

НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

ІНСТИТУТ ДЕРЕВООБРОБНИХ ТЕХНОЛОГІЙ І ДИЗАЙНУ


Кафедра технологій захисту навколишнього середовища і деревини та безпеки
життєдіяльності

Пояснювальна записка

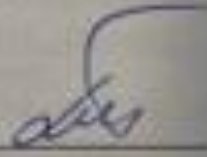
до диплому/роботи магістра

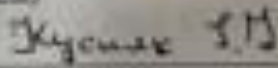
на тему: «ДОСЛІДЖЕННЯ ДЖЕРЕЛ ЗАПИЛЕНОСТІ РОБОЧОЇ ЗОНИ
ПІДПРИЄМСТВ З ВИРОБНИЦТВА ВАПНА ТА ОСНАЩЕННЯ
ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЛІНІЇ ПОДРІВНЕННЯ ВАПНЯКУ ПИЛООЧИСНОЮ
АПАРАТУРОЮ»

Виконав: студент VI курсу, групи ТЗНС- 61м
Спеціальності 183 «Технології захисту
навколишнього середовища»

Олійник Д.І. 
(прізвище та ініціали)

Керівник

доц. Кіндлера Д.П. 
(прізвище та ініціали)

Рецензент 
(прізвище та ініціали)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

Інститут деревообробних технологій і дизайну

Кафедра технологій захисту навколишнього середовища і деревини та безпеки життєдіяльності

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Спеціальність 183 «Технології захисту навколишнього середовища»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТЗНСДБЖД

проф. Кшивецький Б. Я.

« 30 » вересня 2024 року

ЗАВДАННЯ

НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Олійник Дмитро Іванович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Дослідження джерел запиленості робочої зони підприємств з виробництва вапна та оснащення технологічної лінії подрібнення вапняку пилоочисною апаратурою»

«Research of dust sources in the working area of lime production enterprises and equipping the limestone grinding technological line with dust cleaning equipment»

Керівник роботи: Кіндзера Діана Петрівна, кандидат техн. наук, доцент,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « 12 » 07 2024 року №...С-469.

2. Строк подання студентом роботи до 15 грудня 2024

3. Вихідні дані до роботи Вихідними даними для роботи є дані щодо запиленості робочої зони підприємств з виробництва вапна.

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

1. Характеристика вихідної сировини та лінія виробництва негашеного вапна

2. Екологічні проблеми виробництва вапна

3. Дослідження пилових викидів виробництва

4. Екологізація підприємств з виробництва вапна

5. Охорона праці

6. Висновки

7. Презентація.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	доц. Олександр В.М.		

7. Дата видачі завдання 18 червня 2023 року

Керівник проекту доц. Кіндзера Д.П.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Характеристика вихідної сировини та ліній виробництва негашеного вапна	до 01.09.24	
2.	Екологічні проблеми виробництва вапна	до 15.09.24	
3.	Дослідження пилових викидів виробництва	до 01.10.24	
4.	Екологізація підприємств з виробництва вапна	до 20.09.24	
5.	Розділ з охорони праці	до 15.11.24	
	Висновки	до 01.12.24	
	Оформлення роботи	до 15.12.24	

Студент

Олександр Д.П.

Керівник проекту

доц. Кіндзера Д.П.

РЕФЕРАТ

Магістерська кваліфікаційна робота «Дослідження джерел запиленості робочої зони підприємств з виробництва вапна та оснащення технологічної лінії подрібнення вапняку пилоочисною апаратурою» складається із: пояснювальної записки (50 стор.), яка містить 19 рисунків, 3 таблиці, 19 джерел.

У роботі охарактеризовано сировинні матеріали для виробництва вапна. Проведено опис технологічної схеми виробництва вапна та основного обладнання, що використовується. Значна увага приділена обладнанню для подрібнення, розмелювання, транспортування, випалу сировинних матеріалів. Проведено дослідження екологічних небезпек, які пов'язані з видобутком сировини та виробничими процесами. Проведено ідентифікацію джерел пилоутворення, джерел паро- та газових викидів, теплових викидів. Проведено дослідження пилових викидів виробництва. Проаналізовані рішення щодо боротьби із запиленістю на підприємствах з виробництва вапна, запропоновано використання мокрих пиловловлювачів. Проведено розрахунок скрубера. Представлено розділ з охорони праці.

Ключові слова: вапняк, вапно, обладнання для подрібнення, джерела пилоутворення, скрубер

ABSTRACT

Master's thesis «Research of dust sources in the working area of lime production enterprises and equipping the limestone grinding technological line with dust cleaning equipment»: explanatory note (50pages) containing 19 figures, 3 tables, 19 sources.

The work describes raw materials for lime production. The technological scheme of lime production and the main equipment used are described. Considerable attention is paid to the equipment for crushing, grinding, transporting, and burning raw materials. A study of environmental hazards associated with extracting raw materials and production processes was conducted. The sources of dust generation, steam and gas emissions, and thermal emissions were identified. A study of production dust emissions was conducted. Analyzed solutions to combat dust at lime production enterprises, and suggested using wet dust collectors. The calculation of the scrubber was carried out. The section on labor protection is presented.

Keywords: limestone, lime, grinding equipment, dust sources, scrubber

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

Під час виконання магістерської роботи необхідно здійснити дослідження джерел запиленості робочої зони підприємств з виробництва вапна та запропонувати технологічні рішення щодо оснащення технологічної лінії подрібнення вапняку пилоочисною апаратурою. Для дослідження необхідно:

1. Навести характеристику вихідної сировини, описати технологічну лінію виробництва вапна
2. Дослідити екологічні проблеми виробництва вапна
3. Дослідити пилові викиди виробництва
4. Запропонувати заходи щодо екологізації підприємств з виробництва вапна
5. Представити заходи з охорони праці

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1. ХАРАКТЕРИСТИКА ВИХІДНОЇ СИРОВИНИ ТА ЛІНІЯ ВИРОБНИЦТВА НЕГАШЕНОГО ВАПНА	9
1.1. Сировинні матеріали	9
1.2. Лінія подрібнення вихідної сировини в технологічній схемі виробництва вапна	9
1.3. Обладнання для подрібнення, розмелювання, транспортування, випалу в технологічній лінії виробництва вапна	13
РОЗДІЛ 2. ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ВИРОБНИЦТВА ВАПНА	18
2.1. Дослідження екологічних небезпек	18
2.2. Ідентифікація джерел забруднення повітря робочої зони та атмосфери	19
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ПИЛОВИХ ВИКИДІВ ВИРОБНИЦТВА	
РОЗДІЛ 4. ЕКОЛОГІЗАЦІЯ ПІДПРИЄМСТВ З ВИРОБНИЦТВА ВАПНА	27
4.1. Заходи щодо зниження негативного впливу на довкілля	27
4.2. Технологічні рішення щодо зменшення запиленості	28
4.3. Розрахунок відцентрового скрубера для очищення від вапняновмісного пилу	35
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ	40
ВИСНОВКИ	47
СПИСОК ДЖЕРЕЛ ЛІТЕРАТУРИ	49

ВСТУП

Світовий виробіток вапна складає більше ніж 350 мільйонів тон на рік. Україна має великі запаси кальцієвмісної сировини, що створює сприятливі умови для розвитку виробничого сектору. Промислові поклади вапнякових порід розміщені практично по всій території країни. Найбільші родовища вапняку та доломіту розробляються в Дніпропетровській, Львівській, Тернопільській та Хмельницькій областях. В Україні протягом року видобувається близько 13 млн. тонн вапнякової породи та виробляється до 3 млн. тонн вапна. Лідерами щодо виробництва вапна в Україні є десять підприємств, продукція яких займає до 75% ринку. У Львівській області вапно виробляє ПБГ «Ковальська» (сmt. Розвадів), в користуванні компанії є вапняковий кар'єр. Потужними виробниками вапна є "Подільський цемент" (Кам'янець-Подільський); "Дніпровський завод вапна" (Дніпро); "Тернопільський вапняковий завод" (Тернопіль). Ці підприємства виробляють негашене та гашене вапно для потреб внутрішнього ринку, а також для експорту до країн ЄС, зокрема Польщі, Угорщини.

Найбільшими споживачами вапна є підприємства з виготовлення будівельних матеріалів та будівельна індустрія загалом, хімічна промисловість, паперово-целюлозна галузь, сільське та лісове господарства, металургійні, содові, цукрові підприємства. Вапно також використовують для захисту навколишнього середовища – відомими є методи очищення газових викидів та води.

Найбільшими проблемами вапняної промисловості України є застаріле обладнання з низьким коефіцієнтом корисної дії, високі енергозатрати. Технологія випалу вапняку, в багатьох випадках, є недосконалою, тому вапно не завжди має належну якість. Тому, велика потреба є в модернізації обладнання, дотриманні екологічних вимог та енергоефективності виробництв.

Процеси подрібнення та розмелювання відіграють значущу роль у технології виробництва вапна, оскільки подрібнення та розмелювання потребує вихідна сировина, подрібнення потребують коригуючі добавки, а також вапно, як кінцевий продукт. Порошкоподібне вапно отримується шляхом тонкого

подрібнення чи помелу грудкового вапна, а також таким чином виробляють вапно з коригуючими добавками. Процеси подрібнення та розмелювання впливають на ефективність процесу випалу сировини в печі, визначають якість цільового продукту, та, в багатьох випадках, визначають економічність виробництва.

Актуальність роботи. Запиленість робочої зони на підприємствах із виробництва вапна є проблемою, яка потребує вирішення, оскільки пил впливає негативним чином впливає на здоров'я працівників, порушує екологічність виробництва та ефективність виробничого процесу. Вапняковий пил утворюється на всіх етапах виробництва – від подрібнення сировини до дообробки готової продукції та її транспортування. Екологічні, а також санітарні нормативи щодо запиленості робочої зони на підприємствах з виробництва вапна регулюють допустимі концентрації пилу. Боротьба із запиленістю на підприємствах є ключовим завданням для забезпечення безпечних умов праці, охорони здоров'я працівників, дотримання екологічних стандартів. Тому, дослідження джерел запиленості робочої зони підприємств з виробництва вапна та оснащення технологічної лінії подрібнення вапняку пилоочисною апаратурою є актуальним завданням сьогодення. Інвестиції в сучасні системи пилоочищення, організаційні заходи та контроль дадуть змогу мінімізувати ризики щодо здоров'я працівників та зменшити негативний вплив на довкілля.

Мета роботи – дослідити джерела запиленості робочої зони на підприємствах з виробництва вапна, запропонувати пилоочисну апаратуру для досягнення високого ступеня очищення від пилу.

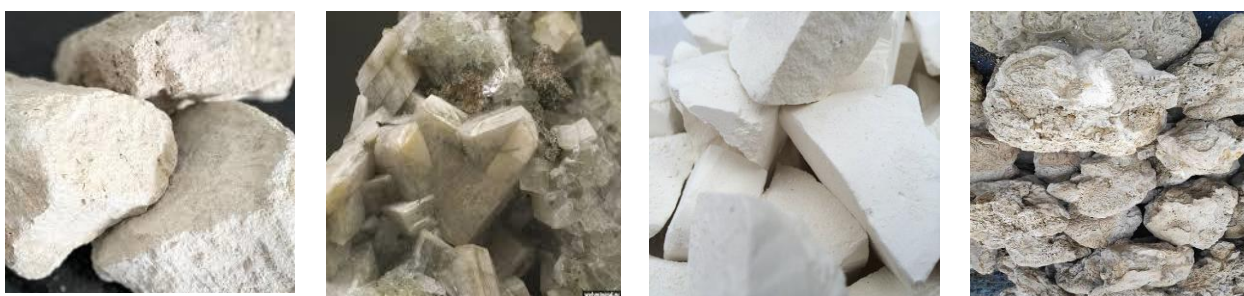
Об'єкт дослідження – ідентифікація джерел запиленості робочої зони підприємств з виробництва вапна.

Предмет дослідження – розробка технологічних рішень для зменшення запиленості.

РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ВИХІДНОЇ СИРОВИНИ ТА ЛІНІЯ ВИРОБНИЦТВА НЕГАШЕНОГО ВАПНА

1.1. Сировинні матеріали

Вапняк (CaCO_3) і доломіт ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$), меншою мірою крейда та черепашник (рис. 1.1.) – карбонатні гірські породи, що є основними сировинними матеріалами для виробництва вапна [4]. Загалом, це осадові породи, в склад яких входить кальцит (карбонат кальцію CaCO_3). У вапняках також містяться ряд оксидів: MgO ; Fe_2O_3 ; SiO_2 ; FeO ; Al_2O_3 ; Na_2O ; K_2O ; SO_3 та інші домішки.



Вапняк

Доломіт

Крейда

Черепашник

Рис. 1.1. Осадкові породи, що використовуються для виробництва вапна

В залежності від виду, вапняки відрізняються кольором, межею міцності на стискання, а також об'ємною вагою, яка лежить в межах $1,5\text{-}2,9 \text{ т/м}^3$ і обумовлена складом домішок.

1.2. Лінія подрібнення вихідної сировини в технологічній схемі виробництва вапна

Загалом, існують різні технології виготовлення вапна. За будь-якою технологією, виробництво вапна є складним багатостадійним енерговитратним процесом, яке потребує спеціального обладнання. Технологічні особливості виготовлення базуються на трьох основних етапах:

- перший етап – підготування сировини. Вапнякову породу подрібнюють у кілька стадій за допомогою дробарок різних конструкцій, далі подрібнений

вапняк подають на сортування за крупністю часток за допомогою сит, решіток чи сепараторів, а далі розмелюють за допомогою млинів. Кінцева крупність часток вапняку регламентується типом випалювального обладнання;

- другий етап – випалювання підготовленої сировини. Вапняк випалюють у печах шахтного типу, печах «киплячого шару», а також у сучасних обертових печах, які забезпечують вищу якість продукції;

- третій етап – дообробка вапна, як цільового продукту. На фінальній стадії, вапно подрібнюють, сортують за дисперсним складом, додають коригувальні добавки, фасують і зберігають як готову продукцію.

Схема технологічної лінії з виробництва негашеного вапна подана на рис.

1.1. Видобутий кар'єрним способом вапняковий камінь за допомогою транспортних засобів (автотранспорт) доставляють до приймальних накопичувальних сировинних бункерів 1. Запас сировини повинен бути таким, щоб забезпечити роботу печей випалу не менше ніж на 12-14 годин. З бункеру 1, вапнякова порода подається на транспортер 2 стрічкового типу, який обладнаний магнітним пристроєм – магнітним сепаратором 3, функцією якого є відкидання металевих включень чи сторонніх домішок, які можуть міститися у кальцієвмісній породі. Відсепарована вапнякова порода подається для реалізації процесу подрібнення у дробарку валкового типу 4. Це дробарка середнього дроблення. Подрібнений вапняк з певним фракційним складом подається на вібросито 5 для розділення на дві частини – продукт належного фракційного складу, який підлягатиме подальшій переробці та відсів, ступінь подрібнення якого ще не є належним (частинки мають завеликі розміри). Відсів вапнякової породи подається на елеватор 6; за його допомогою він транспортується в бункер 1, звідки знову подається на стрічковий транспортер 2 з магнітним сепарувальним пристроєм 3 і звідтам він іде на повторне подрібнення у валкову дробарку 4.

В той час, вапняк з відповідними розмірами частин, який виходить з вібросита 5, за допомогою шнеку-транспортеру 7 подається на стадію розмелювання (для отримання дрібнодисперсного продукту) у кульовий млин 8. Розмелений до дрібнодисперсного стану, вапняк з кульового млина 8 подається

у витратний бункер 9. З цього бункера за допомогою шнекового транспортеру 10 через дозуючий пристрій дрібнодисперсний вапняк подається на стадію випалювання в піч обертового типу 11. Розмір вапняку, що подається на випал має становити не більше 5 мм.

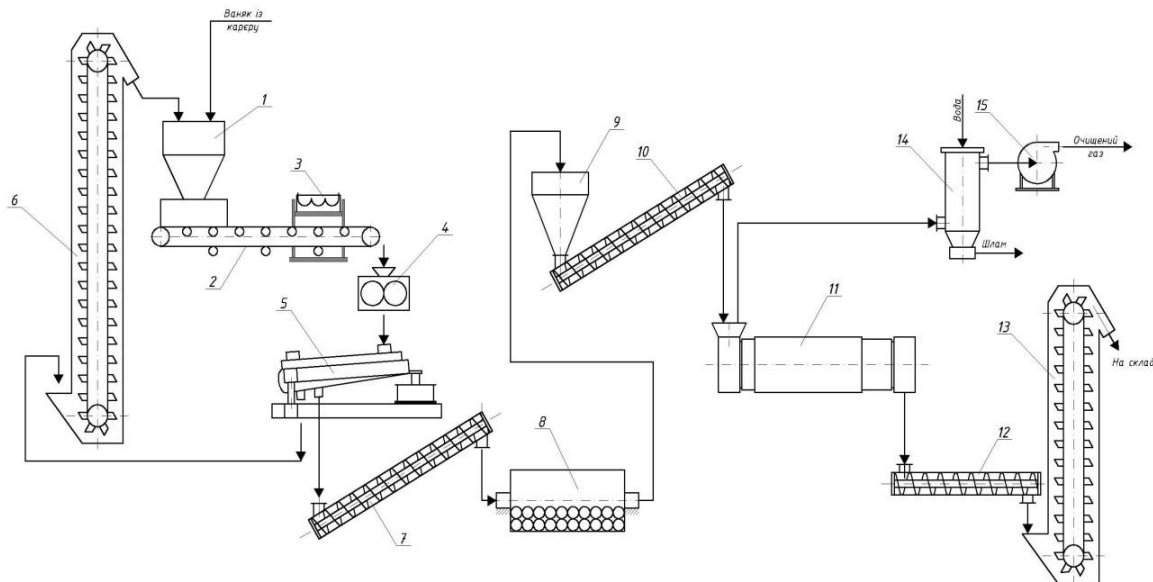


Рис. 1.1. Технологічна схема виробництва вапна: 1 — бункер вапнякового каменю; 2 — транспортер стрічкового типу; 3 — сепаратор магнітний; 4 — дробарка валкового типу; 5 — вібросито; 6 — елеватор; 7 — транспортер шнековий; 8 — млин кульовий; 9 — витратний бункер; 10 — шнек-транспортер; 11 — піч обертового типу; 12 — шнек-транспортер; 13 — елеватор; 14 — скрубер Вентурі; 15 — відцентровий вентилятор.

При випалі за високих температур (950...1900°C) з вапняку виділяється вуглекислий газ у великих кількостях — до 44 % від маси вапняку і з печі виходить негашене вапно (окис кальцію). Таким чином, кількість отриманого негашеного вапна є значно меншою від кількості вапняку, який подавався на процес випалу. Окрім цього, частинки утвореного негашеного вапна характеризуються пористою структурою (яка формується внаслідок виділення вуглекислого газу). Негашене вапно виходить з обертової печі 11 через розвантажувальний пристрій; далі шнеком 12 транспортується до елеватора 13. Елеватором негашене вапно подається у складські приміщення чи цех, в якому відбувається подальша його переробка. За необхідності, негашене вапно ще доподрібнюють (в залежності від

потреб кінцевого споживача) за допомогою дробарок. Вапно розділяють за фракційним складом, проводять фасування продукції у герметичні мішки, що не пропускають вологу, і відправляють на склад чи відправляють споживачеві. Негашене вапно (рис. 1.2) – кристалічний матеріал з білим відтінком і має широкий спектр властивостей, які дозволяють застосовувати отриманий продукт в багатьох сферах діяльності [3]: сільському господарстві; будівництві; хімічній промисловості; металургії; технологіях очищення води. Різні види та сорти негашеного вапна використовуються для приготування різноманітних за типом розчинів, таким чином визначаючи області їх застосування.



Рис. 1.2. Негашене вапно (оксид кальцію)

Відпрацьовані високотемпературні гази, що виходять з обертової печі 11, направляють на очищення від дрібнодисперсного пилу вапняку та негашеного вапна в скруббер 14 – очищення відбувається за допомогою рідини, а саме води, яка через форсункові елементи, розміщені в апараті, розпилюється у пустотілій корпус скрубера. Під час попадання крапель рідини на поверхню частинок, їх вага збільшується, вони осідають під дією сил тяжіння в нижній частині апарату і через вихідний патрубок скрубера виходять з апарату у вигляді шламу (тверді частинки+вода). Очищений під вапнякового пилу газ за допомогою відцентрового вентилятора 15 відводиться в з виробничого приміщення.

1.3. Обладнання для подрібнення, розмелювання, транспортування, випалу в технологічній лінії виробництва вапна

Широкого використання для подрібнення сировинних матеріалів набули валкові дробарки, які бувають одно- та багатовалкові; окрім цього – з гладкими, зубчастими та рифленими валками. На рис. 1.3. зображена дробарка двовалкова. Ступінь подрібнення можна регулювати шириною зазору між валками.



Рис. 1.3. Двовалкова дробарка

Для запобігання надмірного запилення, доцільно валки закривати кожухом з приймальною системою.

Для забезпечення тонкого помелу сировинного матеріалу, в технологічній лінії виробництва вапна найчастіше застосовують млини барабанні кульові (рис. 1.4). Подрібнення сировинного матеріалу відбувається в барабані, який обертається і завдяки удару падаючих куль, якими він заповнюється забезпечується помел. Таке обладнання забезпечує високий ступінь розмелювання, млин піддається автоматизації.

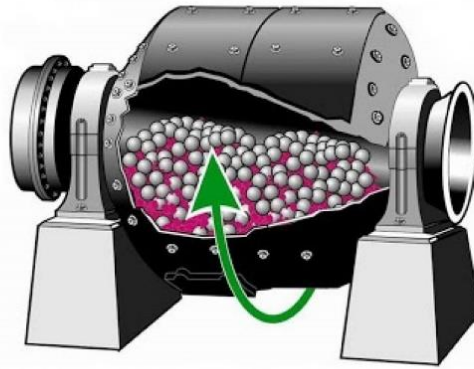


Рис. 1.4. Млин кульовий.

Млини є джерелом пилоутворення, оскільки відбувається подрібнення з утворенням часток матеріалу дуже дрібних розмірів, які легко піднімаються у повітря. Завантаження матеріалу в млин та вивантаження подрібненого продукту супроводжується механічним переміщенням, що створює додаткове пилоутворення.

Для горизонтального або похилого (під кутом не більше 20°) транспортування матеріалів на відстань до 30..40м використовують шнекові транспортери (рис. 1.5).



Рис. 1.5. Шнековий транспортер

До переваг транспортерів-шнеків відносяться: простота конструкції, компактність. Шнекові транспортери є джерелами запилення через особливості їхньої конструкції та принцип роботи. Під час руху матеріал стикається з гвинтовим валом (шнеком) і стінками корпусу, що сприяє подрібненню частинок і утворенню дрібного пилу. Недоліками є: енергозатратність; зношування поверхні гвинта; стирання матеріалу, пилоутворення. Сучасні шнекові транспортери можна герметизувати, що є важливим для зменшення запиленості. Доцільним є встановлення транспортерів з герметичними корпусами із ущільненням. Однак, неповне ущільнення у завантажувальних і вивантажувальних отворах є основним джерелом витоків пилу. Тому є потреба встановлення пилозахисних клапанів у місцях завантаження та вивантаження.

Стрічковий транспортер (горизонтальний чи похилий) – пристрій, основним елементом якого є замкнута стрічка, що приводиться в рух привідним барабаном, опирається по всій своїй довжині на стаціонарні роликові опори (рис. 1.6).



Рис. 1.6. Стрічковий транспортер

Швидкість руху стрічки та її натяг регулюються привідним і натяжним барабанами, відповідно. Недоліком роботи під час транспортування дрібнодисперсних матеріалів є підвищена запиленість робочої зони і виробничих приміщень. Утворення пилу під час роботи транспортерів пов'язане з механічним переміщенням матеріалів, їх розсипанням і недостатньою герметизацією обладнання. Відкриті ділянки транспортеру або відсутність

кожухів дозволяють пилу поширюватися у робочу зону. Швидкісне транспортування сприяє розсіюванню пилу, особливо при нерівномірному завантаженні. Необхідним є використання кожухів, закритих стрічкових транспортерів, ущільнення завантажувальних і розвантажувальних вузлів.

Елеватор (рис. 1.7) – машина безперервної дії, призначений для вертикального або крутопохилого (понад 60° до горизонту) транспортування насипних матеріалів.

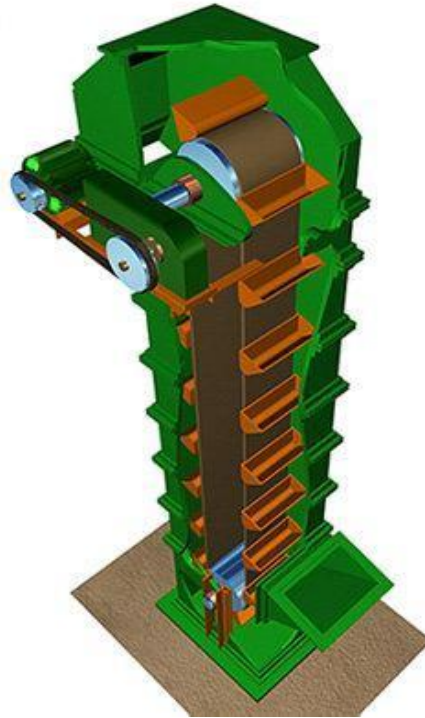


Рис. 1.7. Елеватор ковшовий

Основними частинами елеватора є: стрічка чи ланцюг, ковші, привід, натяжний пристрій. Під час роботи транспортувального елеватора створюється запиленість робочої зони, оскільки у багатьох випадках, ковші є відкритими. Своєчасне технічне обслуговування елеваторів сприятиме зменшенню поширення пилу.

Головний етап виробництва вапна – це випал в обертовій печі (рис. 1.8), під час якого вапняк декарбонізується за високих температур – розкладається на кальцію оксид (негашене вапно) і вуглекислий газ.



Рис. 1.8. Піч випалу вапняку обертова (ротаційна)

Обертові печі є джерелом пилоутворення та високотемпературних теплових викидів. З обертової печі, разом з гагами виноситься, більшою мірою, пил вапняку (чи доломіту), оксиду кальцію. Використання твердого палива (вугілля, коксу) може створювати додатковий зольний пил. У процесі випалу сировини, значна кількість тепла втрачається з відхідними газами печі. Відпрацьовані газы, які виходять з печі обов'язково потрібно подавати на очищення.

РОЗДІЛ 2. ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ВИРОБНИЦТВА ВАПНА

2.1. Дослідження екологічних небезпек

Виробництво вапна супроводжується рядом екологічних проблем, пов'язаних з: видобутком сировини та виробничими процесами, під час яких на кожній стадії відбуваються втрати сировини та утворюються побічні продукти й відходи, що забруднюють виробничу зону, негативним чином впливають на здоров'я працівників та завдають величезної шкоди навколишньому середовищу. Прослідковуючи ланцюг перетворень від видобування сировини до отримання вапна, в якості основного продукту, можна виділити ряд екологічних проблем, які виникають, як наслідок.

Виснаження ресурсів сировини, деградація ґрунтів і ландшафту

Видобуток сировинних матеріалів для виробництва вапна проводять кар'єрним методом (відкритий спосіб розробки родовищ) спричиняє деградаційні зміни ландшафту, порушує структуру ґрунту та провокує його ерозію, призводить до знищення рослинного покриву, руйнування екосистем та зменшення біорізноманіття. В зв'язку із збільшенням масштабів видобування карбонатних порід, відбувається виснаження їх запасів.

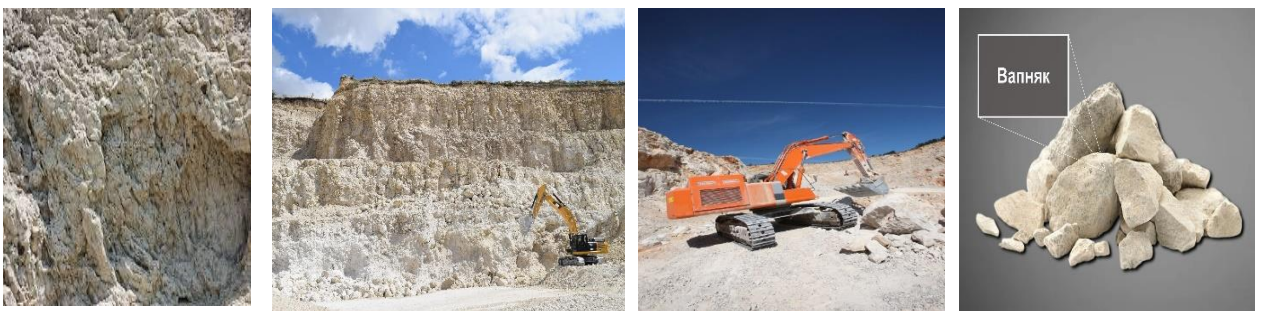


Рис. 2.1. Вапнякові відкладення, кар'єрний видобуток, видобутий вапняковий камінь

Утворення відвалів

За дослідженнями, до 25...30 % сировинного матеріалу який видобувається у вигляді дрібної породи йде у відвал. Також вапняк, як і всі інші сировинні матеріали, містить пусту породу – домішки глинистих мінералів. Тому, видобуті карбонатні породи потребують збагачення – відділення корисних мінералів від

порожньої породи. На багатьох підприємствах з видобутку та переробки вапняків значна частина мінеральної сировини після процесу збагачення не використовується, тому вимагає складування. Зазвичай, відходами є так званий дрібняк. Відходами від породи вапняків чи доломітів є суміш переподрібнених вапняків чи доломітів крупністю 0,1–15 мм з піщано-глинистим матеріалом, що є небажаним домішком. Часто цю суміш розміщують у відвалах, полігонах та звалищах під які, як правило, відводяться значні території в приміських зонах, вилучаються із сільськогосподарського користування значні земельні угіддя. Неорганізовані звалища порушують природні ландшафти, забруднюють ґрунти, поверхневі і підземні води, виділяють шкідливі речовини в атмосферне повітря.

Забруднення повітря робочої зони та атмосфери внаслідок виробничої діяльності підприємств з виробництва вапна

Вапняні підприємства реалізують близько 20 різноманітних технологічних процесів (розвантаження вапнякового каменю, подрібнення, магнітне сепарування, та класифікування за розмірами, транспортування на різного роду конвеєрах та елеваторах, розмелювання, висушування, випалювання в печах, гасіння обпаленого вапна, охолодження в баштах, пакування, складування тощо), що супроводжуються забрудненням повітря робочої зони та атмосфери.

Встановлено, що забруднення повітря робочої зони та атмосфери внаслідок виробничої діяльності підприємств з виробництва вапна відбувається:

- різнодисперсним та дрібнодисперсним пилом;
- тепловими викидами;
- > газоподібними викидами: CO_2 , CO , NO_x , SO_2 , тощо

2.2. Ідентифікація джерел забруднення повітря робочої зони та атмосфери

Ідентифікація джерел викиду пилу

Як було відзначено вище, екологічною проблемою підприємств з виробництва вапна є висока запиленість повітря робочої зони неорганічним пилом, який, в свою чергу, з газовими викидами підприємств забруднює атмосферу.

Згідно представленої технологічної схеми виробництва вапна (рис. 1.1) джерелами утворення пилу є:

- етап розвантаження транспортних засобів та перевантаження вапнякового каменю в бункери сировини;
- транспортування сировини за допомогою стрічкового транспортеру та магнітне сепарування;
- стадія первинного подрібнення сировини, що реалізується за допомогою дробарок;
- стадія сепарування за крупністю продукту за допомогою вібросита;
- транспортування відсіву неналежного фракційного складу за допомогою елеватора;
- завантаження відсіву в бункер сировини;
- транспортування вапняку шнековим транспортером;
- розмелювання вапняку в кульовому млині;
- пересипання розмеленого вапняку з витратного бункеру на транспортер;
- транспортування за допомогою шнекового транспортеру;
- пересипання вапняку в дозатор;
- стадія випалювання вапняку в обертовій печі;
- транспортування випаленого вапна за допомогою шнекового транспортеру та елеватора;
- доподрібнення негашеного вапна;
- розсів готового продукту за фракціями;
- пакування продукту.

Найбільші викиди пилу на підприємствах виробництва вапна створюють випалювальні печі. Високим пилоутворенням характеризуються також стадії сепарування на віброситах, розмелювання вапняку в кульовому млині, подрібнення готового негашеного вапна. Значним є пилоутворення від транспортувального обладнання: стрічкових та шнекових транспортерів, елеваторів. Отже, виробництво вапна супроводжується значною кількістю викидів різнодисперсного пилу, який негативно впливає на якість повітря і здоров'я працівників.

Дослідження з оцінки умов праці працівників підприємств з виробництва вапна демонструють, що 27,4% робітників працюють у шкідливих і не безпечних умовах, які не відповідають сучасним санітарно-гігієнічним вимогам. При цьому близько 10% працівників зазнають впливу промислового пилу — одного з провідних шкідливих виробничих факторів — і, відповідно, наражаються на небезпеку виникнення професійних захворювань пилової етіології.

Ідентифікація джерел паро- та газових викидів

Джерелом викиду вуглекислого газу (CO₂) є вапно-випалювальні печі, за обраною технологією виробництва - обертова піч. При випалюванні вапняку (CaCO₃) для отримання негашеного вапна, виділяється велика кількість CO₂ - парникового газу, що є отруйним та спричиняє ефект «глобального потепління». Розкладання CaCO₃ розпочинається при температурі 400°C.

Процес випалу відбувається за дії високих температур (в межах 950... 1900°C), внаслідок чого відбувається розкладання вапняку на окис кальцію (негашене вапно) та вуглекислий газ. Процес випалу кальцію карбонату описується рівнянням виду:



Паливом для печей випалу є, в основному, природний газ та мазут. Питома витрата палива (у перерахунку на умовне) складає близько 230-250 кг на одну тону обпаленого вапна. Внаслідок згоряння палива в середовище виділяються паро- і газоподібні викиди. Газоподібні викиди – це продукти окислення компонентів палива, які утворюються в процесах горіння. Таким чином, окислення вуглецю призводить до утворення діоксиду вуглецю (CO₂) та оксиду вуглецю (CO), при окисленні сірки – утворюється діоксид сірки (SO₂), а при високотемпературному окисленні азоту – оксиди азоту складу NO_x. Окрім цього, при неповному згорянні палива не відбувається повне окислення органічних речовин, тому можуть утворюватися альдегіди, кетони або органічні кислоти. Усі перелічені оксиди є кислототвірними, тому при взаємодії з атмосферним повітрям, що характеризується певним значенням відносної вологості, можуть утворювати гідросполуки, що є причиною утворення кислотних дощів.

Ще одним джерелом викидів паро- та газових викидів (CO_2 , CO , SO_2 , NO_x) є котельня підприємства: CO_2 - основний парниковий газ, що сприяє зміні клімату; SO_2 - причина утворення кислотних дощів; NO_x - викликає фотохімічний смог і руйнує озоновий шар.

Ідентифікація джерел теплових викидів

Джерелом теплових викидів є обертова піч та котельня підприємства. Теплові викиди виникають через спалювання палива (вугілля, газу, мазуту) в печах.

Теплові викиди відбуваються також внаслідок виділення тепла під час гасіння обпаленого вапна. Негашене вапно – це активний та неактивний окиси кальцію. Активний CaO – гасять водою, для його перетворення в гашене вапно (гідроксид кальцію $\text{Ca}(\text{OH})_2$): $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2 + Q$.

Таким чином, гашене вапно являє гідроксид кальцію $\text{Ca}(\text{OH})_2$ – луг. Гашене вапно випаровує воду і кристалізується, паралельно поглинаючи CO_2 з повітря: $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$. Під час взаємодії води і матеріалу температура гасіння може досягати до 150°C .

2.3. Забруднення води

Стічні води підприємств з виробництва вапна формуються з стоків цехів та побутових вод. Гасіння вапна реалізується за допомогою води, тому потребує значних її обсягів. Загалом технологічний процес виробництва вапна пов'язаний з утворенням промислових стічних вод із значною концентрацією розчинних колоїдних та зв'язаних речовин. Промислові стічні води мають змінений (білий) колір, лужний рН, запах, вміщують механічні забруднення та хімічні (утворюються як лужні, так і кислі стоки). Скиди води відбуваються з промислової лінії, формуються з вод від промивки обладнання та цехів, можливими є аварійні витіки. Такі стічні води при попаданні у довкілля порушують кислотно-лужний баланс середовища, впливають та екологічну ситуацію в певній місцевості. Проблема захисту водойм від забруднень з кожним роком стає все більш актуальною. Специфіка забруднення побутових та промислових стічних вод впливає на вибір технологічної схеми очищення води.

РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ПИЛОВИХ ВИКИДІВ ВИРОБНИЦТВА

Методики, що використовуються.

- визначення загальної кількості пилу (запиленості). Для цього пил сепарують із повітряного потоку і методом зважування пилу (гравіметричним методом) визначають кількість. Гравіметричний метод – метод кількісного аналізу, полягає у зважуванні пилу, для чого пилові частки виділяються із досліджуваного об'єму повітря за допомогою фільтру. Зважування проводять на аналітичних вагах;

- підрахунок кількості пилових частинок та дослідження їх структури проводять із застосуванням мікроскопічних методів;

Визначення розмірів частинок пилу проводять з використанням дисперсійного аналізу [6].

Результати. Дисперсний склад пилу визначили з відібраних проб повітря на підприємстві. Було встановлено, що пил є полідисперсним, тому містить частки розмірами, які є характерними для всіх приведених нижче п'яти груп:

I група – дуже крупно-дисперсний пил ($d > 140$ мкм) – утворюється на стадіях розвантажування вапняку, його транспортування та первинного подрібнення;

II група – крупно-дисперсний пил ($d = 40-140$ мкм) – утворюється на стадіях первинного подрібнення та сепарування.

III група – середньо-дисперсний пил ($d = 10-40$ мкм) – утворюється на стадіях розмелення вапняку в кульовому млині (більшою мірою це частки з середнім розміром 20 мкм)

IV група – дрібнодисперсний пил ($d = 1-10$ мкм) – утворюється на стадіях розмелення сировини в кульовому млині та під час його випалу в обертовій печі;

V група – дуже дрібнодисперсний пил ($d < 1$ мкм) – утворюється на стадіях подрібнення вапна.

Відхідні гази з печей випалу

Фракційний склад пилу, визначений із проби відібраної з відхідних газів вапняно-випалювальної печі приведено в Табл. 3.1.

Таблиця 3.1. – Фракційний склад пилу, визначений із проби відхідних газів вапняно-випалювальної печі

Фракційний склад, мм	Вміст відсотковий
більше 1	5,6
1-0,6	5,1
0,6-0,315	7,2
0,315-0,16	12
0,16-0,074	17,1
0,074-0,04	10,6
0,04	42,4

Хімічний склад пилу у відхідних газах вапняно-випалювальної печі визначається, основним чином, саме процесом термічного розкладання вапняку та видом палива, яке використовується. За хімічним складом – це пил вапняку (CaCO_3), доломіту ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) - недопалені частки, якщо процес випалу був неповним. Оскільки вапнякові породи включають домішки, то хімічний склад пилу встановив наявність: MgO ; FeO ; SiO_2 ; Al_2O_3 ; Fe_2O_3 ; K_2O ; Na_2O ; SO_3 , тощо. SO_3 є присутнім у разі наявності у сировині сірковмісних домішок. Також значна частка пилу представлена частинками вапна (CaO). Частинки сажі утворюються при спалюванні твердого або рідкого палива. Хімічний склад пилу, отриманий внаслідок аналізу проб відхідних газів з вапняно-випалювальної печі приведений в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2. – Хімічний склад пилу проб відхідних газів вапняно-випалювальної печі

Компонент	CaO	CaCO ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	SO ₄	Інші складові: (органічні домішки, перепалені частки)
Вміст, % мас.	43,5	30,6	6,6	4,3	3,2	2,9	0,7	8,2

Запиленість викидів після печі складає до 25 г/м³.

Окрім пилу, відхідні гази з печей випалу містять продукти згорання палива. Основні компоненти цих газів включають оксиди вуглецю, азоту, сірки, водяну пару, а також залишковий кисень. CO₂ - є продуктом повного згорання вуглецевих сполук у паливі, його вміст залежить від співвідношення палива та повітря; CO - утворюється при неповному згорянні (нестача кисню); SO₂ - продукт згорання сірки, яка міститься у паливі (особливо вугіллі чи мазуті); NO_x - утворюються при високотемпературному згорянні; водяна пара (H₂O) - виникає при згорянні вуглеводнів та через випаровування вологи з палива чи вапняку; O₂ - залишковий кисень, що не взяв участі в реакціях згорання. Можуть бути присутніми інші компоненти: метан (CH₄) - може бути присутнім через неповне згорання палива; H₂S - утворюється при згорянні палива з високим вмістом сірки, якщо процес недостатньо окислювальний. Тип палива впливає на склад відхідних газів. За використання вугілля, відхідні гази містять більше пилу, сірчаних сполук, твердих залишків. При застосуванні газоподібного палива, спостерігаються менші викиди пилу та сірки. Окрім цього, за вищих температур утворюється більша кількість NO_x. Дані про склад продуктів згорання у відхідних газах обертової печі (на одну тону випаленого вапна) приведені в Таблиці 3.3.

Таблиця 3.3. Вихід продуктів згорання з ротаційної печі випалу вапна

Склад продуктів згорання	% об'ємний
(NO _x)	0.1
CO ₂	14,5
SO ₂	0.15
CO	0.5
H ₂ O (водяна пара)	5
O ₂ (кисень)	2

Запиленість систем аспірації цеху подрібнення

У рамках промислового обстеження, проведено відбір проб повітря з систем аспірації цеху подрібнення, де встановлені елеватори, транспортери, дробарка валкова та кульовий млин. Аналіз показав, що дрібнодисперсні фракції (пил вапняку) з розміром частинок, $\delta_{50}=5$ мкм та менше (основним чином це пил

від кульового млина), становлять близько 75% від загальної маси пилу, що викидається в атмосферу. Значення середньомедіанного діаметра δ_{50} частинок пилу змінюється залежно від місця відбору проб в приміщенні.

Запиленість викидів з лінії подрібнення сировини чи готового продукту може значно варіюватися. Запиленість пилоповітряного потоку, який надходить із лінії подрібнення в системи аспірації, сягає до 10...18 г/м³, при цьому на деяких ділянках аспіраційних систем максимально-разові (ММР) значення досягають 10,0...20,0 г/м³. Проби відібрані із систем аспірації показали, що значна кількість пилу високого ступеня дисперсності викидається в атмосферу. Після первинного очищення в циклонах, запиленість знижується до 1-3 г/м³, а після вторинного очищення в фільтрах чи електрофільтрах – до 30 мг/м³.

Відповідно до чинного законодавства, допустимі рівні запиленості промислових викидів мають становити:

- 20-50 мг/м³ для підприємств із високоефективними системами очищення;
- 100-150 мг/м³ для підприємств із менш досконалыми технологіями (допустимі тимчасові відхилення).

РОЗДІЛ 4. ЕКОЛОГІЗАЦІЯ ПІДПРИЄМСТВ З ВИРОБНИЦТВА ВАПНА

Вирішення проблеми щодо підвищення рівня екологічної безпеки на підприємствах, які виробляють вапно є можливим лише за умови запровадження системи природоохоронних заходів. Для цього підприємства також повинні впроваджувати екологічно-орієнтовані технології.

4.1. Заходи щодо зниження негативного впливу на довкілля

Загалом, можна запропонувати перелік заходів для підвищення рівня екологізації підприємств з виробництва вапна:

- перехід на альтернативне паливо (біомасу), що забезпечуватиме зменшення викидів CO₂;
- використання пальників із регульованою подачею повітря для забезпечення повного згоряння палива і таким чином мінімізації викидів CO₂, SO₂, NO_x тощо;
 - модернізація обладнання технологічної лінії виробництва шляхом забезпечення герметизації обладнання: транспортери, бункери, дробарки, млини потрібно закривати спеціальними кришками, кожухами тощо;
 - забезпечення ефективної аспірації (вентиляції) вцілому та встановлення локальних систем витяжної вентиляції у зонах найбільшого пиловиділення;
 - використання сучасних очисних систем для зменшення забруднення;
 - контроль рівня запиленості: вимірювання концентрації пилу в робочій зоні та приведення її у відповідність із санітарними нормами;
 - переробка відходів із залученням у інші сфери виробництва (некондиційний дрібняк кальцієвмісної породи може бути використаний як сировина для отримання карбиду кальцію, широкого асортименту добрив, ацетилену). Відсів вапняковий (найдрібніша фракція) утворюється внаслідок дроблення вапнякових порід. Хоча він не відрізняється високими значеннями міцності, цей матеріал знаходить застосування в виробництві різних бітумних покриттів, скла, комбікормів, а також застосовується як наповнювач для СБС (сухих будівельних сумішей). Для утилізації дрібної фракції вапна раціональним

є використання способу брикетування. Щодо використання відходів, то пропонується їх застосування в промисловості будівельних матеріалів; сільському господарстві; очищенні стічних вод; металургійній галузі;

- повторне використання відходів шляхом повернення їх у цикл виробництва у якості сировинних ресурсів – створення замкнених циклів виробництва;

- рекультивація кар'єрів для відновлення екосистем - прилеглі території до кар'єрів можливо рекультивувати під заліснення, а самі кар'єри – під водойми.

4.2. Технологічні рішення щодо зменшення запиленості

Аналіз джерел літератури вказує, що за розробленими схемами очищення від пилу газоповітряної суміші від ротаційної печі випалу, яка виходить з температурою $1950 \div 1200^{\circ}\text{C}$ та із запиленістю до $25 \dots 40 \text{ г/м}^3$ дрібнодисперсним пилом вапняку та кальцій оксиду, відводиться в пилову камеру для очищення під дією сил тяжіння (осідають в камері частинки більших розмірів), далі потік відводиться в котел-утилізатор для процесу охолодження, після якого подається на доочищення у футерований циклон чи батарейний циклон (очищення газу відбувається в полі відцентрових сил) та електрофільтр (для очищення в полі електричних сил) [5]. Використання електрофільтрів для досягнення високого (до 98%) ступеня очищення характеризується експлуатаційними та енергетичними витратами. Окрім цього, часто під час вловлювання вапняного пилу електрофільтром спостерігається наростання «шарів частинок вапна» на катодних та анодних електродах, що призводить до негативного процесу під назвою «зворотна корона» та зниження струму коронування. Це, у свою чергу, призводить до того, що окремі секції електродів електрофільтру є практично не задіяними, що значно знижує ефективність очищення [5].

Загалом, для дрібнодисперсного пилу рекомендовано застосовувати мокрі апарати-пиловловлювачі. Однак, їх використання призводить до утворення шламів, подальшому раціональному застосуванню яких перешкоджає висока вологість (в межах 30-50%). За схемою обезводнення шламів передбачається згущування шламової пульпи в апаратах-згущувачах, з подальшим їх

фільтруванням на вакуум-фільтрах та сушінням в сушарках барабанного типу. Проте, таке рішення є енергозатратним.

Згідно представленої схеми на рис. 1.1, відхідні гази з обертової печі подаються на очищення в скруббер – газопромивач, апарат мокрого пиловловлення. Такий вибір зумовлений тим, що в скруббері досягається висока ефективність пиловловлення, є також можливість очищення газів з високою температурою. Перевагою апарату є можливість одночасної реалізації очищення газів від твердих частинок, очищення від газоподібних домішок (абсорбція) та охолодження газів. В якості рідини для зрошення в скрубери подається вода, однак при потребі очищення від газоподібних домішок, вибір рідини визначається хімічним складом домішок – проводять підбір абсорбенту.

Порожнистий скруббер (форсунковий) представлений на рис. 4.1.

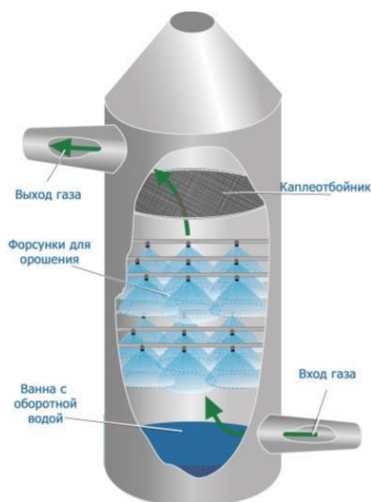


Рис. 4.1. Порожнистий (форсунковий) скруббер

Існують конструкції, у яких форсунки містяться на боках корпусу (рис. 4.2). Таким чином, забезпечується доволі специфічна траєкторія руху крапель рідини.

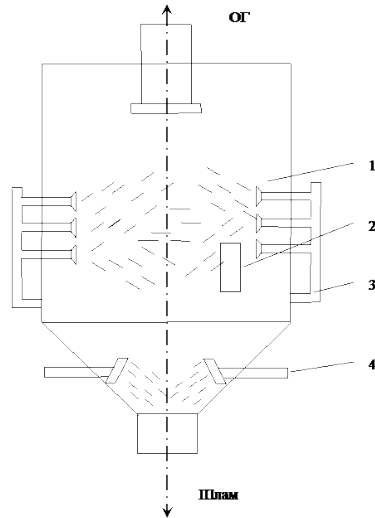


Рис. 4.2. Скрубер з боковим розташуванням форсункових елементів:

1 – форсункові елементи; 2 – пристрій введення газового потоку;

3 – пристрій введення води; 4 – форсункові елементи

В апаратах-скруберах із внутрішніми завихрювачами (рис. 4.3) рух газу за спіралеподібною траєкторією реалізується за допомогою спеціально встановлених завихрювальних пристроїв. Можливими є конструкційні рішення, коли розташування закручувальних лопаток є багаторядним, однак, це призводить до зростання гідравлічного опору та питомих витрат води.

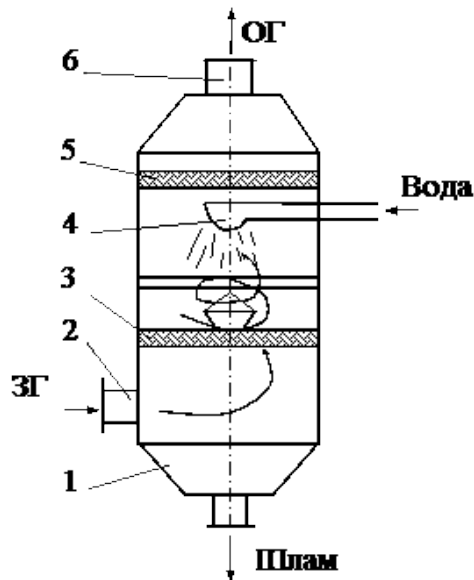


Рис. 4.3. Скрубер з внутрішніми завихрювачами: 1– корпус; 2 – штуцер підведення газу; 3 – завихрювач; 4 – зрошувальний пристрій; 5 – пристрій-розкручувач; 6 – патрубок відведення очищеного газу

Окрім пустотілих апаратів мокрого очищення, в промисловості використовують скрубери насадкового та тарілчастого типів.

У насадковому скрубери (рис. 4.4) система зрошення представлена форсунками. На решітці розміщують насадку – керамічні кільця (чи елементи іншої форми), засипані насипом. Наприклад, це можуть бути кільця з перегородками або прості кільця (кільця Рашига), спіральні розетки Теллера, сідла Берля і багато інші пристосування.

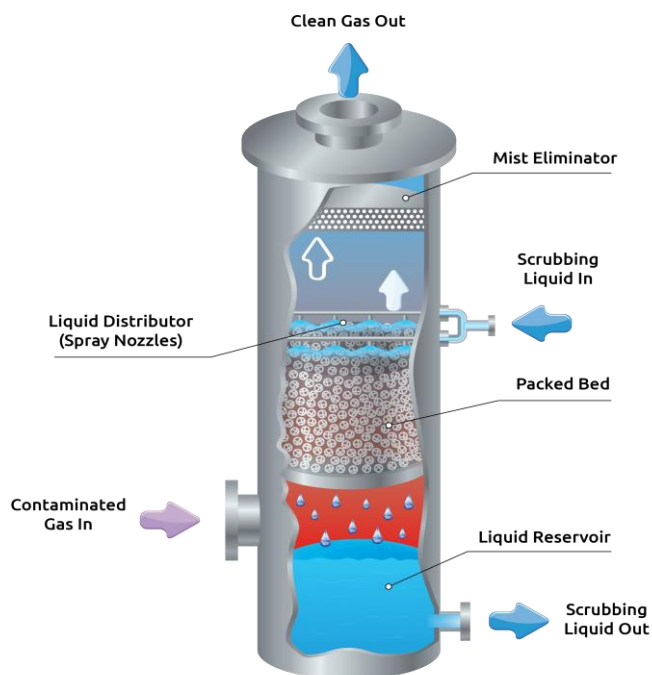


Рис. 4.4. Скрубер насадкового типу

Під решітку подається забруднений газ, який контактує з рідиною що подається зверху по всій поверхні насадки. Система зрошення складається з декількох ступенів всередині корпусу, де розташовуються форсунки. Форсунки перекривають переріз, де з сопел проводиться розпорошення. Не дивлячись на те, що розпилення рідини проводиться назустріч вхідного потоку або поперек, гідродинаміка цього потоку не велика. У зв'язку з цим швидкість обмінних процесів в цих скруберах залишається достатньо малою. Що тягне за собою великі габаритні розміри цих установок. У верхній частині цієї громіздкої конструкції розташований каплеуловлювач.

Очищений газ виходить зверху скрубера. У верхній частині конструкції розташований краплеловлювач – для вловлювання крапель з газу перед виходом в атмосферу.

На роботу скруберів насадкового типу впливає відношення висоти шару насадки до діаметру скрубера. Найбільш рівномірний розподіл води в насадці забезпечується при відношенні 0,5-1,5.

У тарілчастому скрубери (рис. 4.5) газ, що надходить на очищення, подається газоходом в нижню частину скрубера і піднімається по корпусу вгору. У верхній частині скрубера розташовані три яруси зрошення, що складаються з відцентрових форсунок. Вода, що подається під тиском, розпорошується. Краплі розчину, що утворюються, падають під дією сили тяжіння назустріч запиленому газу і потрапляють на дірчасті провальні тарілки, на яких утворюється пінний режим, і відбувається взаємодія газу з розчином.



Рис. 4.5. Тарілчастий скрублер

Відпрацьований розчин і уловлений пил, збирається в нижній частині скрубера. Очищений газ відводиться через газоходи, які розміщені у верхній частині апарату.

Відцентрові скрубери — апарати, у яких газовий потік, що контактує з рідиною, обертається в корпусі апарату спіралеподібно під дією відцентрової

сили. Відцентровий скруббер являє собою порожнистий циліндр у нижню зону якого входить газ, який рухається вгору, а у верхній частині апарату встановлені форсунки для рідини. Відкинуті до стінок апарату відцентровою силою тверді частинки пилу намокають і під дією сили тяжіння разом з водою скочуються в нижню частину конструкції скрубера, утворюючи пульпу. Ступінь очищення для частинок більш ніж 30 мкм дорівнює 90%, для частинок із діаметром 5 мкм знижується до 75% , для частинок із діаметром меншим ніж 5 мкм — прирівнюється до 30%.

Скрубер Вентурі (рис. 4.6) є ефективним апаратом для пиловловлення. Це тип мокрого скрубера, в якому, завдяки особливостям конструкції вхідного патрубка, виникає додатковий позитивний ефект збільшення швидкості, внаслідок того, що газ прошовується через патрубок із звуженням або дросельну заслінку.

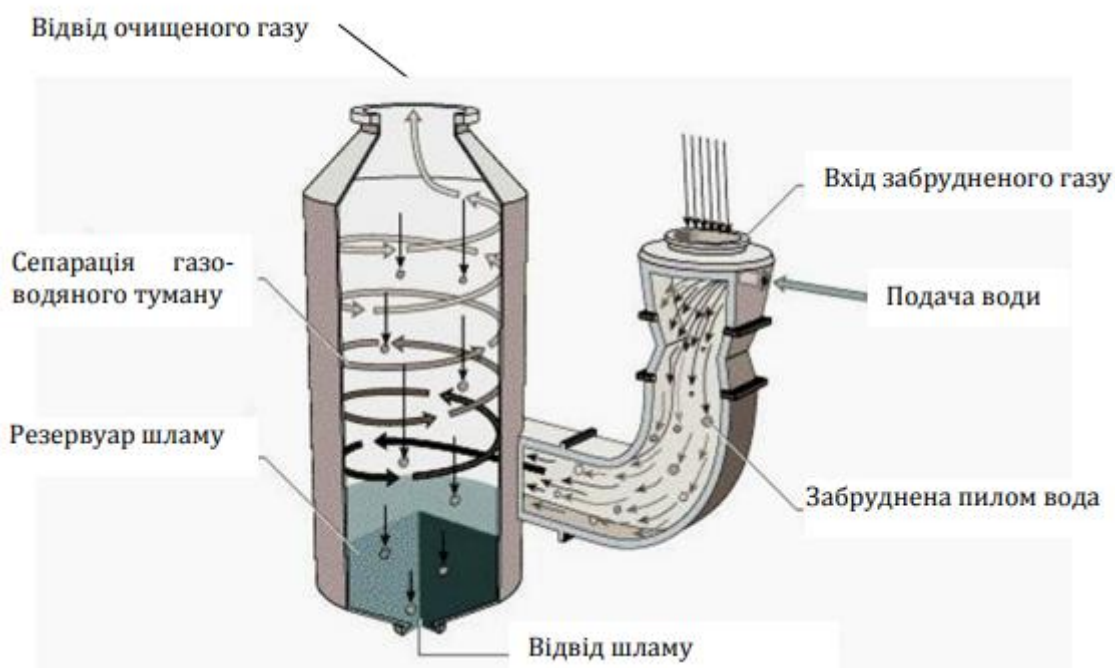


Рис. 4.6. Скрубер Вентурі

Основна частина скрубера (рис. 4.6) - сопло Вентурі 2, в конфузурну частину якого підводиться запилений потік газу і, через відцентрові форсунки 1, рідина на зрошення. Труба Вентурі, або труба-розпилювач, має або круглий, або прямокутний перетин. Запилений газ надходить в конфузор труби Вентурі, де

фільтрується через завісу зрошуючої води. Конфузор переходить в горловину труби, де швидкість руху газу становить 80-100 м/с. Вода розпорошується турбулентним потоком газу на дрібні краплі, що сприяє змочуванню частинок пилу і забезпечує захоплення краплями води частинок пилу розміром в десятки частки мікрметра. Горловина труби Вентурі переходить в дифузор, де швидкість газу зменшується і відбувається коагуляція крапель води з частинками пилу, що полегшує їх відділення в краплевловлювачі.

При роботі в режимі тонкого очищення від високодисперсного пилу швидкість в горловині повинна підтримуватися в межах 100-150 м/с, а питома витрата води в межах 0,5-1,5 дм³ /м³ . Якщо джерело пилогазоутворення характеризується змінною у часі витратою газу, то необхідно змінювати перетин горловини для того, щоб швидкість газів в горловині підтримувалася в межах 100-150 м/с.

Відведення шламової води з скрубера нормального тиску не викликає труднощів, оскільки тиск газу в ньому невеликий. Безпечне відведення шламової води і регулювання рівня в цьому випадку досягаються виконанням гідрозатвору, у якого висота замикаючого шару води врівноважує тиск газу. У скруберах підвищеного тиску рівень води підтримують за допомогою пневматичної автоматизованої системи регулювання, в комплект якого входить регулятор рівня буйковий типу. Регулятор управляє регулюючим дроселем, змінюючи витрату шламової води з скрубера. Вимірювання і регулювання рівня шламової води регулятором буйковий типу засновані на ареометричному принципі. Вимірюваним параметром є виштовхуюча сила, що діє на потопаючий буйок. Зміна виштовхуючої сили викликає пропорційну зміну кута закручування торсіонної трубки, яке передається заслінкам пневматичного перетворювача. Останній перетворює кутове переміщення заслінок в пропорційну зміну пневматичних вихідних сигналів. Регулятор рівня монтується на виносній камері, буйок розташований всередині камери і може працювати при температурі від - 40 до +200 ° С і тиску в камері до 6,4 МПа.

4.3. Розрахунок відцентрового скрубера для очищення від вапняновмісного пилу

У всіх мокрих апаратах очищення газу виділення часток пилу з газового потоку відбувається під дією сил інерції. Відмінною особливістю мокрих пиловловлювачів є взаємодія частинок пилу з поверхнею рідини.

Скрубери як апарати мокрого пиловловлення набули широкого поширення через порівняно невелику вартість виготовлення, високу ефективність пиловловлення, можливості їх використання при високій температурі і підвищеній вологості газів, що очищаються, а також у випадках небезпеки самозаймання, вибуху газів або пилу, що вловлюється. Перевагою мокрих апаратів є можливість одночасного здійснення очищення газів від зважених частинок (пиловловлення), вилучення газоподібних домішок (абсорбція) та охолодження газів, що очищаються (теплообмін).

В якості зрошуючої рідини в апаратах мокрого пиловловлювання, як правило, застосовується вода. У разі одночасного очищення газів від пилу і газоподібних домішок, вибір зрошуючої рідини (абсорбенту) визначається хімічним складом домішок, що вловлюються.

Для очищення відхідних газів від пилу вапняку та окису кальцію обрано відцентровий скрубери, схема якого наведена на рис. 4.7.

Скрубери – циліндричний колонний апарат, корпус якого виконаний з металу. У разі потреби, внутрішню поверхню скруберів футерують або покривають антикорозійним покриттям. Загалом, скрубери складаються з циліндричного порожнистого металевих корпусу, по висоті якого розміщені елементи для зрошення, корпус містить вхідний та вихідний патрубків.

У скрубери запилений газ через патрубок 1 поступає тангенціально в нижню частину корпусу 2. Завдяки приєднанню патрубка до корпусу під певним кутом, газ набуває обертового руху (рухається спіралеподібно) і підіймається вгору.

Система зрошення призначена для подачі та розпилення води у корпусі апарату. У верхній частині корпусу скрубера розміщена кільцева труба 3 із форсунками 4 для холодної води. Вода стікає, змочує частинки (вони стають важчими) і виносить їх в нижню конічну частину скрубера. З конічної частини

через штуцер із заслінкою 5 відводиться шлам (вода+частинки пилу). Очищений газ відводиться через газохід, який розміщений у верхній частині апарату.

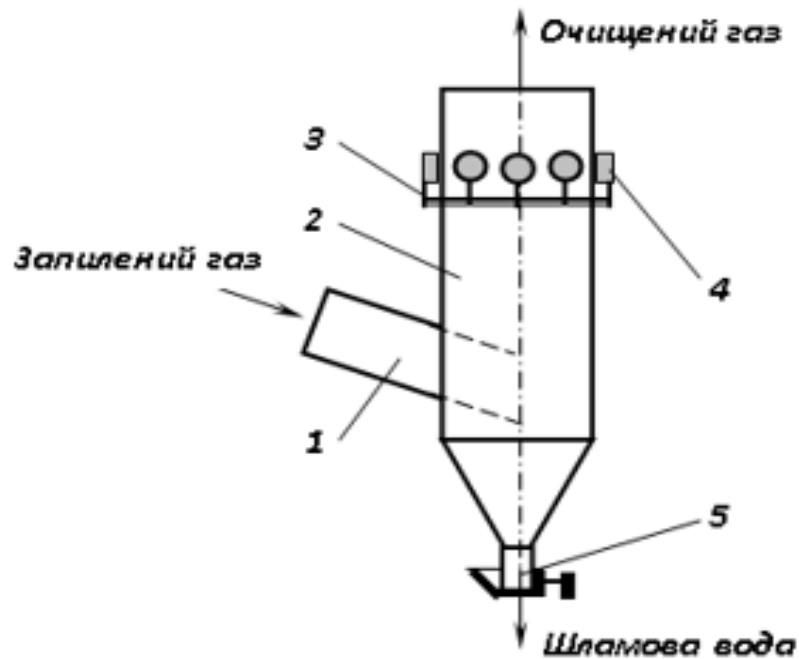


Рис. 4.7. Схематичне зображення скрубера відцентрового: 1 – патрубок вхідний; 2 – корпус скрубера; 3 – труба кільцева для води; 4 – форсунки; 5 – штуцер із заслінкою

Підведення зрошувальної рідини в скрубери здійснюється за допомогою форсунок (рис. 4.8). Подача води, в такому випадку здійснюється під тиском від 0,7 до 3 МПа, причому біля 40% краплин рідини приходить на ту частину скрубера, де вводиться газовий потік.



Рис. 4.8. Форсунковий елемент

В деяких конструкціях скрубєрів передбачено автоматичне відведення шламу з корпусу скрубєра. Система аварійного відключення подачі води призначена для відключення подачі води при неможливості відведення шламу з корпусу скрубєра.

Ефективність вловлення вапняного пилу у відцентрових скрубєрах складає до 85-90%. Одночасно із очищенням від пилу, в скрубєрі відбувається охолодження газу за допомогою холодної води.

Також у скрубєрі відбувається очищення газового потоку від деяких оксидів. Очищення газів від оксидів відбувається за абсорбційною технологією.

Зокрема, SO_3 добре уловлюється водою і в результаті хімічної взаємодії утворюється сірчиста кислота: $SO_2 + H_2O$ утворюється H_2SO_3 . Відбувається також вловлювання NO_2 (діоксиду азоту): $2NO_2 + H_2O$ утворюються кислоти $HNO_3 + HNO_2$. Частково розчиняється у воді вуглекислий газ, утворюючи слабку вугільну кислоту (H_2CO_3). Сірководень H_2S добре розчиняється у воді і утворює слабкий розчин сірководневої кислоти (H_2S).

Розрахунок відцентрового скрубєра:

Розрахунок проведено згідно рекомендацій [7,8].

Для печі випалу продуктивністю 26,9 т/год (близько 650 т/день за безперервного виробництва) витрата газу становить 10 м³/с.

$t_{\text{поч}} = 700$ °С – температура газу на вході в скрубєр;

$t_{\text{к}} = 50$ °С – температура газу на виході;

температура води, що поступає в скрубєр на зрошування $t_{\text{п.води}} = 16$ °С;

$t_{\text{к.води}} = 40$ °С – температура води на виході із скрубєра;

Концентрація пилу (запиленість) $C_{\text{п}} = 25$ г/м³.

Діаметр корпусу скрубєра:

$$D = \sqrt{\frac{V_{\text{газу}}}{0,785 \cdot \omega_{\text{газу}}}} \quad (4.1)$$

У відцентровий скрубєр запилений газ подають із швидкістю 20 м/с. де $V_{\text{газу}}$ – витрата газу, яка підлягає очищенню, м³/с. Отже, діаметр рівний:

$$D = \sqrt{\frac{10}{0,785 \cdot 20}} = 0,79 \text{ м}$$

Приймаємо стандартизоване значення щодо діаметра корпусу скрубера рівне 0,8 м. Висота скрубера приймається 5,6 м (згідно рекомендацій).

Розрахунок кількості тепла Q , кВт, яку віддає газовий потік в процесі охолодження від $t_{\text{поч}}$ до $t_{\text{к}}$:

$$Q = V_{\text{газу}} [c_{\text{газ}} (t_{\text{поч}} - t_{\text{к}}) + x(I_{\text{поч}} - I_{\text{к}})] \quad (4.2)$$

$c_{\text{газ}}$ – теплоємність газу, кДж/(м³·°C), $c_{\text{газу}}=0,717$ кДж/(м³·°C)

$I_{\text{поч}} = 2480 + 1,96 \cdot t_{\text{поч}}$ та $I_{\text{к}} = 2480 + 1,96 \cdot t_{\text{к}}$ – ентальпія водяної пари на початку та кінці процесу, Дж/м³; x – вологовміст газу.

$$Q = 10 [0,717(700 - 50) + 0,08(3852 - 2578)] = 10(466,05 - 101,92) = 3641,3 \text{ Вт}$$

Зважаючи на високі температури газів, що виходять з печі, скрубєр повинен бути футерованим.

Витрата води, що подається в скрубєр:

$$L_{\text{води}} = \frac{Q}{\varphi(c_{\text{пар}} \cdot (t_{\text{н}} - t_{\text{к}}) + (1 - \varphi)(t_{\text{к.води}} - t_{\text{н.води}}))} \quad (4.3)$$

де $c_{\text{пар}}$ – масова теплоємність водяної пари, рівна 1,864 Дж/(кг·°C); φ – коефіцієнт випаровування води; $t_{\text{п.води}}$ та $t_{\text{к.води}}$ – початкова та кінцева температури води, °C.

$$L_{\text{води}} = \frac{3641,3}{0,6(1,864 \cdot (700 - 50) + (1 - 0,6)(40 - 16))} = \frac{3641,3}{0,6(1,864 \cdot (700 - 50) + (1 - 0,6)(40 - 16))} = 4,9$$

$L_{\text{води}}/V_{\text{газ}}$ для мокрих скрубєрів повинно бути в межах 0,45...1,5. Таким чином, $4,9/10=0,49$. Отже, розрахунок вірний. Витрата води $L_{\text{води}}$ з температурою вхідною 16 °C на зрошення скрубєра діаметром 0,8 м складає 4,9 л на 1 м³ газу.

До завдань автоматизації форсункового скрубєра відносять управління температурним режимом, витратою води на зрошення, рівнем води в скрубєрі, контролем залишкової запиленості та сигналізацією перевищення залишкової запиленості.

Порівняння мокрого очищення з сухим показує, що мокра очистка має меншу вартість (без шламового господарства) і, як правило, є більш ефективною, ніж суха. Більшість мокрих пиловловлювачів може застосовуватися для

уловлювання найдрібніших частинок, навіть менш 1 мкм. Мокрі пиловловлювачі по ефективності і іншим показниками не поступаються рукавним фільтрам і електрофільтрів, а по ряду показників їх перевершують (можливість очищення газів з високою температурою і підвищеною вологістю, безпеку при уловлюванні пожежо- та вибухонебезпечного пилу). У скруберах будь-якого типу частинки видаляють по одному або декільком основним механізмам уловлювання: гравітаційної седиментації, відцентровому осадження, інерції і торкання, броунівський дифузії, термофорезу, дифузіофорезу, електростатичному осадженню. Швидкість осадження може бути збільшена завдяки укрупненню часток внаслідок агломерації і конденсаційного росту.

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

Заходи безпеки на підприємствах з виробництва вапна

Виробництво вапна є потенційно небезпечним технологічним процесом, що може мати негативні наслідки як для працівників, так і для навколишнього середовища. Для забезпечення безпеки на виробництві необхідно дотримуватися комплексу заходів, спрямованих на захист здоров'я працівників, безперебійну роботу обладнання і мінімізацію ризиків для довкілля.

Повітря робочої зони. Основні ризики на підприємствах з виробництва вапна пов'язані із забрудненням повітря пилом вапняку, вапна, пилом домішок, золи палива (у разі використання твердого палива), а також викидами ряду оксидів, які містяться у відхідних газах печей випалу вапняку, зокрема CO₂, CO, окисами азоту та сірки. Щоб уникнути подразнення органів дихання та шкіри через вапняний пил, для недопущення ризиків отруєння хімічно-активними компонентами відхідних газів, на підприємстві повинно забезпечуватися найбільш можлива герметизація обладнання, повинні бути встановлені *системи аспірації, вентиляційні системи* (регулярна чистка систем є обов'язковою для ефективної роботи), *системи пиловидалення та очищення від хімічно-активних компонентів*, працівники, які працюють у відділеннях подрібнення вапняку, помелу вапняку, повинні бути забезпечені засобами захисту органів дихання – мати маски (найпростіші засоби - протипилова тканинна маска і ватно-марлева пов'язка) чи респіратори для захисту дихальних шляхів від пилу, компонентів газу, пари та інших аерозолів. Пил може накопичуватися на різноманітних поверхнях обладнання, підвищуючи ризик виникнення пожеж чивибухів. Тому, потрібно регулярно очищати робочі зони, проводити очищення та технічне обслуговування обладнання. Для очищення запиленого повітря на підприємстві використовують циклони.

Небезпечні речовини та високотемпературне обладнання. При недотриманні правил безпеки працівниками, можливими є опіки через розбризкування вапняного молока в процесі гасіння вапна, опіки від обладнання (печі випалу). Для уникнення опіків обслуговуючого персоналу піч,

трубопроводи для подачі гарячого газу повинні містити теплову ізоляцію. Печі ізолюють цеглою; між зовнішнім сталевим кожухом і цегляною кладкою іноді застосовують засипки з сипких або волокнистих матеріалів. В місцях роботи печі необхідно встановлювати огороження.

Для попередження опіків, створення безпечних умов праці на виробництві використовують таблички, сигнальні пристрої та застережні написи; зони ризику повинні бути відділеними загорожами; на ряді обладнання передбачаються оглядові вікна, що відкриваються дистанційно; ємності для транспортування і зберігання вапняного молока повинні бути закритими. Працівники мають бути забезпечені засобами індивідуального захисту - мати захисний одяг, рукавиці, засоби захисту зору.

На виробництві використовують різноманітне устаткування з рухомими елементами, наприклад дробарки, млини, транспортери, елеватори, сепаратори тощо, яке в разі виходу з ладу становить серйозну загрозу. Тому, працівникам необхідно знаходитись на безпечній відстані від такого обладнання (обертових та рухомих частин, електричних частин тощо). Стрічкові конвеєри повинні бути оснащені пристроями, що запобігають зсуванню стрічки за межі. Забороняється включати і експлуатувати конвеєри із забрудненими стрічкою, барабаном, роликami. Під час роботи обладнання з рухомими елементами забороняється проводити роботи по обслуговуванню і ремонту. Для запобігання небезпек від рухомих механізмів обладнання, необхідним є встановлення огорож, пристроїв, що забезпечують аварійну зупинку приводів обладнання. Доступ до елементів, блоків, пристроїв регулювання і конструю обладнання повинен бути забезпечений без зняття огорожі.

Робітники зобов'язані знати і виконувати діючі вимоги нормативних актів щодо охорони праці, знати правила поведіння з обладнанням, механізмами, устаткуванням. Для безпечної роботи обладнання технологічної лінії, необхідною є автоматизація процесів, наявність запобіжних пристроїв, пристроїв блокування, а також дотримання норм при плануванні зон обслуговування.

Виробниче освітлення. Згідно ДБН В.2.5-28-06 [13], роботи в цеху за зоровими умовами відносяться до розряду IV-г. Всі робочі місця і виробничі

приміщення забезпечені природним і штучним освітленням, достатнім для проведення робіт, відповідних технологічному процесу. Штучне освітлення запроєктоване загальне і місцеве. Виробничий цех забезпечений аварійним освітленням, яке підключене протягом всього робочого часу.

Пожежна безпека також є важливим аспектом. Основні джерела ризику — несправне електрообладнання, іскри, пошкоджена ізоляція, нагріті поверхні та удари блискавки. Обов'язковими заходами є встановлення пожежних кранів, пінних вогнегасників, пожежних щитів і сигналізації, а також блискавковідводів.

Загалом, розроблені наступні протипожежні заходи:

- дотримання технологічних норм і правил експлуатації; заборона в застосуванні відкритого вогню; паління тільки у спеціальних для цього місцях; вчасно проведення інструктажу з охорони праці серед обслуговуючого персоналу;

- безперебійна подача води на внутрішнє і зовнішнє пожежогасіння;

- два джерела енергоживлення від електричної системи і дизеля;

- встановлення у відділенні (на входах) пожежних кранів в пожежних шафах, що допускають розміщення в них 2-х ручних вогнегасників (решта пожежних кранів встановлюється в пожежних шафах);

- розміщення на зовнішніх мережах пожежних гідрантів

- встановлення пожежної сигналізації та наявність засобів оперативного зв'язку з пожежною частиною. Для своєчасного оповіщення про пожежу передбачена автоматична пожежна сигналізація.

Автоматична система пожежної сигналізації (АСПС) це комплекс технічних приладів та засобів, які призначені для своєчасного виявлення небезпечних факторів пожежі (тепло, дим, полум'я і тд.) та подання тривожних сигналів оповіщення людей про пожежу що перебувають в захищуваних приміщеннях, керуванням інженерними системами об'єкту, формуванням сигналів на включення інших систем протипожежного захисту та виклику допоміжних сил пожежної охорони, що виконується автоматично, тобто без участі людей, у відповідності з запрограмованим алгоритмом системи.

Система автоматичного пожежогасіння покликана захистити приміщення в разі виникнення пожежі, мінімізувавши матеріальні втрати при надзвичайних ситуаціях. Безперечною перевагою такої системи на об'єкті є здатність загасити пожежу на ранній стадії її виникнення, ще до приїзду бригад пожежної охорони, що дозволяє ефективно локалізувати розповсюдження пожежі на інші об'єкти або споруди, тим самим звести до мінімуму загальні збитки від пожежі та врятувати життя людей що перебувають на об'єкті.

Вогнезахист повітроводів і вентиляційних коробів несе не менш важливу роль в ефективній евакуації людей. Протидимні системи видаляють продукти горіння і подають в задимлені ділянки будівлі чисте повітря. При цьому конструкції повітроводів проходять на великій протяжності, від системи повітрозабору до точки подачі повітря, або димовиводу від місця забору диму до місця викиду продуктів горіння.

Вогнезахист електрокабелів для цього використовуємо спучуючі засоби вогнезахисту, які наносяться методом фарбування кабельних електромереж. Всі використовувані нами матеріали мають необхідні сертифікати пожежної безпеки, гігієнічні висновки та сертифікати відповідності. Спучуючі тонкошарові покриття виготовляються на водній основі, вони відрізняються підвищеною атмосферостійкістю і вологостійкістю. Під впливом високої температури вони збільшують свій об'єм у декілька разів, створюючи тим самим міцний термобар'єр, який забезпечує стійкість кабелів до займання. Основне призначення вогнезахисту кабелів – знизити їх пожежну небезпеку, перешкоджати поширенню горіння, що виникає при взаємодії полум'я з енергією тепловиділення

Протипожежна безпека приміщення включає в себе застосування конструкцій і матеріалів, що мають необхідну границю вогнестійкості і які забезпечують приміщенню необхідну ступінь вогнестійкості. В виробничому цеху передбачено евакуацію робітників з двох розподілених виходів. Один безпосередньо на вулицю та другий - в сусіднє приміщення.

Електробезпека. Оскільки обладнання працює під електричною напругою 380/220 В, то необхідно передбачити заходи з електробезпеки. Основними заходами захисту від ураження електричним струмом є: забезпечення недоступності струмопровідних частин для випадкового дотику; усунення небезпеки ураження людей струмом у разі появи напруги на частинах конструкцій електроустаткування; застосування індивідуальних захисних засобів від ураження електричним струмом. Необхідними є контроль і профілактика пошкоджень ізоляції, а також забезпечення заземлення, занулення, захисного відключення для усунення небезпеки ураження з появою напруги на корпусах та кожухах обладнання.

Запроектоване захисне заземлення всіх металевих неструмоведучих частин електрообладнання (корпусів електродвигунів, щитків і пультів управління, металевих оболонок, кабелів та ін.) які можуть перебувати під напругою в результаті пошкодження ізоляції. Рубильники вмикання установки знаходяться у спеціальній шафі; передбачається спеціальне захисне вимикання електродвигунів у випадку враження людини струмом. Біля пультів і всередині щитів знаходяться захисні килими. Вся пускова апаратура вологозахисна.

Безпека експлуатації обладнання забезпечується: захисним розділенням мереж, контролем і профілактикою пошкодження ізоляції, забезпеченням недоступності до струмоведучих частин, застосуванням засобів індивідуального захисту.

Шумозахист. Шум, що виникає під час роботи основного та допоміжного обладнання технологічного процесу, є ще однією проблемою підприємств. На багатьох з них використовується застаріле обладнання, яке функціонує безперервно. Робота таких пристроїв, як дробарки, млини, сепаратори, транспортери, печі випалу та насоси, створює значний рівень шумового й вібраційного забруднення, що негативно впливає як на працівників, так і на навколишнє середовище. Підвищений шум, який перевищує природні норми, спричиняє підвищену стомлюваність, зниження концентрації та розумової діяльності, а при рівні 90-100 дБ може поступово призводити до втрати слуху.

Ефективний захист працівників від впливу шуму вимагає здійснення цілого комплексу організаційних, технічних, а також медичних заходів. Ефективним шляхом щодо вирішення проблеми шумового забруднення є зниження його рівня в самому джерелі. Таке завдання можна вирішити шляхом зміни обладнання на менш безшумове, застосування віброізоляції, глушників шуму, звукоізолюючих кожухів, звукопоглинальних панелей. Знижує шум своєчасне і правильне регулювання, змащування чи заміна металевих вузлів апаратів, машин і механізмів. Обладнання, що є джерелом шуму та вібрації, встановлюється на спеціальних віброізоляторах, а робочі місця біля них ізолюються гумовими ковриками. Для захисту від шуму, що випромінюється в діапазоні високих та середніх звукових частот, застосовуються акустичні екрани.

У випадках, коли технічні заходи не забезпечують досягнення вимог щодо шумового забруднення, необхідним є обмеження тривалості впливу шуму на працівників, застосування засобів індивідуального захисту органу слуху: вкладишів, навушників, касок легких захисних шоломів.



Рис. 5.1. Засоби захисту: каски з навушниками

Отже, для індивідуального захисту від шуму використовуємо: протишумові вкладиші $\Delta L=10$ дБА, навушники $\Delta L=7$ дБА і шоломи $\Delta L=2$ дБА. Величина загальної технологічної вібрації на постійних робочих місцях не повинна перевищувати норми, установлених ДСН 3.3.6.039–99.

Загалом, важливе значення мають попередні (при зарахуванні на роботу) і періодичні (протягом діяльності) медичні огляди працівників підприємств з виробництва вапна.

На підприємствах з виробництва вапна обов'язково повинні фахівці з охорони праці та промислової безпеки, які повинні мати необхідні знання, досвід роботи для забезпечення безпеки та здоров'я працівників, повинні проводити навчання працівників. На підприємстві повинні бути засоби, якими можна було б зробити повідомлення про можливі небезпечні ситуації. Загалом, керівництво підприємств має бути зацікавленим у забезпеченні та дотриманні безпеки працівників, оскільки нехтування охороною праці, призводить до погіршення стану виробництва, відтоку частини продуктивних сил в інші галузі.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

Охарактеризовано сировинні матеріали для виробництва вапна. Проведено опис технологічної схеми виробництва вапна та основного обладнання, що використовується. Значна увага приділена обладнанню для подрібнення, розмелювання, транспортування, випалу в технологічній лінії виробництва вапна.

Проведено дослідження екологічних небезпек, які пов'язані з видобутком сировини та виробничими процесами, під час яких на кожній стадії відбуваються втрати сировини та утворюються побічні продукти й відходи, що забруднюють виробничу зону, негативним чином впливають на здоров'я працівників та завдають величезної шкоди навколишньому середовищу. Як результат аналізу, виділено ряд екологічних проблем: виснаження ресурсів сировини, деградація ґрунтів і ландшафту; утворення відвалів; забруднення повітря робочої зони та атмосфери внаслідок виробничої діяльності підприємств з виробництва вапна пилом, тепловими викидами та паро- та газовими викидами.

Проведено ідентифікацію джерел пилоутворення, джерел паро- та газових викидів та теплових викидів. Проаналізовано забруднення стічних вод підприємства з виробництва вапна.

Проведено дослідження пилових викидів виробництва. Встановлено, що пил є полідисперсним, тому містить частки розмірами, які є характерними для всіх приведених нижче п'яти груп: I група – дуже крупно-дисперсний пил ($d > 140$ мкм) – утворюється на стадіях розвантажування вапняку, його транспортування та первинного подрібнення; II група – крупно-дисперсний пил ($d = 40-140$ мкм) – утворюється на стадіях первинного подрібнення та сепарування. III група – середньо-дисперсний пил ($d = 10-40$ мкм) – утворюється на стадіях розмелення вапняку в кульовому млині (більшою мірою це частки з середнім розміром 20 мкм); IV група – дрібнодисперсний пил ($d = 1-10$ мкм) – утворюється на стадіях розмелення сировини в кульовому млині та під час його випалу в обертовій печі; V група – дуже дрібнодисперсний пил ($d < 1$ мкм) – утворюється на стадіях подрібнення вапна. Фракційний склад пилу, визначений

із проби відібраної з відхідних газів вапняно-випалювальної печі містить фракції: більше 1мм (5,6%); 1-0,6мм (5,1%); 0,6-0,315 (7,2%); 0,16-0,074 (17,1%); 0,074-0,04 (10,6%); 0,04 (42,4%). Запиленість викидів після печі складає до 25 г/м³. За хімічним складом – це пил вапняку (CaCO₃), доломіту (CaCO₃•MgCO₃). Оскільки вапнякові породи включають домішки, то хімічний склад пилу встановив наявність: MgO; FeO; SiO₂; Al₂O₃; Fe₂O₃; K₂O; Na₂O; SO₃. Окрім пилу, відхідні гази з печей випалу містять продукти згорання палива.

Аналіз проб повітря з систем аспірації цеху подрібнення, де встановлені елеватори, транспортери, дробарка валкова та кульовий млин показав, що дрібнодисперсні фракції (пил вапняку) з розміром частинок, $\delta_{50}=5$ мкм та менше (основним чином це пил від кульового млина), становлять близько 75% від загальної маси пилу, що викидається в атмосферу. Значення середньомедіанного діаметра δ_{50} частинок пилу змінюється залежно від місця відбору проб в приміщенні. Запиленість викидів з лінії подрібнення сировини чи готового продукту може значно варіюватися. Запиленість пилоповітряного потоку, який надходить із лінії подрібнення в системи аспірації, сягає до 10...18 г/м³, при цьому на деяких ділянках аспіраційних систем максимально-разові (ММР) значення досягають 10,0...20,0 г/м³.

Розроблені заходи щодо зниження негативного впливу на довкілля. Проаналізовані рішення щодо боротьби із запиленістю. На основі аналізу пропонується як очисне обладнання використовувати мокрі апарати-пиловловлювачі (скрубери). Проведено розрахунок скрубера: діаметр рівний 0,8м, висота скрубера 5,6м.

Представлено розділ з охорони праці, в кому значна увага приділена засобам захисту від пилу, технічним рішенням, безпеці роботи з устаткуванням з рухомими елементами, пожежній безпеці та заходам щодо боротьби з шумом.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ЛІТЕРАТУРИ

1. Дворкін Л.Й. Будівельні в'язучі матеріали. – Рівне: НУВГП, 2019.- 622 с.
2. Ю.Г. Гасан, Т.М. Пащенко. Будівельні матеріали. Посібник, 208с.
3. <https://klebrig.com.ua/ua/a480177-vidminnist-gashenogo-vapna.html?srsltid=AfmBOoqZB0eCOPkUF1TXRpg4YZWaFLfORv0eNCo7FApP VW51YhEfhscM>
4. <https://insgeo.com.ua/vapniak/>
5. <https://mtechnology.com.ua/rozrobka-i-vprovadzhennya-texnologii%D1%97-znepilyuvannya-dimovix-gaziv-vid-obertovo%D1%97-pechi-vipalu-vapnyaku-v-rukavnix-filtrax/>
6. Гаджиєв Е.Н., Варламов Є.М. Дисперсійний аналіз пилу в системах аспірації під час виробництва теплоізоляційних матеріалів із застосуванням удосконаленої експериментальної установки. Екологічні науки № 1(24). Т. 2. С. 27-31.
7. Екологічні аспекти промислових виробництв . Методичні вказівки до практичних занять /Склав. Кожемякін Г.Б. – Запоріжжя: Вид. ЗДІА, 2018.- с. 41.
8. Методичні вказівки до виконання курсових проектів з курсу „Технологія та обладнання захисту атмосфери” для студентів спеціальності 6.040106 „Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування” / Укл. О.І.Іваненко. – К.: ТОВ „Інфодрук”, 2012. – 107 с.
9. Васійчук В.О., Гончарук В.Є., Качан С.І., Мохняк С.М. Основи цивільного захисту: Навч. посібник / Львів, 2010.- 384 с.
10. Вапно будівельне повітряного твердіння. [Електроннийресурс]. Режим доступу: URL : <http://bibliograph.com.ua/spravochnik-72/29.htm>
11. Проблеми організації охорони праці на підприємстві. Режим доступу: <https://evrovektor.com.ua/article/problemi-organizaciji-ohoroni-praci-na-pidprijemstvi>
12. Мохняк С.М., Дацько О.С., Козій О.І., Романів А.С., Петрук М.П., Скіра В.В., Васійчук В.О., Безпека життєдіяльності та основи охорони праці : Навчальний посібник. Львів : Видавництво НУ "Львівська політехніка", 2009. 264 с.

13. <https://inzhenerka.prom.ua/ua/g99943193-ochistka-vozduha-gazov>
14. <https://mrc.org.ua/sistemy-ochistki-gaza/216-skrubber-dlya-ochistki-gazov>
15. Процеси та апарати хімічних виробництв: курс лекцій / Онищук О. О., Жолт О. К. - Луцьк: Вежа-Друк, 2020 – 155 с.
16. Ю.О. Очищення газів. Частина II. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2015 – 46с.
17. Методичні вказівки до виконання курсових проектів з курсу „Технологія та обладнання захисту атмосфери” для студентів спеціальності 6.040106 „Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування” / Укл. О.І.Іваненко. – К.: ТОВ „Інфодрук”, 2012. – 107 с.
18. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Пиловловлювання та очищення промислових викидів» для студентів очної та заочної форм навчання за напрямом 6.050601 - «Теплоенергетика» /Укл. Глущенко О.Л. - Кам'янське, ДДТУ, 2017.- 44 с.
19. Процеси та апарати пилогазоочищення: практикум. Для підготовки здобувачів вищої освіти за другим (магістерським) рівнем вищої освіти в галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 101 «Екологія» відповідно до освітньо-професійної програми «Екологічна безпека». / Укладачі: О. В. Рибалова, Б. М. Цимбал, О. О. Бондаренко. – Х: НУЦЗУ, 2023. – 54 с.