

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет машинобудування, екології та хімічних технологій
Кафедра обладнання видобувних та переробних комплексів

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

А.А. Топоров

(підпис)

« » 2020 року

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Магістр

на тему: «Обґрунтування шляхів підвищення ефективності роботи установки безпилової видачі коксу»

Виконав: магістр 2-го курсу, групи ТПМзм-18

Спеціальності 133 Галузеве машинобудування, спеціалізації «Техніка
переробки сировинних матеріалів»

Хомутов Едуард Євгенович

(підпис)

Керівник доц., к.т.н., Костіна Олена Дмитрівна

(підпис)

Рецензент доц., к.т.н.,

(підпис)

Рецензент доц., к.т.н.,

(підпис)

*Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.*

Студент

(підпис)

Покровськ – 2020

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Факультет машинобудування, екології та хімічних технологій

Кафедра «Обладнання видобувних та переробних комплексів»

Освітньо-кваліфікаційний рівень - магістр

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування, спеціалізація «Техніка переробки сировинних матеріалів»

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Завідувач кафедри ОВПК

_____ А.А. Топоров
(підпис)

“ _____ ” _____ 20__ року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

_____ Хомутову Едуарду Євгеновичу _____

1. **Тема роботи** «Обґрунтування шляхів підвищення ефективності роботи установки безпилової видачі коксу»

Науковий керівник роботи: Костіна Олена Дмитрівна, доц., к.т.н.

затверджені наказом по університету від “ _____ ” _____ 20__ року № _____

2. Строк подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи: _____

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) _____

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) _____

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи магістра

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів роботи	Примітка

Студент _____ Хомутов Е.Є.
(підпис)

Науковий керівник _____ Костіна О.Д.
(підпис) (

АНОТАЦІЯ

Хомутов Е.Є. Обґрунтування шляхів підвищення ефективності роботи установки безпилової видачі коксу / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування» (спеціалізація «Техніка переробки сировинних матеріалів»). ДВНЗ ДонНТУ, Покровськ, 2020.

Обґрунтування шляхів підвищення ефективності роботи установки безпилової видачі коксу є актуальною темою тому, що випуск коксу для металургічних потреб тягне за собою екологічне забруднення. Однією 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.

Об'єкт дослідження – технологічні та механічні процеси в установці для безпилової видачі коксу.

Мета роботи – обґрунтувати шляхи підвищення ефективності роботи установки безпилової видачі коксу.

Методи дослідження - математичне моделювання руху пилу та уловлення за допомогою розпилювання води.

Розглянуто гранулометричний склад пилу при експлуатації різних видів установок безпилової видачі пилу.

Виявлена залежність фракцій пилу від відстані коксових батарей під час видачі коксу, під час закритих коксових печей.

Рекомендовані шляхи підвищення ефективності роботи установок безпилової видачі коксу.

ПИЛ, КОКС, БЕЗПИЛОВА ВИДАЧА, ФРАКЦІЇ, УЛОВЛЕННЯ, КОНСТРУКЦІЯ, ЕФЕКТИВНІСТЬ,

ANNOTATION

Homytov E.E./ Rationale for ways to improve the efficiency of the installation of dustless coke dispensing / Graduation qualifying work for obtaining an educational degree "Master" in specialty 133 "Sectoral engineering" (specialization "Raw material processing equipment"). DonNTU, Pokrovsk, 2020.

Justification of ways to improve the efficiency of the installation of dust-free coke distribution is an urgent topic because the production of coke for metallurgical needs entails environmental pollution. One of the stages of coke production is the delivery from the coke oven. With the publication of coke occurs a release of hazardous substances. To prevent the release of dangerous substances when issuing coke, various types of installations are used for dust-free delivery of coke.

The object of research is installations for dust-free distribution of coke.

The purpose of the work is to justify ways to improve the efficiency of the installation of dust-free coke dispensers.

Research methods-mathematical modeling of dust movement and capture by water spraying.

The granulometric composition of dust in the operation of various types of dust-free installations is considered.

The dependence of the dust fractions on the distance of the coke batteries during the delivery of coke, during closed coke ovens was revealed.

Recommended ways to improve the efficiency of installations are dust-free coke dispensers.

DUST, COKE, DUST-FREE OUTPUT, FRACTIONS, CAPTURE,
CONSTRUCTION, EFFICIENCY

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ	8
ВСТУП	9
1. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ УСТАНОВОК БЕЗПИЛОВОЇ ВИДАЧІ КОКСУ	11
1.1 Актуальність підвищення ефективності роботи установок безпиллової видачі коксу	11
1.2 Аналіз процесів, що відбуваються з сировиною в технологічному процесі. Основні властивості коксу	13
1.3 Моніторинг процесу пилоутворення при вивантаженні коксу	22
1.4 Аналіз існуючих методів і конструкцій безпиллової видачі коксу ...	26
1.5 Схема локальної безпиллової видачі коксу	32
1.6 Постановка задачі дослідження.....	37
2. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РОБОТИ УСТАНОВКИ БЕЗПИЛОВОЇ ВИДАЧІ КОКСУ	39
2.1 Моделювання роботи уловлення пилу в установках безпиллової видачі коксу	39
2.2 Обчислення параметрів моделювання.....	41
2.3 Аналіз надійності роботи УБВК. Метод «дерево відмов»	45
3. ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ДВЕРЕЗНІМАЛЬНОЇ МАШИНИ ПІСЛЯ ВСТАНОВЛЕННЯ УБВК.....	53
3.1 Розрахунок на стійкість установки беспиллової видачі коксу	53
3.2 Розрахунок потужності електродвигуна механізму пересування дверезнімальної машини	57
3.3 Розрахунок потужності електродвигуна дверезнімальної машини після установки УБВК.....	62
3.4 Аналіз дослідження моделювання параметрів уловлення пилу в установках безпиллової видачі коксу	65
4. CFD МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ УСТАНОВКИ БЕЗПИЛОВОЇ ВИДАЧІ КОКСУ	71
4.1 Вихідні дані для моделювання	71
4.2 Аналіз отриманих результатів моделювання.....	78
5. ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ УСТАНОВКИ БЕЗПИЛОВОЇ ВИДАЧІ КОКСУ	84

5.1 Рекомендації щодо поліпшення роботи системи беспилового видачі коксу	84
5.2 Шляхи покращення ефективності роботи установки безпилової видачі коксу	87
ВИСНОВКИ.....	92
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	93
ДОДАТОК А – Перелік зауважень нормоконтролера	96

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

УБВК – установка безпилової видачі коксу;

τ — час видачі коксу, с;

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

$\overline{v_f}$ – швидкість газового потоку, м/с ;

∇ – оператор набла;

p – барометричний тиск газу, Па;

T – температура газового потоку, К;

R – універсальна газова констата, $R = 8,31 \text{ Дж/}(\text{моль} \cdot \text{К})$;

M – молярна маса газу, кг/моль ;

χ – коефіцієнт температуропровідності, $\text{м}^2/\text{с}$;

Δ – оператор Лапласа.

d – еквівалентний діаметр частинки, м;

ρ_p – щільність матеріалу частинки, кг/м^3 ;

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

t – час, с;

$\vec{v}_f$ – вектор швидкості потоку газу, м/с ;

μ – динамічна в'язкість газового середовища, $\text{Па} \cdot \text{с}$;

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

w – кутова швидкість обертання частинки, рад/с ;

r – радіус-вектор;

$Q(z)$ – ймовірність завершальної події.

ВСТУП

Коксохімічні підприємства по шкідливим, особливо по найбільш небезпечним для людей канцерогенним викидам, є одним із перших місць серед підприємств інших галузей промисловості. Основними компонентами викидів є: пил, сірчистий ангідрид, оксид вуглецю, оксиди азоту, а також сірководень, феноли, аміак, ціаністий водень, поліциклічні ароматичні вуглеводні.

Викидами супроводжуються: операція завантаження і видачі печей, аспіраційні системи вуглепідготовок і коксосортувань, труби коксових батарей, тушильні башти, а також викиди дверей, стояків, завантажувальних люків, повітропроводів хімічних цехів.

Під час вивантаження коксу з коксових печей і внаслідок нещільності дверей в процесі експлуатації на коксовій стороні батареї виділяється до 26 % пилогазової суміші від загального викиду по підприємству і 35 % від викидів коксового цеху.

В усіх промислово розвинених країнах в останні три десятиліття питанням екології приділяють все більшу увагу, приймають жорсткі норми, які регламентують не тільки кількість, але і якість викидів. На захист навколишнього середовища в коксохімії в зарубіжних країнах витрачають величезні кошти, які досягають 30 % вартості нових і реконструйованих об'єктів коксового виробництва.

В даний час в багатьох країнах жодну коксову батарею не приймають в експлуатацію без пристроїв, що забезпечують захист навколишнього середовища від шкідливих викидів. Роботи, пов'язані з уловленням і очищенням шкідливих викидів, що виникають під час вивантаження коксу з печей, інтенсивно ведуться на багатьох підприємствах. Намітилася тенденція до проектування та впровадження установок безпилової видачі коксу (УБВК) як один із шляхів вирішення проблем уловлювання пилогазової суміші при видачі коксу. Впровадження безпилової видачі коксу на коксових батареях в даний час представляється оптимальним рішенням актуальної проблеми охорони

навколишнього середовища. Система безпилової видачі коксу дозволяє значно поліпшити екологічну обстановку на коксовій батареї, максимально знизити викиди пилу в атмосферу і створити сприятливі умови праці для експлуатаційного персоналу.

Основні фактори, що визначають вибір типу апарату для пилоочищення: розмір часток пилу, їх концентрація в газі і необхідна ступінь уловлювання.

При виборі конструкції і матеріалу пилоочисного обладнання враховують наявність вологи і агресивних компонентів в газах, їх кількість і температуру. Поліпшення пиловловлювання вимагає зазвичай збільшення або розмірів апаратури, або її енергоємності. Так, рукавні фільтри, осаджувальні камери, електрофільтри працюють більш ефективно при менших швидкостях газу, тобто при великих розмірах апаратів. Циклони, швидкісні промивачі, скрубери, ударної дії в режимі ефективного пиловловлювання мають великий гідравлічний опір або вимагають збільшеної витрати рідини, що призводить до підвищених витрат енергії. Чим дрібніше частинки аерозолі і вище вимоги до ступеня їх уловлювання, тим більше витрати на спорудження установок і їх експлуатацію.

Фактично 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.

1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ УСТАНОВОК БЕЗПИЛОВОЇ ВИДАЧІ КОКСУ

1.1 Актуальність підвищення ефективності роботи установок безпильової видачі коксу

Підвищення ефективності роботи безпильової видачі коксу – актуальне питання. Виробництво коксу для металургійних потреб в Україні в 2018 році складало 10,83 млн.тон за рік. Об'єм викидів на 1 тону виробленого коксу знаходиться в межах від 5 до 10 кг викидів. В процесі видачі коксу з печі в коксовозний ваон в атмосферу виділяється коксовий пил та газ, утворюючи на коксовій стороні батареї газопильову хмару. При видачі коксу без установки безпильової видачі коксу до 500 г забруднюючих речовин на тону коксу, з них 300-350 г у вигляді твердих частинок пилу різного розміру[1-5].

Об'єм заруднюючих речовин має крім твердих речовин, CO, NO_x, SO₂, H₂S, HCN, C₆H₆, C₆H₅OH, C₁₀H₈, бензапірен (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Показники емісії забруднюючих речовин від коксової батареї

Джерело викиду	Забруднюючі речовини, г/т коксу										
	Пил	CO	NO _x	SO ₂	H ₂ S	HCN	C ₆ H ₆	C ₆ H ₅ OH	C ₁₀ H ₈	NH ₃	бензапірен
Видача коксу при відсутності безпильового вивантаження	200-350	10-30	10-20	10-15	0,5-2	0,5-1,5	2-5	0,5-1,5	0,3-1,0	1-3	0,0005-0,001

Наявність установки безпильового вивантаження знижує екологічне навантаження на навколишнє середовище коксохімічним підприємством. Конструктивне виконання таких установок може бути двох видів. Перший тип -

стаціонарний, будується над всією коксовою батареєю і потребує значних інвестицій для будівництва. Другий тип: рухомий або локальний, який розташовується на дверезнімпльній машині. Працює безпосередньо при вивантаженні окремої коксової печі. В цілому кількість викидів залежить від ступеню коксу, що вивантажується з печі. По різних оцінках за одну видачу в атмосферу викидаються від 5 до 20 кг коксового пилу.

Погіршення рівномірності готовності коксу в результаті старіння коксових батарей призводить до збільшення обсягу неорганізованих пилогазових викидів при видачі коксу з печей і їх обробці. Задля їх евакуації та очищення на старих коксових батареях неможливо використовувати застосовувані в даний час стаціонарні і автономні установки безпилової видачі коксу.

Ефективність роботи установки безпилової видачі коксу залежить від багатьох факторів, але з них можна виділити ступінь локалізації пиловиділення в процесі видачі коксу, ефективність очищення запиленого повітря в пилоуловлюючих пристроях [5-8].

1.2 Аналіз процесів, що відбуваються з сировиною в технологічному процесі. Основні властивості коксу

Коксування - процес нагріву вугілля без доступу повітря до 1000-1050 °С, в результаті якого органічна маса розкладається з утворенням газоподібних та пароподібних продуктів і твердого залишку, що спікся – коксу, який використовується у якості відновника залізних руд у доменному виробництві.

Основні стадії процесу коксування, що проходять в коксових печах, можна умовно розділити на декілька послідовних стадій.

Перша стадія відповідає нагріванню концентрату вугілля (шихти) до 200 °С. В енергетичному відношенні міжмолекулярні зв'язки органічних речовин вугілля міцніші за внутрішньо молекулярні. За вказаного нагрівання з вугілля виділяються низькомолекулярні гази (CO₂, CO, H₂O тощо) та

знижується вміст груп OH та COOH. При цьому помітної деструкції основного структурного ланцюга макромолекул не відбувається, проте все ж здійснюються певні внутрішньомолекулярні перегрупування, які визначають подальший напрямок термохімічних перетворень.

Друга стадія відповідає нагріву від 200 до 300-350 °C. У цьому інтервалі температур ще не відбувається значної втрати маси, але посилені теплові коливання молекул сприяють частковому відщепленню H_2O , CO , CO_2 , CH_4 та H_2 . Здійснюються значні внутрішньо молекулярні перегрупування.

Третя стадія відповідає нагріву від 350 до 450-470 °C. У цьому інтервалі температур відбувається невелика втрата маси та змінюється агрегатний стан речовини – з сипкого стану вона переходить у пластичний (рідкорухливий) і спостерігається незначне смоловиділення. Енергія, що підводиться ззовні, витрачається на розрив хімічних зв'язків (переважно ефірних та кисневих) зсередини основного структурного ланцюга. Цей процес супроводжується розукрупненням (дисоціацією), в результаті чого нові молекули меншого розміру здатні переходити у пластичний стан. В залежності від природи вугілля, ступеня їх метаморфізму, глибина цих перетворень, а також температури цієї стадії процесу відрізняються. У даній стадії разом з процесами деструкції перебігають і процеси синтезу (структурування), однак процеси деструкції переважають над процесами поліконденсації.

Четверта стадія відповідає нагріву від 450 до 500-550 °C і супроводжується різким зменшенням маси вугілля здебільшого за рахунок виділення смоли. Відбувається отвердіння пластичної маси, різко зростає відношення C : H, продовжується виділення низькомолекулярних газів. На даній стадії протікають переважно процеси поліконденсації, які визначає деструкція, яка викликає виникнення активних центрів для конденсації.

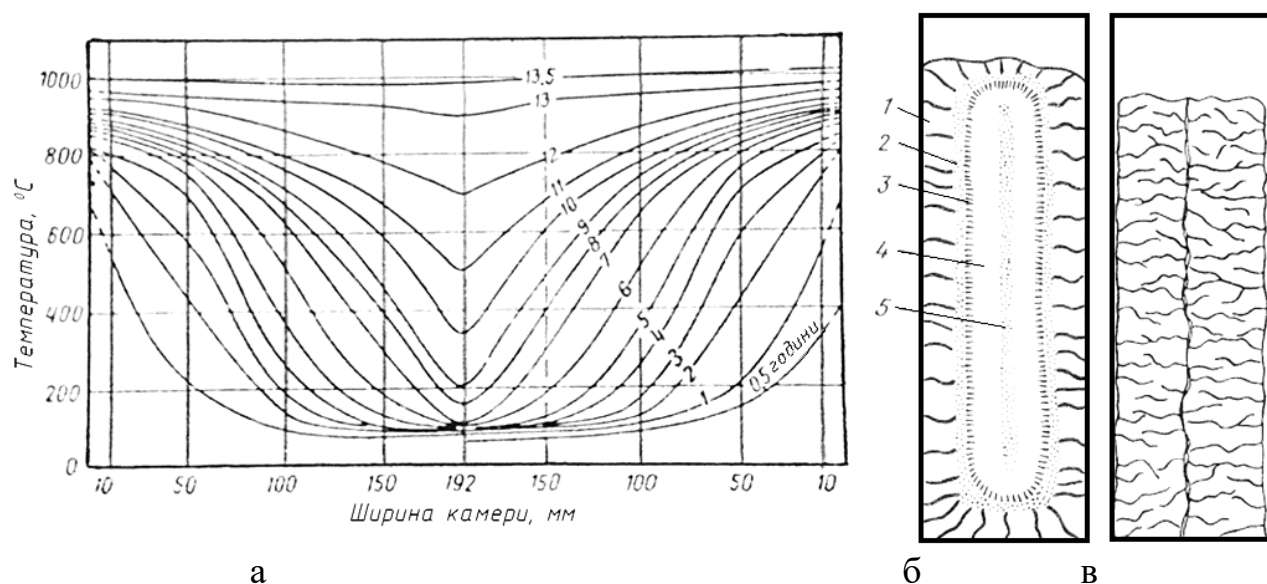
П'ята стадія відповідає нагріванню від 500-550 °C до 850-900 °C і характеризується поступовим зменшенням маси за рахунок виділення низькомолекулярних газів, переважно водню. В результаті дегідрування утворюються активні центри, відбувається асоціація (ущільнення) у твердій

фазі. Різко збільшується відношення $C : H$, а також істинна щільність твердого залишку – коксу.

В інтервалі 500-550 °С, як зазначалося вище, відбувається утворення напівкоксу – пластична маса твердішає і починає набувати вигляду і властивості коксу. За своєю структурою напівкокс вже не схожий на вугілля. Він втратив сипкість, набув пористу будову і здатність утворювати шматки (грудчастість). Напівкокс відрізняється від коксу значним виходом летких речовин, темним кольором (кокс срібно-сталевий), меншою міцністю та пористістю [2].

Як зазначено вище, процес високотемпературного коксування, що здійснюється у камерах, характеризується різночасністю явищ, що відбуваються в окремих шарах вугільного завантаження по ширині камери коксування. На рис. 1.1, а зображені ізохрони температур по ширині камери. До закінчення коксування лінії стають пологими. Однак протягом усього основного часу коксування ізохрони розташовуються круто, що пояснюється низькою температуропровідністю вугільного завантаження. Через це у коксованому масиві довго існують одночасно шари коксу, напівкоксу, пластичний шар, а також шари сухого та сирого вугілля [3], як зазначено на рисунку 1.1, б.

Зовнішньо прояв процесу шарового коксування у відношенні утворення пластичного шару полягає якби у русі цього шару від гріючих стін камери до центральної осьової площини завантаження, де проміжні шари (пластичний, напівкокс), які пересуваються від стінок коксової камери, зближуються. При цьому однойменні проміжні зони сходяться (а у пластичному стані зливаються), після чого зникають, переходячи у наступний стан. У процесі коксування відбувається усадка завантаження у вертикальному та поперечному напрямках.



1 – кокс; 2 – напівкокс; 3 – пластичний шар; 4 – зона сухої та підігрітої шихти; 5 – сира шихта

Рисунок 1.1 – Ілюстрації щодо перебігу шарового коксування: а – ізохрони температур по ширині камери коксування; б – схема умовного розділення коксового завантаження на шари; в – процес формування коксового пирога

Процеси усадки коксового завантаження призводять до утворення тріщин. Повздовжні (вздовж шматка, тобто у напрямку від гріючої стінки до осьової площини камери) тріщини виникають у результаті напружень, що утворюються через значну різницю у швидкості усадки сусідніх шарів напівкоксу та коксу, внаслідок різниці температур по ширині коксованого завантаження.

Тріщини, що розвиваються, розділяють масив напівкоксу-коксу на шматки. Цей процес завершується зазвичай за 2-3 години до кінця коксування (рис. 1.1, в). Крім повздовжніх, у шматках виникають і поперечні тріщини, які є вторинними. Щілинний простір між шматками, утворюваний при їх відходженні один від одного внаслідок усадки, яка продовжується, інтенсивно прогрівається випромінюванням від стін камери. Бокова поверхня шматків, що

прилягають до щілини, нагрівається більше, ніж внутрішня поверхня у тому ж перетині. Це викликає різницю у швидкості усадки навпоперек шматків, виникнення напружень та тріщин. При видачі готового коксового «пирога» з камери штангою коксовиштовхувача та падінні до гасильного вагону «пиріг» руйнується на шматки [4].

При впливі температури та часу на вугільне завантаження, яке знаходиться у камері коксування, в'язка пластична маса чинить більший або менший опір евакуації продуктів розкладу, які намагаються збільшити обсяг вугільного завантаження (привести його до спучення); при цьому може розвиватися певний тиск розпирання, який залежить від газопроникності шарів напівкоксу-коксу та густоти мережі тріщин, що утворюються в них.

Властивість пластичної маси чинити опір видаленню газу характеризує її газопроникність. За цією властивістю вугілля може сильно відрізнятися.

Газопроникність та видимання пластичної маси залежить від в'язкості вугілля у пластичному стані. Крупність та ступінь тріщинуватості коксу, так само як і структура тіла коксу, залежать не тільки від властивостей вихідного вугілля або складу шихт, але і від основної особливості процесу у сучасних печах – його пошаровості. Лінійна швидкість коксування коливається від 27-30 до 40 мм/год.

Отримання з вугільної шихти коксу здійснюється у динасових коксових печах, які являють собою камери прямокутної форми, які мають під, звід та дві стінки. Між стінками двох камер по всій довжині їх розташований обігрівальний простінок, який складається з окремих каналів, у яких відбувається горіння опалювального газу, а тепло розжарених продуктів горіння крізь стінки передається до вугільного завантаження, яке через 12-14 годин перетворюється на кокс.

Шихта завантажується до розігрітої до високих (1100-1200 °C) температур камери. У процесі коксування відбувається зменшення висоти завантаження, тобто вертикальна усадка коксового пирога у результаті ущільнення вугільного завантаження і усадки утвореного напівкоксу-коксу.

Зазвичай вертикальна усадка досягає 200-250 мм, а при коксуванні сильно усадкового вугілля доходить до 400 мм та більше. Величина вертикальної усадки у більшій мірі впливає на вихід хімічних продуктів коксування. Обігрівальні канали, розташовані між боковими стінками коксових камер, не досягають рівня зводу камери. Це роблять задля того, аби газ, які виділяються при коксуванні, проходячи по підзводовому простору до газовідвідного люку, не перегрівалися і не розкладалися.

Встановлено, що найбільш сприятливою температурою у підзводовому просторі слід вважати 650-750 °C. За такого режиму одержують великий вихід газу, аміаку, смоли, бензолу та толуолу. За 800-900 °C та вище відбувається розкладання найцінніших продуктів, особливо толуолу та смоли. При цьому виділяється велика кількість твердого вуглецю у вигляді графіту, який осідає на стінках та зводах камер, ускладнює видавання коксу з печі і при великих відкладеннях сприяє появі тугого ходу. Крім того, графіт проникає у пори цегли і поступово руйнує її.

При великій вертикальній усадці рівень завантаження опускається нижче верхнього краю обігрівальних каналів, і тепло від каналів передається не вугільній загрузці, а газам, які проходять над завантаженням, та перегріває їх. Тому відстань від зводу печі до верхнього краю (так званий рівень обігріву) розраховують відповідно усадці того вугілля, яке планується коксувати в даній установці.

Для вугілля з нормальною усадкою ця відстань береться рівною 500-600 мм, а для сильно усадкового вугілля 700-900 мм.

Для видавання коксу з печі дуже важлива монолітність коксового пирогу. Поперечні тріщини, що утворюються до кінця коксування в результаті усадки, і повздовжній шов по центральній вісі печі розділяють коксовий пиріг на окремі шари та куски.

За температури вище 500 °C зростає асоціація молекул твердої та рідкої фаз, що супроводжується упорядкуванням молекулярної структури твердих

продуктів, а продукти, що виділяються у газову фазу, стають більш низькомолекулярними.

Якщо за температур до 500 °С у газовій фазі знаходилися порівняно високомолекулярні продукти (продукти смоляної деструкції), то за температур вище 500 °С у газову фазу переходять більш низькомолекулярні вуглеводні та водень.

При подальшому нагріві затверділої пластичної маси формується структура коксу. У процесі нагріву до високих температур відбуваються наступні явища:

- 1) продовжується газовиділення у результаті термічної деструкції;
- 2) змінюється щільність коксу;
- 3) змінюються геометричні розміри шматків коксу, тобто відбувається його усадка;
- 4) утворюються тріщини у коксовому пирозі, в результаті чого формуються шматки коксу;
- 5) зміцнюється пористе тіло шматків і матеріал коксу (стілки пор).

Для процесу коксування характерне послідовне у кожному шарі збільшення швидкості усадки і подальше її зменшення. Це означає, що у суміжних шарах, які знаходяться на різних стадіях процесу коксування, швидкість усадки буде різною. При цьому різниця швидкості усадки, або градієнт швидкості усадки, поступово зменшується протягом коксування. Градієнт швидкості усадки є однією з причин виникнення у масиві, який коксується, внутрішніх напружень і утворення тріщин, від яких залежить і ситовий склад коксу. [2]

Виробництво коксу проводиться по такій технологічній схемі. Шихта з вуглепідготовчого цеху нахиленим транспортером подається на вугільну башту. Башта призначена для створення необхідного запасу вугільної шихти з метою забезпечення безперебійної роботи коксових печей у разі планових або непередбачених зупинок вуглепідготовчого цеху. Вугільна башта являє собою залізобетонну споруду прямокутного перетину об'ємом 5000 т, що складається

з двох відсіків. Кожна секція має кілька бункерів, нижня частина яких закінчується воронкою у формі усіченого конуса.

З вугільної башти шихта набирається в вуглезавантажувальний вагон. Для регулювання кількості вугілля випускні воронки забезпечені затворами. Кількість шихти, що надійшла в завантажувальний вагон, підраховується за допомогою ваг, встановленої на майданчику між баштою і печами. Наповнений вугільною шихтою вуглезагрузочний вагон під'їжджає до камери, що підлягає завантаженню. В коксовому цеху застосовується метод бездимного завантаження при закритих стояках. Бездимне завантаження забезпечується гідроінжекцією аміачної води циклу газозбірника. Під час сходу шихти з середнього бункера машиніст вуглезавантажувального вагона дає сигнал машиністу коксовиштовхувача на подачу в піч планірної штанги для розрівнювання шихти.

Після завантаження шихта піддається процесу коксування-нагрівання до заданих температур без доступу повітря. Тривалість коксування становить 15 годин. Під час коксування виділяється коксовий газ, який через стояки і клапанні коробки з печей надходить в газозбірники. Коксовий газ, що виходить з подсводного простору камер коксування, має температуру 650-700 °C [9] і містить значну кількість парів смоли і води. У клапанних коробках стояків і в газозбірниках відбувається охолодження газу до 85-90 °C [9] при зрошенні аміачною водою. Охолоджений газ з газозбірника надходить в сепаратор, де відбувається відділення коксового газу від води і смоли. Коксовий газ по газопроводу надходить на первинні газові холодильники цеху уловлювання, де охолоджується до температури 25-35 °C [9].

попередження викидів під час вивантаження готового кокса використовують різні види установок безпилового вивантаження коксу: стаціонарні, які розташовані над всією коксовою батареєю, локальні, які розташовуються на дверезнімальній машині. Коксовиштовхувач і дверезнімальна машина виконують всі необхідні операції з обслуговування печей і встановлюють двері.

Температура коксу при видачі з камер коксування становить 950-1100 °С [4]. Щоб запобігти горіння розпеченого коксу після вивантаження з печі, а також зробити кокс придатним для транспортування і зберігання, необхідно знизити його температуру до 250-100 °С [4], при якій виключається самозаймання і тління, тобто кокс необхідно «загасити». В цеху може застосовуються як мокре, так і сухе гасіння коксу.

Коксотушильна установка при мокрому способі гасіння складається з тушильної башти і відстійників для освітлення води після гасіння. Під куполом тушильної башти знаходиться зрошувальна система. Над нею розташована витяжна труба, яка служить для відводу водяної пари, що утворюється при гасінні. Погашений кокс з вагона вивантажується на рампу, де витримується для відпаровування і позбавлення від надмірної вологи. Потім кокс надходить на конвеєри і транспортується на коксортування.

При сухому методі розпечений кокс з коксових печей вивантажується в спеціально сконструйований тушильний вагон, який подається до УСТК, де кузов вагона стягується з лафета і доставляється підйомником до завантажувального пристрою камери тушіння. Потім проводиться завантаження коксу в тушильну камеру. Тушіння коксу проводиться циркулюючим газом, що рухається знизу вгору назустріч коксу, що опускається. Охолоджений кокс до 200-250 °С [4] вивантажується з нижньої камери на приймальну рампу, звідти подається на стрічковий транспортер і направляється конвеєрами на коксортування.

Коксортування служить для поділу коксу на класи за крупністю. Під час сортування на чотирнадцятивалкових грохотах відбувається поділ коксу на два класи: металургійний кокс (більше 25 мм) і коксовий відсів (0-25 мм). Кокс

крупністю більше 25 мм вантажиться в залізничні вагони або, в разі їх відсутності, весь валовий кокс приймається в бункери несортowanego коксу. Коксовий відсів (підрешетний продукт) розміром 0-25 мм подається на вібраційний грохот, де сортується на два класи: коксова дрібниця 0-10 мм і горішок 10-25 мм

1.3 Моніторинг процесу пилоутворення при вивантаженні коксу

У приземному шарі атмосфери коксохімічних підприємств і прилеглих районів вміст шкідливих речовин істотно перевищує гранично допустимі норми концентрації. Згідно з дослідженнями вугільної корпорації Великобританії і Лондонській метеорологічній служби, які створили математичну модель розсіювання твердих частинок з урахуванням умов викидів пилу з коксових батарей газоподібна хмара піднімається на висоту ~ 100 м і захоплює з собою дрібні частинки коксу. Потім хмара гарячих газів рухається від батареї зі швидкістю, яка залежить від метеорологічних умов. Одночасно відбувається осідання твердих частинок. Великі частинки пилу осідають на території коксохімічного заводу, а високодисперсний пил, що захоплюється вітром, осідає на значній відстані від заводу [1]. Тому зниження величини викидів при вивантаженні коксу з печей є актуальним завданням.

Викиди шкідливих речовин під час вивантаження коксу сильно залежить від технологічного режиму коксування. Якщо коксовий пиріг в цілому або в окремих його частинах недостатньо готовий, то відбувається збільшення виділення пилу і газу, що складається з оксиду вуглецю, водню, метану та інших вуглеводнів. Залежно від ступеня готовності коксового пирога обсяг такого газу становить до 20 м^3 на окрему порцію розвантаженого коксу. Основним фактором, що визначає викиди при видачі коксу, є час коксування. Таким чином, підтримка встановлених температур по осі коксового пирога - важлива умова не тільки отримання коксу необхідної для доменних печей якості, а й ефективного відсмоктування і очищення газів видачі установок

безпилової видачі коксу (УБВК) будь-якого типу. УБВК не можуть бути розраховані і забезпечувати відсмоктування неконтрольованих обсягів газів видачі неготового коксу.

Вивчаючи динаміку газовиділення з промислової коксової камери коксування, було встановлено, що в залежності від складу шихт швидкість газовиділення в кінці періоду коксування становить 42-75 кг/год [2]. У таблиці 1.2 представлені дані про склад газу в кінці процесу коксування. З таблиці видно, що склад газу, що виділяється в кінці періоду, значно відрізняється від складу усередненого газу з газосборника насамперед високим вмістом водню і зниженим - метану.

Таблиця 1.2 – Склад газу в кінці періода коксування

Період коксування, год.	Склад газу, % (об'ємні долі)						
	CO ₂	C _m H _n	O ₂	CO	H ₂	CH ₄	N ₂
00 – 15	1,4	0,8	0,4	5,8	77,5	11,3	2,8
15 – 30	1,3	0,3	0,5	5,4	75,6	13,9	3,0
16 – 45	0,9	0,9	0,5	4,9	71,6	15,4	5,8
Середній	3,0	3,0	0,6	7	55,4	26,0	5,0

Цим обумовлена його невелика щільність, складова 0,25 кг/м³. Звідси об'ємна швидкість газовиділення в кінці періоду становить: $(42-75) / 0,25 = (168 - 300) \text{ м}^3 / \text{год}$, або $(1,87 - 3,33) \text{ м}^3$ за 40 с видачі. При нормальній готовності коксу таку кількість газів видачі, а точніше продуктів їх згоряння, представлених в основному парами води, не може утворити скільки-небудь значущого газового викиду.

Картина суттєво змінюється при знятті з пічної камери дверей, коли забезпечується вільний доступ повітря до значної частини поверхні коксового

пирога, а при його видачі - до всієї, що утворюється при руйнуванні пирога поверхні. Поряд зі згорянням залишкових летючих речовин починається вигорання відкладень пировуглецю (графіту), як на поверхні стін коксової камери, так і на поверхні коксу. Ці процеси значною мірою інтенсифікуються повітрям, що вдувають в підзводовий простір для знеграфічування зводу коксової камери.

Для процесу горіння і чаду коксу мають значення два основних фактори: величина реагуючої поверхні, яка у коксового дріб'язку величезна, і дуття, яке також присутнє. Звідси випливає, що для зменшення обсягу пилогазового викиду при видачі необхідно запобігти видування його на коксову сторону, мінімізувати доступ повітря до поверхні коксу і зменшити кількість пилу, що утворюється, знизивши стиранисть коксу. Якщо перше завдання технічно вирішуване, то друге в умовах контрольованого погіршення сировинної бази коксування в даний час нерозв'язне. Тому УБВК повинні бути розраховані на відсмоктування газів видачі і пилу готового коксу максимального стирання. Типовим технічним рішенням пневматичного знеграфічування поряд із застосуванням графіторізів давно вже є форсунка на голівці виштовхувальної штанги. Обсяг повітря V_2 , що вдувається під тиском 0,5 - 0,7 МПа в підзводовий простір камери за 40 с видачі коксу, становить 30 - 40 м³, а з урахуванням розширення при нагріванні в підзводовому просторі від температури $T_1 = 293\text{ K}$ до $T_2 = 493\text{ K}$ складе:

$$V_2 = V_1 \cdot T_2 / T_1,$$

$$V_2 = 5 \cdot 493 / 293 = 58,9\text{ м}^3.$$

Це більш ніж в 20 разів перевищує обсяг залишкових летючих речовин коксу.

Повітря, зриваючи свіжоутворенні відкладення і частково випалюючи їх, створює спрямований на коксову сторону потік, який виносить ці відкладення на коксову сторону і продукти їх горіння, провокуючи збільшення обсягу

пилогазового викиду, особливо в кінці видачі. Його швидкість при перетині подсводового простору дорівнює:

$$w = V_2 / \tau \cdot F,$$

$$w = 58,9 / 40 \cdot 0,225 = 6,5 \text{ м/с}.$$

Повітря, що вдувається, частково витрачається на спалювання залишкових летючих речовин коксу, а більша частина ($\sim 2/3$) інтенсифікує чад коксу нормальної готовності, що видається. При недостатній і нерівномірній готовності коксу повітря, що вводиться, інтенсифікує горіння залишкових летючих речовин коксу і багаторазово збільшує обсяг пилогазового викиду.

Однак відмовитися від застосування пневматичного знеграфічування зводу камер коксування при видачі коксу неможливо. Звідси випливає необхідність створення технічного пристрою, що забезпечує інтенсивне знеграфічування зводу пічної камери і запобігає створення пилогазового потоку, спрямованого на коксову сторону.

Велике значення має аналіз механізму утворення первинного коксового дріб'язку і первинного пилу, а також факторів, що визначають їх кількість при видачі коксу. Кокс, який має високу стираність при використанні і випробуваннях в холодному стані, утворює значно більше пилу і при видачі розпеченого коксового пирога. Відомо, що при нормальній готовності стираність коксу зростає при погіршенні складу і коксованості шихти, при неефективній технології підготовки, в тому числі при необгрунтовано встановлених рівнях подрібнення вугілля.

Проведено аналіз основних факторів і специфічних особливостей створення пилової хмари при видачі коксу. УБВК не можуть бути розраховані на відсмоктування неконтрольованих обсягів пилогазових викидів коксу недостатньої і 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 пиловому викиду на коксову

сторону і чаду коксу, що обумовлені подачею в підзводний простір повітря для знегафічування і створювати спрямований потік газів видачі.

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 заплених газів, які потрапляють в аспіраційну установку.

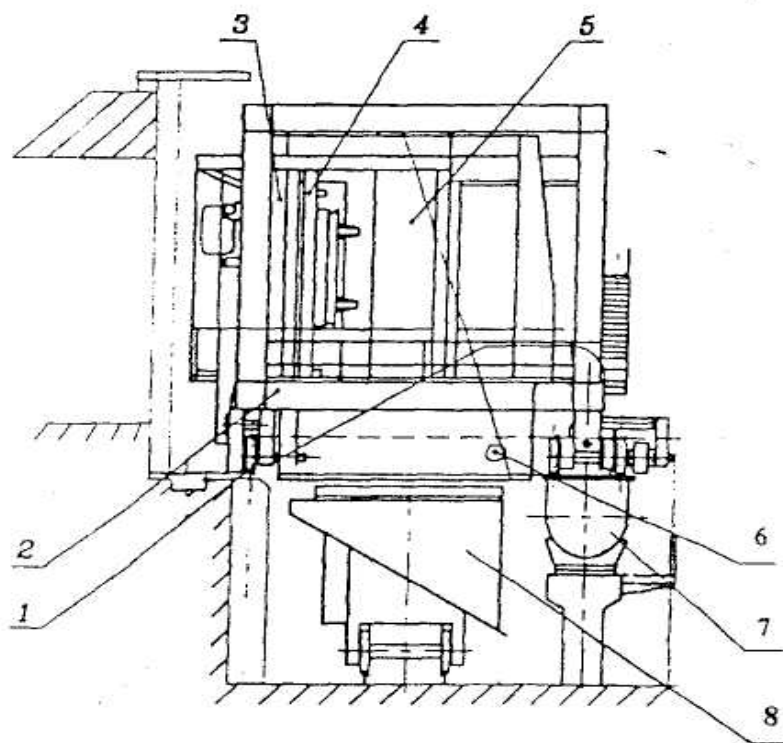
Найбільш досконалою останнім часом вважають стаціонарну УБВК коксової батареї № 3 на ВАТ «Маркохім». Установка складається з: пиловловлюючого зонту, встановленого на дверезнімній машині; стикувальних пристроїв для передачі пилогазоповітряної суміші в стаціонарний колектор, прокладений уздовж батареї 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 дверезнімальної 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 натягач.

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 ЦП-2, 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 уловлених частинок пилу в очисних апаратах залежить від ефективності пиловловлювача тільки першого ступеня. Підвищення швидкостей в укріттях сприяє зростанню розмірів вихревих течій з аспіраційних повітрям частинок, а це пов'язано з інтенсивністю абразивного зносу пиловловлювачів і тяглодутьового обладнання.



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

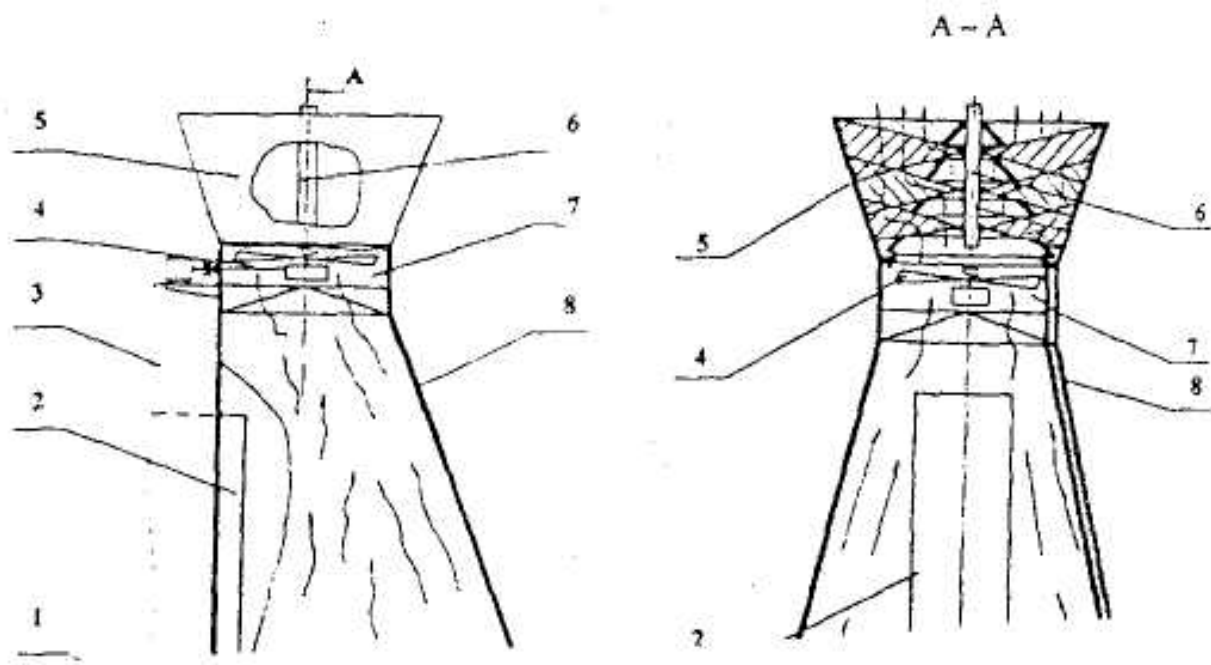
Рисунок 1.3 - Установа безпилової видачі коксу з пиловідводним колектором

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 дверезійомних машин. Установка може бути виконана в двох виконаннях: без додаткової опори (рис. 1.4) і з додатковою опорою (рис.1.5).

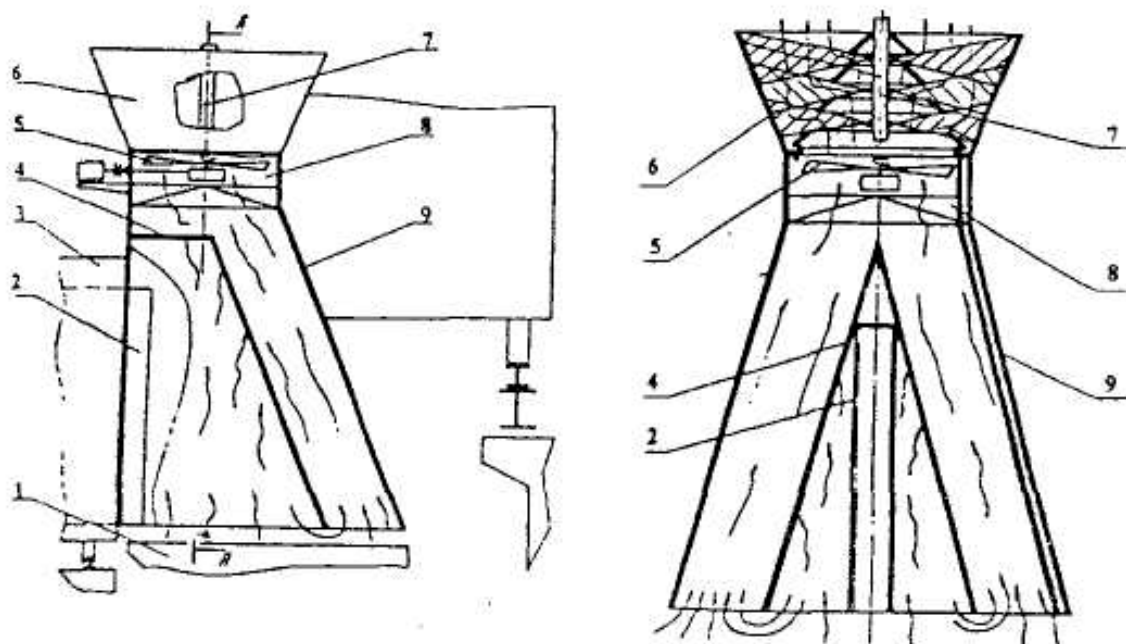
Коксонапрямна дверезнімальної машини забезпечена зонтом, дифузором, комплектом форсунок, насосною установкою, баком для води. Вода, що подається насосною установкою на форсунки, в момент видачі коксу забезпечує змочування частинок і відкидання їх на стінку дифузора з подальшим змивом в накопичувач. Система 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 працездатність.



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

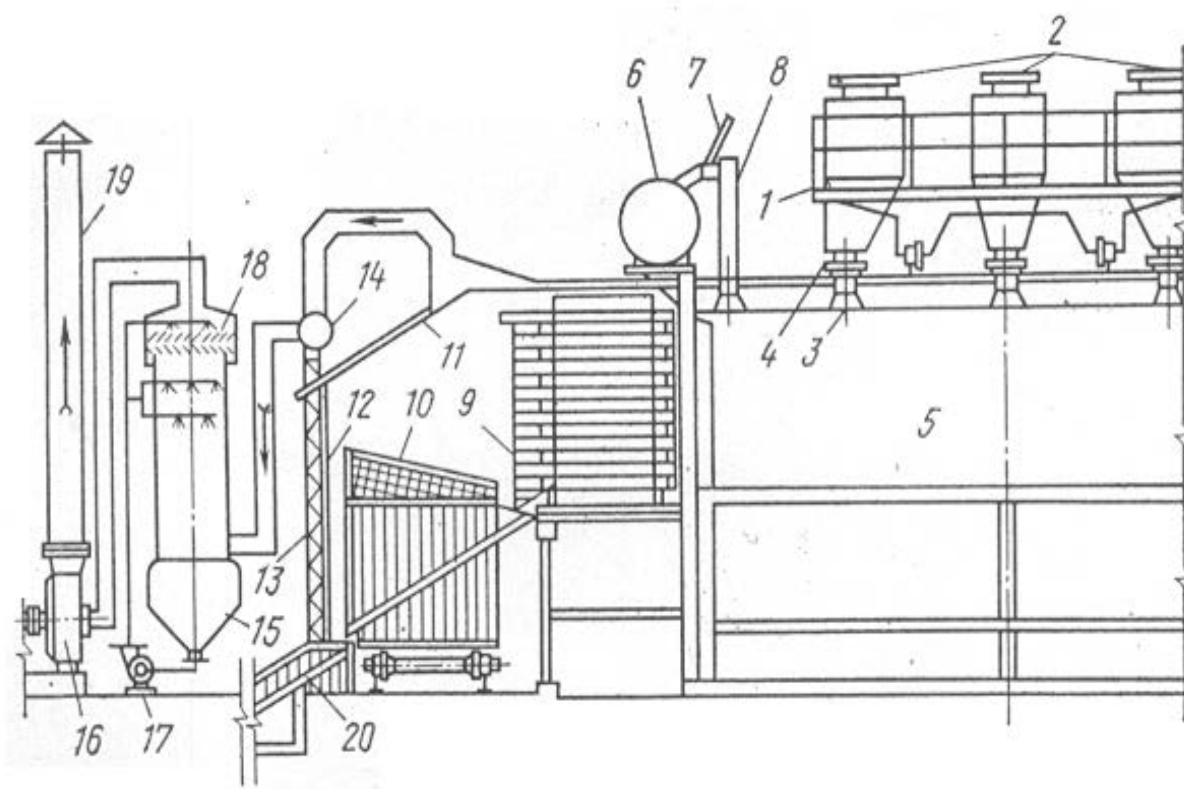


1 - коксогасильний вагон; 2 - коксонапрямна; 3 - дверезнімальна машина; 4 – внутрішній зонт; 5 - вентилятор; 6 - дифузор; 7 - установка форсунок; 8 - горловина; 9 - зовнішній зонт

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 безпилувій видачі коксу із суцільним перекриттям коксової сторони батареї вона ховається в суцільну галерею 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

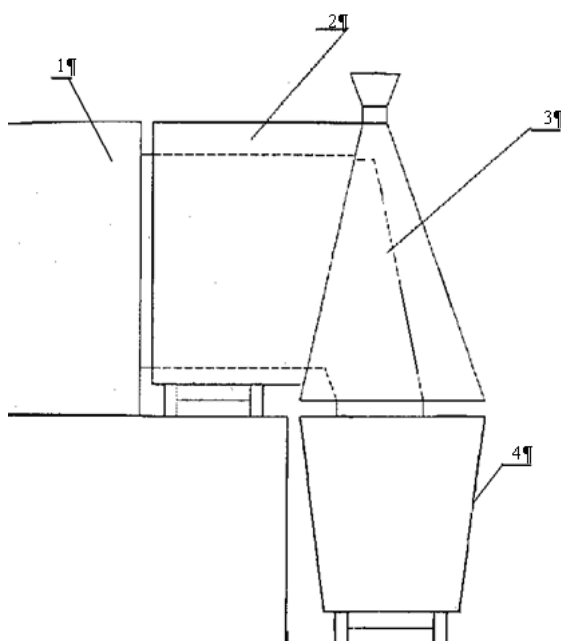
Рисунок 1.6 - Схема аспірації та очищення газів при вивантаженні коксу з повним укриттям коксової сторони батареї

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 - тушільний вагон

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

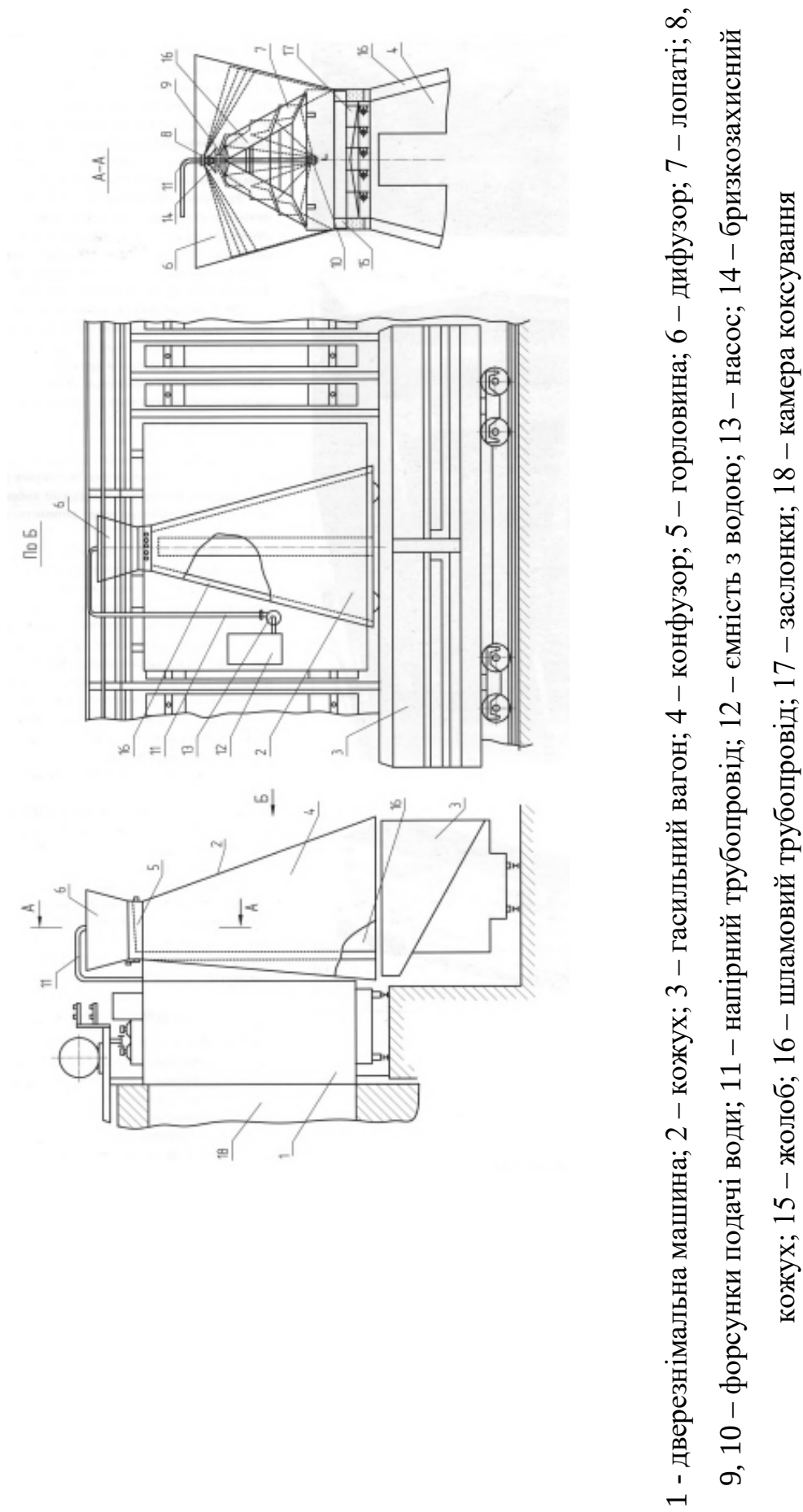


Рисунок 1. 8 – Схема локальної установки безпилової видачі коксу

Таблиця 1.3 – Експлуатаційні показники роботи установки безпилової видачі коксу

Найменування оптимальних регламентованих параметрів	Одиниця вимірювання	Показники роботи	
		проектні	фактичні
			дата
			2006 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 газу, що очищується : - біля входу - біля виходу	°С	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 $\sim 60\%$) було прийнято рішення про модернізацію локальної УБВК. Установа складається з наступних основних вузлів: зонт зовнішній, зонт внутрішній, установка приводу, перехідник, бак, насоса і 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 безпилової 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.

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.

Таблиця 1.4 – Основні технічні дані УБВК

Найменування параметрів	Значення
Ємність обслуговування печі, м ³	30,9
Час видачі печи, сек, не більше	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 розміри, мм	
довжина	6000
ширина	3570
Висота	8600
маса, кг	16000

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 такі 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 видачі коксу;
- обґрунтувати способи підвищення інтенсивності роботи установки безпилової видачі коксу;
- дослідити і розробити комплексні і маловитратні рішення, що значно знижують неорганізовані шкідливі викиди, що утворюються, придатні для використання в умовах будь-яких діючих коксових батарей незалежно від терміну їх експлуатації.

2 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РОБОТИ УСТАНОВОК БЕЗПИЛОВОЇ ВИДАЧІ КОКСУ

2.1 Моделювання процесу уловлення пилу в установках безпильової видачі коксу

Для виявлення режимів і умов, що забезпечують максимальну ефективність мокрого очищення газів в установках безпильової видачі коксу, розглянемо ці процеси на прикладі скрубера Вентурі. Розглянемо гідродинамічний течію суцільної фази [14-16], яка описується системою стаціонарних рівнянь Нав'є-Стокса (2.1-2.2), стану газового середовища (2.3) і теплопровідності (2.4):

$$\operatorname{div}(\rho_f \overline{v_f}) = 0 \quad (2.1)$$

$$\rho_f(\overline{v_f}; \nabla)\overline{v_f} = -\nabla p \quad (2.2)$$

$$pM = \rho RT, \quad (2.3)$$

$$(\overline{v_f}, \nabla)T = \chi \Delta T \quad (2.4)$$

де ρ_f – щільність газового потоку, кг/м³;

$\overline{v_f}$ – швидкість газового потоку, м/с;

∇ – оператор набла;

p – барометричний тиск газу, Па;

T – температура газового потоку, К;

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

M – молярна маса газу, кг/моль;

χ – коефіцієнт температуропровідності, м²/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 краплєвловлювача виконується гранична умова ковзання газового потоку:

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

де $\bar{v}_f$ – вектор швидкості газу біля стінки, м/с;

$\bar{n}$ – 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 (2.1-2.4), застосовується чисельний метод розв'язання на основі методу скінченних об'ємів. Поле швидкостей газу, розраховане на підставі рівнянь (2.1-2.4), служить вхідними даними для розрахунку координат руху і взаємодії частинок дисперсної фази.

Математичний опис руху дисперсних частинок в скрубєрі 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]:

$$m_p \frac{d\bar{v}_p}{dt} = 3\pi \cdot \mu \cdot C(\bar{v}_f - \bar{v}_p) + \frac{\pi d^3 \cdot \rho_f}{6} \cdot \frac{d\bar{v}_f}{dt} + \frac{\pi d^3 \cdot \rho_f}{12} \left(\frac{d\bar{v}_f}{dt} - \frac{d\bar{v}_p}{dt} \right) - \frac{\pi d^3 \cdot (\rho_p - \rho_f)}{6} \cdot \bar{w} \cdot (\bar{w} \cdot \bar{r}) - \frac{\pi d^3 \cdot \rho_p}{6} \cdot (\bar{w} \cdot \bar{v}_p), \quad (2.5)$$

де $m_p \frac{\pi d^3 \cdot \rho_p}{6}$ – маса частинки, кг;

d – еквівалентний діаметр частинки, м;

ρ_p – густина матеріалу частинки, кг/м³;

$\bar{v}_p$ – вектор швидкості частинки, м/с;

t – час, с;

$\bar{v}_f$ – вектор швидкості потоку газу, м/с;

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

ρ_f – щільність газового потоку, кг/м³,

w – кутова швидкість обертання частинки, рад/с;

r – радіус-вектор.

Ліва частина рівняння (2.5) - сума всіх сил, що діють на частинку, виражена через її масу і прискорення. Перший член в правій частині рівняння (2.5) - 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 краплєвловлювачі.

У рівнянні (2.5) невідомою величиною є швидкість частинки v_p , а аргументом – час t . Швидкість речовини основної фази v_f 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 (2.5) дозволяє розрахувати швидкість і положення окремої частинки (тверда частинка або крапля рідини) в кожен момент часу в скрубєрі 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 скрубєрі Вентурі.

2.2 Обчислення параметрів моделювання

Концентрація пилу в газах видачі різних коксохімічних виробництв коливається в дуже широкому діапазоні: від 4,4 до 22 г/м³, а кількість

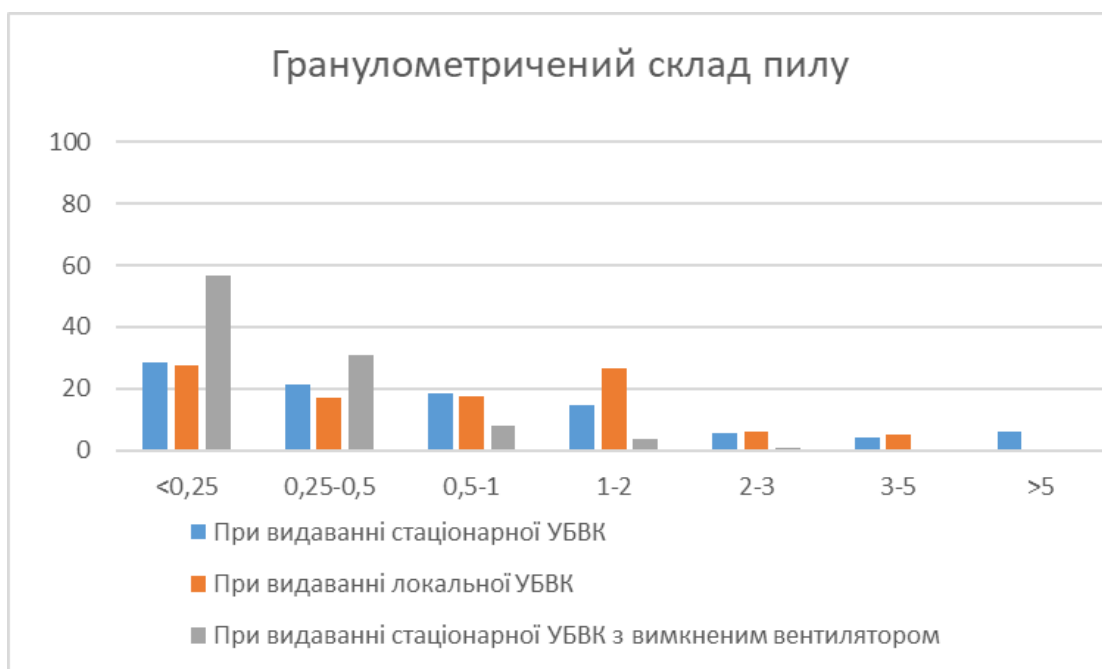


Рисунок 2.1 – Гранулометричний склад пилу різних типів УБВК

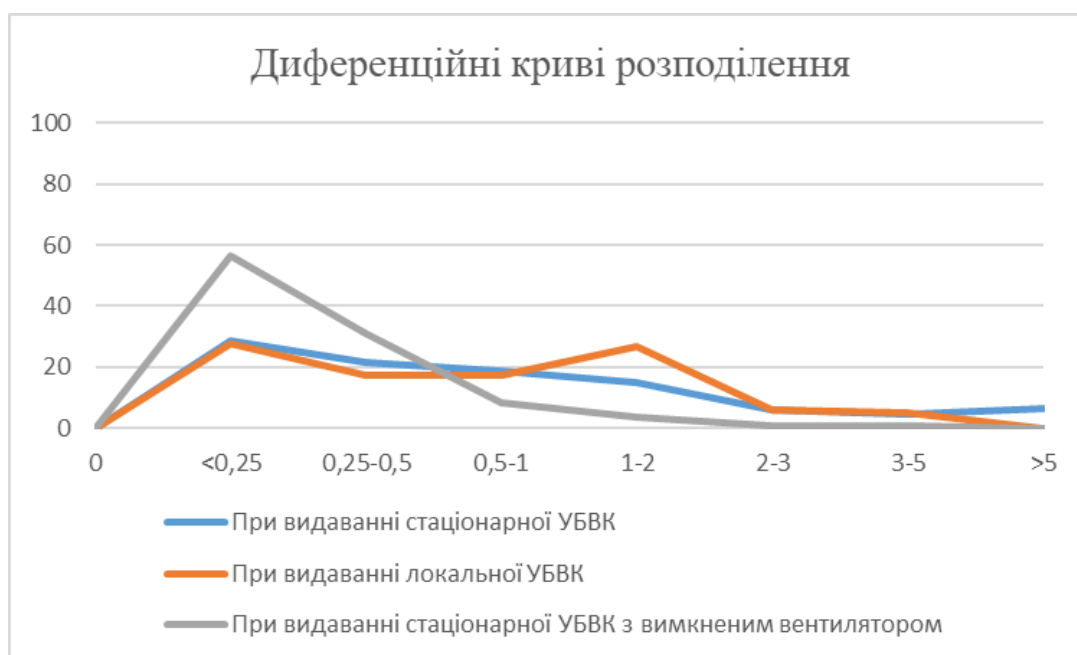


Рисунок 2.2 - Диференційні криві розподілення розмірів пилу для УБВК

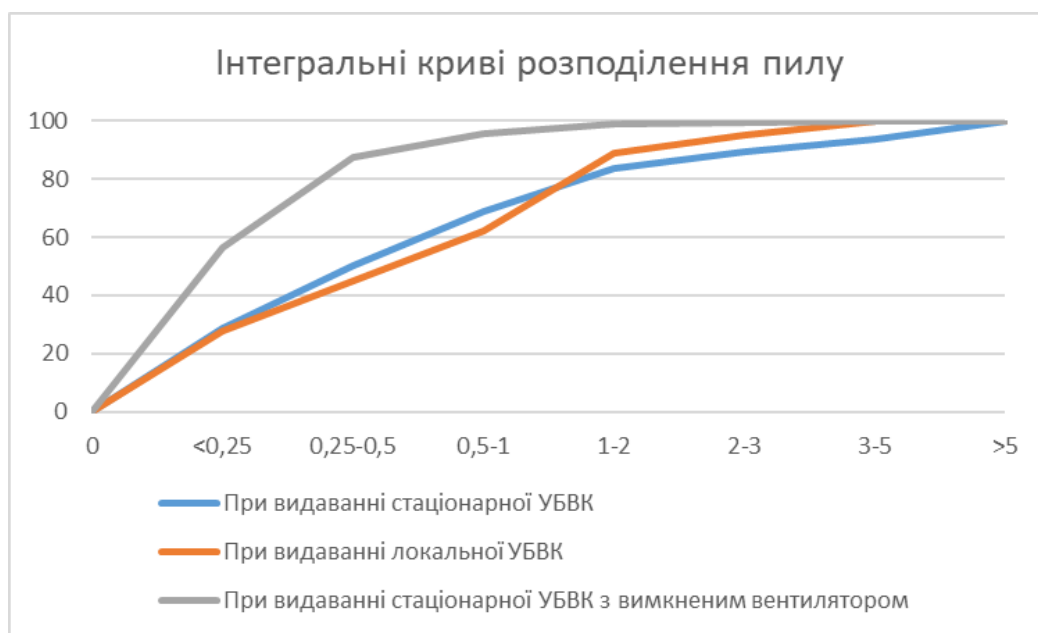


Рисунок 2.3 – Інтегральні криві розподілення розмірів пилу для УБВК

При відсмоктуванні газів видачі вентилятором 180 тис. м³/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 ВАР 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.

2.3 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 Авдіївському коксохімічному заводі з 1980 р. 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 на більшості коксохімічних заводів СНД, 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 2.2 представлено середню питому вагу відмов за категоріями в 2000-2005 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 2.2.

Таблиця 2.2 - 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 2.3 – 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	11,0	11,80
Електровоз	7,8	7,50

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 2.4). Найбільш схильні до відмов коксонапрямна, механізми знімання і

відведення дверей.

Таблиця 2.4 - Частота відмов основних механізмів

Механізми	Число відмов	
	Одиниці	%
Механізм знімання	33	19
Механізм відведення	29	17
Механізм повороту	17	10
Механізм 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; 8- корозійний знос.

У таблиці 2.5 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'ємной 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 A ;
- відмовить вентилятор, подія B ;
- відмовить система зрошення, подія V ;
- відбудуться неприпустимі деформації металоконструкції, подія Γ ;
- не забезпечується очищення пилогазової суміші, подія D .

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

$$Z = A \cup B \cup V \cup \Gamma \cup D.$$

Подія "відмовить насос" - A , відбудеться, якщо вийдуть з ладу підшипники A_1 або відмовить електродвигун A_2 :

$$A = A_1 \cup A_2.$$

Подія «відмовить вентилятор» - B , відбудеться, якщо відмовить електродвигун B_1 або відбудеться дисбаланс колеса вентилятора B_2 :

$$B = B_1 \cup B_2.$$

Подія «відмовить система зрошення» - V , відбудеться, якщо (вибираємо найважчий період - зима) замерз бак V_1 , замерзли форсунки V_2 , забилися

форсунки B_3 :

$$B = B_1 \cup B_2 \cup B_3.$$

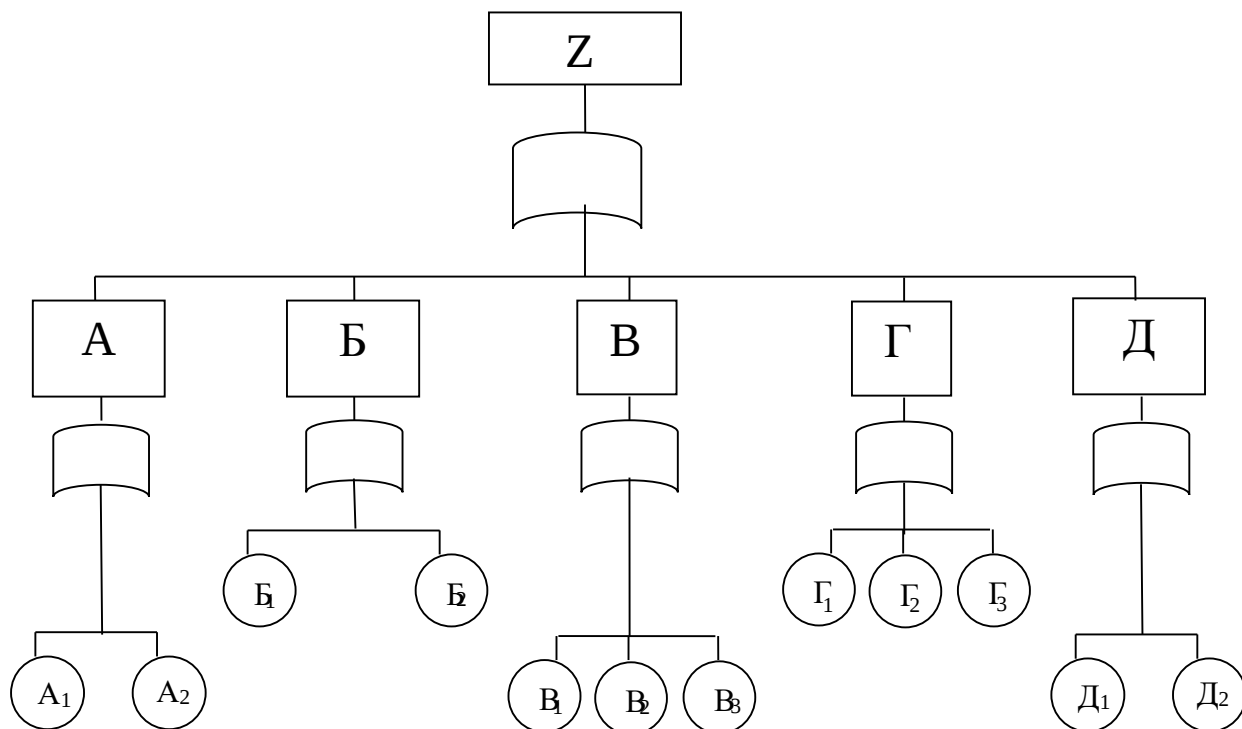


Рисунок 2.4 – Дерево відмов установки безпилової видачі коксу

Подія «відбудеться неприпустима деформація металоконструкції» - Γ , відбудеться, якщо лопнуло зварювання Γ_1 , сталася деформація зонтів Γ_2 , сталося зіткнення з кабіною тушильного вагона Γ_3 :

$$\Gamma = \Gamma_1 \cup \Gamma_2 \cup \Gamma_3.$$

Подія «не забезпечується очищення пилогазової суміші» - D , відбудеться, якщо не відрегульовані форсунки D_1 або відмовить апаратура включення електродвигунів насоса і вентилятора D_2 :

$$D = D_1 \cup D_2.$$

«Дерево відмов» тоді prime вигляд:

$$Z = A_1 \cup A_2 \cup B_1 \cup B_2 \cup B_1 \cup B_2 \cup B_3 \cup \Gamma_1 \cup \Gamma_2 \cup \Gamma_3 \cup D_1 \cup D_2.$$

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:

$$\lambda = N / t,$$

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 i -ої події Q_i , у всіх аварійних поєднаннях до ймовірності завершальної події $Q(z)$:

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

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 $F_{\text{ср}}$.

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 $F_{\text{ср}}$. Ця величина визначається діленням коефіцієнта значущості відмови всього обладнання на кількість елементів n , його складових:

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

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 ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ДВЕРЕЗНІМАЛЬНОЇ МАШИНИ ПІСЛЯ ВСТАНОВЛЕННЯ УБВК

3.1 Розрахунок на стійкість установки беспилової видачі коксу

Визначення центру ваги коксонапрямної. З складального креслення дверезнімальної машини відома схема тиску ходових коліс коксонапрямної на рейки (рис. 3.1), коли корзина коксонапрямної відведена на 550 мм [12].

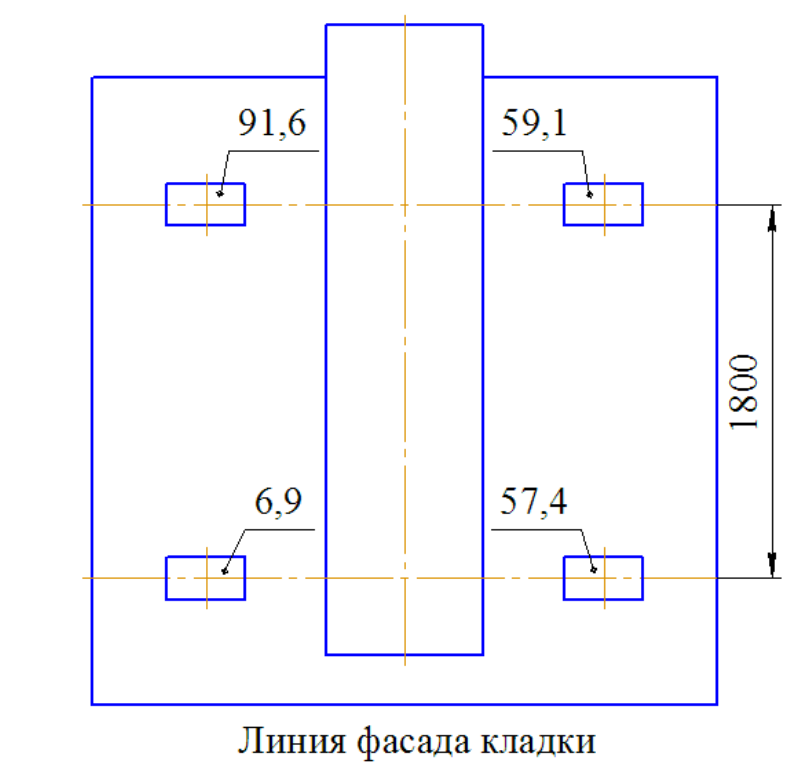


Рисунок 3.1 - Схема тиску ходових коліс на рейки (тиск в кН)

Використовуючи дані (рис. 3.1) складаємо розрахункову схему для визначення центру ваги коксонапрямної (рис. 3.2), де G - вага коксонапрямної дверезнімальної машини, а G_i - її складові: навантаження на ходові колеса з боку фасаду кладки коксової батареї, навантаження на ходові колеса з боку тушільного вагона.

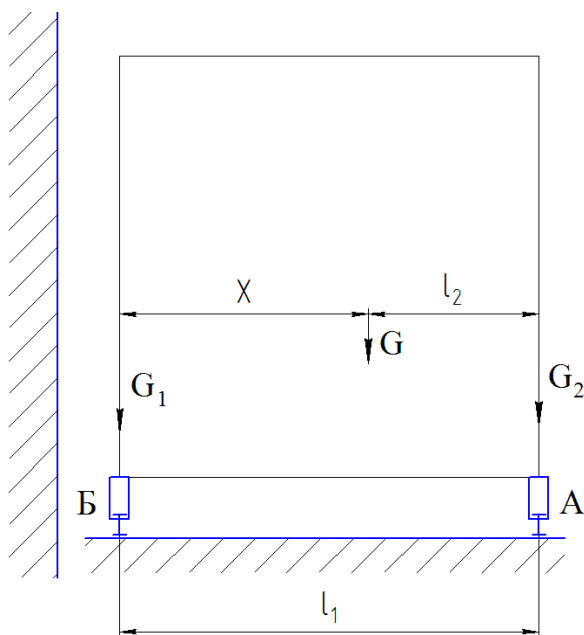


Рисунок 3.2 - Розрахункова схема для визначення центру ваги коксонапрямної

Відстань показує наскільки зсунутий відносно осі шляхів центр ваги коксонапрямної від центру рейки ближньої до фасаду кладки.

Для визначення центра ваги складаємо рівняння:

$$G_1 \cdot x - G_2 \cdot (1,8 - x) = 0;$$

$$64,3 \cdot x - 150,7 \cdot (1,8 - x) = 0;$$

$$64,3 \cdot x - 271,26 + 150,7 \cdot x = 0;$$

$$215 \cdot x = 271,26;$$

$$x = \frac{271,26}{215} = 1,26.$$

Отже, відстань від центру рейки ближнього до тушільного вагону (точка А) до центра ваги коксонапрямної дорівнюватиме:

$$l_2 = 1,8 - 1,26 = 0,54 \text{ м.}$$

Розрахунок на стійкість коксонапрямної з обладнанням установки. Складемо схему навантажень, що діють на коксонапрямну дверезнімальної машини після установки на неї УБВК (рис. 3.2) щодо точки, де вага коксонапрямної; вага установки безпилової видачі коксу (УБВК) без маси контрвантажів, що входять до складу УБВК ($m = 4300 \text{ кг} = 42183 \text{ Н}$) і ваги бака G_3 ($m = 1200 \text{ кг} = 11772 \text{ Н}$);

$$G_2 = 16000 \cdot 9,81 - 42183 - 11772 = 103005 \text{ Н};$$

G_4 – вагу необхідно розрахувати;

$$l_3 = 3,21 \text{ м (початкові дані);}$$

$$l_4 = 1,56 \text{ м (початкові дані);}$$

$$l_5 = 0,65 \text{ м (початкові дані);}$$

$$h = 8,588 \text{ м – висота УБВК (початкові дані)}$$

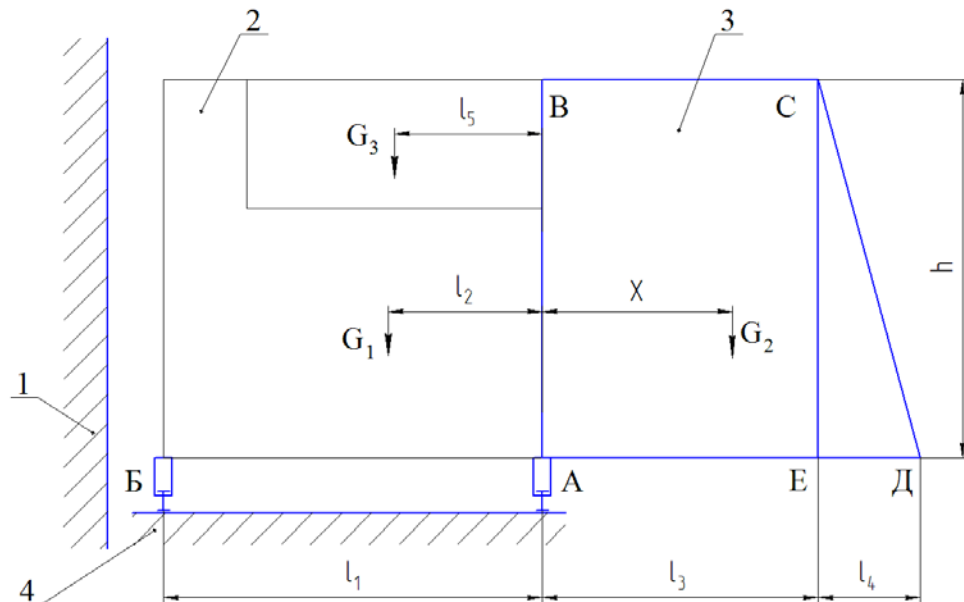
x – відстань від точки до центру ваги УБВК.

Для розрахунку приймемо наступне припущення: маса металу УБВК рівномірно розподілена по поперечному перерізі, тобто по площі ABCD. В цьому випадку рівнодіюча сили тяжіння теж буде знаходитися в центрі ваги трапеції ABCD. Для визначення положення центра ваги трапеції щодо точки А запишемо вираз:

$$S_{ABCE} \cdot \frac{1}{2} \cdot l_3 + S_{CED} \cdot (l_3 + \frac{1}{3} \cdot l_4) = (S_{ABCE} + S_{CED}) \cdot x,$$

$$x = \frac{l_3 \cdot h \cdot l_3 / 2 + l_4 \cdot h / 2 \cdot (l_3 + l_4 / 3)}{(l_3 \cdot h + l_4 \cdot h / 2)},$$

$$x = \frac{3,21 \cdot 8,588 \cdot \frac{1}{2} \cdot 3,21 + 1,56 \cdot \frac{1}{2} \cdot 8,588 \cdot (3,21 + \frac{1}{3} \cdot 1,56)}{(3,21 \cdot 8,588 + \frac{1,56 \cdot 8,588}{2})}.$$



1 - коксова батарея; 2 - коксонапрямна дверезнімальної машини; 3 - установка безпилової видачі коксу (УБВК); 4 - обслуговуючий майданчик

Рисунок 3.3 - Схема навантажень, що діють на коксонапрямну після установки на неї УБВК

Центр тяжіння УБВК знаходиться на відстані 2 м від центру рейки ближнього до гасильний вагону (від точки А).

Для визначення маси контрвантажів використовуємо рівнянні статички:

$$\sum_{MA}^F = 0.$$

Вагу води в баку враховувати не будемо тому, що під час роботи установки буде постійно змінюватися від 49050 Н до 0.

$$G_4 \cdot l_1 + G_1 \cdot l_2 + G_3 \cdot l_5 - G_2 \cdot x = 0,$$

$$G_4 \cdot 1,8 + 215000 \cdot 0,54 + 11772 \cdot 0,65 - 103005 \cdot 2 = 0,$$

$$G_4 \cdot 1,8 + 116100 + 7652 - 206010 = 0,$$

$$G_4 = 82258/1,8 = 45700 \text{ Н}.$$

З урахуванням коефіцієнта запасу маса противаг складе:

$$G_4 = 45700 \cdot 1,3 = 59410 \text{ Н} = 6000 \text{ кг}.$$

3.2 Розрахунок потужності електродвигуна механізму пересування дверезнімальної машини

Розрахунок механізму пересування зводиться до визначення опору пересуванню дверезнімальної машини, визначення потужності електродвигуна, перевірці його на перевантаження в період пуску, а також до визначення сил зчеплення провідних коліс з рейками. Для розрахунку використовуємо методику [5].

Статична потужність електродвигуна:

$$N = \frac{W \cdot V}{1000 \cdot \eta},$$

де W – загальний опір при сталому русі вагона, Н;

V – швидкість пересування вагону, м/с; $V = 1,40 \text{ м/с}$;

η – коефіцієнт корисної дії механізму, $\eta = 0,8$.

Для машин, що працюють на відкритих майданчиках, загальний опір пересуванню визначають за формулою [12]:

$$W = W_{\Pi} + W_{B1},$$

де W_{Π} – опір пересуванню машини від сил тертя, Н;

W_{B1} – опір пересуванню машини від сили вітру, Н.

Опір W_T для агрегатів, пересуваються по спеціальних рейкових коліях, представляє суму опорів:

$$W_{\Pi} = W_1 + W_2 + W_3,$$

де W_1 – опір перекочуванню колеса по рельсу від тертя, Н;

W_2 – опір від тертя в цапфах, Н;

W_3 – опір від тертя на торцевих поверхнях колеса при бічних навантаженнях, від нерівності шляху., Н.

При практичних розрахунках застосовують формулу:

$$W_{\Pi} = C \cdot (W_1 + W_2).$$

де C - коефіцієнт, який враховує умови роботи; враховує умови роботи дверезнімальної машини, приймаємо $C = 2$.

Позначивши навантаження на ходові колеса, де сила тяжіння дверезнімальної машини $G = 76250 \cdot 9,81 = 748000$ Н (вихідні дані); $Q = 41200$ Н сила тяжіння двері (вихідні дані), визначаємо W_1 и W_2 :

$$W_1 = \frac{2}{D_k} \cdot (G + Q) \cdot f,$$

$$W_2 = \frac{2}{D} \cdot (G + Q) \cdot \mu \cdot r,$$

де D_k – діаметр колеса по діаметру кочення, м; $D_k = 0,6$ м;

f – коефіцієнт тертя кочення колеса по рейці, $f = 0,001$ м;

r – радіус цапфи, м; $r = 0,06$ м;

μ – коефіцієнт тертя в цапфі ходового колеса; для підшипників кочення,
 $\mu = 0,015$;

$$W_{II} = 2 \cdot 2 \cdot (748 + 41,2) \cdot 10^3 (0,001 + 0,015 \cdot 0,06) / 0,6 = 10000 \text{ Н}.$$

Опір пересування від вітрового впливу визначаємо за формулою:

$$W_{B1} = K \cdot F \cdot g,$$

де K – коефіцієнт, що враховує заповнення поверхні механізмами і металоконструкціями, $K = 0,65$;

F – бокова поверхня дверезйомних машини, перпендикулярна поздовжньої осі батареї, m^2 ; $F = 20 \text{ м}^2$;

g – тиск вітру; $g = 147 \text{ Па}$ (ГОСТ 1451-77).

$$W_{B1} = 0,65 \cdot 20 \cdot 147 = 1911 \text{ Н}.$$

Загальний статичний опір пересуванню:

$$W = 100000 + 1911 = 11911 \text{ Н}.$$

Визначаємо статичну потужність електродвигуна:

$$N = \frac{11911 \cdot 1,407}{1000 \cdot 0,8} = 20,94 \text{ кВт}.$$

На механізмі пересування дверезнімальної машини встановлено 2 електродвигуни типу МТН-312-8У1, потужністю 11 кВт, ПВ - 40%, частота обертання валу $n = 700 \text{ об / хв}$.

Перевіряємо електродвигуни на перевантаження під час розгону

дверезнімальної машини. Динамічний опір машини:

$$W_g = \frac{(m_1 + m_2) \cdot V}{t},$$

де m_1 – маса дверезнімальної машини; $m_1 = 76250$ кг;

m_2 – маса двери; $m_2 = 4200$ кг;

t – час розгону машини, $t = 7$ с.

$$W_g = \frac{(748 + 41,2) \cdot 10^3 \cdot 1,407}{7 \cdot 9,81} = 16170 \text{ Н}.$$

Загальний опір під час руху машини:

$$W_0 = W + W_g,$$

$$W_0 = 11911 + 16170 = 28081 \text{ Н}.$$

Пускова потужність електродвигуна визначається за формулою:

$$N = \frac{28081 \cdot 1,407}{1000 \cdot 0,8} = 49,4 \text{ кВт}.$$

Перевантаження електродвигуна під час пуску:

$$\frac{N_0}{N} \leq [\gamma],$$

де $[\gamma]$ – допустимий коефіцієнт перевантаження, $[\gamma] = (2,2 - 2,65)$ [12].

$$\frac{49,4}{22} = 2,24 \leq [\gamma],$$

що допустимо.

При роботі дверезнімальної машини необхідно виключити пробуксовку коліс. Буксування відбувається, коли опір пересуванню перевищує сумарну силу зчеплення між колесами і рейками.

Визначимо сумарне навантаження на провідні колеса:

$$\sum P_b = 210,7 + 86,24 + 166,27 + 100,87 = 564,08 \text{ кН}.$$

Визначимо силу зчеплення провідних ходових коліс з рейками за формулою [12]:

$$T = \mu \cdot \sum P_b,$$

$$T = 0,2 \cdot 564,08 = 112,816 = 112816 \text{ Н},$$

де μ – коефіцієнт тертя кочення, приймаємо $\mu = 0,2$.

Щоб не було пробуксовування машини, сила зчеплення T повинна бути більше максимального опору пересуванню машини W_0 , тобто:

$$\frac{T}{W_0} \geq 1,$$

$$112816/28081=4 > 1$$

Знайдена величина співвідношення показує, що пересування машини буде відбуватися без пробуксовки ходових коліс.

3.3 Розрахунок потужності електродвигуна дверезнімальної машини після установки УБВК

Проведемо розрахунок потужності електродвигуна після установки УБВК. Знаходимо опір пересуванню машини від сил тертя, Н:

$$W_{\pi} = \frac{2 \cdot C}{D_k} \cdot (G_1 + Q) \cdot (f + \mu \cdot r),$$

де G_1 – сила тяжіння машини після установки УБВК, бака з водою і контрвантажів:

$$G_1 = G + G_2 + G_3 + G_4;$$

G_2 – вага УБВК без контрважів, $G_2 = 11700 \text{ кг} = 114777 \text{ Н}$;

G_3 – вага води в повному баку і вага бака,

$$G_3 = 5000 \cdot 9,81 + 11772 = 60822 \text{ Н};$$

G_4 – вага протівовесних вантажів, $G_4 = 59410 \text{ Н}$;

$$G_1 = 748000 + 114777 + 60822 + 59410 = 983000 \text{ Н};$$

$$W_{\pi} = \frac{2 \cdot 2}{0,6} \cdot (983000 + 41200) \cdot (0,001 + 0,015 \cdot 0,06) = 12975 \text{ Н}.$$

Опір пересуванню від вітрового впливу визначаємо за формулою.

$$W_{\text{в}} = W_{\text{в1}} + W_{\text{в2}},$$

де $W_{\text{в2}}$ - опір пересуванню від вітрового впливу після установки УБВК;

K – коефіцієнт заповненості, $K = 0,9$;

F – бічна поверхня УБК, $F_1 \approx 27 \text{ м}^2$;

$$W_{B_2} = 0,9 \cdot 27 \cdot 147 = 3572 \text{ Н},$$

$$W_B = 1911 + 3572 = 5483 \text{ Н}.$$

Визначаємо загальний статистичний опір пересуванню:

$$W = 12975 + 5483 = 18458 \text{ Н}.$$

Визначаємо статичну потужність електродвигуна:

$$N = \frac{18458 \cdot 1,407}{1000 \cdot 0,8} = 32,46 \text{ кВт},$$

що більше сумарної потужності двох електродвигунів $N = 22 \text{ кВт}$.

Перевіряємо електродвигуни на перевантаження.

Визначаємо динамічний опір дверезнімної машини:

$$W_{g_1} = (100204 + 4200) \cdot 1,40 / 7 = 20985 \text{ Н}.$$

Визначаємо загальний опір при русі машини:

$$W = 18359 + 20985 = 39344 \text{ Н}.$$

Визначаємо потужність електродвигуна:

$$N = \frac{39344 \cdot 1,407}{1000 \cdot 0,8} = 69,2 \text{ кВт}.$$

Перевантаження електродвигунів під час пуску складе :

$$\gamma = \frac{68,9}{22} = 3,14.$$

Перевантаження значно перевищує допустиме, отже, необхідно встановити електродвигуни більшої потужності, наприклад, 2 електродвигуни типу 4А 180 М8УЗ, потужністю 15 кВт, частота обертання валу = 730 об / хв.

Визначаємо фактичну швидкість пересування при = 730 об / хв:

$$\sigma_{\phi} = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{i},$$

де D – діаметр ходового колеса, м; D = 0,6 м

i – передавальне число механізму, i = 15,6;

$$\sigma_{\phi} = \frac{3,14 \cdot 0,6 \cdot 730}{15,6} = 88,16 \text{ м / мин} = 1,47 \text{ м / с}.$$

Тоді динамічний опір пересуванню при русі:

$$W = (100204 + 4200) \cdot 1,47 / 7 = 21925 \text{ Н}.$$

Загальний опір пересуванню:

$$W = 21925 + 18458 = 40383 \text{ Н}.$$

Пускова потужність електродвигуна складе:

$$N = \frac{40383 \cdot 1,47}{1000 \cdot 0,8} = 74,2 \text{ кВт}.$$

Перевантаження електродвигуна під час пуску складе

$$\gamma = \frac{74,2}{30} = 2,47,$$

Що знаходиться в межах допустимої короточасного перевантаження;

$$\gamma = 2,2 - 2,65.$$

Сила зчеплення ведучих коліс з рельсами :

$$\frac{T}{W} = \frac{112816}{40383} = 2,8 > 1.$$

Пересування машини буде відбуватися без пробуксовки ходових коліс.

3.4 Аналіз дослідження моделювання параметрів уловлення пилу в установках безпилової видачі коксу

Моделювання параметрів уловлення пилу досить складна задача, особливо для установок безпилової видачі коксу. Складність полягає у тому, що багато факторів впливає на результати. Наприклад, стан кладки коксових печей, наявність зазору між зонтом УБВК та гасильним вагоном для локальної системи уловлення, об'єм повітря, який подається при видачі готового коксу, об'єм

пилогозової суміші, що видаляється при видачі коксу. При видачі коксу та прийманні в гасильний вагон відбувається рух вагону для більш рівномірного завантаження з послідуочим його гасінням. Розміри приймального простору гасильного вагону для розпеченого коксу знаходяться в межах: довжина 13-15 м, ширина від 3 м. По ширині гасильний вагон повністю перекривається зонтом локальної системи безпилової видачі коксу, а по довжині відбуваються викиди пилогозової суміші при русі вагону. Конструктивно збільшити зонт системи безпилової видачі коксу можливо по всій довжині дверезнімальної машини, але це ускладнить та збільшить енергоємність її конструкції.

Як відмічалось в попередніх главах роботи, найбільш ємною по гранулометричному складу є фракція від 0 до 1 мм. Для проведення аналізу параметрів уловлення було прийняту методику фракційного оцінювання пилоочищення. Для аналізу виділено саме фракцію 0-1 мм, як найбільш інформативну у складі пилу.

Ступінь очищення, або коефіцієнт очищення, є основним показником, що характеризує роботу пиловловлюючих апаратів в тих чи інших конкретних випадках їх застосування:

$$\eta = \frac{M_{\text{ул}}}{M_{\text{вх}}} \cdot 100 = \frac{M_{\text{вх}} - M_{\text{вых}}}{M_{\text{вх}}} \cdot 100 =$$

$$= \frac{M_{\text{ул}}}{M_{\text{ул}} + M_{\text{вых}}} \cdot 100 = \frac{C_{\text{вх}} Q_{\text{вх}} - C_{\text{вых}} Q_{\text{вых}}}{C_{\text{вх}} Q_{\text{вх}}} \cdot 100$$

де $M_{\text{вх}}$, $M_{\text{ул}}$, $M_{\text{вых}}$ - маси частинок, що містяться в газах до їх надходження в апарат, уловлених в апараті і в газах після виходу з апарату;

$C_{\text{вх}}$, $C_{\text{вых}}$ - середні концентрації частинок в газах на вході в апарат і на виході з нього;

$Q_{\text{вх}}$, $Q_{\text{вых}}$ - кількості газів, що надходять в апарат і виходять з нього.

Об'єм та морфологічний склад газів, які виділяються при видачі коксу досить складно оцінити.

Концентрації частинок, що надходять в систему УБВК та виходять з неї,

залежать від об'єму газів, які виділяються при видачі. Об'єм газів є величиною не постійною, залежить від значної кількості факторів.

Залишаються метод вимірювання маси частинок окремих фракцій. Проби в яких міститься маси частинок, розділені за морфологічною ознакою від 0 до 1 мм з розділенням 0-0,25 мм, 0,25-0,5 мм, 0,5-1 мм на вході і виході з установки безпилової видачі коксу. Для більш точного оцінювання ефективності роботи установки безпилової видачі коксу були взяті проби повітря при різних ситуаціях:

- а) при видаванні коксу;
- б) при закритих дверях коксової печей.

При видаванні коксу проби бралися на відстанях: 1 м від зони уловлення, 5 м від зони уловлення, 10 м від зони уловлення.

В цих місцях брали проби при закритих дверях. В таблиці 3.1 вказані дані 5 експериментів по кожному випадку. Для аналізу приймали до уваги вміст та гранулометричний склад пилу до 1 мм, вміст та об'єм газів в цих експериментах не розраховувалися.

Ступінь уловлення по даним таблиці 3.1 можна оцінити, порівнюючи результати при видаванні та при закритих дверях коксової печі. Розраховуючи ефективність уловлення твердих частинок, використовуємо формулу для сумарного фракційного коефіцієнту, що враховує фракції 0-0,25 мм, 0,25-0,5 мм, 0,5-1 мм.

Фракційний коефіцієнт дорівнює відношенню маси пилу даної фракції, уловленої в апараті, до кількості вхідної маси пилу тієї ж фракції:

$$\eta_i = \frac{M_{iул}}{M_{iвх}}$$

Повний коефіцієнт очищення може бути розрахований по фракційному складу пилу на вході в апарат і по фракційним коефіцієнтам очищення:

$$\eta = \sum \frac{\Delta R_{i\text{BX}}}{100} \eta_i$$

Таблиця 3.1 – Вміст твердих частнок у повітрі біля коксових батарей

	Розмір фракції								
Місця взяття проб повітря	<0,25, мм			0,25-0,5, мм			0,5-1, мм		
При закритих дверях коксової батареї	1	2	3	1	2	3	1	2	3
На відстані 1 м від печі	30	40	50	40	20	20	25	35	25
На відстані 5 м від печі	20	30	20	25	30	15	15	20	15
На відстані 10 м від печі	15	20	15	15	10	15	10	5	10
При видаванні стаціонарної УБВК	2900	2850	2800	1850	1900	1920	1700	150	1800
На відстані 1 м	1200	1250	1300	780	800	850	350	400	450
На відстані 5 м	100	150	200	200	250	300	120	150	130
На відстані 10 м	50	70	80	80	60	40	30	60	50
При видаванні локальної УБВК	2980	3000	3050	2400	2450	2350	2050	2040	1980
На відстані 1 м	1350	1400	1350	540	600	630	450	560	520
На відстані 5 м	205	220	185	90	120	150	105	120	90
На відстані 10 м	100	110	80	50	80	60	50	60	75

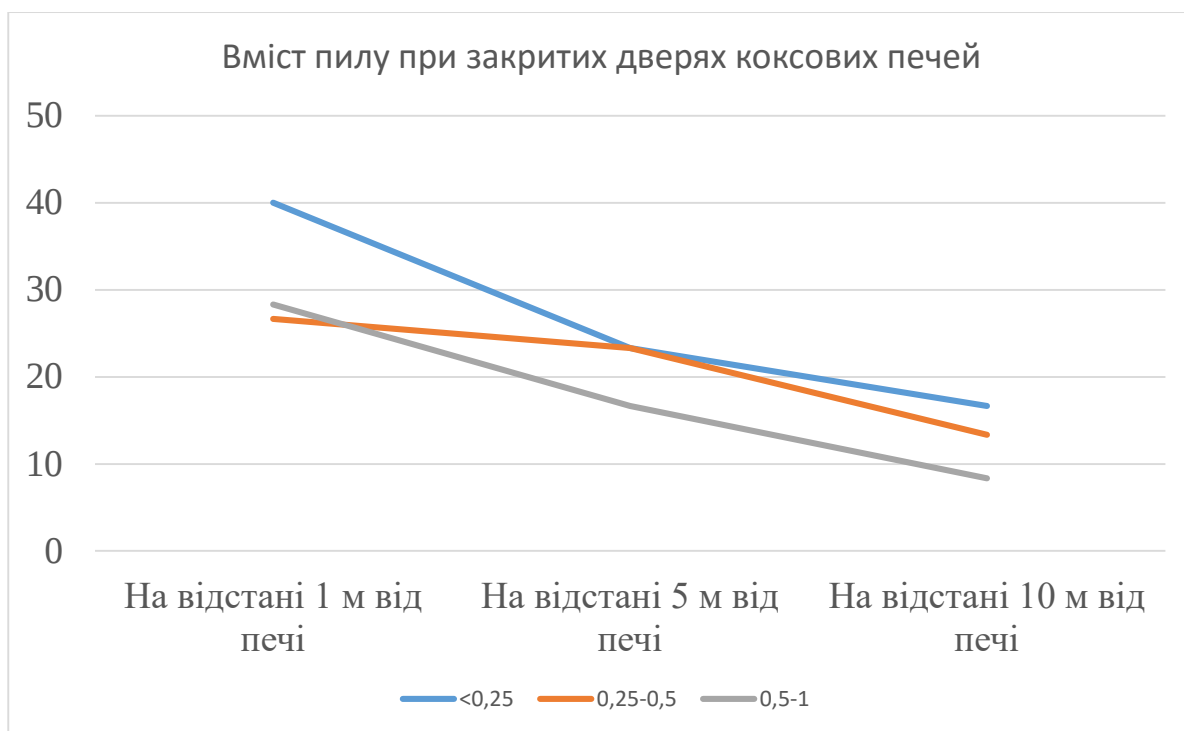


Рисунок 3.4 – Залежності вмісту пилу окремих фракцій від відстані коксових печей

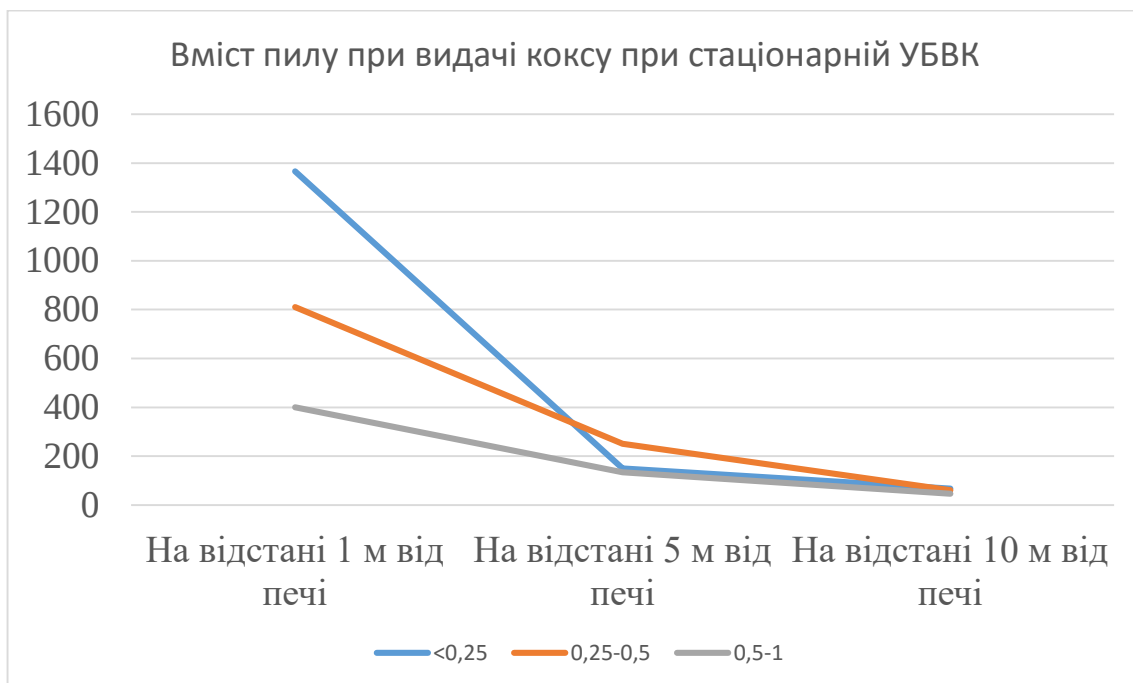


Рисунок 3.5 – Вміст пилу при видачі коксу для окремих фракцій при роботі стаціонарної УБВК

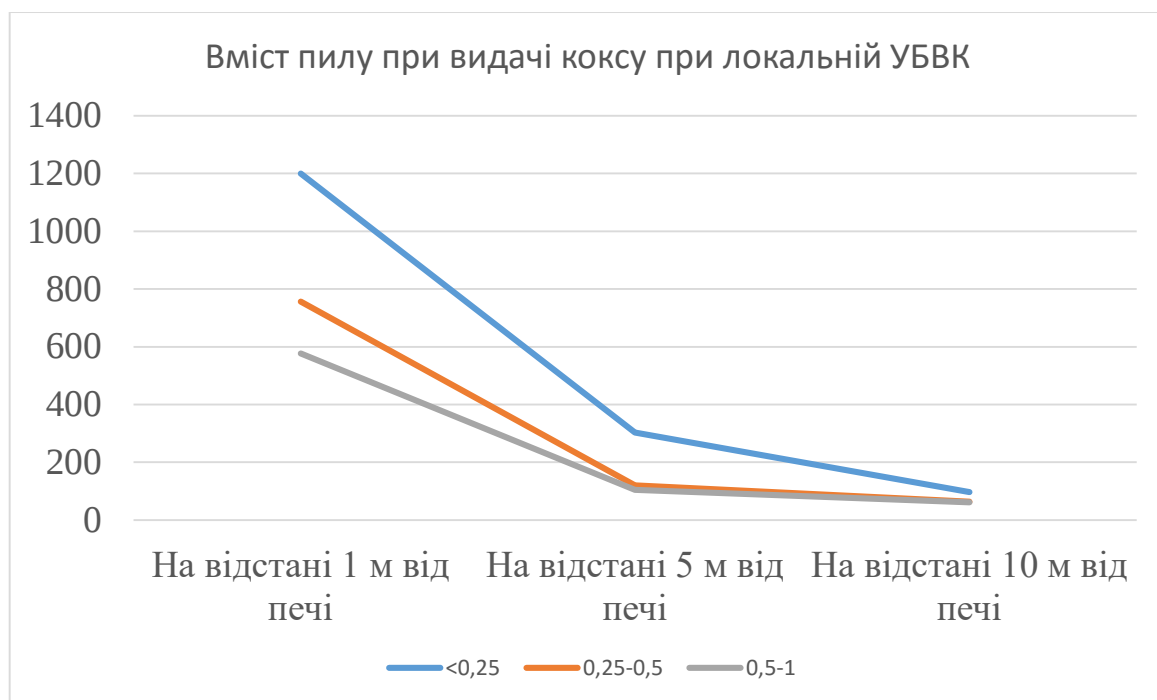


Рисунок 3.6 - Вміст пилу при видачі коксу для окремих фракцій при роботі локальної УБВК

Оцінюючи графіки вмісту пилу стаціонарної та локальної УБВК можливо зробити наступні висновки:

- вміст твердих частинок пилу в залежності від відстані коксових печей знижується.
- при видачі коксу спостерігається викиди пилу різних фракцій
- при роботі стаціонарної установки безпилової видачі спостерігається збільшення вмісту фракцій менше 0,25 мм.

Відносна ефективність уловлення твердих частинок пилу складає:

- для фракцій 0-0,25 мм 52% для стаціонарної УБВК, 60% для локальної УБВК;
- для фракцій 0,25-0,5 мм 57% для стаціонарної УБВК, 68% для локальної УБВК.
- для фракцій 0,5-1 мм для стаціонарної УБВК 77%, для локальної УБВК 71%.

4 CFD МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ УСТАНОВКИ БЕЗПИЛОВОЇ ВИДАЧІ КОКСУ

4.1. Вихідні дані для моделювання

Для пошуків подальших напрямів підвищення ефективності роботи установки безпилової видачі коксу виконаємо моделювання руху потоків газів, що утворюються на поверхні вагону для тушіння коксу, його перемішування з навколишнім повітрям та відведення до фільтрувальних пристроїв.

На першому кроці розробимо спрощену 3D-модель установки безпилової видачі коксу з частиною коксової батареї, вагоном для тушіння коксу та дверезнімальною машиною (рис.4.1). На рисунку також наведено граничні умови.

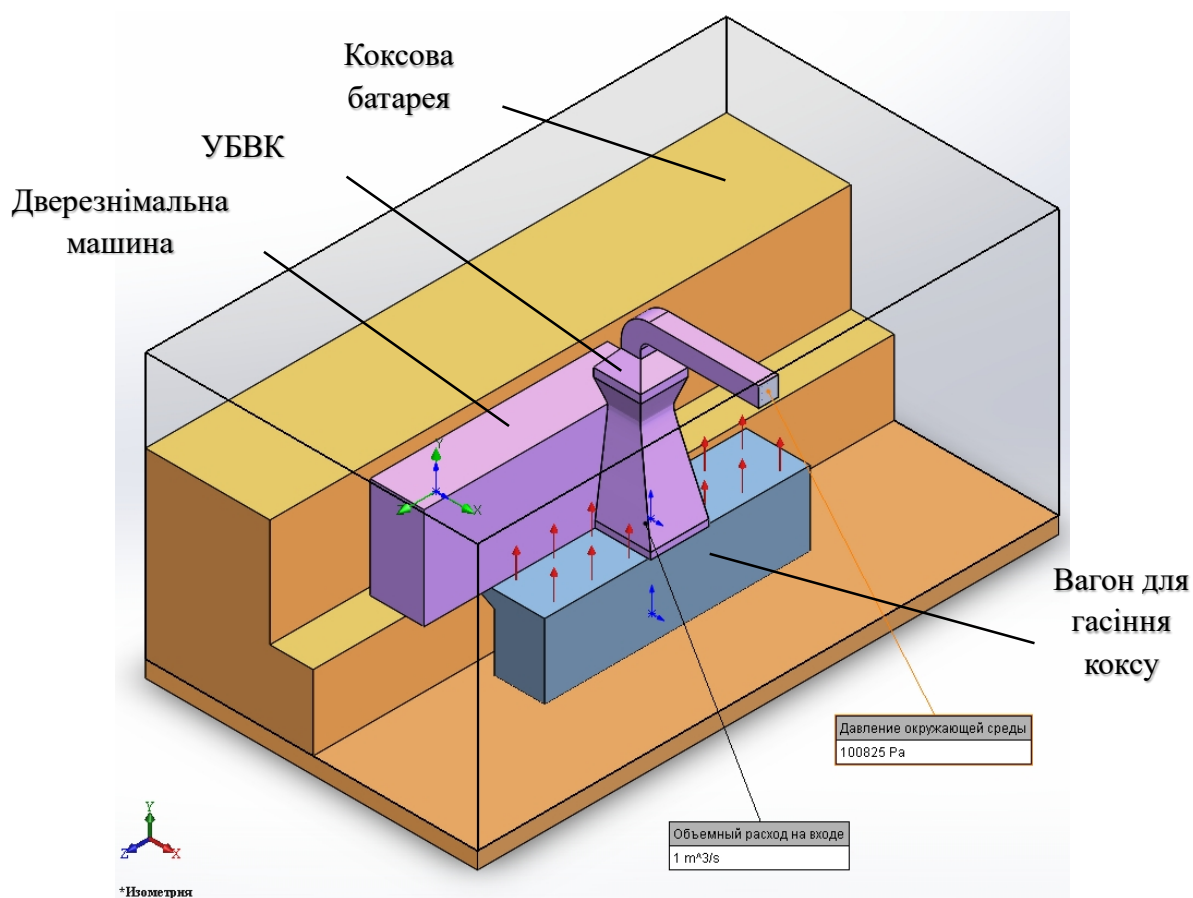


Рисунок 4.1 - Спрощена 3D-модель установки безпилової видачі коксу

Наведемо основні вихідні дані та налаштування CFD-моделі:

Модель	UBVK.SLDASM
Ім'я проекту	UBVK_Flow
Шлях до проекту	D:\УБВК\
Система одиниць виміру:	SI (m-kg-s)
Тип завдання	Зовнішнє
Система координат	Глобальна система координат

Розміри базової сітки:

Число осередків по X	16
Число осередків по Y	14
Число осередків по Z	22

Контрольні площини в напрямку X:

ім'я	мінімум	максимум	число осередків	розбіг сітки
X1	0	10.000	-	1.0000000
X2	10.000	20.000	-	1.0000000

Контрольні площини в напрямку Y:

ім'я	мінімум	максимум	число осередків	розбіг сітки
Y1	0	7.894	-	1.0000000
Y2	7.894	16.000	-	1.0000000

Контрольні площини в напрямку Z:

ім'я	мінімум	максимум	число осередків	розбіг сітки
Z1	-17.500	0	-	1.0000000
Z2	0	17.500	-	1.0000000

Поверхня розділу твердих тіл з текучим середовищем:

Рівень роздільної здатності сіткою дрібних особливостей моделі	2
Рівень роздільної здатності сіткою кривизни поверхні	0
Критерій роздільної здатності сіткою кривизни поверхні	0.505 rad
Рівень роздільної здатності сіткою виступів поверхні	3
Критерій роздільної здатності сіткою виступів поверхні	0.301 m

Дроблення осередків:

Дробити всі осередки в текучому середовищі	Виключено
Дробити всі часткові осередки	Виключено
Дробити всі осередки в твердому тілі	Виключено

Розрахункова область:

X min	0 m
X max	20.000 m
Y min	0 m
Y max	16.000 m
Z min	-17.500 m
Z max	17.500 m
Розмір X	20.000 m
Розмір Y	16.000 m
Розмір Z	35.000 m

Параметри фізичні моделі.

Теплопровідність в твердих тілах:	Виключено
Нестаціонарність:	Виключено
Гравітаційні ефекти:	Включено
Обертання:	Виключено
Тип перебігу:	Ламинарний і турбулентний
Перебіг з великим числом Маха:	Виключено
Вільна поверхня:	Виключено
Шорсткість за замовчуванням:	0 micrometer

Гравітаційні дані:

X компонента	0 m / s^2
Y компонента	-9.81 m / s^2
Z компонента	0 m / s^2

Умови на стінках за замовчуванням: Адіабатична стінка

Зовнішні умови:

- термодинамічні параметри:	статичний тиск: 101325.00 Pa
	температура: 293.20 K
- параметри швидкості:	вектор швидкості
	швидкість в напрямку X: 0 m / s
	швидкість в напрямку Y: 0 m / s
	швидкість в напрямку Z: 0 m / s
- концентрації:	частка речовини по масі
	Carbon Dioxide: 0.0
	Air: 1.0

Для спрощення розрахунків приймаємо, що димові гази мають простий склад – двоокис вуглецю (Carbon Dioxide), а навколишнє середовище – повітря (Air). Наведемо їх основні властивості, які є в інженерній базі даних програми.

Двоокис вуглецю Carbon Dioxide:

молярна маса:	0.0440 kg / mol
критична температура:	304.13 K
критичний тиск:	7377300.00 Pa
коефіцієнт стисливості в критичній точці:	0.2745900
мінімальне значення температури:	220.00 K
максимальне значення температури:	1090.00 K
максимальне значення тиску:	$1.48 \times 10^7 \text{ Pa}$

Повітря (Air):

показник адіабати (C_p / C_v): 1.399

молекулярна маса: 0.0290 kg / mol

Залежності динамічної в'язкості, питомої теплоємності та коефіцієнту теплопровідності повітря (Air) наведено на рисунках 4.2 - 4.4.

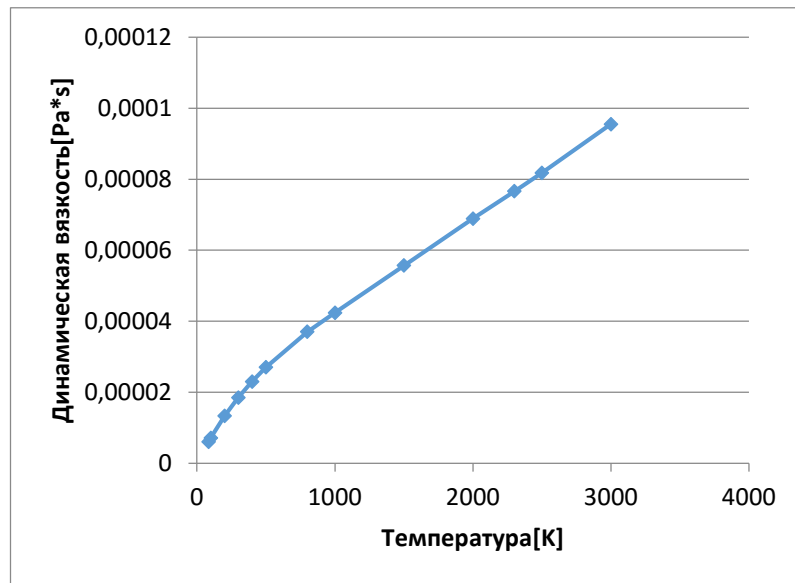


Рисунок 4.2 – Залежність динамічної в'язкості повітря (Air) від температури

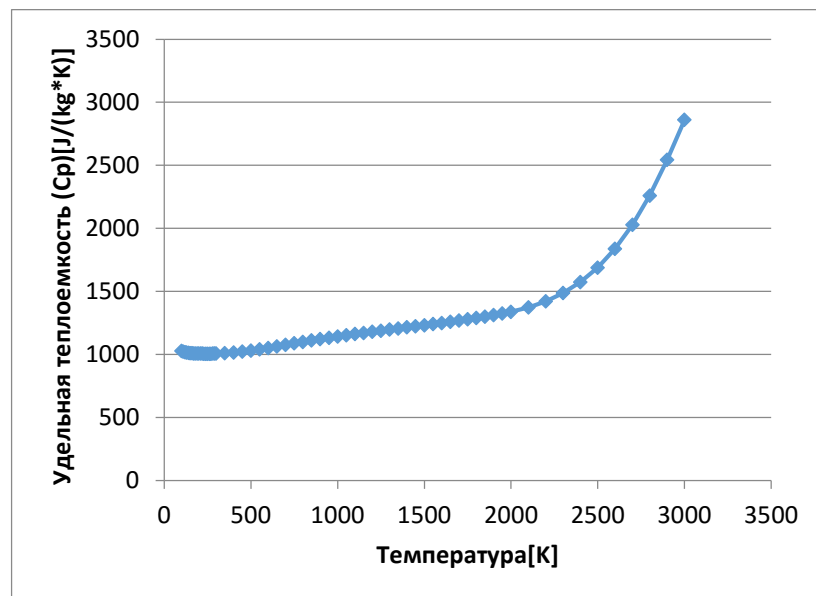


Рисунок 4.3 – Залежність питомої теплоємності повітря (Air) від температури

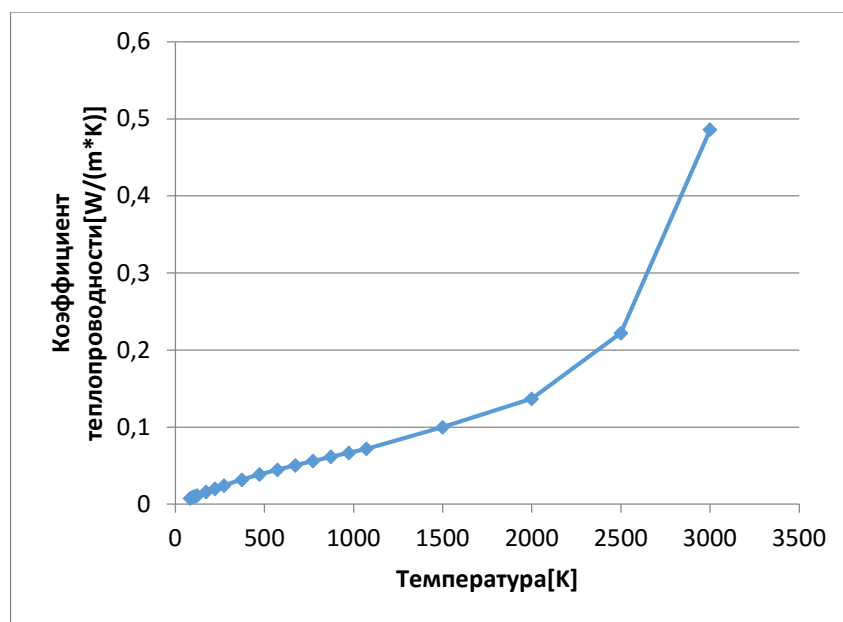


Рисунок 4.4 – Залежність коефіцієнту теплопровідності повітря (Air) від температури

Розміри базової сітки:

Число осередків по X	16
Число осередків по Y	14
Число осередків по Z	22

Число осередків:

осередки	55001
Осередки в текучої середовищі	55001
ірегулярні осередки	261
усічені осередки	706

Розрахункова сітка є дуже важливою з точки зору якості розрахунків, тому при її налаштуванні ввімкнемо вузькі канали:

поліпшити роздільну здатність вузьких каналів	включено
характерне число осередків поперек вузького каналу	10
максимальний рівень дроблення каналів	3
мінімальна ширина каналу	1.000 m
максимальна ширина каналу	3.500 m
максимальний рівень дроблення	3

В результаті отримаємо розрахункову сітку, яку поліпшено в вузьких каналах моделі (рис. 4.5 та 4.6).

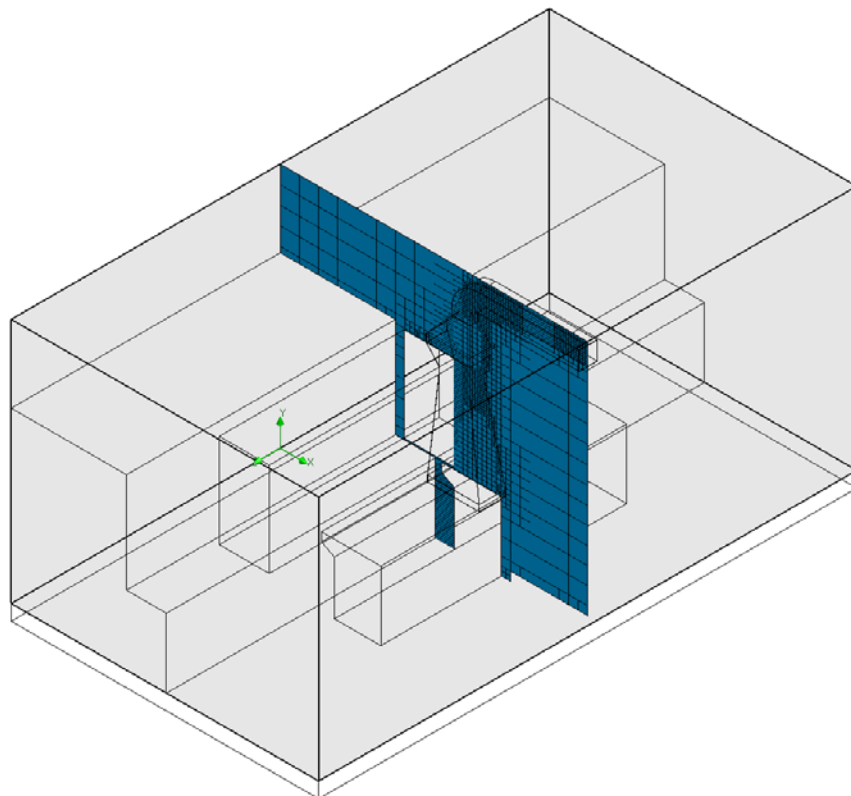


Рисунок 4.5 – Розрахункова сітка моделі УБВК (ізометрія)

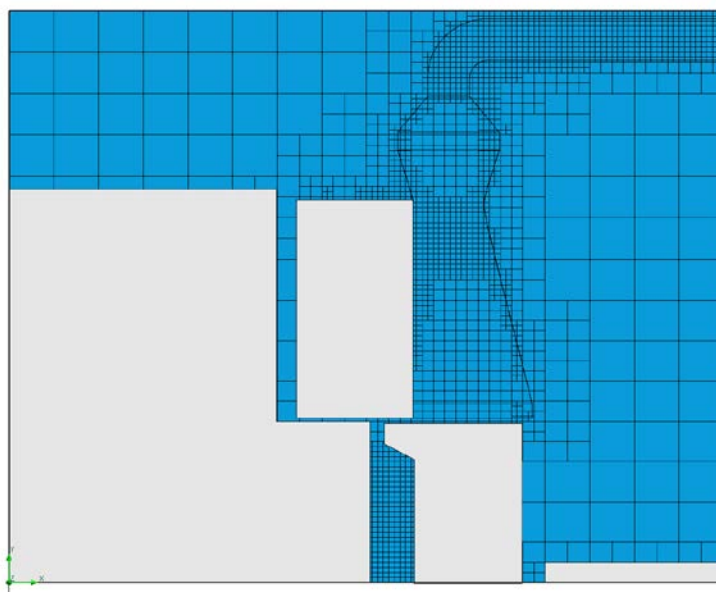


Рисунок 4.6 – Розрахункова сітка моделі УБВК (переріз)

4.2. Аналіз отриманих результатів моделювання

Після виконання розрахунків отримуємо наступні результати (табл.. 4.1).

Таблиця 4.1 - Значення результатів розрахунків

Параметр та розмірність	Мінімум	Максимум
Абсолютна вологість [kg / m^3]	-2.78e-04	0.43
Тиск [Pa]	100057.54	101359.51
Щільність (текуча середа) [kg / m^3]	0.43	1.20
Швидкість [m / s]	0	31.849
Швидкість (X) [m / s]	-10.808	26.371
Швидкість (Y) [m / s]	-5.821	29.509
Швидкість (Z) [m / s]	-14.233	14.736
Температура [K]	292.74	1273.00
Завихореність [$1 / \text{s}$]	0	326.79
Швидкість при обертанні в системі координат [m / s]	0	31.849
Швидкість при обертанні в системі координат (X) [m / s]	-10.808	26.371
Швидкість при обертанні в системі координат (Y) [m / s]	-5.821	29.509
Швидкість при обертанні в системі координат (Z) [m / s]	-14.233	14.736
Дотичні напруження [Pa]	0	2.50
Відносний тиск [Pa]	-1267.46	34.51

На рисунках 4.7 – 4.12 наведено основні результати розрахунків у вигляді розподілу термодинамічних параметрів потоків (швидкість потоку, тиск, температура) в просторі моделі.

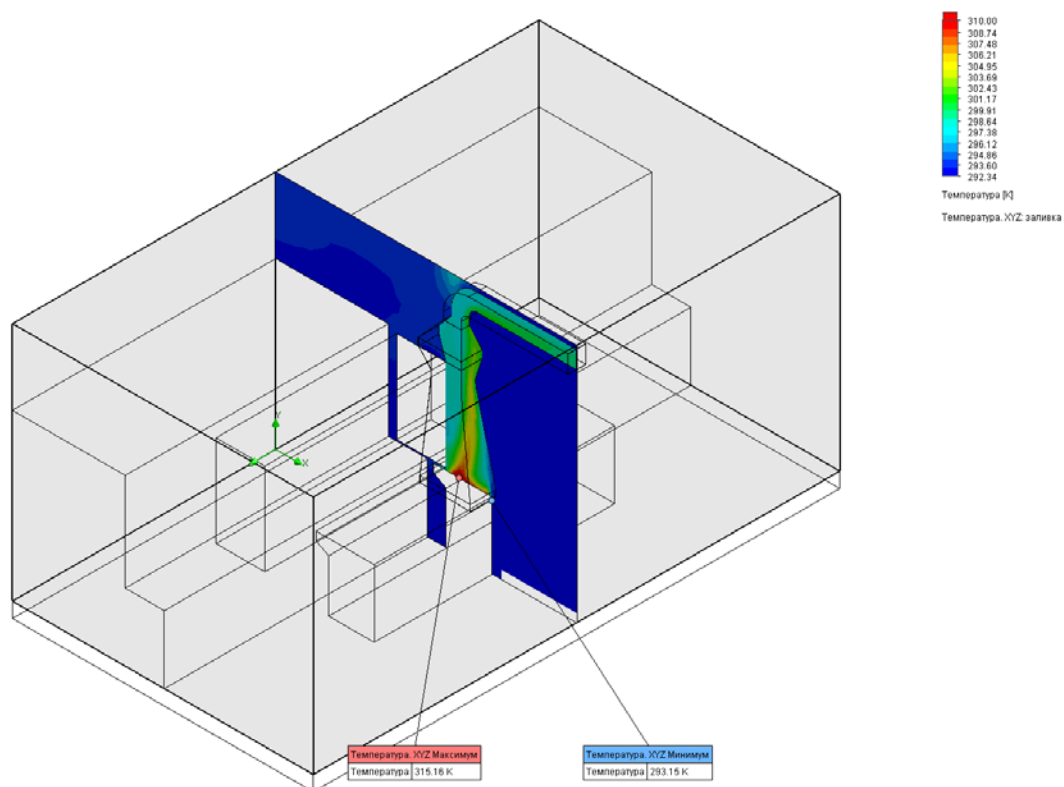


Рисунок 4.7 – Розподіл полей температур у моделі УБВК (ізометрія)

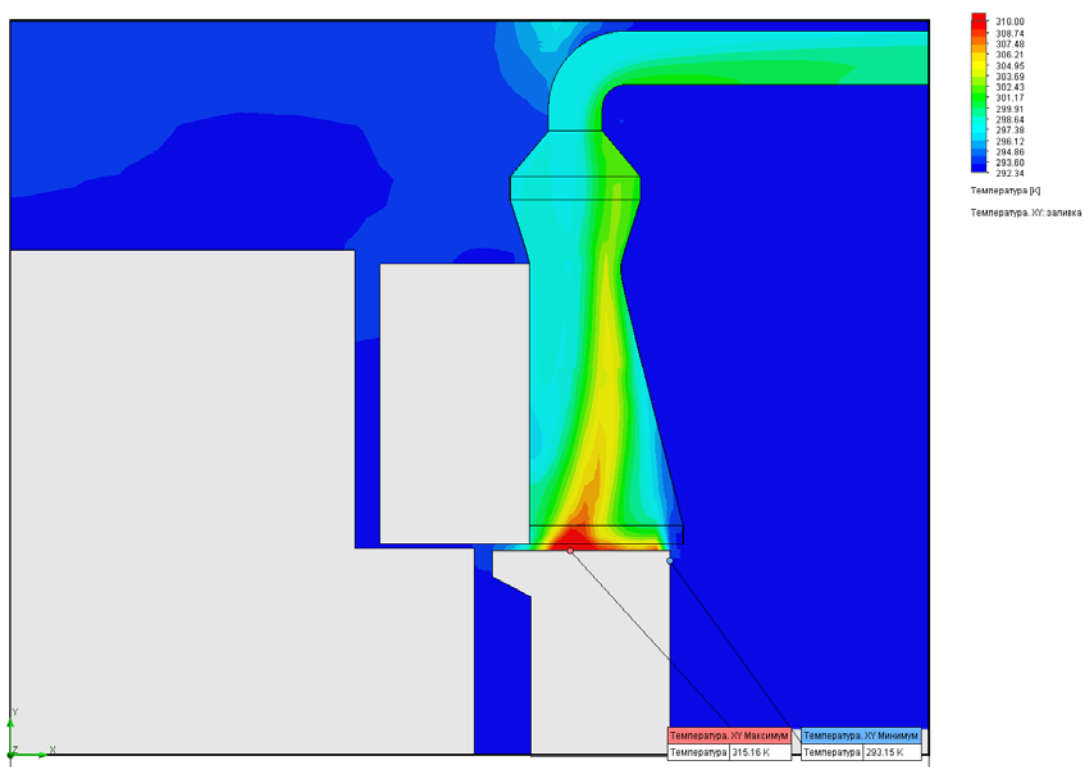


Рисунок 4.8 – Розподіл полей температур у моделі УБВК (переріз)

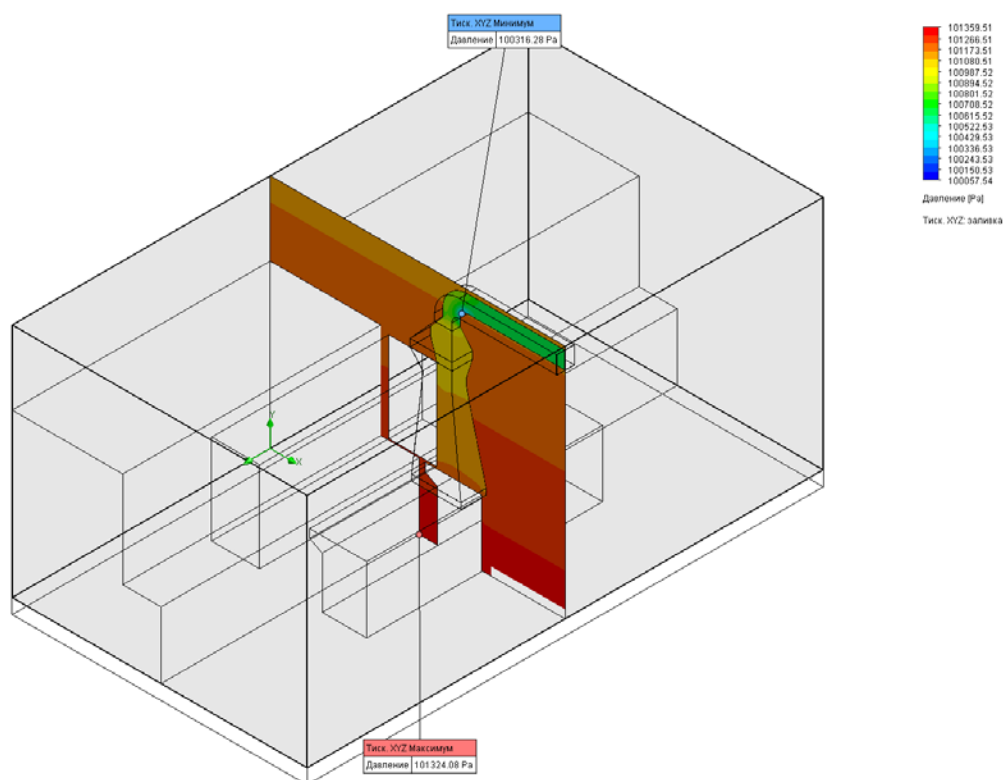


Рисунок 4.9 – Розподіл полей тиску у моделі УБВК (ізометрія)

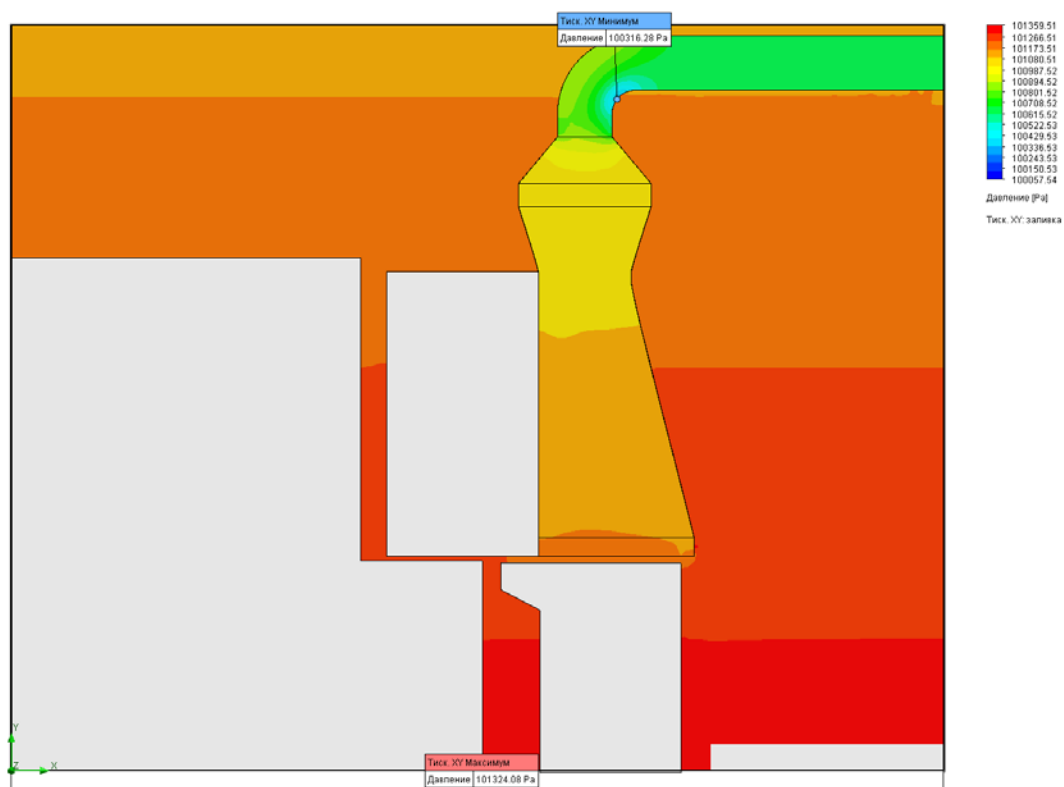


Рисунок 4.10 – Розподіл полей тиску у моделі УБВК (переріз)

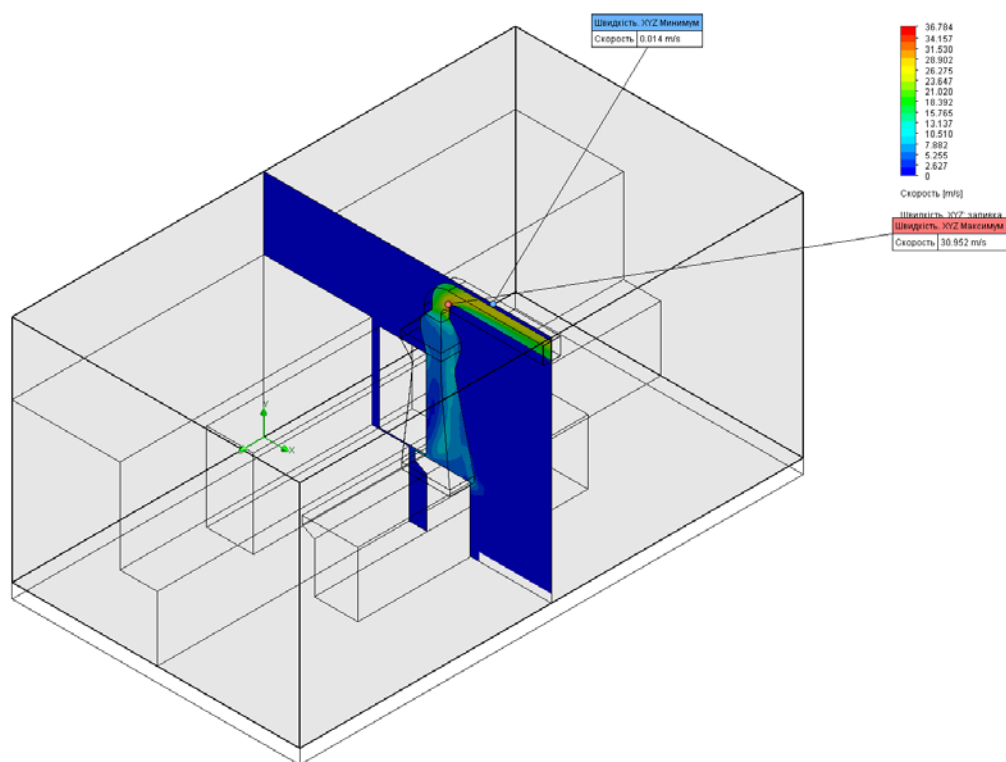


Рисунок 4.11 – Розподіл полей швидкостей потоків у моделі УБВК (ізометрія)

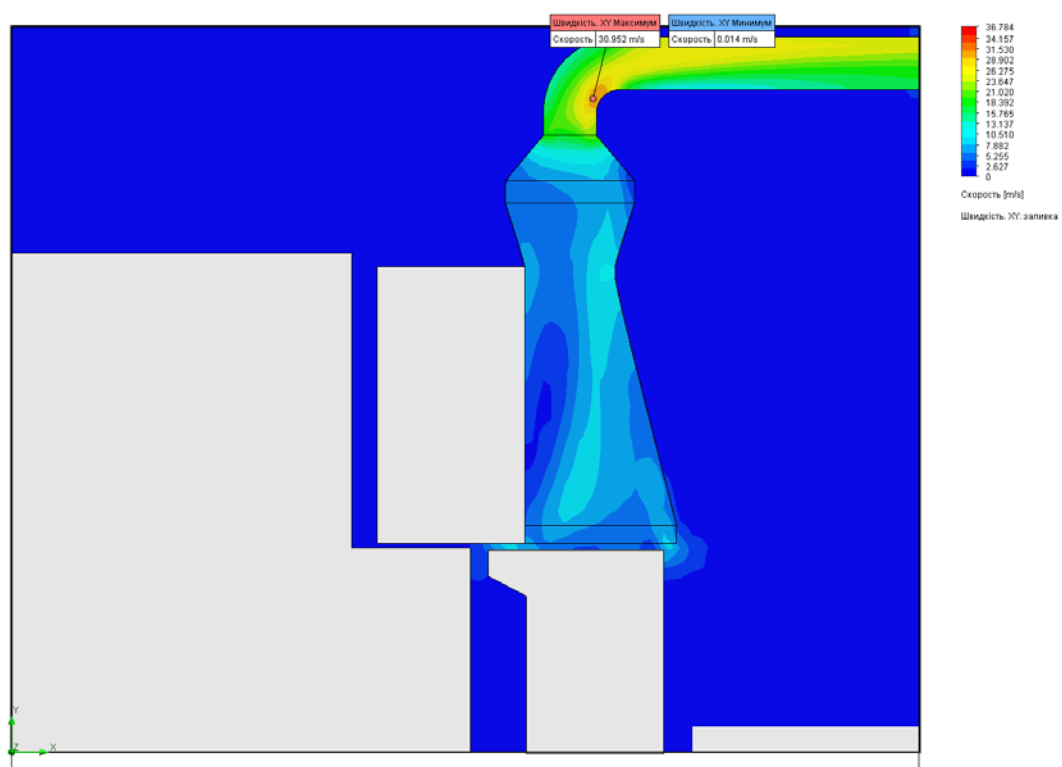


Рисунок 4.12 – Розподіл полей швидкостей потоків у моделі УБВК (переріз)

На рисунках 4.13 – 4.14 наведено траєкторії потоку (вектори швидкості потоку) в просторі моделі та у вигляді ізоповерхонь швидкостей (рис. 4.15).

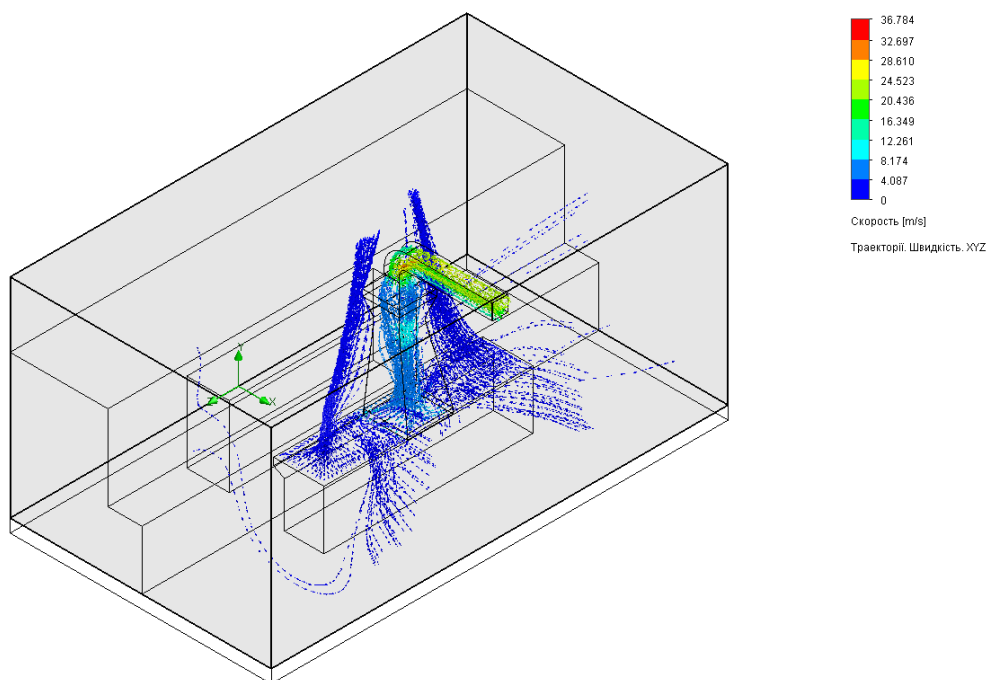


Рисунок 4.13 – Траєкторії потоку у моделі УБВК (ізометрія)

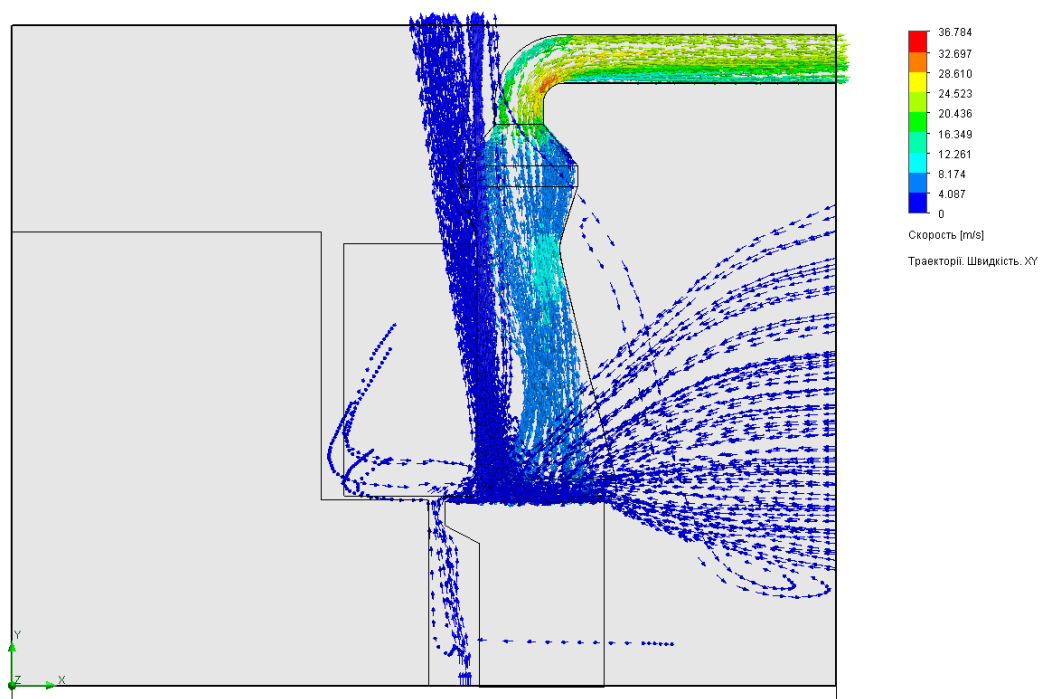


Рисунок 4.14 – Траєкторії потоку у моделі УБВК (переріз)

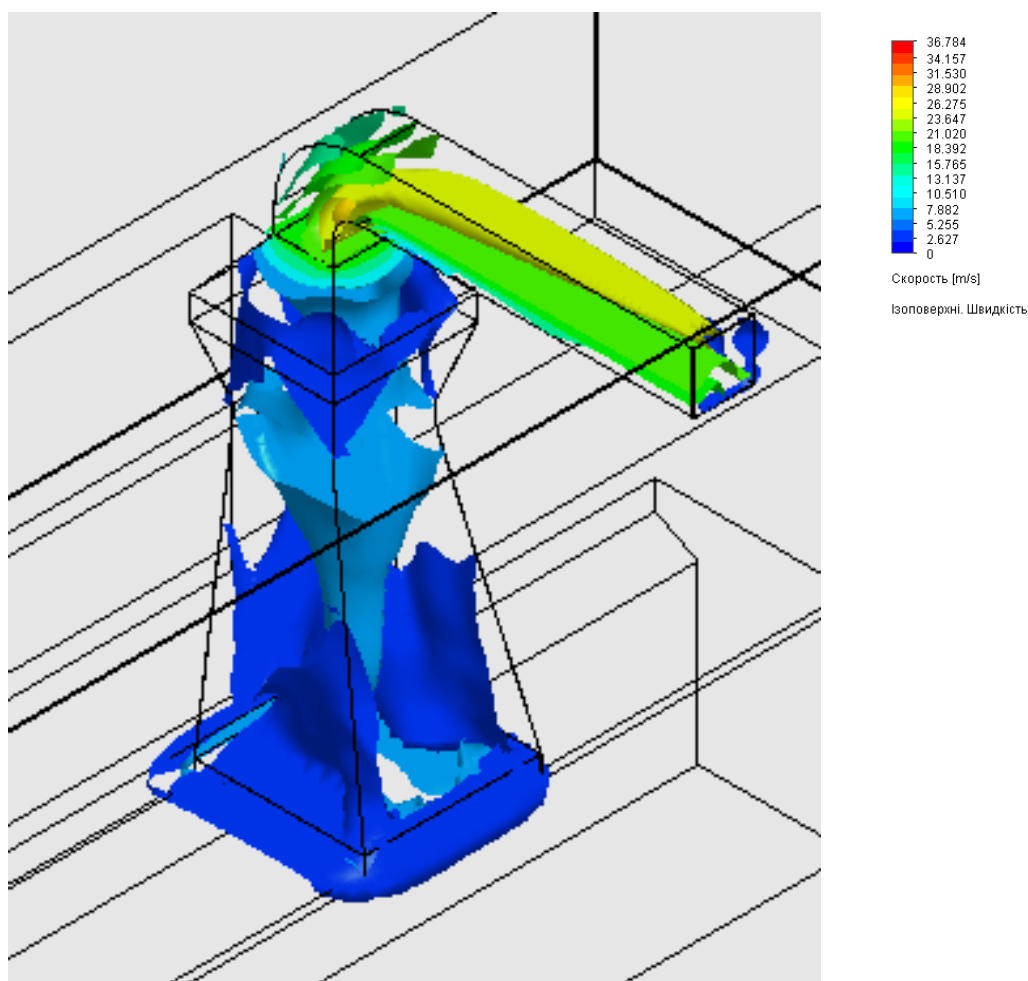


Рисунок 4.15 – Ізоповерхні швидкостей потоку у моделі УБВК (ізометрія)

Аналіз отриманих результатів показує, що УБВК досить ефективно вловлює газопилові викиди, але в процесі роботи захоплює досить велику кількість навколишнього повітря (рисунки 4.13 – 4.14), при цьому видно, що створюються досить інтенсивні потоки повітря навколо поверні, з якої виділяються газопилові викиди. Одним із рішень цієї проблеми є зменшення продуктивності газодувки при одночасному збільшенні площі витяжного пристрою.

Це все вказує, що конструкція УБВК вловлює газопилові викиди з вагону для тушіння коксу, але необхідно розроблювати заходи по підвищенню її ефективності, зокрема знешкоджувати вловлені речовини.

5 ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ УСТАНОВКИ БЕЗПИЛОВОЇ ВИДАЧІ КОКСУ

5.1. 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.

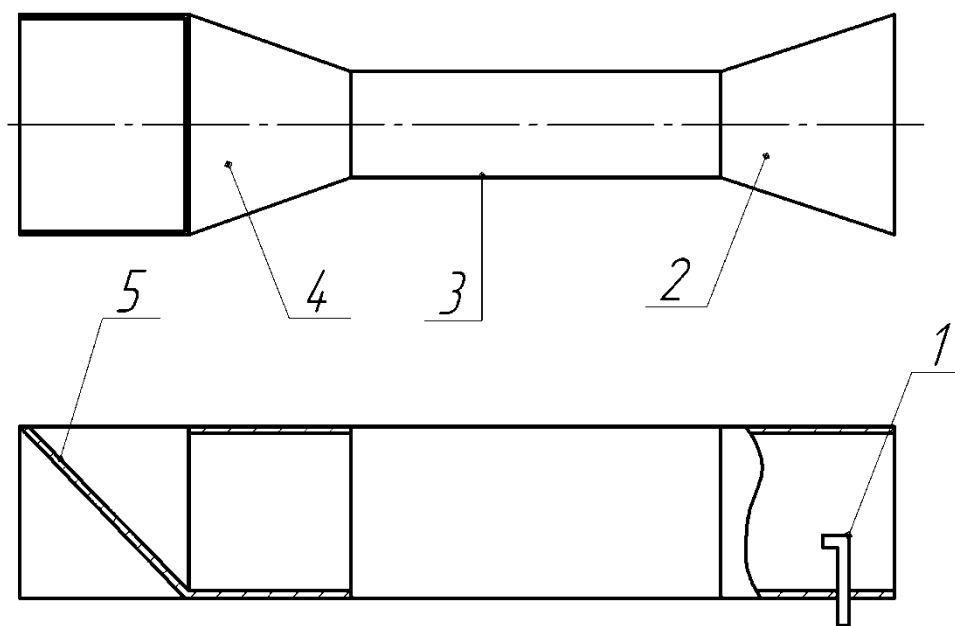
При аналізі проблеми беспилової видачі коксу виявили не тільки недостатність випалювання сводового графіту стисненим повітрям, але і шкоду від такого технічного рішення, так як значний обсяг повітря із зірваними частинками графіту направляється по підсводовому простору на коксову сторону, тим самим сприяючи відповідному збільшенню обсягу пилогазового 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°C в підсводовому просторі обсяг цього повітря зростає до $60\text{-}90 \text{ м}^3$ в той час як обсяг залишкових летючих речовин готового коксу складає $1,9\text{-}3,3 \text{ м}^3$. 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 повітреструйного ежектора. Він складається з сопла, конфузора, камери змішування і дифузора. З метою надання руху змішаного потоку повітря і нагрітих газів видачі на свод коксової камери в дифузори встановлена напрямна лопатка (рис. 5.1). 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 на машинну потік газів. Підігріте в камері змішувача повітря інтенсифікує процес горіння графіту на зводі і в люках, а завдяки збільшенню швидкісного напору струмін 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 підсводовому 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 5.1 - 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 зонти 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 нижньої частини зонти 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 УБВК 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 $\geq 80\%$. Відсмоктування пилогазоповітряної суміші проводиться димососом (або пиловим вентилятором) продуктивністю 20 тис. м³/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 конструкції було одним з основних природоохоронних заходів.

5.2 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 5.1 - 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

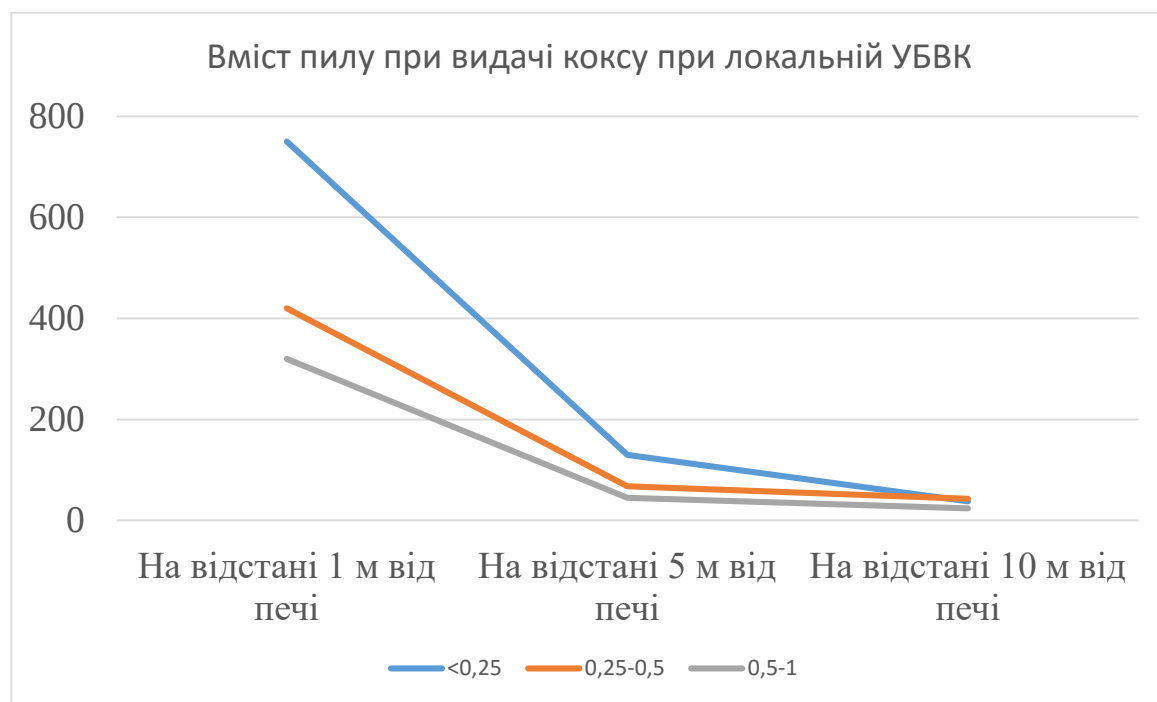


Рисунок 5.1 – Графік залежності вмісту пилу при впровадженні технічного рішення

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 м³/год, з розташуванням зверху зонти локальної УБВК.

Одним із шляхів вирішення запиленості при видаванні коксу є об'єднання 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 воздухомструйний 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.

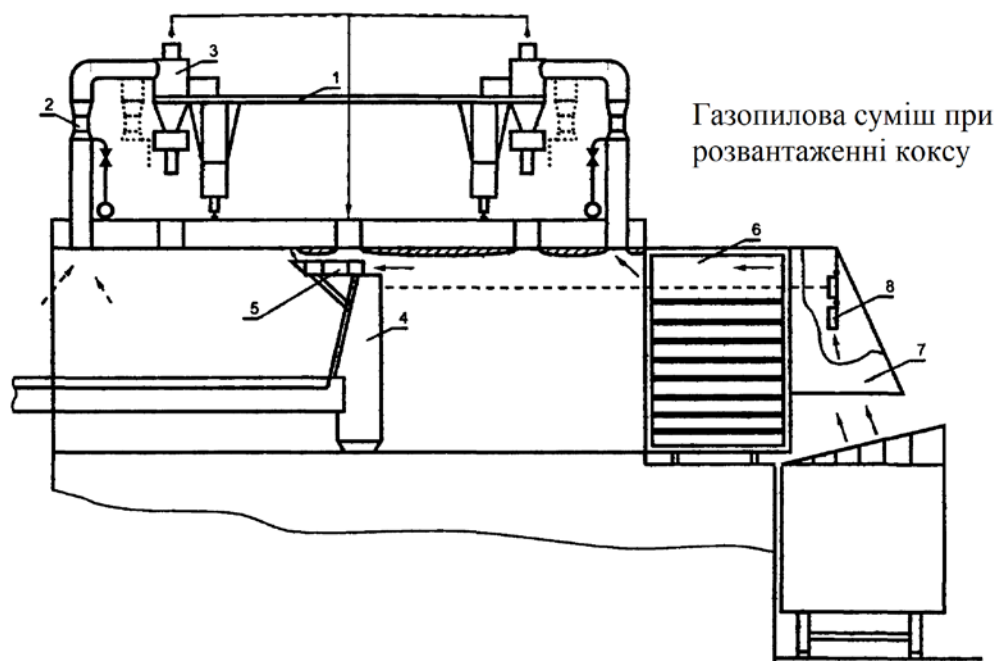


Рисунок 5.2 – Об'єднання установок безпилової видачі коксу та бездимного завантаження коксової печі

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 $\sim$ 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 ампераж при видачі коксу. Ця конструкція з незначними технічними доповненнями може бути використана для бездимного завантаження коксових печей. Для цього газів 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.

ВИСНОВКИ

Відповідно до завдання в кваліфікаційній роботі було проведено аналіз шляхів підвищення ефективності роботи установки безпилової видачі коксу.

Для розробки методів щодо підвищення ефективності установки безпилової видачі коксу був проведений аналіз сировини та технологічні процеси її отримання. Розглянуті основні види конструкцій УБВК. Розраховані основні параметри після встановлення елементів уловлювання.

Встановлено залежності розподілення часток в інтервалі 0-6 мм, сумарного пилоутворення.

З використанням метода «дерева відмов» проведений аналіз надійності дверезнімальної машини з установкою безпилової видачі коксу.

Виявлені залежності запиленості під час проведення видачі з роботою локальної та автономної установки безпилової видачі коксу.

Проведено CFD моделювання роботи установки безпилової видачі коксу. Аналіз отриманих результатів показує, що необхідно розроблювати заходи по підвищенню ефективності УБВК, зокрема знешкоджувати вловлені речовини.

Представлено шляхи підвищення ефективності роботи установки безпилової видачі коксу. Рекомендовано використання повітряноструменевого ежектора замість сопла для випалювання сводового графіту, що запобігає додатковому пиловому викиду на коксову сторону і забезпечує більш ефективне випалювання графіту.

Також рекомендовано для зменшення запиленості при видаванні коксу поєднання бездимного завантаження шихти та безпилової видачі коксу. Покращення ефективності уловлення після впровадження даного технічного рішення складе 77 %.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Завгородняя Т.В. Финансирование природоохранных мероприятий коксохимического производства на Украине // Кокс и химия. - 2002. - № 3. - С. 33-37.
2. Кривошеин В.Т., Пешков В.Р. О промышленной безопасности в коксохимическом производстве // Кокс и химия. - 1999. - № 1. - С. 52-54.
3. Земля тривоги нашої. За матеріалами національної доповіді про стан навколишнього природного середовища в Доцькій області у 2004 році / Під ред. С.В.Третьякова /.-Донецьк: «ЭПИЦентр ЛТД». – 2005. – 120 с.
4. Охрана окружающей среды в коксохимическом производстве // Кокс и химия. - 2001. - № 1. - С. 41-44.
5. Степанов Ю.В., Беркутов Н.А., Сухоруков В.И. Готовность кокса и объем пылегазовых выбросов при его выдаче // Кокс и химия. - 2002. - № 6. - С. 13-19.
6. Справочник коксохимика. В 6-ти томах. Том 3. Улавливание и переработка химических продуктов коксования / Под общ. ред. д-ра техн. наук Е.Т.Ковалева. – Харьков: Издательский дом «ИНЖЭК», 2009. – 432 с.
7. Парфенюк А.С. Об изменении герметичности выбросоопасных узлов тепловых агрегатов / А.С. Парфенюк, О.Е. Алексеева, П.В. Третьяков // Наукові праці ДонНТУ. Серія: Машинобудування і матеріалознавство.– 2009. – № 6(154). – С. 212-218.
8. Постоянный технологический регламент участка коксового производства Донецкого коксохимцеха / ОАО «Донецккокс» ТР–266–КХ–06 – 2007. – 100 с.
9. Лейбович Р.Е., Яковлева Е.И., Филатов А.Б. Технология коксохимического производства. – М.: Металлургия, 1982. – 360 с.
10. Справочник коксохимика. В 6-ти томах. Том 2. Производство кокса / Под общ. ред. В.И.Рудыки, Ю.Е.Зингермана. – Харьков: Издательский дом «ИНЖЭК», 2014. – 728 с.

11. Кауфман А.А., Смелянский А.З., Харлампович Г.Д., Браун Н.В. Мастер коксового производства. – М.: Металлургия, 1994. – 240 с.
12. Ткачев В.С., Остапенко М.А. Оборудование коксохимических заводов. - М.: Металлургия, 1983. - 359 с.
13. Расчеты коксовых печей и процессов коксования на ЭВМ. Учебное пособие / И.В.Вирозуб, М.С.Ивницкая, Р.Е.Лейбович и др.- К.: Вища шк., 1989.- 303 с.
14. Гребенюк А.Ф., Збыковский А.И. Расчеты процессов коксового производства. Пособие по проектированию. - Донецк: Норд-Пресс, 2008. – 322 с.
15. Мениович Б.И., Лейбович Р.Е. Аппаратчик коксохимического производства. – М.: Металлургия, 1987. – 408 с.
16. Чуянов Г.Г. Обезвоживание, пылеулавливание и охрана окружающей среды: Учебник для вузов. – М.: Недра, 1987. - 260 с.
17. . Йоффе И. Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии. - Л:Химия, 1991. - 352с.
18. Дытнерский Ю. И. Основные процессы и аппараты химической технологии. - М.: Химия, 1991. – 496с.
19. Остапенко М.А. Технологічне обладнання хімічних цехів коксохімічних заводів: Навч посібн. Для вищих навчальних закладів / М.А. Остапенко. – Донецк : ДонНТУ, 2011. – 166 с.
20. Заблонский К.И. Детали машин. - К.: Вища школа, 1985. – 552 с.
21. Беркутов Н.А., Степанов Ю.В., Штарк П.В. Воздухоструйный эжектор для коксования // Кокс и химия. – 2002. – №1. – С. 21 - 22.
22. Стефаненко В.Т., Олифер В.Д., Попова Н.П. О комплексном подходе к разработке способов снижения выбросов пыли // Кокс и химия. – 2006. – №3. – С. 58 - 60.
23. Васильев А.Н., Котляров Е.А., Винник С.В. Положение о техническом обслуживании и ремонте механического оборудования коксохимических предприятий. – Харьков, 2006. – 147 с.

24. Поникаров И.И., Перелыгин О.А., Доронин В.Н. Машины и аппараты химических производств. – М.: Машиностроение, 1989 – 368 с.
25. Седуш В.Я. Надежность, ремонт и монтаж металлургических машин. – К.: Вища школа, 1976. – 228 с.
26. Саранчук В.И., Власов Г.А., Чушцев В.М. Надежность работы коксовых машин // Кокс и химия. – 1999. – №10. – С. 34 - 40.

ДОДАТОК А

Перелік зауважень нормоконтролера
до кваліфікаційної роботи магістра
студента групи ТПМзм-18 Хомутова Е.Є.

Позначення документа	Документ	Условна помітка	Зміст зауваження

Дата _____

Керівник

Нормоконтролер

Зав. кафедрою ОВПК

Костіна О.Д.
(ПІБ)

Костіна О.Д.
(ПІБ)

Топоров А.А.
(ПІБ)