

Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

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

(назва факультету)

кафедра металургійного обладнання

(повна назва кафедри)

## **ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА**

На тему Аналіз умов роботи та підвищення роботоздатності обладнання  
відділення приймальних бункерів доменного цеху

Виконав: магістрант групи 8.1332

Бадло В.В.

(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 \_\_\_\_\_

(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

Бадло Вадим Вадимович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема магістерської роботи: Аналіз умов роботи та підвищення роботоздатності обладнання відділення приймальних бункерів доменного цеху  
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 2021 року.
3. Вихідні дані магістерської роботи техніко-економічні показники роботи доменного цеху
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Огляд науково-технічних рішень підвищення надійності обладнання відділення приймальних бункерів доменного цеху 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. Доменна піч – 1A0; 2. Бункерна естакада – 1A1; 3. Обрушувач завислого матеріалу (ударної дії) – 1A1; 4. Деталіровка – 1A1 5. Аналіз причин зависання сипкого матеріалу – 1A1; 6. Аналіз впливу геометрії бункера на утворення склепінь матеріалу – 1A1; 7. Заземлення обладнання дільниці – 1A1;

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 ДЕК	Згідно з графіком	

Студент \_\_\_\_\_  
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник магістерської роботи \_\_\_\_\_  
 (підпис) (прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Бадло В.В. Аналіз умов роботи та підвищення роботоздатності обладнання відділення приймальних бункерів доменного цеху.

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.

Проаналізовані переваги та недоліки наявних технічних рішень спрямованих на підвищення ефективності роботи бункерних пристроїв. Запропонований варіант модернізації системи обвалення склепінь завислого матеріалу. Проведено аналіз причин зависання матеріалу в бункері. Розроблено Математична модель роботи вібратора ударної дії.

Ключові слова: ДОМЕННА ПІЧ, БУНКЕР, СКЛЕПІННЯ, УДАР

## ABSTRACT

Badlo V.V. Analysis of working conditions and improving the efficiency of the equipment of the receiving bunkers department of the blast furnace.

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 advantages and disadvantages of existing technical solutions aimed at improving the efficiency of bunkering devices are analyzed. The proposed option of modernization of the system of collapse of vaults of suspended material. An analysis of the causes of material stagnation in the hopper was carried out. A mathematical model of the impact vibrator operation has been developed.

Keywords: BLAST FURNACE, BUNKER, VAULT, IMPACT

## Зміст

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ	7
Вступ	8
1 ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ОБЛАДНАННЯ ВІДІЛЕННЯ ПРИЙМАЛЬНИХ БУНКЕРІВ ДОМЕННОГО ЦЕХУ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ОБРАНОГО НАПРЯМКУ РОБОТИ	10
1.1 Технологічний процес доменного цеху	10
1.2 Аналіз компоновок обладнання доменних цехів	14
1.3 Аналіз обладнання відділення приймальних бункерів	16
1.4 Огляд технічних рішень спрямованих на модернізацію бункерів та їхнього механічного обладнання	25
1.5 Обґрунтування обраного напрямку	31
2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА	33
2.1 Розрахунок обшивання бункера	33
2.2 Розрахунок ребер жорсткості воронки	39
2.3 Розрахунок міцності бункерних балок	42
2.4 Розрахунок стінки балки	48
2.5 Монтажні розрахунки	50
3 ДОСЛІДНО–ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	53
3.1 Аналіз причин зависання матеріалу в бункері	53
3.2 Вплив геометрії бункера на зависання матеріалу	56
3.3 Аналіз ефективності ударного впливу на стінки бункера для обвалення матеріалу	60
3.3.1 Математична модель роботи вібратора ударної дії	60
3.3.2 Математична модель ефективності удару	62
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА В ГАЛУЗІ	65
4.1 Виявлення та оцінка шкідливих факторів виробничого середовища	65
4.1.1 Характеристика ступеня безпеки технологічного процесу, рівня механізації й автоматизації	65

	6
4.1.2 Аналіз потенційних і шкідливих факторів виробничого середовища	67
4.2 Заходи захисту від впливу шкідливих факторів виробничого середовища	69
4.3 Технічні рішення по гігієні праці та виробничій санітарії	70
4.3.1 Опалення й вентиляція	70
4.3.2 Природне й штучне освітлення.	71
4.3.3 Виробничий шум, виробнича вібрація	71
4.4 Техногенна безпека	73
4.4.1 Заходи щодо техніки безпеки при ремонтних роботах на кранах	73
4.4.2 Заходи пожежної безпеки	74
4.4.3 Ймовірність аварій та заходи щодо їх ліквідації	75
4.5 Дослідження схеми захисного заземлення електрообладнання	77
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ	82
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	83
СПИСОК ГРАФІЧНОГО МАТЕРІАЛУ	87
ДОДАТКИ	88

## СКРОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

К.В.К.О. – коефіцієнт використання корисного обсягу доменної печі;

ЕОМ – електронно-обчислювальна машина;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

Ст.35Л – сталь з відсотковим складом вуглецю 0,33-0,36 призначена для литва;

ВТК – відділ технічного контролю;

КПО – коефіцієнт природнього освітлення;

БНіП – будівельні норми і правила;

НПАОП – нормативно-правовий акт з охорони праці;

ГДК – гранично допустима концентрація;

ГДР – гранично допустимий рівень;

СН – санітарні норми;

КПО – коефіцієнт природної освітленості;

н.у. – нормальні умови

## Вступ

Основним продуктом доменного виробництва є чавун, який отримують методом відновлення залізної руди, добутої на залізорудних комбінатах, в доменних печах. Окрім чавуну при виконанні доменного процесу отримують побічні продукти, такі як шлак, колошникові гази та пил [1].

Операції з шихтою найбільш трудомісткі в технологічному циклі підготовки до роботи доменної печі. До них входять такі процеси: розвантаження прибуваючих залізничних вагонів або суден з шихтовими матеріалами; сортування, раціональне складування і усереднення шихтових матеріалів на рудному дворі; своєчасне завантаження бункерів доменної печі, виконання заходів, що не допускають змерзання матеріалів і забезпечують їхнє зволоження; суворий набір матеріалів по співвідношенню і кількості з відсівом дріб'язку (в основному для коксу); подача матеріалів на колошником; своєчасна і раціональна завантаження матеріалів в доменну піч [1].

Залежно від обсягу печі, часу її введення та умов будівництва змінювався склад та розташування обладнання бункерної естакади. Найбільшого поширення набула система шихтоподачі доменних печей об'ємом 2000 м<sup>3</sup>.

У складі такого компонування бункерної естакади є бункери рудні, коксові та бункери добавок. Рудні бункери (16 шт.) з об'ємом 100 м<sup>3</sup> призначені для прийому агломерату (окатишів) і розташовані в два ряди вздовж фронту доменних печей, а коксові (2 шт.) з об'ємом 300 м<sup>3</sup> - в один ряд безпосередньо біля скіпового підйомника, бункера добавок (4 шт.) об'ємом 70 м<sup>3</sup>.

Поліпшення техніко-економічних показників роботи доменних печей і збільшення тривалості їх кампанії неможливо без впровадження нових конструктивних рішень в механічному обладнанні як самих доменних печей, так і допоміжного обладнання, в тому числі і обладнання бункерної естакади [2].

**Мета і задачі дослідження.** Метою роботи є дослідження роботи бункерного пристрою для проміжного збереження продуктів шихтоподачі та удосконалення його конструкції.



Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- виконати аналіз раніше проведених досліджень в питаннях удосконалення конструкції бункерних пристроїв з метою підвищення ефективності їхньої роботи;
- визначити навантаження, що діють на бункер, та виконати розрахунок основних його конструктивних елементів;
- виконати аналіз причин зависання матеріалу в бункері;
- проаналізувати вплив геометрії бункера на зависання матеріалу
- розробити математичну модель роботи вібратора ударної дії.

**Предмет дослідження** – конструктивні параметри бункерного пристрою для проміжного зберігання шихтових матеріалів.

**Об'єкт дослідження** – обвалювач склепінь завислого матеріалу ударної дії.

**Апробація результатів роботи.** Основні положення роботи доповідалися на: II Всеукраїнській науково-практичній конференції за участю молодих науковців «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України». Запоріжжя: ЗНУ, 2022 р. Опубліковано тези доповіді.

**Структура та обсяг роботи.** Магістерська робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг роботи включає 102 сторінки, у тому числі 84 сторінки основного тексту, 23 рисунки, 6 таблиць, 43 найменування використаних джерел на 4 сторінках, 14 додатків.

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

# 1 ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ОБЛАДНАННЯ ВІДЛЕННЯ ПРИЙМАЛЬНИХ БУНКЕРІВ ДОМЕННОГО ЦЕХУ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ОБРАНОГО НАПРЯМКУ РОБОТИ

## 1.1 Технологічний процес доменного цеху

Залізо (Fe) є четвертим елементом за рівнем поширеності на Землі. Але на нашій планеті воно в чистій елементарній формі воно зустрічається дуже рідко. Тому люди стали отримувати його методом відновлення із залізовмісних руд, що являють собою окиси та вуглекислі солі закису Fe [1-2].

Основним продуктом доменного виробництва є чавун, який отримують методом відновлення залізної руди, добутої на залізорудних комбінатах, в доменних печах. Окрім чавуну при виконанні доменного процесу отримують побічні продукти, такі як шлак, колошникові гази та пил [2-3].

У вигляді готової продукції чавун можна поділити на два типи – передільний та ливарний. З передільного чавуну виплавляють сталь, а з ливарного виконують лиття кінцевих виробів у вигляді різноманітних деталей. Шлак після певної переробки використовують в будівництві, а колошниковий газ можна направляти в наступні за доменним технологічні процеси, у якості висококалорійного палива, але при цьому потрібно розуміти, що він потребує додаткового очищення, а отже і деяких додаткових капіталовкладень.

Відновлення чавуну з руди відбувається в два етапи: підготовка та плавка в доменній печі [4].

Доменне виробництво є складним багатостадійним процесом, що складається з комплексу спеціалізованих операцій з обробки різнорідних матеріалів. Зважаючи на безперервність, високий ступінь механізації, велику насиченість контрольно-виміральної апаратури, доменний процес досить добре підготовлений для автоматичного керування [5].

Доменний процес - це процес видалення кисню з оксидів заліза, що містяться в агломераті, котунах і залізній руді, з подальшим утворенням чавуну

– сплаву заліза з вуглецем. Цей складний фізико-хімічний процес протікає послідовно по всій висоті доменної печі в умовах зустрічного руху і взаємодії двох потоків: низхідного потоку шихтових матеріалів, що завантажуються зверху печі, палива (коксу) і висхідного потоку газів.

Швидкості зазначених потоків суттєво відрізняються один від одного; матеріали проходять через сучасну доменну піч за 6-8 год, газовий потік за 3-4с. Рудна частина шихти сучасних печей складається з офлюсованого агломерату, котунів, рудних добавок (залізна та марганцева руди), залізовмісних добавок; як флюс використовується вапняк; паливом є кокс [6].

Доменна піч та процес плавки - об'єкти з великою акумулюючою здатністю, розподіленими параметрами та значною інерційністю. Основними збурюючими впливами, що порушують перебіг доменного процесу, є зміни якості матеріалів, що завантажуються, і хіміко-мінералогічного складу, що призводить до зміни розподілу газового потоку по перерізах печі, теплового стану печі, ступеня використання теплової та хімічної енергії газового потоку.

До основних управляючих впливів відносяться параметри режиму завантаження-управління «зверху» (рудне навантаження, тобто відношення маси агломерату і руди до маси коксу, що завантажуються в піч, послідовність завантаження матеріалів і розподіл їх по перерізу колошника) і режиму дуття-управління знизу» (витрата, температура, вологість повітряного дуття, пари, природного газу, що додаються в дуття).

Однією з головних завдань при керуванні доменним процесом є стабілізація теплового стану і, отже, продуктивності печі, складу та температури продуктів плавки. Безперервність доменного процесу значно полегшує завдання автоматизації, однак ускладнення в управлінні виникають через порушення безперервності процесу періодичним випуском продуктів плавки:

Характерною особливістю доменного виробництва є необхідність підтримання практично постійними продуктивністю печі та складом чавуну. Така сталість вимагає стабілізації параметрів завантаження, так і дутьового режиму.

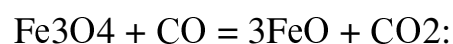
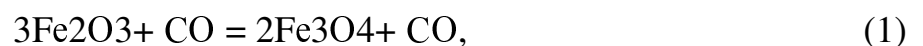
Доменна піч як об'єкт управління має велику інерційність і час запізнення. Наприклад, при зміні складу шихти перехідний процес триває  $(2-3) t_m$  ( $t_m$  - час знаходження матеріалів в печі), а час запізнення може доходити до 3-4 год. При зміні параметрів дуття перехідний процес триває  $(1-2) t_m$  а запізнення становить до 30 хв. Це значно ускладнює керування особливо «згори» і вимагає використання всієї можливої інформації про перебіг доменного процесу для прогнозування зміни теплового стану та інших параметрів. Управління «знизу» значно менш інерційне, але й вплив його суттєво слабший. Тому керування «знизу» часто використовується для виправлення порушень процесу, спричинених неточністю керування «зверху». Крім того, на керуючий вплив «знизу» накладено низку обмежень. Так відсутня можливість підвищити при керуванні температуру дуття, оскільки вона завжди підтримується максимально можливою за технічними умовами (стійкість кладки повітрянагрівачів). Можна було б створити резерв управління «знизу» за температурою дуття, але це неминуче спричинило б підвищення витрати коксу.

При управлінні «згори» найбільш істотний вплив на тепловий стан печі надає витрата коксу, що завантажується в піч (при незмінному витраті рудної частини шихти) і його вологість. Важливе значення має гранулометричний склад шихти та розподіл шихтових матеріалів по перерізу шахти доменної печі. Для рівного сходження шихти в печі та рівномірного розподілу газового потоку по перерізу шахти необхідно забезпечити необхідне розподілення матеріалів по периметру великого конуса і, отже, колошника. Так, щоб уникнути надмірного розвитку периферійного газового потоку (газовий потік в основному утворюється в районі фурм і його найкоротший шлях - вздовж стін печі) газопроникність периферійної частини стовпа матеріалів повинна бути нижчою від осьової, тому в периферійну частину має бути направлена більша кількість рудної частини шихти [5].

При завантаженні вся подача може бути зібрана у вирві великого конуса і опущена в піч. При цьому порядок розташування матеріалів на конусі може бути різним: агломерат унизу, а кокс зверху; кокс унизу, а агломерат зверху.

Оскільки подача матеріалів у піч одностороння (скипи або конвеєр підходять на колошник тільки з одного боку), у вирві малого конуса матеріали розташовуються нерівномірно по висоті, утворюючи односторонній укіс. Якщо матеріали опустити в такому положенні на великий конус, а потім у піч, опір проходу газів по перерізу шахти печі буде нерівномірним, що призведе до порушення нормального ходу печі. Для створення рівномірного опору проходу газів по колу колошника застосовуються розподільники шихти (ВРШ), що обертаються, до складу яких входять воронка, що обертається, і малий конус. Після завантаження шихти вирва повертається разом з малим конусом на заданий кут повороту (120, 180, 240, 300 °С) і зупиняється. Після цього малий конус опускається і висипається матеріал на великий конус. Відповідні заходи щодо розподілу шихти по радіусу та периметру колошника застосовуються і при безконусних методах завантаження шихти, наприклад, за допомогою апаратів лоткового типу. Знизу в доменну піч повітрорудними машинами подається дуття. Підготовка дуття до введення в робочий простір полягає в стисканні його до потрібного тиску (0,4 МПа), нагріванні до температури 1300 °С, збагаченні киснем і зволоженні парою. Зазвичай у доменних печах застосовується комбіноване дуття, що включає подачу газу [5].

За рахунок кисню, що міститься в дутті, в окислювальній зоні поблизу фурм відбувається горіння коксу і утворюється оксид вуглецю, який відновлює на своєму шляху вгору залізо з його оксидів за схемою [7]:



За приблизно такою ж схемою (але з утворенням заліза і водяної пари) відбувається відновлення заліза воднем, що міститься в пічних газах і є продуктом дисоціації вологи шихти і коксу або водяної пари, що вдмухується в

піч. Відновлення, продуктом якого є  $\text{CO}_2$  або  $\text{H}_2\text{O}$ , а як відновник використовується газ  $\text{CO}$  або  $\text{H}_2$  називається непрямим.

Крім непрямого, в робочому просторі печі протікає відновлення заліза за рахунок вуглецю коксу з утворенням заліза і оксиду вуглецю. Так як пряме відновлення протікає з поглинанням тепла, його область простягається від зовнішнього кордону окислювальних зон біля фурменних до горизонту з температурою  $900-950\text{ }^\circ\text{C}$ . Вище області прямого відновлення (аж до колошника) газ потрапляє до області, де проходять реакції непрямого відновлення. У міру підйому газового потоку вгору змінюються його температура та склад. Максимальна температура спостерігається у горні печі біля фурм, де йде горіння палива. Зміст  $\text{CO}$  в потоці газів внизу печі велике,  $\text{CO}_2$  практично немає; вийшовши з області високих температур, гази збагачуються  $\text{CO}_2$ , а вміст  $\text{CO}$  знижується при постійній сумі  $\text{CO}+\text{CO}_2$ . Таким чином, за складом газу, що знаходиться в печі, можна судити про характер відновлювальних процесів у доменній печі. Щоб піч працювала економічно, необхідно певне поєднання процесів прямого і непрямого відновлення, яке залежить від розподілу температур у печі. Знаючи склад колошникового газу, допустимі перепади тиску по висоті печі, а також характер газорозподілу по перерізу печі, можна визначати необхідну кількість дуття, або змінювати в необхідний бік витрати кисню, природного газу або пари, що додаються в дуття і тим самим впливати на характер відновлювальних реакцій [5].

## 1.2 Аналіз компоновок обладнання доменних цехів

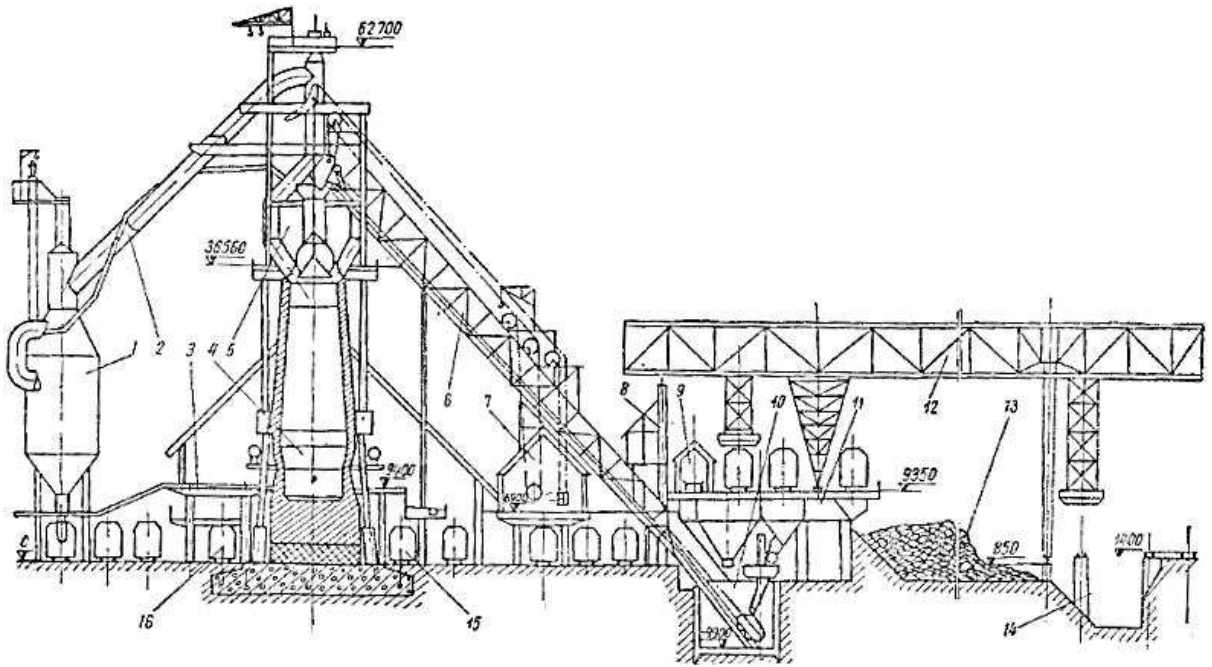
Більшість старих доменних цехів побудовано за німецьким типом планування. Особливість цього планування у тому, що ливарні двори відокремлені від домен і з'єднуються перекидними містками (жолобами). Повітрянагрівачі винесені між доменними печами та бункерною естакадою, що подовжує та обтяжує скіпові підйомники. Відстань між печами менше 60 м ходу.

Доменні печі, введені в експлуатацію в минулому сторіччі, побудовані за проектами, характерна особливість планування яких полягає в тому, що ливарні двори примикають до доменних печей та обслуговують дві печі, об'єднані в блок (блокове розташування печей). Повітрянагрівачі розташовані в один ряд між печами; відстань між доменними печами 80-90 м. Більш модернізованим є перший типовий проєкт доменного цеху з печами корисним об'ємом 930 м<sup>3</sup>. Цей цех також виконаний блоковим. На ливарному дворі, що обслуговує дві печі, розміщують жолоби для чавуну та шлаку. Рідкий чавун по жолобах прямує в чавуновозні ковші, розташовані з боку, протилежного бункерній естакаді, а шлак - в шлаковозі, встановлені між ливарним двором та бункерною естакадою. Відповідно до цього доменний цех має шлаковозну і чавуновозну (гарячу) сторони ливарного двору. Повітрянагрівачі розміщені в ряд між печами, а пиловловлювачі - з боку розливу чавуну. Відстань між доменними печами одного блоку становить 68,6 м, а між крайніми печами суміжних блоків – 96 м.

Однак цей типовий проєкт має істотні недоліки, що полягають у тому, що для збирання колошникової пилу з пиловловлювачів та обслуговування ливарних дворів служить одна залізнична колія, а для збирання шлаку – тупикові залізничні колії.

Другий типовий проєкт доменного цеху з печами корисним об'ємом 1300 м<sup>3</sup> є цехом з індивідуальним розташуванням печей, при якому кожна доменна піч з повітрянагрівачами і ливарним двором утворює незалежну ділянку (острів) у системі транспортних потоків. Між суміжними печами проходить наскрізний ходовий шлях. Відстань між печами значно збільшена і становить 123,8 м ходу.

Всі сучасні доменні цехи будують за новим плануванням з індивідуальним (острівним) розташуванням печей без наскрізного ходового шляху (рис. 1.1). Особливість цього планування у тому, що з кожної печі передбачено свій ливарний двір, повернутий зручності збирання чавуну і шлаку під кутом 12-13° до фронту печей. Під цим же кутом по осі ливарного двору розташовані повітрянагрівачі.



1 – пиловловлювачі грубого очищення газу; 2 – газопровід газу; 3 – ливарний двір; 4 – доменна піч; 5 – колошниковий пристрій печі; 6 – скіповий підйомник; 7 – машинний зал; 8 – підйомник коксового дріб'язку; 9 – галерея транспортера для коксу; 10 – скіпова яма; 11 – бункерна естакада; 12 - рудний перевантажувач; 13 - рудний двір; 14 - приймальна траншея рудного двору; 15 - шлаковоз; 16 – чавуновоз

Рисунок 1.1 – Поперечний розріз сучасного доменного цеху

При такому компонуванні відстань між доменними печами значно менша, ніж при наскрізному ходовому шляху. За плануванням цього типу побудовано доменні цехи з типовими доменними печами середнього та великого обсягу (корисним обсягом 1033, 1386, 1513, 1719 та 2002 м<sup>3</sup>) [8].

### 1.3 Аналіз обладнання відділення приймальних бункерів

Основним виробничим підрозділом відділення приймальних бункерів є бункерна естакада. Вона виконує роль проміжного сховища всіх шихтових матеріалів доменної плавки, що забезпечує безперервну механізовану та масову подачу їх до скіпових підйомників, які завантажують ці матеріали в доменні печі. Бункерна естакада розташована між рудним двором та доменними печами.



Необхідність її створення обумовлена такими причинами: по-перше, біля доменних печей має бути повний асортимент шихти (руди, коксу, флюсів, агломерату, металевих добавок та ін.) для нормального ведення доменного процесу; по-друге, для безперебійної подачі шихти на випадок можливих порушень у роботі джерел сировини (для руди та флюсів – на 24-36 год., для коксу – на 6-10 год. роботи) і, по-третє, потрібна безперервна та механізована подача шихти від транспортних засобів, що забезпечують естакаду до скіпового підйомника.

Залежно від обсягу печі, часу її введення та умов будівництва змінювався склад та розташування обладнання бункерної естакади. Найбільшого поширення набула система шихтоподачі доменних печей об'ємом 2000 м<sup>3</sup>.

У складі бункерної естакади цих печей є бункери рудні, коксові та бункери добавок. Рудні бункери (16 шт.) з об'ємом 100 м<sup>3</sup> призначені для прийому агломерату (окатишів) і розташовані в два ряди вздовж фронту доменних печей, а коксові (2 шт.) з об'ємом 300 м<sup>3</sup> - в один ряд безпосередньо біля скіпового підйомника, бункера добавок (4 шт.) об'ємом 70 м<sup>3</sup>.

Комплекс обладнання шихтоподачі (рис. 1.2) складається із двох самостійних груп механізмів, розташованих з двох сторін скіпової ями.

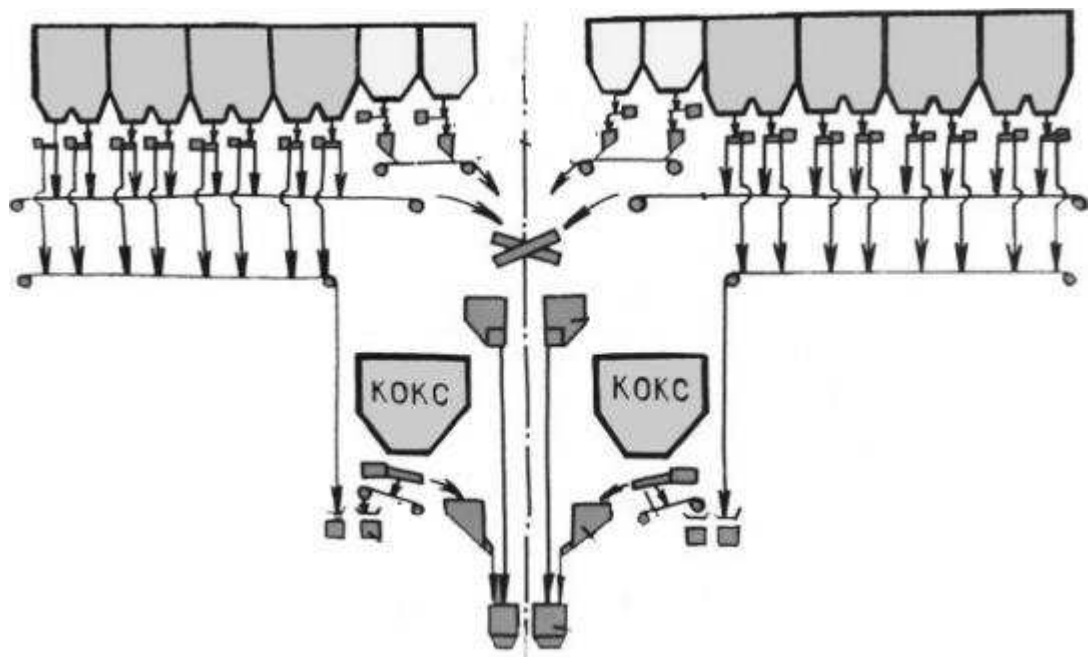


Рисунок 1.2 – Система шихтоподачі доменної печі

У кожній групі є бункер коксу, з якого гуркотом продуктивністю 160 м<sup>3</sup>/год відсіяний кокс крупністю більше 40 мм подається у лійку-ваги коксу з корисним об'ємом 12 м<sup>3</sup>, а потім у скіпи скіпового підйомника. Коксовий дріб'язок з бункера-накопичувача видається в скіповий підйомник коксового дріб'язку і далі вирушає на аглофабрику .

З рудних бункерів через гуркоти-живильники продуктивністю 100 м<sup>3</sup>/год відсіяний матеріал (агломерат, котуни) подають на стрічковий конвеєр з шириною стрічки  $B = 2000$  мм, який транспортує його до скіпової ями і за допомогою поворотного лотка завантажують у праву або корисним об'ємом 12 м<sup>3</sup>, з затвором. При відкритті затвора лійки матеріал висипається в скіпи скіпового підйомника.

Дрібна фракція з-під гуркоти-живильника по лійці (папці) подається на конвеєр дріб'язку агломерату (окатишів) і транспортується в бункер дріб'язку агломерату.

Добавки (флюси та ін.) видаються з бункерів на основний конвеєр ( $B = 2000$  мм) через вагові та дозуючі пристрої.

Гуркіт-живильник призначений для відсіву дріб'язку агломерату, котунів і добавок.

Гуркіт-живильник складається з короба (рис. 1.3), що представляє собою зварену раму з дном у вигляді похилої колосникової решітки, яка жорстко з'єднана болтами з електромагнітним приводом. Через гумометалеві амортизатори короб і привод спираються на візок, який дозволяє викочувати гуркіт з-під рудного бункера під час ремонтів.

Продуктивність гуркоти типу 182АГр становить 100 м<sup>3</sup>/год, кут нахилу колосників до горизонту 20 град, амплітуда коливань короба 0,9 мм.

Електровібраційні гуркоти-живильники за принципом дії відносяться до двомасних резонансних коливальних систем, маси яких пружно пов'язані між собою. Активною масою є робочий орган (лоток), балка-обойма, скоба та якоря електромагніту, а реактивною – корпус, траверси та сердечник електромагніту з котушками.

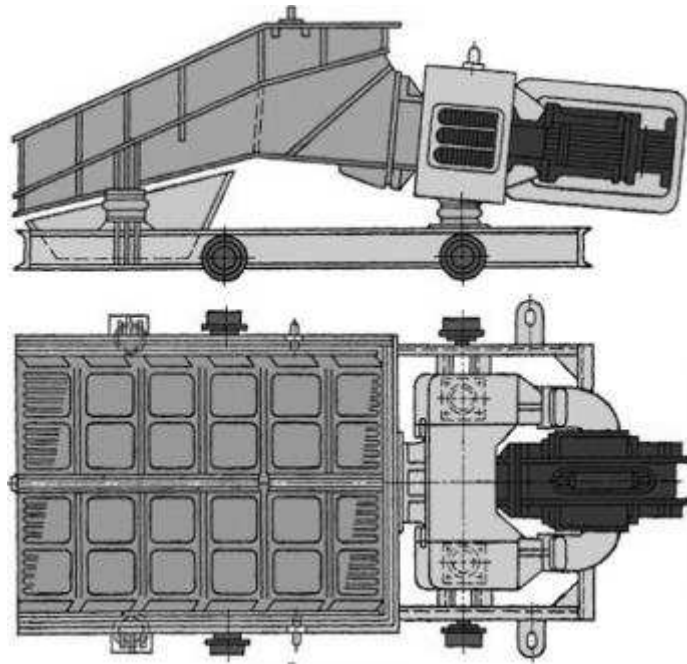


Рисунок 1.3 – Гуркіт-живильник рудного бункера

Гуркіти цього типу прості за конструкцією, надійні та забезпечують можливість автоматичної роботи спільно з іншими механізмами.

Недоліком такого гуркоту є порівняно низька ефективність гуркотіння через забивання колосників.

Для зміни напрямку потоку матеріалів (агломерату, котунів) і добавок у праву або ліву вагову воронку агломерату використовується перекидний лоток (рис. 1.4).

Матеріал з конвеєрів 1 або 2 потрапляє на поворотний лоток 3, що знаходиться всередині кожуха 4, і далі направляється в ліву 3а або праву вагову 3б воронки. Вал лотка через кривошип 5, тягу 6, колінчастий вал що спирається на підшипники, муфту, редуктор, муфту з гальмом обертається двигуном і керується командоапаратом. На рисунку 1.4 в, показаний основний привод перекидного лотка.

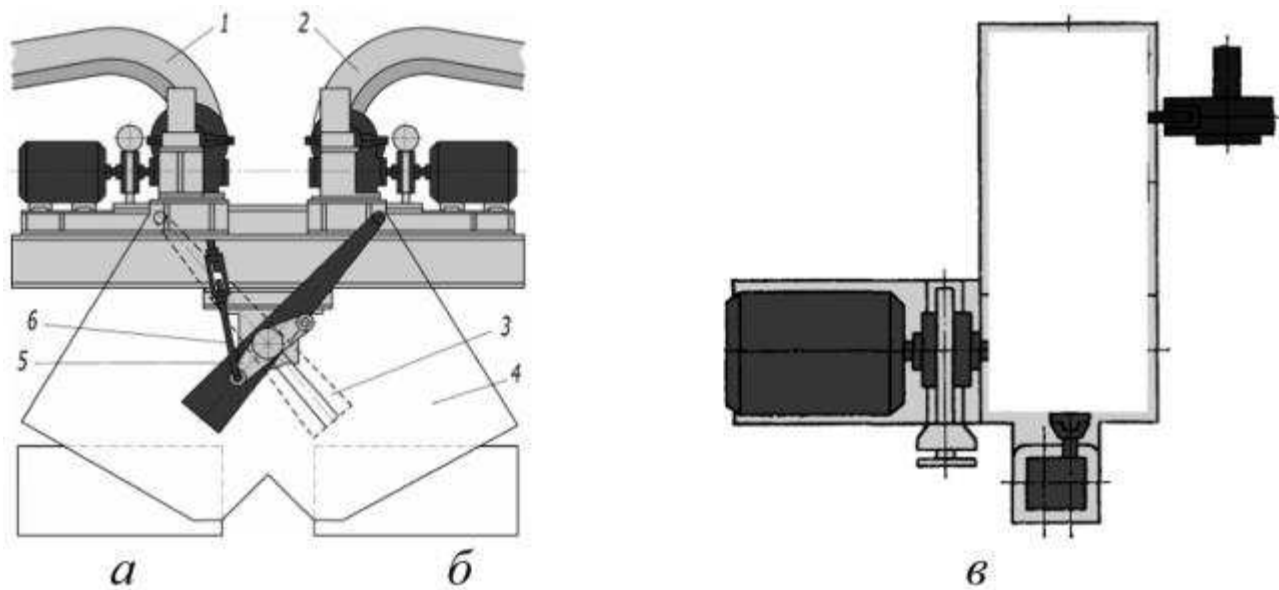


Рисунок 1.4 – Поворотний перекидний лоток (позиції наведено в тексті)

Вирва-ваги з секторним затвором (рис. 1.5) призначена для набору, зважування та видачі матеріалу в скіп скіпового підйомника. Корпус вирви виконаний звареним з листової сталі, усередині футерований. Стійки вирви спираються на ваговий механізм важільного або тензометричного типу (на схемі не показаний).

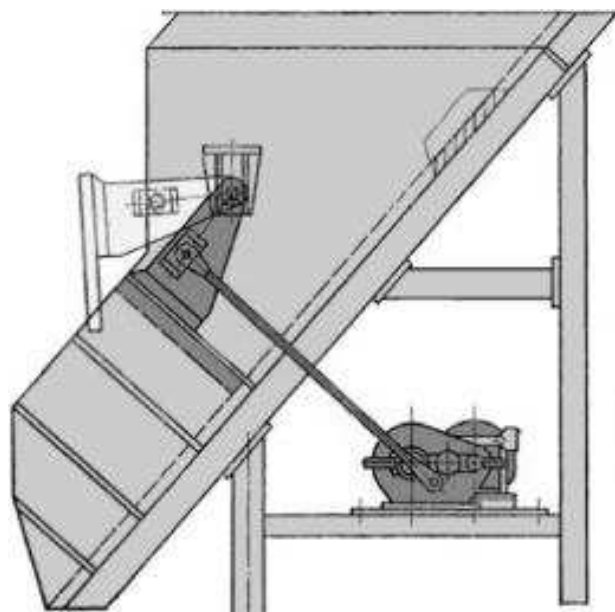


Рисунок 1.5 – Вирва-ваги

Горловина ворви перекрита затвором, що перешкоджає руху матеріалу з ворви по тічці. Щоківини затвора шарнірами пов'язані з корпусом лійки та з тягами приводу. У відкритому положенні при повороті щоківини затвор виходить зі струменя матеріалу, що зсипається. Днище воронки має футерування.

Привод ворви встановлений на плиті і складається з електродвигуна, сполучної муфти з гальмом, редуктора, валу, змонтованого на підшипниках і з'єднаного з муфтою редуктором. На кінці валу та на іншому кінці вихідного валу редуктора встановлені кривошипи, пов'язані тягами зі щоківинами. Командоапарат з'єднаний із валом через зубчасту передачу. Вагові ворви призначені для роботи з гарячим агломератом ( $600^{\circ}\text{C}$ ) при числі відкривання затвора до 60 разів на годину. Час відкриття затвора 2,2 с.

У кожній доменній печі зазвичай встановлюють два коксові бункери. На рисунку 1.6 показаний поздовжній розріз скіпової ями в районі коксових бункерів доменної печі об'ємом  $2000\text{ м}^3$ .

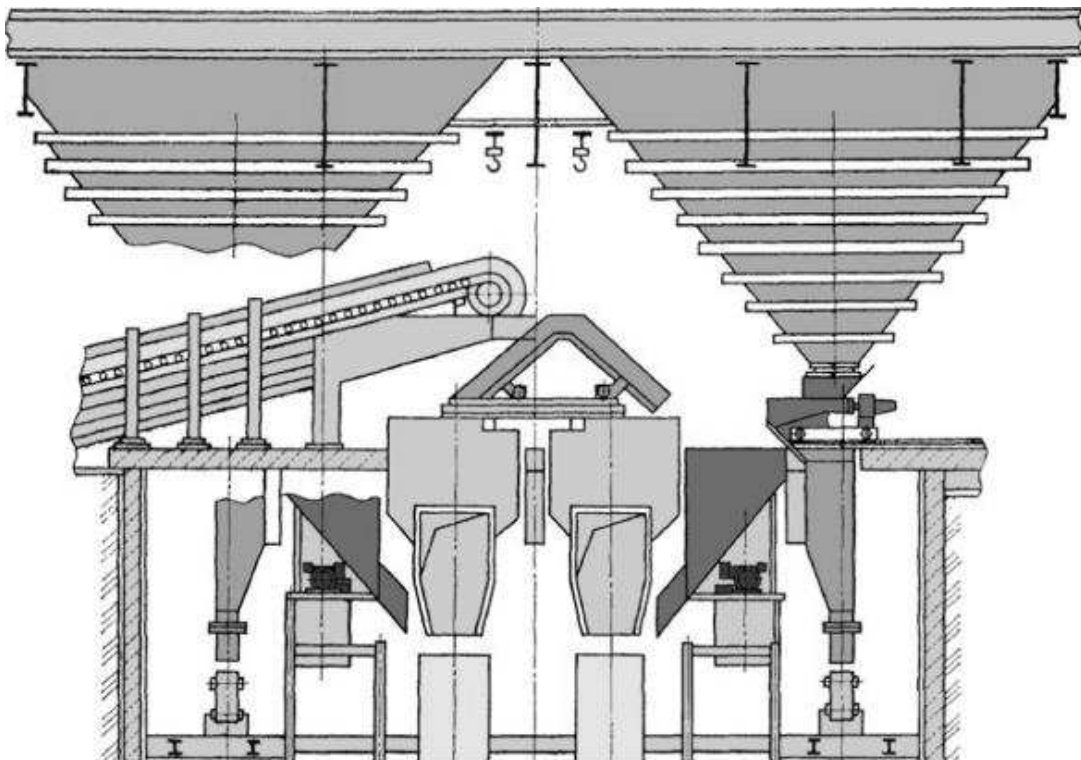


Рисунок 1.6 – Розріз скіпової ями по бункерах для зберігання коксу

Кожен коксовий бункер у нижній частині має затвор, що служить для перекриття горловини при ремонтах та замінах гуркоту та регулювання величини шару коксу, що подається на гуркіт. Велика фракція коксу потрапляє у вагову вирву і потім при відкриванні затвора висипається в скіп скипового підйомника. Дрібна фракція коксу збирається в бункері коксової дрібниці і через затвор видається в скіп підйомника коксової дрібниці (підйомник на рисунку не показаний). Залізовмісна частина шихти подається двома стрічковими конвеєрами за допомогою розподільника у вагові воронки, оснащені пристроями, що зважують, і затворами, а потім у скіпи.

Вирва-ваги (рис. 1.7), призначена для зважування та видачі в скіп скипового підйомника порції коксу, складається з вирви, ваги і затвора з електроприводом. Вирву встановлюють на тензометричних терезах.

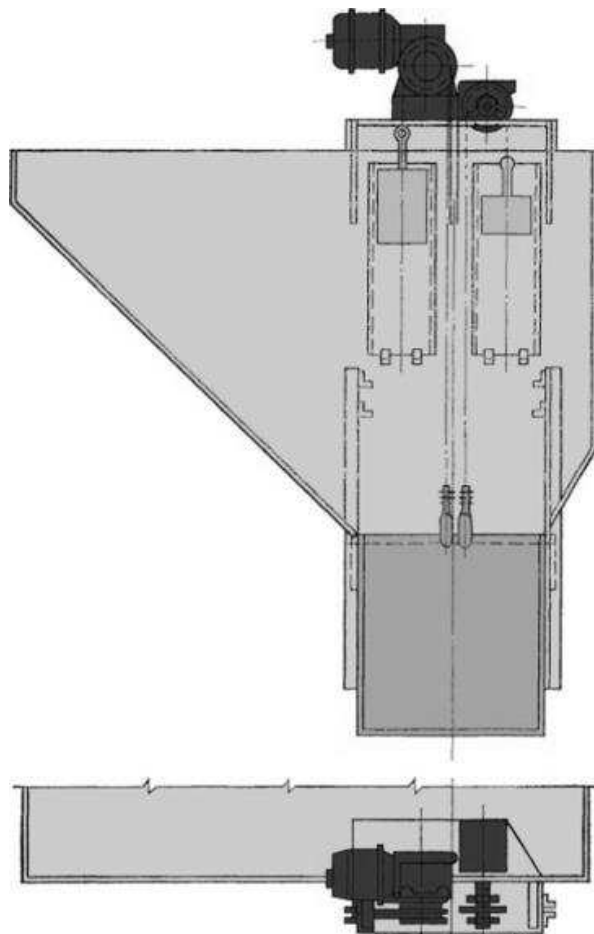


Рисунок 1.7 – Вирви-ваги для коксу

Конструкція вирви – зварена, захищена зсередини плитами із сталі Г13Л або діабаза.

Затвор складається з шибера, що переміщається вертикально в напрямних куточках і встановленого в нижній частині вирви. Шибер, підвішений на канатах, врівноважується противагами. Фрикційний пристрій приводу оберігає канат від перевантажень при роботі на упор у період відкривання і вибирає слабіну в канаті в період закривання за рахунок прослизання обода по маточині.

Двигун змінного струму обертає барабан через черв'ячний редуктор; час відкриття затвора 3 с.

Бункер коксового дріб'язку, розташований у скіповій ямі, призначений для накопичення коксового дріб'язку, та періодичної видачі її в скіп підйомника коксового дріб'язку. Випускний отвір бункера перекривається секторним затвором (рис. 1.8), який закривається під дією противаги, а відкривання отвору бункера здійснюється за допомогою двох кронштейнів, розташованих на корпусі скіпа, які при опусканні скіпа натискають на два ролики і повертають сектор, забезпечуючи рух матеріалу.

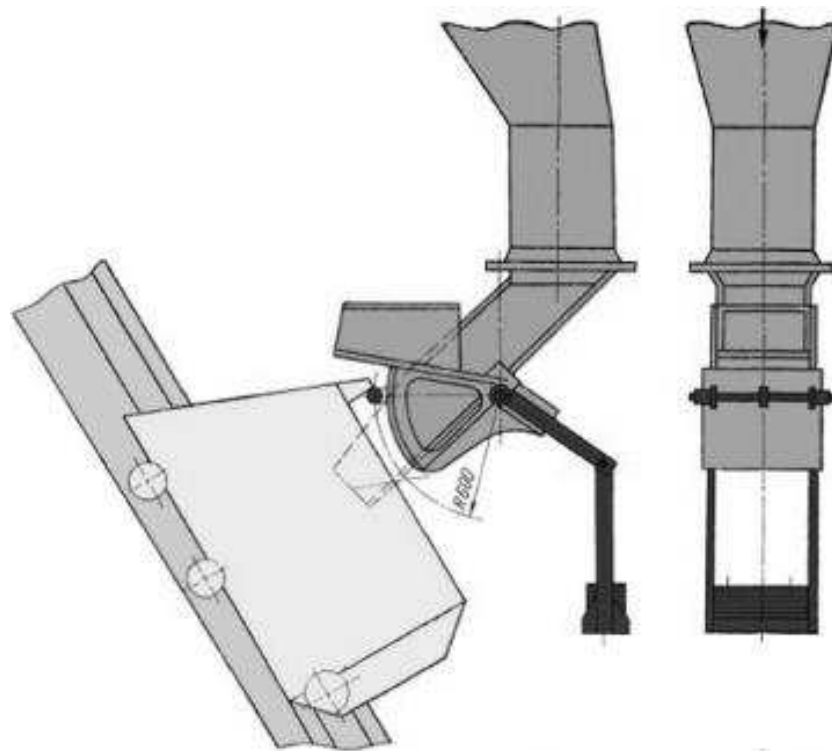


Рисунок 1.8 – Секторний затвор нижнього бункера коксової дрібниці

Підйомник коксового дріб'язку включає два скіпи, які по черзі опускаючись до випускного отвору приймають порцію дріб'язку. Другий скіп у цей час вивантажує дріб'язок в накопичувальний бункер. Після накопичення дріб'язку з бункера вагонами відправляють на аглофабрику .

Для випуску коксового дріб'язку із верхнього бункера застосовують секторний затвор (рис. 1.9). Тічку-патрубок горловини 2 бункера перекривають сектором 1, жорстко закріпленим на валу 3. При повороті сектора 1 тічка 2 відкривається для випуску коксового дріб'язку в залізничний вагон.

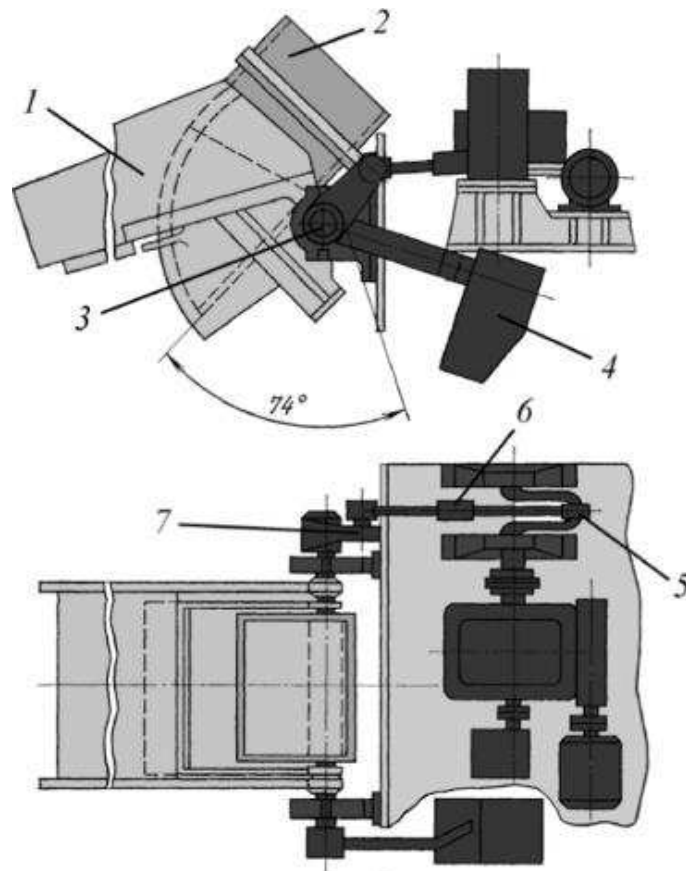


Рисунок 1.9 – Секторний затвор верхнього бункера коксової дрібниці

Для врівноваження сектора на валу жорстко закріплений важіль із противагою 4. Обертання валу здійснюється від електродвигуна потужністю 1,7 кВт. Вихідний вал черв'ячного редуктора з'єднаний з колінчастим валом 5. На шийці колінчастого валу закріплений шатун 6 регульованої довжини, другий кінець якого також шарнірно приєднаний до важеля 7 валу жорстко закріплені важіль та патрубок [9].



## 1.4 Огляд технічних рішень спрямованих на модернізацію бункерів та їхнього механічного обладнання

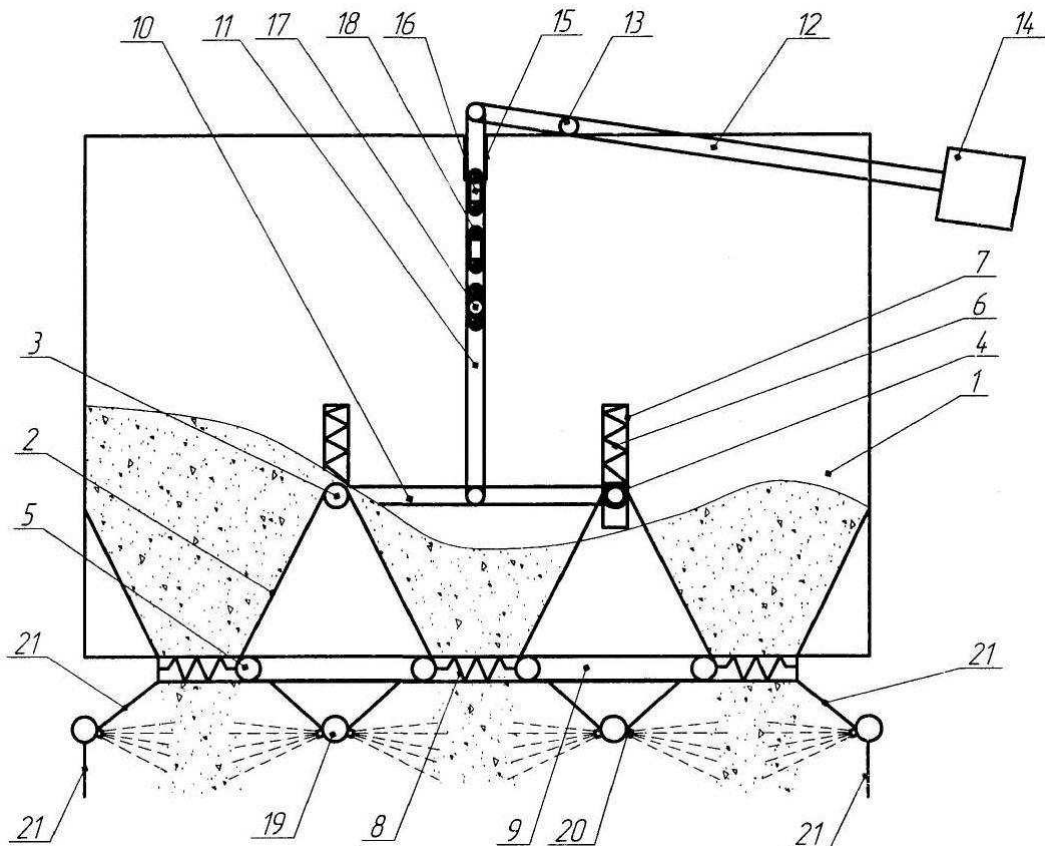
Важливою ланкою в забезпеченні безперебійної роботи доменної печі є система подачі шихтових матеріалів, на яку покладано важливу місію прийому, зберігання, дозування та подальшого переміщення шихтових матеріалів до колошника доменної печі. В цій системі одну з найвідповідальніших ролей відіграє відділення приймальних бункерів і від того наскільки надійною є робота всіх складових механізмів бункерної естакади в більшості випадків залежить і ритмічність роботи всього доменного цеху [9].

З огляду на те, що з приймальних бункерів матеріал видається дозовано заздалегідь сформованою програмою важливим фактором циклічної роботи бункерної естакади є коливання рівня матеріалу в бункерах, тому дуже важливо не допускати спустошення окремих бункерів, а підтримувати їхнє постійне поповнення. Для розробки адекватної моделі циклічної роботи по завантаженню бункерів матеріалами у відповідних пропорціях (коксом, рудою, котунами) можна скористатися як базовим рішенням описаним в роботі [10]. Запропонована математична модель дозволяє розробити модель автоматичного керування роботою приймальних бункерів як на етапі розробленої технологічної програми відбору матеріалів так і при змінюванні технологічних параметрів у реальному часі.

Автори роботи [11] пропонують доволі цікаве виконання бункерного пристрою, переріз нижньої частини якого наведено на рисунку 1.10. Таке конструктивне рішення дозволяє виконувати доволі легке і регульоване вивантаження матеріалів з бункеру виключаючи при цьому зависання сипучих матеріалів.

Запропонований пристрій працює наступним чином. Пружним важелем вертикальна тяга опускається в паз та закріплюється в ньому пальцем-

фіксатором. Одночасно нижні ролики під дією пружин сходяться й відбувається замикання стрічок.



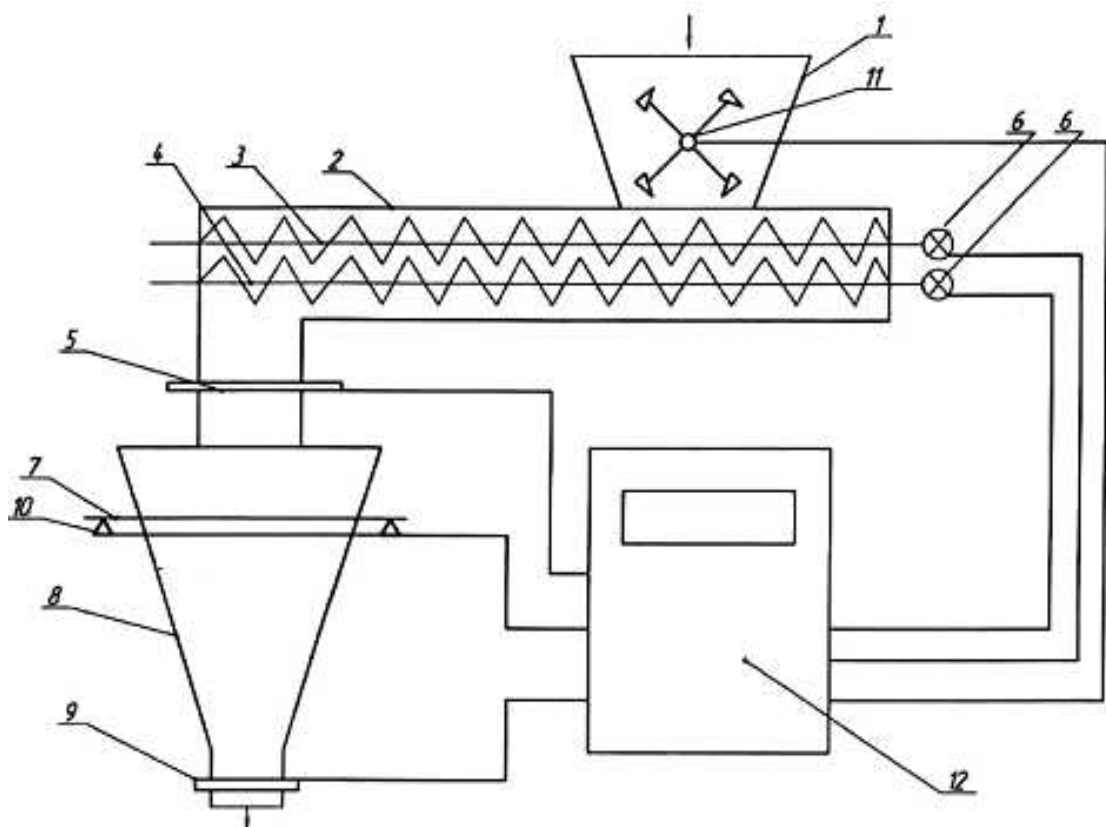
1 – бункер; 2 – нескіненні стрічки; 3 – шарніри; 4 – верхні ролики; 5 – нижні ролики; 6, 8 – пружини; 7 – вертикальні напрямні; 9 – горизонтальні напрямні; 10 – горизонтальна тяга; 11 – вертикальна тяга; 12 – пружний важіль; 13 – опора; 14 – противага; 15 – напрямні вертикальної тяги; 16 – пази для фіксації вертикальної тяги; 17 – палець фіксатор; 18 – вібропружини; 19 – водопровідні труби; 20 – розпилювачі; 21 – відбивачі

Рисунок 1.10 – Бункер для сипучих матеріалів [11]

Потім матеріал, засипають у бункер. Для вивантаження корму в приймальний пристрій пружний важіль піднімає вертикальну тягу на необхідну висоту, після чого її фіксують пальцем у відповідному пазові. В цей час верхні ролики переміщуються в вертикальних напрямних та тягнуть стрічки й одночасно розпочинається рух нижніх роликів назустріч один одному. Цей процес призводить до утворення розвантажувальної щілини між стрічками. При

вивантаженні матеріалу, він може одночасно при необхідності зволожуватися проходячи через робочу зону розпилювачів. Для перешкоджання влученню рідини та зволоженого матеріалу на дно бункера встановлено спеціальні відбивачі. Конструктивне рішення по закріпленню противагів на пружному важелі призводить до передачі вібраційних коливань через тягу на стрічки, що дозволяє тримати постійно розпушеним сипучий матеріал та попереджає утворенню його зависання у формі склепіння. Незважаючи на доволі цікаве рішення, складно сказати про можливість його використання у відділенні приймальних бункерів, так як автори в роботі [11] декларують свій винахід в більшій мірі як продукт сільськогосподарського призначення.

Для запобігання злежуваності сипучих матеріалів авторами в роботі [12] запропонована оригінальна конструкція бункера із вбудованим розворушувачем матеріалу (рис.1.11).

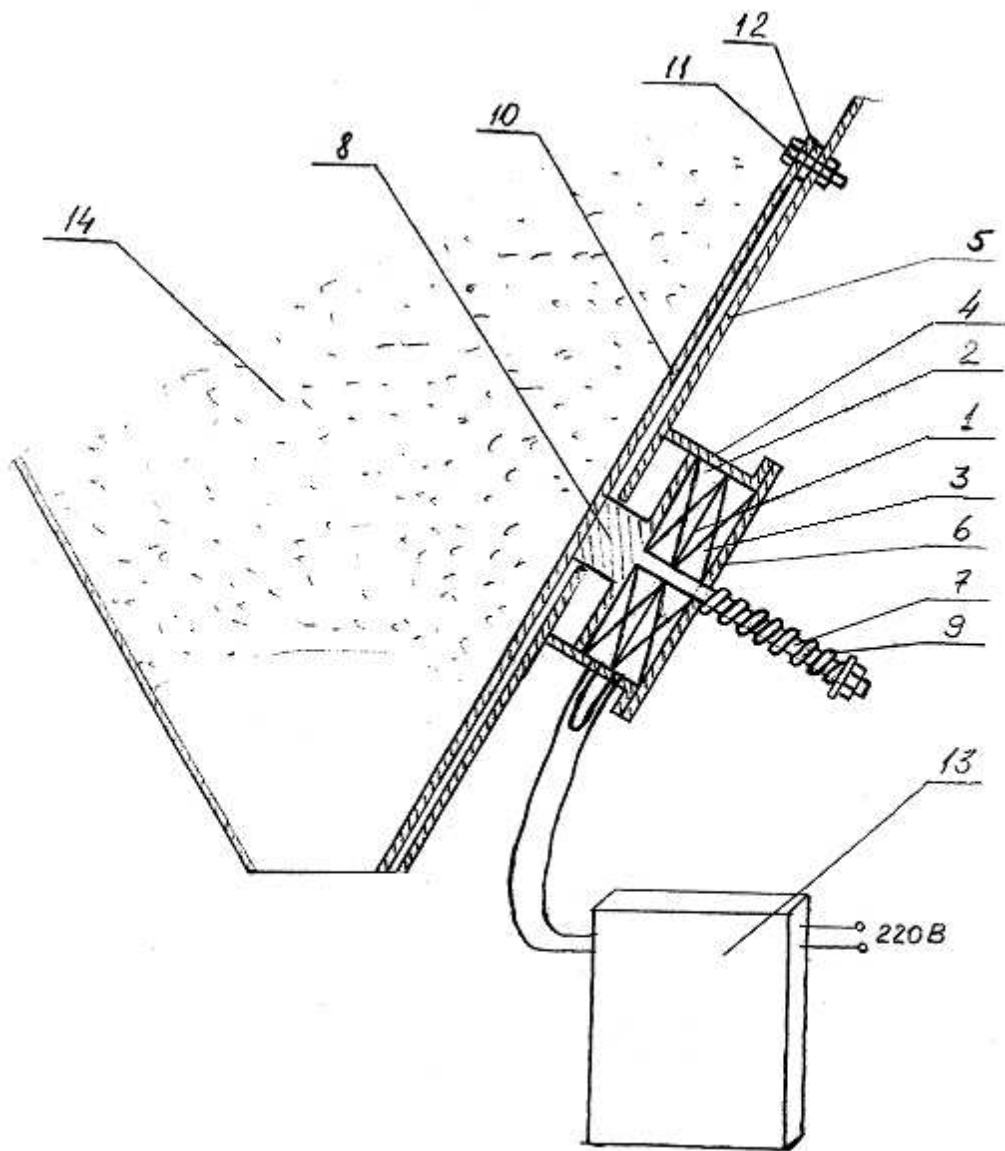


1 – бункер 1; 2 – живильник (шнековий); 3,4 – верхній та нижній шнеки; 5 – заслінка; 6 – індивідуальний привод шнека; 7 – рама; 8 – приймальний бункер 8, 9 – розвантажувальна заслінка 9; 10 – тензодатчики; 11 – розпушувач; 12 – блок керування

Рисунок 1.11 – Бункерний пристрій дозатор з розпушувачем [12]

Винахід направлено на точне дозування матеріалів, але може використовуватися і як для проміжного зберігання матеріалів. В початковому положенні шнекові приводи та розворушувача – вимкнені, а заслінки – закриті. При подачі сипучих матеріалів в бункер починають обертатися з технологічними швидкостями, що задаються згідно робочої програми та матеріала, що дозується, шнеки та розворушувач. Завдяки обертанню шнеків сипучий матеріал через заслінку подається в приймальний бункер. При досягненні заданого рівня в приймальному бункері, дані з тензодатчиків передаються на блок керування і закривається відсічна заслінка. Одночасно вимикаються приводи шнеків та розворушувача, відкривається розвантажувальна заслінка і відбувається точне дозування матеріалу в приймальну тару. Реалізація точного дозування матеріалу досить цікава, перспективна і заслуговує на подальше впровадження, але у випадку досить невеликих доз матеріалу. Для доменного цеху з безперервним технологічним циклом така схема є досить складною та нагромадженою.

Для інтенсифікації вивантаження матеріалів з бункерних пристроїв та запобіганню утворенню склепінь з сипучих матеріалів розроблено пристрій [13], який завдяки своєму конструктивному виконанню кріпиться безпосередньо на стінку бункера і виконуючи вплив на неї у формі направленого удару бойком створює сприятливі умови для запобіганню зависанню матеріалу. Як відмічають самі автори винаходу в роботі [14] запропоноване рішення має суттєві недоліки, а саме безпосередня дія на стінки бункера з часом викликає їхнє руйнування, а також не велика ефективність дії електромагнітних полів в зв'язку зі значним розсіюванням в радіальному напрямі біля котушок, і як наслідок, досить низький коефіцієнт корисної дії використовуваного струму, що складає всього 5 %. Тому автори запропонували удосконалену конструкцію пристрою, яка отримала назву «Удар», та описана роботою [15]. Суттєвою різницею від попереднього пристрою є наявність рухомого фальш-листа, також на другому кінці стрижня бойка встановлено другу пружину. При цьому рухомий фальш-лист розміщено на внутрішній стінці бункера під бойком, через гумову прокладку, цей лист має не тільки опорні шипи, а й по краях захисний пояс (рис.1.12).



1 – індуктор; 2, 3 – робочі обмотки; 4 – корпус індуктора; 5 – стінка бункера; 6 – кришка корпусу індуктора; 7 – шпилька; 8 – бойок; 9 – пружина; 10 – фальш-стінка; 11 – кріпильні болти; 12 – гумова амортизуюча прокладка; 13 – керуючий блок; 14 – матеріал в бункері

Рисунок 1.12 – Пристрій для руйнування склепінь сипких матеріалів та інтенсифікації роботи бункерного пристрою [15]

При розвантаженні приймального бункера, можливе налипання сипкого матеріалу на стінки бункера, що й призводить до утворення склепіня, а отже і зупинки видачі матеріалу з бункера. В цій ситуації починає працювати пристрій,

а саме від керуючого блоку подається сигнал на робочі коттушки індуктора, в результаті чого створюються зустрічні концентровані потоки, які намагаються роздвинути котушки. Додатково починає збільшуватися сила, що штовхає бойок з великою швидкістю вздовж стрижня в корпусі індуктора в бік металевого фальш-листа. Дія механічного імпульсу на поверхню листа створює в ньому хвилю пружної деформації, яка руйнує зв'язки між сипким матеріалом та металевим листом. Одночасно лист не тільки вигинається, а й вібрує, що значно підвищує енергію його роботи. Завдяки цьому руйнується утворене склепіння та сипкий матеріал вільно вивантажується з бункера на конвеєри [14].

Судячи з опису важливим елементом являється металевий фальш-лист на який діє бойок під час удару, та виконує роль збуджувача вібраційних коливань. Використання цього листа запобігає прямій дії бойка на стінку бункера, збільшуючи таким чином її строк служби, та підвищує ефективність обвалення, тому що на відміну від стінки бункера, лист не має ребер жорсткості та є більш гнучким і хвиля пружної деформації проходить легко по всій його поверхні [14].

Встановлення шипів на фальш-листі дозволяє розповсюджуватися хвилі пружної деформації по всій площині листа зі зменшенням поверхні з'єднання листа та стінки бункера. Наявність гумової прокладки-амортизатора між листом та бункером гасить перенесення вібраційних коливань від листа на стінку бункера під час удару по ньому. З іншого боку пояс по периметру листа та гумова прокладка виконують і захисну функцію, а саме запобігають проникненню сипкого матеріалу під вібраційний фальш-лист [14].

Основні технічні характеристики запропонованого пристрою наведені авторами в роботі [14].

З точки зору конструктивного виконання великою перевагою запропонованого пристрою є наявність в конструкції всього однієї цільнометалевої рухомої деталі, яка за інформацією авторів винахлдує піддається поломкам та швидкому зношуванню [14].

Оновлена модель дозволила підняти коефіцієнт корисної дії використовуваного струму, до 65 % [15].

## 1.5 Обґрунтування обраного напрямку

З аналізу наведеного в розділі 1.3 можна зробити висновок, що найбільшою проблемою бункерних пристроїв для сипучих матеріалів є утворення налипання матеріалу на бункери, а також утворення склепінь, тобто зависання матеріалу. Основні напрямки удосконалення конструктивних недоліків бункерного обладнання направлено на усунення саме цих недоліків.

Однією з особливістю перешкоджанню утворенню склепінь – випускний отвір бункеру має бути більшим за отвір утворення зависання тоді матеріал без всяких перешкод витікає, але конструктивно це не завжди можливо виконати, особливо коли бункери служать проміжним пунктом зберігання матеріалу, та потребують окремих розвантажувальних пристроїв.

У випадку, коли розрахований отвір при якому відбувається утворення зависання матеріалу, все ж таки більший ніж випускна ринва, варто застосовувати особливі заходи щодо руйнування утворених склепінь. До них можна віднести:

- різного роду шурувальні дії, як за допомогою відносно безконтактних методів, наприклад – пневмообрушувачами або механічними обвалювачами;
- обвалення склепінь методом ударного впливу на стінки бункера;
- надання руху бункеру коливального характеру [16]

Перший та третій спосіб мають свої суттєві недоліки, для надання коливань бункеру з матеріалом необхідно створити досить складну та громіздку систему, використання механічних обвалювачів ускладнює герметизацію бункерів, використання стиснутого повітря для руйнування склепінь викликає неминуче зволоження матеріалу, що взимку може викликати його замерзання. Тому найбільш перспективним методом є нанесення удару на стінку бункера, яке не тільки дозволяє руйнувати зависання матеріалу, а й допомагає усувати налипання матеріалу на стінки бункера.

Досить перспективним пристроєм для обвалення утворених склепінь сипких матеріалів в приймальних бункерах є такий, конструкція якого описана роботами [14-15]. Досить детально описані авторами принцип дії та виробничі характеристики цього пристрою в роботі [14], але при цьому не наведено математичної моделі, яка б описувала процес обвалення ударною дією.

Зависання матеріалу в бункері залежить від багатьох чинників (форма бункера, вологість матеріалу, розмір випускної ринви і т.д.) і в цьому випадку досліднику на допомогу приходить аналітичне моделювання, яке засноване на принципах побудови та дослідження математичних моделей, які виступають універсальним інструментарієм дослідження та оцінювання ефективності механічних систем в умовах дії випадкових чинників та невизначенності [17].

За умов, коли відсутня можливість виконувати дослідження методами натурних експериментів, що пов'язано, наприклад з розробкою нового обладнання, на перший план виступають методи моделювання, які дозволяють економити не тільки час та кошти, а й інколи отримувати більш точні значення, які описують поведінку та специфіку досліджуємих систем або технологічних процесів [18].

Моделювання процесу вивантаження сипкого матеріалу з бункерного пристрою та процесу руйнування утворених в бункері склепінь залежить не тільки від характеристики матеріалу, а й від параметрів безпосередньо бункера та технічних характеристик пристрою, за допомогою якого буде виконуватися безпосереднє обрушення склепіння [19].

Для розробки математичної моделі роботи установки описаної в роботі [14] з метою розгляду її використання на бункерних пристроях відділення приймальних бункерів доменного цеху необхідно виконати:

- розрахунок бункера;
- аналіз можливих причин зависання матеріалу в бункері;
- встановити вплив геометрії бункера на зависання матеріалу
- аналіз ефективності ударного впливу на стінки бункера для обвалення матеріалу.

Вирішенню даних задач і присвячено кваліфікаційну роботу.



## 2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

### 2.1 Розрахунок обшивання бункера

Вихідні данні:

Матеріал: агломерат;

- кут внутрішнього тертя (кут природного укоосу)  $\varphi = 56^\circ$ ;
- щільність  $\rho = 250 \text{ кг/м}^3$ ;
- питома вага  $\gamma = 2,4525 \text{ кН/м}^3$ ;
- коефіцієнт тертя об стінки бункера  $f = 0,83$ ;

Матеріал для виготовлення бункера : ВСт3 [20]

Розрахункова схема бункера зображена на рисунку 2.1.

Кут нахилу стінок бункера:

$$\alpha_1 = \arctg\sqrt{2} \frac{H - h}{a - d} = \arctg\sqrt{2} \frac{5 - 0,5}{5,4 - 0,5} = 52,41^\circ .$$

Об'єм засипки, рівний об'єму бункера:

$$V = a^2h + 1/3(H - h)(a^2 + ad + d^2) = 5,4^2 \cdot 0,5 + 1/3 \cdot (5 - 0,5) \cdot (5,4^2 + 5,4 \cdot 0,5 + 0,5^2) = 62,745 \text{ м}^3.$$

Розрахункова вага засипки:

$$G_3 = V \cdot \rho = 62,745 \cdot 250 = 15686,25 \text{ кг} = 153,882 \text{ кН}.$$

Приймаємо  $G_3 = 154 \text{ кН}$ .

Власну масу бункера на підставі досвіду проектування приймаємо з витрати сталі 100...120 кг на 1 м<sup>3</sup> місткості бункера:

$$G_6 = (100...120)V = (100...120) \cdot 62,745 = 6274,5...7529,4 \text{ кг} \\ = 61,553...73,863 \text{ кН.}$$

Приймаємо  $G_6 = 70 \text{ кН.}$

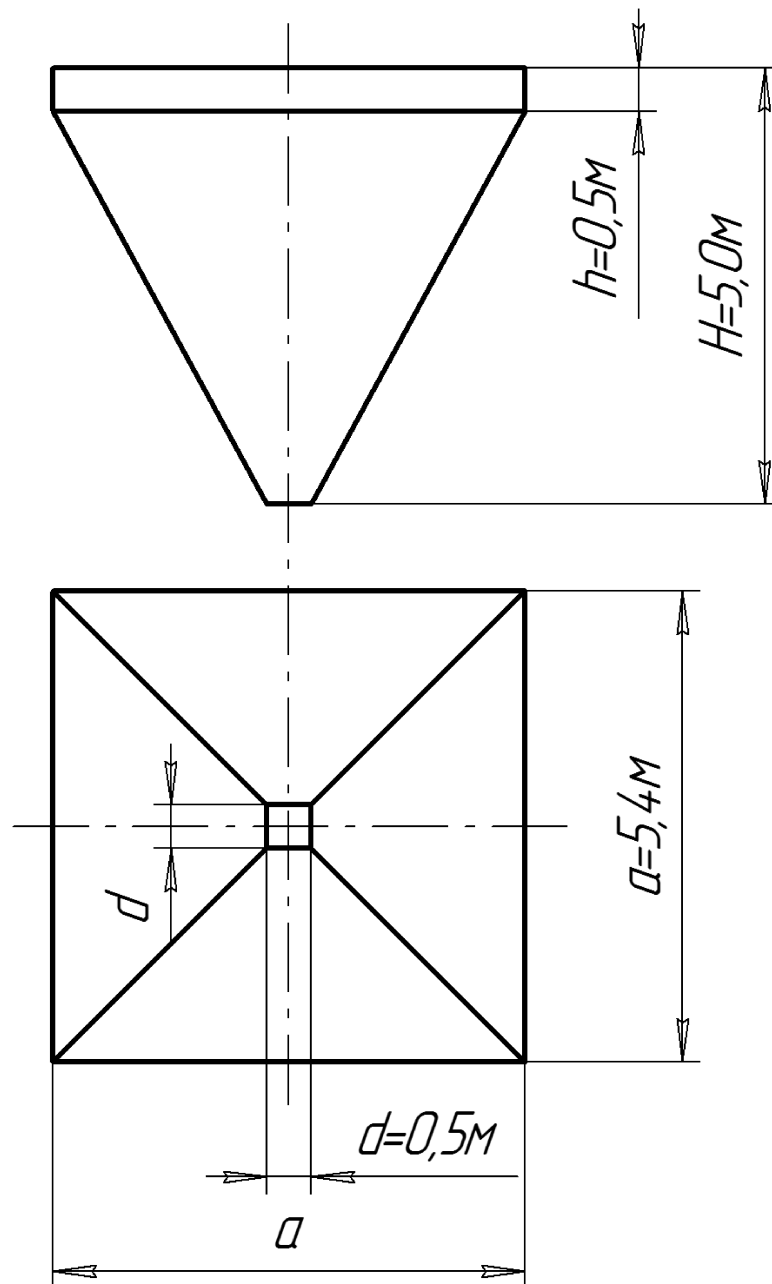


Рисунок 2.1 – Схема бункера

Загальна маса бункера із засипкою:

$$G = G_6 + G_3 = 70 + 154 = 224 \text{ кН.}$$

Оскільки бункер квадратний досить розрахувати одну стінку воронки.

У нашому випадку кріплення обшивки воронки до нижнього пояса. Ребра жорсткості по І типу - горизонтальні з жорстким з'єднанням у вузлах. Розрахункова схема приведена на рисунку 2.2, а.

Довжина обшивки:

$$\ell = (H - h)/\sin\alpha = (5 - 0.5)/\sin 52,41^\circ = 5,68 \text{ м.}$$

Відстань між ребрами по довжині обшивки:

$$d = 750/\sin\alpha = 750/\sin 52,41^\circ = 946,5 \text{ мм} = 0,9465 \text{ м.}$$

Визначаємо величини  $k$  и  $m$ :

$$k = \text{tg}^2 (45^\circ - \varphi/2) = \text{tg}^2 (45^\circ - 56^\circ/2) = 0,0935;$$

$$m = \cos^2\alpha + k \cdot \sin^2\alpha = \cos^2 52,41^\circ + 0,0935 \cdot \sin^2 52,41^\circ = 0,43082.$$

Для скорочення обчислень визначаємо зусилля тільки для нижньої панелі.

Тиск засипки по середині панелі:

$$p = n \cdot \gamma \cdot m \cdot z, \quad (2.1)$$

де  $z$  – відстань від верху засипки до середини панелі;

$n$  - коефіцієнт надійності по навантаженню, приймаємо  $n = 1,3$  [21];

$\gamma$  – питома вага засипки.

$$p = 1,3 \cdot 2,4525 \cdot 0,43082 \cdot 4,625 = 6,3527 \text{ кПа.}$$

Нормальна сила (розпір) на 1 см ширину обшивки:

$$S = 2,12 \sqrt[3]{t \cdot p \cdot d^2}, \quad (2.2)$$

$$p = 1,3 \cdot 2,4525 \cdot 0,43082 \cdot 4,625 = 6,3527 \text{ кПа.}$$

Нормальна сила (розпір) на 1 см ширину обшивки:

$$S = 2,12 \sqrt[3]{t \cdot p \cdot d^2}, \quad (2.3)$$

де  $p$  – розподілене лінійне навантаження на 1 см обшивки;

$d$  – проліт обшивки - відстань між ребрами жорсткості;

$t$  – товщина обшивки, приймаємо  $t = 6$  мм.

$$S = 2,12 \sqrt[3]{0,6 \cdot 0,00063527 \cdot 94,65^2} = 3,19242 \text{ кН};$$

$$S_E = \frac{\pi^2 E t^3}{10,9 d^2}, \quad (2.4)$$

де  $E$  – модуль пружності матеріалу обшивки,  $E = 2,06 \cdot 10^5$  МПа.

$$S_E = \frac{3,14^2 \cdot 2,06 \cdot 10^4 \cdot 0,6^3}{10,9 \cdot 94,65^2} = 0,45 \text{ кН.}$$

Прогин обшивки [22]:

$$f = 0,129 \frac{p \cdot d^2}{S + S_E} = 0,129 \frac{0,00063527 \cdot 94,65^2}{3,19242 + 0,45} = 0,2016 \text{ см.}$$

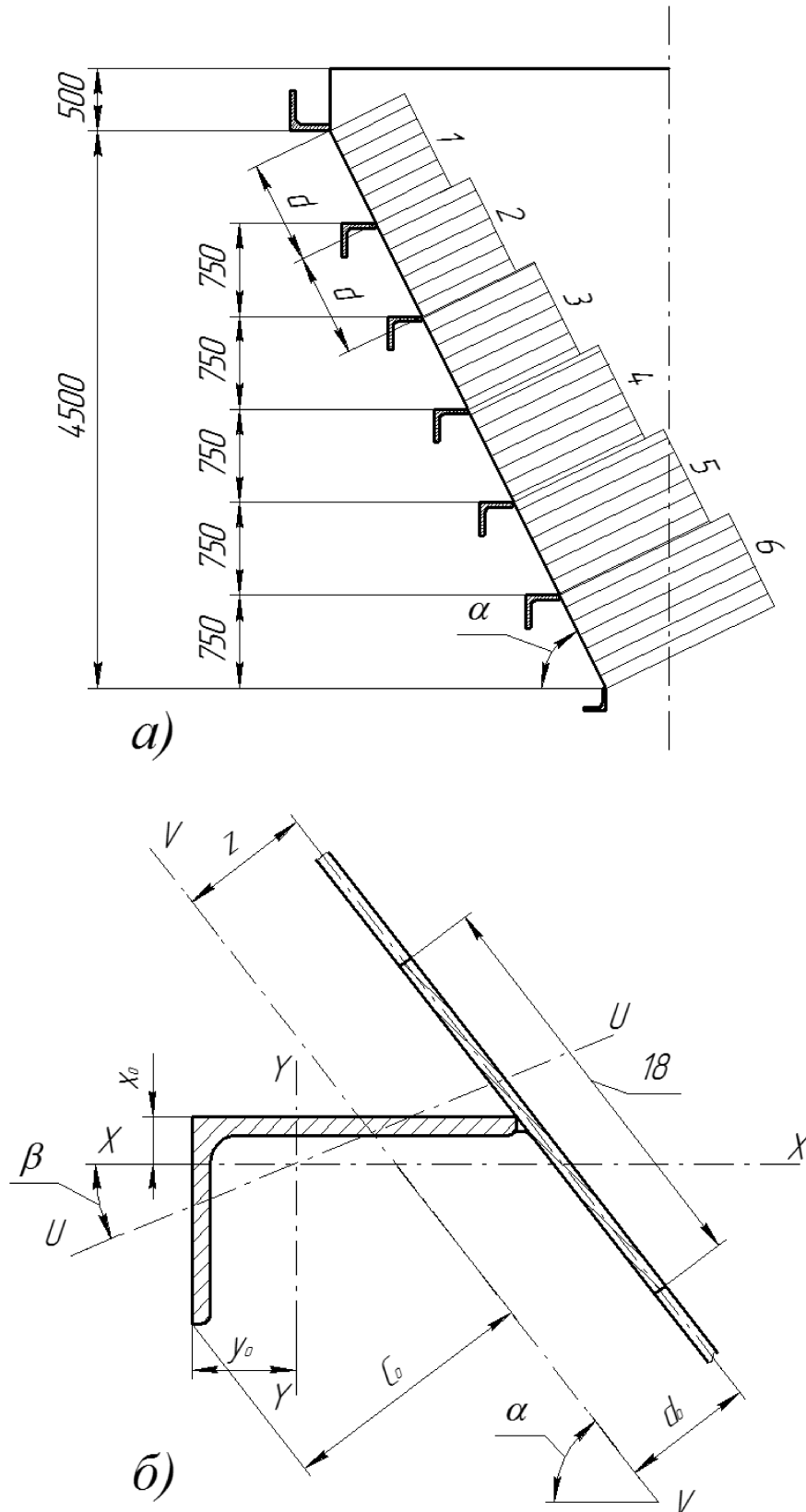


Рисунок 2.2 – Схеми навантажень що діють на воронку бункера (а) і поперечного перерізу ребра воронки (б)

Допустимий прогин обшивки 1/50 прольоту [23]:

$$\frac{f}{d} = \frac{0,2016}{94,65} = 0,00213 < \left[ \frac{f}{d} \right] = \frac{1}{50} = 0,02$$

Момент, що вигинає [24]:

$$M = \frac{p \cdot d^2}{8} \left( 1 - 1,035 \frac{S}{S+S_E} \right), \quad (2.5)$$

$$M = \frac{0,00063527 \cdot 94,65^2}{8} \left( 1 - 1,035 \frac{3,19242}{3,19242 + 0,45} \right) = 0,066 \text{ кН} \cdot \text{см}$$

Напруження в обшивці [25]:

$$\sigma = \frac{S}{t} + \frac{6M}{t^2} \leq \gamma_c R_y, \quad (2.6)$$

де  $\gamma_c$  – коефіцієнт умов роботи,  $\gamma_c = 0,8$ ;

$R_y$  – розрахунковий опір сталі,  $R_y = 225$  МПа [26].

Результати обчислень для усіх панелей обшивки зводимо в таблиця 2.1.

Таблиця 2.1 – Результати обчислень

N n/n	Z, м	p, кПА	S <sub>E</sub> , кН	S, кН	f, см	f/d	[f/d]	M, кН·м	σ, МПа	[σ], МПа
1	0,875	1,2019	0,45	1,8327	0,0608	0,0006	0,02	0,0227	34,334	180
2	1,625	2,232	0,45	2,2527	0,0954	0,001	0,02	0,0343	43,262	180
3	2,375	3,2622	0,45	2,5564	0,1254	0,0013	0,02	0,0437	49,904	180
4	3,125	4,2924	0,45	2,8013	0,1525	0,0016	0,02	0,0519	55,355	180
5	3,875	5,3226	0,45	3,0096	0,1778	0,0018	0,02	0,0593	60,05	180
6	4,625	6,3527	0,45	3,1924	0,2015	0,0021	0,02	0,0660	64,21	180

Виконуємо перевірку для максимальних напружень згідно таблиці 2.1 (сектор 6):

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{3,19242}{0,6} + \frac{6 \cdot 0,066}{0,6^2} = 6,421 \text{ кН/см}^2 = \\ &= 64,21 \text{ МПа} < 0,8 \cdot 225 = 180 \text{ МПа.}\end{aligned}$$

Отже, міцність і жорсткість обшивки забезпечується.

## 2.2 Розрахунок ребер жорсткості воронки

Довжина найбільш довгого ребра жорсткості:

$$a_1 = a - 2 \cdot (750 / \text{tg}\alpha) = 5400 - 2 \cdot (750 / \text{tg}52,41^\circ) = 4245,26 \text{ мм.}$$

Розподілене лінійне навантаження на найбільш довге ребро:

$$q_1 = \frac{p_n d_n + p_{n+1} d_{n+1}}{2}, \quad (2.7)$$

де  $p_n, p_{n+1}$  – тиск засипки на межі обшивки;

$d_n, d_{n+1}$  – проліт обшивки.

$$q_1 = \frac{(1,2023 + 2,23204) \cdot 0,9465}{2} = 1,6253 \text{ кН/м.}$$

Опорний момент, що вигинає [27]:

$$M_{\text{оп}} = \frac{q_1 \cdot a_1^2}{12} = \frac{1,6253 \cdot 4,2453^2}{12} = 2,441 \text{ кН}\cdot\text{м.}$$

Нормальна сила в ребрі:

$$N = \frac{q_1 \cdot a_1}{2 \sin \alpha} = \frac{1,6253 \cdot 4,2453}{2 \sin 52,41^\circ} = 4,354 \text{ кН.}$$

Приймаємо ребро з кутика 140x90x8 [28]. Визначаємо геометричні характеристики перерізу ребра, включаючи лист обшивки шириною  $30t = 18 \text{ см}$ , площею  $A_{\Gamma} = 10,8 \text{ см}^2$  (рисунок 2.2,б).

Характеристики кутика 140x90x8 ( $B \times b \times d$ ):

$$A_{y\Gamma} = 18 \text{ см}^2; I_x = 364 \text{ см}^4; I_y = 120 \text{ см}^4; I_u = 70,3 \text{ см}^4;$$

$$Y_0 = 4,49 \text{ см}; X_0 = 2,03 \text{ см}; \beta = 22,3276^\circ.$$

$$z = X_0 \cdot \cos \alpha + (B - Y_0) \cdot \sin \alpha + t/2;$$

$$z = 2,03 \cdot \cos 52,41^\circ + (14 - 4,49) \cdot \sin 52,41^\circ + 0,6/2 = 9,074 \text{ см.}$$

$$d_0 = \frac{A_{y\Gamma} \cdot z}{A_{y\Gamma} + A_{\Gamma}} = \frac{18 \cdot 9,074}{18 + 10,8} = 5,67 \text{ см.}$$

$$C_0 = B \cdot \sin \alpha + b \cdot \cos \alpha + t/2 - d_0;$$

$$C_0 = 14 \cdot \sin 52,41^\circ + 9 \cdot \cos 52,41^\circ + 0,6/2 - 5,67 = 11,212 \text{ см.}$$

$$I_{XY} = \frac{(I_x - I_y) \cdot \operatorname{tg} 2\beta}{2} = \frac{(120 - 364) \cdot \operatorname{tg}(2 \cdot 22,3276)}{2} = -120,5404 \text{ см}^4.$$

$$I_v = I_x \cdot \sin^2 \alpha + I_y \cdot \cos^2 \alpha - I_{XY} \cdot \sin 2\alpha;$$

$$I_v = 364 \cdot \sin^2(52,41^\circ) + 120 \cdot \cos^2(52,41^\circ) - (-120,5404) \cdot \sin(2 \cdot 52,41^\circ) = 389,73 \text{ см}^4.$$



Головний центральний момент інерції [29]:

$$I_v = I'_v + A_{yГ} \cdot (z - d_0)^2 + A_{л} \cdot d_0^2 ;$$

$$I_v = 389,73 + 18 \cdot (9,074 - 5,67)^2 + 10,8 \cdot 5,67^2 = 945,5141 \text{ см}^2.$$

Моменти опору перерізу:

$$W_1 = I_v / C_0 = 945,5141 / 11,212 = 84,331 \text{ см}^3;$$

$$W_2 = I_v / (d_0 + t/2) = 945,5141 / (5,67 + 0,6/2) = 158,378 \text{ см}^3.$$

Напруження в ребрі:

$$\sigma = \frac{N}{A_{\Sigma}} + \frac{M}{W} \leq R_y, \quad (2.8)$$

де  $N$  – розтягуюче зусилля в ребрі;

$A_{\Sigma}$  – сумарна площа перерізу,

$$A_{\Sigma} = A_{yГ} + A_{л};$$

$M$  – момент, що вигинає, у вузлах рами;

$W$  – момент опору ребра з прилеглою до нього частиною обшивки шириною до  $30t$ ;

$R_y$  – розрахунковий опір стали,  $R_y = 225 \text{ МПа}$ .

$$\sigma = \frac{4,354}{18+10,8} + \frac{244,1}{84,331} = 3,046 \text{ кН/см}^2 = 30,46 \text{ МПа} < 225 \text{ МПа}$$

Перевіряємо прогин ребра як в однопролітній балці із затисненими кінцями:

$$f = \frac{1}{384} \cdot \frac{q_1 a_1^2}{EI_V} = \frac{1}{384} \cdot \frac{0,016253 \cdot 424,526^4}{2,06 \cdot 10^4 \cdot 945,5141} = 0,071 \text{ см.}$$

Допустимий прогин ребра складає 1/250 довжин ребра.

$$\frac{f}{a_1} = \frac{0,071}{424,526} = 0,00017 < \left[ \frac{f}{a_1} \right] = \frac{1}{250} = 0,004.$$

Отже, міцність і жорсткість ребра забезпечуються.

### 2.3 Розрахунок міцності бункерних балок

Схема навантажень що діють на балки приведена на рисунку 2.3.

Вертикальне навантаження на балки від маси засипки і власної маси бункера:

$$P_B = \frac{G_6 + G_3}{2(a+a)} = \frac{70+154}{2(5,4+5,4)} = 10,37 \text{ кН/м.}$$

Вертикальне навантаження від маси перекриттів, що приймається 2кН/м<sup>2</sup> і маси устаткування, що приймається 4 кН/м<sup>2</sup>.

$$g = \frac{(1,05 \cdot 2 + 1,05 \cdot 4) \cdot 5,4^2}{2(5,4+5,4)} = 8,505 \text{ кН/м.}$$

Максимальний момент, що вигинає, від вертикального навантаження:

$$M_{\max} = \frac{(p_b + g) \cdot a^2}{8} = \frac{(10,37 + 8,505) \cdot 5,4^2}{8} = 68,8 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Знаходимо горизонтальні зусилля в поясах

Горизонтальне зусилля у верхньому поясі:

$$Q_1 = \frac{p_H \cdot h}{6} = \frac{0,1491 \cdot 0,5}{6} = 0,01242 \text{ кН},$$

де  $p_H$  – тиск засипки на стінки балок,

$$p_H = n \cdot \gamma \cdot k \cdot h = 1,3 \cdot 2,4525 \cdot 0,0935 \cdot 0,5 = 0,1491 \text{ кПа},$$

де  $n$  - коефіцієнт надійності по навантаженню, приймаємо  $n = 1,3$ ;

$\gamma$  – питома вага засипки;

$$k = \text{tg}^2 (45^\circ - \varphi/2) = \text{tg}^2 (45^\circ - 56^\circ/2) = 0,0935;$$

Горизонтальне зусилля в нижньому поясі:

$$Q_2 = -p_r + 2/3q_1 + q_2, \quad (2.9)$$

$$p_r = p_b \text{ctg} \alpha;$$

$$q_2 = p_1 d / (2 \sin \alpha);$$

$$q_1 = p_H d / 2.$$

$$Q_2 = -p_B \cdot \operatorname{ctg} \alpha + \frac{p_H \cdot h}{3} + \frac{p_1 d_1}{2 \cdot \sin \alpha} =$$

$$= -10,37 \cdot \operatorname{ctg} 52,41^\circ + \frac{0,1491 \cdot 0,5}{3} + \frac{1,2023 \cdot 0,9465}{2 \cdot \sin 52,41^\circ} = -7,24 \text{ кН.}$$

Моменти, що вигинають, і нормальні сили в поясах:

$$M = \frac{Q_{1(2)} \cdot a^2}{8}; \quad (2.10)$$

$$N = \frac{Q_{1(2)} \cdot a}{2}. \quad (2.11)$$

Верхній пояс:

$$M_y^{\text{В.П.}} = \frac{0,01242 \cdot 5,4^2}{8} = 0,0453 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$N^{\text{В.П.}} = \frac{0,01242 \cdot 5,4}{2} = 0,034 \text{ кН.}$$

Нижній пояс:

$$M_y^{\text{В.П.}} = \frac{7,24 \cdot 5,4^2}{8} = 26,39 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

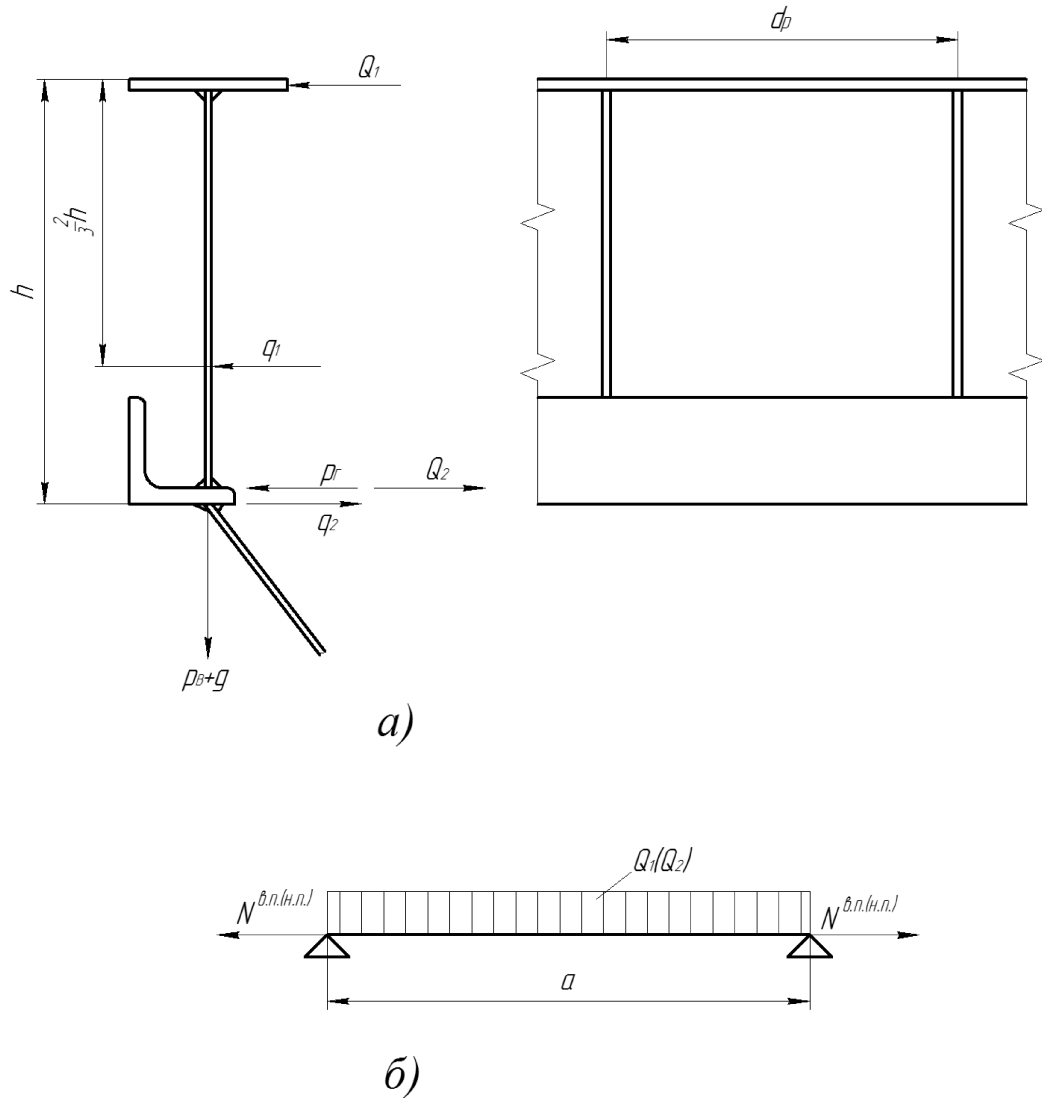
$$N^{\text{В.П.}} = \frac{7,24 \cdot 5,4}{2} = 19,55 \text{ кН.}$$

Компонуємо переріз балки: верхній пояс з листа 250x10,  $A_{\text{л}} = A_{\text{в.п.}} = 25 \text{ см}^2$ ; нижній пояс з кутика 160x14,  $A_{\text{уг}} = 43,3 \text{ см}^2$ , частина обшивки завдовжки  $15t_{\text{об}} = 15 \cdot 6 = 90 \text{ мм}$ ,  $A_{\text{об}} = 5,4 \text{ см}^2$  і частина стінки довжиною  $15t_w = 15 \cdot 6 = 90 \text{ мм}$ ,  $A_{\text{ст}} = 5,4 \text{ см}^2$ . Площа перерізу нижнього пояса балки  $A_{\text{н.п.}} = 54,1 \text{ см}^2$ .

Схема перерізу балки приведена на рисунку 2.4.

Характеристики кутика 160x14 (bxd):  $I_x = 1046 \text{ см}^4$ ;  $z_0 = 4,47 \text{ см}$ .

Визначаємо геометричні характеристики перерізу.  $X_0 - X_0$ .



а) схема сил що діють на балки при кріпленні воронки до нижнього пояса;

б) розрахункова схема поясів при дії горизонтальних навантажень.

Рисунок 2.3 – Схема навантажень що діють на балки

Положення нейтральної горизонтальної вісі балки:

$$Y_0 = \frac{A_{л} \cdot h}{A_{л} + A_{УГ} + A_{СТ}} = \frac{25 \cdot 50}{25 + 43,3 + 5,4} = 17 \text{ см.}$$

Момент інерції балки відносно вісі  $X_0 - X_0$ :

$$I_{X_0} = A_{\text{В.П.}} (h - Y_0 - t_{\text{п}}/2)^2 + A_{\text{Н.П.}} (Y_0 - d_{\text{УГ}}/2)^2 = \\ = 25 \cdot (50 - 17 - 1/2)^2 + 54,1 \cdot (17 - 1,4/2)^2 = 4,078 \cdot 10^4 \text{ см}^4.$$

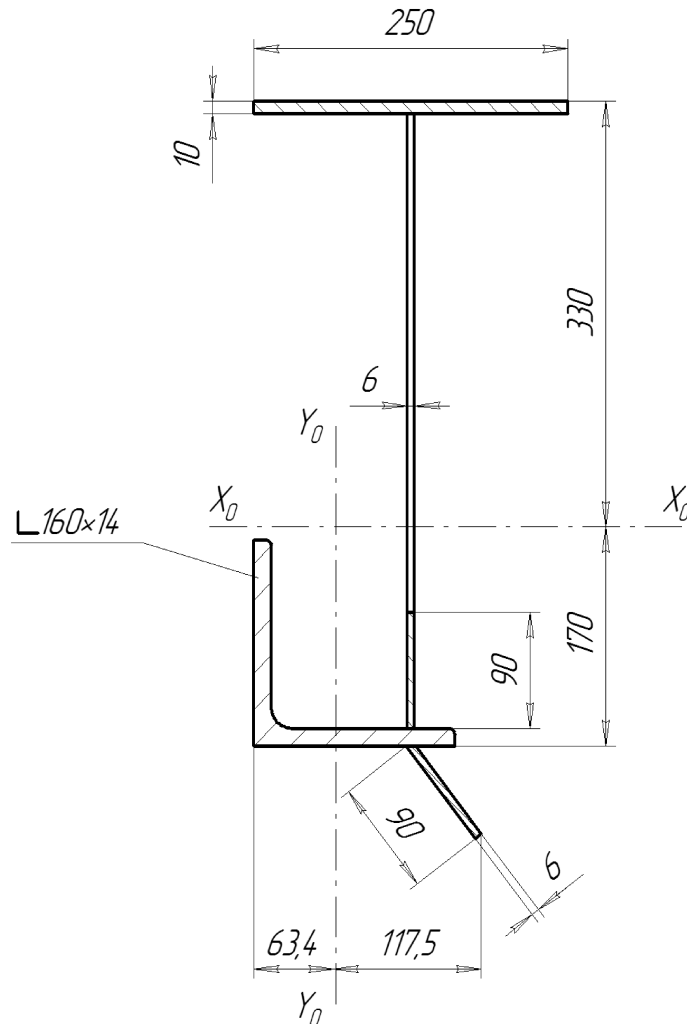


Рисунок 2.4 – Схема перерізу бункерної балки

Моменти опору балки:

$$W_{X_0}^{\text{В.П.}} = \frac{I_{X_0}}{h - Y_0} = \frac{4,078 \cdot 10^4}{50 - 17} = 1235,76 \text{ см}^3;$$

$$W_{X_0}^{\text{Н.П.}} = \frac{I_{X_0}}{Y_0} = \frac{4,078 \cdot 10^4}{17} = 2398,83 \text{ см}^3;$$

$$W_Y^{B.П.} = \frac{h_{л} \cdot b_{л}^2}{6} = \frac{1 \cdot 25^2}{6} = 104,17 \text{ см}^3;$$

Положення нейтральної вертикальної вісі нижнього поясу:

$$X_0 = \frac{A_{УГ} \cdot z_0 + A_{ОБ} \cdot x_{ОБ} + A_{СТ} \cdot x_{СТ}}{A_{Н.П.}} =$$

$$= \frac{43,3 \cdot 4,47 + 5,4 \cdot 15,17 + 5,4 \cdot 12,5}{54,1} = 6,34 \text{ см.}$$

Момент інерції нижнього поясу відносно вісі  $Y_0 - Y_0$ :

$$I_{Y_0}^{H.П.} = I_{УГ} + A_{УГ} (X_0 - z_0)^2 + A_{ОБ} (x_{ОБ} - X_0)^2 =$$

$$= 1046 + 43,3 \cdot 1,87^2 + 5,4 \cdot 8,83^2 = 1618,5 \text{ см}^4.$$

Найменший момент опору нижнього поясу:

$$W_{Y \min}^{H.П.} = \frac{1618,5}{11,75} = 137,74 \text{ см}^3.$$

Напруження у верхньому поясі від вертикальних навантажень:

$$\sigma_X^{B.П.} = \frac{M_{\max}}{W_{X_0}^{B.П.}} = \frac{68,8 \cdot 10^2}{1235,76} = 5,5674 \text{ кН/см}^2 = 55,674 \text{ МПа.}$$

Напруження у верхньому поясі від горизонтальних навантажень (від моменту, що вигинає, і нормальної сили):

$$\sigma_Y^{B.П.} = \frac{N^{B.П.}}{A^{B.П.}} + \frac{M_Y^{B.П.}}{W_Y^{B.П.}} = \frac{0,034}{25} + \frac{0,0453 \cdot 10^2}{104,17} = 0,045 \text{ кН/см}^2 = 0,45 \text{ МПа.}$$

Сумарне напруження:

$$\Sigma\sigma^{B.II} = 55,674 + 0,45 = 56,124 \text{ МПа} < R_y = 225 \text{ МПа.}$$

Напруження в нижньому поясі від вертикальних навантажень:

$$\sigma_X^{H.II} = \frac{M_{\max}}{W_{X_0}^{H.II}} = \frac{68,8 \cdot 10^2}{2398,83} = 2,868 \text{ кН/см}^2 = 28,68 \text{ МПа.}$$

Напруження в нижньому поясі від горизонтальних навантажень:

$$\sigma_Y^{H.II} = \frac{N^{H.II}}{A^{H.II}} + \frac{M_Y^{H.II}}{W_{Y_{\min}}^{H.II}} = \frac{19,55}{54,1} + \frac{26,39 \cdot 10^2}{137,74} = 19,52 \text{ кН/см}^2 = 195,2 \text{ МПа.}$$

Сумарна Напруження:

$$\Sigma\sigma^{H.II} = 28,68 + 195,2 = 223,88 \text{ МПа} < R_y = 225 \text{ МПа.}$$

Отже міцність балки забезпечується.

## 2.4 Розрахунок стінки балки

Перевіряємо стінку балки на зріз:

$$\tau = \frac{1,5Q_{\max}}{h_w t_w} \leq R_S, \quad (2.12)$$

де  $h_w$  – висота стінки балки,

$$h_w = h - h_l/2 - z_0 = 50 - 1/2 - 4.47 = 43,05 \text{ см;}$$

$Q_{\max}$  – максимальне значення поперечної сили,



$$Q_{\max} = \frac{(p_B + g) \cdot a}{2} = \frac{(10,37 + 8,505) \cdot 5,4}{2} = 50,963 \text{ кН};$$

$R_s$  – розрахунковий опір сталі зрушенню,

$$R_s = 0,58R_y = 0,58 \cdot 225 = 130,5 \text{ МПа},$$

$R_y$  - розрахунковий опір сталі вигину,  $R_y = 225 \text{ МПа}$ .

$$\tau = \frac{1,5 \cdot 50,963}{45,03 \cdot 0,6} = 2,83 \text{ кН/см}^2 = 28,3 \text{ МПа} < 130,5 \text{ МПа}.$$

Перевіряємо стійкість стінки балки на дотичне напруження.

Середнє дотичне напруження:

$$\tau_{\text{ср}} = \frac{Q_{\max}}{h_w t_w} = \frac{50,963}{45,03 \cdot 0,6} = 1,89 \text{ кН/см}^2 = 18,9 \text{ МПа}.$$

Вертикальні ребра жорсткості розташовуємо через 1,35м.

Критичне дотичне напруження:

$$\tau_{\text{кр}} = \left(10,3 + \frac{7,8}{\mu^2}\right) \frac{R_s}{\bar{\lambda}_{\text{ef}}^2}, \quad (2.13)$$

$$\mu = 2/d_p = 2/1,35 = 1,482;$$

$$\bar{\lambda}_{\text{ef}} = \frac{d_p}{t_w} \sqrt{\frac{R_y}{E}} = \frac{135}{0,6} \sqrt{\frac{225}{2,06 \cdot 10^5}} = 7,44,$$

де  $E$  – модуль пружності матеріалу стінки,  $E = 2,06 \cdot 10^5$  МПа.

$$\tau_{cr} = \left( 10,3 + \frac{7,8}{1,482^2} \right) \cdot \frac{130,5}{7,44^2} = 32,69 \text{ МПа.}$$

$$\tau_{cp} / \tau_{cr} \leq \gamma_c;$$

$$18,9 / 32,69 = 0,578 < 1.$$

Перевірка показала, що жорсткість і міцність стінки забезпечені.

## 2.5 Монтажні розрахунки

Для монтажу бункера на бункерній естакаді використовують строп зі сталюого канату. Зусилля в стропі від ваги бункера [30]:

$$S_{\text{max.розр}} = \frac{Q}{m \cdot \sin \alpha} \cdot \beta, \quad (2.14)$$

де  $\beta$  - коефіцієнт нерівномірності навантаження на гілку стропа;

$m$  – кількість гілок стропа;

$\alpha$  – кут нахилу гілок стропа  $\alpha_{\min} = 30^\circ$ , приймаємо  $\alpha = 45^\circ$ .

$$S_{\text{max.рах.}} = \frac{70000}{4 \cdot \sin 45} \cdot 1,4 = 34648,23 \text{ Н.}$$

Тоді розрахункове зусилля в стропі:

$$P_p = S_{\text{max.рах.}} \cdot R_c, \quad (2.15)$$

де  $R_c$  – коефіцієнт запаса міцності стропа,  $R_c=6$ .

$$P_p = 34648,23 \cdot 6 = 207889,4 \text{ Н.}$$

Конструктивно обираємо канат подвійного звивання типу ЛК-Р конструкції  $6 \times 19(1 + 6 + 6/6) + 1 \text{ о.с.}$ , діаметром  $d=19,5$  мм, маркувальна група 1764 МПа,  $P_{\text{розр}} = 209000 \text{ Н}$ .

Для утворення та утримання петель строп використовує стиски, кількість яких розраховуються за формулою:

$$n'_{\text{на}} = \frac{4 \cdot S_{\text{max}}}{2 \cdot \pi \cdot d_1^2 \cdot [\sigma] \cdot f}, \quad (2.16)$$

де  $d_1$  – внутрішній діаметр різьбової частини скоби,

$$d_1 = 0,8 d_k = 0,8 \cdot 19,5 = 15,6 \text{ мм;}$$

де  $[\sigma]$  – допустиме напруження матеріала скоби на розтяг,  $[\sigma] = 100 \text{ Н/мм}^2$ ;

$f$  – коефіцієнтт тертя каната об канат,  $f = 0,2$ ;

$$n'_{\text{ст}} = \frac{4 \cdot 34648,23}{2 \cdot 3,14 \cdot 15,6^2 \cdot 100 \cdot 0,2} = 4,532.$$

Конструктивно приймаємо кількість стисків  $n_{\text{ст}} = 5$ .

Схема строповки бункера приведена на рис. 2.5.

Для монтажу бункера за місцем призначення використовується спеціалізоване підйомно-транспортне обладнання, а отже важливо встановити мінімальну висоту стропування.

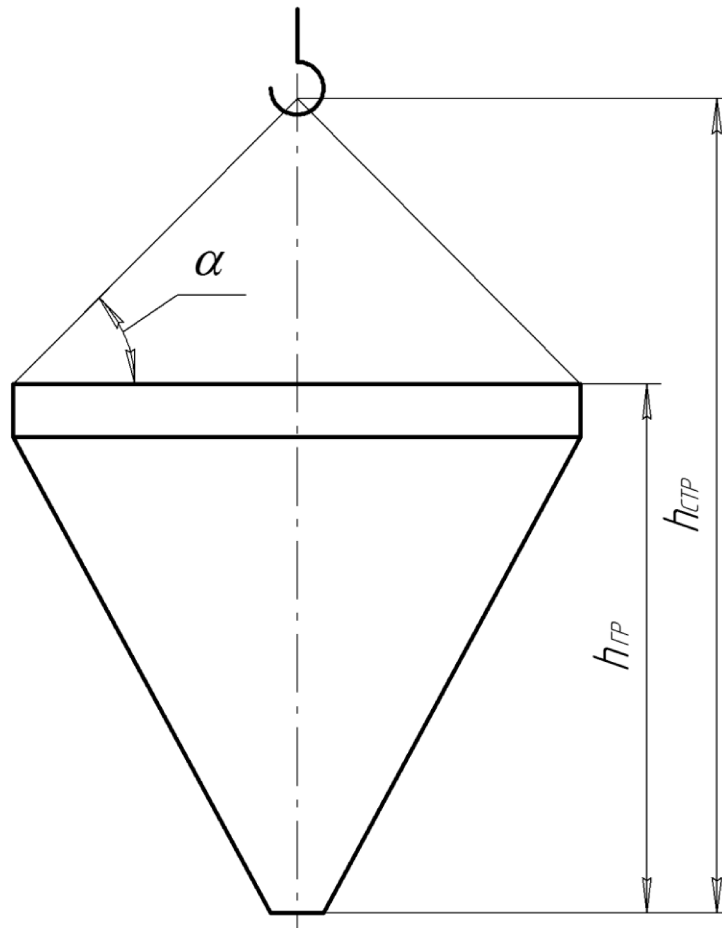


Рисунок 2.5 – Схема строповки бункера

Мінімальна висота строповки:

$$h_{\text{стр}} = h_{\text{гр}} + \ell_{\text{стр}} \cdot \sin \alpha, \quad (3.15)$$

где  $h_{\text{гр}}$  – висота бункера;

$\ell_{\text{стр}}$  – довжина стропа,

$$\ell_{\text{стр}} = a / (2 \cos \alpha) = 5400 / (2 \cdot \cos 45^\circ) = 3818,4 \text{ мм};$$

$$h_{\text{стр}} = 5000 + 3818,4 \cdot \sin 45^\circ = 7700 \text{ мм} = 7,7 \text{ м}.$$

Таким чином обираємо два стропа мінімальною довжиною 4 м кожен.

## 3 ДОСЛІДНО–ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

### 3.1 Аналіз причин зависання матеріалу в бункері

Розглянемо явище самовільного припинення закінчення сипучих матеріалів під дією гравітаційних сил з розвантажувального отвору бункера - зависання матеріалу.

Зависання матеріалу спостерігається в наступних основних формах:

- 1) утворення під розвантажувальним отвором склепіння матеріалу;
- 2) утворення в матеріалі під розвантажувальним отвором вертикальної циліндричної поверхні (труби).

Аналіз теоретичних і експериментальних досліджень явища зависання дозволяє виділити основні чинники що впливають на це явище:

- 1) властивості сипкого матеріалу;
- 2) конструкція (геометрія) бункера;
- 3) властивості поверхні стінок бункера, що контактують з сипким матеріалом.

Істотний вплив на зависання матеріалу роблять такі його властивості, як злежуваність, змерзлість, зв'язність (в'язкість), клейкість, а також гранулометричний склад матеріалу.

Злежуваністю називається властивість матеріалу втрачати сипучість у разі тривалого зберігання. Небезпека злежуваності зростає зі збільшенням висоти шару засипки матеріалу, так як при цьому зростає тиск в нижніх частинах шару.

В'язкими називаються сипкі матеріали, що чинять великий опір зрушенню при дуже малих нормальних навантаженнях. Властивість зв'язності пояснюється наявністю зчеплення між частками насипного вантажу. Вважатимемо, що для шихти має місце чисте механічне зчеплення, не пов'язане з молекулярними силами тяжіння між частками.

При розгляді явища зависання сипкого матеріалу у бункері вважаємо справедливим одне з основних допущень механіки сипких тіл: матеріал

складається з часток таких малих в порівнянні з розмірами бункера і його розвантажувального отвору, що може розглядатися як суцільне середовище.

Крім того, вважаємо, що в матеріалі не може виникати напруження розтягування [31].

Рівновага сипкого тіла визначається наступними умовами:

$$\begin{aligned}\Sigma F_x + \Sigma \sigma_x + \Sigma \tau_x &= 0; \\ \Sigma F_y + \Sigma \sigma_y + \Sigma \tau_y &= 0; \\ \Sigma F_z + \Sigma \sigma_z + \Sigma \tau_z &= 0; \\ \Sigma M_x &= 0; \\ \Sigma M_y &= 0; \\ \Sigma M_z &= 0,\end{aligned}\tag{3.1}$$

де  $F_x, F_y, F_z$  – проекція на довільні осі координат  $x, y$  і  $z$  об'ємних сил, прикладених до часток сипкого тіла;

$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$  – проекції нормальних сил, що діють по поверхні сипкого тіла;

$\tau_x, \tau_y, \tau_z$  – проекції дотичних сил, що діють по тій же поверхні;

$M_x, M_y, M_z$  – проекції моментів перелічених вище сил відносно будь-якого полюса.

Згідно (3.1) матеріал, що знаходиться в нижній частині бункера, що звужується, сприймає горизонтальні стискаючі навантаження. Поверхня завислого в нижній частині бункера матеріалу, що утримує матеріал у бункері, буде завантажена розподіленим навантаженням від сил тяжіння матеріалу. Згідно з прийнятими допущенням така поверхня не може сприймати навантажень, що вигинають (тільки, що стискають), і, отже, рівноважний стан поверхні може бути описаний із застосуванням безмоментної теорії оболонок [32].

Рівняння рівноваги безмоментної оболонки в загальному вигляді:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial(N_1 A_2)}{\partial \alpha_1} + \frac{\partial(S A_1)}{\partial \alpha_2} + S \frac{\partial A_1}{\partial \alpha_2} - N_2 \frac{\partial A_2}{\partial \alpha_1} + A_1 A_2 q_1 &= 0; \\
\frac{\partial(N_2 A_1)}{\partial \alpha_2} + \frac{\partial(S A_2)}{\partial \alpha_1} + S \frac{\partial A_2}{\partial \alpha_1} - N_1 \frac{\partial A_1}{\partial \alpha_2} + A_1 A_2 q_2 &= 0; \\
\frac{N_1}{R_1} + \frac{N_2}{R_2} - q_n &= 0,
\end{aligned}
\tag{3.2}$$

де  $\alpha_i$  – криволінійні координати оболонки ( $i=1,2$ );

$N_i, S$  – відповідно нормальні і зрушуючі погонні зусилля в оболонці;

$q_i, q_n$  – відповідно подовжнє і поперечне розподілене навантаження, що сприймається оболонкою;

$R_i$  – радіуси головних кривих оболонки;

$A_i$  – коефіцієнт Леме.

Умови вантаження поверхні, що утримує матеріал у бункері, можна в першому наближенні прийняти наступними:

$$q_1=q_2=0; \quad q_n=\text{const.} \tag{3.3}$$

Таким умовам відповідають відомі рішення рівнянь (3.2) :

1) форма поверхні – циліндр

$$\begin{aligned}
R_1=\text{const}, \quad R_2 \rightarrow \infty; \\
N_1=q_n R_1, \quad N_2=0;
\end{aligned}
\tag{3.4}$$

2) форма поверхні – сфера

$$\begin{aligned}
R_1=R_2=R=\text{const}; \\
N_1=N_2=N=0.5q_n R.
\end{aligned}
\tag{3.5}$$

В обох випадках  $S=0$ .

Спільно з рівняннями (3.2) необхідно розглядати граничні умови утримуючої поверхні. Такими умовами є умови спирання поверхні на стінки бункера. У точці  $O$  спирання (рисунок 3.1) потрібне виконання умови :

$$\beta \geq \arctg f, \quad (3.6)$$

де  $\beta$  – кут між дотичною до утримуючої поверхні в точці  $O$  і стінкою бункера;

$f$  – коефіцієнт тертя сипкого матеріалу по стінці бункера.

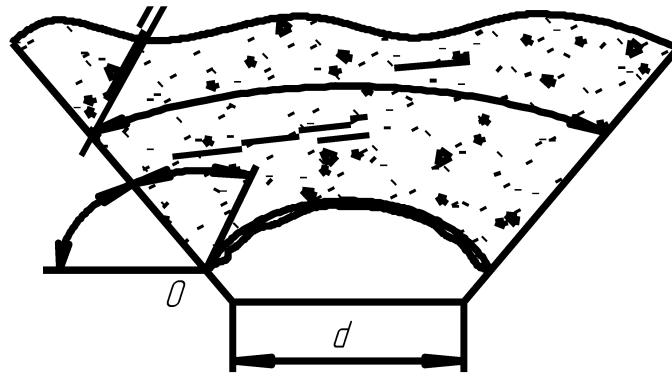


Рисунок 3.1 – Спирання утримуючої поверхні

### 3.2 Вплив геометрії бункера на зависання матеріалу

Розглянемо вплив геометрії бункера на зависання матеріалу. В якості даних геометричних параметрів бункера виділимо наступні:

- 1) кут нахилу стінок бункера;
- 2) розміри розвантажувального отвору бункера.

Враховуючи умови опуклості утримуючої поверхні і отримаємо умову відсутності склепіння матеріалу під розвантажувальним отвором:



$$\gamma < -\operatorname{arctg} f, \quad (3.7)$$

де  $\gamma$  – кут, що утворюється стінками бункера (рисунок 3.1).

Умова (3.7) показує, що гарантія відсутності утворення склепіння матеріалу існує тільки при нижній частині, що розширюється бункера, з кутом нахилу стінок, що перевищує кут тертя матеріалу об стінки [33].

З умови (3.6) можна також отримати умову відсутності вертикальної труби в матеріалі над розвантажувальним отвором:

$$\alpha > \operatorname{arctg} f. \quad (3.8)$$

Мінімальна ширина розвантажувального отвору бункера, при якій не утворюються склепіння завислого матеріалу :

$$d_{\min} = \frac{2\tau_0(1 + \sin\varphi)}{k \cdot g \cdot \rho} \quad (3.9)$$

де  $\tau_0$  – початковий опір зрушенню в матеріалі;

$\varphi$  – кут внутрішнього тертя матеріалу;

$k$  - коефіцієнт форми отвору ( $k=0.5$  - для круглого і квадратного отворів;  $k=1$  - для щілинного отвору);

$g$  - прискорення вільного падіння;

$\rho$  – щільність матеріалу.

Проведемо порівняльний аналіз трьох варіантів геометрії бункера (рисунок 3.2):

- а) бункери з плоскими стінками;
- б) конічно-циліндричного бункера;
- в) конічного бункера.

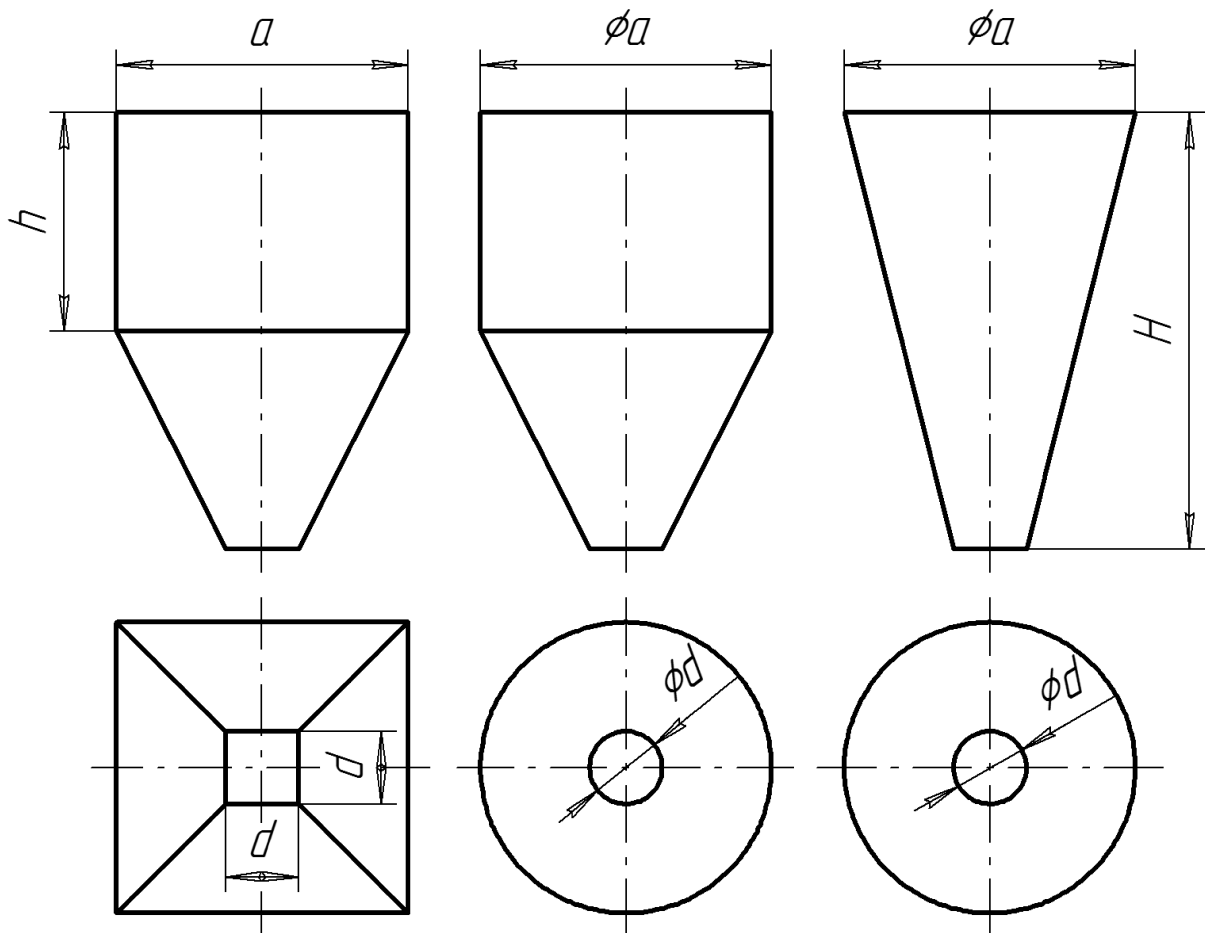


Рисунок 3.2 – Варіанти геометрії бункерів

Відразу необхідно відмітити відмінність місткості (об'єму) бункерів при однакових габаритних розмірах. Максимальний об'єм має бункер з плоскими стінками:

$$V_1 = a^2h + 1/3(H - h)(a^2 + a \cdot d + d^2). \quad (3.10)$$

Дещо менше об'єм конічно-циліндричного бункера:

$$V_2 = (\pi/4) \cdot V_1 \approx 0.785V_1. \quad (3.11)$$

Мінімальний об'єм має конічний бункер:

$$V_3 = V_2 - (\pi/12) \cdot h \cdot (2a^2 - a \cdot d - d^2). \quad (3.12)$$

Іншою відмінністю даних бункерів є кут нахилу стінок. Мінімальний кут нахилу має ребро нижньої частини бункера з плоскими стінками:

$$\alpha_1 = \arctg \sqrt{2} \frac{H - h}{a - d} \quad (3.13)$$

Кут нахилу утворюючої нижньої частини конічно-циліндричного бункера:

$$\alpha_2 = \arctg 2 \frac{H - h}{a - d} \quad (3.14)$$

Кут нахилу утворюючої конічного бункера:

$$\alpha_3 = \arctg \frac{2H}{a - d} \quad (3.15)$$

Проведемо розрахунок для конкретного випадку:

розміри бункера —  $a=5,4\text{ м}$ ;  $h=0,5\text{ м}$ ;  $H=5\text{ м}$ ;

сипкий матеріал - шихта з механічними властивостями:  $\tau_0=360\text{ Н/м}^2$ ;  $\varphi=56^\circ$ ;  
 $\rho=250\text{ кг/м}^3$ .

Розмір розвантажувального отвору бункера:

$$d = \frac{2 \cdot \tau(1 + \sin\varphi)}{h \cdot g \cdot \rho}, \text{ м}$$

Підставивши вихідні дані отримаємо:

$$d = \frac{2 \cdot 360 \cdot (1 + \sin 56^\circ)}{0,5 \cdot 9,81 \cdot 250} = 1,08 \text{ м}$$

З конструктивних міркувань приймаємо  $d=0,5$  м та розраховуємо по формулах (3.10) - (3.15) об'єми і кути нахилу стінок бункерів. Результати заносимо в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Геометричні розміри бункерів

Вид бункера	Геометричні параметри		
	$V_i, \text{м}^3$	$V_i/V_1$	$\alpha_i, \text{град}$
З плоскими стінками	62,745	1	52,41
Конічно-циліндричний	49,28	0,785401	61,434
Конічний	42,03	0,669854	63,9

Для сталених стінок бункера  $f = 0,83$  і умова (3.8) має вигляд

$$\alpha > \arctg 0.83 = 60^\circ.$$

Як видно з таблиці 3.1, ця умова дотримується для конічного і конічно-циліндричного бункерів [3].

З розрахунків видно, що на зависання матеріалу у бункері великий вплив має його геометрія. Але часто виникають випадки, коли немає можливості змінити геометрію бункера. Тоді треба виконувати вимушені дії по обваленню склепіння.

### 3.3 Аналіз ефективності ударного впливу на стінки бункера для обвалення матеріалу

#### 3.3.1 Математична модель роботи вібратора ударної дії

Розглянемо процес ударного впливу на стінку бункера при використанні як обрушувач матеріалу вібратора ударної дії [15].

Механічну модель вібратора у першому наближенні представимо у такому вигляді (рис. 3.3). Вібратор встановлений на тілі 1 масою  $m_1$  пов'язаному жорсткістю  $C_1$  з нерухомою основою, і включає тіло 2 масою  $m_2$  пов'язане жорсткістю  $C_2$  з тілом 1. При цьому вважаємо, що:

- $m_1$  – наведена маса частини стінки бункера та деталей вібратора, жорстко пов'язаних із цією стінкою;
- $m_2$  – маса ударника вібратора;
- $C_1$  – наведена жорсткість стінки бункера;
- $C_2$  – жорсткість пружини вібратора.

У ненавантаженому стані пружини вібратора між тілами існує зазор  $h$ . Зазор  $h$  вважаємо негативним, якщо у статичному стані системи тіла притиснуті один до одного.

Вільний час тіл описується рівняннями:

$$\begin{cases} m_1 \ddot{X}_1 = C_2 (X_2 - h - X_1) - C_1 X_1; \\ m_2 \ddot{X}_2 = C_2 (X_1 - X_2 + h), \end{cases} \quad (3.16)$$

де  $x_1, x_2$  – координати тіл вздовж осі  $X$  (рис. 2.3), беручи початок відліку положення тіла 1 при недеформованій стінці бункера.

Ударну взаємодію тіл опишемо використовуючи класичну теорію удару.

Тоді швидкості тіл після удару  $\dot{X}_{1n}$  можна  $\dot{X}_{2n}$  знайти із співвідношень:

$$\dot{X}_{1n} = \frac{(m_1 - Rm_2)\dot{X}_{1\partial} + (1 + R)m_2\dot{X}_{2\partial}}{m_1 + m_2}; \quad (3.17)$$

$$\dot{X}_{2n} = \frac{(1 + R)m_1\dot{X}_{1\partial} + (m_2 - Rm_1)\dot{X}_{2\partial}}{m_1 + m_2}; \quad (3.18)$$

де  $\dot{X}_{10}, \dot{X}_{20}$  – швидкості тіл до удару;

$R$  – коефіцієнт відновлення.

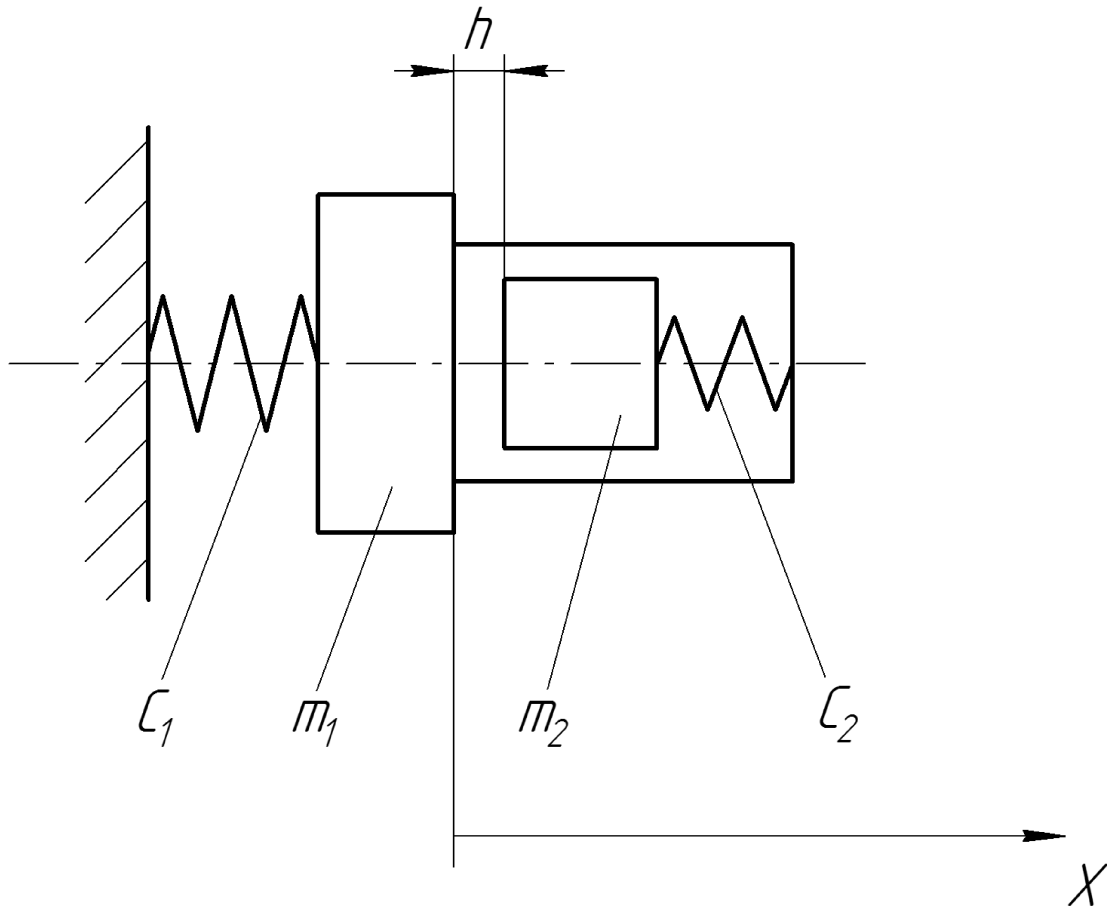


Рисунок 3.3 – Механічна схема вібратора

### 3.3.2 Математична модель ефективності удару

Знайдемо швидкість тіла 1 після першого удару. Вважаємо, що початковий момент тіло 2 відведено зі стиском пружини вібратора. Початкові умови завдання:

$$X_1 = 0; \quad X_2 = X_{20}; \quad \dot{X}_1 = 0; \quad \dot{X}_2 = 0. \quad (3.19)$$

Оскільки точне спільне розв'язання рівнянь (3.16) - (3.18) складне й ненаглядне, розглянемо досить близьку до практики випадок, коли  $C_1 \gg C_2$ . У цьому випадку рух тіла 1 до удару можна знехтувати.

З (3.16) знайдемо швидкість тіла 2 до удару

$$\dot{X}_{20} = \sqrt{\frac{C_2}{m_2}}(h - X_{20}). \quad (3.20)$$

Підставляючи (3.20) в (3.17) визначимо швидкість:

$$\dot{X}_{1n} = \frac{(1 + R)\sqrt{m_2 C_2}}{m_1 + m_2}(h - X_{20}). \quad (3.21)$$

Аналізуючи (3.21) приходимо до таких висновків. Як і слід очікувати швидкість відскоку тіла 1  $V_1$  ( $V_1 = -\dot{X}_{1n}$ ) зростає зі збільшенням коефіцієнта відновлення  $R$  жорсткості пружини вібратора, початкового відхилення тіла 2 і зі зменшенням зазору  $h$ . Залежність від маси тіла 2 має максимум при:

$$m_2 = m_1. \quad (3.22)$$

Виконання умови (3.22) призводить до максимальної швидкості тіла 1 за рахунок найбільш повної передачі енергії від тіла 2 тілу 1. Ефективність удару можна оцінити коефіцієнтом, що є відношенням кінетичної енергії тіла 1 після удару до кінетичної енергії тіл до удару

$$\eta = (1 + R)^2 \frac{m_1 m_2}{(m_1 + m_2)^2}. \quad (3.23)$$

Вид залежності (3.23) показаний малюнку 3.4.

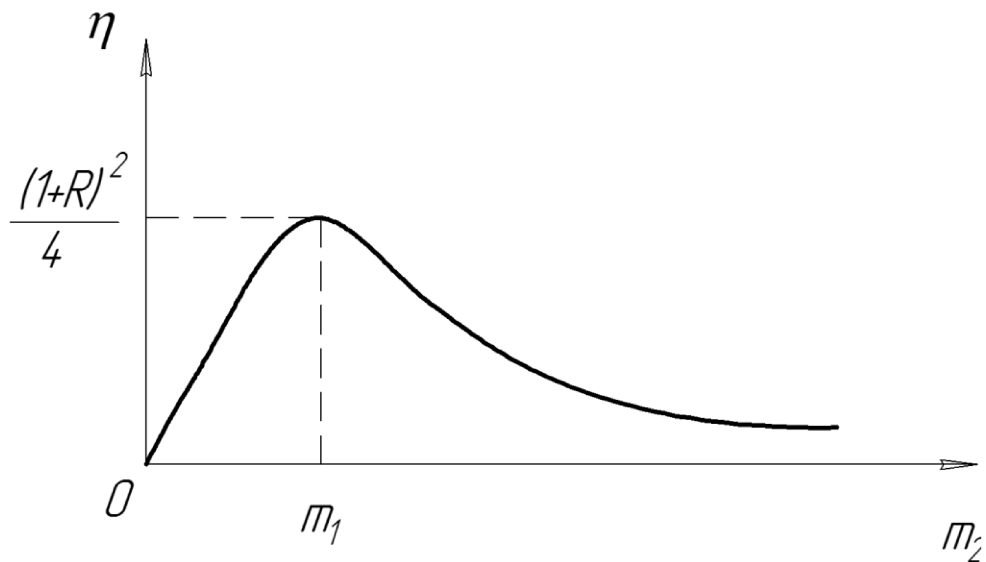


Рисунок 3.4 – Графік залежності ефективності удару від маси бойка

Для кожного набору значень  $R$ ,  $m_1$  та  $m_2$  коефіцієнт  $\eta$  має певне значення. Однак значення  $\eta$  може бути збільшено запровадженням між тілами 1 і 2 проміжного тіла.

В цьому випадку, згідно (3.23)

$$\eta = (1 + R_{1,3})^2 (1 + R_{2,3})^2 m_1 m_2 \left[ \frac{m_3}{(m_1 + m_3)(m_2 + m_3)} \right], \quad (3.24)$$

де  $R_{1,3}$ ,  $R_{2,3}$  – значення коефіцієнта  $R$  для пар тіл, що співударяються;  
 $m_3$  – маса проміжного тіла.

При  $R_{1,3} = R_{2,3}$  максимальне значення досягається за

$$m_3 = \sqrt{m_1 m_2}. \quad (2.25)$$

Ще більше збільшення можна досягти введенням декількох проміжних тіл [34], що і використано авторами роботи [15] при модернізації пристрою.



## ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА В ГАЛУЗІ

### 4.1 Виявлення та оцінка шкідливих факторів виробничого середовища

#### 4.1.1 Характеристика ступеня безпеки технологічного процесу, рівня механізації й автоматизації

Доменне виробництво є основним способом одержання чавуну із залізорудного концентрату шляхом відновлення заліза з оксиду. При цьому попутньо виділяється колошниковий газ, шлаки й інші побічні продукти. Доменний (колошниковий) газ, що володіє порівняно високою теплою згорання, являє собою суміш газу й пилу з якого до 40 % CO. Окис вуглецю є отруйним газом і навіть при невеликій кількості при влученні в організм людини може привести до летального результату. Із цієї причини засипний апарат і шахта пічі відносяться до I-ї групи.

Також застосування природного газу для нагрівання кауперів привело до того, що II-а група по газобезпеці встановлена для повітрянагрівачів.

Також збільшена запиленість, що виникає через використання сипучих матеріалів, змусила широко використати витяжки й аспіраційні установки для зменшення даного шкідливого фактора.

Ще одним фактором є відсутність певного приміщення, для створення мікроклімату. Багато технологічних процесів, усереднення й перевантаження сипучих матеріалів, здійснюється під відкритим небом. З огляду на мелкодисперстність шихти приводить до великої запиленості території рудного двору й бункерної естакади. Відсутність закритого приміщення не дозволяє вловлювати або осаджувати виникаючу при цьому запиленість.

Для завантаження шихтових матеріалів використовуються дво- і триконусні завантажувальні апарати або безконусний завантажувальний пристрій. Які покликані забезпечити завантаження шихтових матеріалів, підтримка тиску в

печі й щільність ущільнення. Але через не щільність ущільнень і зварювальних швів на завантажувальному пристрої й колошнику доменної печі дуже велика ймовірність витоку доменного газу.

На ливарному дворі при випуску чавуну й шлаків виникає збільшена загазованість і запиленість через побічні продукти плавки. Зменшити їхній вплив покликані головні ринви, що накриваються, і аспірація.

При ремонті встаткування дуже велике значення має ступінь механізації ремонтного процесу. Роботи із припасування, підйому й такелажу повністю механізовані.

Рівень механізації процесу ремонту й обслуговування встаткування ремонтного цеху

Досить повне подання про рівень механізації можна одержати шляхом певних витрат механічної й ручної праці.

$$B = \frac{M}{M + R} \cdot 100\%, \quad (4.1)$$

де  $B$  – рівень механізації праці, %;

$M$  – сума людино–годин механізованої праці;

$R$  – сума людино–годин ручної праці.

- для слюсаря ремонтника:

$$B = \frac{3}{5 + 3} \cdot 100\% = 37,5\%$$

Результати розрахунків рівня механізації праці для інших професій представлені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Розрахунок рівня механізації праці

№ п/п	Професія робітників	Штат робітників	Кількість відпрацьованих людино-годин у добу			% механізованої праці	% ручної праці
			Вручну	За допомогою машин	Усього		
1	Електрогазо-зварювальник	3	$6 \cdot 3 = 18$	$2 \cdot 3 = 6$	24	25	75
2	Слюсар ремонтник 6-го розряду	4	$5 \cdot 4 = 20$	$3 \cdot 4 = 12$	32	37,5	62,5
3	Слюсар ремонтник 5-го розряду	5	$6 \cdot 5 = 30$	$2 \cdot 5 = 10$	40	25	75
4	Плавильник 4-го розряду	6	$4 \cdot 6 = 24$	$4 \cdot 6 = 24$	48	50	50
5	Крановий машиніст	3	$0,5 \cdot 3 = 1,5$	$7,5 \cdot 3 = 22,5$	24	93,75	6,25

З даних таблиці можна дати висновок, що електро-газозварювальник – 25% механізованого, 75% ручної праці; слюсар ремонтник 6-го розряду – 37,5% механізованого, 62,5% ручної праці; слюсар ремонтник 5-го розряду – 25% механізованого, 75% ручної праці; плавильник 4-го розряду – 50% механізованого, 50% ручної праці; крановий машиніст – 93,75% механізованого, 6,25% ручної праці.

#### 4.1.2 Аналіз потенційних і шкідливих факторів виробничого середовища

Розглянемо карту умов праці слюсаря ремонтника, (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 – Технологічна карта умов праці кранового машиніста рудного двору

Фактори	Нормативне значення, ГДК, ГДР	Фактичне значення	III клас шкідливих і небезпечних умов і характер праці			Час дії фактора % у змін
			1 ступінь	2 ступінь	3 ступінь	
I. Шкідливі хімічні речовини, мг/м <sup>3</sup>						
1 клас безпеки						
Ангідрид хромовий	0,01	0,05			5	83,1
Бензапирен	0,00015	0,0002		1,33		83,1
Нікель	0,05	0,09		1,8		83,1
Марганцю оксид	0,05	0,27			5,4	83,1
2 клас безпеки						
Мідь	1	1,2	1,2			83,1
3 клас безпеки						
Ангідрид сірчистий	10	26			2,6	83,1
Азоту оксид	5	29,3			5,86	83,1
Азоту диоксид	2	8,2			4,1	83,1
II. Пил переважно фіброгенної дії, мг/м <sup>3</sup>						
Зміст кремнію диоксида – 2...10...10%	4,0	172,2			43,05	83,1
III. Шум, Дб						
	80	96			16	100
IV. Мікроклімат у приміщенні						
– температура повітря, °З	20	30			10	83,1
– швидкість руху повітря, м/сек	0,6	0,86				83,1
V. Робоча поза						
Нахил корпусу в просторі, обумовлений технологічним процесом, град	перебування в похилому положенні понад					
	28,1	30				
Кількість факторів			1	2	6	

Висновок

На робочому місці присутні 1 фактор 1-го ступеня шкідливості умов праці, 2 фактори 2-го ступені й 6 факторів 3 ступеня, що говорить про особливо важкі й особливо шкідливих умовах праці. Характер й умови праці відносяться до III класу 3-й ступеня.

Передбачено наступні пільги:

- пенсійне забезпечення – список №1;
- доплати становлять – 12%;
- додаткові відпустки – 20 днів;

#### 4.2 Заходи захисту від впливу шкідливих факторів виробничого середовища

У таблиці 4.3 наведені фактори виробничого середовища трудового процесу й заходи щодо їхнього усунення, які мають місце на плавильному відділенні.

Шкідливості й небезпеці доменного цеху відносяться до фізичної групи. До цієї групи відносяться пил, шум, зміни температури всередині цеху [35].

Всі працівники цеху безкоштовно забезпечені спецодягом, спецвзуттям і засобами індивідуального захисту. До складу спецодягу входять: костюм х/б тканини, черевики, у зимовий час видається утеплена куртка й ватяні штани [36].

Для захисту органів подиху робітником видаються респіратори протипилові типу ШБ – 1М "СИЗОД" ДСТ 12.01.029–80.

Для захисту органів слуху противошумовые навушники ДСТ 12.01.029–80 з межею до 110 дБ.

Таблиця 4.3 – Технічні засоби захисту від впливу шкідливих факторів виробничого середовища

№ п/п	Небезпечний або шкідливий фактор виробничого середовища	Захисний пристрій	Тип пристрою	Параметри пристрою	Місце встановлення
1	Запиленність	Витяжна вентиляція	КСЗ	–	У місцях утворення пилу
2	Запиленність	Респіратор СИЗОД	ШБ–1М	–	Індивідуально
3	Шум	Навушники протишумові, беруши		Придатний до 110 дБ	Індивідуально
4	Температура Хол період  Тепл період року	Утеплена куртка, ватяні штани, костюм з х/б тканини, черевики  костюм з х/б тканини, черевики	Тн  Ти	–	Індивідуально
5	Шкідливі хімічні речовини	Теж що й при запиленність + костюм х/б, рукавиці	Пм	–	Індивідуально

### 4.3 Технічні рішення по гігієні праці та виробничій санітарії

#### 4.3.1 Опалення й вентиляція

Під вентиляцією розуміють систему заходів і пристроїв, призначених для забезпечення на робочих місцях, у робочих і обслуговуваних 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 зонтами (витяжна вентиляція), з'єднаними за допомогою воздуховодів із пристроями для очищення повітря, що видаляється, згідно вимогам БНіП 2–33–75.

Таблиця 4.4 – Оптимальні норми температури, відносної вологості й швидкості руху повітря в робочій зоні при роботі середньої важкості [37].

Період року	Параметри мікроклімату		
	t, °C	W <sub>пов</sub> , м/с	φ, %
Холодний	17/19	0,3	60 – 40
Теплий	20/ 22	0,4	60 – 40

Також у прольоті ділянки використовують природну вентиляцію повітря. У такому виді вентиляції повітря надходить і видаляється через щілини вікна, дверей, воріт, ліхтарі.

#### 4.3.2 Природне й штучне освітлення.

Для створення сприятливих умов праці важливе значення має раціональне освітлення. Незадовільне освітлення утрудняє проведення робіт, веде до зниження продуктивності праці й працездатності очей і може бути причиною їхніх захворювань і нещасних випадків.

По зоровій характеристиці відповідно до вказівок [38] визначаємо VI розряд виконуваних у цеху робіт, тобто спостереження за ходом виробничого процесу, з нормативною освітленістю 80 лк.

В зв'язку з тим, що природне освітлення в будівлі відсутнє, передбачене штучне локалізоване освітлення. Використовуються світильники – глибоковипромінювачі, LED ліхтарі, потужністю 800 Вт, які дозволяють створювати більш рівні освітленості у високих цехах при наявності в повітрі пилу.

У цеху так само передбачене аварійне освітлення, призначене для освітлення основних вузлів виробничого обладнання у випадку несправності основного освітлення. Потужність ламп аварійного висвітлення 500÷700 Вт. Використовуються LED лампи.

#### 4.3.3 Виробничий шум, виробнича вібрація

По походженню шум буває:

- механічний, виникаючий у результаті тертя вузлів і деталей механізмів і машин на холостому й робочому ходу;
- аерогідродинамічний, що виникає при великих швидкостях руху потоків повітря, газів, рідин;
- імпульсний, виникаючий у результаті зіткнення твердих тіл;
- термічний, генеруємий при згорянні газоподібного палива в горілочних і форсуночних пристроях.

Джерелами шуму шихтового відділення є: приводи дробарок, конвеєрів, агломерайійної машини, палет; також шум виникає при вивантаженні агломерату.

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

Для зменшення шуму в джерелі його утворення заміняють ударні взаємодії деталей ненаголошеними, зворотно-поступальні рухи – обертальними; демпфірують коливання соударяючихся деталей і окремих вузлів агрегату шляхом зчленування їх з матеріалами, що мають велике внутрішнє тертя: гумою, пробкою, бітумом, бітумними картонами, повстю, азбестом і ін.; зменшують інтенсивність вібрацій деталей агрегатів шляхом облицювання цих поверхонь.

Для ослаблення вібрацій всі агрегати, що створюють вібрації (робочі машини, двигуни, вентилятори й т.п.), установлюють на самостійних фундаментах, віброізолюваних від підлоги й інших конструкцій будівлі, або на спеціально розрахованих амортизаторах зі сталевих пружин або пружних матеріалів. Для ослаблення передачі вібрацій і шуму по повітряводам і



трубопроводах приєднання їх до вентиляторів і насосів виконується за допомогою гнучкої вставки із прогумованої тканини або гумового патрубку.

Як індивідуальний захист застосовуються навушники–малогабаритні для захисту від шуму з рівнем 110 дБ ДСТ 12.4.051 – 78.

## 4.4 Техногенна безпека

### 4.4.1 Заходи щодо техніки безпеки при ремонтних роботах на кранах

Ручна праця використовується при проведенні поточних і капітальних ремонтів, а так само для усунення дрібних неполадок без зупинки технологічного процесу.

Електроустаткування ділянки відноситься до установок до 1000 В. Умови безпечної експлуатації залежать значною мірою від захищених пристроїв.

Всі струмоведучі частини ізольовані. Як захисну ізоляцію застосовують теплостійкі лаки, електроізолюючі плівки, емалеві й олійні фарби. Покриття повинні швидко сохнути, добре зв'язуватися з покриваємою поверхнею, щоб утворювати на ній струмонепровідну, вологонепроникну, механічно міцну плівку.

Для захисту від короткого замикання використовують швидкодіючий релейний захист і вимикачі, плавкі запобіжники.

На всіх обертових частинах устаткування встановлені захисні щити, кожухи.

На вантажопідйомному устаткуванні крім перерахованих вище вимог повинні бути встановлені обмежники вантажопідйомності, а також відсутнє мимовільне опускання вантажу.

Робота вантажопідйомних машин і пристроїв для транспортування вантажів у момент пусків повинне супроводжуватися звуковими сигналами.

Дотримання всіх норм і правил техніки безпеки приводить до значного зниження нещасних випадків на виробництві.

#### 4.4.2 Заходи пожежної безпеки

У комплекс протипожежних заходів входять попередження виникнення пожеж, обмеження поширення вогню при виникненні пожежі, створення умов для швидкої локалізації й гасіння пожеж.

Причинами вибухів і пожеж найчастіше є теплові імпульси – електричні іскри й статична електрика. Таким чином по вибухонебезпечності шихтове відділення згідно ДСТ 2272–93 можна віднести до категорії Д – негорючі речовини в холодному стані. А по пожежонебезпеці [39] до IIIа ступені – будівлі переважно з каркасною конструктивною схемою. Елементи каркаса – металеві незахищені конструкції. Огороджуючі конструкції – з металевих профільованих листів або інших негорючих листових матеріалів з трудногорючими утеплювачами

Для того, щоб виключити можливість виникнення пожежі або вибуху застосовується, герметичне устаткування, організовується контроль за складом повітря в приміщеннях і використовується електроустаткування, що відповідає класу пожаро– і вибухонебезпечності зон.

Особлива увага приділяється заземленню пересувних об'єктів і обертових елементів устаткування.

Розряди атмосферної електрики можуть з'явитися причиною вибухів і пожеж.

Для забезпечення безпеки людей, схоронності будинку, устаткування й матеріалів служать блискавковідводи: стрижневі й тросові.

При захисті від блискавок III категорії імпульсний опір кожного заземлення повинне бути не більше 5,0 Ом.

Пожежний захист і вибухозахист виробничого об'єкта забезпечується правильним вибором ступеня вогнестійкості об'єкта, застосуванням систем активного придушення вибуху, забезпеченням безпечної евакуації людей, застосуванням засобів пожежної сигналізації.

Велике значення при здійсненні мер пожежо- і взривобезпеки має оцінка небезпеки виробництва.

Основні частини будинку ставляться до III-ї ступеня вогнестійкості. Максимальна межа поширення вогню становить 40 см. Для захисту від поширення вогню з однієї частини будівлі в іншу використовуються протипожежні перешкоди – протипожежні стіни й перекриття з мінімальною межею вогнестійкості 2,5 год.

Необхідний час евакуації людей із приміщення при пожежі не обмежується. Як пристрої шляхів евакуації використовуються сходові клітки, що ведуть до коридору із трьома виходами, і зовнішні сходи [40].

Оскільки в приміщенні можуть виникати пожежі різних класів, передбачені різні засоби гасіння пожеж: є пожежний щит, пожежний рукав, вогнегасники ВВ – 2 і ВП – 10.

Як системи пожежної сигналізації використовуються теплові сповіщачі типу ПОСТ – 1.

#### 4.4.3 Ймовірність аварій та заходи щодо їх ліквідації

Будь-яку машину, механізм можна розглядати як систему, що складається з окремих елементів – деталей. Аварія – результат відмови одного чи декількох елементів [41].

Аварії залежно від їхніх масштабів можуть бути трьох рівнів – А, Б, В.

На рівні А – аварія характеризується розвитком аварії в межах одного виробництва, цеху, відділення, виробничої дільниці, яке є структурним підрозділом підприємства.

На рівні Б – аварія характеризується переходом за межі структурного підрозділу і розвитком її в межах підприємства.

На рівні В – аварія характеризується розвитком і переходом за межі території підприємства, можливістю впливу чинників аварії на населення розташованих поблизу населених районів та інші підприємства (об'єкти), а також на довкілля.

Причинами виникаючих аварійних ситуацій є:

- неправильне настроювання стану;
- недотримання технології прокатки, транспортування й змотування штаби;
- незадовільне обслуговування електричного й механічного встаткування;
- порушення правил експлуатації устаткування;

Найбільш можливими відмовами є поломки електричного й механічного встаткування. Виникнення аварійних ситуацій можливо по незалежних від обслуговуючого персоналу стану й цеху зовнішнім причинам, таким, як відключення електроенергії, порушення водопостачання цеху й т.п.

Наслідками аварійних ситуацій є:

- зрив виробничого завдання;
- збільшення браку й відсортованої продукції;
- підвищення травмобезпеки;
- збільшення ймовірності виходу з ладу іншого устаткування.

Основними заходами, спрямованими на зниження ймовірності виникнення аварійних ситуацій, є:

- дотримання технології виробництва;
- своєчасний профілактичний огляд і ремонт устаткування;
- підвищення кваліфікації персоналу;
- дотримання правил техніки безпеки.

Також рекомендується проводити навчальні заходи щодо локалізації аварійних ситуацій.

Імовірність аварії розраховується за формулою:

$$Q = 1 - \prod_{n=1}^n (1 - Q_i), \quad (4.2)$$

де  $Q_i$  – імовірність відмови кожного елемента:

$$Q_i = \lambda_i \cdot \tau, \quad (4.3)$$

де  $\lambda_i$  – інтенсивність відмови  $i$ -го елемента;

$\tau$  – загальний час роботи даного елемента за аналізований період часу.

Розрахуємо імовірність аварії на ділянці рудного двору за півтора року роботи рудно-грейферного перевантажувача. Відомо що  $\lambda_i = 9 \cdot 10^{-5} \text{ рік}^{-1}$   $\tau = 1,5$  року

$$Q_i = 9 \cdot 10^{-5} \cdot 1,5 = 1,35 \cdot 10^{-4}$$

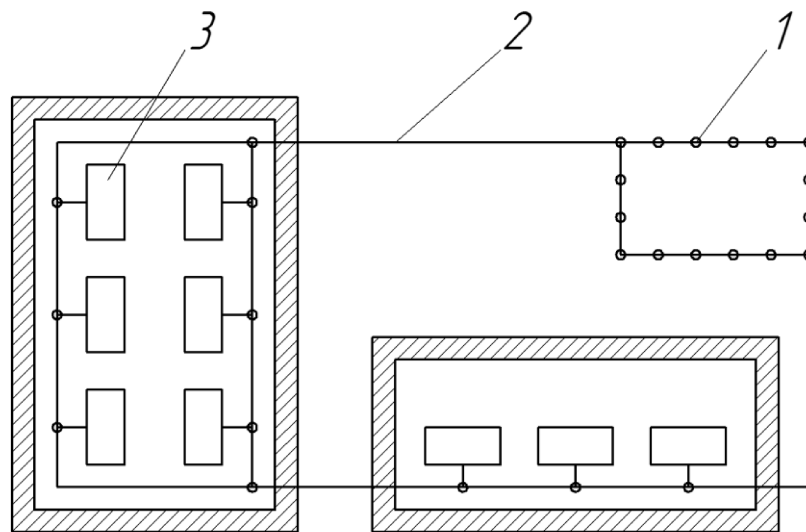
Тоді підставивши отримані значення в формулу (4.2) отримаємо

$$Q = 1 - \prod_{n=1}^n (1 - 1,35 \cdot 10^{-4}) = 1 - 0,999 = 0,001 = 0,1\%$$

Імовірність не висока, застосування захисних засобів не потрібне.

#### 4.5 Дослідження схеми захисного заземлення електрообладнання

Захисне заземлення – електричне з'єднання корпусу електроустановки, яке за правилом не знаходиться під напругою, але може виявитися під напругою в результаті порушення ізоляції та іншими причинами, із заземлюючим пристроєм, розміщеним у землі (рис.4.1).



1 - заземлювачі; 2 – магістраль; 3 – обладнання, що заземляється

Рисунок 4.1 – Виносне заземлення

Таке заземлення захищає обслуговуючий персонал від небезпеки ураження електричним потоком, а також при переході напруги на металеві частини обладнання при нормальних умовах, що не знаходяться під напругою.

Захисне заземлення відповідно до правил улаштування електроустановок (ПУЕ) [42] слід застосовувати:

- 1) у приміщеннях підвищеної небезпеки та особливо небезпечних приміщеннях по ураженню електричним струмом при напрузі 36 В і вище змінного струму і 110 В і вище постійного струму;
- 2) при напругах понад 500 В у всіх приміщеннях;
- 3) у всіх вибухонебезпечних приміщеннях незалежно від застосовуваної напруги

Заземлюючий пристрій виконується з 12 труб діаметром 2 дюйма, довжиною 2,5 м, з'єднаних сталеву стрічкою перерізом 40×4 мм (рис. 4.2). Заземлюючий пристрій закладено в ґрунт на глибину 50 см. Внутрішній контур заземлення з'єднаний із зовнішніми заземлювачами сталеву стрічкою перерізом 40×4 мм.

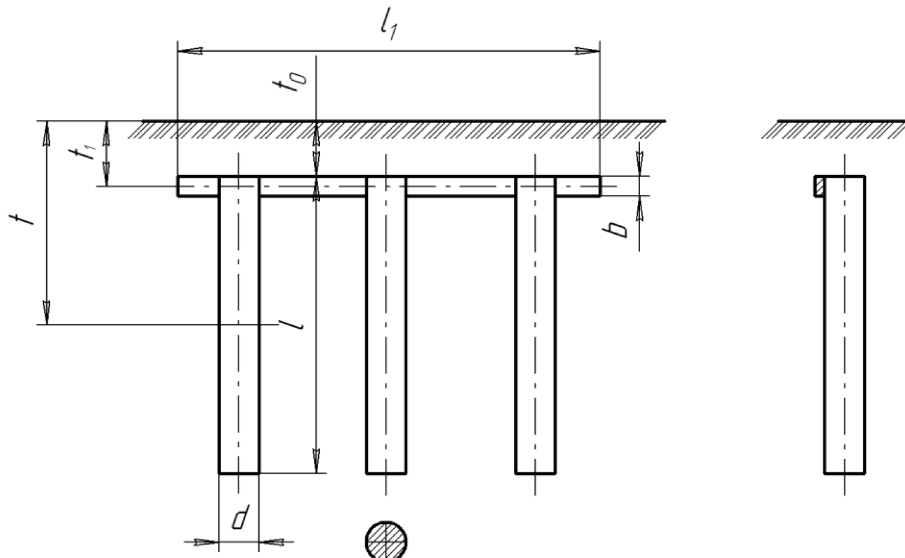


Рисунок 4.2 – Розрахункова схема заземлюючого пристрою

Опір перетіканню струму одиночного заземлювача у вигляді сталевій труби, вертикально забитої в землю:

$$R_m = \frac{\rho}{2\pi l} \left( \ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+1}{4t-1} \right), \quad (4.4)$$

де  $\rho$  – питомий електричний опір ґрунту, для каменистого ґрунту приймаємо  $\rho=2,0 \cdot 10^4$  Ом·см ;

$l$  – довжина заземлювача, см;

$d$  – зовнішній діаметр заземлювача, см;

$$t = t_0 + 0,5 \cdot l = 50 + 0,5 \cdot 250 = 175 \text{ см};$$

де  $t_0$  – глибина закладення заземлювача, см

Підставляючи значення параметрів, отримуємо:

$$R_m = \frac{2,0 \cdot 10^4}{2 \cdot 3,14 \cdot 250} \left( \ln \frac{2 \cdot 250}{5,08} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 175 + 250}{4 \cdot 175 - 250} \right) = 63,19 \text{ Ом.}$$

Як видно з розрахунку, опір перетікання струму одиночного заземлювача не відповідає вимогам ПУЕ, так як воно повинно бути не більше 4,0 Ом у всіх випадках, не більше 10 Ом при потужності генераторів і трансформаторів 100 кВт і менше в електроустановках напругою до 1000 В. При напрузі вище 1000 В опір заземлення має бути не більше 0,5 Ом при силі струму в ланцюзі вище 300 А і 1,0 Ом при силі струму менше 300 А.

Не має практичного сенсу збільшувати розміри одиночного заземлювача з метою забезпечення вимог безпеки ПУЕ, так як вони можуть отримати максимальні габарити.

Опір перетіканню струму системи, що складається з кількох одиночних заземлювачів, з'єднаних заземлюючої стрічкою

$$R_c = \frac{R_m}{m \cdot \eta_1 \cdot \eta_2}, \quad (4.5)$$

де  $m$  – число заземлювачів, = 12 шт;

$\eta_1$  – коефіцієнт, що враховує взаємоекранування заземлювачів, для замкнутого контуру приймаємо  $\eta_1 = 0,74$ ;

$\eta_2$  – коефіцієнт, що враховує взаємоекранування заземлювачів із стрічкою, що з'єднує труби, примем  $\eta_2 = 0,9$ .

Таким чином

$$R_c = \frac{63,19}{12 \cdot 0,74 \cdot 0,9} = 7,907 \text{ Ом.}$$

Опір частини стрічки, що з'єднує заземлювачі:

$$R_n = \frac{\rho}{2\pi l_1} \ln \frac{2l_1^2}{bt_1}, \quad (4.6)$$



де  $l_1$  – довжина стрічки, см;

$b$  – ширина стрічки, см;

$$t_1 = t_0 + 0,5 b = 50 + 0,5 \cdot 4 = 52 \text{ см.}$$

Довжина стрічки, що з'єднує заземлювачі:

$$l_1 = 1,05 \cdot a \cdot (m - 1), \quad (4.7)$$

де  $a$  – відстань між заземлювачами, см

$$a = 2 l = 2 \cdot 250 = 500 \text{ см.}$$

Тоді

$$l_1 = 1,05 \cdot 500 \cdot (12 - 1) = 5775 \text{ см.}$$

Таким чином

$$R_{\Pi} = \frac{2,0 \cdot 10^4}{2 \cdot 3,14 \cdot 5775} \ln \frac{2 \cdot 5775^2}{4 \cdot 52} = 6,998 \text{ Ом.}$$

Загальний опір системи заземлення

$$R_{\text{об}} = \frac{R_c \cdot R_{\Pi}}{R_c + R_{\Pi}} = \frac{7,907 \cdot 6,988}{7,907 + 6,988} = 3,71 \text{ Ом.}$$

З отриманого видно, що протидія перетіканню струму всього заземлюючого пристрою менша допустимого по ПУЕ. Отже, розміри заземлювачів обрані вірно.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Ознайомлення з технологією й устаткуванням доменного цеху показало, що одним з «вузьких місць» цеху є недостатньо надійна робота бункерних пристроїв відділення приймальних бункерів.
2. На підставі наведеного огляду й аналізу технічної й патентної літератури встановлено, що для проміжного зберігання перед завантаженням в доменну піч матеріали зберігаються в бункерах, які мають ті ж самі недоліки, що й устаткування ПАТ «Запоріжсталь».
3. В результаті модернізації системи обвалення склепінь сипких матеріалів будуть досягнуті наступні цілі – збільшення продуктивності, терміну служби, та зменшення незапланованих простоїв.
4. В ході теоретичних досліджень встановлено, що оптимальним обладнанням для обвалення утворених склепінь сипкими матеріалами в бункері є пристрої засновані на ударній дії.;
5. На підставі проведених досліджень можна стверджувати, що найменш схильними до утворення склепінь сипких матеріалів є конічні бункери, а найбільш схильні – з плоскими стінками. Гарантувати відсутність утворення склепіння матеріалу можливо тільки при такій конструкції бункера, при якій нижня частина розширяється, з кутом нахилу стінок, що перевищує кут тертя матеріалу об стінки;
6. Розроблена математична модель роботи пристрою ударної дії вказує на те, що для більш ефективної роботи пристрою варто вводити декілька проміжних тіл між площиною прикладення удару і завислим матеріалом .
7. Результати роботи можуть бути використані не тільки в доменному цеху ПАТ «Запоріжсталь», але й на інших підприємствах чорної й кольорової металургії.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Пахаренко В., Марчук М. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів (металургія, ливарне виробництво) : навч. посіб. Рівне, 2009. 182 с.
2. Доменна піч: що це таке та принцип роботи - Метінвест-СМЦ. Metinvest. URL: <https://metinvest-smc.com/ua/articles/domennaya-pech-hto-eto-takoe-i-kak-ona-rabotaet/> (дата звернення: 04.06.2023).
3. Харлашин П.С., Волошин В.С., Єршов Г.С. та ін.. Металургія. ПДТУ, 2004. – 723 с.
4. Системи технологій промисловості. Частина 1: конспект лекцій / Л. В. Камкіна та ін. Дніпропетровськ : НМетАУ, 2014. 53 с.
5. Головна -. URL: <https://www.kstu.kz/wp-content/uploads/2018/05/tsifrovaya-mitallurgiya/el-uch-po-ampr/g128.htm> (дата звернення: 05.06.2023).
6. Теорія металургійних процесів / В. Б. Охотський та ін. К. : ІЗМН, 1997. 512 с.
7. Веселовський В. Б., Дреус А. Ю., Сяєв А. В. Математичне моделювання та методи розрахунку теплотехнологічних процесів : навч. посіб. Дніпропетровськ : Вид-во Дніпропетр. ун-ту, 2004. 248 с.
8. Усачов В. П. Технологічні лінії та комплекси металургійних цехів. Частина 2. Технологічні основи компоновки ліній металургійних виробництв. К. : ІСДО, 1994. 416 с.
9. Крячко Г. Ю. Споруди та обладнання доменних цехів : конспект лекцій. Кам'янське : ДДТУ, 2019. 87 с.
10. Пазюк М. Ю., Мінняйло Н. О., Завальна Ю. М. Моделювання роботи бункерів при їх завантаженні розподільним пристроєм у циклічному режимі. Металургія. 2017. Т. 38, № 2. С. 100–106.
11. Бункер для сипучих матеріалів : пат. 50464 Україна : МПК (2009) B65G 3/00. № u200912978 ; заявл. 14.12.2009 ; опубл. 10.06.2010, Бюл. № 11. 3 с.

12. Дозатор сипучих матеріалів : пат. 87702 Україна : МПК В65В 1/12 (2006.01). № u201311977 ; заявл. 11.10.2013 ; опубл. 10.02.2014, Бюл. № 3. 3 с.
13. Пристрій для обвалення склепіння з матеріалу в бункерах: пат. 15289 Україна : МПК В65G 65/30. № u200600228 ; заявл. 10.01.2006 ; опубл. 15.06.2006, Бюл. №6. 2 с.
14. Система усунення зависань сипких матеріалів у приймальних бункерах / І. С. Компанейщиков та ін. *Металургія*. 2017. Т. 38, № 2. С. 111–115.
15. Пристрій обвалення склепіння з матеріалу в бункері: пат. 111072 Україна : МПК В65G 65/30. № u201605585 ; заявл. 23.06.2016 ; опубл. 25.10.2016, Бюл. №20. 2 с.
16. Коваленко І. В., Малиновський В. В. Основні процеси, машини та апарати хімічних виробництв : підручник. К. : Інрес. Воля, 2005. 264 с.
17. Жерновий Ю. В. Імітаційне моделювання систем масового обслуговування: Практикум. Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2007. 307 с.
18. Бахрушин В.С. Математичні основи моделювання систем: навчальний посібник для студентів. Запоріжжя: Класичний приватний університет, 2009. 224 с.
19. Yermakov, S. V., Hutsol, T. D., Garasymchuk, I. D., & Vusatyi, M. V. (2022). Patterns of the movement of rod-form materials in the process of their pumping out of hopper. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The Series: Mechanization and Automation of Production Processes*, (2(48)), 21-27. <https://doi.org/10.32845/msnau.2022.2.4>
20. Куцова В. З., Ковзель М. А., Носко М. А. Леговані сталі та сплави з особливими властивостями. Дніпропетровськ : НМетАУ, 2008. 348 с.
21. Серенсен С. В. Міцність металу і розрахунок деталей машин під змінними навантаженнями. К., 1937. 101 с.
22. Писаренко Г. С. Опір матеріалів : Підруч. для ст. машинобуд. спец. вищ. навч. закл. К., 1993. 655 с.

23. Павловський М. А. Теоретична механіка : Статика абсолютно твердого тіла. Кінематика. Динаміка, Основи аналіт. механіки. Підруч. для студ. вищ. навч. закл. Київ : Техніка, 2002. 512 с.
24. Шваб'юк В. І. Опір матеріалів : навч. посіб. Київ : Знання, 2009. 380 с.
25. Колосов Д.Л., Кіба В.Я. Опір матеріалів у прикладах та завданнях: навч. посібник. Дніпро: Національний технічний університет «Дніпровська Політехніка», 2021. 106 с.
26. Корольов О.О. Матеріалознавство. Частина 1. Чернігів: Чернігівський національний технологічний університет (ЧНТУ), 2017. 44 с.
27. Опір матеріалів. Геометричні характеристики складених перерізів / О. С. Грінченко та ін. Харків : ХНТУСГ ім. Петра Василенка, 2019. 36 с.
28. Металопрокат - ДСТУ та ТУ. Торгівельний дім Славсанти. URL: <https://td-slavsant.com/dstu/> (дата звернення: 02.07.2023).
29. Швайко М. Ю. Опір матеріалів. Дніпропетровськ, 1992. 220 с.
30. Монтаж металургійного обладнання : навч. посіб. / А. Я. Жук та ін. Київ : Кондор, 2017. 374 с.
31. Разгонов С. А., Халипова Н. В., Кузьменко А. І. Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт з дисципліни “Спеціалізовані транспортні і навантажувально розвантажувальні засоби”. Дніпропетровськ : Ун-т мит. справи та фінансів, 2015. 44 с.
32. Павленко І.В. Теорія пластин і оболонок. Суми: Видавництво СумДУ, 2010. 67 с.
33. Закалов, О.В., Закалов І. О. Основи тертя і зношування в машинах: навч. посіб. Тернопіль: Видавництво ТНТУ ім. І.Пуллюя, 2011. 322 с.
34. Трач В. М., Подворний А. В. Опір матеріалів (спеціальний курс), теорія пружності та пластичності : підручник. Київ : Каравела, 2016. 434 с.
35. Охорона праці на гірничо-металургійному підприємстві: навч. посібник. Ч.І: Металургійний комплекс. / В.О.Шеремет та ін. Дніпропетровськ: Січ, 2002. 375 с.

- 36.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](http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id_doc=28566).
- 37.ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень
- 38.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>.
- 39.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>.
- 40.Геврик Е. О. Охорона праці. Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. / Е. О. Геврик. – К: Ельга, Ніка–центр, 2003. – 280 с..
- 41.Ткачук К. Н. Охорона праці та промислова безпека. Навч.посіб. / К. Н. Ткачук. та ін. – К: Основа, 2009. – 360 с.
- 42.Правила улаштування електроустановок. URL: <https://mev.gov.ua/storinka/pravyyla-ulashtuvannya-elektrostanovok> (дата звернення: 03.07.2023).
- 43.Румянцев В. Р. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці та техногенна безпека» у дипломних роботах (проектах) для студентів ЗДІА спеціальностей МЧМ, МБ та інші / В. Р. Румянцев, І. О. Ткаліч. – Запоріжжя: ЗДІА, 2012. – 16 с.

## СПИСОК ГРАФІЧНОГО МАТЕРІАЛУ

№ п/п	Найменування	Кільк. листів	Форма т
1	Доменна піч	1	A0
2	Бункерна естакада	1	A1
3	Обрушувач завислого матеріалу (ударної дії)	1	A1
4	Деталіровка (корпус, корпус індуктора, кришка, пружина)	1	A1
5	Аналіз причин зависання сипкого матеріалу	1	A1
6	Аналіз впливу геометрії бункера на утворення склепінь матеріалу	1	A1
7	Заземлення обладнання ділянки	1	A1

## ДОДАТКИ



