,1025 = 1800 \text{ Нм}$$

Момент у перетині III-III:

$$M_{III} = R_A (l_1 + 0,5 \cdot l_2) - \frac{q \cdot l_2}{2} \cdot \frac{l_2}{4} = 17,5(0,1025 + 0,5 \cdot 0,19) - \frac{184 \cdot 0,19}{2} \cdot \frac{0,19}{4} = 2630 \text{ Нм}$$

Небезпечний перетин III-III, напруження вигину в ньому складе:

$$\sigma_{III} = \frac{M_{III}}{W} = \frac{2630}{172,8 \cdot 10^{-6}} = 15,2 \text{ МПа} < [\sigma]_{II} = 135 \text{ МПа}, \quad (2.24)$$

де W – момент опору у перетині III-III.

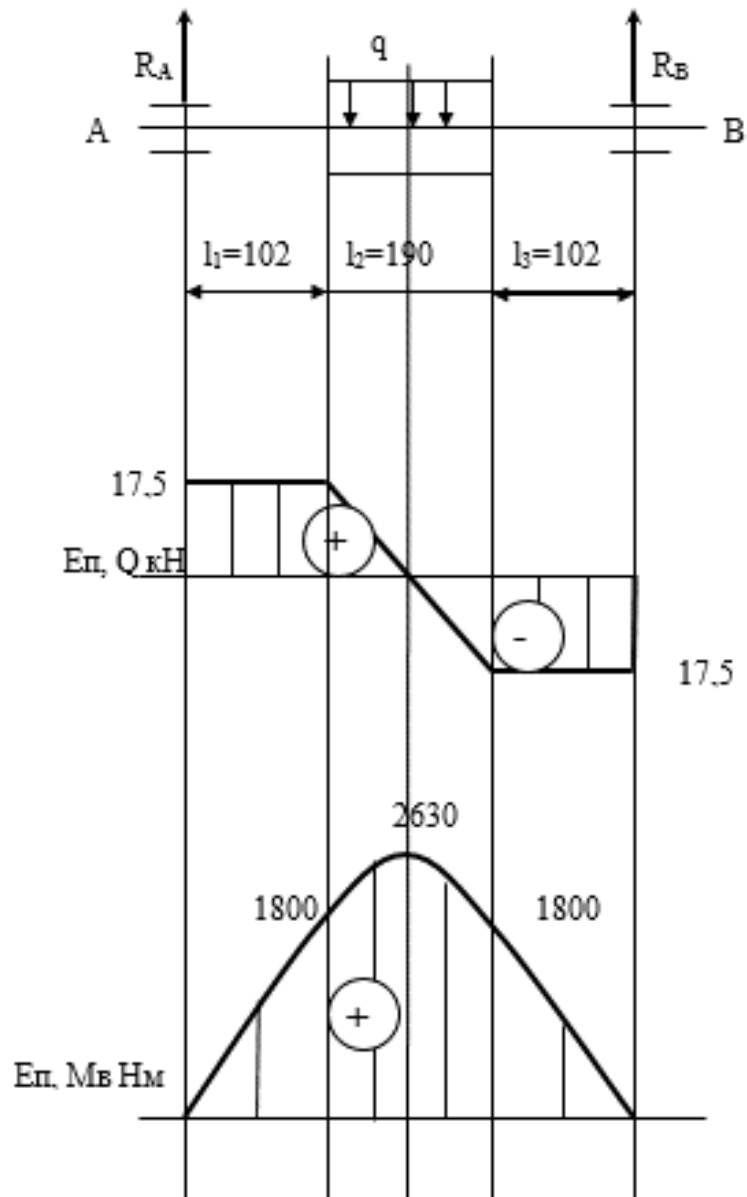


Рисунок 2.9 – Схема сил навантаження, епюри перерізуючих сил і згинального моменту вала опорного ролика

$$W = 0,1 \cdot d^3 = 0,1 \cdot 0,12^3 = 172,8 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$$

Вал виготовлений зі сталі 45 та задовольняє умові міцності.

2.3.5 Перевірка підшипників опорного ролика на циклічну довговічність

На валу встановлено два радіальні шарикопідшипники №320 по [23], з параметрами $d=100$ мм; $D=215$ мм, $B=47$ мм.

$C=136$ кН – динамічна вантажопідйомність;

$C_0=133$ кН – статична вантажопідйомність;

$n_{пр}=2500$ хв⁻¹ – гранична частота обертання;

$R_A=R_B=17,5$ кН – радіальне навантаження на підшипник;

$n_{п}=46,4$ хв⁻¹ – число обертів підшипника.

Номінальна довговічність підшипників складає (у мільйонах обертів):

$$L = \left(\frac{C}{P}\right)^{\rho}, \quad (2.25)$$

де $C=136$ кН – динамічна вантажопідйомність;

P – еквівалентне динамічне навантаження;

$\rho=10/3$ – показник статичної навантаженості.

Еквівалентне динамічне навантаження дорівнює:

$$P = x \cdot V \cdot P_R \cdot K_{\sigma} \cdot K_T, \quad (2.26)$$

де $x=0,43$ – коефіцієнт радіального навантаження [19];

$V=1,2$ – коефіцієнт обертання [19];

$K_{\sigma}=1,2$ – коефіцієнт безпеки [19];

$K_T=1,05$ – температурний коефіцієнт [19].

Тоді:

$$P = 0,43 \cdot 1,2 \cdot 17,5 \cdot 1,2 \cdot 1,05 = 11,4 \text{ кН}$$

Підставивши отримані значення, отримаємо:

$$L = \left(\frac{136}{11,4}\right)^{10/3} = 1700 \text{ млн. обертів} = 1,7 \cdot 10^{10} \text{ обертів}$$

Що задовольняє умовам роботи важконавантаженого металургійного обладнання.

3 ДОСЛІДНО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Дослідження руху сипучого матеріала в поперечному перерізі барабана

Доволі точно та досконало рух сипучого матеріалу в об'ємі змішувального барабана розглянуто в роботі [16]. Приведемо систематизовану частину даних досліджень стосовно циліндричних барабанних змішувачів-огрудковувачів.

Тіло, що перебуває усередині обертового барабана, під дією сили ваги й відцентрової сили притискається до поверхні барабана й відхиляється від вертикалі на деякий кут β (рис. 3.1.), величина якого визначається швидкістю обертання барабана (n), його радіусом (R) і коефіцієнтом тертя тіла по поверхні барабана (f). При цьому поведінка тіла буде визначатися співвідношенням трьох сил: сили ваги $G = mg$, відцентрової сили $F_y = \frac{mv^2}{R}$ й сили тертя по внутрішній поверхні барабана $F_{\text{тр}} = f(F_y + G \cdot \cos\beta)$. Тільки завдяки наявності останньої сили стає можливим підйом тіла нагору. У кожний момент часу сила тертя спрямована по дотичній до окружності обертання убік, протилежну напрямку складової ваги G_a . З рис. 3.1 можна зробити висновок, що максимальний кут підйому тіла (β_0) визначається рівністю дотичній складові ваги й сили тертя:

$$m \cdot g \cdot \sin\beta_0 = f \left(mg \cos\beta_0 + \frac{mv_0^2}{R} \right), \quad (3.1)$$

де $f = \text{tg}\phi$ – коефіцієнт тертя;

ϕ – кут тертя;

V_0 – окружна (лінійна) швидкість обертання барабана;

g – прискорення сили ваги;

m – маса тіла.

Після деяких перетворень рівняння (3.1) одержує вигляд:

$$g \cdot \sin(\beta_0 - \varphi) = \sin \varphi \cdot \frac{V^2}{R} \quad (3.2)$$

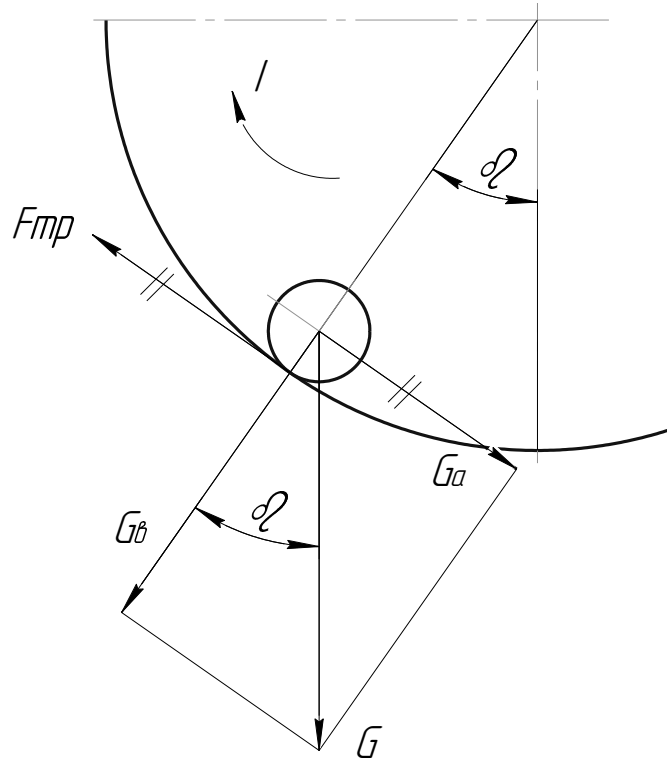


Рисунок 3.1 – Схема дії сил на тіло, яке поміщене в обертовий барабан

Якщо окружну швидкість обертання (м/с) замінити числом обертів барабана в хвилину n , то максимальний кут підйому тіла може бути визначений з формули:

$$\sin(\beta_0 - \varphi) = \sin \varphi \cdot \frac{n^2 \cdot R}{900} \quad (3.3)$$

По досягненні граничного значення кута β_0 порушується рівновага тіла щодо поверхні барабана, в зв'язку з тим що зрушуюча сила стає більше протидіючої сили тертя – тіло починає скачуватися або сповзати на дно.

Для розрахунку швидкості скочування доцільно використовувати теорему збільшення кінетичної енергії тіла, що рухається, на нескінченно малій ділянці шляху:

$$d\left(\frac{mV_c^2}{2}\right) = \left(mg \sin \beta - fmg \cos \beta - f \frac{mV_c^2}{R}\right) dS \quad (3.4)$$

В цьому випадку швидкість руху тіла (V_c) і кут відхилення його від вертикалі (β) відраховують щодо зовнішньої системи координат. Так як при скочуванні тіло рухається у зворотну сторону щодо напрямку відліку кута β , то $dS = -Rd\beta$. Скочування (сповзання) тіла до долу є прискореним. У той момент, коли величина зрушуючої сили, урівноважується протидіючою, швидкість руху тіла досягає максимального значення. При подальшому русі до низу швидкість починає падати й при певному значенні кута β тіло зупиняється. Після зупинки (чверть 1) тіло залишиться в тому же положенні, і таким чином відстань, на яку воно переміститься до вертикалі під дією сили ваги за якийсь час у наслідку рівності лінійних швидкостей, буде скомпенсовано зворотним рухом тіла в результаті обертання барабана. При цьому, залишаючись нерухливим щодо зовнішньої системи координат, тіло буде безупинно скачуватися по внутрішній поверхні барабана.

На рис. 3.2 наведені результати розрахунків зміни швидкості скочування тіл, що володіють різним тертям по поверхні барабана. Як і слід було сподіватися, зі збільшенням швидкості обертання барабана зростає кут підйому тіла (β_0) і тим сильніше, чим вище коефіцієнт тертя.

Якщо тіло перебуває у квадраті II обертового барабана, то схема дії сил виявляється іншою (рис 3.3).

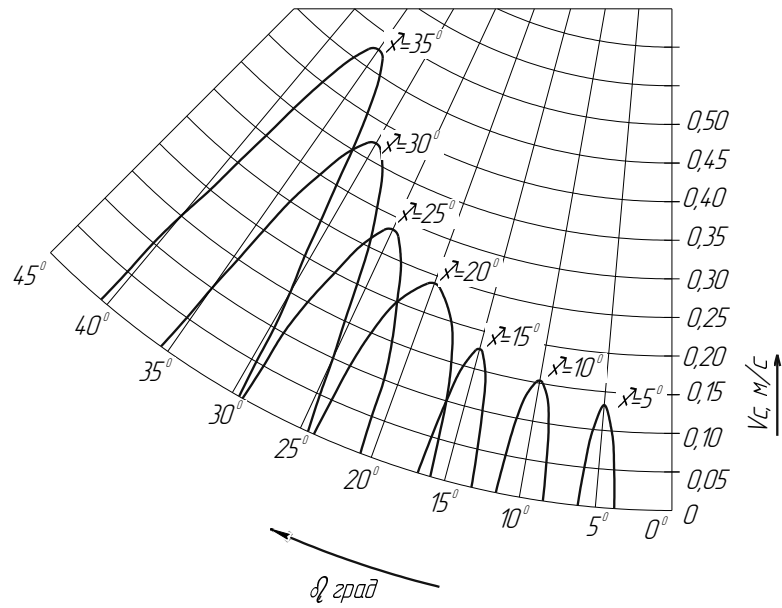


Рисунок 3.2 – Швидкість скокування тіл у барабані $\text{Ø}3 \text{ м}$ ($n=10 \text{ хв}^{-1}$)

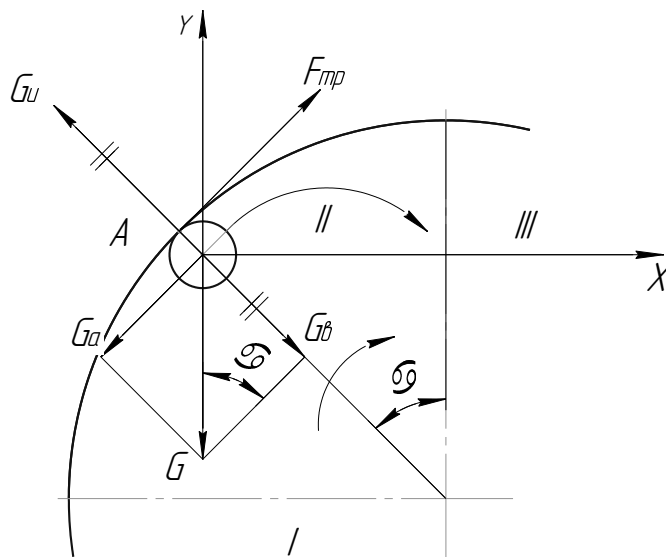


Рисунок 3.3 – Схема дії сил на тіло, що перебуває у II чверті барабана

У загальному виді момент відриву тіла від барабана, характеризуємий кутом відриву α_0 , визначається рівністю всіх сил, спроектованих на напрямок дії відцентрової сили, тобто при:

$$F_u = G_b; \frac{mV^2}{R} = mg \cdot \cos\alpha_0 \quad (3.5)$$

звідки

$$\cos\alpha_n = \frac{V_0^2}{gR} \quad (3.6)$$

З огляду на те, що:

$$V_0 = \frac{\pi \cdot n \cdot R}{30} \quad (3.7)$$

тоді остаточно

$$\cos\alpha = \frac{n^2 \cdot R}{900} \quad (3.8)$$

Після відриву тіло рухається самостійно як кинуте зі швидкістю V_0 під кутом α_0 до обрїю, тобто по параболічній траєкторії. У крайньому випадку, коли $\frac{V_0^2}{R} > g$ або $n > \frac{30}{\sqrt{R}}$, тіло в будь-який момент часу залишається притиснутим до барабана й обертається разом з ним.

З отриманого вираження (3.8) видно, що точка відриву визначається тільки швидкістю обертання барабана і його радіусом і не залежить від маси обертового тіла.

Разом з тим спільний аналіз формул (3.3) і (3.8) показує, що відрив тіла від внутрішньої поверхні барабана (у чверті II) можливий тільки за умови:

$$\sqrt{\frac{\sin(\beta - \varphi)}{\sin \varphi}} < 1 \quad (3.9)$$

т.ч. при $\varphi > 45^\circ$, що практично виключається (не беручи до уваги прилипання тіла до поверхні барабана за допомогою вологи або інших рідких фаз). Для одержання $\beta_0=90^\circ$ (для перекладу тіла у II четверть) швидкість обертання барабана виявляється більшою $\frac{30}{\sqrt{R}}$ в результаті чого тіло у чвертях

II й III виявляється притиснутим відцентровою силою до поверхні барабана. Таким чином, при будь-яких режимах роботи барабанів відрив одиночного тіла від поверхні барабана виявляється неможливим.

У цей час при моделюванні режимів роботи обертових барабанів у лабораторних установках часто виходять із всіляких принципів: рівності кутової або лінійної швидкостей обертання лабораторних і промислових барабанів. У деяких випадках моделювання ведуть взагалі без вибору якогось певного принципу порівняння. Уніфіковано, для порівняння режимів роботи обертових барабанів різних діаметрів варто користуватися безрозмірним критерієм B , обґрунтованим В. И. Коротичем:

$$B = \frac{n^2 \cdot R}{900} \quad (3.10)$$

Таким чином, даний критерій являється комплексом, що враховує вплив всіх сил на тіло в обертовому барабані.

3.2 Дослідження режимів руху сипучого тіла в обертовому барабані

Встановлено, що можливі чотири режими руху матеріалу:

1. човниковий;
2. перекату;
3. водограйний;
4. циклічний.

Човниковий режим – сипучий матеріал поводить як одне суцільне тіло, яке рухається в човниковому режимі [24].

Такий режим найменш сприятливий для роботи барабанних огрудковувачів та виникає в тому випадку, коли при зрівноважуванні сили тертя $F_{тр}$ силою, що G зрушує, центр ваги завантаження відхилений від

вертикалі на β_0 кут, менший чим кут природного укосу φ матеріалу, тобто виникає проковзування (рис. 3.4) [16].

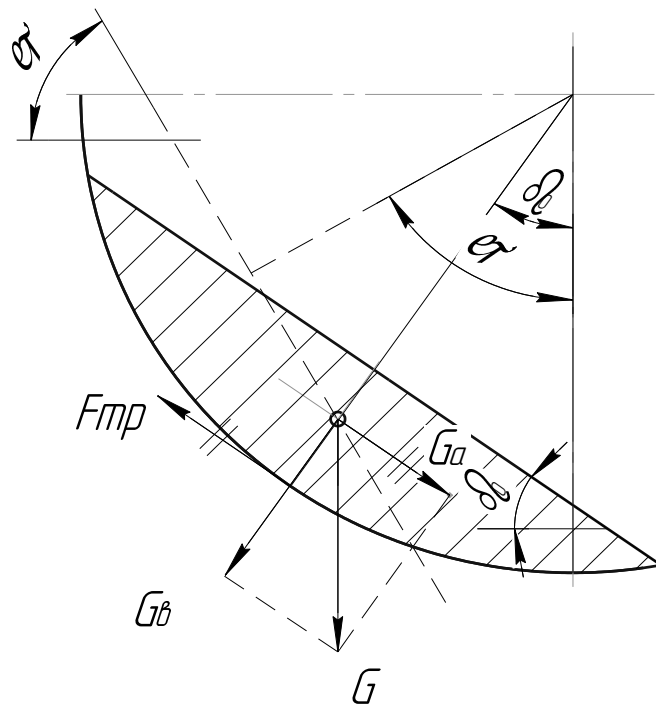
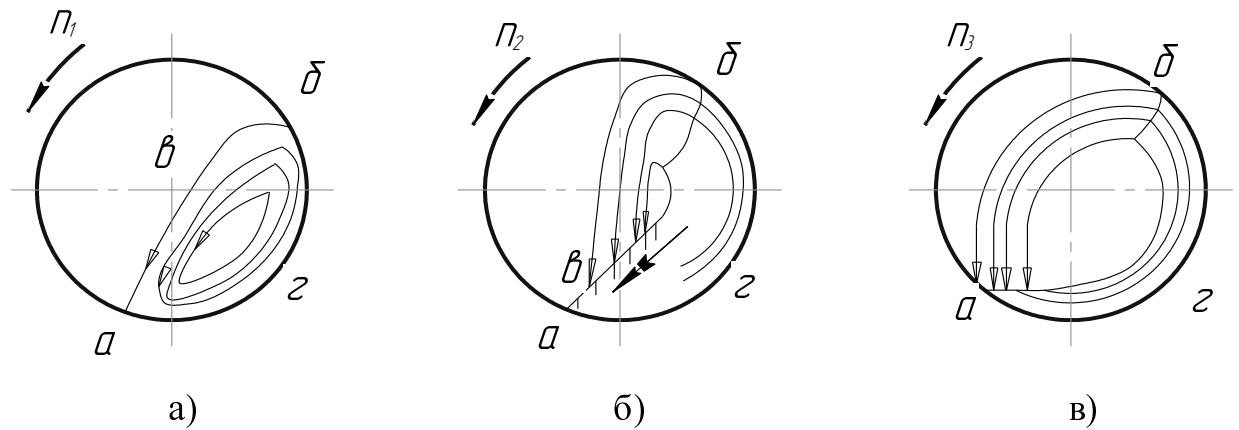


Рисунок 3.4 – Схема дії сил на матеріал при його русі в човниковому режимі

Режим перекату (рис.3.5, а) – центр ваги завантаження залишається на одному місці, а довкола нього обертається завантажений матеріал; огрудкування шихти доцільно проводити в режимі перекату, при якому відсутні значні ударні навантаження, характерні для водограйного й циклічного режимів.

Водограйний режим (рис.3.5, б) – робота барабанів у водограйному режимі рекомендується при змішуванні шихти.

Циклічний режим (рис.3.5, в) – непридатний ні для огрудкування, ні для змішування, тому що градієнт швидкості окремих елементарних обертових шарів при цьому невеликий, тобто не відбувається їхнє перемішування.



а – режим перекату; б – водограйний режим; в – циклічний режим

Рисунок 3.5 – Режими руху матеріалу в поперечному перерізі обертового
($n_3 > n_2 > n_1$)

Таким чином найбільш цікавими з точки зору змішування та огрудковування в барабанних змішувачах являються режим перекату та водограйний. Їхнє тероретичне підґрунття дуже добре викладено в роботі [16], тому розглянемо деякі теоретичні аспекти з данної праці.

У загальному виді механізм переміщення завантаженого матеріалу в обертовому барабані в режимі перекату може бути представлений наступним чином. Основна маса сипучого матеріалу рухається по кругових траєкторіях зі швидкістю, рівною кутовій швидкості обертання самого барабана. Досягши вищої точки, матеріал шаром певної товщини починає зсипатися донизу. Нижні часточки цього шару, що рухається, мають мінімальну швидкість і, зупинившись, переходять на кругову траєкторію. Лежачі вище часточки потоку, що зсипається, володіють більшою швидкістю, втрачають її повільніше й зупиняються далі. Таким чином, загальний шар матеріалу, що зсипається, виклинується окремими елементарними шарами послідовно зверху донизу. Нижчележачі шари переходять на кругові траєкторії, розташовані ближче до центра барабана, а верхні елементарні шари після зсипання переходять на кругові траєкторії більшого радіуса. Такий розподіл

часток потоку матеріалу, що зсипається, створює умови для повторення описаної картини, тобто кожний елементарний шар немов би «обертається» навколо нерухливої точки переважно по тим самим замкнених траєкторіях. Частки суміжних елементарних шарів порівняно повільно змішуються один з одним.

Вирішальний вплив на співвідношення швидкостей обертання барабана й завантаження щодо цієї точки робить відношення довжини окружності барабана, зайнятий матеріалом, до всієї довжини окружності барабана, тобто в остаточному підсумку ступінь заповнення.

Епюра швидкостей руху окремих елементарних шарів матеріалу щодо зовнішньої системи координат зображена на рис. 3.6. На ділянці ab величина лінійних швидкостей визначається швидкістю обертання барабана й відстанню від центра його, на ділянці bc - силами тертя окремих шарів матеріалу друг об друга. Положення точки всередині шара завантаження, кут відхилення від вертикалі й відстань від центра барабана визначається умовами роботи барабана, а саме ступенем заповнення, швидкістю обертання й властивостями сипучого матеріалу.

Необхідно відзначити наступне явище, виявлене в ході досліджень, чим більшим коефіцієнтом тертя володіє часточка, тим швидше вона втрачає свою швидкість на ділянці зсипання й тим швидше переходить на кругову ділянку шляху, тобто переходить на траєкторію «обертання» навколо точки з меншим «радіусом». Внаслідок цього поблизу точки відбувається поступове нагромадження найбільш дрібних фракцій матеріалу.

Також завдяки дослідженням встановлено, що відносна товщина шару, що зсипається ($h_c : D$) залишається однаковою в барабанах різних діаметрів.

Було також встановлено, що в режимі перекату товщина шару, що зсипається, практично не залежить від швидкості обертання барабана (рис. 3.7), вирішальним фактором тут виявився ступінь заповнення.

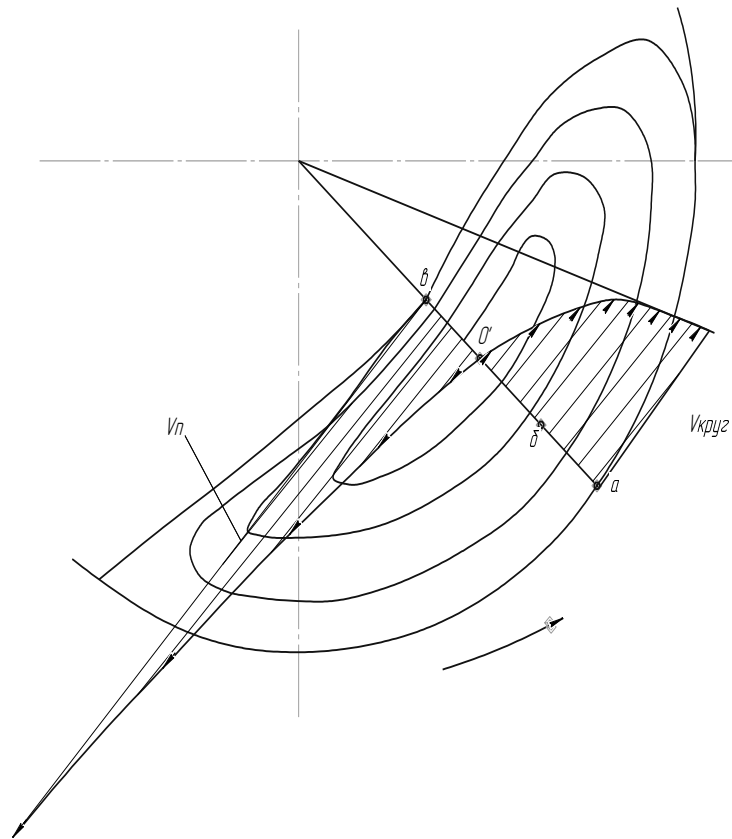


Рисунок 3.6 – Еплора швидкостей руху окремих шарів завантаження при роботі обертового барабана

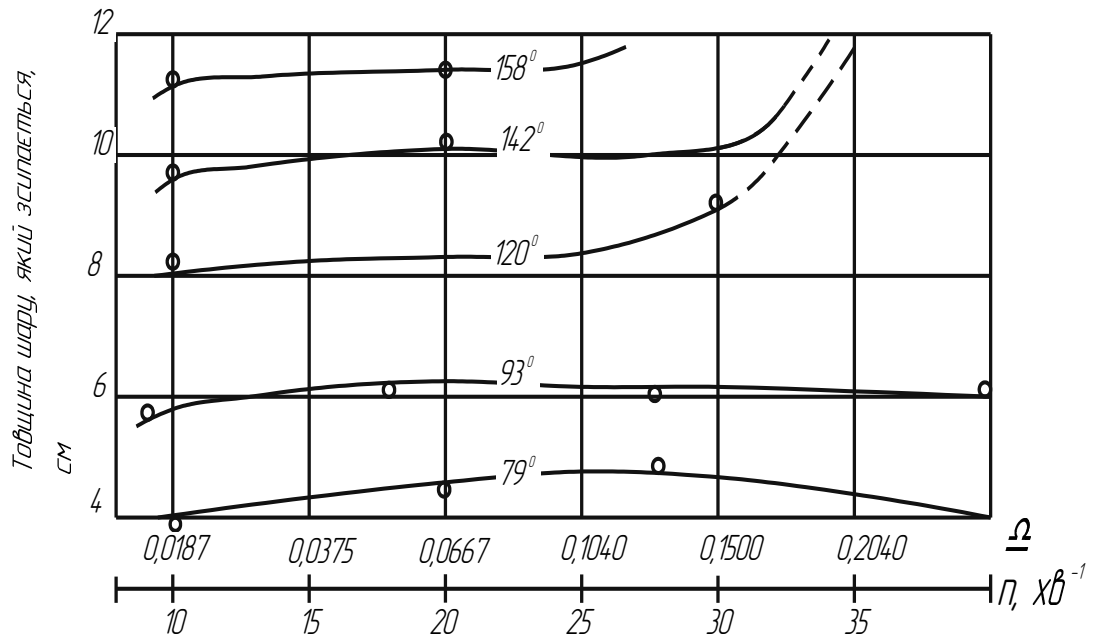


Рисунок 3.7 – Залежність товщини шару матеріалу, що зсипається, від ступеня заповнення (λ) і швидкості обертання барабана \varnothing 0,3 м

Основним параметром, що впливає на перехід руху матеріалу в обертовому барабані з режиму перекату у водограйний, є швидкість обертання. Однак значний вплив на такий перехід робить і ступінь заповнення барабана. При цьому водограйний режим взагалі неможливий доти, поки весь матеріал перебуває у I чверті, тобто до того моменту, поки верхній край завантаження не досягне кута підйому 90° . Звідси неважко визначити граничну ступінь заповнення барабана, до якої матеріал буде рухатися в режимі перекату. При цій умові кут λ залежно від кута зсипання ω буде визначатися наступною очевидною залежністю (рис. 3.8, а):

$$\lambda = 180 - 2 \cdot \omega \quad (3.11)$$

Кут ω у першу чергу визначається кутом внутрішнього тертя матеріалу (характеризується кутом природного укосу), у більшій мірі він залежить від швидкості обертання барабана. За інших рівних умов кут зсипання збільшується з підвищенням ступеня заповнення барабана. З урахуванням динамічних навантажень кут ω виходить на $10-25^\circ$ більше кута природного укосу. Більш точно кут зсипання ω може бути визначений з рис. 3.6, побудованого на підставі експериментальних даних. Очевидно, чим вище швидкість обертання барабана, тим більше виходить кут ω , тим менше виявляється гранична ступінь заповнення. Практично рівнянням (3.11) можна користуватися тільки для ступеня заповнення не вище 10%.

При більших ступенях заповнення, коли верхня частина завантаження виходить у квадрант II барабана, межа, що характеризує початок водограйного режиму, визначається рівністю кутів підйому верхнього краю завантаження й кута відриву матеріалу від поверхні барабана α_0 (3.8).

Кут підйому матеріалу ($\angle OBC$ з рис. 3.8, б) знаходимо як:

$$\angle OBC = \angle ABC + \angle OBA = (90 - \omega) + \frac{180 - \lambda}{2} = 180 - \left(\omega - \frac{\lambda}{2} \right) \quad (3.12)$$

$$\cos \alpha_0 = B = \frac{n^2 \cdot R}{900} = \cos \left[180 - \left(\omega + \frac{\lambda}{2} \right) \right] = -\cos \left(\omega + \frac{\lambda}{2} \right) \quad (3.13)$$

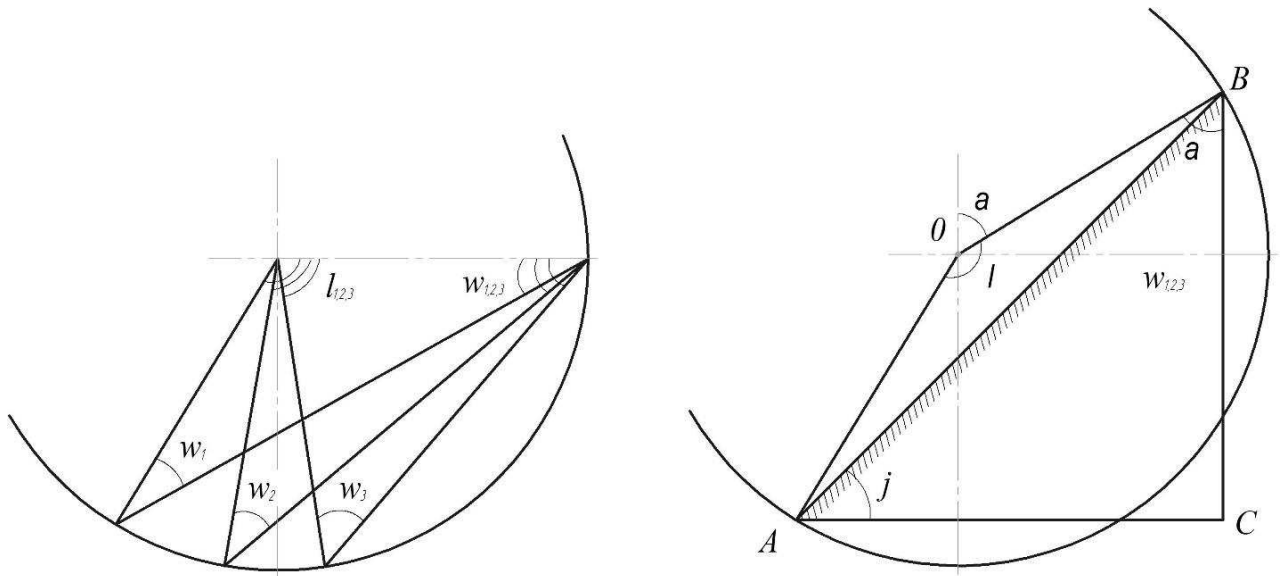


Рисунок 3.8 – Схема для виводу рівнянь, що визначають межу розділу водограйного режиму й режиму перекату

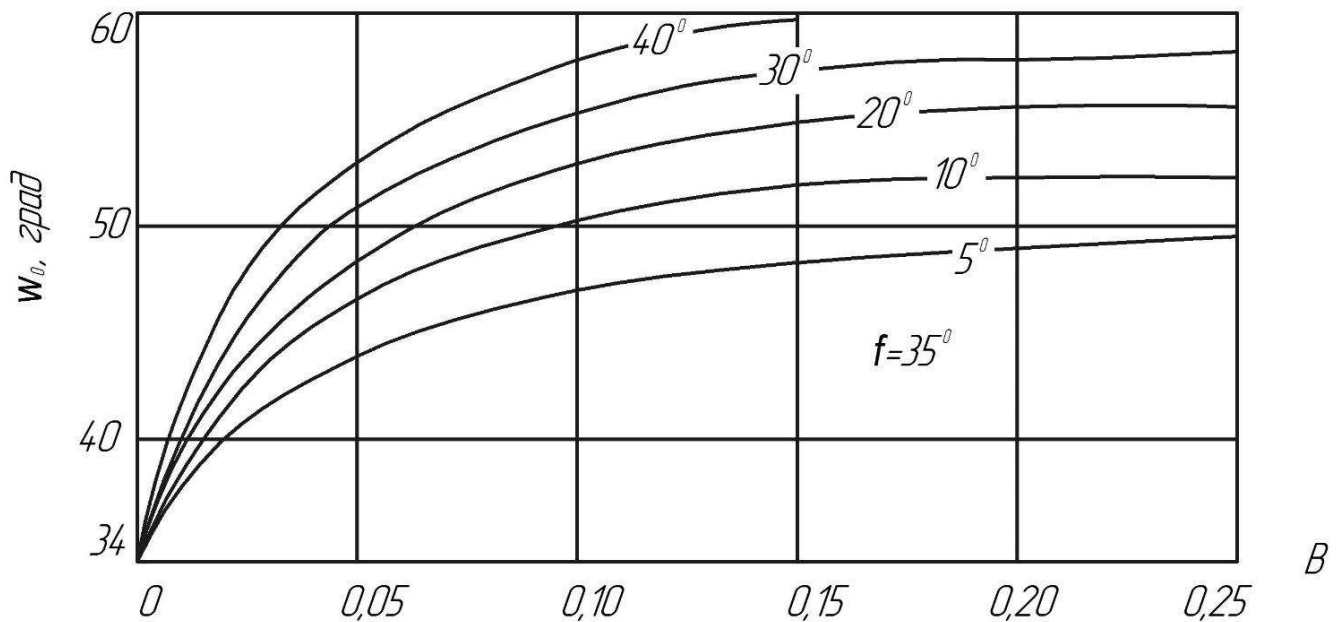


Рисунок 3.9 – Залежність кута зсипання ω від критерію B при різних ступенях заповнення барабана, при куті природнього укосу 35°

Так, якщо B менше величини $-\cos\left(\omega + \frac{\lambda}{2}\right)$, водограйний режим не може виникнути. У тому випадку, коли $B > -\cos\left(\omega + \frac{\lambda}{2}\right)$, з'являється водограйний режим. Однак при малій різниці $|B| - \left|\cos\left(\omega + \frac{\lambda}{2}\right)\right|$ внаслідок ковзання одних шарів матеріалу щодо інших у водограйному режимі рухаються тільки самі зовнішні шари (що прилягають до внутрішньої поверхні барабана). Зі збільшенням швидкості обертання барабана під дією зростаючої відцентрової сили взаємне «проковзування» шарів зменшується й все більша кількість матеріалу утягується у водограйний режим руху. З рівняння (3.13) може бути знайдене критичне значення швидкості обертання барабана, що характеризує межу між режимами перекату й водограйним:

$$n_{кр} = 30 \sqrt{\frac{-\cos\left(\omega + \frac{\lambda}{2}\right)}{R}} \quad (3.14)$$

Ця ж залежність у вигляді графіка дана на рис. 3.10. У практичних умовах роботи на аглофабриках гранична швидкість обертання барабанів-огрудковувачів діаметром 3 м при ступені заповнення 10-15% становить 10-12 хв⁻¹.

Підставивши у формулу (3.14) значення кута відриву $\alpha = 73^\circ 50'$, при якому зникає ділянка зсипання для всіх падаючих потоків, одержуємо:

$$R \geq \frac{250}{n^2} \quad (3.15)$$

Отримана залежність дає можливість більш чітко розмежувати між собою водограйний і циклічний режим. Максимальна швидкість, при якій ще існує

водограйний режим у чистому виді, тобто для всіх падаючих потоків є ділянка зсипання, визначається нерівністю $R_{бар} < \frac{250}{n_6^2}$. Якщо $n_6 > \sqrt{\frac{250}{R_{вн}}}$, то рух матеріалу здійснюється в циклічному режимі.

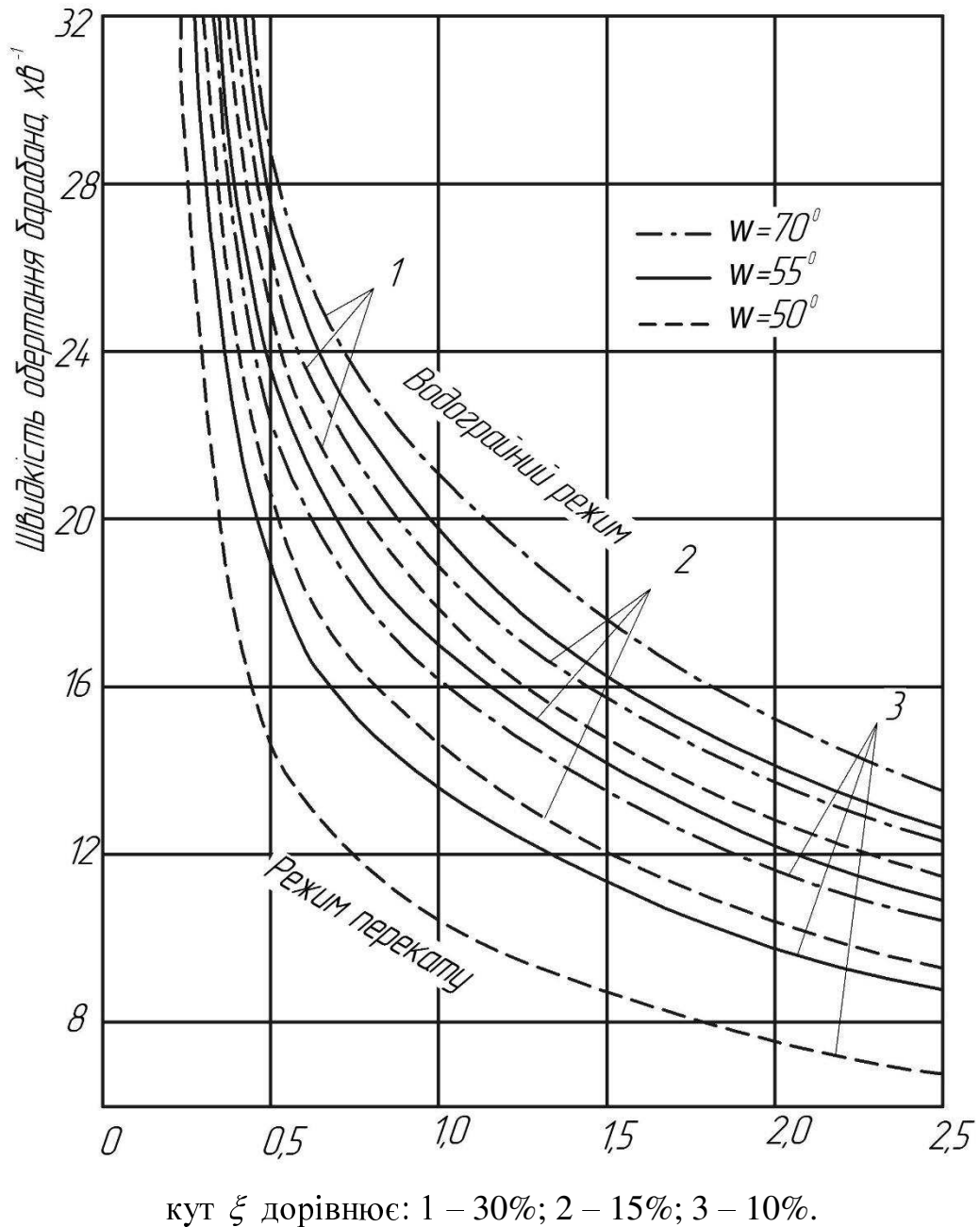


Рисунок 3.10 – Залежність критичної швидкості обертання барабана (визначальної перехід режиму перекачу у водограйний) від радіуса барабана, ступеня заповнення

3.3 Експериментальне дослідження режимів руху шихти в барабані змішувача-огрудковувача

3.3.1 Методи контролю частоти обертів барабана змішувача-огрудковувача

Згідно роботи [24] характер руху матеріалу в обертовому барабані залежить від ступеня його заповнення, частоти обертання й стану внутрішньої поверхні.

Для контролю частоти обертів барабана огрудковувача можливе використання індуктивних датчиків частоти обертання, котрі призначені для видачі електричного сигналу у вигляді імпульсів із частотою, пропорційною частоті обертання вала двигуна, на якому встановлений індуктор.

Датчик частоти обертання (рис.3.11) представляє собою генератор електричних імпульсів напруги з вбудованою магнітною системою. При обертанні індуктора в обмотках датчика виникають імпульси електрорушійної сили (ЕДС), частота проходження яких пропорційна частоті обертання вала двигуна.



Рисунок 3.11 – Загальний вигляд індуктивного датчика IFM ELECTRONIC DI5001 для контролю частоти обертання

Індуктивні датчики (сенсори) IFM Electronic надають необхідні сигнали про кінцеві положення об'єктів, служать як імпульсні датчики для завдання чисельних значень або реєстрації частоти обертання. В таблиці 3.1 наведено основні технічні характеристики датчика контролю частоти обертання частоти IFM ELECTRONIC DI5001. Індуктивні датчики наближення використовують фізичний ефект зміни добротності резонансного контуру, викликаного втратами на вихрові струми в провідних матеріалах. Індуктивно-ємнісний коливальний контур генерує високочастотне електромагнітне поле. Це поле поширюється з активної поверхні датчика. Якщо в це поле попадає струмопровідний матеріал (метал), то відповідно до закону електромагнітної індукції виникають вихрові струми, що поглинають енергію коливального контуру. Внаслідок цього амплітуда коливань зменшується. Ця зміна перетворюється в комутаційний сигнал. Даний принцип дії дозволяє виявляти всі метали, незалежно від того, перебувають вони в рухливому стані чи ні. Відстань до активної поверхні, на якому струмопровідний матеріал викликає в датчику зміну сигналу, називається відстанню спрацьовування. Зразок встановлення датчика для визначення частоти обертання наведено на рисунку 3.11



Рисунок 3.12 – Зразок встановлення датчика для визначення частоти обертання зубчатого колеса

Таблиця 3.1 – Технічна характеристика датчика контролю частоти обертання IFM Electronic DI5001

Тип	Безконтактний датчик положення
Принцип дії	Індуктивний
Відстань спрацьовування	10...12 мм
Робочий температурний діапазон	+10 ⁰ С ÷ +177 ⁰ С
Допустима температура зберігання	-25 ⁰ С ÷ +65 ⁰ С
Розширений температурний діапазон (опція)	-30 ⁰ С ÷ +185 ⁰ С
Вплив температури на нулі	0,01% / ⁰ С
Клас захисту	IP42 (опція IP54)
Вхідні й вихідні сигнали	
Настроювання параметрів	3.. 6000 імп./хв.
Живлення	АС, DC
Матеріал корпусу	Нікельована латунь/ нержавіюча сталь/пластик
Габаритні розміри (без елементів кріплення й підключення)	
- довжина, мм, не більше	130
- діаметр, мм, не більше	30
Приєднувальний розмір різьблення	M18 x 1,5

3.3.2 Експериментальне визначення режимів руху сипучого тіла в обертовому барабані змішувача-огрудковувача

Есперимент по встановленню режимів руху сипучого тіла в барабані змішувача огрудковувача будемо виконувати на лабораторній моделі встановленій на кафедрі металургійного обладнання Запорізького

національного університету (рис.3.12-3.13), геометричні характеристики якого наведені в таблиці 3.2

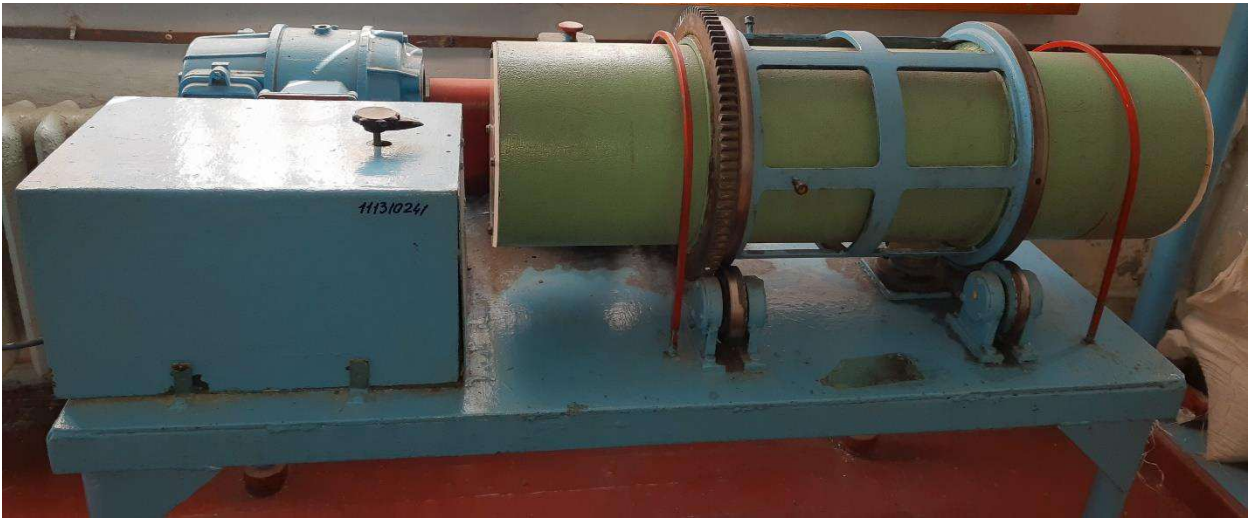
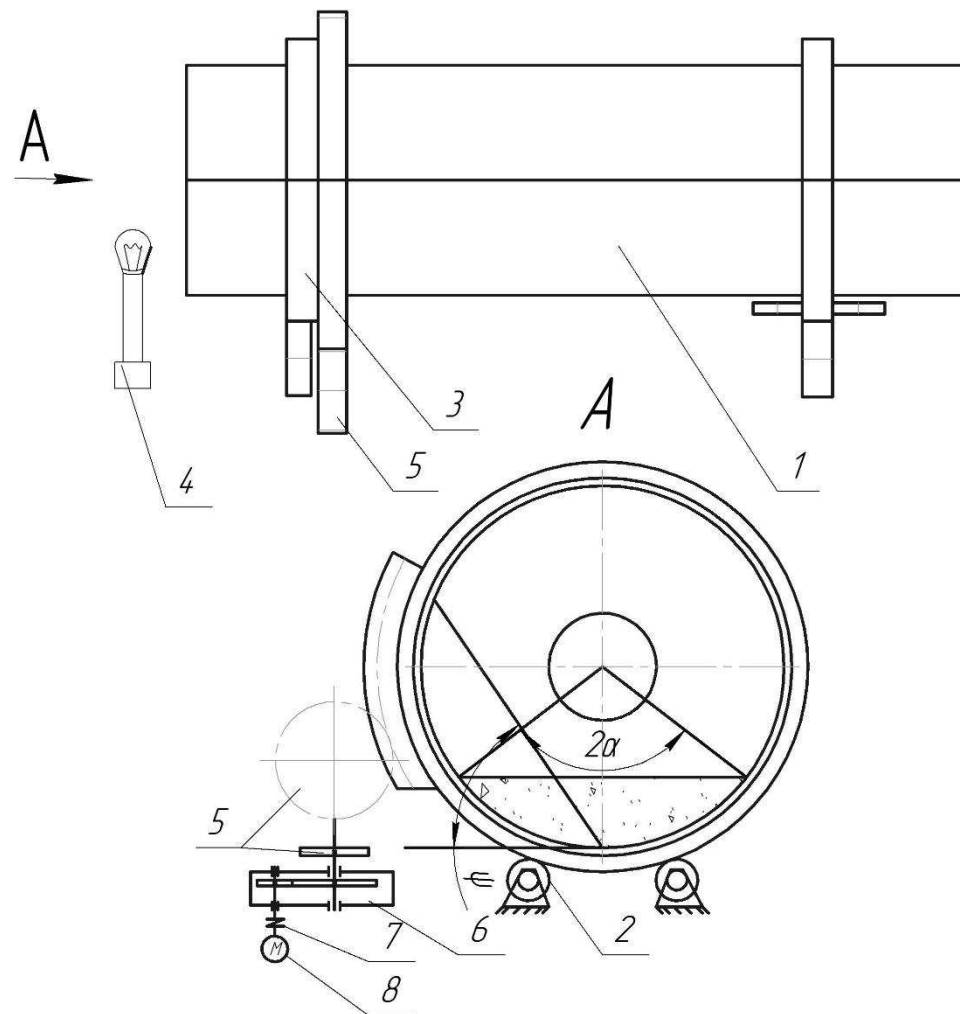


Рисунок 3.13 – Лабораторна модель змішувача-огрудковувача



Рисунок 3.14 – Модель змішувача-огрудковувача зі сторони оглядового вікна

Кінематична схема змішувача-огрудковувача наведена на рисунку 3.14



1 – барабан; 2 – опорні ролики; 3 – бандаж; 4 – джерело світла; 5 – приводна шестерня; 6 – циліндричний редуктор; 7 – з'єднувальна муфта; 8 – електродвигун

Рисунок 3.15 – Кінематична схема моделі барабанного змішувача-огрудковувача

Таблиця 3.2 – Геометричні характеристики моделі барабанного змішувача-огрудковувача

№ п/п	Параметр	Од. виміру	Значення
1	Внутрішній діаметр барабана,	м	0,260
2	Зовнішній діаметр барабана	м	0,275
3	Довжина барабана	м	0,960
5	Передаточне число відкритої зубчатої пари	-	1,978

Для порівняння результатів експериментального дослідження з розрахунковими скористаємся теоретичними викладками наведеними в розділах 3.1-3.3 та наступними рівняннями:

– розрахункова верхня межа швидкості обертання барабана для режиму перекату:

$$n_{\text{пер(max)}} = 30 \cdot \sqrt{\frac{-\cos(\psi + 2\alpha \cdot 0,5)}{R}}, \text{ хВ}^{-1} \quad (3.16)$$

де ψ – кут природнього ухилу, $\psi=35^0$;

2α – центральний кут, який характеризує ступінь заповнення барабана:

$$\delta = \left(\frac{2\alpha}{360^\circ} - \frac{\sin 2\alpha}{2\pi} \right) \cdot 100, \% \quad (3.17)$$

R – внутрішній радіус барабана.

Верхньою межею водограйного режиму є швидкість:

$$n_{\text{вод(max)}} = \sqrt{\frac{250}{R}}, \quad (3.18)$$

Критична швидкість при якій настає циклічний режим руху сипучого тіла та перестає проводитись перемішування та огрудкування:

$$n_{\text{кр}} = \frac{30}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{g}{R}}, \quad (3.19)$$

Задля «чистоти» експерименту дослідження проводилися для шихти різної щільністю. Центральний кут барабана прийmemo від 60 до 130 градусів,

таким чином ступінь наповнення барабана складе величини наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Залежність ступіня заповнення барабана від центрального кута

Величина центрального кута 2α , град	Ступінь заповненості барабана δ , %
60	2,9
80	6,5
100	12,1
120	19,5
130	23,9

Результати експериментів та їхнє порівняння з розрахунковими даними наведено в таблицях 3.4-3.6

Якщо проаналізувати результати проведення експериментів та розрахункову частину можна зробити наступні висновки:

- формула встановлення граничної швидкості для переكاتного режиму руху сипучого тіла близька до реальних швидкостей при заповненнях барабану від 20 до 24 %;
- формула для встановлення швидкості водограйного режиму руху сипучого тіла більш точно приближена до реального встановлення, але також «спрацьовує» при наповненнях барабана у проміжку 19,5-24 %;
- для встановлення швидкості циклічного руху розрахункова формула є найменш прийнятна, так як описує в точній мірі тільки технологічний процес при заповненні барабана не менше ніж на 23,9%

Також в розрахунковій теоретичній частині не відображено впливу щільності матеріалу на граничну межу швидкості встановлення того чи іншого із режимів, а з експериментальної частини видно, що щільність матеріалу доволі вагомо впливає на показники граничної межі швидкості.

Таблиця 3.4 – Результати проведення експерименту №1 (щільність шихти $\gamma_{ш}=1560$ кг/м³)

№ п/п	Обсяг	$\gamma_{ш}$	Вага	ψ	2α	2α	δ	Частота обер. н. Режим роботи (дослід)			Частота обер. н. Режим роботи (розрахун.)		
								Переكات	Водограй	Циклічн	Переكات	Водограй	Циклічн
	л	кг/м ³	кг	град	град	рад							
1	4	1560	6,24	35	60	1,047	0,03	80,9	80,9	110,2	не встан.	43,9	83,00
2	6	1560	9,36	35	80	1,396	0,07	83,9	83,9	106,2	не встан.	43,9	83,00
3	8,5	1560	13,26	35	100	1,744	0,12	80,9	80,9	106,2	не встан.	43,9	83,00
4	10,5	1560	16,38	35	120	2,093	0,20	40,4	47,0	84,9	24,42	43,9	83,00
5	12,5	1560	19,5	35	130	2,268	0,24	37,9	44,0	80,9	34,57	43,9	83,00

Таблиця 3.5 – Результати проведення експерименту №2 (щільність шихти $\gamma_{ш}=1580$ кг/м³)

№ п/п	Обсяг	$\gamma_{ш}$	Вага	ψ	2α	2α	δ	Частота обер. н. Режим роботи (дослід)			Частота обер. н. Режим роботи (розрахун.)		
								Переكات	Водограй	Циклічн	Переكات	Водограй	Циклічн
	л	кг/м ³	кг	град	град	Рад							
1	4	1580	6,32	45	60	1,047	0,03	83,4	83,4	108,7	не встан.	43,9	83,00
2	6	1580	9,48	45	80	1,396	0,07	80,9	80,9	109,7	не встан.	43,9	83,00
3	8,5	1580	13,43	45	100	1,744	0,12	85,9	85,9	113,8	24,41	43,9	83,00
4	10,5	1580	16,59	45	120	2,093	0,20	43,0	47,0	85,9	42,24	43,9	83,00
5	12,5	1580	19,75	45	130	2,268	0,24	44,5	45,5	84,4	48,58	43,9	83,00

Таблиця 3.6 – Результати проведення експерименту №3 (щільність шихти $\gamma_{ш}=1604$ кг/м³)

№ п/п	Обсяг	$\gamma_{ш}$	Вага	ψ	2α	2α	δ	Частота обер. н. Режим роботи (дослід)			Частота обер. н. Режим роботи (розрахун.)		
								Переكات	Водограй	Циклічн	Переكات	Водограй	Циклічн
	л	кг/м ³	кг	град	Град	рад							
1	4	1604	6,416	55	60	1,047	0,03	84,9	84,9	107,2	не встан.	43,9	83,00
2	6	1604	9,624	55	80	1,396	0,07	83,9	83,9	108,7	24,41	43,9	83,00
3	8,5	1604	13,634	55	100	1,744	0,12	88,5	88,5	111,2	42,23	43,9	83,00
4	10,5	1604	16,842	55	120	2,093	0,20	51,1	49,5	80,9	54,01	43,9	83,00
5	12,5	1604	20,05	55	130	2,268	0,24	53,1	44,5	83,4	58,76	43,9	83,00

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА В ГАЛУЗІ

4.1 Оцінювання стану цеху з гігієнічної точки зору

Розглянемо карту умов праці слюсаря-ремонтника (таблицю 4.1) спільного відділення агломераційного цеху

Таблиця 4.1 – Технологічна карта умов праці для чергового й ремонтного слюсаря

№з/р	Фактори виробничого середовища і трудового процесу	Нормативне значення, (ПДК, ПДУ)	Фактичне значення	III клас шкідливі і небезпечні умови, і характер праці			Час дії фактора, % за зміну
				I ст.	II ст.	III ст.	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м ³						
	1 клас безпеки						
	Ангідрид хромовий	0,01	0,0152	1,52			89
	Озон	0,1	2,82			2,72	89
	3-4 клас безпеки						
	Азоту оксиди (у перерахунку на NO ₂)	5	4,8789				89
	Заліза оксид	6	9,43	1,57			89
	Вуглецю оксид	20	28,5	1,425			89
2	Пил переважно фіброгенної дії, мг/м ³						
	Кремнію діоксид кристалічний	4	175,18			43,8	89
3	Шум, дБа	80	95,2			15,2	---
4	Мікроклімат у приміщенні						
	Температура повітря, °С	18-27	42,3			15,3	95
	Швидкість руху повітря, м/с	0,2-0,4	0,28				95
	Відносна вологість повітря, %	55	54				95
	Кількість факторів			3	0	4	

Висновок. Відповідно до гігієнічної класифікації праці робоче місце належить до III класу, у якому шкідливі умови праці перевищують гігієнічні нормативи шкідливих факторів, і мають чотири фактори шкідливості. По показниках робоче місце належить до шкідливих і тяжких умов праці, що відповідає списку №1 пункт 1. Має право відходу на пенсію за списком №1 [25].

У таблиці 4.2 наведені фактори виробничого середовища трудового процесу й заходи щодо їхнього усунення, які мають місце в спікальном відділенні.

Таблиця 4.2 – Технічні міри захисту від впливу шкідливих факторів виробничого середовища

№ п/п	Небезпечний або шкідливий фактор виробничого середовища	Захисний пристрій	Тип пристрою	Параметри пристрою	Місце установки
1	Запиленість	Витяжна вентиляція	КСЗ	Витрата до 50000 м ³ /год	У місцях утворення пилу
2	Запиленість	Респіратор СИЗОД	ШБ-1М	5,05г/м ³	Індивідуально
3	Шум	Навушники проти-шумові, беруші		Придатний до 110дБ	Індивідуально
4	Температура Холодний період	Утеплена куртка, ватні штани, костюм з х/б тканини, черевики	Тн	По росту робітника	Індивідуально
	Теплий період року	костюм з х/б тканини, черевики	Ти	-	
5	Шкідливі хімічні речовини	Теж що й при запиленості + костюм х/б, рукавиці	Пм	-	Індивідуально

До основних шкідливостей належать: хімічні речовини, пил, шум, зміна температури усередині цеху. Всіх робітників забезпечено спецодягом згідно [26].

4.2 Технічні рішення по виробничій санітарії

4.2.1 Мікроклімат

Ефективним засобом забезпечення потрібних гігієнічних якостей повітря є вентиляція [27].

Під вентиляцією розуміють систему заходів і пристроїв, призначених для забезпечення на робочих місцях, робочих зонах приміщень метеорологічних

умов і чистоти повітряного середовища. Залежно від способу переміщення повітря розрізняють природну й механічну вентиляцію. Для усунення осідання пилу в приміщенні, зменшуючи її кількість у повітрі, все устаткування закрите парасолями (витяжна вентиляція), з'єднаними за допомогою воздуховодів із пристроями для очищення повітря, що видаляється.

Також у прольоті металургійної ділянки використовують природну вентиляцію повітря. У такому виді вентиляції повітря надходить і віддається через щілини вікна, двері, ворота, ліхтарі.

Опалення побутових приміщень здійснюється за допомогою панелей (батарей) у які як теплоносії використовують пару. Опалення побутових приміщень здійснюється від цеху тепловодопостачання.

Ефективним засобом забезпечення необхідних гігієнічних якостей повітря, що сприяють нормальній роботі і відповідають вимогам [28] передбачена вентиляція деяких робочих місць. Норми мікроклімату на постійних робочих місцях зазначені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Значення прийнятих параметрів повітряного середовища, що допускаються, у робочій зоні приміщень

Період року	Категорія роботи з важкості	Період року			Температура повітря в непостійних робочих місцях, °С
		на постійних робочих місцях			
		температура повітря, °С	відносна вологість повітря, %	швидкість руху повітря, м/с	
Холодний	Середньої важкості Пб	21	75	0,2	15
Холодний	Важка III	19	75	0,3	13
Теплий	Середньої важкості Пб	27	70	0,4	21
Теплий	Важка III	26	75	0,5	19

У спікальному відділенні застосовується природна вентиляція. Природна вентиляція здійснюється завдяки різниці температур повітря в приміщенні й поза ним (тепловий напір) і вплив вітру (вітровий напір) за допомогою аерації. При цьому свіже повітря надходить у приміщення через відкриті ворота й через вікна в нижній частині будинку, а забруднене повітря із приміщення виходить через аераційні ліхтарі. Швидкість руху повітря в приміщенні не повинна перевищувати 0,3-0,5 м/с.

У відділенні мають місце технологічні викиди, що утворюються у процесі спікання агломерату. Викиди організовані й обладнані аераційними установками.

4.2.2 Побутові й допоміжні приміщення

Відповідно до нормативних вимог [29] у цеху передбачені побутові й допоміжні приміщення: душові, гардероби, умивальники, пункти живлення, санвузли. Норми забезпечення цеху санітарно-побутовими приміщеннями й пристроями виконуються.

Умивальники й душові розміщують в окремих приміщеннях, сполучених з гардеробами. При виробничих процесах зі значними тепловиділеннями передбачаються окремі додаткові умивальники з душовими сітками. Умивальники встановлюються з розрахунку 10 чоловік на 1 кран. У гардеробних, при закритому способі зберігання, число місць для зберігання повинно дорівнювати кількості працюючих у всіх змінах.

4.2.3 Виробничий шум, виробнича вібрація

Шум різної інтенсивності й частоти довгостроково впливаючи на працюючих, приводить до зниження гостроти слуху, а згодом до розвитку професійної глухоти. Шум також негативно впливає на фізіологічні функції організму людини. Будучи зовнішнім подразником, що сприймається й аналізується корою головного мозку, шум приводить до перенапруги централь-

ної нервової системи й розладу функцій внутрішніх органів і систем людини.

Для зменшення шуму в цеху застосовують багато різних технічних заходів, замінюють ударні взаємодії деталей ненаголошеними, зворотно-поступальні рухи - обертальними; демпфують коливання, зменшують інтенсивність вібрацій деталей агрегатів облицювання поверхонь, встановлюють пружні еластичні муфти. Для ослаблення вібрацій агрегати встановлюють на самостійних віброізованих фундаментах або на спеціальних амортизаторах, місця приєднання воздуховодів і трубопроводів до вентиляторів і насосів виробляються за допомогою гнучкої вставки із гумової тканини або гумового патрубку [30].

4.2.4 Виробничі випромінювання

Робітники агломераційного цеху постійно або періодично піддаються впливу інфрачервоного випромінювання. Інтенсивність опромінення на робочих місцях залежно від розмірів і температури джерел випромінювання й відстані від нього змінюється в широких межах [31].

Для поліпшення умов праці в агломераційному цеху й захисту працюючих від теплового впливу застосовують наступні способи: теплоізоляцію поверхонь, що випромінюють тепло, за допомогою екранів, що охолоджуються водою, рам, щитів, завіс та ін.; теплоізоляцію й охолодження робочих місць (постів керування, кабін кранів і ін.); природну й механічну вентиляцію; повітряне охолодження замкнених просторів печей, що перебувають у ремонті; водорозпилення на робочих місцях та в віконних прорізах; спецодяг (костюм модель В-106-00) і індивідуальні захисні пристосування – щитки, екрани, окуляри, світлофільтри, респіратори, раціональну організацію режиму праці й відпочинку.

4.2.5 Природне й штучне освітлення

Для створення сприятливих умов праці важливе значення має раціональне освітлення. Незадовільне освітлення ускладнює проведення робіт, веде до

зниження продуктивності праці й працездатності очей і може бути причиною нещасних випадків і їхніх захворювань.

Характеристика приміщення спікального відділення:

- характер робіт	середня точність
- розмір об'єкта розпізнавання, мм	від 0,5 до 1
- розряд зорової роботи	IV
- підрозряд роботи	B
- контрастність об'єкта розпізнавання	середня
- фон	середній
- E_H – штучна, лк	200

Для ремонту устаткування передбачене штучне освітлення.

Природне освітлення нормується. Основним показником нормування служить коефіцієнт природної освітленості (КЕО).

Місто Запоріжжя перебуває в 4 поясі світлового клімату, тому КЕО для нього буде обчислюватися по формулі:

$$KEO_{in}^4 = KEO_{in}^3 \cdot m \cdot e = 1,8 \cdot 0,9 \cdot 0,85 = 1,38\%, \quad (4.4)$$

де KEO_{in}^3 – значення КЕО для 3 поясу світлового клімату;

m – коефіцієнт світлового клімату;

e – коефіцієнт сонячності клімату.

На промислових підприємствах штучне освітлення підрозділяється на робоче (для проведення робіт у темний час доби або в місцях без достатнього природного освітлення), аварійне (для проведення роботи при аварійному відключенні робочого освітлення), евакуаційне (аварійне освітлення для евакуації людей із приміщення при аварійному відключенні робочого освітлення) і охоронне. При необхідності частина світильників того або іншого виду освітлення може використовуватися для чергового освітлення.

Штучне освітлення проектує дві системи: загальну (рівномірне або локалізоване з урахуванням розташування робочих місць) і комбіновану, коли до загального освітлення додається місцеве. Застосування одного місцевого освітлення не допускається, тому що різкий контраст між яскраво освітленими й неосвітленими місцями стомлює очі, сповільнює швидкість роботи й нерідко є причиною нещасних випадків.

Для штучного освітлення на ділянці, що розглядається, використовуються дугові ртутні лампи типу ДРЛ-400, ДРЛ-250, плафони закритого типу НСП-23-200; НСП-11-200; НСП-20-500; плафони відкритого типу РСР-01-400.

Згідно [32] для приміщень, у яких проводяться роботи 6 розряду, тобто спостереження за ходом виробничого процесу, передбачається сполучене освітлення.

Освітленість повинна забезпечувати не менш 75% максимуму, що досягається застосуванням комбінованого освітлення.

4.3 Техногенна безпека

4.3.1 Заходи щодо техніки безпеки

З метою попередження нещасних випадків забороняється:

- починати й вести роботу при будь-яких несправностях у механізмах;
- самовільно, поза встановленим порядком, надавати руху машині;
- допускати сторонніх осіб до працюючої машини;

Ремонт і регулювання машини виконувати тільки при знятій напрузі й зупиненому двигуні.

Всі механізми, що мають електромеханічні приводи, всі електродвигуни й електроапаратура повинні бути надійно заземлені. Проводи, що підводять струм, повинні бути добре ізольованими й неушкодженими [33].

Всі проходи навколо машини повинні бути вільні від сторонніх предметів. Підлога навколо машини повинна представляти рівну неслизьку поверхню. Робоче місце, повинно бути добре освітлене.

При монтажі керуватися вимогами безпеки, розробленими монтажними організаціями [34-35].

4.3.2 Заходи пожежної безпеки

Спікальне відділення належить до пожежонебезпечної категорії "Г", тому що агломерат перебуває в розпеченому стані, процес спікання агломерату супроводжується виділенням променистого тепла й полум'я. По пожежній небезпеці спікальне відділення належить до класу П-1, по ступені вибуховості до класу В-1 [36].

Будинок ділянки спікального відділення належить до II ступеня вогнестійкості (будинки з несучими конструкціями, що обгороджують, із природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону або залізобетону із застосуванням листових і плитних негорючих матеріалів).

Межі вогнестійкості конструкцій:

- несучі й сходові клітки - 2 год;
- самонесучі - 1 год;
- зовнішні несучі - 0,25 год;
- внутрішні несучі - 0,25 год;
- колони - 2 год;
- сходові площадки, щаблі, балки, марші сходових кліток - 1 год;
- плити, настили й ін. несучі конструкційні перекриття - 0,75 год;

До первинних засобів пожежогасіння в цеху відносять: вогнегасники ОУ – 5(25 шт), ОУ–10 (32 шт.), ОВП–1Д (46 шт), пожежний інвентар (покривало з негорючого теплоізоляційного полотна, ящики з піском, бочки з водою, пожежні цеберки, совкові лопати); пожежний інвентар (багри, ломи, сокири й ін.) [37].

Цех має внутрішній протипожежний водопровід з пожежними кранами й рукавами.

На території комбінату забороняється: курити в неналежних місцях (курити необхідно в спеціально відведених місцях); закривати й загороджувати проїзди, під'їзди й підходи до будинків, водопроводів і пожежних гідрантів; виключати окремі ділянки водогінної мережі, внутрішні пожежні крани, знижувати встановлений тиск у мережах; допускати до вогневих робіт осіб, які не пройшли інструктаж пожежного технічного мінімуму; користуватися водою з пожежних водойм і засобами пожежогасіння не за прямим призначенням; застосовувати відкритий вогонь при огляді устаткування й комунікацій.

Для захисту, що перебувають на території агломераційного цеху робочих і промислових агрегатів від випадкового влучення блискавки використовується захист у вигляді громовідводів.

4.4 Дослідження шляхів по поліпшенню екологічних показників цеху

Створення оптимальних метеорологічних і екологічних умов у виробничому приміщенні є складним завданням, рішення якого йде в наступних напрямках: раціональне розміщення джерел теплоти, при охолодженні гарячих виробів, у спеціальних приміщеннях, які мають потужну вентиляційну систему; механізація й автоматизація виробничих процесів шляхом впровадження механічного розвантаження, впровадженні транспортних трубопроводів; впровадженні більш раціональних технологій і устаткування.

Потрібно зробити розрахунок циклона виходячи з наступних умов:

- кількість аспіраційного повітря, що направляється на очищення $V_1=3,05 \text{ м}^3/\text{с}$;
- температура повітря, що направляється на очищення $t=60^\circ\text{C}$;
- запиленість повітря на вході в циклон $Z_1=1,8\text{г}/\text{м}^3$;
- дисперсійний склад пилу (розподіл пилу по масі - сумарний відсоток всіх часток, що мають розмір менше верхніх границь фракцій).

Основні позначення:

δ_{50} – середній (медіанний) розмір часток, м;

δ_{16} – розмір часток, маса яких менше 16% загальної маси всіх часток, м;

δ – показник полідисперсності пилу;

ΔP – опір циклона, Па;

W_0 – умовна швидкість газів у перетині корпусу циклона, м/с;

D_c – діаметр циклона, м;

ξ^c – коефіцієнт опору циклона при його роботі на «мережу»;

ξ^{no} – коефіцієнт опору циклона при його роботі на «на вихлоп».

Попередній розрахунок.

Щільність повітря при н.у. визначається по формулі, кг/м³:

$$\rho = \rho_0 \cdot \frac{273}{273 + t_r} \cdot \frac{P_{бар} - P_r}{101325} \quad (4.2)$$

$$\rho = 1,293 \cdot \frac{273}{273 + 60} \cdot \frac{(726 \cdot 133,3 - 400)}{101325} = 1,011 \text{ кг/м}^3$$

(щільність повітря при н.у., де $\rho_0=1,293 \text{ кг/м}^3$).

Кінематична в'язкість повітря складе $\nu=(15 \cdot 10^{-6}) \text{ м}^2/\text{с}$, а динамічна в'язкість:

$$\mu = \nu \cdot \rho, \quad (4.3)$$

$$\mu = 15 \cdot 10^{-6} \cdot 1,011 = (15,17 \cdot 10^{-6}) \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Так як вхідна запиленність мала, а необхідний ступінь очищення досить великий, попередньо Вибираємо циклон ЦН–11. Виходячи з діапазону співвідношень, що $\frac{\Delta P}{\rho}$ рекомендується, для циклонів ЦН–15, приймаємо

$$\frac{\Delta P}{\rho} = 1000; \Delta P = 1000 \cdot 1,011 = 1011 \text{ Па}$$

Для зниження значення Δp приймаємо, що циклон працює на мережу й постачений вихідним равником, установленої на вихідній трубі, тоді визначаємо $\xi_{0,5}^c = 235$.

Умовна швидкість визначиться з формули:

$$W_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\xi_{0,5}^c \cdot \rho}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1000}{235}} = 2,92 \text{ м / с}, \quad (4.4)$$

При $W_0 = 2,92$ м/с продуктивність циклона $D = 0,8$ м складе:

$$Y_1 = W_0 \cdot \frac{\pi D^2}{4}, \quad (4.5)$$

$$Y_1' = 2,92 \cdot 0,785 \cdot (0,8^2) = 1,467 \text{ м}^3 / \text{с}$$

На очищення подається $3,05 \text{ м}^3/\text{с}$, тому попередньо приймаємо до установки 2 циклони ($2 \cdot 1,467 = 2,934 \text{ м}^3/\text{с} = 2,9 \text{ м}^3/\text{с}$).

Визначимо розподіл дисперсного состава $\delta_{50} = 15,4 \text{ мкм}$, $\delta_{16} = 6,3 \text{ мкм}$ (1 лінія).

Показник полідисперсності по формулі:

$$\delta = \frac{\delta_{50}}{\delta_{16}} = \frac{15,4}{6,3} = 2,44 \text{ мкм}$$

За монограмою для циклона ЦН–15 по призначеннях $D = 0,8$ м, $\Delta P = 1059$ Па, $\mu = (15,89 \cdot 10^{-6}) \text{ Па} \cdot \text{с}$, $\delta_{\eta 50} = 4,2 \text{ мкм}$, $\rho_4 = 1500 \text{ кг/м}^3$
 $\delta_{50} = 15,4 \text{ мкм}$, $\delta_{\eta 50} = 4,2 \text{ мкм}$, $\delta = 2,44 \text{ мкм}$ визначаємо, що $\eta = 92,5\%$, що задовольняє завданню.

Уточнюємо гідравлічний опір циклона:

$$K_1=1;$$

$$K_2=1;$$

$K_3=28$ – при встановленні равликopodobного відвіду газів;

значення $\xi_{\text{гp}_0}$ визначаємо по формулі:

$$\xi_{\text{гp}_0}^{\text{ep}} = 235 + 28 = 263;$$

Тоді опір:

$$\Delta P = \xi_{\text{гp}_0}^{\text{ep}} \frac{W^2}{2} \rho$$

$$\Delta P = 263 \frac{2,92^2}{2} 1,011 = 1133,55 \text{ Па}$$

Таким чином обраний циклон задовольняє умови поставленої задачі по очищенню повітря спічної дільниці.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Аналіз технологічного процесу та механічного обладнання аглофабрики ПАТ «Запоріжсталь» вказують, що однією із причин неефективного використання виробничого часу агломераційної машини є занижена продуктивність змішувача-огрудковувача.
2. На підставі наведеного огляду й аналізу технічної й патентної літератури встановлено, що для огрудкування агломераційної шихти перед її спіканням у світовій практиці використовуються різні конструкції машин, які мають ті ж самі недоліки, що й агрегати ПАТ «Запоріжсталь».
3. В результаті модернізації привода змішувача-огрудковувача будуть досягнуті наступні цілі – збільшення продуктивності, терміну служби, а також покращення якості випускаємої продукції.
4. В ході теоретичних досліджень встановлено, що в світовій практиці прийнято вважати, що характер руху матеріалу в обертовому барабані змішувача-огрудковувача залежить від ступеня його заповнення, частоти обертання й стану внутрішньої поверхні;
5. В ході експериментальних досліджень встановлено, що теоретичні викладки мають доволі вузьку сферу використання і спрацьовують при заповненні барабана в межах 19,5-23,9 %;
6. На підставі проведених експериментів можна стверджувати, що щільність огрудковуємого матеріалу також має вплив на його характер руху під час виконання технологічної операції по огрудковуванню;
7. Результати роботи можуть бути використані не тільки на ПАТ «Запоріжсталь», але й на інших підприємствах чорної й кольорової металургії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Теорія металургійних процесів: Підручник / В. Б. Охотський та ін. — К.: ІЗМН. 1997. — 512 с.
2. 226–ОА–02–05. Технологічний процес агломерації сировини на агломашинах №№1–6. Технологічна інструкція. Вид. офіц. Запоріжжя : ПАТ "Запоріжсталь".
3. Усачов В. П. Технологічні лінії та комплекси металургійних цехів. Частина 2. Технологічні основи компоновки ліній металургійних виробництв. К. : ІСДО, 1994. 416 с.
4. Крячко Г. Ю. Споруди та обладнання доменних цехів : конспект лекцій. Кам'янське : ДДТУ, 2019. 87 с.
5. Білодіденко С. В., Гануш В. І., Клименко Ю. М. Розрахунки металургійного обладнання аглодоменних та сталеплавильних цехів: навч. посібник. Дніпро: НМетАУ, 2016. 138 с.
6. Войтаник С. Т., Ковальов Д. А., Худяков А. Ю. Конструкція та аналіз ефективності роботи нового барабанного огрудковувача. *Металургійна та горнорудна промисловість*. 2009, №1. С. 100–104.
7. Improving the technology production of quality agglomerate / Vochka V. et al. Theory and practice of metallurgy. 2019. Vol. 1, no. 1. P. 5–14. URL: <https://doi.org/10.34185/tpm.1.2019.01>
8. Червоний І. Ф., Печеннікова В. М., Іванов В. І. Технологічне проектування у кольоровій металургії: навч.–метод. посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2009. – 207 с.
9. Русанов І. Ф., Петрушов С. М. Конструкції і обладнання фабрик окускування: навч. посібник. Алчевськ: ДонДТУ, 2010. 272 с.
10. Барабанний огрудковувач : пат. 713920 : С 22 В 1/24.; заявл. 17.05.77; опубл. 05.02.80, Бюл. № 2. 3 с.
11. Барабанний змішувач–огрудковувач шихти: пат. 905303 : С 22 В 1/24.; заявл. 13.02.80; опубл. 15.02.82, Бюл. № 6. 3 с.

12. Пристрій для змішування та огрудковування агломераційної шихти: пат. 1018986 : С 22 В 1/24.; заявл. 22.01.82; опубл. 23.05.83, Бюл. № 19. 4 с.
13. Барабанний огрудковувач: пат. 623890 : С 22 В 1/24.; заявл. 03.02.77; опубл. 15.09.78, Бюл. № 34. 2 с.
14. Kozhanov T. V., Yagolnik M. V., Dyadin A. A. Investigation of influence of mechanical activation of slimes contained in sinter burden grains on the quality of agglomerate. *Metallurgical and Mining Industry*. 2016. No. 5. P. 5–8.
15. Research of ways of intensification of agglomeration process for Joint Stock Company Pokrovskiy Girnycho Zbagachovalniy Kombinat / S. P. Shuvaev et al. *Metal and Casting of Ukraine*. 2022. Vol. 30, no. 1. P. 8–15. URL: <https://doi.org/10.15407/steelcast2022.01.008>
16. Бережний М. М., Мовчан В. П. Збагачення та окускування сировини : монографія. Кривий Ріг : Інститут сучасних професій, 2000. 365 с.
17. Суліменко С. Є. Енергозберігаюча технологія керованого рідкофазного спікання гібридного залізорудного матеріалу для доменного переділу : автореф. дисертація. Дніпропетровськ, 2010. 20 с.
18. Литвинов О.І., Федорина Т.П., Приходько С.П. Теоретична механіка з графічними ілюстраціями. Теорія і практика: навч. посіб. Ніжин: Вид. НДУ ім. Гоголя, 2012. 1003 с.
19. Довбуш Т.А., Хомик Н.І., Бабій А.В., Цьонь Г.Б., Довбуш А.Д. Опір матеріалів: навч. посіб. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, ФОП Паляниця В. А., 2022. 220 с.
20. ДСТУ 9080:2021 Вальниці кочення. Вальниці кулькові та роликові. Система умовних позначень. БУДСТАНДАРТ Online – нормативні документи будівельної галузі України. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=94541 (дата звернення: 20.11.2022).
21. Козуб Ю.Г., Маслійов С.В. Підйомно–транспортні машини: Підручник. Старобільськ: ЛНУ імені Тараса Шевченка, 2018. 277 с.

22. ГОСТ 23360–78 Основні норми взаємозамінності. З'єднання шпонні з призматичними шпонками. Розміри шпонок і перетинів пазів. Допуски і посадки. БУДСТАНДАРТ Online – нормативні документи будівельної галузі України. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=54651 (дата звернення: 20.11.2022).
23. ДСТУ 9078:2021 Вальниці кочення. Вальниці кулькові радіально–упорні однорядні. Типи та основні розміри. БУДСТАНДАРТ Online – нормативні документи будівельної галузі України. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=94539 (дата звернення: 20.11.2022).
24. Воденніков С. А., Гаврилко С. О. Сировинні матеріали та їх підготовка до металургійних процесів : підруч. для ВНЗ. Запоріжжя : ЗДІА. 2013. 407 с.
25. Охорона праці на гірничо–металургійному підприємстві: навч. посібник. Ч.І: Металургійний комплекс. / В.О.Шеремет та ін. Дніпропетровськ: Січ, 2002. 375 с.
26. 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.
27. Геврик Е. О. Охорона праці. Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. К: Ельга, Ніка–центр, 2003. 280 с.
28. ДСН 3.3.6.042–99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень
29. ДСП 3.3.1.038–99. Підприємства чорної металургії. Чинний від 1999–12–01. Вид. офіц.
30. ДСН 3.3.6.037–99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Чинний від 1999–12–01. Вид. офіц.
31. ДСТУ 2894–94. Пристрої екранувальні для захисту від інфрачервоного випромінювання. Параметри та загальні технічні вимоги. Чинний від 1996–

- 01–01. Вид. офіц. 1994.
- 32.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>.
- 33.Правила улаштування електроустановок. URL: <https://mev.gov.ua/storinka/pravyula-ulashtuvannya-elektroustanovok> (дата звернення: 13.08.2023).
- 34.Технологічна інструкція з безпеки виробничих процесів в умовах агломераційного цеху. ПАТ «Запоріжсталь», агломераційний цех, 2002.79 с.
- 35.НПАОП 0.00–1.75–15. Правила охорони праці під час вантажно–розвантажувальних робіт. На заміну НПАОП 63.11–7.04–84, НПАОП 63.1–1.06–85 ; чинний від 2015–03–03. Вид. офіц. 2015.
- 36.ДБН В.1.1–7:2016.Пожежна безпека об'єктів будівництва Загальні вимоги [Електронний ресурс] // Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово–комунального господарства України. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <http://kbu.org.ua/assets/app/documents/dbn2/32.1.%20ДБН%20В.1.1–7~2016.%20Пожежна%20безпека%20об'єктів%20будівни.pdf>.
- 37.НАПБ А.01.001–2014. Правила пожежної безпеки в Україні. На заміну НАПБ А.01.001–2004 Правила пожежної безпеки в Україні ; чинний від 2023–04–07. Вид. офіц. 2014.

СПИСОК ГРАФІЧНОГО МАТЕРІАЛУ

№ п/п	Найменування	Кільк. листів	Формат
1	Змішувач-огрудковувач	1	A1
2	Привод барабана	1	A1
3	Вал проміжний	1	A1
4	Деталювання	2	A2
5	Характеристики типів руху сипучого матеріалу в обертовому барабані	1	A1
6	Результати експериментів по визначенню впливу технологічних параметрів на характер руху матеріалу в обертовому барабані	1	A1
7	Циклон ЦН15-800	1	A1

ДОДАТКИ