Міністерство освіти та 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 шляхів підвищення ефективності роботи установки безпилової видачі коксу

Виконав: магістрант групи 8.1334

Байнетов Р.О.
(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 Власов А.О.
(прізвище та ініціали) (підпис)

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

Запоріжжя – 2025 року

Запорізький національний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

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

Кафедра металургійного обладнання

Рівень вищої освіти магістр
(другий (магістерський) рівень)

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва)

Спеціалізація
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма 133.00.12 Металургійне обладнання
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедрою А.О. Власов

_____

“____”_____20___ року

Завдання
до випускної кваліфікаційної роботи магістра

Байнетова Романа Олександровича
(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема магістерської роботи: Аналіз шляхів підвищення ефективності роботи установки безпилової видачі коксу
керівник магістерської роботи к.т.н., доцент Власов А.О.
затверджені наказом вищого навчального закладу від “27“ лютого 2025 року № 319-с.
2. Строк подання студентом магістерської роботи 10 грудня 2023 року.
3. Вихідні дані магістерської роботи техніко-економічні показники роботи дільниці коксових батарей
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Огляд і аналіз науково-технічних рішень підвищення ремонтопридатності механізмів приводу коксовиштовхувача 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. Коксовиштовхувач – 1А1; 2. Дверезнімальний пристрій – 1А1; 3. Дверезнімальний пристрій (модернізація) – 1А1; 4. Гідроциліндр переміщення дверезнімальної штанги – 1А1 5. Обґрунтування раціональної конструкції гідравлічного приводу дверезнімальної штанги – 1А1; 6. Оптимізація габаритних розмірів гідроциліндра – 1А1; 7. Кабіна керування коксовиштовхувачем – 1А1.

6. Консультанти розділів магістерської роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Власов А.О. к.т.н, доцент		
2	Власов А.О. к.т.н, доцент		
3	Власов А.О. к.т.н, доцент		
4	Власов А.О. к.т.н, доцент		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів магістерської роботи	Примітки
1	Збір матеріалу на проектування	01.05.2025 – 27.05.2025	
2	Групування та аналіз зібраного матеріалу. Уточнення завдань проектування	01.09.2025 – 15.09.2025	
3	Виконання теоретичної частини проекту	16.09.2025 – 16.10.2025	
4	Виконання графічної частини проекту	17.10.2025 – 17.11.2025	
5	Написання та оформлення пояснювальної записки	18.11.2025 – 30.11.2025	
6	Перевірка проекту консультантами	01.12.2025 – 03.12.2025	
7	Попередній захист проекту	04.12.2023	
8	Переплітання пояснювальної записки	Згідно з графіком	
9	Захист проекту у ДЕК	Згідно з графіком	

Студент _____ Р.О. Байнетов
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник магістерської роботи _____ А.О. Власов
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Байнетов Р.О. Аналіз шляхів підвищення ефективності роботи установки безпилової видачі коксу.

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

Обгрунтування шляхів підвищення ефективності роботи установки безпилової видачі коксу є актуальною темою тому, що випуск коксу для металургічних потреб тягне за собою екологічне забруднення. Однєю з стадій виготовлення коксу є видача з коксової печі. При видаванні коксу відбувається викиди небезпечних речовин. Для запобігання викидам небезпечних речовин при видачі коксу використовуються різні типи установок безпилової видачі коксу.

Ключові слова: ПРИВОД, КОКС, КОКСОВИШТОВХУВАЧ, ДВЕРЕЗНІМАЛЬНИЙ ПРИСТРІЙ, БЕЗПИЛОВА ВИДАЧА, ФРАКЦІЇ, УЛОВЛЕННЯ, КОНСТРУКЦІЯ, ЕФЕКТИВНІСТЬ.

ABSTRACT

Baynetov R.O. Analysis of ways to increase the efficiency of the dust-free coke dispensing unit.

Qualification final work for obtaining a master's degree in specialty 133 - Industrial mechanical engineering, scientific supervisor A.O. Vlasov. Zaporizhia National University, Engineering Educational and Scientific Institute named after Yu.M. Potebny, Department of Metallurgical Equipment, 2025.

Substantiation of ways to increase the efficiency of the dust-free coke dispensing unit is a relevant topic because the production of coke for metallurgical needs entails environmental pollution. One of the stages of coke production is the dispensing from the coke oven. When coke is dispensed, hazardous substances are emitted. To prevent the release of hazardous substances during coke discharge, various types of dust-free coke discharge units are used.

Keywords: DRIVE, COKE, COKE COLLECTOR, DOOR REMOVAL DEVICE, DUST-FREE DISPENSING, FRACTIONS, COLLECTION, DESIGN, EFFICIENCY.

Зміст

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ 7
Вступ 8
1 ОГЛЯД І АНАЛІЗ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ПІДВИЩЕННЯ РЕМОНТОПРИДАТНОСТІ МЕХАНІЗМІВ ПРИВОДУ КОКСОВИШТОВХУВАЧА ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ОБРАНОГО НАПРЯМКУ РОБОТИ 10
1.1 Вантажопотоки коксохімічного виробництва 10
1.2 Технологія коксування 12
1.3 Характеристика механічного устаткування цеху 13
1.3.1 Устаткування для планування й видачі коксу з печі 14
1.3.2 Устаткування для приймання гарячого коксу з печі 16
1.3.3 Устаткування для завантаження шихти в піч 17
1.3.4 Устаткування для приймання й транспортування гарячого коксу з печі 19
1.4 Аналіз існуючих методів і конструкцій установок безпилової видачі коксу 20
1.5 Схема локальної безпилової видачі коксу 26
1.6 Постановка задачі дослідження 31
2. ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ПЛАНІРНОГО ПРИСТРОЮ КОКСОВИШТОВХУВАЧА 33
2.1 Розрахунок приводу планірного пристрою коксовиштовхувача 33
2.2 Розрахунок штанги на міцність 37
2.3 Аналіз дослідження моделювання параметрів руху планірної штанги по кам’яновугільній шихті 44
3 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РОБОТИ УСТАНОВОК БЕЗПИЛОВОЇ ВИДАЧІ КОКСУ 51
3.1 Моделювання процесу уловлення пилу в установках безпилової видачі коксу 51
3.2 Обчислення параметрів моделювання 53
3.3 Аналіз надійності роботи УБВК. Метод «дерево відмов» 56

3.4 ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ УСТАНОВКИ БЕЗПИЛОВОЇ ВИДАЧІ КОКСУ 64
3.4.1. Рекомендації щодо поліпшення роботи системи беспилової видачі коксу 64
3.4.2 Шляхи покращення ефективності роботи установки безпилової видачі коксу 67
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА В ГАЛУЗІ 72
4.1 Оцінювання стану безпеки технологічного процесу, рівня механізації й автоматизації 72
4.2 Аналіз потенційних шкідливих факторів виробничого середовища 73
4.3 Технічні рішення по виробничій санітарії 76
4.3.1 Опалення й вентиляція 76
4.3.2 Виробничі випромінювання 77
4.3.3 Освітлення 77
4.4 Техногенна безпека 79
4.4.1 Заходи безпеки праці 79
4.4.2 Пожежна безпека 81
4.5 Рішення з покращення умов роботи оператора коксовиштовхувача та розрахунок звукоізоляції пульта керування 83
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ 87
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ 89
СПИСОК ГРАФІЧНОГО МАТЕРІАЛУ 94
ДОДАТКИ 95

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

ПрАТ – приватне акціонерне товариство;

ВПЦ – вуглепідготовчий цех;

БХО – біохімочищення;

ЦЗЛ – центральна заводська лабораторія;

РМЦ – ремонтно-механічний цех;

ЦБТ – цех безрейкового транспорту;

ЗЦ – залізничний цех;

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

Коксохімічна промисловість є однієї з найважливіших галузей металургії. Вона забезпечує коксом чорну й кольорову металургію, ряд інших видів промисловості, є джерелом різноманітної хімічної сировини, у тому числі сировини для вуглеграфітових матеріалів і технічного вуглецю.[1]

Коксове виробництво є важливою складовою частиною горнометалургійного комплексу, продукція якого відіграє вирішальну роль у розвитку всіх галузей промисловості й сільського господарства України.

Одержуваний при високотемпературній переробці вугілля твердий залишок – кокс є найважливішим компонентом шихти, що використовується в доменних печах для виробництва чавуну. При цьому кокс виконує роль розрихлювача шихти, технологічного палива та відновлювача заліза. Незважаючи на певні успіхи в освоєнні технології прямого відновлення заліза, більша частина чавуну й сталі в недалекому майбутньому буде проводитися, за прогнозами фахівців, на основі доменного процесу, що вимагає до 450-470 кг коксу на кожну тонну чавуну. [2]

Коксування вугілля є твердофазним високотемпературним процесом, здійснюваним у печах періодичної дії. Ці особливості коксового виробництва вимагають розробки спеціального устаткування, затруднення механізації й автоматизації технологічних операцій, обумовлено виділенням великої кількості шкідливих газів та пилу в атмосферу. Тому актуальним завданням вчених і проектувальників є удосконалювання конструкцій коксових печей, а відповідно й обслуговуючого їхнього устаткування.

Розв'язок цих завдань посильно тільки висококваліфікованим спеціалістам, що володіють теоретичними основами процесів, методами їх дослідження й розрахунків, навичками проектування апаратів і технологічних установок. [2]

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є дослідження роботи коксовиштовхувача коксової батареї та вдосконалення його конструкції.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- виконати аналіз раніше проведених досліджень в питаннях вдосконалення конструкції вузлів та деталей коксовиштовхувачів з метою підвищення надійності його роботи;
- визначити зусилля опору переміщення штанги дверезнімального пристрою;
- визначити зусилля діючі на основні елементи конструкції машини;

Предмет дослідження – конструктивні параметри планірного пристрою коксовиштовхувача.

Об'єкт дослідження – привод планірного пристрою.

Структура та обсяг роботи. Магістерська робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг роботи включає 114 сторінки, у тому числі 95 сторінок основного тексту, 31 рисунок, 11 таблиць, 44 найменувань використаних джерел на 5 сторінках, 5 додатків.

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

1 ОГЛЯД І АНАЛІЗ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ПІДВИЩЕННЯ РЕМОНТОПРИДАТНОСТІ МЕХАНІЗМІВ ПРИВОДУ КОКСОВИШТОВХУВАЧА ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ОБРАНОГО НАПРЯМКУ РОБОТИ

1.1 Вантажопотоки коксохімічного виробництва

ПрАТ « Запоріжкокс» один з небагатьох коксохімічних заводів з повною переробкою вугілля. Основною продукцією є кокс і пекококс, на данний час виготовляють п'ять фракцій коксу. На завод вугілля приходять із Донецька, Росії, Польщі, і т.д.

Вугілля на завод надходить у вагонах, після розвантаження вагонів за допомогою роторного вагоноперекидача вугілля по транспортерах подається на склад вуглепідготовчого цеху, де різні марки вугіль змішують і одержують шихту, яка по транстортерам попадає в бункер на коксовій ботареї, з печі гарячий кокс у гасильному вагоні попадає у вежу гасіння. Через рампу по транспортерах доставляється на сортування, де сортується за допомогою грохотов і гилів по фракціях. Частина коксу відправляється на „Запоріжсталь”, „ЗФЗ”, „Укрграфіт”, а частина в пекококсовий цех де одержують рідкий пек і пекококс.

У результаті коксування з газу, що утворюється, у цеху вловлюють бензол, бентол, дизель, сольвент, а при виробництві бензолу побічна продукція сульфат амонію (добриво) і смола для дорожнього покриття. У цеху сіркоочищення в результаті очищення коксового газу від сірки побічною продукцією є колоїдна сірка.

Почато будівництво нового цеху який повинен виготовляти вогнетривку цеглу. Печі з метою економії й охорони навколишнього середовища будуть обігріватися коксовим газом, а частина сировини для виробництва цегли утворюється в результаті мийки вугілля.

Була запущена котельня із двома великими й одним малим казанами, яка також працює на коксовому газі. Із запуском котельні завод повністю перейшов

на власну пару, а також була побудована бойлерна, де воду підігрівають за допомогою пари.

Для забезпечення виготовлення коксу, газу й хімічних продуктів коксохімічний завод має наступні основні виробничі цехи: вуглепідготовчий, коксовий, цех уловлювання, смолоперегінний цех,цех сіркоочищення, ЖДЦ, ремонтний цех, енергоцех, цех пароводопостачання, цех безрейкового транспорту.

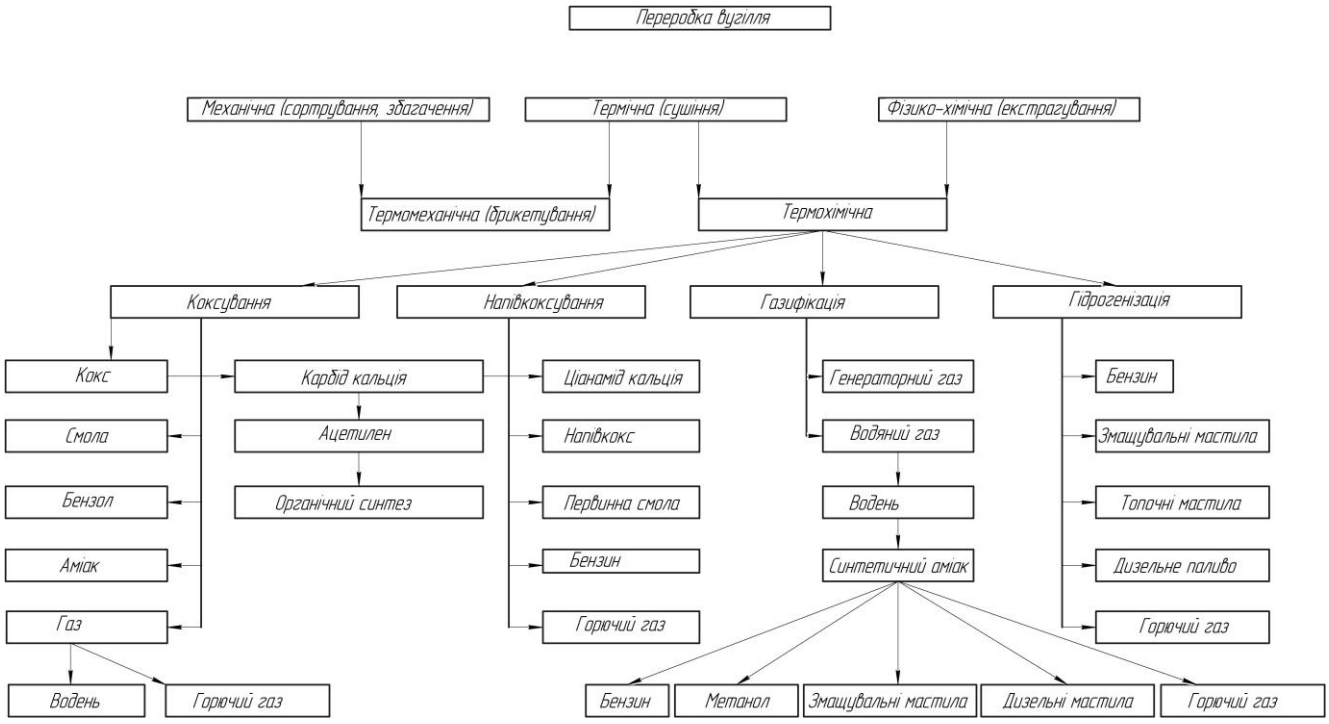


Рисунок 1.1 – Схема переробки вугілля на коксохімічному заводі

На заводі налічується 12 цехів:

Коксовий – випускає основну продукцію – кокс.

Пекококсовий – з коксу роблять пекококс, рідкий пек.

ВПЦ – підготовляє шихту до завантаження в печі.

Уловлювання – основне завдання цього цеху робити відбір коксового газу, а також його скраплюють і одержують бензин, дизель, бензол, бентол, толуол, ксилол, сальвент, компонент моторного палива, смолу для доріг, сульфат амонію. Крім того, з газового конденсату, який закуповують у Росії, одержують низькооктановий бензин.

БХО – основне завдання – очищення технічної води.

Сіркоочищення – роблять колоїдну сірку з коксового газу.

ЦЗЛ – здійснює контроль над усією продукцією, що випускається заводом, а також за навколишнім середовищем.

РМЦ – виконання капітальних ремонтів.

Енергоцех – ремонт і підтримка в працездатному стані електроустаткування й електроустановок.

ЦБТ – перевезення вантажними машинами, автокрани, автонавантажувачі, а також доставка автобусами робітників на роботу й з роботи.

ЗЦ – переміщення ж/д вагонів, цестерн, і т.д. по заводу та за його межами.

ВТК – стежить за якістю продукції.

Стратегія Запоріжкоксу сьогодні – це вдосконалення і розвиток. Серед перспективних напрямків діяльності Запоріжкоксу: підвищення ефективності виробництва, будівництво нових потужностей з випуску коксу, модернізація хімічних цехів, енергетична ефективність та екологічність виробництва. [3]

1.2 Технологія коксування

Доменний і ливарний кокси одержують коксуванням вугільної шихти (суміші в певній пропорції вугіль різних технологічних груп) у горизонтальних камерних печах. Технологія виробництва доменного й ливарного коксів складається з наступних операцій.

Підготовка вугільної шихти по певному речовинному й гранулометричному складу полягає в прийманні, складуванні, дробленні (до змісту в шихті 75–85 % класу 0–3 мм), дозуванні й змішуванні вугіль. Вугільна шихта повинна забезпечувати:

– одержання коксу з необхідними фізико–хімічними властивостями (міцністю, зольністю, виходом летучих, сірчаністю, реакційною здатністю й ін.);

– достатній, але не небезпечний для кладки коксових печей тиск розпирань;

– певний вихід хімічних продуктів коксування й газу;

– невисоку вологість.

При складанні вугільних шихт необхідно прагнути до використання мінімальної кількості компонентів.

Вугільна шихта з відділення вуглепідготовки подається у вугільну вежу, призначену для забезпечення безперебійної роботи коксових печей, де здійснюється періодичний процес коксування й одержання коксу.

З камер коксування гарячий кокс (з температурою 723–823 °С) направляється на мокре – у тушильних вежах, або сухе – установки сухого гасіння коксу (УСТК) – гасіння.

Після охолодження кокс направляють на коксосортирування, у якій валовий кокс розділяють на наступні класи: 0–10 мм (коксовий дріб'язок), 10–25 мм (коксовий горішок); класи > 25 мм називають металургійним коксом. На багатьох заводах металургійний кокс розсіюють на більш вузькі класи: 25–40, 40–60, > 40 мм і ін.

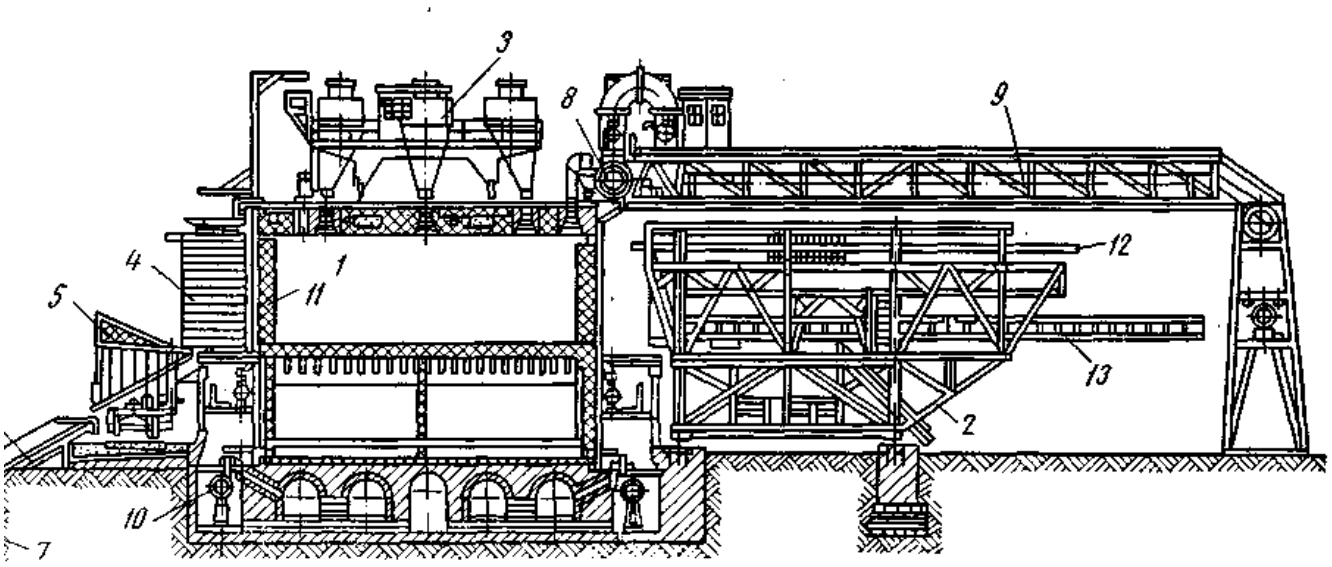
Формування фізико–механічних властивостей і розмірів шматків коксу відбувається без доступу повітря в камері коксових печей під впливом тепла, переданого вугільному завантаженню від розпечених стін камер коксування.

1.3 Характеристика механічного устаткування цеху

Все устаткування цеху (рис.1.2) можна розділити на такі групи:

- устаткування для завантаження шихти в піч.
- устаткування для планування й видачі коксу з печі.
- устаткування для приймання гарячого коксу з печі.
- коксосортувальне устаткування.
- транспортуюче устаткування.

Розглянемо основне обладнання



1 – камера коксування; 2 – коксовиштовхувач; 3 – завантажувальний загін; 4 – дверез'ємна машина; 5 – коксогасильний вагон; 6 – коксова рампа;7 – транспортер на коксосортування; 8 – газозбірник; 9 – газопровід сирого коксового газу; 10 – газопровід доменного газу; 11 – двері; 2 – планір; 13 – штанга

Рисунок 1.2 – Коксова батарея (поперечний розріз)

1.3.1 Устаткування для планування й видачі коксу з печі

До обладнання, що використовується для планування та видачі коксу з печі відноситься коксовиштовхувач. По кількості й складності виконуваних операцій і встановлених механізмів коксовиштовхувач (рис.1.3) є найважливішою й найбільшою машиною коксового цеху.

Коротка технічна характеристика коксовиштовхувача:

- маса машини, кг. 271960
- швидкість пересування, м/с 1,77
- кут повороту дверей, град. 180
- швидкість виштовхування коксового пирога, м/с 0,52
- швидкість планування, м/с 1,34
- габаритні розміри; мм:

довжина 14510

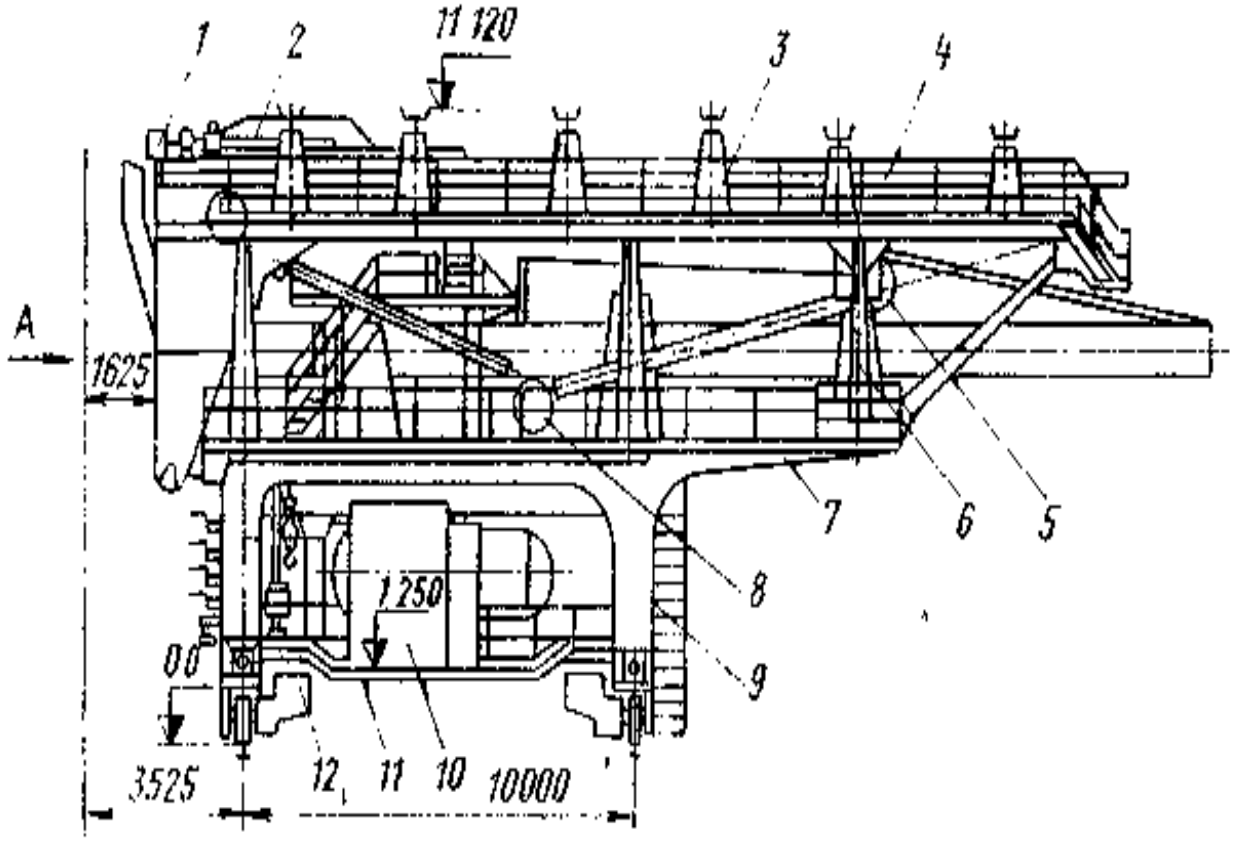
ширина	25530
висота	13420

Коксовиштовхувач виконує наступні операції:

1. Відмикання й запирання дверей коксової печі.
2. Підйом на 10-15 мм дверей з порога й зворотне опускання.
3. Відвід знятої двері від печі й підвід до печі при закриванні.
4. Чищення привалочної поверхні рами й бічних поверхонь броні від смоляних відкладань і графіту.
5. Чищення ущільнюючої рамки, цеглаутримувачів і футеровки двері від смоляних відкладань і графіту.
6. Виштовхування з печі коксового пирога.
7. Обезграфітування склепінь камери коксування.
8. Відкривання й закривання планірних дверцят.
9. Планування (розрівнювання) вугільної шихти, що завантажується в піч.
10. Очищення рами планірного лючка й дверцяти від смоляних відкладань.
11. Транспортування до скіпового підйомника шихти, що вигрібається при плануванні.
12. Подача дверей до ремонтних станцій і назад до печей.
13. Збирання з обслуговуючого майданчика коксу, що прокидається при відкриванні дверей (кінців) і шихти при плануванні.

Більшість перерахованих операцій механізовані й виконуються за допомогою механізмів, установлених на коксовиштовхувачі.

Відповідно до нормативів обслуговування кожної типової батареї з 61–77 печами проводиться окремим коксовиштовхувачем, а на блок із чотирьох батарей дається одна резервна машина.



1 – механізм відкривання – закривання планірних дверцят; 2 – механізм зіштовхування шихти; 3 – стійка планірної штанги; 4 – планірна штанга; 5 – обезграфічувальний пристрій; 6 – опорна металоконструкція верхнього майданчика; 7 – верхні основні поздовжні балки; 8 – привод планірного пристрою; 9 – опорна рама порталу; 10 – кабіна пускорегулювальної апаратури; 12 – механізм пересування коксовиштовхувача

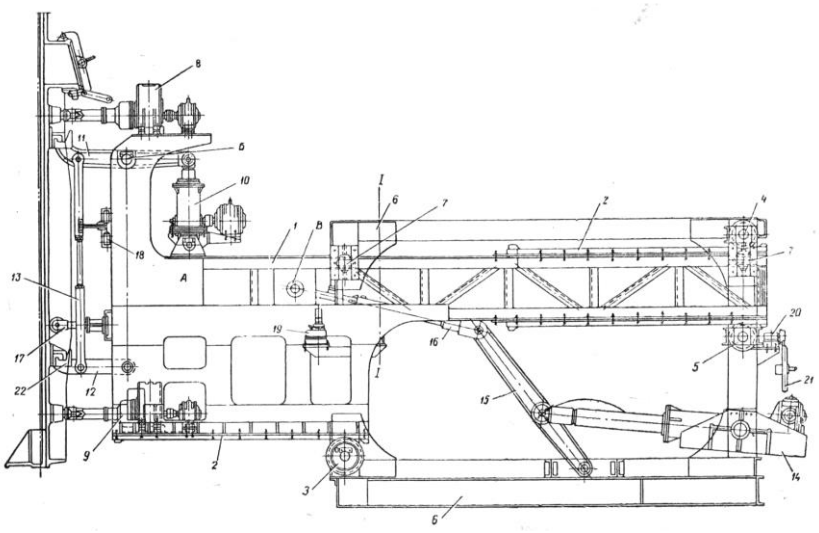
Рисунок 1.3 – Коксовиштовхувач

1.3.2 Устаткування для приймання гарячого коксу з печі

Дверезнімна машина (рис.1.4) складається з опорної конструкції із кабіною машиніста й механізмами для виконання наступних операцій, пов'язаних з видачею коксу.

Кожна машина має коксоспрямовуючий кошик для напрямку в коксогасильний вагон видаваного з печі коксу.

Дверезнімні машини оснащені механізмами очищення дверей, рам і броні від відкладань смоли й графіту.



1 – дверезнімна штанга; 2 – рейки;3,4,5 – опорні ролики; 6 – опорна рама дверезнімної штанги; 7 – бокові (направляючі) ролики; 8 – верхній механізм для відкручування та закручування ригельних гвинтів; 9 – верхній механізм для відкручування та закручування ригельних гвинтів; 10 – механізм для зривання дверей; 11 – верхній захват; 12 – нижній захват; 13 – тяга; 14 – механізм переміщення дверезнімного пристрою; 15 – важілі; 16 – пружинна тяга; 17 – упорний пружинний буфер; 18,19,20 – кінцеві вимикачі; 21 – ручний привід мехізму переміщення дверезнімної штанги; 22 – пристрій для відведення ригелів від гачків армуючої рами.

Рисунок 1.4 – Дверезнімна машина

Коротка технічна характеристика дверезнімної машини:

–Маса машини, т	136,4
–Швидкість пересування, м/с	1,98
–Кут повороту дверей, град.	90

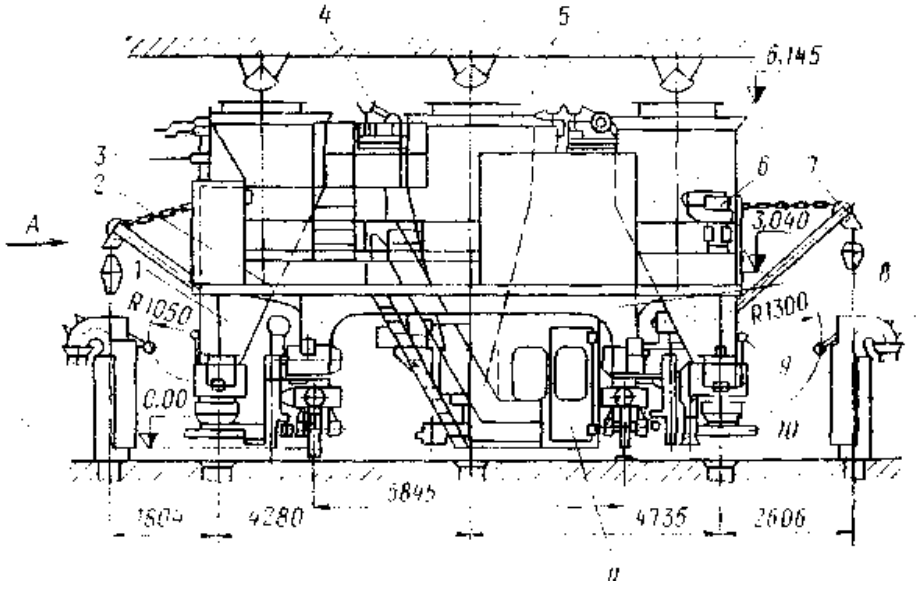
1.3.3 Устаткування для завантаження шихти в піч

Вуглезавантажувальний вагон (рис.1.5) – це машина, що виконує весь комплекс операцій по набору шихти з вугільної вежі й майже всі операції, пов'язані з доставкою й завантаженням шихти в камеру печі. Окремі операції, такі як набір шихти в бункери вагона, робота електровібраторів, завантаження шихти в піч по заданій програмі, знімання й установка кришок

завантажувальних люків – автоматизовані.

Коротка технічна характеристика:

– маса машини без шихти, т	113,8
– швидкість пересування, м/с	1,7
– потужність електродвигуна, кВт	11
– корисна ємність бункерів, м^3	61
– габаритні розміри; мм:	
довжина	11000
ширина	11805
висота	7830



1 – бункер; 2 – поперечна балка; 3 – струмоприймачі; 4 – механізм відкривання й закривання затворів вугільної вежі; 5 – кабіна для електроустаткування; 6 – телескоп; 7 – чищення колодязів стояків; 8 – головна балка; 9 – механізм обслуговування стояків; 10 – люкоз'ємний механізм; 11 – кабіна; 12 – механізм пересування

Рисунок 1.5 – Вуглезавантажувальний вагон

Кабіна машиніста розташована в нижній частині вагона для того, щоб краще керувати всіма механізмами по завантаженню шихтою коксових печей.

1.3.4 Устаткування для приймання й транспортування гарячого коксу з печі

Гасильний вагон (рис.1.6) необхідний для приймання розпеченого коксу з печей, транспортування його під вежу для гасіння й вивантаження після гасіння на рампу. Вагон пересувається за допомогою електровоза вздовж коксових батарей по рейкових шляхах нормальної залізничної колії.

Коротка технічна характеристика гасильного вагону:

– маса машини без шихти, т. 91
– швидкість пересування, м/с 15
– вантажопідйомність, т. 27
– кут нахилу, град. 28

Дно кузова вагона встановлено з нахилом 28°, що забезпечує вивантаження коксу самопливом. Для розвантаження коксу відкривають затвори, підвішені на шарнірах до передньої стінки, що й приводяться в дію самостійно за допомогою пневматичного приводу. Затворів два, по одному для кожного відсіку, на які розділений кузов по довжині.

У кабіні машиніста електровоза розташований спеціальний пристрій у вигляді світлової сигналізації, котрий фіксує положення затворів.

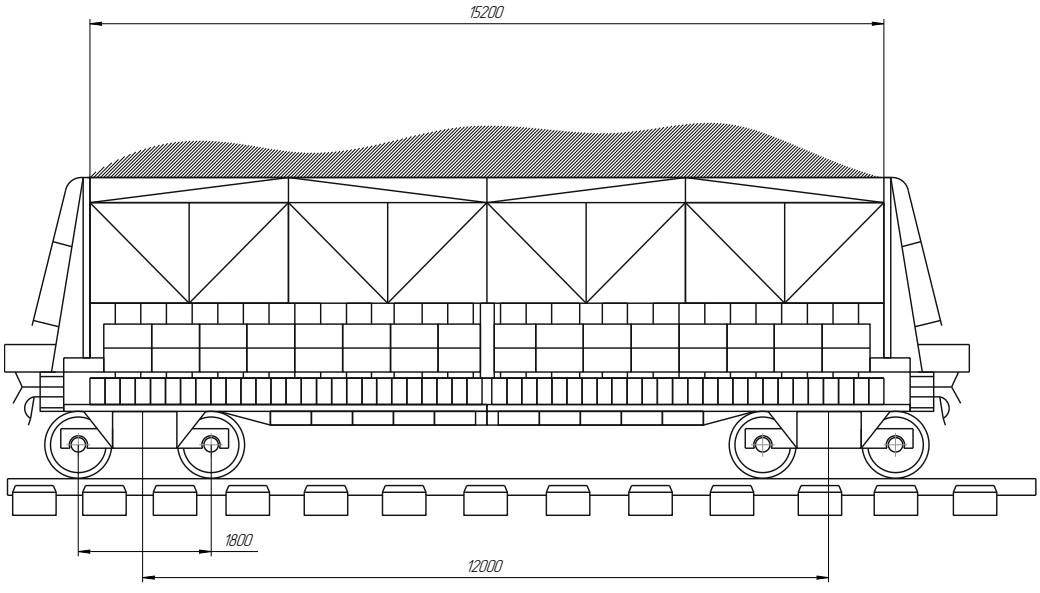


Рисунок 1.6 – Гасильний вагон

1.4 Аналіз існуючих методів і конструкцій установок безпилової видачі коксу

В даний час застосовуються три типи пристроїв для уловлювання викидів при вивантаженні коксу з печей:

- уловлювання викидів за допомогою рухомого зонту, що підключається при вивантаженні коксу до стаціонарного пиловловлюючого обладнання, розташованого, як правило, в спеціальному приміщенні в торці коксової батареї;
- уловлювання викидів рухомої системи, яка складається з зонту і пилоочисного обладнання, змонтованих на коксонапрямній дверезйомних машин;
- уловлювання викидів шляхом влаштування суцільного укриття коксової сторони батареї і відсмоктування з-під цього укриття забрудненого газу з подальшим його очищенням в стаціонарній пилоочистній установці.

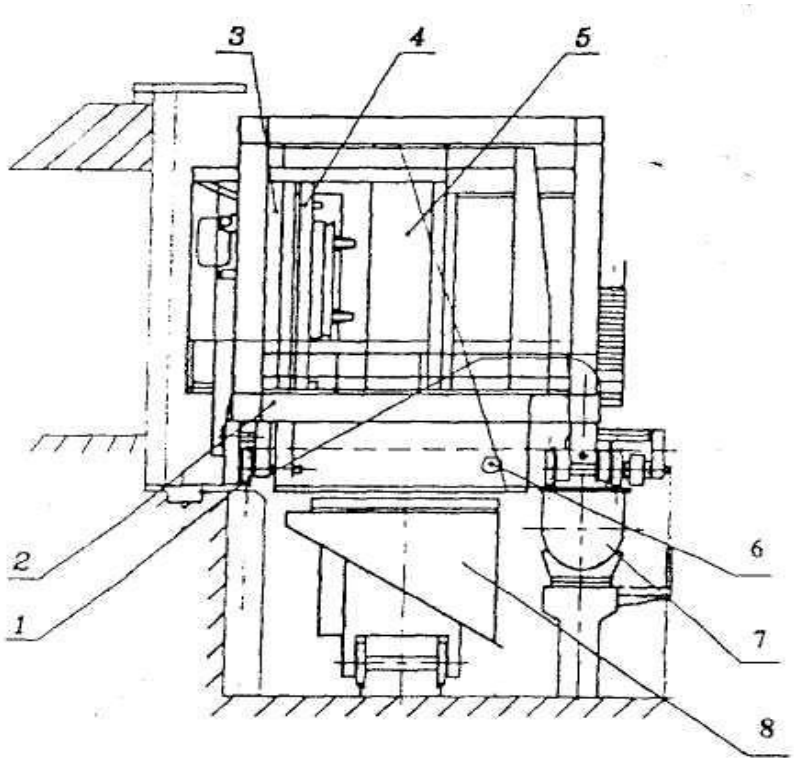
Безумовним критерієм екологічної ефективності УБВК повинна бути ступінь локалізації викидів, тобто кількість запилених газів. які потрапляють в аспіраційну установку.

Найбільш досконалою останнім часом вважають стаціонарну УБВК коксової батареї № 3 на ПрАТ «ДКХЗ». Установка складається з: пиловловлюючого зонту, встановленого на дверезнімній машині; стикувальних пристроїв для передачі пилогазоповітряної суміші в стаціонарний колектор, прокладений уздовж батареї з коксової сторони; стаціонарної пилоочищувальної установки. Пиловловлювальний зонт являє собою металеву об'ємну конструкцію з подвійними стінками, його встановлюють на коксонапрямній дверезнімальної машини. Зонт з'єднується з колектором воздуховодом і газоперепускним візком, який пересувається по рейках уздовж колектора. Між зонтом дверезнімальних машини і газоперепускним візком встановлений відсічний клапан, який відкривається під час видачі коксу.

Естакада УБВК складається з окремих колон, розташованих уздовж шляху коксогасильного вагона з кроком 12-21 м. На колонах встановлюють колектор, на якому передбачені рейки для пересування газоперепускного візка. Колектор перекривається конвеєрною стрічкою, яка виключає підсос повітря. В кінці колектора розміщено спеціальний натяжник.

Система (рис. 1.3) працює наступним чином. Дверезнімальну машину встановлюють проти печі, яка видається. Знімають двері коксової печі, і коксоснапрямна стикується з рамою коксової печі. В результаті розрідження, створюваного в колекторі тягодуттьовими машинами, відбувається відсмоктування забрудненого пилом повітря, що утворюється при видачі коксу. Пил разом з повітрям, що видаляється, потрапляє в колектор, звідки направляється на установку сухого очищення. Для забезпечення ефективного очищення запиленого повітря передбачено двоступеневий сухий спосіб очищення. В якості першого ступеня очищення встановлено циклони типу ЦП2, другий ступінь - тканинні рукавні фільтри, як найбільш ефективні пилоочисні апарати в даний час для даних умов. Загальний ККД установки 97 %. Залишковий вміст пилу в очищеному повітрі системи безпилового видачі коксу складає близько 20 мг/м^3 [3].

Велика продуктивність систем аспірації дозволяє досить надійно вирішити проблему виділення пилу, однак при цьому різко зростають проблеми, пов'язані з забрудненням атмосфери. Кількість частинок пилу пропорційно величині витрати аспіраційного повітря, яка була зведена в третю ступінь, а кількість уловленних частинок пилу в очисних апаратах залежить від ефективності пиловловлювача тільки першого ступеня. Підвищення швидкостей в укриттях сприяє зростанню розмірів вихревих течій з аспіраційних повітрям частинок, а це пов'язано з інтенсивністю абразивного зносу пиловловлювачів і тяглодуттьового обладнання.



1 - механізм пересування; 2 - металоконструкція; 3 - дверезнімальний пристрій; 4 - механізм чищення рами; 5 - механізм чистки двері; 6 – пиловловлювальний зонт; 7 - колектор; 8- коксотушильний вагон

Рисунок 1.3 - Установка безпилової видачі коксу з пиловідводним колектором

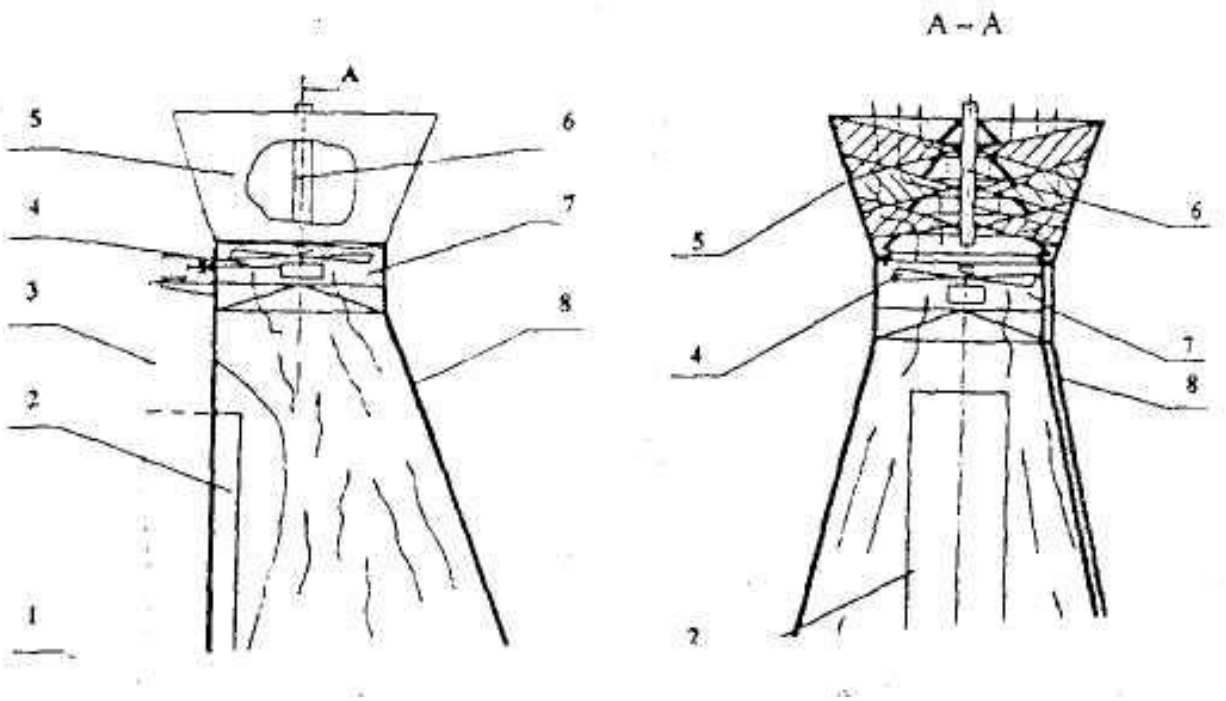
Організовані викиди пилу з високопродуктивних систем аспірації часто виявляються більшими, ніж неорганізовані викиди при відсутності аспірації. Це пов'язано з відносно низькими швидкостями газових потоків в відсутність аспірації і виділенням в атмосферу тільки летючих (високодисперсних) фракцій пилу. В ідеальному варіанті система аспірації повинна видаляти тільки ці фракції. При збільшенні обсягів відсмоктування з укриттів обладнання, яке виділяє пил, концентрація пилу може зменшуватися, але валовий викид буде збільшуватися. Отже, збільшення витрат повітря, що видаляється в аспіраційних системах, може призвести до збільшення викидів в атмосферу навіть у випадку застосування високоефективних пилоочисних пристроїв.

УБВК автономного типу встановлюють на коксонапрямній дверезйомних машин. Установка може бути виконана в двох виконаннях: без додаткової опори (рис. 1.4) і з додатковою опорою (рис.1.5).

Коксонапрямна дверезнімальної машини забезпечена зонтом, дифузором, комплектом форсунок, насосною установкою, баком для води. Вода, що подається насосною установкою на форсунки, в момент видачі коксу забезпечує змочування частинок і відкидання їх на

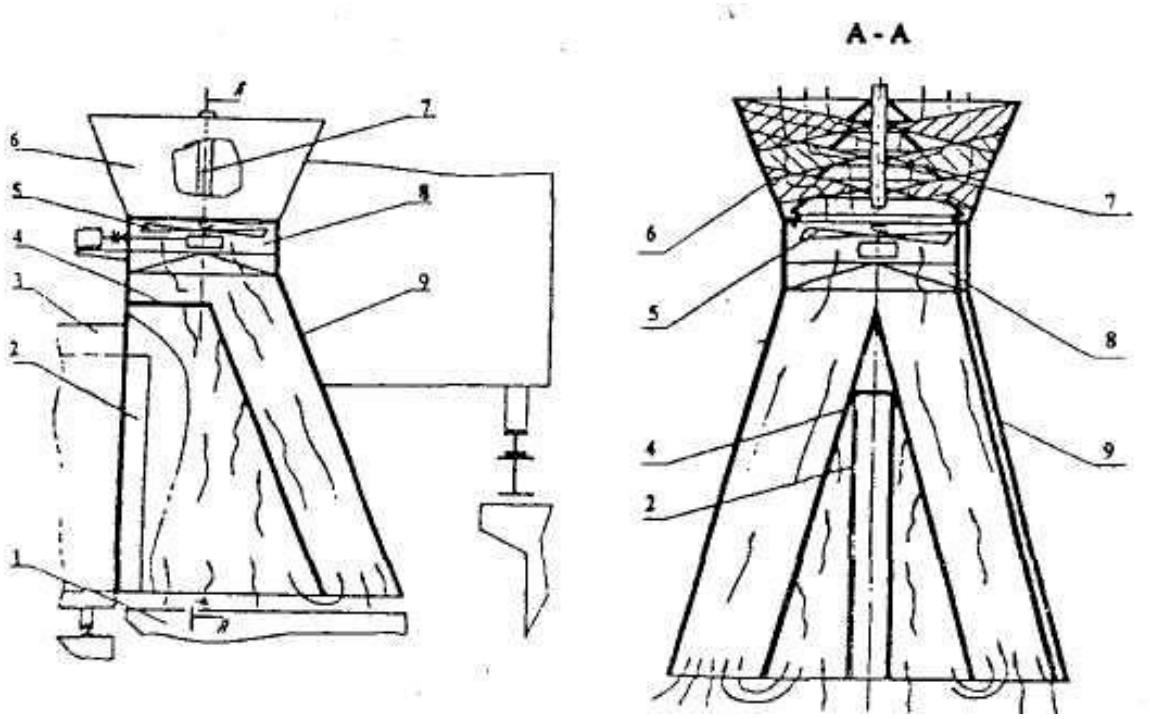
стінку дифузора з подальшим змивом в накопичувач. Система розроблена таким чином, що вода не потрапляє на розпечений кокс, а шлам, який утворюється, збирається і видаляється в коксогасильний вагон. Тривалість зрошення 40-50 с. Працездатність насосної установки забезпечується і в зимовий час.

Наявність на машині одного зонта або зонта з захисним кожухом визначається стійкістю машини і, отже, числом опор. Зонт і захисний кожух виконані з нержавіючої сталі, що забезпечує їх працездатность.



1 - коксогасильний вагон; 2 - коксонапрямна; 3 – дверезнімальна машина; 4 - вентилятор; 5 - дифузор; 6 - установка форсунок; 7 - горловина; 8 - зонт

Рисунок 1.4 - Схема УБВК без додаткової опори

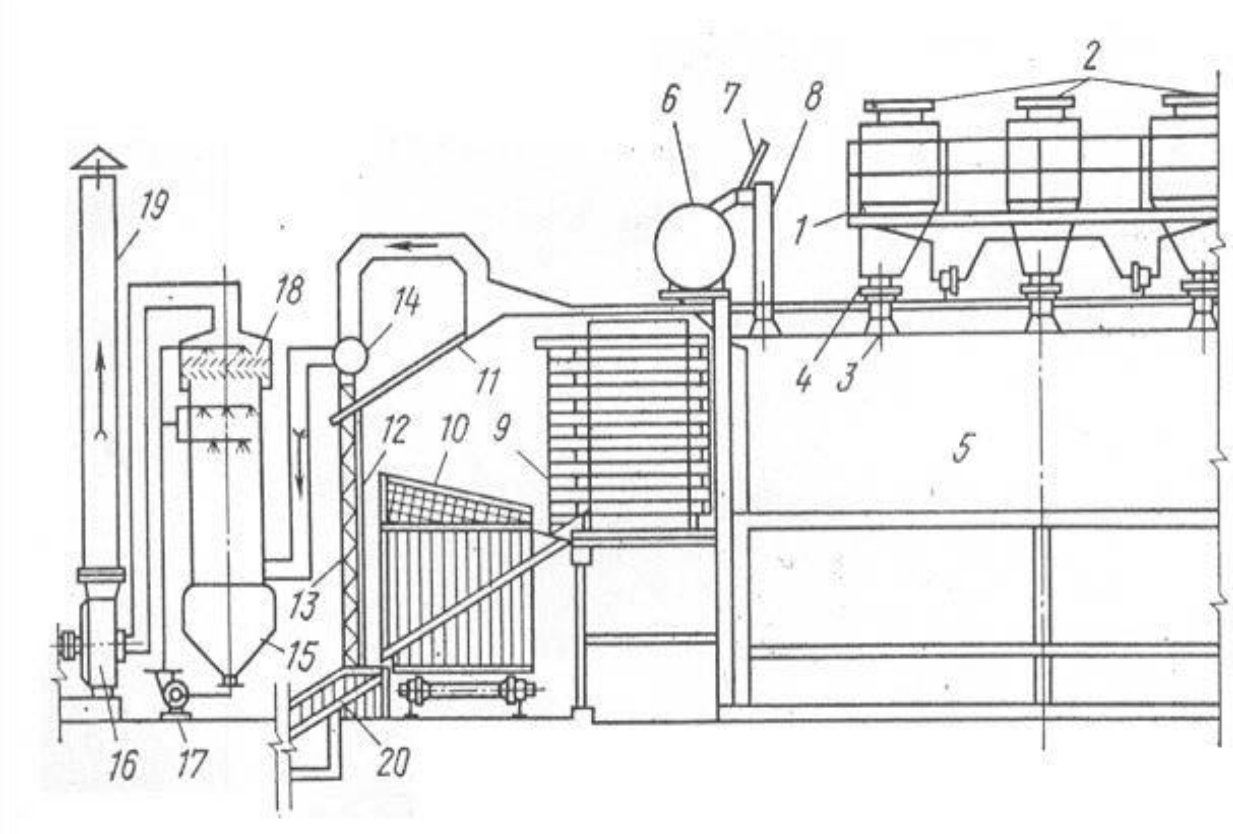


1 - коксогасильний вагон; 2 - коксонапрямна; 3 - дверезнімальна машина; 4 – внутрішній зонт; 5 - вентилятор; 6 - дифузор; 7 - установка форсунок; 8 - горловина; 9 - зовнішній зонт

Рисунок 1.5 - Схема УБВК з додатковою опорою

Локальні установки УБВК мають ряд переваг по ефективності і продуктивності відсмоктування, невеликі капітальні та експлуатаційні витрати, невелике споживання електроенергії, відсутність шламового господарства. Ці переваги підтверджують економічну доцільність їх застосування на діючих коксових батареях в умовах обмеженого простору з коксової сторони.

При безпиловій видачі коксу із суцільним перекриттям коксової сторони батареї вона ховається в суцільну галереєю і викиди відвивантажується та відсмоктуються з-під даху галереї (рис.1.6).



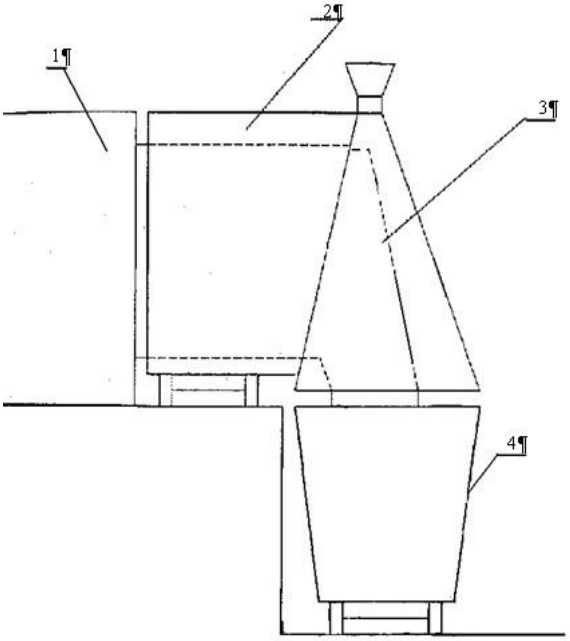
1 – вуглезавантажувальний вагон; 2 - вугільний бункер; 3 - завантажувальний люк; 4 - телескопічні ущільнювачі; 5 - дріб'язок в камері; 6 - газозбірник; 7 - сопла інжекторів; 8 - стояки інжекторів; 9 - коксонапрямна; 10 - гасильний вагон; 11 - кришка галереї; 12 - стінка галереї; 13 - опорні колонки; 14 - газохід; 15 - абсорбери; 16 - димососи; 17 - насос; 18 - краплеуловлювач; 19 - димова труба; 20 - дріб'язок, що знаходиться на рампі

Рисунок 1.6 - Схема аспірації та очищення газів при вивантаженні коксу з повним укриттям коксової сторони батареї

Відсмоктуюче й пилеуловлювальне обладнання розміщується за межами галерей. Перевагою такої системи є також можливість уловлювання викидів, що утворюються при газуванні дверей коксових батарей. Значне поширення безпилове вивантаження з перекриттям коксової сторони батареї отримала в США. Недолік цього методу полягає в тому, що хмара пилу і газу. виникає при виштовхуванні коксу, безперешкодно поширюється по всій галереї, в зв'язку з чим для видалення димових газів і подачі їх до пиловловлювальних систем потрібні великі потужності вентиляторів [4].

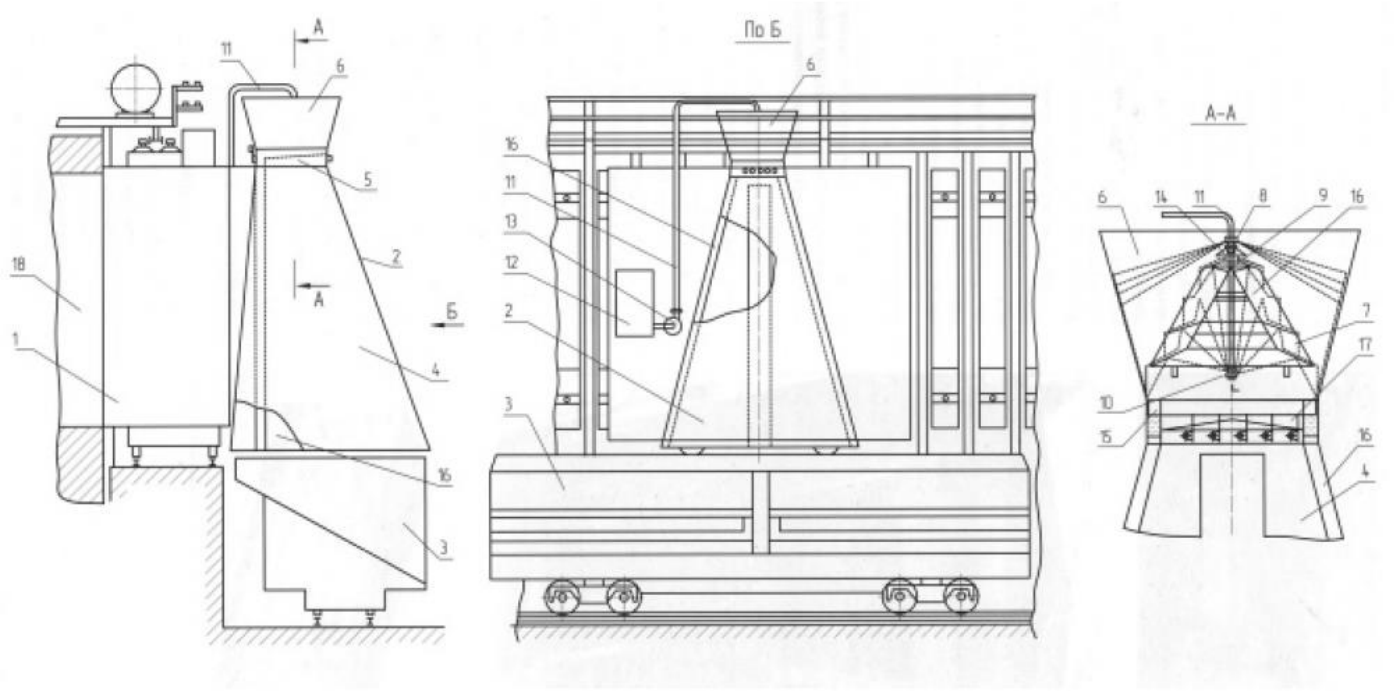
1.5 Схема локальної безпилової видачі коксу

Установка безпилової видачі коксу коксового цеху призначена для очищення газоповітряної суміші від пилу коксу (рис. 1.7, 1.8 і таблиця 1.3). Установка містить змонтований на візку коксонапрямної 2 зонт 3, який розташований над гасильним вагоном 4. Зонт має конфузор, горловину і дифузор. В останньому встановлений пиловловлювач жалюзійного типу. За вертикальної осі дифузора розташовані форсунки, призначені для зрошення внутрішніх стінок дифузора і поверхонь лопатей пиловловлювача і створення на них водяного каскаду [5].



1 - коксова батарея; 2 - коксонапрямна дверезйомних машини; 3 - зонт; 4 - тушильний вагон

Рисунок 1.7 – Схема розташування конструктивних елементів локальної установки безпилової видачі коксу



1 - дверезнімальна машина; 2 – кожух; 3 – гасильний вагон; 4 – конфузор; 5 – горловина; 6 – дифузор; 7 – лопаті; 8, 9, 10 – форсунки подачі води; 11 – напірний трубопровід; 12 – ємність з водою; 13 – насос; 14 – бризкозахисний кожух; 15 – жолоб; 16 – шламовий трубопровід; 17 – заслонки; 18 – камера коксування

Рисунок 1. 8 – Схема локальної установки безпилової видачі коксу

Таблиця 1.3 – Експлуатаційні показники роботи установки безпилової видачі коксу

Найменування оптимальних регламентованих параметрів	Одиниця вимірювання	Показники роботи	
		проектні	фактичні дані 2016 р.
Об'ємні витрати газу - біля входу - біля виходу	тис.м^3/год.	16,000 16,000	13,470 14,040
Гидравлічний опір	кПа	0,120	0,085
Температура газа, що очищується : - біля входу - біля виходу	^{o}C	500-800 400-700	600 500
Розрядження газу, що очищується: - біля входу - біля виходу	Па	110,0-120,0 0,0	80,0 0,0
Вологість газу	г/м^3	50	73,7
Концентрація забруднюючих речовин в газі: - біля входу - біля вихода	г/м^3	1,00-2,50	1,00 0,37
Ефективність очищення	%	60,0-65,0	60
Потужність вибросу	г/с	1,0	1,5
Швидкість газу на виході з установки	м/с	4,750	4,2
Витрати води на зрошення	м^3/ч	12,4-13,2	12,5
Тиск води	МПа	0,30	0,32

Спочатку видачі коксу з печі включають насос, який з резервуара подає воду в форсунки. Останні, розпорошуючи воду, зрошують внутрішню поверхню дифузора, зовнішні і внутрішні поверхні лопатей зонту. Пил, який утворюється при видачі коксу, захоплюється вгору гарячим потоком повітря і надходить в горловину зонту, поперечний переріз якого найменше, в результаті чого досягається максимальна швидкість пилогазового потоку. У дифузорі потік цей розширюється зі зменшенням швидкості і, проходячи між лопатями

пиловловлювача змінює напрямок руху. Частинки пилу при цьому, рухаючись за інерцією прямолінійно, вдаряються об нижні змочені поверхні лопатей, відбиваються на зовнішні поверхні нижчих лопатей, зрошуються потоком води, що надходить від форсунок. Забруднена пилом вода по шламових трубопроводах скидається в кузов гасильного вагона. Після видачі коксу насос відключають.

Так як діюча раніше на підприємстві система безпилової видачі коксу працювала задовільно (ступінь очищення ~ 60 %) було прийнято рішення про модернізацію локальної УБВК. Установка складається з наступних основних вузлів: зонт зовнішній, зонт внутрішній, установка приводу, перехідник, бак, насосаі комплект контрвантажів [5].

Зовнішній зонт виконаний у формі усіченої піраміди і має в нижній частині розширення. Складається з секцій, які між собою кріпляться болтами Секції зонту зварені з профільного прокату і обшиті листами з нержавіючої сталі. Зовнішній зонт кріпиться до нижньої частини рами, встановленої на каркасі коксонапрямної і опорних кронштейнах. У нижній частині зонт кріпиться болтами до стійок каркаса коксонапрямної.

Внутрішній зонт за формою повторює зовнішній зонт і вставлений в нього з зазором.

Установка приводу призначена для відсмоктування пилоповітряної суміші із зони вивантаження коксу і відділення твердих частинок з повітряного потоку. Поділ відбувається в циклоні-сепараторі з використанням водяного зрошення.

Для обслуговування вузлів установки передбачені майданчики, трапи і огорожі. Після набору води дверезнімальна машина виїжджає для обслуговування коксової батареї. Після установки корзини коксонапрямної по осі обслуговування печі для прийому коксу надходить команда від машиніста коксовиштовхувача про початок видачі коксу. Це є сигналом для одночасного включення приводів вентилятора і насоса установки. Пилогазові викиди з внутрішнього зонта захоплюються в зазор між зовнішнім та внутрішнім

зонтами, при цьому відбувається їх часткове змішування з холодним повітрям ззовні зовнішнього зонта і зниження температури викидів.

Весь обсяг газів, що очищаються, проходить через мокре очищення в установці приводу.

Одночасне відключення вентилятора і насоса проводиться за сигналом від датчика, який контролює відведення корзини від печі. Основні технічні дані установки безпиловой видачі наведені в таблиці 1.4.

Для їх евакуації та очищення на старих коксових батареях неможливо використовувати застосовувані в даний час стаціонарні і автономні установки безпилової видачі коксу (УБВК). Обмежені інвестиції в перекладку коксових батарей виключають на найближчу перспективу капітальне оновлення пічного фонду, а значить і поліпшення екологічної обстановки в коксовому виробництві. Тому практично єдиним реальним шляхом вирішення проблеми зниження шкідливих викидів коксових батарей залишається розробка нових маловитратних і ефективних технічних застосовних в умовах діючого коксового виробництва.

Таблиця 1.4 – Основні технічні дані УБВК

Найменування параметрів	Значення
Ємність обслугування печі, $м^3$	30,9
Час видачі печи, сек, не больше	50
Температура пилогазової суміші, °С	500-800
Ступінь уловлюваних викидів, що піддається мокрому очищенню, %	100
Ступень очищення (очікувана), не менше %	90
Розрахункові витрати води на одну видачу кокса, $м^3$.	0,2
Час заповнення бака водою, хв не більше	10
Кількість печей, обслуговуються з одної заправки	25
Габаритні размери, мм Довжина Ширина Висота	 6000 3570 8600
Маса, кг	16000

Слід зазначити, що як стаціонарні, так і автономні УБВК вирішують обмежену задачу з евакуації та очищення пилогазових викидів при видачі коксового пирога тільки на коксовій стороні батареї, у відриві від супутніх

робіт з обробки коксових камер. У той же час при здійсненні цих операцій утворюються порівнянні з викидами при видачі коксу неорганізовані виділення шкідливих речовин і відбувається угар коксу.

1.6 Постановка задачі дослідження

Таким чином розглянуто фізико-механічні властивості коксу та технологічна схема виготовлення коксу. Проаналізовано процеси при уловленні пилу.

Робота установки безпилової видачі коксу направлена на зменшення викидів при вивантаженні коксу після коксування.

Проведений аналіз конструкцій основних установок безпилової видачі коксу. В цілому таки установки розділяють на стаціонарні та локальні.

Внаслідок роботи в складних умовах (температура коксу, що видається, складає 950 -1000 °С, значні викиди пилу, активних хімічних речовин) конструкція установок безпилової видачі коксу потребує підвищення ефективності роботи.

Мета роботи: підвищення ефективності роботи установки безпилової видачі коксу в умовах коксохімічного виробництва, базуючись на функціонуванні роботи, за допомогою математичної моделі.

Для рішення поставленої задачі необхідно:

- визначити фактори, які впливають на роботу установки безпилової видачі коксу;
- виявити закономірності зміни процесу уловлення викидів від параметрів роботи установки безпилової вилачі коксу;
- обґрунтувати способи підвищення інтенсивності роботи установки безпилової видачі коксу;
- дослідити і розробити комплексні і маловитратні рішеня, що значно знижують неорганізовані шкідливі викиди, що утворюються, придатні для використання в умовах будь-яких діючих коксових батарей незалежно від терміну їх експлуатації.

2. ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ПЛАНІРНОГО ПРИСТРОЮ КОКСОВИШТОВХУВАЧА

2.1 Розрахунок приводу планірного пристрою коксовиштовхувача

Кінематична схема планірного пристрою представлена на рис 2.1. Визначаємо швидкість пересування планірної штанги [11, 12, 25]:

$$V = \omega R$$

де R – радіус барабану, м; R = 0,4 м;

ω – кутова швидкість, рад/сек;

$$\omega = \frac{\pi n}{30}$$

де n – кількість обертів приводної шестерні валу:

$$n = \frac{n_1}{i}, \text{ об/хв}$$

де n_1 – кількість обертів на вхідному валу редуктора; n_1=770 об/хв;

i –передавальне число редуктора; i = 25.

Підставимо в формулу значення та отримаємо з перетворюванням:

$$V = \frac{\pi n_1 R}{i}$$

$$V = \frac{3{,}14 \cdot 770 \cdot 0{,}4}{25} = 1{,}3, \text{ м/с}$$

Таким чином швидкість пересування планірної штанги складає 1,3 м/с.

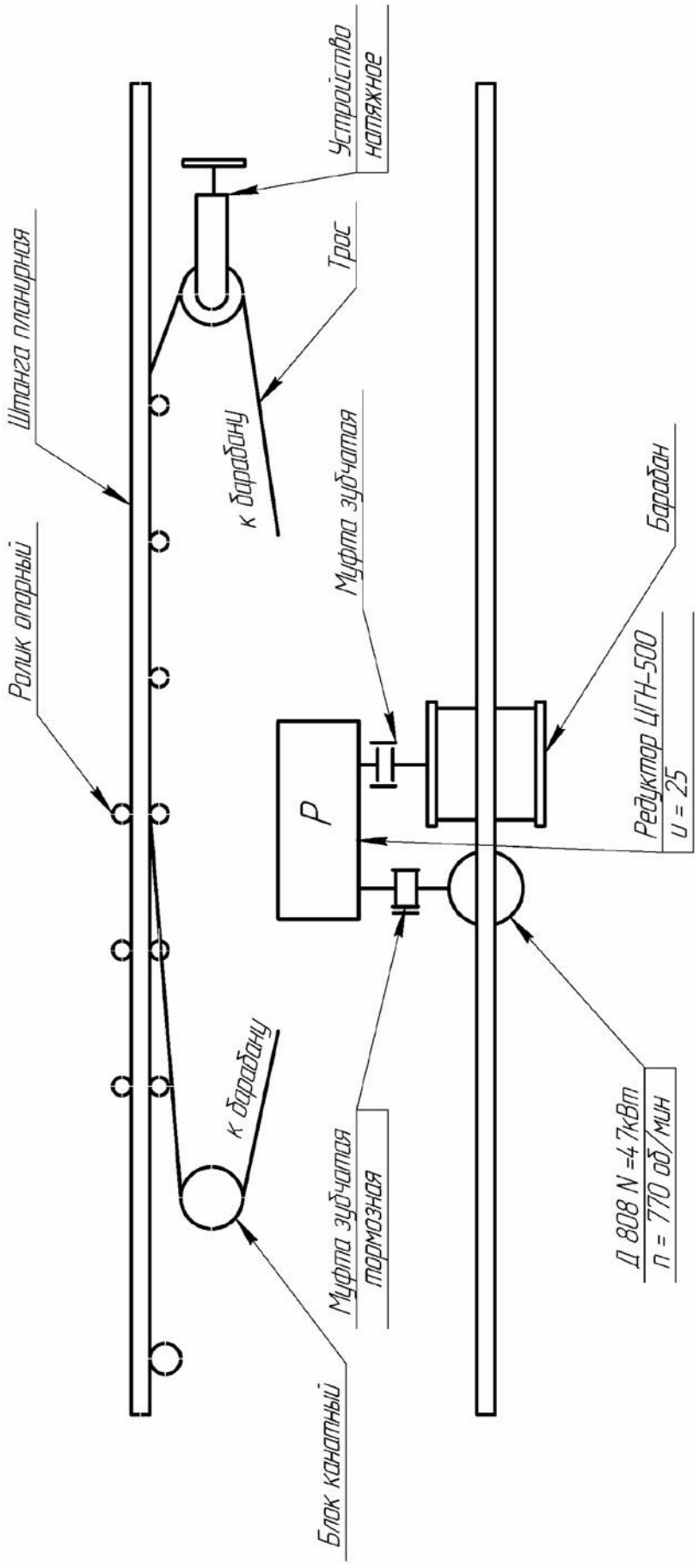


Рисунок 2.1 – Кінематична схема планірного пристрою

Проведемо розрахунок механізму пересування планірної штанги. Потужність електродвигуна розраховується на подолання зусилля планування шихти і надання необхідної швидкості планірній штанзі за формулою [11,12]:

$$N = \frac{PV}{1000\eta},$$

де P – розрахункове зусилля планування; Н,

V – швидкість пересування планірної штанги, м/с; V = 1,3 м/с,

η – к.к.д. механизму; η=0,8

Аналіз показує, що максимальне зусилля при нормальній видачі відповідає моменту початку виштовхування.

Отже, розрахункове зусилля дорівнює:

$$P = W_1 + W_2 + P_{ин} + P_{\omega},$$

де W1 – опір пересуванню планірної штанги по опорним роликам.

На початку руху штанга лежить на опорах і її центр ваги знаходиться між опорами, тоді:

$$W_1 = G_{1\beta}\,\underline{2}\cdot\underline{f}\,D + \mu\cdot\underline{d},$$

де G1 – сила тяжіння хвостової частини планирної штанги, Н; G1 = 14 кН;

β – коефіцієнт, який враховує тертя в ребордах опорних та упорних роликів, β=1,5;

f – коефіцієнт тертя кочення опорного ролика по штанзі; f = 0,0008;

μ - коефіцієнт тертя ковзання в підшипниках осей опорних роликов; μ=0,015,

d – діаметр оси ролика, м; d = 0,06 м,

D – діаметр ролика, м; D = 0,2 м.

Підставлячи дані отримаємо:

$$W_1 = 14 \cdot 10^4 \cdot 1{,}5\frac{2 \cdot 0{,}0008 + 0{,}06 \cdot 0{,}1}{0{,}2} = 750_H$$

W2 –опір пересуванню планірної штанги по завантаженій шихті:

$$W_2 = G_п \cdot f,$$

де $G_п$ – вага частини планирної штанги, що пройшла 2/3 довжини камери, Н; Н = 8000 Н;

k – коефіцієнт тертя сталі по вугіллю, k = 0,5.

Тоді:

$$W_3 = 8\ 10^3 \cdot 0{,}5 = 4кН$$

Сила інерції покою шихти, що зрушується:

$$P_{ин} = mj = \frac{1}{3} \cdot \frac{Q_ш \cdot V}{q \cdot t},$$

де V- швидкість усталеного руху планірної штанги, м/с; V = 1,3 м/с;

g – прискорення сили тяжжіння, м/с^2; g = 9,81 м/с^2;

t – час досягнення швидкості руху штанги, с; t = 0,1 с;

$Q_ш$ – 1/3 вага шихти, що вміщується в підсводовому просторі, Н;

визначається за формулою:

$$Q_ш = b_{ср} \cdot l_п \cdot h_п \cdot \gamma_ш,$$

де $b_{ср}$ – средня ширина камери, м; $b_{ср}$ = 0,407 м;

$l_п$ – средня довжина камери, м; $l_п$ = 12,5 м;

$h_п$ – висота підсводового простору, м; $h_п$ = 0,4 м;

$\gamma_ш$ – насипна вага шихти, Н/м^3; $\gamma_ш$ = 750 Н/м^3;

$$P_{ин} = mj = \frac{1}{3} \cdot \frac{Q_ш \cdot V}{q \cdot t},$$

$$P_{ин} = \frac{1{,}3 \cdot 0{,}407 \cdot 12{,}5 \cdot 0{,}4 \cdot 800}{9{,}81 \cdot 0{,}1} = 7200\,Н.$$

Опір пересуванню вугілля в подсводовом просторі:

$$P_ω = b_{ср} \cdot l_п \cdot h_п \cdot γ_ш \cdot f_{у.у},$$

де $f_{у.у}$ – коефіцієнт тертя вугілля по вугіллю, $f_{у.у}$ =0,9;

$$P_ω = 0{,}407\ 12{,}5\ 750\ 0{,}4\ 0{,}9 = 13740\ Н.$$

Підставляючи отримані значення визначаємо розрахункове зусилля:

$$P = 750 + 4000 + 13740 + 7200 = 25кН$$

Визначаємо потужність електродвигуна:

$$N = \frac{25000 \cdot 1{,}3}{1000 \cdot 0{,}8} = 41кВт$$

У звязку зі складними умовами роботи приймаємо потужність електродвигуна для пересування планірної штанги 47 кВт.

2.2 Розрахунок штанги на міцність

Планірна штанга, перебуваючи в печі, відчуває дію двох сил: власної ваги і опору пересуванню від шихти. Габаритні перетини планірної штанги лімітуються розмірами отвору планірних дверцят, а довжина штанги - корисною довжиною камери.

Перетин штанги вибирають з конструктивних міркувань, прагнучи при цьому максимально наблизити його до перетину балки рівного опору для зменшення ваги і збільшення міцності на поперечний і поздовжній вигин.

На коксвиштовхувачі експлуатуються планірні штанги рівного опору. Перетин такої штанги показано на рис. 2.2.

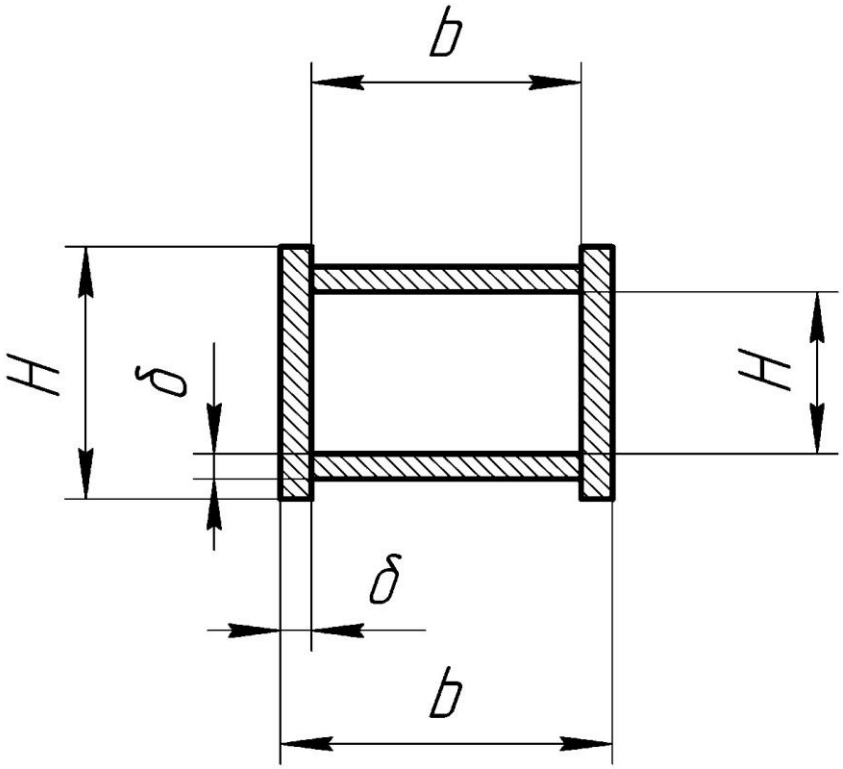


Рисунок 2.2 – Схема планірної штанги

Площа перетину при розмірах H=250 мм, H_1=160 мм, b=320 мм, b_1=260 мм, δ_1 = 30мм, δ_2 = 25мм буде складати:

$$F = (b \cdot \delta_1) \cdot 2 + (H_1 \cdot \delta_2) \cdot 2,$$

$$F = (0.3\ 0.025)\ 2 \cdot + (0.26\ 0.025)\ 2 = 2{,}8\ 10^{-4} м^2$$

Момент інерції перерізу штанги знаходиться за формулою [11, 12]:

$$W_x = \frac{2J_{бр}}{H}$$

Оскільки профіль балки має складний перетин, то момент інерції дорівнює сумі моментів його окремих елементів:

$$J = \Sigma(Ii + Fi\, a^2)$$

де Ii – момент інерції відносно центру тяжіння перетину окремих елементів;

Fi – площа перетину окремих елементів,

A – відстань від центру тяжіння окремих елементів до вісі X-X.

$$I = \frac{\delta_1 \cdot H^3}{12} \cdot 2 + \left(\frac{b_1 \cdot \delta_2^3}{12} + \delta_2 \cdot b_1 \left(\frac{H_1 + \delta_2}{2} \right)^2 \right) 2 =$$

$$\frac{0{,}03 \cdot 0{,}25^3}{12} \cdot 2 + \left(\frac{0{,}26 \cdot 0{,}025^3}{12} + 0{,}025 \cdot 0{,}26 \left(\frac{0{,}16 + 0{,}025}{2} \right)^2 \right) 2 = 1{,}65 \cdot 10^{-4}\, м^2$$

Тоді момент опору дорівнює:

$$W_x = \frac{2 \cdot J_{бр}}{H} = \frac{2 \cdot 1{,}65 \cdot 10^{-4}}{0.25} = 13{,}2 \cdot 10^{-4}\, м^3$$

Визначення напруження від власної ваги. При перших ходах планірної штанги в піч, коли вона не має міцної опори на шихті, планир слід умовно розглядати як балку, яка одним кінцем защемлена і знаходиться під дією власної ваги. Для спрощення розрахунку приймаємо це навантаження, як рівномірно розподілене по довжині штанги. Найбільший згинальний момент буде в перерізі 1-1 у опори А при знаходженні штанги в крайньому передньому положенні.

Найбільший згинальний момент в перерізі 1-1 дорівнює:

$$\mathrm{M}_{\max} = \frac{\mathrm{g} \cdot \mathrm{l}^2}{2},$$

де g – вага погонного метру планірної штанги, Н; g = 1000 Н; l – максимальний виліт планірної штанги, м; l = 14 м;

Тоді згинальний момент в перерізі дорівнює:

$$M_{\max} = \frac{1000 \cdot 14^2}{2} = 98 кНм$$

Напруження згину від власної ваги в перерізі 1-1 дорівнюватиме:

$$\sigma_{из} = \frac{M_{\max}}{W_x} = \frac{98000}{13.2 \cdot 10^{-4}} = 74 МПа$$

Визначимо напруження при поздовжньому згині. При розрахунку планірної штанги на поздовжній згин, беручи до уваги, що штанга висунута на 2/3 довжини камери $l_к$ (проводиться вирівнювання останнього конуса засипки).

Напруження при поздовжньому згині:

$$\sigma_{пр} = \frac{P}{F \cdot \varphi},$$

де P – розрахункове зусилля, що діє по вісі планирної штанги, Н; P = 25 кН; F – площа поперечного перетину на небезпечній ділянці, м^2; F=2,8·10^{-2} м^2; φ – коефіцієнт зменшення основного допустимого напруження на стиск при поздовжньому згині.

Коефіцієнт φ визначається за формулою:

$$\lambda = \frac{k\left(\frac{2}{3} \cdot L_k + L'\right)}{r_y},$$

де $L_к$ – корисна довжина камери, м; $L_к$ = 12,3 м;

L' – відстань до опорного ролика, м; L' = 2,7 м.

k – коефіцієнт довжини для випадку, коли у стрижня один кінець вільний, а інший закріплений, k = 2;

r_y – мінімальний радіус інерції перетину:

$$r_y = \sqrt{\frac{J_y}{F}},$$

де F – площа поперечного перетину, м^2; F = 3,04·10^{-2} м^2;

J_y – момент інерції штанги відносно вісі Y-Y;

$$J_y = \frac{\delta_2 \cdot b_1^3}{12} \cdot 2 + \left(\frac{H \cdot \delta_1^3}{12} + H \cdot \delta_1 \left(\frac{\delta_1 + b_1}{2} \right)^2 \right) 2 =$$

$$= \frac{0.025 \cdot 0.26^3}{12} \cdot 2 + \left(\frac{0.25 \cdot 0.03^3}{12} + 0.25 \cdot 0.03 \left(\frac{0.26 + 0.03}{2} \right)^2 \right) \cdot 2 = 1.1 \cdot 10^{-4} м^3$$

Мінімальний радіус інерції дорівнює:

$$r_y = \sqrt{\frac{1.1 \cdot 10^{-4}}{2.8 \cdot 10^{-2}}} = 0.063 м$$

Гнучкість:

$$\lambda = \frac{k\left(\frac{2}{3} \cdot L_k + L' \right)}{r_y} = \frac{2\left(\frac{2}{3} 12.3 + 2.7 \right)}{0.063} = 346$$

За літературою [27-29] при значенні λ = 346 по таблиці приймаємо значення φ = 0,19.

Підставляючи отримані значення в формулу для визначення поздовжнього вигину отримаємо:

$$\delta_{пр} = \frac{25000}{2.8 \cdot 10^{-2} \cdot 0{,}19} = 4.6 \; мм$$

$$\delta_{пр} \leq [\delta_д]$$

$[\delta_д]$ = 10 мм. Умова виконується: $4{,}6 < 10$.

Отримане значення відповідає межі міцності для матеріалу штанги.

Критичне напруження на стиск:

$$\sigma_{сж} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot k_T}{\lambda^2},$$

де E – модуль пружності; $E = 2 \cdot 10^5$ МПа, $k_т$ – коефіцієнт зменшення модуля пружності при нагріванні передньої частини штанги, приймаємо $k_т = 0{,}7$; λ^2 – гнучкість штанги.

$$\sigma_{сж} = \frac{3{,}14^2 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 0{,}7}{346^2} = 11{,}5 \quad МПа$$

Запас міцності планірної штанги дорівнює:

$$n = \frac{\sigma_{сж}}{\sigma_{пп}} = \frac{11{,}5}{4{,}6} = 2{,}5$$

Розрахуємо прогин планірної штанги від власної ваги. Перебуваючи в печі планірна штанга під дією продольних сил прогинається. Максимальний прогин штанги рівного опору визначається за формулою:

$$\zeta = \frac{q \cdot L^4}{8 \cdot E \cdot J}$$

де g – вага погонного метра штанги, Н; g = 1000 Н.

Jx – момент інерції штанги відносно вісі оси X-X; E – модуль пружності; E = $2 \cdot 10^5$ МПа, l – максимальний виліт планирної штанги, м; l = 14 м;

$$\zeta = \frac{1000 \cdot 14^4}{8 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 1{,}65 \cdot 10^{-4}} = 0{,}145 \quad = 145 \; мм$$

Дійсний прогин значно менше, так як має в завантаженої печі опору на шихті і при плануванні ковзає по ній.

При розрахунку направляючих роликів основним параметром є їх діаметр, який визначається при максимальному вильоті планірної штанги.

Уявімо штангу як балку на двох опорах. Діаметр переднього ролика (за умови того, що штанга спирається на один ролик) знаходимо з виразу:

$$D_{пр} = \frac{R}{g_p \cdot b_p},$$

де q_p – припустиме питоме навантаження на ролик, МПа; приймаємо q_p=3 МПа.

b_p – ширина ролика мм; b_p = 40 мм;

R – опорна реакція в передньому ролику, Н.

Опорна реакція в передньому ролику визначається зі співвідношення:

$$G_B \cdot L = R \cdot l_p; R = \frac{G_B \cdot L}{l_P},$$

де G_B – вага висунутої частини штанги, Н; G_B =11 кН;

L – відстань від передніх напрямних роликів до центра ваги висунутої частини штанги, м; L= 7 м.

l_p - відстань між двома парами передніх роликів, м; l_p = 3,2 м.

Визначивши вихідні величини визначаємо:

$$R = \frac{11 \cdot 10^3 \cdot 7}{3{,}2} = 24 кН$$

Визначивши опорну реакцію ролика, визначаємо його діаметр:

$$D_P = \frac{24000}{0{,}04 \cdot 3 \cdot 10^6} = 0{,}2м = 200мм.$$

Приймаємо діаметр переднього ролика та роликів, по яким переміщається планірна штанга, рівними 200 мм.

2.3 Аналіз дослідження моделювання параметрів руху планірної штанги по кам'яновугільній шихті

Аналогічно проводили випробування для імітації тертя кам'яновугільної шихти по металу для вологості 0, 5, 10 %; під дією власних сил та сил тяжіння додаткового вантажу 1, 4, 8 кг. Для цього випадку в нижню полуматрицю приладу вміщували металеву форму матеріалу планірної штанги, а в верхню насипали кам'яновугільну шихту. Засипку матеріалу проводили у вільному вигляді без додаткового трамбування або ущільнення. Надлишок матеріалу з полуматриц видаляли за допомогою металевої лінійки.

Таблиця 2.1 – Експериментальні дані

	N_0 = 0,3 кг, 3 Н			
Вологість, %	1	2	3	середня
0	0,55	0,65	0,6	0,60
5	0,68	0,74	0,72	0,72
9	0,93	0,85	0,88	0,88
	N_1 =1,3 кг; 12,75 Н			
Вологість, %	1	2	3	середня
0	3,5	3,7	3,3	3,5
5	4,53	4,47	4,5	4,5
9	5,42	5,4	5,38	5,4
	N_2 = 4,3 кг; 42,18 Н			
Вологість, %	1	2	3	середня
0	11,4	10,6	11,0	11,0
5	12,2	12,0	11,8	12,2
9	12,5	13,1	12,8	12,8
	N_3 = 8,3 кг; 81,42 Н			
Вологість, %	1	2	3	середня
0	16	16,3	15,7	16
5	20	19,6	19,8	19,8
9	22,5	22,3	22,2	22,33

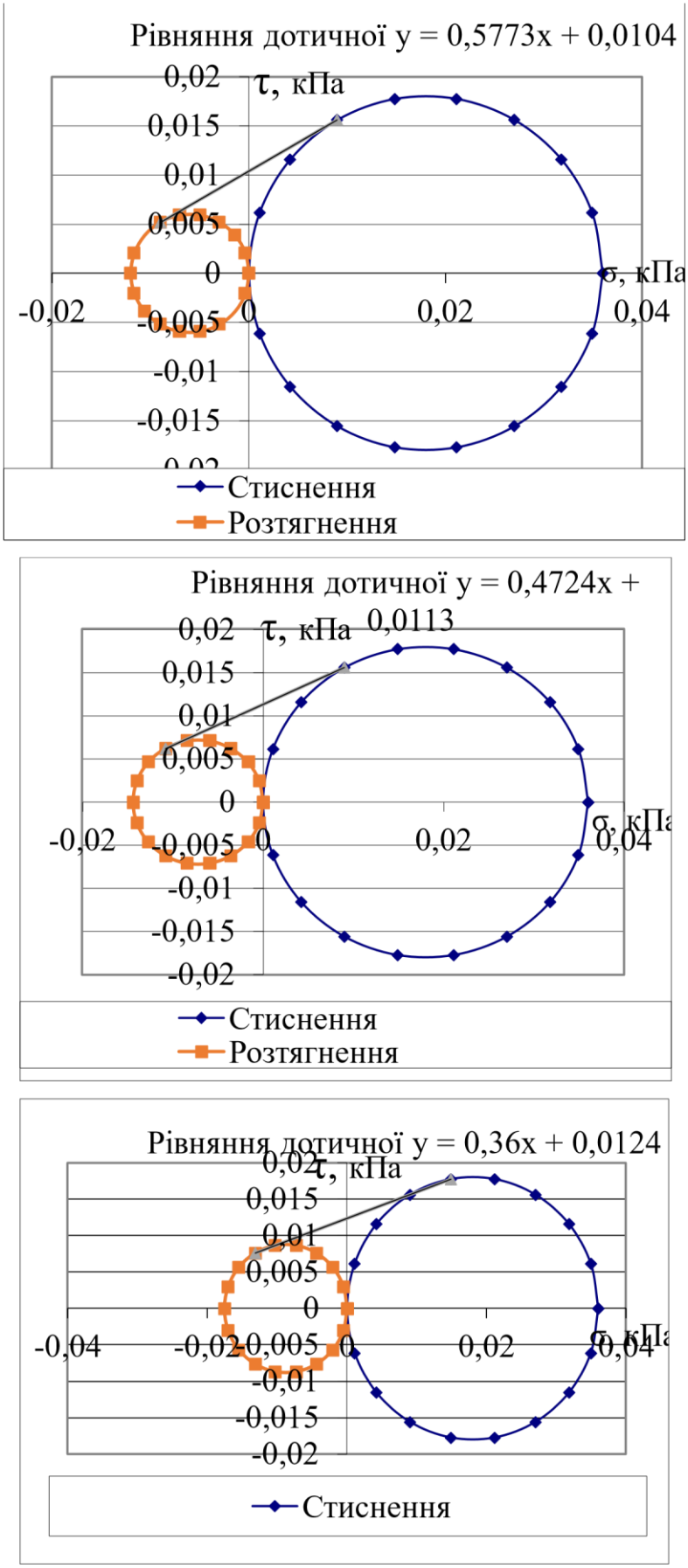
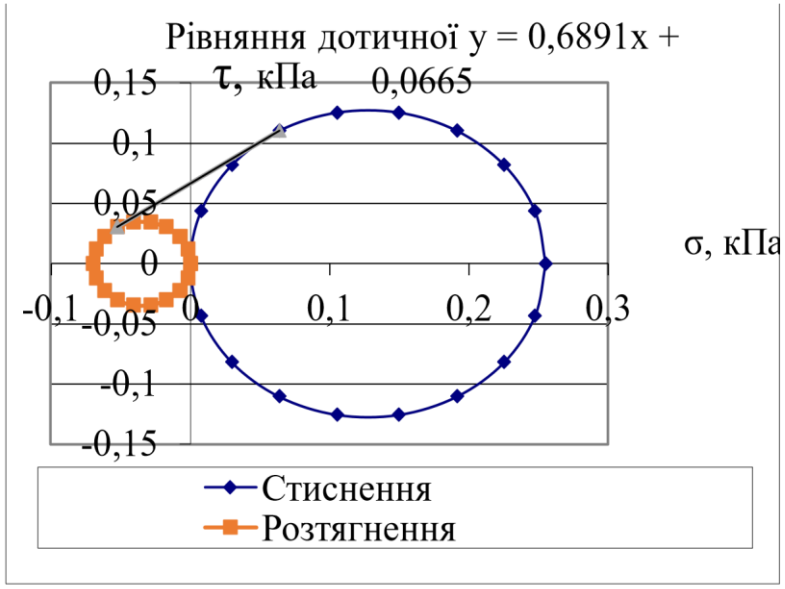
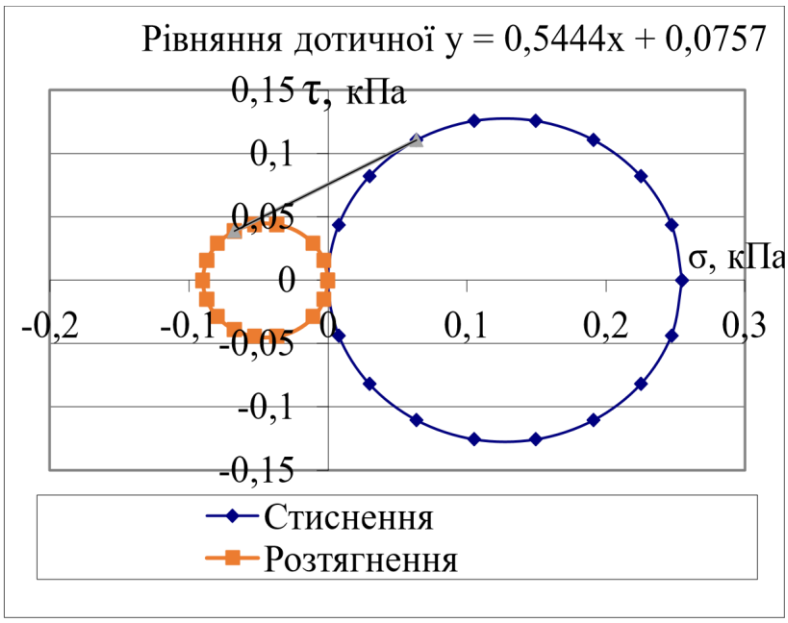


Рисунок 2.3 – Обробка результатів експерименту зовнішнього тертя кам’яновугільної шихти по металу при N = 0,3 кг





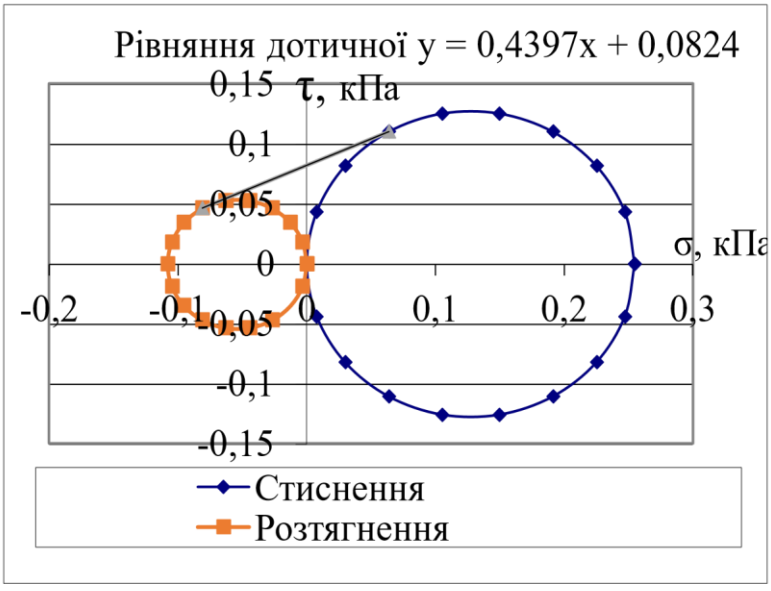
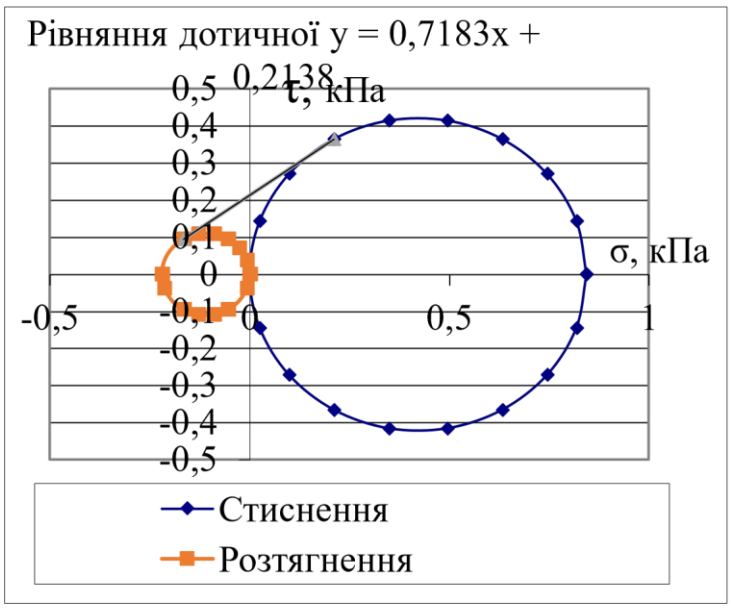
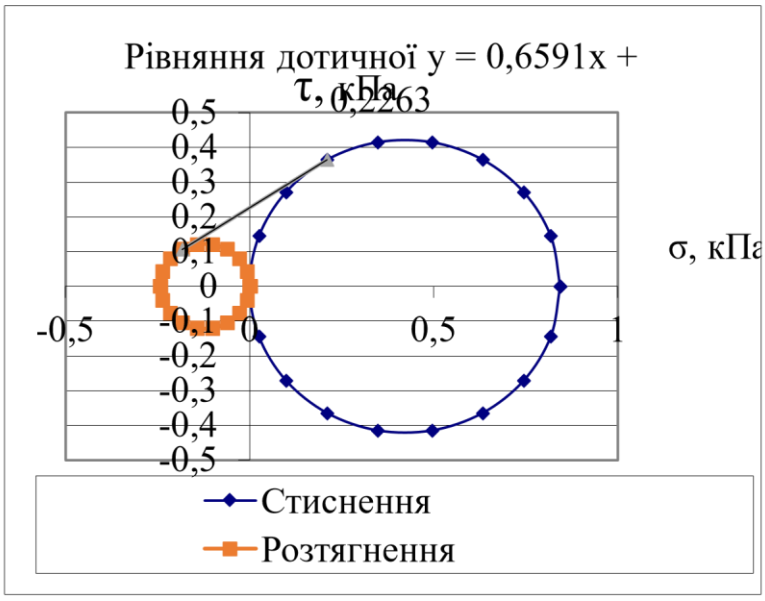


Рисунок 2.4 – Обробка результатів експерименту зовнішнього тертя кам’яновугільної шихти по металу при N = 1,3 кг





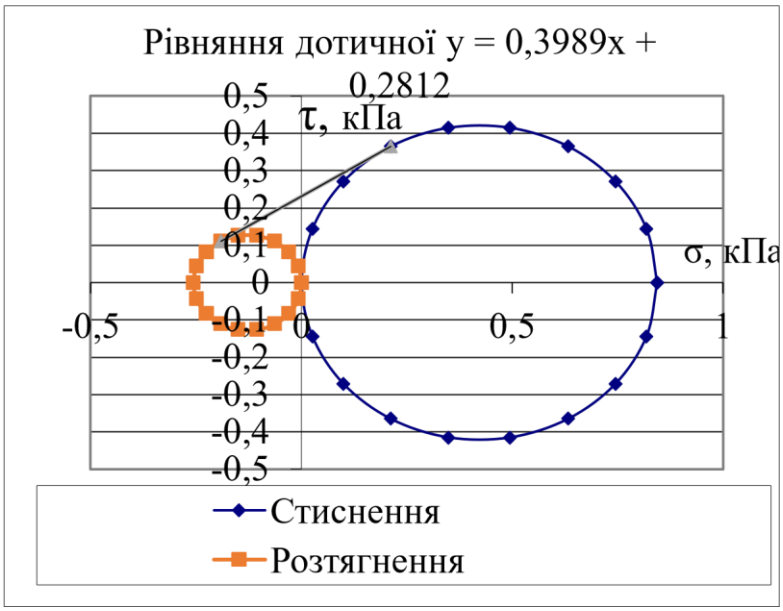
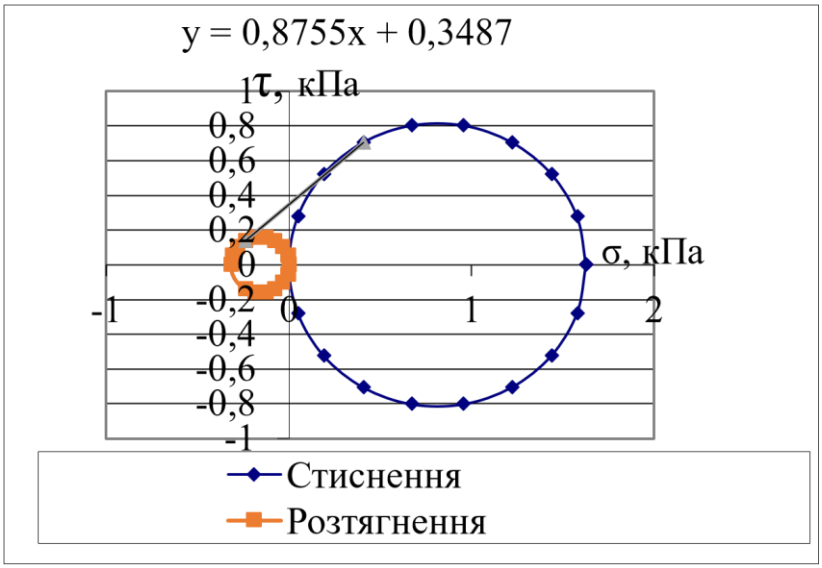
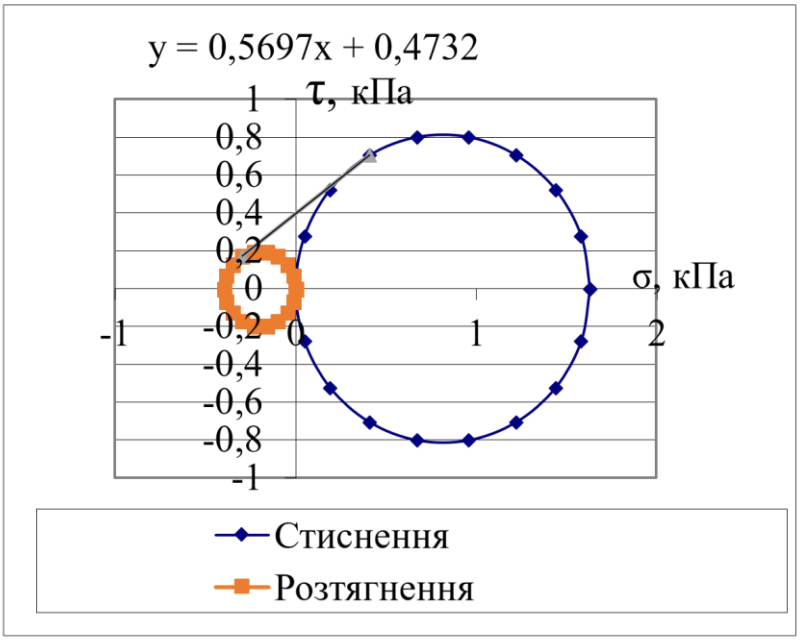


Рисунок 2.5 – Обробка результатів експерименту при N = 4,3 кг





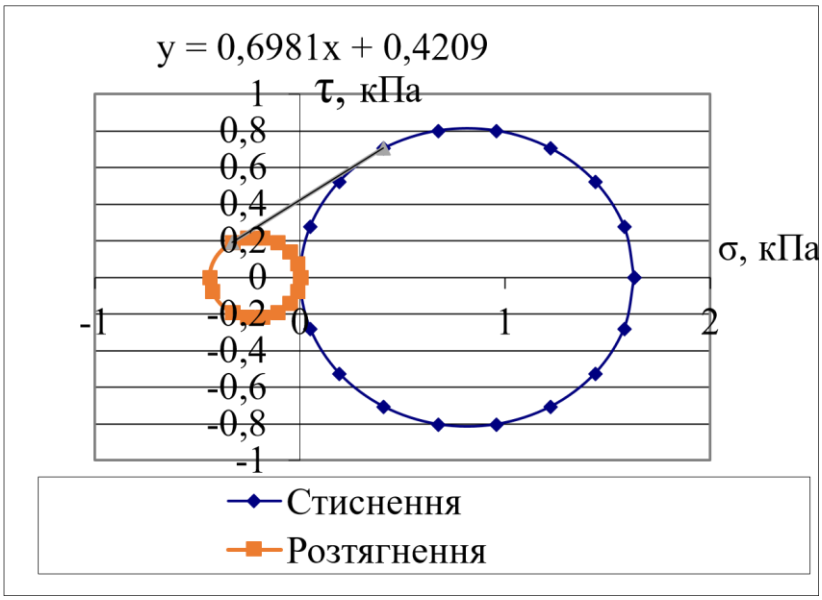


Рисунок 2.6 – Обробка результатів експерименту при N = 8,3 кг

Аналізуючи результати досліджень можливо зробити наступні висновки:

− тертя кам’яновугільної шихти по металу при збільшені стискаючого напруження – збільшується;

− при збільшенні вологості матеріалу тертя кам’яновугільної шихти в межах 9 % збільшується;

− для конструкції планірного пристрою можливо створення конструкції з додатковим ущільненням завантаженої маси кам’яновугільної шихти.

3 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РОБОТИ УСТАНОВОК БЕЗПИЛОВОЇ ВИДАЧІ КОКСУ

3.1 Моделювання процесу уловлення пилу в установках безпилової видачі коксу

Для виявлення режимів і умов, що забезпечують максимальну ефективність мокрого очищення газів в установках безпилової видачі коксу, розглянемо ці процеси на прикладі скруберу Вентурі. Розглянемо гідродинамічний течію суцільної фази [14-16], яка описується системою стаціонарних рівнянь Нав'є-Стокса (3.1-3.2), стану газового середовища (3.3) і теплопровідності (3.4):

$$\mathrm{div}(\rho_f \vec{v}_f) = 0 \tag{3.1}$$

$$\rho_f (\vec{v}_f \cdot \nabla)\vec{v}_f = -\nabla p \tag{3.2}$$

$$pM = \rho RT \tag{3.3}$$

$$(\vec{v}_f \cdot \nabla)T = \chi \Delta T \tag{3.4}$$

де ρ_f – щільність газового потоку, кг/м^3;

v_f – швидкість газового потоку, м/с;

∇– оператор набла;

p – барометричний тиск газу, Па;

Т – температура газового потоку, К;

R – універсальна газова констата, R = 8,31 Дж/(моль·К);

М – молярна маса газу, кг/моль;

χ – коефіцієнт температуропровідності, м^2/с;

Δ – оператор Лапласа.

На макроскопічному рівні характерні масштаби течії потоку великі в порівнянні з товщиною шару ковзання (прикордонного шару), і течія середовища розглядається без урахування впливу сил в'язкості. У зв'язку з цим

на стінках труби Вентурі і краплевловлювача виконується гранична умова ковзання газового потоку:

$$(\vec{v}_f, \vec{n}) = 0$$

де v_f – вектор швидкості газу біля стінки, м/с;

n – вектор внутрішньої нормалі біля стінки.

Однак на мікроскопічному рівні, де розглядається рух і взаємодія окремих частинок, в'язкість середовища здійснює істотний вплив на характер обтікання частинок, що знаходяться в потоці.

Через неможливість отримання аналітичного розв'язання системи диференціальних рівнянь (3.1-3.4), застосовується чисельний метод розв'язання на основі методу скінченних об'ємів. Поле швидкостей газу, розраховане на підставі рівнянь (3.1-3.4), служить вхідними даними для розрахунку координат руху і взаємодії частинок дисперсної фази.

Математичний опис руху дисперсних частинок в скрубері Вентурі. Траєкторія руху одиночної дисперсної частинки в загальному вигляді описується другим законом Ньютона, згідно з яким частинка, що рухається в повітряному середовищі, змінює свою швидкість за рахунок дії деякої сукупності сил з боку газового потоку [14-16]:

$$m_p \frac{d\vec{v}_p}{dt} = 3\pi\mu d C(\vec{v}_f - \vec{v}_p) + \frac{\pi d^3 \rho_f}{6}\frac{d\vec{v}_f}{dt} + \frac{\pi d^3 \rho_f}{12}\left(\frac{d\vec{v}_f}{dt} - \frac{d\vec{v}_p}{dt}\right) - \frac{\pi d^3(\rho_p - \rho_f)}{6}\vec{W}(\vec{W}\cdot\vec{r}) - \frac{\pi d^3 \rho_p}{6}(\vec{W}\cdot\vec{v}_p), \quad (3.5)$$

де m_p— маса частинки, кг;

$$m_p = \frac{\pi d^3 \rho_p}{6}$$

d— еквівалентний діаметр частинки, м;

ρ_p— густина матеріалу частинки, кг/м³;

$\vec{v}_p$— вектор швидкості частинки, м/с;

t— час, с.

v_f – вектор швидкості потоку газа, м/с;

μ – динамічна в’язкість газового середовища, Па·с;

ρf – щільність газового потоку, кг/м^3,

w – кутова швидкість обертання частиники, рад/с;

r – радіус-вектор.

Ліва частина рівняння (3.5) - сума всіх сил, що діють на частинку, виражена через її масу і прискорення. Перший член в правій частині рівняння (3.5) - сила аеродинамічного опору за законом Стокса, обумовлена

гальмуванням частинки через в'язке тертя об потік газу; другий член – сила, викликана наявністю градієнта тиску суцільного середовища; третій член – сила, обумовлена наявністю приєднаної маси газу при прискореному русі частинки в потоці; останні два члени рівняння – відцентрова сила і сила Коріоліса, які враховуються при русі частинки в краплевловлювачі.

У рівнянні (3.5) невідомою величиною є швидкість частинки vp, а аргументом – час t. Швидкість речовини основної фази *vf* у всіх точках простору є відомою. В якості вихідних даних, крім розміру і властивостей частинки, задається її положення в початковий момент часу.

Таким чином, рівняння (3.5) дозволяє розрахувати швидкість і положення окремої частинки (тверда частинка або крапля рідини) в кожен момент часу в скрубері Вентурі. Оскільки процес коагуляції твердих частинок, що рухаються в потоці газу, з краплями розпорошеної рідини в трубі Вентурі відбувається внаслідок відмінності їх розмірів і швидкостей руху, то на підставі оцінки частки твердих частинок, що осіли на краплях рідини за деякий проміжок часу, можна судити про ефективність процесу інерційного осадження в скрубері Вентурі.

3.2 Обчислення параметрів моделювання

Концентрація пилу в газах видачі різних коксохімічних виробництв коливається в дуже широкому діапазоні: від 4,4 до 22 г/м^3, а кількість уловленного пилу від 550-600 до 3200-3900 кг/доб. Це можна пояснити не тільки ефективністю роботи УБВК, але і різною стираністю одержуваного

коксу. Гранулометричний склад шламу і коксового пилу, відсмоктуваного при видачі коксу стаціонарної та автономної УБВК, представлений в таблиці 3.1.

При падінні і первинному руйнуванні коксового пирога в гасильному вагоні процеси дроблення і стирання коксу йдуть особливо інтенсивно. Первинна коксовий дріб'язок утворюється при дробленні, зминанні і викрашування поверхневих шарів і ребер шматків коксу. Істотне значення, особливо для утворення пилу, має кількість і міцність зчеплення піровуглецю, що відклався на поверхні і в порах шматків коксу, що видувається при знеграфічуванні.

Таблиця 3.1 – Гранулометричний склад пилу, що відсмоктується при видаванні коксу

Вид коксового пилу	Вихід (%) по класах, мм.							
	>5	5-3	3-2	2-1	1-05	0,5-0,25	<0,25	$D_{ср.}$ мм.
При видаванні[1]	6,3	25,0*			68,7**			1,332
При видаванні[2]	-	5,1	6,1	26,7	17,3	17,2	27,6	0,986
При видаванні[3]	-	0,5	0,6	3,5	8,1	30,8	56,5	0,334
[1]Для стаціонарної УБВК.								
[2] Для автономної УБВК.								
[3]З коллектору стаціонарної УБВК при зупиненому вентиляторі.								
* Сумма класів 5-3; 3-2; 2-1; 1-0,5 мм.								
** Сумма класів 0,5-0,25 и < 0,25 мм.								

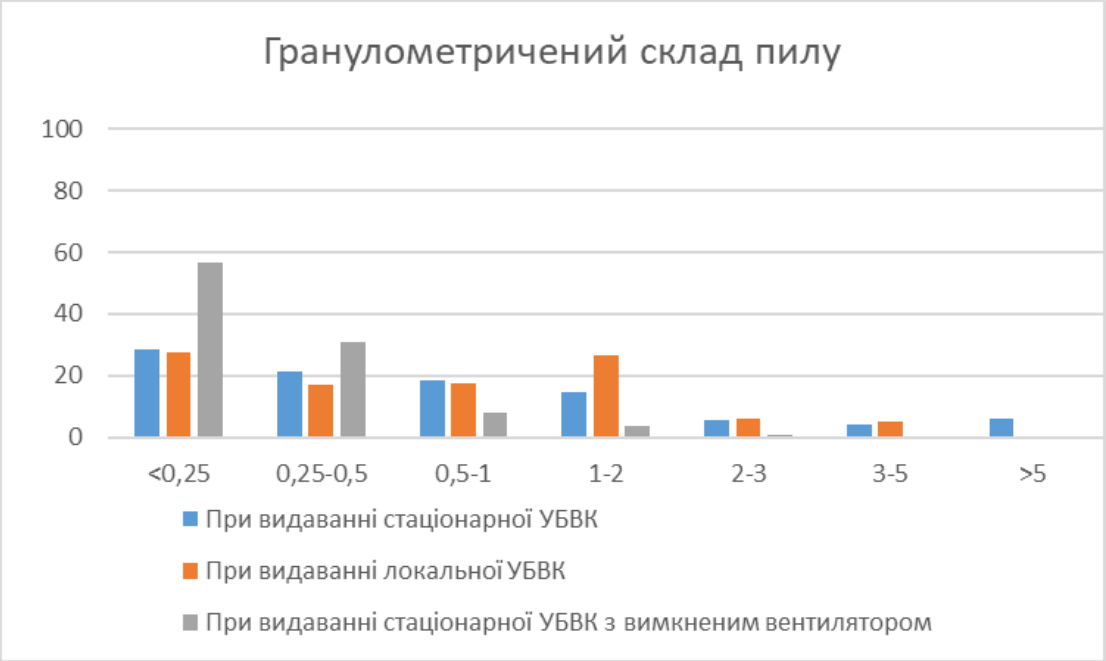


Рисунок 3.1 – Гранулометричний склад пилу різних типів УБВК

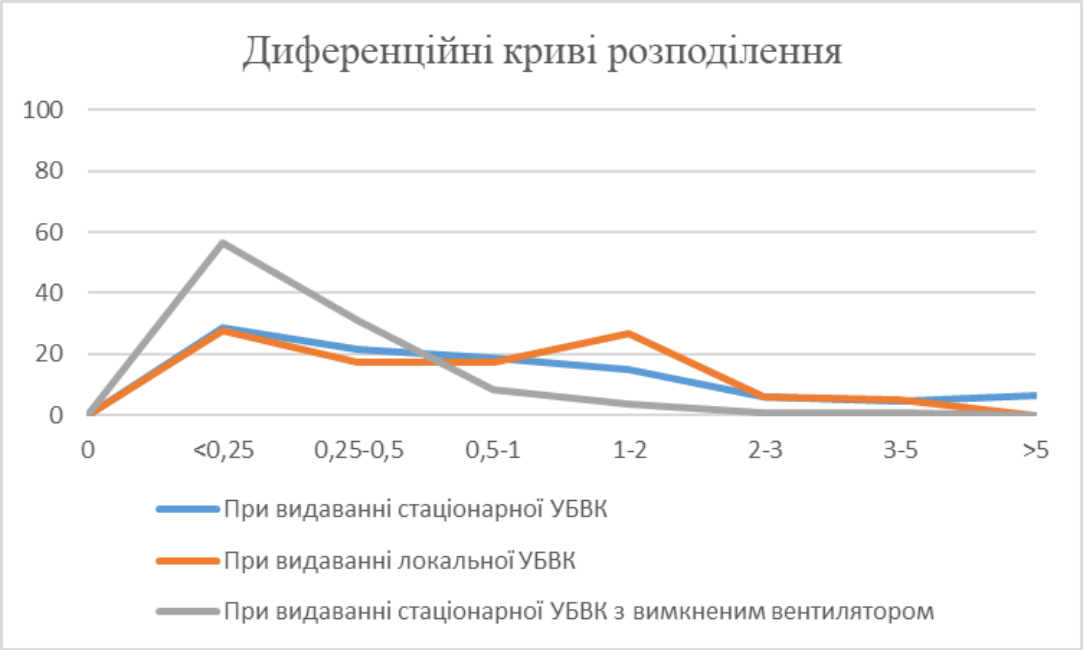


Рисунок 3.2 - Диференційні криві розподілення розмірів пилу для УБВК

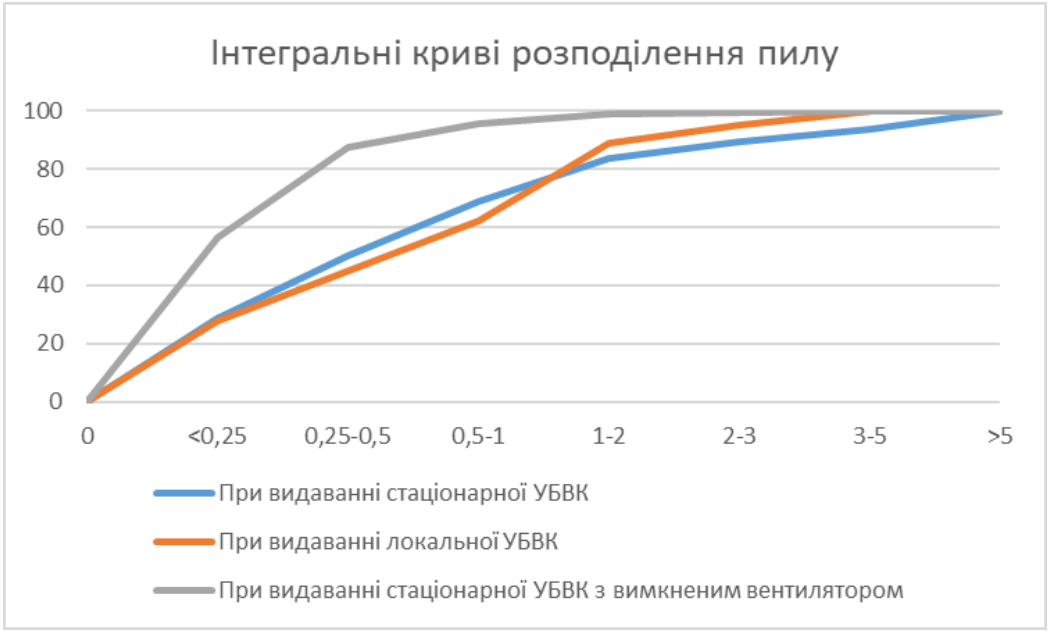


Рисунок 3.3 – Інтегральні криві розподілення розмірів пилу для УБВК

При відсмоктуванні газів видачі вентилятором 180 тис. м^3/год стаціонарної УБВК пилоунесення великого пилу > 0,5 мм досягає 31,3 %, а вентилятором автономної УБВК навіть більше - 55,2 %. Це може вказувати або на більшу ефективність відсмоктування автономної УБВК, або, що більш

імовірно, на більш інтенсивний чад коксового пилу <0,5 мм. Ситовий аналіз пилу, відібраного з колектора стаціонарної УБВК ВАТ МАРКОХІМ при зупиненому вентиляторі, показує, що вміст класу <0,5 мм досягає 87,3 %, а середній розмір частинок мінімальний - 0,334 мм. Звідси можна зробити висновок, що зі зменшенням швидкості відсмоктування газів видачі зменшується і кількість пилу з розмірами більше 3 мм.

Аналізуючи дані щодо гранулометричного складу пилу УБВК різних конфігурацій можна стверджувати наступне: вміст класів у трьох випадках до одного мм складає від 70 до 90 %. Тобто більшість пилу, який виділяється при вивантаженні коксових печей, має розміри до 1 мм. Один із шляхів підвищення ефективності роботи УБВК - збільшення здатності якісно уловлювати саме фракції до 1 мм твердих частинок коксового пилу.

Виконано аналіз основних факторів і специфічних особливостей утворення пилової хмари при видачі коксу. УБВК не можуть бути розраховані на відсмоктування неконтрольованих обсягів пилогазових викидів коксу недостатньої нерівномірної готовності. Вони повинні бути розраховані на відсмоктування газів видачі готового коксу навіть максимального стирання, а швидкість їх відсмоктування повинна бути мінімальною і дорівнювати швидкості теплового потоку. Необхідно запобігати пилового викиду на коксову сторону і чаду коксу, що обумовлені подачею в підзводовий простір повітря для знеграфічування, і створювати спрямований потік газів видачі.

3.3 Аналіз надійності роботи УБВК. Метод «дерево відмов»

Збільшений рівень механізації і автоматизації технологічних і допоміжних процесів коксохімічних цехів, підвищення кількості одиниць обладнання, підвищення конструктивної складності і його енергоозброєності, тісна ув'язка в технологічному процесі значного числа машин і механізмів, апаратів та інших технічних засобів пред'являють підвищені вимоги до надійності обладнання.

Надійність - властивість об'єкта зберігати в часі у встановлених межах значення всіх параметрів, які характеризують здатність об'єкта виконувати задані необхідні функції в заданих режимах і умовах експлуатації, техобслуговування і ремонту, зберігання і транспортування.

На Дніпровському коксохімічному заводі з 1980-х років були розпочаті роботи, пов'язані з вивченням експлуатаційної надійності, інтенсивності відмов у роботі коксових машин і механізмів, організації служб з їх ремонту. Вивчення цих питань відбувалося на підставі збору та аналізу інформації щодо експлуатації основного обладнання коксових цехів (добові рапорти диспетчерської служби заводу, журнали ремонтної служби, графіки ППР та ін.) [15].

Аналіз надійності роботи машин і механізмів в цей період, типи і конструкції яких не зазнали істотної зміни і експлуатуються і нині, не втратив актуальності і в даний час.

Всі причини відмов коксових машин і механізмів можна класифікувати за такими категоріями:

- категорія 1 - коксові печі;
- категорія 2 - коксові машини;
- категорія 3 - коксосортування;
- категорія 4 - зовнішні причини (відсутність шихти і рухомого складу, вплив хімічного крила на виробництво коксу та ін.).

У таблиці 3.2 представлено середню питому вагу відмов за категоріями в 2010-2015 рр. З цих даних видно, що основна частка відмов при виробництві коксу припадає на категорію 2 і становить 70 %. Питома вага інших категорій відмов приблизно однакова. Середньомісячне число відмов і час простоїв коксового виробництва за досліджуваний період склали: 95,6 відмов і 90,7 год.

Розподіл числа відмов по коксовим машинам і часу простоїв внаслідок цих відмов представлено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Середній питомий відсоток відмов коксового обладнання

Категорія відмов	*Питомий відсоток відмов, %*
Коксові печи	10,6
Коксові машини	67,7
Коксосортування	11,7
Зовнішні причини	10,0
Всього	100,0

Таблиця 3.3 – Число відмов

Коксова машина	*Число відмов, %*	*Час простоювання, %*
Коксовиштовхувач	13,6	19,96
Дверезнімальна машина	44,7	40,99
Вуглезавантажувальний вагон	22,9	19,75
Коксовозний вагон	11	11,8
Електровоз	7,8	7,5

Як за кількістю відмов, так і за часом простоїв основні втрати виробництва коксу пов'язані з низькою експлуатаційною надійністю дверезнімальної машини (>41 %). Це пояснюється як умовами, в яких працює ця машина, так і кількістю операцій, виконуваних нею.

Дверезнімальна машина обслуговує коксову сторону батареї і складається з двох основних частин: дверезнімального пристрою і коксонапрямної; оснащена всіма необхідними механізмами для чищення рам і дверей. Машина піддається високим температурним впливам і працює в умовах підвищеної загазованості і запареності.

Для машини характерний інтенсивний абразивний знос рухомих деталей, що відбувається внаслідок її роботи в умовах найбільшої запиленості. Пересування машини на майданчику нерідко пов'язане з певними труднощами, пов'язаними з просипами коксу на шляху пересування і відсутністю можливості надійного прибирання цих шляхів безпосередньо під машиною через відсутність достатнього просвіту між машиною і майданчиком (особливо в нічний час).

Враховуючи низьку експлуатаційну надійність дверезнімальної машини був виконаний аналіз відмов машини за механізмами. На підставі аналізу

вибірки відмов механізмів дверезнімальних машин протягом дворічної її роботи отримали усереднені дані частоти відмов основних механізмів (таблиця 3.4). Найбільш схильні до відмов коксонапрямна, механізми знімання і відведення дверей.

Таблиця 3.4 - Частота відмов основних механізмів

Механизми	Число відмов	
	Одиниці	%
Механізм знімання	33	19
Механизм відведення	29	17
Механизм повороту	17	10
Механизм пересування	12	7
Коксонапрямна	64	37
Привод корзин	17	10
Всього	172	100

Причини відмов механізмом коксових машин з урахуванням характеру руйнувань елементів можна класифікувати наступним чином: 1 - втомне руйнування; 2 - пластична деформація; 3 - повзучість; 4 - крихке руйнування; 5 - порушення зчеплення; 6 – відсутність мастила; 7 - фізичний знос; 8корозійний знос.

У таблиці 3.5 представлений аналіз відмов дверезнімальної машини з урахуванням характеру руйнувань за вказаною класифікацією.

Таблиця 2.5 - Число відмов з урахуванням характеру руйнування

Коксова машина	Число відмов з урахуванням характеру руйнування, %								Сумарне число відмов
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Дверезнімальна машина	5,0	39,5	9,1	13,1	8,1	3,0	23,2	0,0	100

Найбільш характерні причини відмов механізмів дверес'емной машини - це пластична деформація і крихке руйнування.

Ефективним методом перевірки надійності обладнання є метод "дерево відмов", які полягає в докладному дослідженні даного об'єкта. Для цього будується "дерево відмов" і за допомогою математичного апарату проводиться якісний і кількісний аналіз обладнання [16].

Як приклад візьмемо відмову роботи установки безпилової видачі коксу. "Відмова виробничого процесу" - Z, пов'язана з невиконанням функції установки, відбудеться при настанні однієї з наступних подій (рис. 2.4):

- відмовить насос, подія А;
- відмовить вентилятор, подія Б;
- відмовить система зрошення, подія В;
- відбудуться неприпустимі деформації металоконструкції, подія Г;
- не забезпечується очищення пилогазової суміші, подія Д.

Таким чином, відмову виробничого процесу можна представити у вигляді булевої тотожності:

$$Z=A \cup Б \cup В \cup Г \cup Д.$$

Подія "відмовить насос" - А, відбудеться, якщо вийдуть з ладу підшипники А1 або відмовить електродвигун А2:

$$A = A1 \cup A2.$$

Подія «відмовить вентилятор» - Б, відбудеться, якщо відмовить електродвигун Б1 або відбудеться дисбаланс колеса вентилятора Б2:

$$Б = Б1 \cup Б2.$$

Подія «відмовить система зрошення» − В, відбудеться, якщо (вибираємо найважчий період - зима) замерз бак В1, замерзли форсунки В2, забилися форсунки В3:

$$В = В_1 \cup В_2 \cup В_3.$$

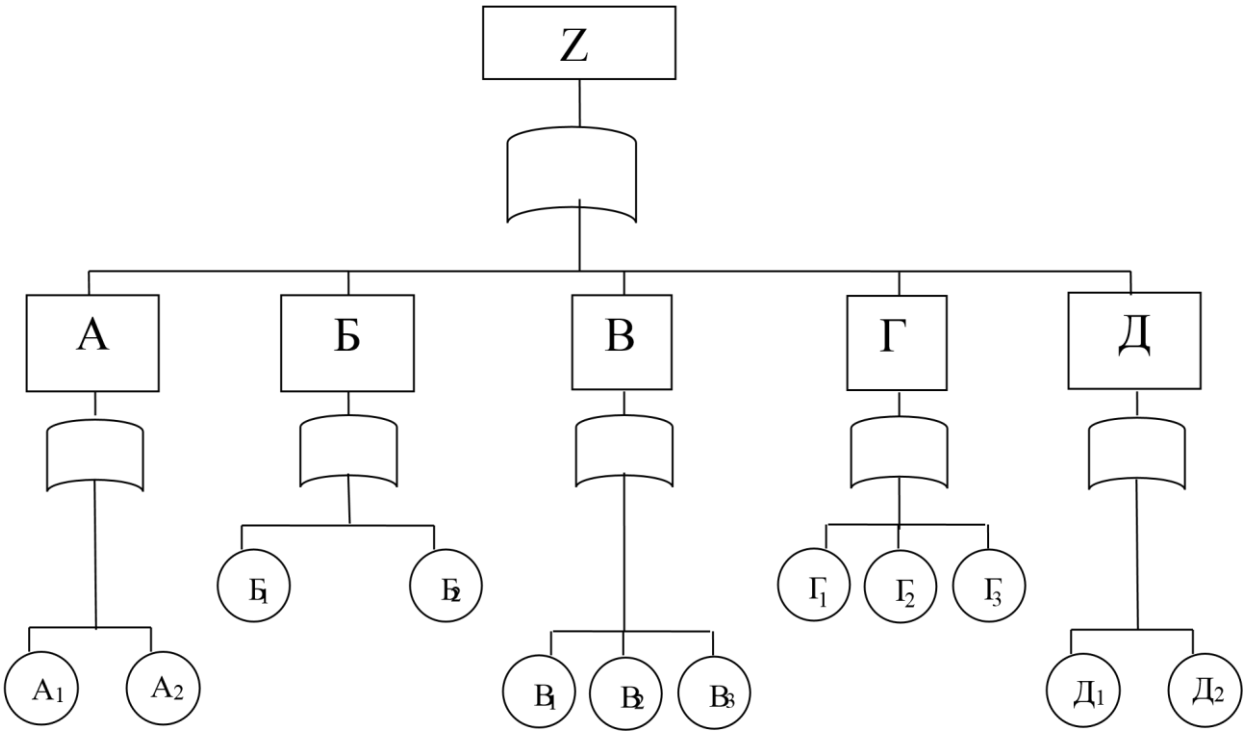


Рисунок 3.4 – Дерево відмов установки безпилової видачі коксу

Подія «відбудеться неприпустима деформація металоконструкції» - Г, відбудеться, якщо лопнуло зварювання Г1, сталася деформація зонтів Г2, сталося зіткнення з кабіною тушильного вагона ГЗ:

$$Г = Г_1 \cup Г_2 \cup Г_3.$$

Подія «не забезпечується очищення пило-газової суміші» - Д, відбудеться, якщо не відрегульовані форсунки Д1 або відмовить апаратура включення електродвигунів насоса і вентилятора Д2:

$$Д = Д1 \cup Д2.$$

«Дерево відмов» тоді прийме вигляд:

$$Z = А_1 \cup А_2 \cup Б_1 \cup Б_2 \cup В_1 \cup В_2 \cup В_3 \cup Г_1 \cup Г_2 \cup Г_3 \cup Д_1 \cup Д_2.$$

Імовірність відмови кожного елемента визначається за формулою:

$$Q_i(t)=1–e^{-\lambda \cdot t},$$

де t – час роботи обладнання, за яке необхідно оцінити ймовірність його відмови;

λ – інтенсивність відмов.

Інтенсивність відмов розраховуємо за формулою:

$$\lambda = \frac{N}{t},$$

де N – кількість відмов, за даний проміжок часу.

Для оптимізації конструкції обладнання або його техобслуговування і ремонту важливим є визначення категорії його елементів, тобто визначення їх внеску.

Визначення значущості елементів проводимо на основі числа появи відмов цих елементів в аварійних поєднаннях з одним або більше елементами за методом Фусселя-Везелі [25].

Оцінка подій проводиться за величиною коефіцієнта значущості, який являє собою відношення сумарної ймовірності появи і-ої події Q_s, у всіх аварійних поєднаннях до ймовірності завершальної події Q(z):

$$F_i = \sum_{j=1}^{n_{AB}} \frac{(Q_i)_j}{Q_c}$$

Основна ідея методу полягає в тому, що вихідна подія, що має низьку ймовірність появи, може сприяти відмові, перебуваючи в декількох аварійних поєднаннях.

Далі, відповідно до величини коефіцієнта значущості і числа аварійних поєднань проводиться розподіл всіх елементів обладнання за категоріями. Найчастіше елементи на практиці розподіляються на дві категорії: I − елементи підвищеної важливості, II − звичайного значення.

За категоріями елементи розподіляються згідно з наступними принципами. До першої категорії обов'язково відносяться елементи, що входять в аварійне поєднання з однією подією, тобто елементи, відмова яких безпосередньо веде до появи небажаного завершального події. Крім того, до першої категорії відносяться і ті елементи, чий коефіцієнт значущості більше або дорівнює величині $F_{ср}$.

Величина середнього коефіцієнта значущості визначається виходячи з того, що метою оптимізації ТОіР є обладнання з елементами, що мають однакову напрацювання на відмову, однакову частоту відмов, ймовірність їх появи і, отже, однакову величину коефіцієнта значущості, рівну в цьому випадку $F_{ср}$. Ця величина визначається діленням коефіцієнта значущості відмови всього обладнання на кількість елементів n, його складових:

$$F_{ср} = \sum_{i=1}^{n} \frac{F_i}{n}.$$

Всі інші елементи обладнання відносяться до другої категорії. Звідси випливає, що ТОіР і удосконалення елементів необхідно проводити в порядку значущості категорій: спочатку для елементів першої категорії, потім – другий.

3.4 ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ УСТАНОВКИ БЕЗПИЛОВОЇ ВИДАЧІ КОКСУ

3.4.1. Рекомендації щодо поліпшення роботи системи беспилової видачі коксу

Реальний ефект від впровадження установок пиловловлювання залежить не тільки від ефективності пиловловлювачів, а й не меншою мірою - від заходів, пов'язаних з локалізацією викидів в місцях виділення.

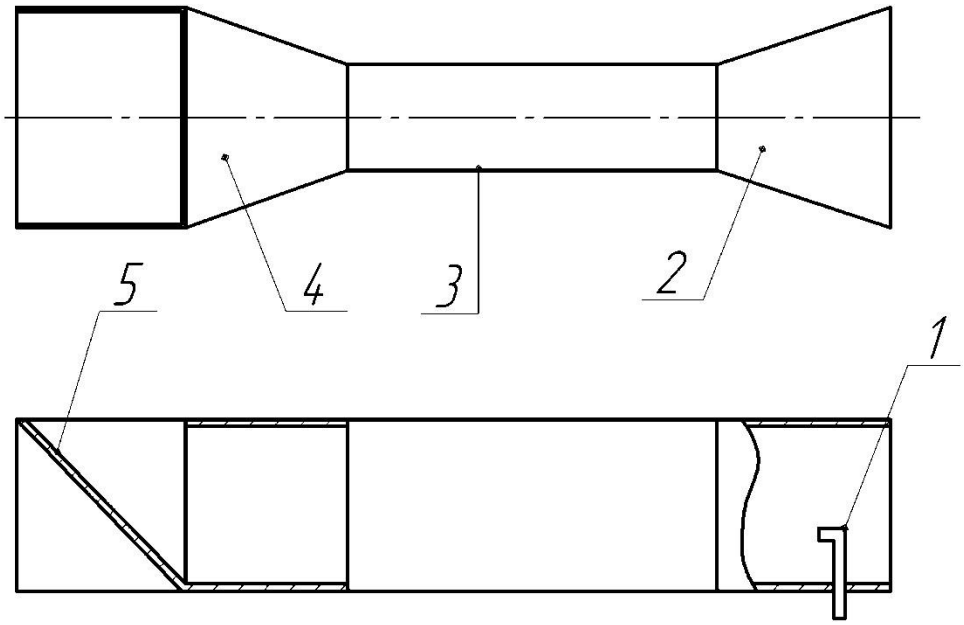
При аналізі проблеми безпилової видачі коксу виявили не тільки недостатність випалювання склепінного графіту стисненим повітрям, але і шкоду від такого технічного рішення, так як значний обсяг повітря із зірваними частинками графіту направляється по підсклепінному простору на коксову сторону, тим самим сприяючи відповідному збільшенню обсягу пило-газового викиду. Розрахунок показує, що за рахунок зниження тиску повітря в повітрозбірнику об'ємом 10 м^3 з 70 до 50-40 кПа при видачі коксу і підвищення його температури з 50 до 700 °С в підсклепінному просторі обсяг цього повітря зростає до 60-90 м^3 в той час як обсяг залишкових летючих речовин готового коксу складає 1,9-3,3 м^3. Стиснене повітря не тільки зриває і випалює графіт, а й інтенсифікує чад залишкових летючих речовин коксу.

Пошук технічного рішення, що запобігає додатковому пиловому викиду на коксову сторону і забезпечує більш ефективне випалювання графіту, привів до використання замість сопла повітряструменевого ежектора. Він складається з сопла, конфузора, камери змішування і дифузора. З метою надання руху змішаного потоку повітря і нагрітих газів видачі на склепіння коксової камери в дифузорі встановлена напрямна лопатка (рис. 3.5). Ежектор змонтований на голівці виштовхувальної штанги замість сопла.

Стиснене повітря, виходячи з сопла, з великою швидкістю захоплює за собою гарячі гази видачі в змішувальну камеру, з якої нагріта газоповітряна суміш надходить в дифузор і лопаткою направляється на звід камери. Таким чином в конфузорі створюється розрідження, а в підсводовому просторі спрямований з коксової сторони наа машинну потік газів. Підігріте в камері

змішувача повітря інтенсифікує процес горіння графіту на зводі і в люках, а завдяки збільшенню швидкісного напору струмінь повністю зриває свіжі відкладення графіту, які не виносяться на коксову сторону, а в залежності від розміру часток або згорають, або випадають на під камери в її об'ємі, який звільняється від коксу і збільшується при просуванні штанги.

Принципово важливим є те, що при просуванні штанги з соплом, як показали вимірювання через люк з коксової сторони, тиск в підсводовому просторі зростає від 0 до 100 Па, в той час як ежектор забезпечує хоча і незначне, але розрідження: до 20-30 Па. При цьому розрахункова швидкість газів видачі по підзводовому простору знижується з 6,5 м/с для варіанту з соплом до 1,4 м/с на машинну сторону для варіанту з ежектором.



1 - сопло; 2 - конфузор; 3 - камера змішувача; 4 - дифузор; 5 - напрямна лопатка

Рисунок 3.5 - Повітряноструменевий ежектор

При контрольованому і достатньому знеграфічуванні зводів і люків камер коксування ежектор повертають на 180° відносно поздовжньої осі. У цьому

випадку зберігається функція створення газоповітряного потоку, спрямованого з коксової сторони в об’єм камери.

Натомість сопла для знеграфічування зводів і люків пічних камер коксової батареї пропонується і випробуваний повітряноструменевий ежектор. Його конструкція відрізняється простотою, надійністю і високою ефективністю.

Ежектор створює розрядження і спрямований потік газів видачі з коксової сторони, а не тиск (як типове сопло) і зменшує пиловий викид на коксову сторону.

При видачі коксу в рухомий гасильний вагон завдання локалізації викидів вирішується набагато складніше. Справа в тому, що довжина вагона не дозволяє повністю укрити зону видачі, і при русі вагона і виході розпеченого коксу з-під зонта над ним виникає висхідний конвекційний потік, захоплюючий запилені гази із зони руйнування коксового пирога. Утворюється звичайний викид у вигляді пилової хмари. Друга проблема полягає в конструктивній складності ущільнення вертикального зазору між зонтом і нагнітачем. Цьому заважає висота кабіни електровоза, яка передбачає спостереження машиніста за рівномірністю розсипання коксу в вагоні. На сучасних підприємствах ця проблема вирішується завдяки чіткому погодженню руху штанги коксовиштовхувача і електровоза і автоматизації цих процесів, виключаючи контроль за розсипанням коксу з боку машиніста. При цьому висоту кабіни електровоза зменшують до висоти вагона, що дозволяє скоротити до мінімуму зазор між зонтом і вагоном. Контур нижній частині зонта повинен повторювати контур верхньої частини гасильного вагона, забезпечуючи мінімальний зазор. Реалізація способу мокрого гасіння коксу з подачею води зверху і знизу дозволяє приймати кокс з однієї постановки вагона і забезпечує можливість ефективної локалізації зони видачі аналогічно коксоприйомному вагону установки сухого тушіння коксу [11].

В даний час розробляється ще один варіант УББК для діючих коксових батарей. Це локальна пиловловлююча установка на дверезнімальній машині з

сухим очищенням запиленого повітря. Для реалізації такого рішення потрібна незначна реконструкція дверезнімальних машин.

Уловлювання пилогазоповітряної суміші передбачено за допомогою зонта з подвійними стінками, встановленого на коксонапрямної. Зонт представляється також первинним «пилевідбійником». Подальше очищення запиленого повітря передбачається в циклоні. Ефективність очищення ≥ 80 %. Відсмоктування пилогазоповітряної суміші проводиться димососом (або пиловим вентилятором) продуктивністю 20 тис. м^3/год. Все обладнання встановлено на дверезнімальній машині.

Локальні установки УБВК мають ряд переваг по ефективності і продуктивності відсмоктування, невеликі капітальні та експлуатаційні витрати, невелике споживання електроенергії, відсутність води і шламового господарства. Ці переваги підтверджують економічну доцільність їх застосування на діючих коксових батареях в умовах обмеженого простору з коксової сторони.

Локальні установки безпилової видачі коксу помітно знижують викиди шкідливих речовин в атмосферу. Впровадження технічної конструкціїї було одним з основних природоохоронних заходів.

3.4.2 Шляхи покращення ефективності роботи установки безпилової видачі коксу

Після впровадження технічного рішення було проведено заміри аналогічно методиці (розділи 3, 4). Проби повітря брали в цих самих точках.

Середні значення вмісту пилу різних фракцій показані в таблиці 5.1.

Ступінь очищення склав:

- для фракції 0-0,25 мм 71 %;
- для фракції 0,25-0,5мм 79 %;
- для фракції 0,5-1 мм 82 %.

Сумарний відносний коефіцієнт очищення для фракцій 0-1 мм склав 77 %.

Таблиця 3.6 - Значення вмісту твердих частинок в залежності від відстані

При видачі коксу із застосуванням локальної УБВК			
На відстані 1 м від печі	1200	757	577
На відстані 5 м від печі	303	120	105
На відстані 10 м від печі	97	63	62
При видачі коксу із застосуванням локальної УБВК з впровадженням технічного рішення			
На відстані 1 м від печі	750	420	320
На відстані 5 м від печі	130	68	45
На відстані 10 м від печі	38	43	24

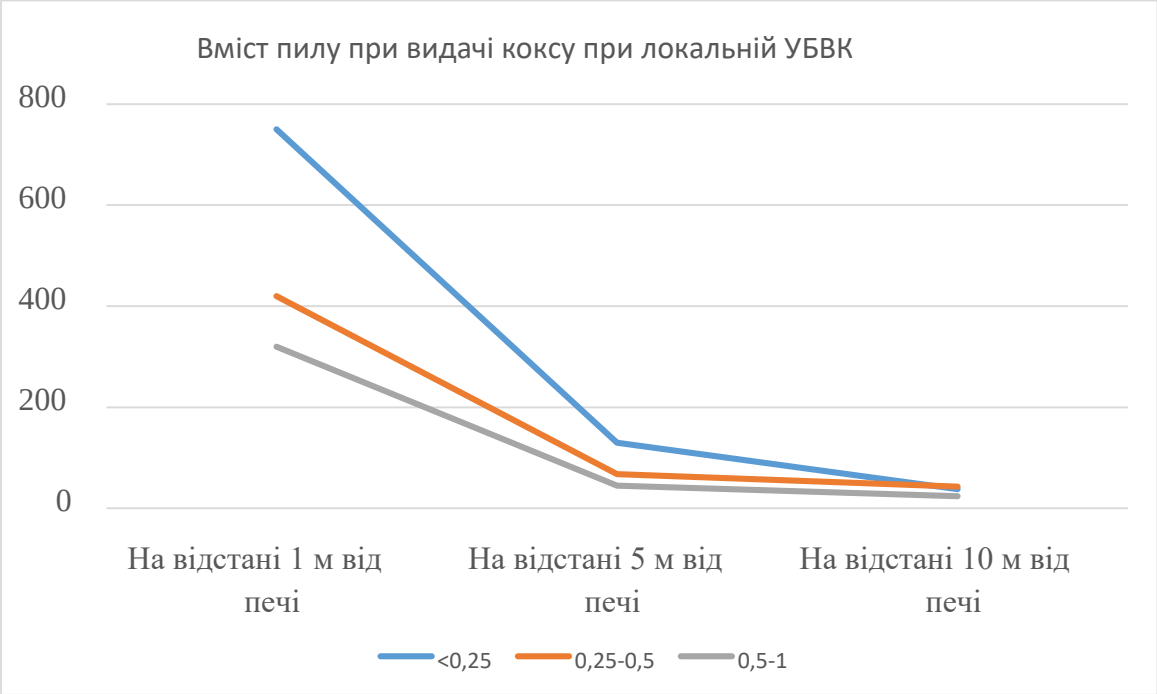


Рисунок 3.5 – Графік залежності вмісту пилу при впровадженнні технічного рішення

Для збільшення коефіцієнту очищення для фракцій 0-1 мм слід додати ступінь очищення. В якості додаткового ступеню очищення в рамках локальної системи безпилової видачі коксу можливо запропонувати впровадження циклонів з продуктивністю до 20 000 м^3/год, з розташуванням зверху зонта локальної УБВК.

Одним із шляхів вирішення запиленності при видаванні коксу є обєднання бездимного завантаження шихти та безпилової видачі коксу. На рис. 5.2 представлена принципова схема розміщення на коксових машинах пристроїв для здійснення комбінованої евакуації та очищення газів видачі

коксу, газів обробки коксових камер і знеграфічування при цьому їх стояків і сводів. На завантажувальному вагоні 1 розміщені парові ежектори 2 і циклони 3 (завантажувальні бункера не показані, нумерація дана тільки з машинного боку). На голівці виштовхувальної штанги 4 коксовиштовхувача встановлений воздухоструйний ежектор 5. З коксової сторони на кінці корзини коксонапрямної 6 укріплений подовжувач 7 з відбійником 8. Верх коксонапрямної і бічні стінки виконані суцільними для зменшення неорганізованих підсосів повітря. Напрямок основних газоповітряних потоків в коксовій камері в момент видачі коксового пирога в гасильний вагон показані стрілками.

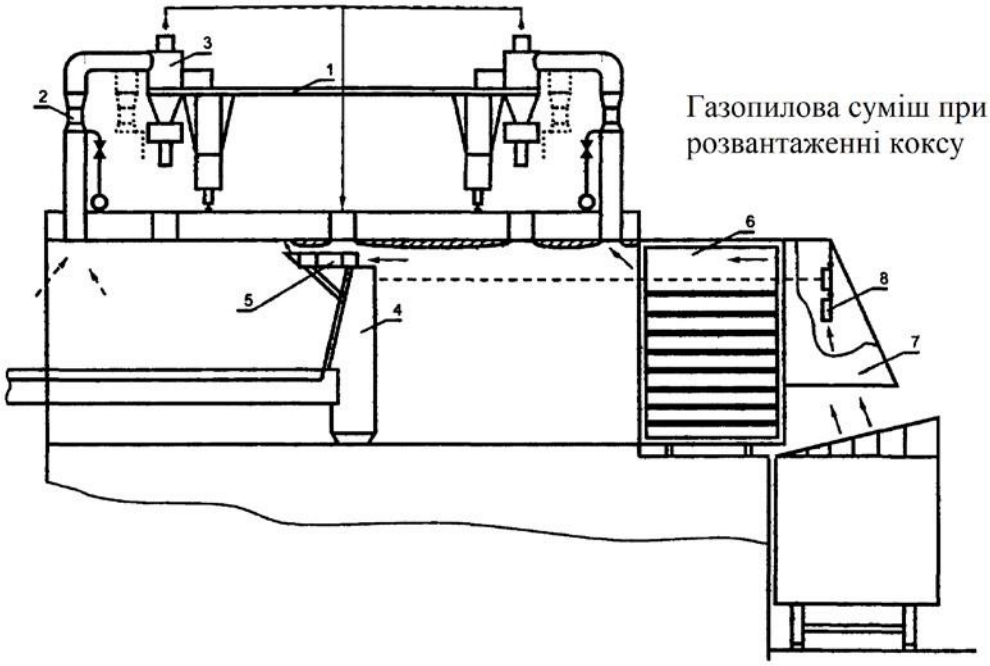


Рисунок 3.6 – Об’єднання установок безпилової видачі коксу та бездимного завантаження коксової печі

Основні переваги такого об’єднання:

- високий ступінь локалізації викидів пилу на коксовій батареї;
- малозатратність встановлення такого обладнання;

- можливість встановлення такого обладнання на будь-яку коксову батарею.

Замість малоефективних, громіздких і металоємних зонтів різних конструкцій для об'ємної евакуації застосована більш ефективна місцева евакуація пилогазового викиду від торцевих поверхонь руйнування коксового пирога. Для зменшення неорганізованих підсосів повітря і чаду коксу герметизований верх і боки корзини коксонапрямною, на якій встановлюють подовжувач з відбійником 2. Замість вентиляторів високої потужності, використовуваних на стаціонарних і автономних установках безпилової видачі, місцеву евакуацію пилогазової хмари, що утворюється при видачі коксу, здійснюють за допомогою парових ежекторів, що встановлюються на стояки з завантажувального вагона. Завдяки цьому виробляються ефективна евакуація і очищення газів обробки коксової камери, інтенсивне знеграфічування стояків. Замість пневматичної форсунки для знеграфічування зводів коксових камер встановлений воздухоструменевий ежектор, який ~ на 25 % запобігає пилогазовому викиду на коксову сторону, більш ефективно видаляє відкладення підзводового графіту і може бути використаний для підвищення ефективності автономних УБВК. Крім того, замість традиційних графіторізів, що працюють при видаленні графіту зі зводів камери на зминання, використовується горизонтальний різець (паралельний зводу) спеціальної конструкції, який ефективно зрізає «графіт» і зменшує амперaж при видачі коксу. Ця конструкція з незначними технічними доповненнями може бути використана для бездимного завантаження коксових печей. Для цього гази завантаження очищають від вугільного пилу в циклонах, направляють в підзводовий простір суміжній печі і інжектують в газозбірник машинної сторони. При цьому забезпечується вибухобезпечність, знижується зольність смоли, зменшується кількість фусів, знижуються витрати пари і води. Цим способом можливо видалення надмірних відкладень графіту з стояків і коксових камер, відповідно до якого використовують різні варіанти установки ежекторів, в залежності від локалізації надмірних відкладень графіту.

Таким чином, ця система оптимально вписується в існуючу технологію виробництва коксу, забезпечує не тільки евакуацію і очищення пилогазової хмари, що утворюється при виштовхуванні коксового пирога, а й газів, що утворюються при обробці коксових камер, інтенсивне примусове знеграфічування стояків і зводів і може застосовуватися для бездимного завантаження. Система або її елементи можуть бути використані на будь-яких діючих коксових батареях.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА В ГАЛУЗІ

4.1 Оцінювання стану безпеки технологічного процесу, рівня механізації й автоматизації

Шихта для коксування подається в коксову батарею в розвантажувальному вагоні. Під час завантаження, шихта розрівнюється за допомогою плануючого пристрою, встановленного на коксовиштовхувачі. Після закінчення завантаження планир видаляють з печі, закривають і ущільнюють кришки завантажувальних люков і повертають завантажувальний вагон під вугільну башту, де його знову заповнюють шихтою для наступної печі.

Коли завантажена шихта, в результаті нагрівання без доступу повітря, перетвориться на кокс, – за допомогою коксовиштовхувачів і дверезнімальних машин, знімають з печі двері, встановлюють виштовхуваючу штангу, і направляючий пристрій виштовхує коксовий «пиріг» з печі. Після видачі коксу двері з обох сторін закривають, ущільнюють і завантажують піч новою порцією шихти. Виданий з печі кокс відвозиться в гасильних вагонах під гасильну вежу, де зрошується водою. Потім кокс вивантажується на рампу і транспортером направляється на коксосортирування.

Газ, що утворюється під час коксування, виходить через стояки в газозбірник, а звідти відсмоктується газодувками в хімічні цехи. Коксові печі обігріваються коксовим, доменним або генераторним газом, які у суміші з повітрям згоряють в обігрівальних каналах. Продукти горіння через димову трубу видаляються в атмосферу. На дверезнімній машині працює дві людини: машиніст і дверевий. У машиніста механізована праця, а у дверового професія ручної праці.

Розрахунок рівня механізації праці робітників цеху здійснюється за формулою:

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

де В – рівень механізації праці;

М – сума людино–годин механізованої праці;

R – сума людино–годин ручної праці.

для електрогазозварника приймаємо М=1:

$$B = \frac{1}{1+7} \cdot 100 = 12{,}5\%$$

Вихідні дані й отримані результати для різних професій зведені в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 – Розрахунок рівня механізації праці

№ п/п	Професія робітників	Штат робітників	Кількість відпрацьованих людино–годин у добу			% механізованої праці
			вручну	за допомогою машин	усього	
1	Електрогазозварник	2	7·2=14	1·2=2	16	12,5
2	Слюсар ремонтник	6	6·6=36	2·6=12	48	25
3	Машиніст	3	0·3=0	8·3=24	24	100
4	Дверовий	3	3·3=9	5·3=15	24	62,5

Таким чином, даних таблиці 4.1 можна зробити висновок, що професій ручної праці – 2, механізованої – 1, змішаної – 1.

4.2 Аналіз потенційних шкідливих факторів виробничого середовища

Машиніст і дверовий в процесі своєї роботи піддаються таким шкідливим факторам як: пил – коксовий, кам'яновугільний, газоподібні хімічні речовини: аміак, фенол, бензол, оксид вуглецю.

Таблиця 4.2 – Технологічна карта умов праці для чергового й ремонтного слюсаря

Фактори	Нормативне значення, ГДК, ГДР	Фактичне значення	III клас шкідливих і небезпечних умов і характер праці			Час дії фактора, % у зміну
			1 сту–пінь	2 сту–пінь	3 сту–пінь	
I. Шкідливі хімічні речовини, мг/м^3						
1 клас небезпеки						
Аміак	0,02	0,02	2			85
2 клас небезпеки						
Фенол	5,0	6,5	1,3			85
Бензол	2,0	4,0	2			85
II. Пил переважно фиброгенної дії, мг/м^3						
Зміст кремнію диоксид – 2,5%	4,0	26,4			6,6	83,1
Пил коксовий кам'яновугільний, 3-4 клас небезпеки	0,3	0,56	1,87			85
III. Шум, дБа	80	93		13		100
IV. Мікроклімат у приміщенні (теплий період року)						
– температура повітря, °С	27	40,5			13,5	83,1
– швидкість руху повітря, м/сек	0,2–0,5	0,27				83,1
– інфрачервоне випромінювання, Вт/м^2	140	794		654		80
V. Робоча поза						
Нахил корпуса в просторі, обумовлений технологічним процесом	28,1%	30%	6,7			
Категорія важкості і напруженості праці: середня, IIб						
Кількість факторів			4	2	2	

1. Гігієнічна оцінка умов праці:

Умови й характер праці відносяться до III класу 3 ступені.

2. Атестація робочого місця:

Робочі місця мають у наявності: 2 фактора 3 ступені,2 фактора 2 ступені, 4 фактор 1 ступені.

3.Пільги та компенсації:

Шкідливості й небезпеки коксового цеху відносяться до фізичної групи [22]. По показниках робоче місце варто вважати з особливо шкідливими й особливо тяжкими умовами праці, що відповідає показникам списку №1 пункт 1. Відповідно до списку №1: скорочений пенсійний вік по пільгових умовах, за умови 10 років «гарячого» стажу, дається додаткова відпустка 7 днів, дається молоко, надбавка до заробітної плати до 24 %.

У таблиці 4.3 наведені фактори виробничого середовища трудового процесу і заходи захисту на ділянці коксового цеху.

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 установки
1	Запилованість	Витяжна вентиляція	КЗ 3	7800 м³/год	У місцях утворення пилу
2	Запиленість	Респіратор ЗІЗОД	«Росток»	≤30 мг/м^3	Індивідуально
3	Шум	Навушники протишумові, біруші	Одноразові	Придатний до 110 дБА	Індивідуально
4	Температура -холодний період -теплий період	Утеплена куртка, ватяні брюки Костюм х/б рукавиці	Тн 20 Ти 15	t≥–20°С t≥15°С	Індивідуально
5	Шкідливі хімічні речовини	Теж, що й при запиленості + костюм х/б, рукавиці	Пм	≤30 мг/м^3	Індивідуально

Всі працівники цеху безкоштовно забезпечені спец. одягом, спец. взуттям і засобами індивідуального захисту. До складу спецодягу входять: костюм х/б тканини, черевики, у зимовий час видається утеплена куртка й ватяні штани [23].

4.3 Технічні рішення по виробничій санітарії

4.3.1 Опалення й вентиляція

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

Дієвим засобом забезпечення необхідних гігієнічних якостей повітря, що сприяють нормальній роботі, і відповідають вимогам [24] передбачена вентиляція деяких робочих місць. Допустимі норми мікроклімату на постійних робочих місцях зазначені в таблиці 7.4.

Таблиця 4.4 – Значення прийнятих параметрів повітряного середовища, що допускають, у робочій зоні приміщень

Період року	Категорія роботи з важкості	Період року			Температура повітря непостійних робочих місць, °С
		на постійних робочих місцях			
		температура повітря, °С	відносна вологість повітря, %	швидкість руху повітря, м/с	
Холодний	Середня IIб	15	75	0,2	13
Холодний	Важка III	13	75	0,3	12
Теплий	Середня IIб	16	70	0,4	15
Теплий	Важка III	15	75	0,5	13

Опалення побутових приміщень здійснюється за допомогою панелей (батарей) у які як теплоносій використовують пару з температурою до 120^0С. Опалення побутових приміщень здійснюється від цеху тепловодозабезпечення.

Висновок: параметри робочого середовища по багатьом пунктам не відповідають допустимим нормам мікроклімату на постійних робочих місцях.

4.3.2 Виробничі випромінювання

Температурний режим у виробничих приміщеннях або в ізольованих його частинах залежить від величини тепловиділень устаткування, агрегатів, нагрітих напівфабрикатів і готової продукції, а також від сонячної радіації, що проникає в цех через відкриті й засклені прорізи. Частина тепла, що надійшла у цех, віддається назовні, а інше, надлишкове тепло, нагріває повітря робочих приміщень.

Робітники гарячих коксових цехів підприємств постійно або періодично піддаються впливу інфрачервоного випромінювання. Інтенсивність опромінення на робочих місцях залежно від розмірів і температури джерел випромінювання й відстані від нього змінюється в широких межах.

Для поліпшення умов праці в гарячих цехах і захисту працюючих від теплового впливу застосовують наступні способи: теплоізоляцію поверхонь, що випромінюють тепло, за допомогою водоохолоджуємих екранів, рам, щитів, завіс й ін.; теплоізоляцію й охолодження робочих місць (постів керування, кабін машиністів кранів й ін.); природну й механічну вентиляцію; повітряне охолодження замкнутих просторів печей, що перебувають у ремонті; спецодяг і індивідуальні захисні пристосування – щитки, екрани, окуляри, світлофільтри; раціональну організацію режиму праці й відпочинку.

4.3.3 Освітлення

Для створення сприятливих умов праці важливе значення має раціональне висвітлення [25]. Незадовільне освітлення затрудняє проведення робіт, веде до зниження продуктивності праці й працездатності очей і може бути причиною нещасних випадків й їхніх захворювань.

Характеристика зорової роботи приміщення ділянки:

– характер робіт	середня точність
– розмір об'єкта розпізнавання, мм	від 1 до 5
– розряд зорової роботи	V
– підрозряд роботи	В
– контрастність об'єкта розпізнавання	середня
– фон	середній
– E_H – штучна, лк	150

Для ремонту встаткування передбачене штучне освітлення.

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

Штучне освітлення проектується двох систем: загальне (рівномірне або локалізоване з урахуванням розташування робочих місць) і комбіноване, коли до загального освітлення додається місцеве. Застосування одного місцевого освітлення не допускається, тому що різкий контраст між яскраво освітленими й неосвітленими місцями стомлює очі сповільнює швидкість роботи й нерідко є причиною нещасних випадків. На ділянці використовуються енергозберігаючі лампи типу LED. Використовуються світильники типу: «Універсаль», «Глубоковипромінювач», а також «Астра».

На ділянці використується природне й штучне освітлення. Прийнята система природного освітлення – бічна.

Слюсар повинен мати V розряд зорової роботи. При загальній системі освітлення освітленість становить Е = 150 лк.

Значення КПО, обумовлене з урахуванням зорової роботи та становить $e^{IV} = e^{III} = 1,5$ % – при бічному освітленні, без стійкого сніжного покрову.

Коефіцієнт світлового клімату для району Запоріжжя m = 0,8. Коефіцієнт сонячності клімату с = 0,7. Нормований коефіцієнт природної освітленості

$$e^{IV}_{н} = e^{III} \cdot m \cdot c = 1,5 \cdot 0,8 \cdot 0,7 = 0,84\ \%. \quad (4.2)$$

Аварійне освітлення для продовження роботи

$$E_{ав.раб.} = 10\% \cdot E = 0,1 \cdot E = 0,1 \cdot 150 = 15\ лк. \quad (4.3)$$

Аварійне висвітлення для евакуації людей

$$E_{ав.эв.} = 5\% \cdot E = 0,05 \cdot E = 0,05 \cdot 150 = 7,5\ лк. \quad (4.4)$$

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

4.4 Техногенна безпека

4.4.1 Заходи безпеки праці

З метою попередження нещасних випадків забороняється ущільнювати двері під час планування вугілля, так як при цьому тиск в печі підвищується, і полум'я може вибитися через нещільності між дверима і армуючої рамою.
Через направляючу раму дверезнімних машин кокс з печі надходить у гасильних вагон. Електровоз з гасильних вагоном переміщається по шляхах, прокладених меж ним вздовж фронту печей, в умовах поганої видимості через велику кількість пари.

Машиніст електровоза, приймаючи зміну, повинен ретельно оглянути сигнали, гальма, повітряну магістраль, струмоприймачі, зовнішнє і внутрішнє освітлення, перевірити наявність електрозахисних засобів (килимків та гумових

рукавичок) і жетона на право керування електровозом. Під час руху гасильного вагона по напрямку до башти гасіння втрачається видимість, тому необхідно встановити на гасильному вагоні автоматично діючу сигналізацію, щоб протягом всього шляху до башти гасіння з електровоза подавалися безперервні звукові сигнали. При русі гасильного вагона від башти в сторону рампи машиніст зобов'язаний, крім подачі сигналів, спостерігати за шляхами. Ходіння по коліях гасильного вагона категорично забороняється. Під час руху гасильного вагона з коксом можливі випадки самовільного відкривання фартухів, в результаті чого кокс висипається на майданчик у шляхів. Тому ходіння з коксової сторони дозволяється не ближче ніж за 4-5 м від шляху гасильного вагона. Машиніст перед прийомом коксу зобов'язаний перевірити, чи надійно зачинені фартухи і чи достатньо тиск стисненого воздуха того повітря. Коли проводиться ремонт транспортерів однією з рамп, погашений кокс з обох гасильних вагонів, виїжати на іншу (діючу) рампу забороняється.

Це пов’язано з небезпекою зіткнення електровозів. Тому переїзд гасильного вагона з одного блоку в інший повинен бути правильно організований начальником зміни, який зобов'язаний особисто керувати рухом обох гасильних вагонів. При роботі двох електровозів на одній рампі швидкість їх руху повинна бути зменшена. Місце виходу людей на шляху з приміщень, розміщенний під вугільною вежею, потрібно обладнати звуковою і світловою сигналізацією, які автоматично включаються під час переїзду коксовиштовхувача з одного блоку печей на інший. Шляхи гасильного вагона необхідно періодично очищати від просипання коксу. Як правило, очистка шляхів повинна проводитися тільки в період цикличних зупинок, коли кокс з печей не видається. Перед початком очищення шляхів машиніст ставить електровоз з гасильним вагоном в гараж, а ключ-реверс (жетон на право управління) передає керівнику робіт з очищення колій, після чого з тролеїв знімається напруга. Після закінчення робіт з очищення шляхів машиніст і майстер повинні переконатися у відсутності людей на шляхах, по яких

рухається гасильний вагон. Потім включається напруга і машиністу повертається жетон.

4.4.2 Пожежна безпека

Пожежна небезпека коксових цехів обумовлюється властивостями горючих газів (коксовий газ, доменний газ), твердих речовин (кам'яновугільна шихта, кокс). При неправильному пристрої газорозподільних приладів можлива загазованість території коксових цехів, а при наявності джерел запалювання – спалахи і швидке поширення вогню по території цеху.

Характерними джерелами запалювання є: відкрите полум'я газових форсунок; іскри при проведенні газозварювальних ремонтних робіт; кокс, нагрітий до температури вище температури само–займання; розряди статичної та атмосферного струму; іскри механічного походження (удари сталевих предметів і т.п.); іскри електричного походження (коротке замикання, великі перехідні опори тощо). Основною умовою попередження пожеж, вибухів і отруєнь є герметизація всіх апаратів, газопроводів, газової арматури і т.п. Виявлені нещільності повинні бути своєчасно ліквідовані, при чому підтягування болтів різної аппаратури проводиться інструментом, що не дає іскри при ударі по сталі, а чеканку заклепочних швів виробляють обмідненим інструментом. У печах з нижнім підведенням газу в подбатарейном приміщенні, де розташовуються газопроводи і опалювальна арматура, щоб уникнути утворення вибухонебезпечних концентрацій передбачається провіттрення всього приміщення за рахунок раціонального підведення повітря на опалення печей. На газопроводах батарей для їх відключення встановлюються задвижки і передбачається можливість установки заглушок по ходу газу.

Для випуску в атмосферу надлишку очищеного коксового газу уста–новлюють газозбросний пристрій, автоматично включається при підвищенні надлишкового тиску в газопроводі. Газозбросні пристрої встановлюються на відстані не менше 30 м по горизонталі від сусідніх споруд. Якщо ця вимога не

виконєна, то гирло пристрою виводиться на висоту, що перевищує сусідню будівлю та обслуговуючі майданчики не менше ніж на 15 м. Висота газосбросного пристрою передбачається не нижче 30 м від уровня землі при розрахунковій кількості скидного газу до 50000 м3 • ч–1 і не нижче 45 м при великих кількостях скидаємого газу. Діаметри свічок на газозбірниках коксових батарей розраховуються на забезпечення необхідного тиску при повному припиненні отсоса і автоматичного відкривання при перевищенні зазначеного тиску. На всіх батареях висота газосбросних свічок передбачається не менше 4 м від площадки обслуговування газозбірників .

Коксовиштовхувальні машини можна віднести до категорії пожаронебезпеки В – П I, так як на машині використовується гідравліка і є бак з маслом більше 60 літрів. На машині повинен бути вогнегасник пінний або порошковий, а для гасіння електропроводки застосовують вуглекислотні вогнегасники. На контрофорсах батареї передбачений пожежний щит і розводка пожежно – питної води, а також ящики з піском.

До первинних засобів пожежогасіння в коксовому цеху видносять: вогнегасники пінні серії ВХП–10, ВВП–10 і вогнегасники вуглекислотні серії ВВ–2, ВВ–5, ВВ –8, пожежний реманент (покривало з негорючого теплоізоляційного полотна, ящики з піском, пожежні цебра, совкові лопати, ломи, сокири, пожежні рукава) [26].

Цех має внутрішній протипожежний водогін з пожежними кранами й рукавами.

На території заводу забороняється:

– курити в неналежних місцях, а курити необхідно в спеціально відведених місцях;
– закривати й захаращувати проїзди, під'їзди й підходи до будинків, водопроводів і пожежним гідрантам;
– виключати окремі ділянки водопровідної мережі, внутрішні пожежні крани, знижувати встановлений тиск у мережах;

– допускати до вогневих робіт осіб неминулих інструктаж пожежного тех. мінімуму;

– користуватися водою з пожежних водойм і засобами пожежогасіння не за прямим призначенням;

– застосовувати відкритий вогонь при огляді устаткування.

4.5 Рішення з покращення умов роботи оператора коксовиштовхувача та розрахунок звукоізоляції пульта керування

Виробничим шумом називається – шум на робочих місцях, на ділянках або на території підприємств, який виникає під час виробничого процесу.

З метою захисту від шуму обслуговуючого персоналу на виробничих місцях з шумними технологічними процесами або з шумним устаткуванням необхідно встановлювати кабіни спостереження і дистанційного контролю.

Використовуючи звукоізоляційні кабіни, можна забезпечити практично будь-яке необхідне зниження шуму. Кабіни виготовляють з цегли, бетону і інших будівельних матеріалів. Внутрішня поверхня кабіни покрита звукопоглинальним матеріалом з максимальними коефіцієнтами звукопоглинання в діапазоні (250 – 2000 Гц).

Згідно з ДСН 3.3.63037-99 звукоізоляційні кабіни виходячи з міри ізоляції від шуму підрозділяються на чотири класи – таблиця 4.5.

Таблиця 4.5 – Ізоляція кабін від шуму, дБА

Клас кабіни	Середня геометрична частота октанової смуги							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	25	30	35	40	45	50	50	55
2	15–24	20–29	25–34	30–39	35–44	40–49	40–49	35–44
3	5–14	10–19	15–24	20–29	25–34	30–39	30–39	25–34
4	0–4	0–9	5–14	10–19	15–24	20–29	20–29	15–24

Необхідне зниження шуму кабіною визначається по формулі:

$$R_{каб.} = L_{ш} - L_{доп}; \quad (4.5)$$

де $L_{ш}$ – октановий рівень звукового тиску на робочому місці шумного приміщення на певному місці установці кабіни (дБА), вимірюється в діючому приміщенні.

Октановий рівень звукового тиску на робочому місці визначається по формулі:

$$L_{ДОП} = L_{Ш} - 20 \cdot Lg\left(\frac{R}{R_1}\right); \quad (4.6)$$

де $L_{Ш}$ – рівень звукового тиску на відстані (R) від джерела шуму, R = 3 м;

$L_{ДОП}$ – допустимий рівень звукового тиску на робочих місцях в кабіні, $L_{ДОП}$ = 80 дБА; при R_1 = 1 м;

Таким чином:

$$80 = L_{ш} - 20 \cdot Lg\left(\frac{3}{1}\right) \Rightarrow L_{ш} = 80 + 9{,}5 = 89{,}5 \text{ дБА}.$$

Підставимо числові значення у вираження (4.5) і отримаємо:

$$R_{каб.} = 89{,}5 - 80 = 9{,}5 \text{ дБА}.$$

В таблиці 4.6 наведено основні вибрані елементи кабіни

Необхідна звукоізоляція кожного елементу визначається по формулі:

$$R_{Hi} = R_{сер} + 10Lg\frac{S_i}{S_{заг}} + 10Lg \cdot n \qquad (4.7)$$

де $S_{заг}$ – загальна площа обгороджування, м^2;

S_i – площа, окремого елементу, м^2 (табл. 7.6)

n – кількість елементів;

Таблиця 4.6 – Вибір елементів кабіни

Конструкція	Поверхнева щільність (кг/м^2)	Товщина, мм		Середньо геометрична частота октанової смуги (Гц)
		Елементу	Повітряного проміжку	1000
Цегляна кладка, що мурується з двох сторін	220	140	–	48
Одинарне вікно з органічним склом	–	5	–	28
Стандартні двері з щільними прокладеннями з пористої гуми	–	40	–	26
Перекриття ПХВ	320	20		48

Приймаємо:

- площа дверей – $S_д = 2,1$ м^2 ;
- площа вікна – $S_о = 4,14$ м^2 –
- площа перекриття – $S_п = 12$ м^2,
- площа цегляної кладки, мурованої з однією сторони $S_к = 35,76$ м^2.

Т.я. кабіна розділена умовно на елементи (двері, вікно, перекриття, мурована кладка) виконаємо розрахунок необхідної звукоізоляції кожного елементу прийнявши n=1. Тоді підставивши числові значення у вираження (4.7) отримаємо:

- для цегляної кладки, мурованої з однією сторони:

$$R_{нК} = 17,5 + 10Lg\frac{35,76}{34} + 0 = 15,7 \text{ дБ.}$$

– для одинарного вікна з органічним склом:

$$R_{нО} = 25,198 + 10Lg\frac{4,14}{34} + 0 = 14,04 \text{ дБА.}$$

– для стандартних дверей з прокладеннями ущільнювачів з пористої гуми:

$$R_{нД} = 25,198 + 10Lg\frac{2,1}{34} + 0 = 9,1065 \text{ дБА.}$$

– для перекриття:

$$R_{нП} = 25,198 + 10Lg\frac{12}{34} + 0 = 13,665 \text{ дБА.}$$

Середня ізоляція шуму цієї неоднорідної конструкції (кабіни) визначається по формулі:

$$R_{сер} = 10 \cdot Lg\left(\frac{S_{заг}}{\sum_{i=1}^{n} S_i \cdot 10^{-0,1R_i}}\right), \qquad (4.8)$$

де R_i –звукоізоляція, окремого елементу, дБА (табл. 4.6);

Підставимо числові значення у вираження (7.8) і отримаємо:

$$R_{сер} = 10 \cdot Lg\left(\frac{34}{2,1^{0,1\cdot 26} + 4,14^{-0,1\cdot 28} + 35,76^{-0,1\cdot 48} + 12^{-0,1\cdot 48}}\right) = 17,5 \text{ дБА.}$$

Оскільки ($R_{сер} < R_{каб}$) то в цьому випадку розрахунок закінчений. На підставі розрахунку вибираємо кабіну машиніста коксовиштовхувача класу 2 з розмірами, (а = 4м) (в = 3м) (h = 3м).

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Ознайомлення з технологією й устаткуванням коксового виробництва ПрАТ «Запоріжкокс» показало, що одним з основних «вузьких» місць цеху є незадовільна робота планірного пристрою коксовиштувхувача, і як наслідки незаплановані простої пов’язані з його ремонтами.
2. На підставі наведеного огляду й аналізу технічної й патентної літератури встановлено, що для видачі коксу з печі у світовій практиці використовуються різні конструкції машин, які мають ті ж самі недоліки, що й агрегати ПрАТ «Запоріжкокс».
3. Розроблено математичну модель планування шихти та проведено математичне моделювання взаємодії планірної штанги та шихти. З використанням розробленої математичної моделі встановлено залежності механічних напружень, які виникають при плануванні шихти. Проведено численні дослідження різних вихідними фізико-механічними характеристиками вугільних шихт при різній вологості, вмісту сполучного, крупності, щільності і встановлені закономірності зміни цих характеристик при різних механічних впливах. Встановлено залежності коефіцієнту внутрішнього тертя кам’яновугільної шихти. Виявлено залежності коефіцієнту зовнішнього тертя кам’яновугільної шихти по металу.
4. З використанням метода «дерева відмов» проведений аналіз надійності планірного пристрою коксовиштовхувача.
5. Визначено основні параметри планірного пристрою коксовиштовхувача, такі, як силу опору пересуванню штанги (складає 13,7 кН), потужність приводу (складає 47 кВт) та інші. Також визначено основні конструктивні параметри планірного пристрою.
6. Представлено шляхи модернізації конструкції планірного пристрою коксовиштовхувача. Підвищення щільності завантаження складає до 10 %.

7. Результати роботи можуть бути використані не тільки на ПрАТ «Запоріжкокс», але й на інших підприємствах чорної й кольорової металургії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Coke production. *Dictionary Geotechnical Engineering/Wörterbuch GeoTechnik*. Berlin, Heidelberg, 2014. P. 250. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-642-41714-6_33101 (date of access: 18.12.2023).
2. Остапенко М.А. Технологічне обладнання хімічних цехів коксохімічних заводів: Навч посібн. Для вищіх навчальних закладів / М.А. Остапенко. – Донецк : ДонНТУ, 2011. – 166 с.
3. Шульга І. В. Розрахунок і проєктування обладнання вуглепідготовчих і коксових цехів коксохімічних виробництв : навч. посібник / І. В. Шульга, Д. В. Мірошниченко. – Харків : Планета-Прінт, 2020. – 319 с.
4. Fieldner A. C. Coal for coke production. Washington, DC : U.S. Dept. of the Interior, Bureau of Mines, 1950. 21 p.
5. ДСТУ 3472-96. Угли бурые, каменные и антрацит. Классификация / Вугілля буре, кам'яне та антрацит. Класифікація.
6. ТУ В 322-00190443-114-96. Кокс доменний. Технічні умови.
7. ТУ У 322-00190443-130-97. Шихта вугільна. Технічні умови.
8. ТУ В 322-00190443-120-97. Орешек коксовый. Технічні умови.
9. ТУ У 322-00190443-011-96 Мелочь коксовая. Технічні умови.
10. Історія [Електронний ресурс] // Метінвест. Запоріжкокс. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: https://zaporozhcoke.com/istorija/.
11. ПРИСТРІЙ ДЛЯ ОБСЛУГОВУВАННЯ ДВЕРЕЙ І РАМ КОКСОВИХ ПЕЧЕЙ: АС 15181 UA : МПК (2006) C10B 25/00 C10B 43/00 / Бондарєв Олександр Олександрович, Гетьман Володимир Миколайович – № u200512485, заявл.23.12.2003; опубл.15.06.2006, Бюл. №6, 5 с.
12. УСТАТКОВАННЯ ДЛЯ ОБСЛУГОВУВАННЯ БАТАРЕЇ КОКСОВИХ ПЕЧЕЙ: АС 49432 UA : МПК6 C10B35/00 / Бондаренко Володимир Михайлович, Каліберда Микола Стефанович, Рудика Віктор Іванович,

Зінгерман Юрій Юхимович, Каменюка Вячеслав Борисович – № 2001128422, заявл.07.12.2001; опубл.16.09.2002, Бюл. №9, 5 с.

13. Jackman H. W. Drying and preheating coals before coking: Individual coals. Urbana, Ill : Illinois State Geological Survey, 1968. 26 p.
14. Карвацький А. Я. Механіка суцільних середовищ [Електронний ресурс]: навч. посіб. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2016. – 289 с.: іл. – Бібліогр.: с. 283–284.
15. Карвацький А.Я. Метод скінченних елементів у задачах механіки суцільних середовищ. Програмна реалізація та візуалізація результатів [Електронний ресурс]: навч. посіб. – К.: НТУУ «КПІ», 2015. – 391 с.
16. Карвацький А. Я. Механіка суцільних середовищ. Задачі з розв'язками [Електронний ресурс]: навч. посіб. – К.: НТУУ «КПІ», 2016. – 390 с.
17. Peckham S. F. Solid Bitumens, Their Physical and Chemical Properties and Chemical Analysis: Together with a Treatise on the Chemical Technology of Bituminous Pavements. Creative Media Partners, LLC, 2018.
18. Coke Oven Techniques. Dordrecht : Springer Netherlands, 1982. URL: https://doi.org/10.1007/978-94-009-7367-1 (date of access: 18.12.2023).
19. Numerical methods in structural mechanics: Presented at the 1995 Joint ASME Applied Mechanics and Materials Summer Meeting, Los Angeles, California, June 28-30, 1995 / ed. by J. J. W, American Society of Mechanical Engineers. Applied Mechanics Division., Joint ASME Applied Mechanics and Materials Summer Meeting (1995 : Los Angeles, Calif.). New York, N.Y : American Society of Mechanical Engineers, 1995. 235 p.
20. Foch P., Boyer A., Loison R. Coke: Quality and Production. Elsevier Science & Technology Books, 2014.
21. Правила технічної експлуатації коксохімічних підприємств і виробництв // ПТЕ-2017 Харьков.-2017. 342 с.
22. Dixon G. Washing Machines, Washer Driers and Tumbledriers: The Complete Step-by-step Guide to the Installation, Repair and Maintenance of Front-loading Appliances (Haynes for Home DIY). Haynes Publishing, 1995. 192 p.

23. Edward C. The third part of the institutes of the laws of England: Concerning high treason, and other pleas of the Crown and criminal causes. Union, N.J : Lawbook Exchange, 2002.
24. Монтаж, експлуатація та ремонт обладнання хімічних виробництв / І. В. Коваленко., 2011. – 575 с.
25. Taĭts E. M. Coke and ferro-coke production based on briquetting. Boston Spa (Yorks.) : National Lending Library for Science and Technology, 1967. 270 p.
26. Manufactures: Production of coke, Pocahontas Flat Top field. / ed. by W. J. D, United States. Bureau of the Census. Washington, D.C : [s.n.], 1892.
27. Manolov I. Processes and Apparatus in Chemical-Pharmaceutical Technology: The Synthesis of Medicinal Products. Cambridge Scholars Publishing, 2022.
28. The life of coke ovens and new coking processes under development: Technical exchange session / ed. by International Iron and Steel Institute. Committee on Technology. Brussels, Belgium : International Iron and Steel Institute, 1992. 78 p.
29. Coke S. The role of multinational corporations in the transfer of technology to developing countries.
30. Method for management of coal charge in coke oven. *Fuel and Energy Abstracts*. 2001. Vol. 42, no. 1. P. 49. URL: https://doi.org/10.1016/s0140-6701(01)80530-0 (date of access: 19.12.2023).
31. А.С. N 1237697 СРСР, МКИ С10В 37/02. Заявка N 3815626. Заявл. 26.11.84; Опубл. 15.06.86, Бюл. N 22. Планирная штанга. Парфенюк А.С., Веретельник С.П., Хромов Н.А., Булатов А.А., Шубин В.С., Власов Г.А., Романенко Е.П.
32. Bloch H. P., Geitner F. K. Repair and Maintenance of Mechanical Seals and Rotating Equipment Components. *Practical Machinery Management for Process Plants*. 1990. P. 430–486. URL: https://doi.org/10.1016/b978-0-08-051057-6.50012-9 (date of access: 19.12.2023).

33. Toll H., Worberg R. Latest coke plant projects in Europe and China. *Revue de Métallurgie*. 2004. Vol. 101, no. 4. P. 255–259. URL: https://doi.org/10.1051/metal:2004195 (date of access: 19.12.2023).
34. Tapken R. First aperation experiences coke oven machines in most modern coking plant of the world Schwelgern / dipl.-ing Rolf Tapken, doc/ Johannes Hartl – 6-th Annual EuroCoke Summit 2010-Libon, 28-29 april 2010.
35. Horton R. M. Stained Glass Quilting Technique. C & T Pub, 1984.
36. Щербина В. Ю., Чернега С.М., Лелека С. В., Новохатська Ю.М. Навчальний посібник з дисципліни «Методологія проектування» Розділ: Пошук перспективних проектних рішень в мережі INTERNET. 2014. – 60 с.
37. Жук А. Я. Основи технічного диагностування. Навчально – методичний посібник / А. Я. Жук, Г. П. Малишев. – Запоріжжя: ЗДІА, 2007. – 114 с.
38. 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.
39. 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.
40. 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.

41. Геврик Е. О. Охорона праці. Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. / Е. О. Геврик. – К: Ельга, Ніка–центр, 2003. – 280 с..
42. Ткачук К. Н. Охорона праці та промислова безпека. Навч.посіб. / К. Н. Ткачук. та ін. – К: Основа, 2009. – 360 с.

СПИСОК ГРАФІЧНОГО МАТЕРІАЛУ

№ п/п	Найменування	Кільк. листів	Формат
1	Коксовиштовхувач	1	А1
2	Дверезнімальний пристрій	1	А1
3	Дверезнімальний пристрій (модернізація)	1	А1
4	Гідроциліндр механізму переміщення дверізнімальної штанги	1	А1
5	Обгрунтування раціональної конструкції гідравлічного приводу дверезнімної штанги	1	А1
6	Оптимізація габаритних розмірів гідроциліндра	1	А1
7	Кабіна керування коксовиштовхувачем	1	А1

ДОДАТКИ