

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни «Ресурсозбереження та охорона довкілля»
для студентів спеціальності 136 «Металургія» (МЕ03)

ВСТУП

Важливим завданням чорної металургії є зниження кількості відходів, збереження ресурсів за одночасним підвищенням продуктивності праці та якості продукції. До особливостей виробництва чорних металів належать висока енергоємність, велика кількість палива, що споживається, значні викиди шкідливих речовин до атмосфери, гідросфери і літосфери.

Мета вивчення дисципліни „Ресурсозбереження та охорона довкілля” - навчити студентів основам новітніх високопродуктивних, ресурсозберігаючих та маловідходних технологій чорної металургії, раціоналізацію енергоспоживання, охарактеризувати різні способи утилізації та знешкодження відходів виробництва.

Збільшення населення Землі, бурхливий розвиток виробництва і зростання обсягів споживання, відсутність ефективних технологій переробки відходів призвело до того, що на початку 21 століття на планеті нагромадилася така кількість відходів, яка повсюдно стала загрожувати здоров'ю людей і навколишньому середовищу. Дуже багато промислових відходів утворюється в Україні. Населення України складає менш 1% населення Землі, а частка промислових викидів України – 4% від світових. Біля 1/3 промислових відходів у країні падає на чорну металургію.

Вищевикладене свідчить про актуальність розробок і впровадження безвідходних та маловідходних, ресурсозберігаючих технологій. Інший аспект, що підкреслює важливість проблеми – виснаження природних ресурсів, що не відновлюються (залізної, марганцевої та інших руд, кам'яного вугілля).

1 ПРОБЛЕМА УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ ТА НЕСТАЧІ ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ

Науково-технічна революція і пов'язані з нею грандіозні масштаби виробничої діяльності людини привели до великих позитивних перетворень в світі. В той же час різко погіршав стан довкілля. У погіршенні цього стану не останню роль грає чорна металургія, споживаюча величезну кількість природних ресурсів і що виробляє всілякі відходи, що потрапляють в природне середовище.

Зростання населення Землі, активний розвиток виробництва і об'ємів вжитку, відсутність ефективних технологій переробки відходів привели до того, що на початок 21 століття на планеті накопичилася така кількість відходів, яка повсюдно стала загрожувати здоров'ю людей і стану довкілля. За даними ООН щорік більше 5 мільйонів чоловік вмирають від хвороб, викликаних неправильним видаленням і знешкодженням відходів і стічних вод.

У нашій країні все гостріше встає проблема утилізації як побутових, так і промислових відходів. Звалища великих міст щорік поглинають близько 1500 га землі, які стають небезпечним джерелом отруєння довкілля. Із звалищ в повітря і ґрунтові води потрапляють важкі метали, лаки, фарби, пластмаси, токсичні органічні і неорганічні сполуки. На звалищах розвиваються хвороботворні бактерії, виділяються токсичні гази. Вирішення цієї проблеми – в будівництві сучасних відходопереробних заводів з ефективними технологіями утилізації і виготовлення з відходів корисних матеріалів, а також рекультивация звалищ.

Промислові відходів в Україні утворюється більше, ніж побутових. Часто вони і значно більш токсичні, ніж побутові. З іншого боку, технології утилізації промислових відходів, зокрема відходів чорної

металургії, у нас в країні розроблені краще, ніж технології утилізації міського сміття.

У параграфі 26 Декларації ООН про довкілля говориться, що держави відповідають за те, аби діяльність на їх території не заподіювала шкоди в інших державах. Цей принцип часто порушується по двох причинах.

Перша причина – міжграничне перенесення шкідливих речовин потоками повітря і води. Наприклад, аварія на Чорнобильській АЕС привела до того, що радіоактивна хмара за допомогою вітрів досягла Скандинавії. Високі труби на металургійних підприємствах і теплових електростанціях сприяють поширенню забруднень на великі відстані, включаючи і територію сусідніх держав. Аварійний викид токсичних стічних вод до Дунаю, наприклад, в Австрії, може привести до екологічного лиха в Угорщині, Сербії, Румунії, Болгарії.

Другу причину можна умовно назвати торгівлею відходами. Аби обійти закони, що забороняють поховання токсичних відходів, не витратити великих коштів на їх переробку, виробники відходів переправляють їх в країни з недосконалим екологічним законодавством, або туди, де є певні злочинні елементи, які із-за наживи йдуть на погіршення екологічного стану своєї країни.

Наприклад, в 90-х роках минулого століття 25 хімічних виробників Західної Європи і США звалили близько 11 тис. т ртутно-свинцевих відходів в Іспанії. Близько 8000 контейнерів з токсичними речовинами було переправлено до Нігерії. Часто плата за дозвіл поховання відходів у декілька разів перевищує національний дохід малих африканських країн, країн Південної або Центральної Америки. Тому керівництво цих країн погоджується на ввезення токсичних відходів.

В Україні було зафіксовано близько 40 спроб поховати на території країни отруйні речовини. У великих кількостях були імпортовані

пестициди, заборонені на Заході, і використані у нас через відсутність відповідних законів.

З проблемою утилізації відходів тісно пов'язана інша сучасна проблема – виснаження природних ресурсів, які не відновлюються. Як відомо, копалини органічного і мінерального походження (руди, солі, мінерали, вугілля, сланці, нафта, газ) в природі не відновлюються. За підрахунками фахівців, розвіданих запасів ресурсів при сучасному рівні вжитку, вистачить на наступний термін: нафти і газу – на 300 років, залоза – на 250...300, алюмінію – на 250, кам'яного вугілля – на 150...240, нікелю – на 50...60, міді – на 35...40, цинку і свинцю – на 10...15. За останніх 30 років з надр Землі витягнуто стільки ресурсів, скільки за всю попередню історію людства. За 20-е століття видобуток вугілля збільшився в 15 разів, природного газу – в 1000 разів, нафти – в 7000 разів.

Тут потрібно врахувати, що лише 1,5% від всього об'єму речовин, що добуваються в земних надрах, із-за недосконалості технологій реалізується у вигляді продукції, а останнє йде у відходи. Звичайно, це усереднені цифри. При видобутку газу і нафти відходів утворюється дуже мало, при видобутку залізу в кінцеву продукцію переходить 12...20% вилученої з надр речовини, при виробництві важких кольорових металів – 1...3%, при видобутку матеріалів, що діляться, – десяті і навіть соті відсотка.

Загроза виснаження природних багатств, що не відновлюються, сприяє розширенню виробництва заміників – різних полімерних, композитних та ін. матеріалів, яких в природі ніколи не було, і які там ніколи б не з'явилися без сприяння людини. Їх створення і вживання спотворюють природний баланс речовини, збільшують важко усунені забруднення природного довкілля. Зараз на Землі людина використовує більше 4 млн. хімічних сполук, з яких токсичність дії вивчена лише для 40 тис., тобто для 1%.

Контрольні запитання

1. Первинні та вторинні ресурси.
2. Які проблеми народжує активний розвиток виробництва і об'ємів вжитку.
3. На яку площу збільшуються звалища великих міст щорік в Україні?
4. Чому порушується § 26 Декларації ООН про довкілля?
5. На скільки років за підрахунками фахівців, вистачить розвіданих запасів міді?

2 РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

У всіх розвинених країнах ведеться інтенсивне будівництво різних очисних споруд і систем, що забезпечують очищення газоподібних і рідких відходів, нейтралізацію твердих відходів. Не дивлячись на величезні витрати на розвиток основної технології, досягнуті успіхи в справі охорони довкілля і помітне зниження питомої кількості відходів, загальний об'єм шкідливих викидів в окремих галузях промисловості не лише не зменшується, але і зростає. Звідси слідує висновок, що одним будівництвом очисних споруд кардинально вирішити питання зниження кількості викидів неможливо.

Єдино технічно правильний і економічно вигідний шлях вирішення проблеми – створення безвідходних і маловідходних, екологічно нешкідливих технологій і виробництв.

Поняття безвідходної і маловідходної технології (виробництва) можна об'єднати терміном «ресурсозберігаючі технології (виробництва)». Дійсно, чим менше в технологічному циклі утворюється відходів, тим більше сировини переходить в готову продукцію і тим менше споживається ресурсів. І навпаки, чим краще використовується сировина, чим досконаліша технологія, чим більш розвинута комплексна переробка вихідних матеріалів, тим менше відходів. Таким чином, ці поняття

взаємозв'язані. Застосовуючи терміни «безвідходна технологія», «маловідходна технологія», ми розглядаємо виробництво як би з кінця, з точки зору здобуття кінцевих продуктів – готової продукції і відходів. При використанні терміну «ресурсозберігаюча технологія» виробництво розглядається з його початку – із вжитку ресурсів.

Термін «безвідходна (чиста) технологія» був вперше запропонований академіками Н.Н Семеновим і І.В. Петряновим-Соколовим. Під такою технологією вони розуміли ідеальну модель такого виробництва, яке поетапно, через маловідходні технології, впритул наближається до своєї теоретичної межі ідеального нешкідливого виробництва. Тобто, автори терміну мали на увазі під ним деякий ідеал – практично недосяжний, але до якого варто прагнути.

Сучасними фахівцями безвідходною зазвичай вважається технологія, що практично не наносить збитку довкіллю. Маловідходною вважається технологія, що завдає мінімально можливого на сучасному етапі розвитку збитку довкіллю. Межа між безвідходною і маловідходною технологією досить умовна. Точніше про міру ресурсозберігання і безвідходності виробництва можна судити за кількісними показниками, про які буде сказано пізніше.

Цілеспрямовано змінюючи основи існуючих технологій, в світовій практиці вже створюються виробництва, які працюють майже без відходів. Строго кажучи, абсолютно безвідходного виробництва бути не може, особливо якщо враховувати енергетичні відходи. Будь-яка технологія передбачає використання енергії – теплової, механічної, ядерної, хімічної і так далі. Процеси перетворення, передачі, транспортування енергії завжди супроводжуються її втратами. Втрати ці можна звести до мінімуму, але позбавитися від них повністю неможливо.

Якщо говорити лише про матеріальні відходи, до безвідходної технології можна віднести, наприклад, гідроенергетику. Безвідходними

можна вважати окремі технологічні процеси: розфасовку і пакування готової продукції, виробництво деяких харчових продуктів, термообробку металу.

Подальше вдосконалення ресурсозберігаючих технологій, на думку фахівців, повинне розвиватися в наступних чотирьох напрямках.

1. Розробка принципово нових процесів виготовлення продукції, що дозволяють виключити, скоротити або замінити технологічні стадії, на яких утворюється основна кількість відходів. Приклад – прямий, позадоменний спосіб виробництва стали, який дозволяє виключити агломераційний, доменний і коксохімічний переділи, на яких утворюється більша кількість відходів різної міри токсичності.
2. Створення безстічних технологічних систем і замкнутих водооборотних циклів. Наприклад, заміна мокрого способу гасіння коксу сухим дозволяє отримати безстічну систему. Використання сучасних апаратів очищення стічних вод дозволяє шламову воду після доменної газоочистки не скидати у водоймища, а знов пускати в обіг, реалізуючи замкнутий цикл.
3. Розробка систем переробки відходів, які використовуються як вторинні матеріальні ресурси. Один з основних видів відходів чорної металургії – шлак – може бути використаний у виробництві цементу, добрив, щебеня, пемзи, шлаковати, шлакового литва і так далі. Відходи деревообробної промисловості (тріска, кора, стружка і тирса) можуть бути використані як паливо.
4. Створення територіально-промислових комплексів, для яких характерна замкнута структура потоків сировини і відходів усередині комплексу.

Однією з основ створення ресурсозберігаючих технологій є комплексна переробка сировини. Розробка і впровадження таких технологій

економічніші в тих галузях, де доля сировини має переважаюче значення у формуванні собівартості продукції, де менше поєднання різних видів виробництв, де вузька номенклатура відходів. Це в першу чергу добувна, переробна і хімічна галузі.

Складніше справа йде в машинобудуванні, приладобудуванні, суднобудуванні і інших багатомноменклатурних галузях, середньо- і дрібносерійних виробництвах, що поєднують різні види і методи обробки різних матеріалів. Перехід цих галузей на широке використання композиційних матеріалів викликав появу нового виду відходів, переробка яких традиційними методами неможлива.

Металургія займає проміжне положення. Тут можливе комплексне використання поліметалічних руд, тобто видобуття з них не лише, наприклад, свинцю, але і цинку, рідких металів, використання порожньої породи в будівельній індустрії.

Якими кількісними критеріями можна керуватися для оцінки безвідходної виробництва, його міри ресурсозберігання? Таких критеріїв декілька.

Коефіцієнт використання сировини

Кількісною оцінкою безвідходності технологічного процесу може служити коефіцієнт використання сировини (КВС). КВС - відношення загальної маси виробленої продукції $M_{\text{п}}$ до маси сировини, напівфабрикатів і інших споживаних в процесі виробництва речовин $M_{\text{с}}$:

$$\text{КВС} = M_{\text{п}}/M_{\text{с}} \quad (1)$$

КВС може розраховуватися для окремого технологічного агрегату, процесу, цеху, підприємства або для галузі промисловості. КВС - головний

показник досягнутого рівня безвідходності. Виробництво може вважатися безвідходним при $KBC \leq 0,9$, маловідходним при $0,8 \leq KBC < 0,9$, за умови, що відходи цього виробництва не є високотоксичними або радіоактивними. Для чорної металургії в цілому КВС складає близько 0,4.

Значення КВС залежить від того, які речовини враховуються в масах сировини і продукції. Наприклад, при аналізі доменного процесу в масу продукції (M_p) може входити лише чавун. Проте, як продукцію можна розглядати і колошниковий (доменний) газ, який використовується як паливо. КВС в такому разі буде більше. Якщо доменний шлак використовується в будівництві, для виробництва цементу, шлакового литва або в інших цілях, використовувану масу шлаку також можна віднести до продукції. Значення КВС ще більш зросте.

До сировини можна відносити паливо, яке спалюється при виробництві продукції, атмосферний кисень, що йде на горіння, енергетичне паливо, що витрачається на електростанціях для вироблення електроенергії, що витрачається на виробництво продукції.

Приклад

При виплавці сталі в мартенівській печі з 1т шихти (руди і лому) отримано 700 кг сталі. При цьому було використано 200 кг флюсів. Витрата мазуту склала 580 кг/т сталі. Визначити КВС.

На 700 кг сталі було витрачено $580 \cdot 0,7 = 406$ кг мазуту. Тоді маса сировини $M_c = 1000 + 200 + 406 = 1606$ кг

$$KBC_1 = 700/1606 = 0,436$$

Якщо як сировину розглядати лише вихідні матеріали для виплавки сталі (без врахування палива), отримаємо: $M_c = 1000 + 200 = 1200$ кг.

$$KBC_2 = 700/1200 = 0,583$$

При спалюванні мазуту витрачається кисень атмосфери, який в даному випадку можна розглядати як сировину. На спалювання 1 кг мазуту витрачається близько 11 м³ повітря. При вмісті кисню в повітрі 21% отримаємо витрату кисню 11•0,21 = 2,31 м³. При густині кисню 1,43 кг/м³ це складе 3,3 кг/кг мазуту. Для спалювання 406 кг мазуту необхідно 3,3•406 = 1341 кг кисню. КВС з врахуванням витраченого кисню:

$$KBC_3 = 700/(1606 + 1341) = 0,238$$

У знайдених коефіцієнтах не враховані витрати електроенергії. На виплавку сталі витрачається певна кількість електроенергії, для вироблення якої необхідно спалювати паливо. КВС, розрахований з врахуванням цього палива, матиме ще менше значення, ніж КВС₃. При знаходженні кількості палива, що витрачається на виробництво електроенергії, необхідно знати, яка доля ТЕС у виробленні спожитої енергії. Витрати сировини, матеріалів і так далі при виробленні електроенергії на АЕС і ГЕС можна не враховувати, оскільки вони у край незначні. Якщо в наведеному прикладі прийняти витрату електроенергії 1000 кВт·год./т, долю електроенергії, що виробляється на ТЕС, – 60%, витрати вугілля на вироблення 1 кВт·год. – 330г, то отримаємо:

- кількість електроенергії, витраченої на виробництво 700 кг сталі

$$1000 \cdot 0,7 = 700 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

- кількість електроенергії, виробленої на ТЕС і витраченої на виробництво 700 кг стали:

$$700 \cdot 0,6 = 420 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

- витрати вугілля на вироблення цієї електроенергії:

$$420 \cdot 0,33 = 138,6 \text{ кг}$$

КВС з врахуванням витраченої електроенергії:

$$КВС_4 = 700 / (1606 + 1341 + 138,6) = 0,227$$

Можна також розрахувати коефіцієнт використання сировини з врахуванням електроенергії, але без врахування кисню:

$$КВС_5 = 700 / (1606 + 138,6) = 0,401$$

Кажучи про безвідходність виробництва, зазвичай мають на увазі КВС₁ або КВС₂.

Якщо є ряд послідовних технологічних переділів з коефіцієнтами КВС_i, то загальний КВС_Σ для всього виробництва знаходиться як добуток:

$$КВС_Σ = \prod КВС_i \quad (2)$$

Екологічні показники безвідходності

Рівень збереження ресурсів і утворення відходів можна оцінювати з екологічної точки зору. Екологічні показники безвідходності визначаються із зіставлення фактичних і гранично допустимих концентрацій (ГДК).

За безвідходний рівень концентрації шкідливих речовин в газах, що викидаються в атмосферу, приймають 50 ГДК. Вважається, що при цьому приземна концентрація не перевищить ГДК.

Допустимо, який-небудь агрегат, технологічна лінія, цех або підприємство викидають в атмосферу газоподібні речовини і аерозолі. Екологічний показник безвідходності для атмосфери для i -ої шкідливої речовини:

$$E_{Ai} = \text{ГДК}_i \cdot A_T / (\text{ГДК}_i \cdot A_T + 0,02C_i \cdot A_\Phi), \quad (3)$$

де ГДК_i - гранично допустима концентрація i -ої речовини, мг/м^3 ; C_i - концентрація i -ої речовини в газах, мг/м^3 ; A_T і A_Φ - теоретичні і фактичні витрати газів на одиницю продукції ($\text{м}^3/\text{т}$, $\text{м}^3/\text{кг}$, $\text{м}^3/\text{шт.}$, кг/т) або за одиницю часу ($\text{м}^3/\text{с}$, $\text{м}^3/\text{год.}$, $\text{м}^3/\text{рік}$, кг/с і так далі).

Значення E_{Ai} визначаються для всіх шкідливих компонентів, що містяться в газах. Про безвідходність судять по найменшому значенню $E_{Ai} = E_A$. Процес можна вважати безвідходним, якщо $E_A \geq 0,5$.

Аналогічно можна оцінити безвідходність підприємства або окремого агрегату по відношенню до викидів в гідросферу. Тут зіставляються фактичні і гранично допустимі концентрації для водоймищ.

Екологічний показник безвідходної для гідросфери:

$$E_{Ti} = \text{ГДК}'_i \cdot \Gamma_T / (\text{ГДК}'_i \cdot \Gamma_T + C_i \cdot \Gamma_\Phi), \quad (4)$$

де $\text{ГДК}'_i$ - гранично допустима концентрація i -ої речовини у водоймищах, мг/л ; C_i - дійсна концентрація i -ої речовини в стічних водах, що

скидаються у водоймища, мг/л; Γ_T і Γ_Φ - теоретичні і фактичні витрати стічних вод ($\text{м}^3/\text{т}$, $\text{м}^3/\text{кг}$, $\text{м}^3/\text{с}$, л/с, $\text{м}^3/\text{с}$ і так далі).

Так само, як і для атмосферного показника E_{Γ} визначається для всіх шкідливих компонентів, що містяться в стічних водах. Для характеристики безвідходності вибирається мінімальний коефіцієнт.

Технологічний процес можна вважати безвідходним при $E_T \geq 0,5$, хоча у багатьох випадках вимоги до безвідходності такі, що процес по даному показнику має бути повністю безвідходним ($E_T = 1$).

Екологічний показник безвідходності для літосфери:

$$E_L = L_T / (L_T + L_\Phi), \quad (5)$$

де L_T і L_Φ - теоретичний (або нормований) і фактичний об'єм твердих відходів, що поступають у відвали, звалища ($\text{т}/\text{т}$, $\text{м}^3/\text{т}$, т/рік).

Технологічний процес безвідходний, якщо $E_L = 1$.

Міра досконалості технології може бути визначена по загальному екологічному коефіцієнту безвідходності, який відображає сумарну дію викидів на довкілля:

$$E = 3 / (1/E_A + 1/E_T + 1/E_L) \quad (6)$$

Точніше відображає дію на довкілля підприємства (цеху, окремого агрегату) середньозважений екологічний показник безвідходності:

$$E_c = 3(A_\Phi + \Gamma_\Phi + L_\Phi) / (A_\Phi/E_A + \Gamma_\Phi/E_T + L_\Phi/E_L) \quad (7)$$

Всі величини, що входять до рівняння (7), повинні вимірюватися в однакових одиницях.

Енергетичні показники безвідходності

Розглянемо тепер безвідходність і ресурсозберігання з енергетичної точки зору.

Розрахунок ефективності використання палива в теплових установках може бути заснований на першому законі термодинаміки. В цьому випадку основою визначення показника безвідходності є енергетичний баланс тепла. При порівнянні однотипних теплових установок між собою (нагрівальних печей різного типу, парових котлів різного виду) як енергетичний показник безвідходності може використовуватися коефіцієнт використання тепла:

$$\text{КВТ} = (Q_{\text{н}}^{\text{р}} + Q_{\text{ф}} - Q_{\text{в}})/Q_{\text{н}}^{\text{р}}, \quad (8)$$

де $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$ - нижча робоча теплота згоряння палива, МДж/кг або МДж/м³; $Q_{\text{ф}}$ - фізичне тепло палива і повітря, що йде на горіння, віднесене до одиниці маси або об'єму палива, МДж/кг, МДж/м³; $Q_{\text{в}}$ - втрати тепла з газами, що відходять, а також з хімічним і механічним недопалюванням на одиницю палива, МДж/кг, МДж/м³.

КВТ не враховує втрати тепла в довкілля через стінки агрегату, з шлаком і золою, з водою, що охолоджує. Позначимо ці втрати $Q_{\text{о}}$. Тоді паливно-енергетичний показник безвідходної можна виразити так:

$$\text{ПЕП} = (Q_{\text{н}}^{\text{р}} + Q_{\text{ф}} - Q_{\text{в}} - Q_{\text{о}})/Q_{\text{н}}^{\text{р}} = \text{КВТ} - Q_{\text{о}}/Q_{\text{н}}^{\text{р}} \quad (9)$$

ПЕП дозволяє об'єктивніше судити про енергетичну досконалість агрегату, ніж КВТ.

Енергетичною характеристикою безвідходності може служити і к.к.д. теплового агрегату:

$$\eta = (Q_{\text{н}}^{\text{п}} + Q_{\text{ф}} - Q_{\text{в}} - Q_{\text{о}})/(Q_{\text{н}}^{\text{п}} + Q_{\text{ф}}) = \text{ПЕП} \cdot Q_{\text{н}}^{\text{п}}/(Q_{\text{н}}^{\text{п}} + Q_{\text{ф}}) \quad (10)$$

По-іншому к.к.д. можна виразити у вигляді відношення корисно використовуваної теплоти $Q_{\text{к}} = Q_{\text{н}}^{\text{п}} + Q_{\text{ф}} - Q_{\text{в}} - Q_{\text{о}}$ до теплоти, що маємо $Q_{\text{м}} = Q_{\text{н}}^{\text{п}} + Q_{\text{ф}}$.

$$\eta = Q_{\text{к}}/Q_{\text{м}} \quad (11)$$

Позначимо всі втрати тепла $Q_{\text{вт}} = Q_{\text{в}} + Q_{\text{о}}$, тоді отримаємо наступне вираження для к.к.д.:

$$\eta = (Q_{\text{р}} - Q_{\text{вт}})/Q_{\text{м}} = 1 - Q_{\text{вт}}/Q_{\text{м}} \quad (12)$$

К.к.д. якнайповніше характеризує теплову роботу агрегату.

З порівняння рівнянь (8 - 10) видно, що в будь-яких випадках виконується співвідношення:

$$\eta < \text{ПЕП} < \text{КВТ} \quad (13)$$

Енергоємнісний показник безвідходності

Більш універсальним показником енергетичного енергозбереження є енергоємнісний показник безвідходності, що враховує всі витрати енергії і її економію при виробництві продукції.

Енергоємність – це сума всіх енергетичних витрат на всіх етапах здобуття продукції. Зазвичай енергоємність розраховується на одиницю продукції – на тону, кг, м³, штуку і тому подібне Цю величину можна

представити у вигляді суми енергетичних витрат безпосередньо при виготовленні продукту E_{B_6} і всіх попередніх витрат E_{B_n} :

$$E_{\Sigma} = E_{B_6} + E_{B_n} \quad (14)$$

Наприклад, при виплавці сталі мартенівським способом E_{B_6} включає хімічну енергію палива, використовуваного при плавці, витрату електроенергії на подачу цього палива і повітря, на видалення продуктів згоряння і їх очищення, на привод різних механізмів печі і допоміжних агрегатів, на освітлення, роботу КВП і так далі. E_{B_n} включає енерговитрати на видобуток залізної руди, її збагачення, транспортування, окискування, здобуття чавуну, виробництво коксу, флюсів, легуючих добавок, збір, транспортування і підготовку металобрухту.

Енергоемність може вимірюватися в енергетичних одиницях – МДж, кВт·год., або в масі умовного палива (у.п.).

Енергоемність окремих речовин і матеріалів, що використовуються в чорній металургії, приведена в таблиці 1.

Розрізняють енергоемність фактичну і теоретичну $E_{\Sigma T}$, яка розраховується з припущення повної відсутності втрат енергії на всіх етапах виробництва.

Енергоемнісний показник безвідходності дорівнює відношенню теоретичної енергоемності до фактичної:

$$E_{\Sigma P} = E_{\Sigma T} / E_{\Sigma} \quad (15)$$

Енергоемнісний показник при виплавці сталі складає близько 0,28.

Таблиця 1 – Енергоемність на одиницю продукції

Продукт		Кисень, м ³	Залізна руда, т	Залізо- рудний концентрат, т	Кокс, т	Сталь, т	Вогне- триви, т
ЕЄ	кг у.п.	0,31	0,35	30	1180	1000	215
	кВт·год.	2,5	2,8	244	9600	8100	1740
	МДж	9	10,1	878	34600	29000	6270
Продукт		Азот м ³	Аргон м ³	Стисле повітря, м ³	Вапно, т	Вапняк, т	Метало- брухт, т
ЕЄ	кг у.п.	0,11	1,3	0,04	222	0,35	28
	кВт·год.	0,89	10,5	0,32	1800	2,8	227
	МДж	3,2	37,8	1,15	6480	10,1	817

Контрольні запитання

1. Поняття про безвідходне та маловідходне виробництво.
2. Кількісні показники ресурсозбереження.
3. Коефіцієнт використання сировини.
4. Екологічні показники безвідходності.
5. Енергетичні показники безвідходності.
6. Шляхи розвитку безвідходних технологій.
7. Безстічні системи та замкнуті цикли водообороту.
8. Приклади маловідходних технологій у чорної металургії.

3 ВТОРИННІ ЧОРНІ МЕТАЛИ

Вторинні чорні метали (брухт і стружка) можуть перероблятися по двох принципово різних методам: з переплавою і без переплавки. Хоча другий

метод є переважним з екологічної і економічної точок зору, утилізується таким чином значно менше металу, чим першим способом - з переплавною.

Велику частину вторметалів неможливо використовувати без переплавки. Проте металеві відходи можна переплавляти лише після приведення їх у транспортабельний стан і розділ на шматки певних розмірів.

Підготовка брухту до переплавки є досить складним процесом, що включає, залежно від вигляду відходів, наступні операції: сортування, газове, плазмове або ножичне різання, дроблення на стружкодробарках і кульових млинах, копрове дроблення, дроблення вибухом, пакування, брикетування і так далі.

Є кілька видів сортування металобрухту. Візуально можна відрізнити чорний метал від кольорового, чавунні відходи від сталевих, іноді – вуглецевий брухт від легованого. Для спрощення сортування і підвищення його якості, використовують фотографії деталей із різних марок сталей, або безпосередньо зразки металу різних марок, з якими порівнюють металобрухт.

За магнітними властивостями можна відрізнити брухт чорних металів від кольорового. Треба мати на увазі, що сталеві відходи з підвищеним змістом марганця або хрому є немагнітними.

Вуглецеву сталь від легової можна відрізнити за іскровою пробою. Чим більше у металі вуглецю, тим більше “зірочок” має пучок іскр та тим вони яскравіші. Цім способом можна також визначати деякі марки легованих сталей. Наприклад, вольфрам дає червоні іскри, хром – темно-жовті, нікель – червоно-жовті.

Точним способом сортування є спектральний аналіз. Для нього використовують переносні прилади – стилоскопи. Між електродом приладу і брухтом генерують електричну дугу або іскри. Світ проходить

крізь щіль стилоскопу, падає на призму та розкладається у спектр. За інтенсивністю спектральних ліній роблять висновок о хімічному складі брухту.

Найбільш точним є хімічний аналіз металобрухту. Його виконують у спеціально обладнаній лабораторії. Але цей спосіб потребує багато часу та витрат.

Газовим різанням переробляються відходи вуглецевої і низьколегованої сталі завтовшки до 300 мм; плазмовим - відходи неіржавіючої сталі завтовшки до 20мм; ножичним - відходи металу з межею міцності до 500 МПа, завтовшки до 130...150 мм. Використовують алігаторні ножиці з електроприводом (потужність двигуна до 40 кВт), а також гідравлічні ножиці з потужністю до 670 кВт.

Для переробки крупного сталевого і чавунного брухту (виливниці, прокатні валки, станини, товстостінні труби великого діаметру) застосовують копрове дроблення – механізовану переробку, засновану на руйнуванні металічних масивів за допомогою падаючого на них вантажу спеціальної форми – копрові баби. Застосовують естакадні, баштові, малі та пересувні копри. Найбільш потужним є естакадний копер, в якому копрову бабу вагою 15 т скидують на металобрухт з висоти 33,5 м.

Дуже крупні сталеві і чавунні масиви (ковші із застиглим металом, масиви металу, застиглого в печі, браковані крупні злитки, валки потужних прокатних станів) руйнують вибухом. Для цього обладнують вибухову яму зі стінами із залізобетону завтовшки 800 мм, які захищені броньовими плитами завтовшки 150 мм. Порожнину між залізобетоном і бронею заповнюють піском та деревиною. Яму закривають кришкою масою 140...200 т, яка рухається по рейкам.

Легковагий сталевий лом пакують на електромеханічних або гідравлічних пресах із зусиллям до 32МН.

Переробка стружки включає первинне дроблення, знежирення, вторинне дроблення і брикетування. Взагалі стружка буває елементною, яка складається з окремих невеликих фрагментів та слівною, яка в свою чергу розподіляється на безперервні стрічкоподібну і в'юноподібну. Остання має найменшу об'ємну масу – 400...600 кг/м³.

Первинне дроблення стружки здійснюють за допомогою спеціальної заточки різців або стружколомами, які встановлюють на металообробних агрегатах.

Способи знежирення: на центрифугах; промивкою гарячою водою або лужними розчинами; випалюванням у нагрівальних печах.

Вторинне дроблення здійснюється на дробарках фрезерного, молоткового та валкового типу.

Для брикетування використовують гідравлічні преси із зусиллям до 12,5 МН. Розрізняють брикетування холодне та гаряче, для здійснення якого стружку нагрівають до 600...700°C. Брикети холодного брикетування мають об'ємну масу до 4000 кг/м³, гарячого – до 6000 кг/м³. Форма брикетів частіше всього – циліндр.

Контрольні запитання

1. Підготовка вторинних чорних металів (ВЧМ) до перетоплення.
2. Засоби переробки ВЧМ.
3. Збір металобрухту, засоби сортування.
4. Газове різання ВЧМ,
5. Плазмове різання ВЧМ.
6. Різання ВЧМ ножицями.
7. Пакетування металобрухту.
8. Копрове та вибухове дроблення металобрухту.
9. Переробка стружки.

4 ВИКОРИСТАННЯ ШЛАКІВ ЧОРНОЇ МЕТАЛУРГІЇ

4.1 Використання доменних шлаків

Склад і властивості доменних шлаків

Шлак, як і чавун, — кінцевий продукт доменної плавки. У доменній печі шлаки утворюються з порожньої породи рудної частини шихти, флюсів і золи коксу. Постійність хімічного і фізичного складу залізовмісної сировини, палива і флюсів забезпечує рівний хід доменного процесу, однорідність складу і властивостей доменного чавуну і шлаку. Останнє дуже важливе для якості як чавуну, так і шлаків. Шлак, утворюючись в процесі високотемпературних реакцій, отримує великий запас теплової і хімічної енергії, чим вигідно відрізняється від первинної мінеральної сировини. Раціонально використовувати цей запас енергії при виробництві гранульованого шлаку, пористих заповнювачів, шлакової вати і шлакоситалів — одне з найважливіших завдань виробництва.

По хімічному складу доменні шлаки діляться на три групи: основні, нейтральні і кислі. До основних відносяться шлаки, що мають модуль основності

$$M_o = \frac{CaO + MgO}{SiO_2 + Al_2O_3}$$

більше одиниці, в нейтральних він дорівнює одиниці, а в кислих — менше одиниці.

Основні шлаки утворюються при виплавці криворізьких руд на високосірчистому коксі з донецького вугілля, містять велику масову частку оксиду кальцію (46—49%) і порівняно невисоку — глинозему (до 10%). Основні шлаки складають більше половини виходу всіх доменних шлаків країн СНД. До них відносяться шлаки всіх заводів

України, окрім кислих шлаків заводу «Азовсталь», що утворюються при плавці керченських руд.

Більшість основних шлаків, головним чином ті, які містять понад 43% CaO і менше 8% Al₂O₃, при повільному охолодженні схильні до силікатного розпаду в результаті поліморфного перетворення. Використання таких шлаків для виробництва пемзи і щебеня без попередньої стабілізації утруднено, а інколи абсолютно неможливо. Їх доцільно переробляти переважно способом грануляції. Розпад може відбуватися і в результаті гідратації оксидів або сульфідів (CaO — вапняний, FeS — залізистий і MnS — марганцевистий розпад).

Можлива внутрішньодоменна стабілізація шлаків за рахунок підвищення в шихті, а отже, і в шлаку, кількостей MgO і Al₂O₃. Необхідно прагнути до здобуття розплаву, що містить не більше 6—12% MgO, з врахуванням наявності в шлаках глинозему.

Нейтральні шлаки містять 40—44% CaO. До них відносяться доменні шлаки Європейської частини Росії, що утворюються при плавці руд Курської магнітної аномалії і Північно-західного району на коксі, отриманому з використанням в шихті печорського і кузнецького вугілля.

Кислі доменні шлаки в даний час складають одну третину виходу всіх шлаків на пострадянському просторі. Це доменні шлаки Уралу, Сибіру, Казахстану, які виходять від плавки місцевих руд на коксі з вугілля кузнецького і карагандинського. Вони мають низький вміст оксиду кальцію (35—42%) і вище — глинозему (10—15%). З кислих шлаків можна виготовляти якісне литво і волокнисті вироби.

Для запобігання силікатному розпаду шлаку при виробництві пемзи, щебеня і інших матеріалів можлива його кристалохімічна позадомenna стабілізація шляхом введення в розплав деяких добавок. В даний час як стабілізуюча добавка рекомендується апатитовий концентрат (0,3% маси

шлаку в перерахунку на P_2O_5). Апатит можна замінити сталеплавильними фосфат-шлаками, що містять еквівалентну кількість P_2O_5 .

Всеросійський науково-дослідний інститут будівельних матеріалів рекомендує для стабілізації доменних шлаків при виробництві пемзи вводити в розплав за допомогою стислого повітря 0,3% апатитового концентрату і 0,7% колошниковому пилу, що містить близько 40% Fe у вигляді FeO і Fe_2O_3 .

Кристалізаційна здатність шлаків, ця найважливіша технологічна властивість, тісно пов'язана з їх мінералогічним складом. Так, моносилікати $MeO \cdot SiO_2$ мають відносно високу кристалізаційну здатність і застигають в «скло» лише при швидкому охолодженні, що характерне для основних шлаків. Навпаки, деякі двосилікати $MeO \cdot 2SiO_2$ кристалізуються погано і здатні застигати в «скло» навіть при повільному охолодженні. До них відносяться кислі шлаки, які через низьку в'язкість називають «довгими» на відміну від основних :— «коротких».

Серед шлаків заводів чорної металургії перше місце за об'ємом і значущості для народного господарства країни належить доменним шлакам. Їх ресурси доки використовуються не повністю, хоча на ряді передових підприємств («Азовсталь», Новолипецькому, Макіївському, Комунарському) вони переробляються повністю, а доменні цехи Донецького, Краматорського, Єнакіївського заводів переробляють 90% шлаків. В цілому на підприємствах чорної металургії переробляється близько 90% доменних шлаків, що утворюються.

Розрахунками показано, що за оптимальних умов (при вмісті кисню в дутті 30%, температурі дуття $1200^\circ C$, витраті природного газу $120 \text{ м}^3/\text{т}$ чавуну і масовій долі заліза в шихті 56—58%) мінімальний вихід шлаку для здобуття чавуну з масовою долею сірки до 0,025%, складає для

доменних печей тих, що працюють на коксі з вугілля Донецького басейну з 1,8—1,9% S — близько 240—260 кг/т чавуну. По цілому ряду технологічних причин фактичний вихід шлаку значно (на 40%) вище теоретичного і складає в середньому близько 400 кг/т чавуну.

Грануляція доменних шлаків

Грануляція — найпоширеніший на наших заводах спосіб переробки доменних шлаків. Грануляції піддається понад 80% рідких доменних шлаків.

При швидкому охолодженні водою або парою вогненно-рідкий шлак дробиться на дрібні зерна — гранули. Більшість зерен не встигають закристалізуватися і залишається в аморфному (скловидному) стані з великим запасом внутрішньої енергії, що збільшує їх гідравлічну активність, яка залежить не лише від хімічного, але і від мінералогічного складу шлаку. Кристалічні шлаки мають активність лише за наявності каталізаторів. Скловидний стан сприяє прояву в'язучих властивостей шлаків.

Процес грануляції може здійснюватися трьома способами: мокрим, напівсухим і сухим. Сухий спосіб в даний час не застосовується, і на підприємствах працюють установки напівсухої і мокрої грануляції. Витрата води при мокрій грануляції складає близько 3 м³/т грануляту, при напівсухій — 2 м³/т.

Мокра грануляція ведеться на центральних установках. Цим способом виробляється приблизно 15—20% всього гранульованого шлаку. Вогненно-рідкий шлак виливають з ковшів в жолоб, по якому він стікає в басейн з водою. Вода, пара, а також гази, що містяться в шлаку, подрібнюють його на дрібні зерна.

Гранульований шлак, отриманий мокрим способом, містить 15—30% вологи, яка є баластом. При транспортуванні в зимовий час вологі шлаки

легко змерзаються, що утрудняє і здорожує їх вантаження і вивантаження. Крім того, для сушки шлаків перед помелом потрібно багато палива. Тому установки мокрої грануляції неперспективні.

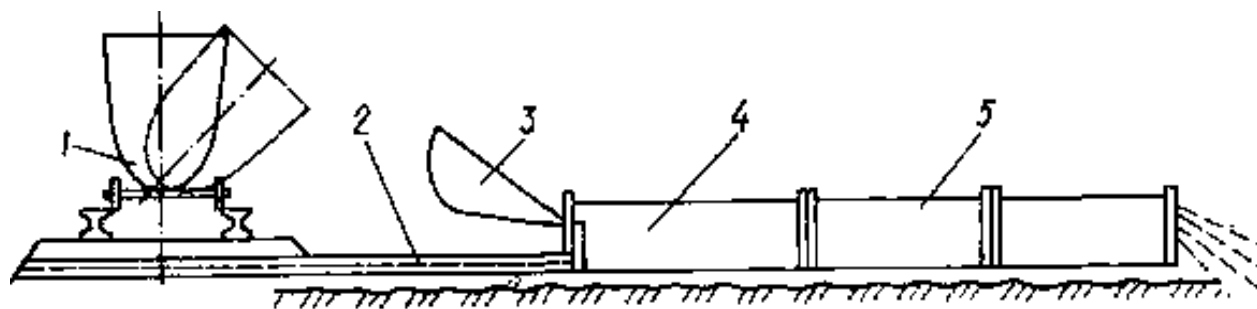
Кращі техніко-економічні показники отримують на центральних жолобних установках, де гранулят звільняється від значної кількості води на складі, а потім відвантажується у вагонах або самоскидах.

Напівсуха грануляція найбільш перспективна. На установках напівсухої грануляції переробляється близько 77% доменного шлаку.

В даний час напівсуха грануляція виробляється на барабанних, гідрожолобних і гідрударних установках. Гранульований шлак має вологість 7—15%.

Барабанні установки, розташовані поза доменними цехами, мають наступні недоліки: 1) частина барабана, що обертається, швидко зношується унаслідок дії високої температури, а також абразивної дії шлаку; 2) частина шлаку, витягуючись в нитці і перетворюючись на пластівці, вноситься з барабана і забруднює повітряний басейн на ділянці грануляції.

Установки гідрожолобні також розташовуються поза доменним цехом (рис. 3). Рідкий шлак зливається з ковша в приймальний похилий лоток, стікаючи по якому він потрапляє в гідрожолоб.



1 — ківш; 2 — труба для подачі води; 3 — приймальний лоток; 4 — ділянка гідрожолобу з гідронасадками; 5 — гідрожолоб

Рисунок 3 - Установа гідрожолобна для грануляції доменного шлаку.

У голівці гідрожолобу встановлені гідронасадки, в які поступає по трубі вода під тиском 0,6—0,7 МПа. Насадки розташовують з таким розрахунком, аби забезпечувалася лоткообразна форма водяного потоку. Струмені води розривають потік шлаку на окремі гранули, охолоджують їх і відкидають на відстань 10—25 м від кінця гідрожолобу на майданчик складу.

Довжина жолоба складає 8—10 метрів, приймальний лоток має ухил у бік гідрожолобу під кутом біля 35—40°.

Установки гідрожолобні експлуатуються на українських заводах «Азовсталь», Макіївському, Єнакіївському і деяких інших. Установки гідрожолобні високопродуктивні, дають гранульований шлак зниженої вологості, прості по конструкції і надійні в експлуатації. Робочий тиск води, рівний 0,4—0,6 МПа, забезпечує безпеку переробки шлакових розплавів навіть в разі попадання рідкого чавуну, що дозволяє максимально використовувати шлаковий розплав. Установки гідрожолобні найбільш ефективні зі всіх існуючих позапічних установок для грануляції шлаку. Намічається поступово замінити всі існуючі установки мокрої грануляції на гідрожолобні.

Гідроударні установки експлуатації складні, працюють незадовільно, тому неперспективні.

Недолік центральних грануляційних установок, що споруджуються за межами доменного цеху, полягає в тому, що для них потрібна значна протяжність залізничних колій, великий парк шлаковозних ковшів і локомотивів. Перевезення 1 т/км шлаку обходиться близько 1,5 грн. За

час транспортування температура вогненно-рідкого шлаку знижується на 100—150°C, що погіршує якість грануляту як матеріалу для виробництва в'язучих речовин. Крім того, 30—35% шлаку йде на утворення кірок, коржів і настилів в ковшах. Це визначає відносно низький вихід гранульованого шлаку (не більше 75%) з вихідного вогненно-рідкого розплаву.

З метою зменшення утворення ковшових залишків і повнішого використання вогненно-рідкого розплаву, економії транспортних витрат, зменшення кількості шлаковозних ковшів і локомотивів, що знаходяться в обороті, поліпшення гідравлічних властивостей шлаку, центральні грануляційні установки доцільніше будувати як можна ближче до доменних цехів. Оптимальним засобом для зниження втрат вогненно-рідких шлаків і поліпшення техніко-економічних показників їх виробництва є придоменна переробка шлакових розплавів з ліквідацією парку шлаковозів.

Київським Діпробудмом в співдружності з Київським політехнічним інститутом і ВНДІМТом розроблені установки придоменної грануляції, що дозволяють частково використовувати фізичну теплоту шлаків (рис. 4). Особливістю установки, що працює на Салдінському металургійному заводі, є вживання як перекачуючого засобу не насоса, а ерліфту. При перекачуванні гарячої пульпи (100°C) насоси унаслідок кавітації і сильного абразивного зносу частин, що обертаються, виходять із ладу, ККД їх зменшується. На ерліфт висока температура не діє негативно, навпаки, частково використовуючи теплоту рідини, можна понизити витрату енергії на перекачування. При введенні повітря в гарячу рідину за рахунок різниці парціальних тисків відбувається випар води, збільшується об'єм газоподібної фази (повітря + пара), зростає підймальна сила ерліфта і здійснювана ним робота. З підвищенням температури води ККД ерліфта підвищується.

На доменній печі № 9 об'ємом 5000 м³ Криворізького металургійного комбінату за схемою, розробленою Всесоюзним науково-дослідним інститутом металургійної теплотехніки (ВНДІМТ), побудована і в 1975 р. введена в дію грануляційна установка з пневмогідротранспортом шлакової пульпи.

Грануляція на центральних установках в порівнянні з придоменною переробкою вимагає більше на 55% капітальних і на 44% експлуатаційних витрат.

Придоменна грануляція виключає перевезення вогненно-рідкого шлаку в ковшах і його втрати на утворення коржів і кірок, порушення термінів випуску чавуну і шлаку унаслідок затримки подачі шлаковозів, забезпечує безперервність надходження шлакового розплаву на переробку з температурою на 120—150°C вище, ніж на установки, розташовані за межами доменного цеху, що підвищує гідравлічну активність гранульованого шлаку. Шлаки, що гранулюються за межами доменного цеху, містять скловидної фази не більше 75—80%, тоді як в шлаках придоменної грануляції вона досягає 92—98%. Це одна з причин більш високої гідравлічної активності шлаків придоменної грануляції.

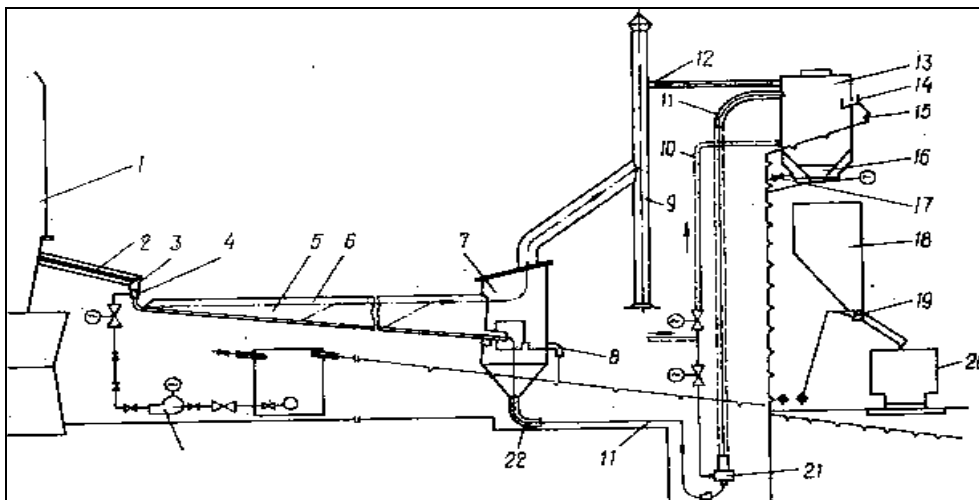
Крім того, встановлено, що шлаковий пісок з установок придоменної грануляції відрізняється дрібнозернистістю і рівномірністю складу, має середній діаметр часток 1,02—1,04 мм, а з установок, розташованих поза доменним цехом, — 2,1—3,8 мм (рис. 5).

У шлаках придоменної грануляції Криворізького металургійного комбінату фракції 2—10 мм відсутні, масова доля фракцій від 0,2 до 1 мм складає 85—95%; у шлаках, що гранулюються за межами цеху, масова доля таких фракцій відповідно складає 40 і 50—55%. Тому гранульовані шлаки припічних установок вимагають менше витрат на помел, що вельми

важливе, оскільки переважна більшість їх перед використанням піддається додатковому подрібненню.

Таким чином, переробка вогненно-рідкого шлаку способом припічної грануляції вигідна як для металургійної, так і для цементної промисловості.

Нижче приведені основні фізико-механічні характеристики доменних шлаків залежно від способу їх грануляції (Табл. 2).



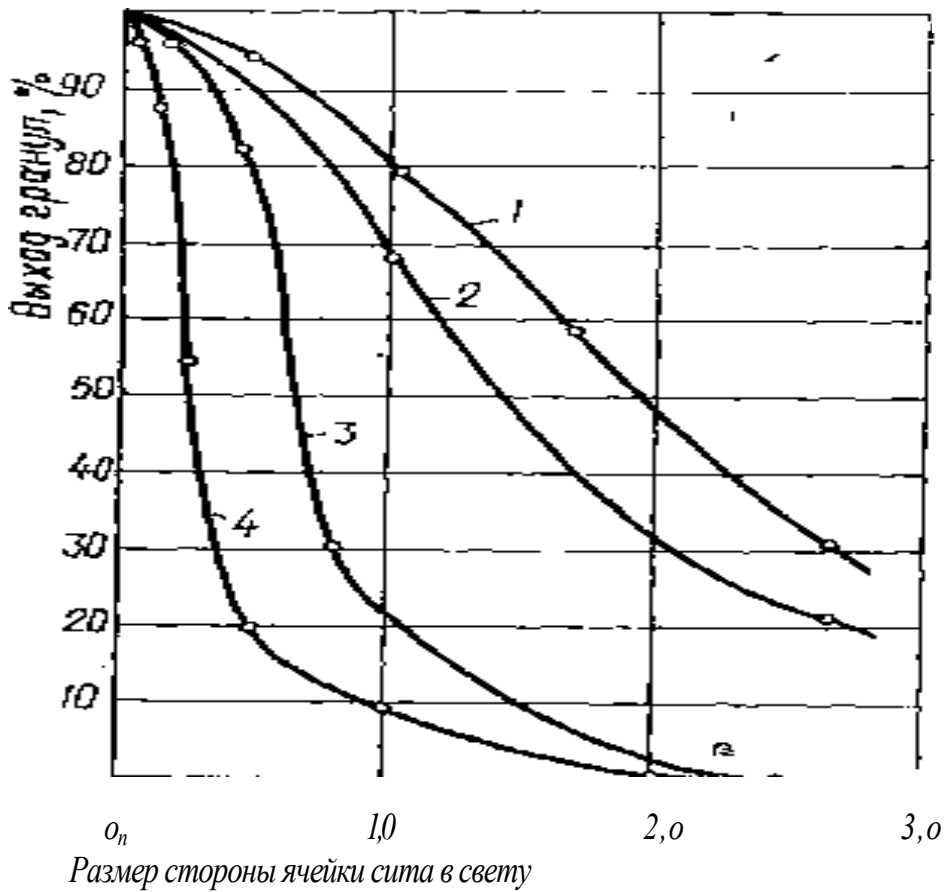
1 - доменна піч; 2 - жолоб; 3 - чавунна воронка; 4 - ежекційний гранулятор шлаку; 5 - закритий жолоб для транспорту шлакопароводяної суміші; 6 - розширена частина закритого жолоба; 7 - бункер-сепаратор шлаку; 8 - аварійний переливний пристрій; 9 - труба для відведення пари; 10, 11 - труби для подачі гарячого повітря від доменних повітродувок; 12 - труба для відпрацьованого гарячого повітря; 13 - бункер для підсушки шлаку; 14 - переливний пристрій для відведення води через трубопровід; 15, 16 -

сітка для розділення підсушеного шлаку від води, що відстоялася; 17 - засувка на водяній магістралі; 18 - бункер для підсушеного шлаку; 19 - секторний затвор; 20 - вагон для прийому шлаку; 21 - насадка ерліфта, що забезпечує подачу шлаку в бункер на сушку; 22, - трубопровід для відведення гранул шлаку; 23 - насос для подачі води на грануляцію шлаку

Рисунок 4 - Придоменна грануляційна установка Салдінського заводу.

Таблиця 2 – Властивості шлаків залежно від способу грануляції

Спосіб грануляції	Масова доля фракцій 0—1,5 мм в шлаках, %	Об'ємна Маса, т/м ³	вологість, %
Басейновий	53,3—71,3	0,4—1,2	12—25
Жолобний	57,6—72,4	0,6—1,5	15—30
Барабанний	59,4—61,3	0,5—1,3	5—15
Гідроударний	54,9—55,6	1,1—1,4	5—6
Гідрожолобний	62,5—76,9	0,8—1,3	7—20
Придоменний	90,0—96,9	1,2	6—7



1 — грануляція в басейні (Салдінський завод); 2 — грануляція гідрожолобна (завод ім. Серова) ; 3, 4 .— придоменна грануляція (відповідно завод ім. Серова і Салдінський завод)

Рисунок 5 - Розмір часток шлаку, гранульованого різними способами

Використання доменних шлаків у виробництві цементів

Цементна промисловість є основним споживачем доменних гранульованих шлаків. На виробництво цементу витрачається близько 72% гранульованих шлаків від їх загального випуску.

Гранульований шлак, використовуваний в цементній промисловості, замінює дорогий дефіцитний клінкер. При цьому економиться паливо і мінеральна сировина, що добувається в кар'єрах.

Маючи високу гідравлічну активність, гранульований шлак служить цінною мінеральною добавкою до портландцементу (до 15% маси портландцементу) і багатьом іншим видам цементів, а також є одним з основних компонентів шлакопортландцементу (до 60%).

Шлакопортландцемент — гідравлічна в'язуча речовина, що твердне у воді і на повітрі, отримувана шляхом спільного або роздільного тонкого подрібнення клінкеру, гіпсу (до 5%) і гранульованого шлаку.

Згідно стандарту, масова доля доменного гранульованого шлаку у шлакопортландцементі повинна складати не менше 30% і не більше 60%. У шлакопортландцементі, призначеному для вживання в масивних гідротехнічних спорудах, вміст шлаку встановлюється угодою зацікавлених сторін. Багато зарубіжних стандартів допускають добавку в шлакопортландцементі до 80% шлаку.

В цілому вживання доменного шлаку для виготовлення шлакопортландцементу значно покращує техніко-економічні показники цементної промисловості: паливно-енергетичні витрати на одиницю продукції знижуються на 20—25%, собівартість — на 25—30%.

Шлакопортландцемент широко застосовується для виготовлення бетонів; бетонних і залізобетонних виробів, при кам'яній кладці і як штукатурне в'язуче. Бетони на основі шлакових цементів мають високу зносостійкість, невелику усадку при твердненні, підвищену довговічність, стійкість до сульфатної корозії і деяких інших хімічних дій. Із застосуванням шлакопортландцементу зведені гідроелектростанції на Дніпрі, Єнісеї та ін., він широко використовується для будівництва підприємств чорної металургії.

Довголітня практика вживання шлакопортландцементів в морських спорудах, греблях і каналах Бельгії показала їх високу стійкість до агресивної морської води. Шлакопортландцемент, що випускається в Бельгії, містить не менше 60% доменного гранульованого шлаку, вміст оксиду магнію не нормований (шлак, використовуваний в Україні, повинен містити не більше 20% MgO).

З бетонів на основі шлакопортландцементу зводяться масивні наземні і підводні споруди, злітно-посадочні смуги аеродромів і автомобільні дороги. Шлакопортландцемент є найдешевшою і найбільш доступною в'язучою речовиною для виготовлення жаростійких бетонів. При його використанні відпадає потреба в меленому шамоті, спрощується і здешевлюється приготування жаростійкого бетону, покращується його якість.

Жаростійкий бетон на основі шлакопортландцементу має меншу усадку і більшу газопроникність, при різкому нагріванні менше руйнується.

За своєю природою шлакопортландцемент більш солестійкий, ніж портландцемент, оскільки містить менше клінкеру, при твердненні якого виділяється гідроксид кальцію, який вступає в реакцію з солями, розчиненими в агресивних середовищах. Випробуванням бетонів, приготованих на швидкотвердіючому шлакопортландцементі нормованого складу у водах Азовського, Чорного морів, а також Кольської затоки, встановлена підвищена стійкість портландцементу проти дії сольових розчинів.

Збільшення випуску шлакопортландцементу, особливо високомарочного, рівноцінно збільшенню загальних ресурсів цементу без додаткових капітальних витрат на виробництво клінкеру. Крім того, при будівництві цементного заводу з повним технологічним циклом вартість 1 т потужності, що вводиться, обходиться приблизно в 3 - 4 рази більше, ніж при будівництві сучасної грануляційної установки.

Особливо важливо розширювати виробництво швидкотвердіючого шлакопортландцементу, який на відміну від звичайного портландцементу має інтенсивніше наростання міцності в початковий період тверднення. Масова доля доменного гранульованого шлаку в швидкотвердіючому шлакопортландцементі повинна складати не менше 30% і не більше 50% маси цементу. Шлакопортландцементи діляться на марки: 200, 300, 400 і 500.

На основі доменного гранульованого шлаку виготовляються також інші шлакові цемента: сульфатношлаковий, вапняно-шлаковий і мурувальний.

Вживання доменних шлаків в цементній промисловості дуже ефективно. Тому в перспективі основним споживачем гранульованих шлаків буде цементна промисловість.

Матеріали і виробу з доменних шлаків

Шлаковий щебінь. Найпростіше переробляти рідкий доменний шлак на литий щебінь. Якість щебеня залежить від способу його виробництва. За рахунок управління швидкістю охолодження шлакового розплаву з нього можна отримувати литий щебінь високої якості. Найбільш ефективно виробництво литого щебеня траншейним способом, який забезпечує однорідність і міцність матеріалу.

На Новолипецькому металургійному комбінаті (НЛМК) здобуття литого щебеня організоване наступним способом (рис. 6). З доменного цеху шлаковий розплав складами по 3—10 шлаковозів місткістю 16,5 м³ подається на ділянку виробництва щебеня, розташовану в безпосередній близькості від залізничних колій. Це дозволяє зливати розплав з ковшів в траншеї без вживання лотків. Перетини траншей мають форму трапеції (120...80×18...12× 2...3 м).

Партію ковшів (5 шт.) зливають протягом 0,3—0,5 год. Після кожного зливу в траншеї утворюється шар шлаку завтовшки 8—10 см, що твердіє на повітрі протягом 0,3—0,5 год. Поверхню шлаку протягом 0,25—0,3 год. зрошують водою для зниження температури до 60—90°C. Швидке охолодження запобігає зчепленню шарів шлаку, який під впливом температурної напруги розтріскується. Через 0,5 год. після повного випару води в ту ж траншею зливають нову партію шлаку. Кожен новий шар вогненнорідкого шлаку (з 5 ковшів), покриваючи попередній, охолоджений, частково робить його термічну обробку.

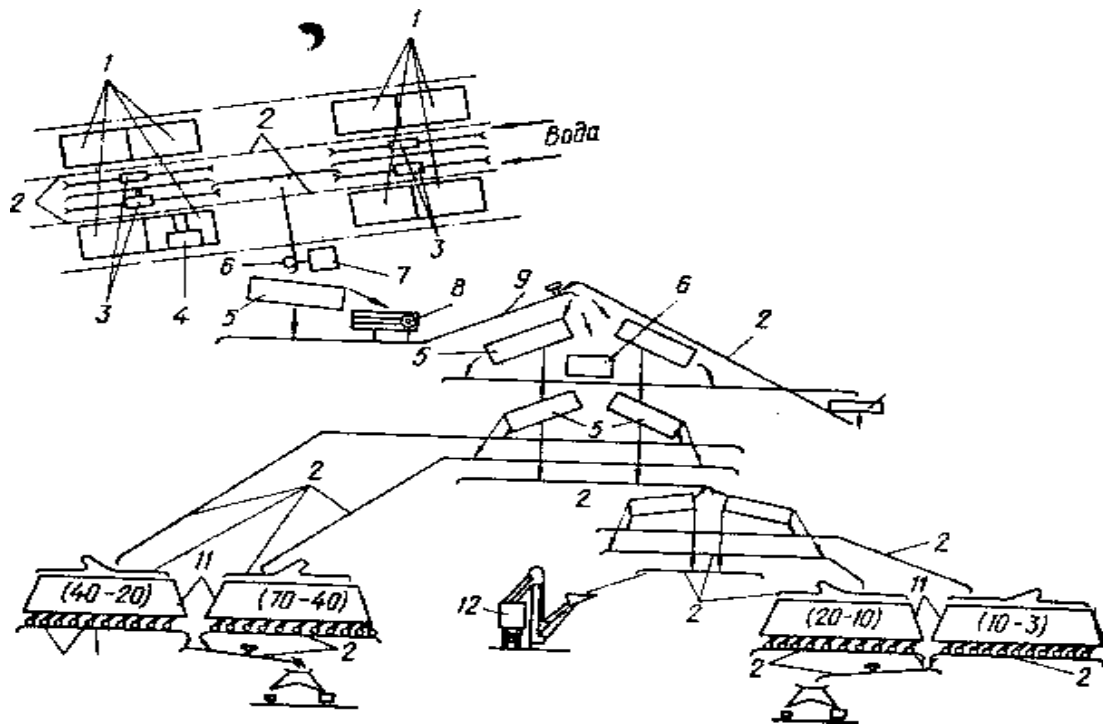
Пошарово залитий і добре охолоджений шлак є штучним каменем для виробництва щебеня. Розробка шлаку в траншеї ведеться екскаватором. У дробильно-сортувальне відділення шлак доставляється автомашинами. Рядовий несортований щебінь відправляють споживачеві безпосередньо з траншеї. Після вироблення шлаку

траншею очищають від металевого скрапу. Підставу траншеї вирівнюють бульдозером.

Виробництво щебеня траншейним способом зважаючи на незначні витрати на його організацію і низьку собівартість високорентабельне.

Виробництво шлакового щебеня з ковшових залишків є технологічним завершенням повного використання шлаку. Кількість щебеня, що отримується цим способом, залежить в основному від тривалості перебування розплаву в ковші і, як правило, складає 25—30% загальної кількості шлаку, що поступає на переробку. Цей щебінь за якістю декілька поступається литому, але на більшості заводів він також відповідає вимогам стандартів на щебінь з доменного шлаку для бетону.

Схеми здобуття щебеня з відвальних доменних шлаків на різних заводах відрізняються лише різновидом існуючих дробильно-сортувальних установок.



1 — басейн для зливу шлаку; 2 — стрічковий конвеєр; 3 — самохідний бункер-живильник; 4 — екскаватор; 5 — грохіт; 6 — магнітний шків; 7 — автопричіп для збору металу; 8 — щічна дробарка; 9 — конвеєр з магнітним сепаратором; 10 — ротаційна дробарка; 11 — штабелі готової продукції (цифри в дужках — фракції щебеня, мм); 12 — бункер для дрібниці; 13 — лотковий затвор

Рисунок 6 - Схема виробництва литого щебеня на НЛМК

Собівартість отриманого щебеня в 2 рази нижча за собівартість щебеня, вироблюваного з гірських порід, місцевих кам'яних кар'єрів; шлаковий пісок в 4 рази дешевший за пісок, що добувається з піщаних кар'єрів.

Отримуваний з доменних шлаків щебінь знаходить широке вживання у виробництві мінеральної вати, в промисловому, цивільному і дорожньому будівництві, замінюючи дорожчий щебінь з гірських порід. При дробленні щебеня з відвального доменного шлаку утворюється до 15—20% піску з об'ємною масою 1320—1370 кг/м³, який

використовується при виготовленні бетону і залізобетону. У виробництві залізобетонних труб шлаковий пісок замінив звичайний пісок і дрібний щебінь, у виробництві гіпсошлакових прокатних перегородок — весь звичайний пісок. Щебінь і пісок з доменних шлаків застосовуються як заповнювачі в жаростійкому бетоні, замінюючи щебінь з бою шамотної цеглини, яка в три рази дорожче.

Відвальні доменні шлаки широко застосовуються для засипки фундаментів і під підлоги промислових будівель. Це скорочує трудомісткі роботи по ущільненню ґрунтів і забезпечує надійну експлуатацію полов без осідання і порушення підземних комунікацій, прискорює і здешевлює промислове будівництво.

З відвальних доменних шлаків комбінату «Запоріжсталь» щорік виробляється близько 1 млн. м³ фракціонованого щебеня. Вартість 1 м³ такого щебеня в два рази нижче за вартість щебеня з природних гірських порід.

Слід особливо підкреслити, що шлаковий щебінь в підставі доріг за рахунок гідравлічної активності дрібниці з часом цементується і перетворюється на міцну монолітну бетонну підкладку, що вельми вигідно відрізняє його від щебеня з гірських порід.

Таким чином, доменні шлаки відповідають всім вимогам заповнювачів для бетонів. Механічна міцність бетонів із шлаковим заповнювачем, особливо після витримки протягом 28 діб, вище, ніж з бетонів з природними заповнювачами.

Завдяки високій хімічній спорідненості шлакового щебеня з цементно-піщаним розчином його використання знижує витрату цементу на 10% в порівнянні з гранітним щебенем.

Шлакова пемза. Доменні рідкі шлаки є вихідною сировиною для виготовлення легкого пористого заповнювача — шлакової пемзи.

Виробництво шлакової пемзи останніми роками досягло 55% її загального випуску в країні.

Шлак переробляється на шлакову пемзу чотирма способами. Перший спосіб — що траншейний-бризкальний (завод «Азовсталь»). За цим способом пемзу отримують наступним образом. Вогненно-рідкий шлак з шлаковозного ковша зливають в траншею під водяний струмінь тиском 0,6 МПа. Остаточо спучений шлак, що закристалізувався в траншеї, протягом 1,5—2,0 год. поливають водою, потім на вологу поверхню зливають наступну порцію шлаку.

Після охолодження шлаку пемзу розробляють екскаватором і системою конвеєрів подають у відділення дроблення. Шматки і глиби пемзи поступають в щічні дробарки. Після первинного дроблення шлакова пемза поступає на віброгрохот для розсівання. Продукт фракції 0—40 мм подається в бункер, шматки більше 40 мм піддаються додатковому подрібненню у валковій дробарці. Після вторинного дроблення шлакова пемза поступає на конвеєр, куди подається пемза, що пройшла через віброгрохот, фракції 0—40 мм. В результаті грохочення отримують пемзовий пісок фракції 0 - 5 мм і пемзу фракцій 5—20 і 20—40 мм. Всі фракції поступають на відкритий склад готової продукції, звідки відвантажуються споживачам.

Застосовуються також наступні способи виробництва пемзи: водоструминний (трест «Магнітострой», НТМК); у перекидному басейні (Челябінський металургійний комбінат); гідроекранний (Череповецький і Криворізький металургійні комбінати).

Багатолітній досвід роботи заводу «Азовсталь» показав, що траншейно-бризкальний спосіб, є найбільш простим, надійним в експлуатації і дозволяє отримувати найдешевшу пемзу.

Як показали роботи УралНДІЧМ, введення в потік технологічної води незначної кількості вапняної муки дозволяє інтенсифікувати процес спучення. При цьому об'ємна густина пемзи знижується з 750—900 до 510—560 кг/м³.

Шлакова пемза — найдешевший пористий заповнювач для виготовлення теплоізоляційних, конструктивно-теплоізоляційних і конструктивних легкобетонних виробів, а також для засипок. Бетон на шлаковій пемзі на 20—30% менш теплопровідний, чим інші бетони з такою ж об'ємною масою. Потреба в пористому шлаковому заповнювачі велика і з кожним роком зростатиме. Навіть максимальна собівартість шлакової пемзи в 2—3 рази менша, ніж інших пористих заповнювачів.

На основі шлакової пемзи виготовляють шлакопемзобетони марок 150, 200 і 300, вартість панелей з яких на 10—13% нижче, ніж з керамзитобетону і гранітного щебеня.

Для виробництва шлакової пемзи придатні практично всі не схильні до силікатного розпаду доменні шлаки.

Мінеральна вата. Мінеральна вата є волокнистим матеріалом, що виробляється з силікатного розплаву шлаків, гірських порід і їх сумішей. Вона знаходить широке вживання у виробництві теплоізоляційних матеріалів. Так, останніми роками на основі мінеральної вати виготовляється понад 50% всіх теплоізоляційних матеріалів і виробів з них, призначених для ізоляції поверхонь, що нагріваються до 700°C. Мінеральна вата - негорючий матеріал; він значно довговічніший в порівнянні з іншими теплозвукоізоляційними виробами.

Згідно стандарту, мінеральна вата в залежності від величини об'ємної маси виготовляється трьох марок: 75, 100, 125. Вологість вати повинна складати не більше 2%. Масова доля сірки — не більше

1%, модуль кислотності (відношення суми мас оксидів кремнію і алюмінію до суми мас оксидів кальцію і магнію) — не більше 1,2.

Основною сировиною для виробництва мінеральної вати є кислі і нейтральні доменні шлаки і деякі шлаки кольорової металургії. Використання доменних шлаків забезпечує меншу витрату коксу і більшу продуктивність вагранок, чим переплавка гірських порід.

Продуктивність вагранок, що працюють на металургійних шлаках і інших відходах промисловості, складає близько 1900 кг/год., а на природній сировині — 1530 кг/год.

Витрати умовного палива на здобуття 1 т продукції з рідких шлаків в 4—7 разів нижче, ніж при плавленні сировини з гірських порід у вагранках і ванних печах. Собівартість 1 м³ мінеральної вати з рідкого доменного шлаку нижче в порівнянні з ватою з шлакового щебеня в 3 рази, з ватою із гірських порід - в 4 рази.

Проте, не дивлячись на економічність використання доменних шлаків, виробництво мінеральної вати із застосуванням цього виду сировини розвинене недостатньо. В даний час мінеральна вата з первинних доменних розплавів виробляється лише на базі металургійних заводів «Азовсталь», «Криворіжсталь» і Донецького.

Шлакове литво. Шлакове литво є ефективним штучним кристалічним матеріалом, що формується з розплаву з подальшою кристалізацією і термообробкою. Вироби з шлакового литва мають ряд цінних властивостей: високою абразивною і хімічною стійкістю, механічною міцністю, діелектричністю, жароміцністю і малим водопоглинанням. Для виробництва литва придатні кислі і нейтральні доменні шлаки.

В даний час розроблені теоретичні основи технології масового виробництва литих шлакових виробів. Проте через відсутність надійних конструктивних рішень, що механізують процес

виробництва, зокрема, дорожньої брущатки, їх здобуття ведеться трудомістким полігонним способом.

Суть його полягає в тому, що дно спеціальної ями засипається подрібненим шлаком. Потім в ямі встановлюють розбірні металеві форми по розмірах вироблюваної брущатки. Форми покривають пластинами, між якими залишають щілини шириною 10—15 мм. Через ці щілини форми заповнюють шлаковим розплавом. На покривні пластини укладають вантаж щоб уникнути зсуву їх струменем рідкого шлаку в період заповнення форм. Злив шлаку продовжують до тих пір, поки над формами не буде створений теплоізоляційний покривний шар завтовшки 10—15 см, за рахунок теплоти якого досягається кристалізація і термічна обробка виробів.

Після охолодження відливання до температури 80—100°С теплоізоляційний шар прибирають. Розбирання форм і вивантаження готової брущатки в спеціальні контейнери виробляється уручну.

Виробництво брущатки полігонним способом на двох підприємствах характеризується наступними даними (табл. 3).

Таблиця 3 - Порівняльні дані по виробництву шлакової брущатки

Показники	НТМК	Чусовський металургійний завод
Розмір отримуваної брущатки, мм.	160×160×120	120×120×180
Маса брущатки, кг	8	5,8
Кількість ям для виробництва брущатки, шт.	108	130

Виробництво брущатки в рік, млн. шт.	1,97	5,4
--------------------------------------------	------	-----

Лита брущатка має високу міцність і успішно використовується при будівництві автомобільних доріг і полов промислових будівель. Термін служби доріг, покритих брущаткою, більше, ніж асфальтованих і цементно-бетонних. У експлуатації вони дешевше за інші дороги з штучним покриттям.

У УралНДІбудпроекті розроблений і запатентований у ряді країн спосіб виготовлення металошлакових литих труб, по якому в кокіль, що обертається, заливається спочатку рідкий чавун, а потім шлаковий розплав. Отримана труба має зовнішню оболонку з металу, а внутрішню — зі шлаку завтовшки 12—15 мм. Випробування показали, що довговічність металошлакових труб в 6—7 разів вище сталевих, і підтвердили доцільність виробництва і вживання таких труб для транспортування абразивних матеріалів..

Шлакове литво частково може замінювати кам'яне, потреба в якому дуже велика. Оскільки шлакове литво має крупнокристалічну і нерівномірну структурою, що погіршує його фізико-хімічні характеристики, з нього рекомендується відливати вироби невеликих розмірів і прості по конфігурації.

Шлакоситали. Шлакоситал — конструкційний і обробний керамічний матеріал, що має рідке поєднання якостей: від скла (аморфного тіла) він відрізняється кристалічною будовою, а від керамічних матеріалів — тоншою мікрокристалічною структурою. Шлакоситал легше за алюміній, має значну хімічну і термічну стійкість,

високу міцність на вигин, стискування і стирання, є гарним діелектриком.

У ряді агрегатів він може замінювати чавун, сталь, кольорові метали, скло, кераміку, фарфор, бетон, кам'яне литво, мармур, граніт і інші натуральні камені, а також дерево. Вироби з ситалу міцні, красиві і не дорожче за кераміку. На них можна наносити шар кольорової глазурі. Ударна в'язкість шлакоситалів в 3—4 рази вища, ніж стекла, вони стійки в сірчаній кислоті, не поглинають воду і можуть працювати при температурах до 750°C.

Виробництво шлакоситалів в основному аналогічно виробництву скла. Доменний гранульований шлак сплавляється в стаціонарній печі з кварцовим піском і глиною в скломасу, як каталізатори кристалізації служать Na_2SO_4 , Na_3AlF_6 , а також оксиди і сульфіді ряду металів — Сг, Ті, Мп, Fe, Zn і ін. Оксиди металів додають шлакоситалам різне забарвлення.

Зварену в печі скломасу формують у вигляді безперервної стрічки завтовшки 10 мм на прокатній машині. Термообробку скляної стрічки проводять на роликовому конвеєрі кристалізатора. Пресовані штучні вироби одержують аналогічно виробам із скла з подальшою кристалізацією в печах з рухомим черенем. Після формування виробу охолоджують до 700°C і витримують при цій температурі протягом часу, необхідного для завершення процесів утворення центрів кристалізації. Потім температуру підвищують до 930—980°C (тобто до температури кристалізації основної фази шлакоситала — волластоніту) і підтримують її протягом 2—2,5 год. до повного завершення процесу, після чого вироби охолоджують.

По своїх фізико-механічних і хімічних властивостях шлакоситали перевершують кам'яне литво, кислототривку кераміку, фарфор і природні

камені. Міцність шлакоситалу на вигин більша, ніж скла, фарфору, кераміки, кам'яного литва, і наближається до міцності чавуну. Шлакоситали в 3 рази легше за чавун і сталь. Щільна дрібнокристалічна структура шлакоситалів визначає їх високу стійкість до стирання: у 4—8 разів більше, ніж кам'яного литва, в 20—30 разів, чим граніту і мармуру, і в 35 разів, чим фарфору. Шлакоситали морозостійкі, оскільки мають нульове водопоглинання. По хімічній стійкості до кислот і лугів шлакоситали не поступаються кам'яному литву, кераміці і фарфору і часто застосовуються як антикорозійний захист.

Контрольні запитання

1. Склад та властивості доменних шлаків.
2. Грануляція доменних шлаків.
3. Мокра грануляція.
4. Суха грануляція.
5. Напівсуха грануляція.
6. Припічна грануляція.
7. Використання шлаків у виробництві цементу.
8. Матеріали та вироби з доменних шлаків.
9. Переробка шлаків на щебінь.
10. Переробка шлаків на шлаковату.
11. Переробка шлаків на пемзу.
12. Шлакове литво.

4.2 Використання сталеплавильних шлаків

Способи обробки шлаків. Питомий вихід сталеплавильних шлаків складає 120—250 кг/т для мартенівського процесу, 60—120 кг/т для електросталеплавильного і 150—200 кг/т — для киснево-

конвертерного В середньому вихід сталеплавильних шлаків складає 158 кг на 1 т стали.

Основна маса шлаків в Україні утворюється в Донецько-Придніпровському економічному районі. Країна має в своєму розпорядженні великі ресурси сталеплавильних шлаків, які доки використовуються незадовільно.

Тим часом сталеплавильні шлаки є важливим джерелом здобуття вторинного металу, залізофлюсу для вагранок і аглодоменного виробництва, щебеня для дорожнього і промислового будівництва, а також вапняних добрив для сільського господарства.

Мартенівські шлаки періоду плавлення (первинні шлаки) містять до 75% ($\text{SiO}_2 + \text{CaO} + \text{FeO}$). Вони характеризуються підвищеним вмістом MnO (до 12%) та FeO (до 15—28%).

Кінцеві шлаки при нормальному веденні процесу зазвичай містять при виплавці низковуглецевих сталей 60% ($\text{CaO} + \text{MgO} + \text{MnO}$) та 32% ($\text{SiO}_2 + \text{P}_2\text{O}_5 + \text{FeO}_{\text{заг.}}$), а при виплавці вуглецевих сталей відповідно 65% та 35%. Ці шлаки відрізняються високою основністю (2,0—4,3).

Основними мінералами мартенівських шлаків є двохкальцієвий і трьохкальцієвий силікати. При основності шлаку до 3,0 переважає двохкальцієвий, при основності більше 3,0 — трьохкальцієвий силікат.

Кислі мартенівські шлаки збагачені кремнеземом до 42—58%, тому в них спостерігається значна кількість скло видної фази. Вихід їх складає близько 1 % загальної кількості мартенівських шлаків.

Електросталеплавильні шлаки окислювального періоду подібні до первинних мартенівських шлаків і мають основність 1,5 – 2,9.

Відновні шлаки підрозділяються на білі, карбідні і магнезійно-глиноземисті. Білі шлаки наводяться при виплавці сталей з масовою долею вуглецю $<0,35\%$, карбідні — при виплавці середньо- і

високовуглецевих сталей, магнезійно-глиноземисті — при виплавці неіржавіючих сталей.

По мінералогічному складу електросталеплавильні шлаки аналогічні основним мартенівським. У зв'язку з тим, що в електросталеплавильних шлаках майже повністю відсутні оксиди заліза, марганцю і хрому, феритна і оксидні фази в них майже не зустрічаються.

Киснево-конвертерні шлаки містять %: CaO — 50... 60; SiO₂—14; FeO—8...16; MgO—4...11; вони мають основність до 4,5.

Деякі види сталеплавильних шлаків схильні до мимовільного силікатного, залізистого, вапняного або марганцевистого розпаду. Силікатний розпад обумовлений поліморфним перетворенням ортосилікату кальцію (2CaO·SiO₂), що має чотири модифікації. Перехід фази ортосилікату кальцію з однієї модифікації в іншу супроводиться перебудовою кристалічної решітки, зміною густини і об'єму шлаку. Максимальний (на 10—12%) приріст об'єму решітки відбувається при переході β-фази в γ-фазу, що викликає силікатний розпад металургійних шлаків.

Марганцевистий і залізистий розпади шлаків відбуваються унаслідок гідратації сульфатів марганцю і заліза під впливом атмосферної вологи. Утворення Fe(OH)₂ супроводиться збільшенням об'єму на 38%, а утворення Mn(OH)₂ — на 24% і приводить до руйнування шлаку.

Розпад спостерігається при масовій долі в шлаках (FeO + MnO) більше 3 % і сульфатної сірки — понад 1%.

Магнезійний і вапняний розпади відбуваються унаслідок гідратації вільного вапна або магнезії, що супроводиться збільшенням об'єму.

Електропічні шлаки рафінувального періоду плавки, що утворюються при виплавці легованих сталей, мають високий вміст оксиду кальцію (близько 60%) і при охолодженні розпадаються, перетворюючись на тонкодисперсний порошок.

У кускових мартенівських і основних конвертерних шлаках зустрічаються включення вільного CaO, який, сприяючи збільшенню об'єму шлаку, викликає його прискорене руйнування.

Використання шлаків в металургії. Стапелплавильні шлаки в шихті доменних печей застосовують в Україні завод ім. Петровського, «Запоріжсталь», «Криворіжсталь». На Криворізькому металургійному комбінаті проведені дослідні плавки з метою використання конвертерних шлаків власного виробництва в доменних печах. Досліди показали, що введення 1 т шлаку, що містить 474 кг CaO, 178 кг SiO₂, 35 кг MgO, 16,6 кг FeO, 64 кг MnO, дозволило понизити витрату вапняку на 180 кг, агломерату на 307 кг, марганцевої руди на 14,5 кг і коксу на 71,3 кг.

На заводі ім. Петровського в шихті доменних печей широко застосовують конвертерні шлаки власного виробництва. Введення в шихту конвертерного шлаку в кількості 46 кг/т чавуну поліпшило техніко-економічні показники доменної плавки: скоротило витрату марганцевої руди, агломерату, вапняку. Вживання конвертерного шлаку сприяло поліпшенню шлакового режиму, підвищенню газопроникності шихти і скороченню витрати через повітряні і шлакові фурми, а також простоїв при заміні фурм.

Сталеплавильні шлаки застосовують і при агломерації. При цьому повністю використовуються корисні компоненти, що містяться в шлаках. Досліди по вживанню в шихті відвального сталеплавильного шлаку фракції 0—10 мм, проведені на аглофабриці «Криворіжсталі», показали; що хімічний склад

агломерату з введенням в шихту шлаку практично не змінився, зате збільшилася продуктивність агломашин в результаті підвищення газопроникності шихти, скоротилася витрата залізняку і вапняку.

Шлак поточного виробництва, що містить підвищену кількість СаО і MgO, має більшу флюсуючу здатність, тому економічний ефект використання його в аглошихті буде значно вище.

У металургії, окрім агломераційного і доменного процесів, сталеплавильні шлаки з успіхом застосовуються також в шихті для вагранкових печей. Досвід металургійних підприємств показує, що вживання сталеплавильних шлаків замість вапняку має наступні переваги: унаслідок поліпшення теплового балансу плавки температура чавуну і шлаку підвищується на 20—25°C, при цьому вагранковий: шлак стає більш рідкорухливим, легко віддаляється і обробляється; абсолютно усувається утворення настилів над фурмами, чим забезпечується рівний хід плавки.

Високий вміст в сталеплавильних шлаках оксидів марганцю забезпечує зниження масової долі сірки в чавуні на 15—20%, яка виводиться з процесу з вагранковим шлаком у вигляді MnS.

Використання шлаків в будівництві. Найбільш ефективним напрямом використання сталеплавильних шлаків є переробка їх на щебінь для дорожнього будівництва.

Основним будівельним матеріалом для автомобільних доріг служить в даний час природний щебінь. Шлаковий щебінь в два рази дешевше природного, а капітальні вкладення в організацію виробництва його на базі шлакових відвалів в три рази, менше, ніж будівництво кар'єру з щебеним заводом такої ж потужності. Крім того, в багатьох економічних районах майже немає родовищ каменя

для виробництва щебеня, і дорожні організації перевозять його на велику відстань.

Велику частину каменя, що переробляється на щебінь, складають вапнякові породи, ефективним заміником яких можуть бути сталеплавильні шлаки, по ряду властивостей не поступливі, а інколи і перевершуючи навіть щебінь твердих порід. Сталеплавильний шлак завдяки шорсткій поверхності легше ущільнюється і подрібнюється в процесі укочування, здатний цементуватися і утворювати міцну монолітну основу. Досить міцні основи виходять з суміші активного шлакового- щебеня і щебеня із слабких вапняків. Щебінь з мартенівських шлаків з успіхом застосовується для заклинки підстав з гранітного щебеня, що важко піддається укочуванню.

Особливістю асфальтобетонних покриттів виготовлених із застосуванням сталеплавильних шлаків, є відсутність деформації зрушення навіть при інтенсивному русі важкого транспорту.

Улаштування дорожнього одягу із застосуванням відвальних сталеплавильних шлаків набуло особливо широкого поширення в Україні. Тут економію складають різниця в оптових цінах взаємозамінних матеріалів, скорочення транспортних витрат і витрат на укочування (витрати на укочування шлакового щебеня в середньому на 30% менше, ніж природного). Крім того, завдяки кращій ущільненості шлакового щебеня можливе зменшення товщини дорожніх покриттів, що означає і скорочення кількості щебеня, що укладається в 1 км. дороги.

Велика механічна міцність і активність шлакового щебеня в порівнянні з традиційними матеріалами сприятимуть подовженню терміну служби доріг і зниженню витрат на їх ремонт.

Контрольні запитання

1. Особливості утворення і складу сталеплавильних шлаків (СПШ).

2. Шлаки мартенівського, конвертерного і електросталеплавильного виробництв.
3. Переробка СПШ.
4. Використання шлаків в металургії.
5. Використання шлаків в будівництві.

5 ВИКОРИСТАННЯ ЗАЛІЗОВМІСНИХ ВІДХОДІВ

Технологічні гази, що відходять, багатьох металургійних виробництв підлягають очищенню в апаратах, як правило, мокрого типу. При цьому утворюється шлам – суспензія твердих часток у воді. Шлами виробництв металургії містять оксиди заліза: сталеплавильний шлам – 84...88%, доменний шлам – 59...63%, червоний шлам виробництва глинозему способом Байєра – 45%, сухим способом – 38%.

Ці залізовмісні шлами можна використовувати у чорної металургії. Збезводнений до 8% шлам додається у шихту агломераційного виробництва. Щоб застосовувати шлам як сировину безпосередньо у сталеплавильному процесі, його треба огрудкувати. До шламу додається сполучна речовина, наприклад, бентоніт. Із отриманої суміші робляться окатиші, які потім випалюються для надання їм міцності. Ці окатиші служать сировиною для виправлення сталі у мартенівських чи електродугових печах.

Запорізьким індустріальним інститутом (тепер ЗДІА) був розроблений комплексний спосіб утилізації шламів сталеплавильного, доменного та глиноземного виробництв. При відновленному переплавленні суміші трьох шламів утворюються два продукти – сталь і шлак. Останній, у залежності від змісту в ньому глинозему використовується в алюмінієвому виробництві або у виробництві цементу. Якщо у шлаку 25...30% Al_2O_3 (високоглиноземний шлак), він застосовіється на Запорізькому алюмінієвому комбінаті для виробництва глинозема. Якщо шлак містить

4...8% Al_2O_3 (глиноземний шлак), його використовують як добавку у клінкер портландцементу. Склад другого компоненту, кремністої сталі: С – 0,36%; Si – 2,34%; Cr – 0,24%; V – 0,15%. Така сталь стійка проти тертя, добре тримає мастило, зберігає твердість при високих температурах, має високі межі міцності, текучості і утомленості.

Інші шляхи утилізації залізовмісних шлаків – корегуюча добавка у виробництві цементу; фарбувальна добавка у виробництві кольорових цементів; добавка до сировини у виробництві червоної цегли; виробництво барвників.

У прокатному виробництві одним з відходів є окалина, яка утворюється при окисленні гарячої поверхні слябов, блюмов, заготівок. Склад окалини комбінату “Запоріжсталь”: FeO – 90%; Fe_3O_4 – 5...10%; Fe_2O_3 – 0...5%. Окалина, забруднена мастилами, видаляється з поверхні металу гідрозбивом і потрапляє у відстойники. Для відділення окалини від мастил до води додають поверхнево активні речовини. При цьому окалина набуває здібність не змачуватися мастилами. Після осідання у відстойниках окалину висушують у бункерах збезднювання або у центрифугах. Підготовлену окалину додають до агломераційної шихти. При цьому масова частка води в окаліні повинна бути не більш 8...10%, розмір частинок – не більш 5 мм, а кількість мастил допускається така, щоб загальний їх вміст у аглошихті не перебільшував 1 кг на 1 т отриманого агломерату.

Контрольні запитання

1. Використання залізовмісного шламу.
2. Комплексний спосіб утилізації шлаків сталеплавильного, доменного та глиноземного виробництв.
3. Використання окалини.

6 СУЧАСНІ СПОСОБИ ОЧИЩЕННЯ ГАЗОВИХ ВИКИДІВ МЕТАЛУРГІЙНИХ ВИРОБНИЦТВ

Найефективнішим методом захисту повітряного басейну від забруднення шкідливими речовинами є впровадження перспективних безвідходних ресурсо- й енергозберігаючих технологічних процесів з замкнутими виробничими циклами, зниження забруднення атмосферного повітря за рахунок підвищення ефективності очищення вентиляційних і технологічних газів перед викидом їх в атмосферу з застосування нового технологічного обладнання.

6.1 Вплив промислових викидів на стан атмосферного повітря

Більшість пірометалургійних процесів характеризується утворенням великих кількостей газів. Крім можливого використання цінних складових газів (в основному SO_2), необхідно проводити їх знешкодження з метою охорони навколишнього середовища.

Основною характеристикою забрудненості повітря є концентрація в ньому домішки, тобто кількість тої чи іншої речовини в одиниці об'єму повітря при нормальних умовах, зазвичай виражене в мг/м^3 . У нашій країні встановлено два види гранично допустимих концентрацій (ГДК) шкідливих речовин у повітрі. Це ГДК в повітрі робочої зони і ГДК в атмосферному повітрі населених місць.

У свою чергу, ГДК шкідливих речовин в атмосферному повітрі населених місць поділяються на два види: максимально разова ПДК_{м.р.} – гранично допустима максимальна разова концентрація шкідливої речовини в повітрі населених місць, яка не повинна викликати при вдиханні протягом 30 хв рефлекторних реакцій в організмі людини, і середньодобова ПДК_{с.д.} – гранично допустима середньодобова концентрація шкідливої речовини в повітрі населених місць, яка не повинна давати на людину прямої або непрямої шкідливої дії при невизначено тривалому (роки) впливі.

У таблиці 6.1 наведені ГДК шкідливих речовин у повітрі робочої зони і в повітрі населених місць, а також класи небезпеки ряду шкідливих речовин, що найчастіше зустрічаються в атмосфері районів розміщення підприємств чорної металургії, наведена оцінка стану повітряного басейну.

6.2 Обсяги утворення і склад технологічних викидів у металургії

Металургійні вихідні гази можна класифікувати на технологічні, що утворюються за рахунок протікання хімічних реакцій між компонентами перероблюваної сировини, і топкові, що є продуктами спалювання палива. Склад і кількість газів, що відходять, цілком визначаються типом перероблюваної сировини і видом застосовуваного металургійного процесу (див. табл. 3.2). В середньому на 1 млн т за рік продукції заводів чорної металургії виділення становить, т/добу: пилу – 350, сірчистого ангідриду – 200, оксиду вуглецю – 400, оксидів азоту – 42.

Коксохімічне виробництво забруднює атмосферу оксидами вуглецю і сірки. На 1 т перероблюваного вугілля виділяється близько 0,75 кг SO₂ і по 0,03 кг різних вуглеводнів і аміаку. Крім газів, коксохімічне виробництво виділяє в атмосферу велику кількість пилу. Є дані, що при виробництві коксу на 1 т перероблюваного вугілля виділяється близько 3 кг вугільного пилу. Також велика кількість пилу виділяється при розвантаженні та перевантаженні вугілля, в середньому 0,005% від маси вугілля.

Таблиця 6.2

Газові викиди (до очищення) металургійного виробництва

Речовини викидів	Агломераційне виробництво, кг/т агломерату	Доменне виробництво, кг/т чавуну	Сталеплавильне виробництво, кг/т сталі	Прокатне виробництво
Пил	20-25	100-106	13-32	0,1-0,2 кг/т прокату
Оксид вуглецю	20-50	600-605	0,4-0,6	0,7 т/м поверхні металу

Оксиди сірки	3-25	0,2-0,3	0,4-35	0,4 т/м поверхні металу
Оксиди азоту			0,3-3,0	0,5 т/м поверхні металу
Сірководень		10-60		

На аглофабриках джерелами забруднення повітря є аглоленти, барабанні та чашеві охолоджувачі агломерату, випалювальні печі, вузли пересипання і сортування агломерату та інших компонентів шихти. Кількість агломераційних газів 2,5-4,0 тис м³/т отриманого агломерату з вмістом в них пилу від 5 до 10 г/м³.

Доменне виробництво характеризується утворенням великої кількості доменного газу (\approx 2-4 тис м³/т чавуну), що містить оксиди вуглецю й сірки, водень, азот, деякі інші гази і велику кількість колошникового пилу (до 150 кг/т чавуну).

Основними можливими компонентами технологічних газів кольорової металургії є сірчаний ангідрид (SO₃), діоксид і оксид вуглецю (CO₂ і CO відповідно), пари води (H₂O). В окремих металургійних процесах можливе виділення газоподібного хлору, хлоридів, миш'якових та інших хімічних сполук. При спалюванні палива переважно утворюються CO₂, CO і H₂O. Крім того, у газах обов'язково будуть присутні азот (N₂) і вільний кисень (O₂), які надходять із дуттям і за рахунок підсосів повітря. У більшості випадків вихідні гази покидають металургійний агрегат нагрітими до 800-1300°C.

Таблиця 6.1

ГДК шкідливих речовин

Речовина	Клас небезпеки	Гранично допустима концентрація, мг/м ³			Стан повітряного басейну при концентрації більше зазначеної, мг/м ³			Дія на організм людини
		у повітрі робочої зони	В атмосферному повітрі населених місць		Викликає побоювання	Небезпечне	Надзвичайно небезпечне	
			ПДК _{м.р.}	ПДК _{с.д.}				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Оксид вуглецю	4	20	5,0	3,0	1,0	5,0	26,0	Сильно токсичний, кров'яна отрута, порушує дихання, зменшує споживання тканинами кисню, викликає судоми
Граничні вуглеводні (в перерахунку на С)	4	300	-	-	1,5	7,6	37,5	Спричиняє наркотичну дію, викликає запаморочення, кашель, впливає на кровотворну систему
Сажа (С)	4	4	0,15	0,05	0,05	0,25	1,25	Канцерогенна дія, викликає шкірні захворювання
Аміак	4	20	0,2	0,2	0,2	1,0	5,0	Надає подразнюючу дію
Фенол	3	0,3	0,01	0,01	0,1	0,04	0,16	Загальнотоксична, канцерогенна дія, всмоктується через шкіру
Пил нетоксичний	3	10	0,5	0,15	0,15	0,76	3,75	Подразнює, викликає кон'юнктивіт, дерматити, фіброз легенів
Діоксид сірки	3	10	0,5	0,06	0,06	0,18	0,2	Спричиняє загальнотоксичну, дратівливу, ембріотоксичну дію
Діоксид азоту	2	5	0,085	0,085	0,085	0,250	0,766	Сильно токсичний, надає загальнотоксичну, дратівливу, алергенну дію

Продовження таблиці 6.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Сірчана кислота	2	1	0,3	0,1	0,1	0,3	0,8	Спричиняє подразнюючу, припікаючу дію. Викликає спазм гортані, ураження легень, опіки
Сірководень	2	10	0,008	0,008	0,006	0,024	0,072	Сильно токсичний, спричиняє загальнотоксичну дію, адсорбується неушкодженою шкірою, викликає запаморочення, сльозотечу, розлад серцево-судинної системи
Сірковуглець	2	1	0,03	0,005	0,005	0,015	0,045	Надає загальнотоксичну і ембріотичну дію, сприяє розвитку серцево-судинних захворювань, виразкової хвороби шлунка
Соляна кислота	2	5	0,2	0,2	0,2	0,6	1,8	Подразнює верхні дихальні шляхи, викликає опіки
Формальдегід	2	0,5	0,036	0,012	0,012	0,036	0,108	Подразнює, загальнотоксичний, спричиняє канцерогенну і алергічну дію
Фтор	2	1	0,02	0,005	0,005	0,015	0,045	Подразнює, загальнотоксичний, спричиняє припікаючу дію, викликає сильне подразнення очей, набряк легенів, при тривалій дії в малих концентраціях - флюороз
Свинець	1	0,01	-	0,0003	0,0007	0,00126	0,00224	Сильно токсичний, спричиняє загальнотоксичну, канцерогенну, мутагенну дію, викликає ураження нервової системи, крові і судин
Ртуть	1	0,01	-	0,0003	0,0003	0,00064	0,00096	Сильно токсична, має подразнюючу дію, загальнотоксична, канцерогенна і алергенна, всмоктується неушкодженою шкірою

Пил, що утворюється в металургійних процесах, умовно можна класифікувати на грубий і тонкий. Утворення грубого пилу пов'язане з впливом газового потоку на дрібні частки перероблюваної шихти або продукту металургійної переробки. Крупність часток пилу і його кількість визначаються швидкістю газового потоку і крупністю перероблюваного матеріалу. Звичайно грубий пил має форму осколків (неправильних багатогранників); розміри часток цього пилу складають від 3-10 мкм до декількох міліметрів. Хімічний склад грубого пилу у більшості випадків ідентичний складу вихідного матеріалу, з якого він утворився. Звичайно грубий пил повертають в обіг або об'єднують із продуктом даного процесу. Тонкий пил утворюється переважно за рахунок сублімації легколетких компонентів. Пари, що утворюються при цьому, несуться газовим потоком і при наступному охолодженні газів конденсуються з утворенням твердих часток або рідких крапель.

Розмір часток тонкого пилу, названого у кольоровій металургії перегонном, у момент утворення складає десяті частки мікрметра. Надалі можливе утворення більш великих включень за рахунок коагуляції дрібних часток. За хімічним складом перегони різко відрізняються від вихідного матеріалу – вони збагачені леткими компонентами, наприклад цинком, кадмієм, свинцем, германієм, індієм та іншими рідкісними і розсіяними елементами. Перегони є цінною сировиною для вилучення цих елементів, тому повинні обов'язково піддаватися подальшій самостійній переробці. Увесь пил, що утворюється в металургійних процесах, підлягає уловлюванню, що забезпечує використання цінних компонентів, які містяться в них, і запобігає забрудненню навколишнього середовища.

Комплексна переробка вихідних газів передбачає:

1. Використання цінних компонентів, наприклад SO_3 , для виробництва сірчаної кислоти, елементарної сірки або рідкого сірчаного ангідриду.
2. Використання фізичної теплоти газів для одержання пари, гарячої води, підготовки повітря (дугтя) та ін.
3. Використання горючих складових (CO і H_2) як підсобного палива.
4. Знешкодження газів з метою охорони навколишнього середовища.

6.3 Заходи щодо зниження обсягів викидів у атмосферу

Планувальні заходи щодо зниження приземних концентрацій шкідливих речовин. В системі заходів з охорони атмосферного повітря чільне місце займають планувальні заходи, що дозволяють при сталості валових викидів істотно знизити вплив забруднення навколишнього середовища на людину. Перш за все, велике значення мають правильний вибір майданчика підприємства, взаємне розташування його цехів і житлових масивів.

Санітарними нормами проектування промислових підприємств ДСП 3.3.1.038-99 передбачено відділення житлових масивів від промислових підприємств, що є джерелами виділення шкідливих речовин, санітарно-захисними зонами. Відстань між промисловою зоною і житловим масивом визначається залежно від профілю підприємства, його потужності, кількісних та якісних характеристик, викидів в атмосферне повітря.

Технологічні заходи щодо зниження шкідливих викидів в атмосферу. Найважливішим напрямком зниження промислових викидів у повітряний басейн є вдосконалення технології виробництва процесів і основного технологічного обладнання.

Заміна в металургійних агрегатах палива електроенергією істотно знижує викиди пилу і шкідливих газів.

Перехід від періодичних процесів до безперервних дозволяє сильно скоротити пило- та газовиділення. Наприклад, перехід в доменних цехах від скіпової подачі матеріалів до транспортерної скорочує пиловиділення в кілька разів. Оснащення технологічних агрегатів протипиловими пристроями значно зменшує виділення пилу в атмосферу. Прикладом подібного роду пристроїв можуть служити апарати для бездимного завантаження коксових печей і багатосоплові кисневі фурми.

Придушення пило–газовиділень. При проведенні технологічних процесів в закритих об'ємах, як це має місце в різних печах або парових котлах, основна маса пило–газовиділень видаляється організовано через газовідвідні тракти і димові труби. В умовах, коли той чи інший процес йде відкрито, важливе місце в боротьбі

із забрудненням повітря займає запобігання пилегазовиділенням шляхом їх придушення в місцях утворення.

Зволоження сипучих матеріалів, руди і пилу різко скорочує запылювання по всіх трактах руху і складування цих матеріалів. Гранична вологість, при якій не відбувається пиловиділення, становить 18-20%. Застосування поверхнево активних речовин (ПАР) у вузлах розвантаження, що пилять. Гідрозмив пилу є надійним засобом знепылювання при виході прокату з валків прокатних станів.

Організація протитиску за допомогою інертного газу дозволяє пригнічувати вибивання брудного доменного газу в засипний апарат при засипці в піч чергової порції шихти.

Уловлювання неорганізованих пило–газовиділень за допомогою цехових ліхтарів, зонтів, місцевих укриттів (ковпаків), захисних кожухів. Зонти і ковпаки найбільш часто встановлюють безпосередньо біля джерел пилегазовиділень. Такі місцеві відсмоктувачі широко поширені на металургійних підприємствах. В якості прикладів джерел пилогазовиділення, обладнаних такими аспіраційними системами, можна назвати: дробарки, грохоти, млини, транспортери у виробництві агломерату та обкотишів; лютки, жолоби, ковші в доменному виробництві; міксери та ковші в міксерному відділенні; завалочні вікна і розливні машини в сталеплавильних цехах. Захисні кожухи є найбільш досконалим типом укриття, тому що в значній мірі виключають присоси навколишнього повітря в аспіраційну систему і дозволяють найбільш повно видаляти викиди, що виділяються джерелом пилегазовиділення. В даний час захисні кожухи отримують все більше поширення. Такого роду укриттями служать: камера вагоноперекидача, бункера і деякі вузли перевантажень на агломераційній фабриці; бункера сухого гасіння коксу на коксохімічному заводі; межконусний простір доменної печі; камера придоменної грануляції шлаку у виробництві чавуну; захисні кожухи електросталеплавильних печей у сталеплавильному виробництві; закриті ванни безперервного травлення в прокатному виробництві та ін.

6.4 Уловлення і очищення викидів від пилу

За основу може бути прийнята наступна класифікація пиловловлюючих апаратів, які найбільш часто зустрічаються на металургійних підприємствах.

Пиловловлюючі апарати підрозділяються:

1. Сухі апарати: гравітаційно-інерційні – осаджувальні камери, інерційні апарати, циклони; фільтруючі – волокнисті фільтри, тканинні фільтри, зернисті фільтри.

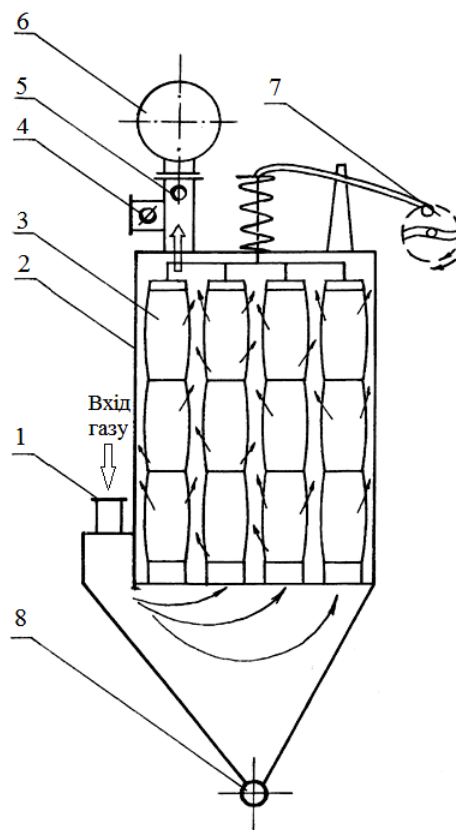
2. Мокрі апарати: промивні – форсункові скрубери, скрубери Вентурі, динамічні газопромивачі; рідинно плівкові - відцентрові апарати, ударно-інерційні апарати, пінні апарати.

3. Електрофільтри: сухі пластинчасті з горизонтальним ходом газів, сухі пластинчасті з вертикальним ходом газів, мокрі трубчасті і пластинчасті.

Для тонкого пиловловлювання застосовуються фільтруючі апарати і електрофільтри. Найбільш поширеним типом *тканинного фільтра* є рукавний фільтр, схема роботи якого наведена на рис. 6.1.

Головним елементом такого фільтра є рукав, виготовлений з фільтрувальної тканини. Корпус фільтра розділений на кілька герметизованих камер, у кожній з яких розміщено по кілька рукавів. Газ, що підлягає очищенню, підводиться в нижню частину кожної камери і надходить всередину рукавів. Частинки пилу, що містяться в неочищеному газі, осідають на внутрішню поверхню рукава, в результаті чого опір рукава проходження газу поступово збільшується. Коли воно досягне деякого граничного (за умовами тяги) значення, фільтр переводиться на режим регенерації і рукава звільняються від осілого на них пилу.

В даний час використовують синтетичні матеріали – нейтрон і лавсан, володіє підвищеною термостійкістю, достатньої хімічної стійкістю і механічною міцністю поряд з гарною фільтруючою здатністю.

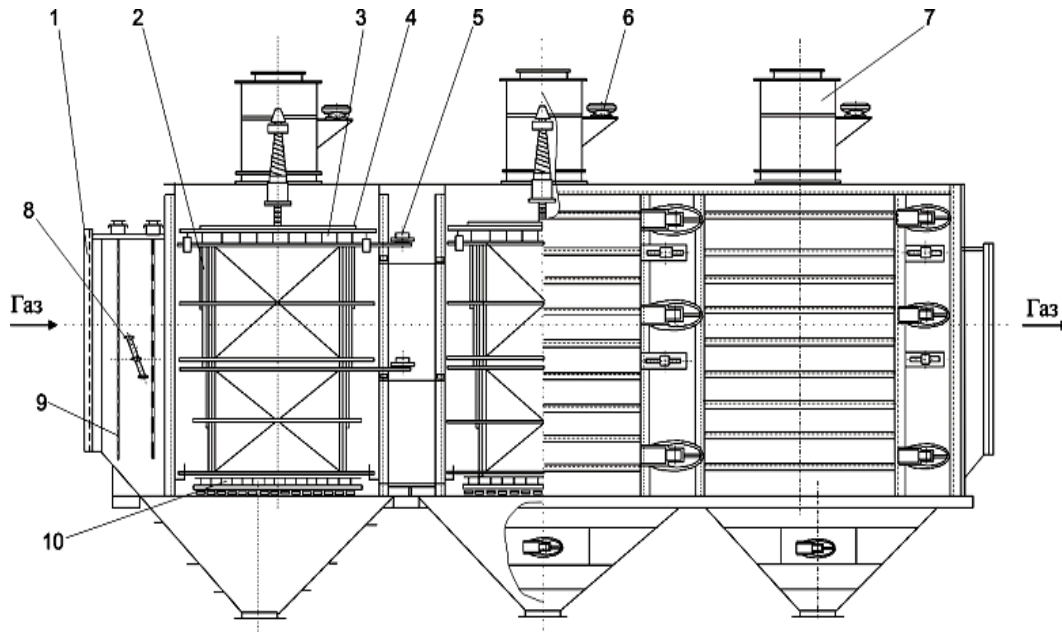


1 – вхідний патрубок; 2 – корпус фільтра; 3 – рукав; 4 – продувний клапан; 5 – випускний клапан; 6 – колектор очищеного газу; 7 – вал механізму струшування; 8 – пилевивантажувальний пристрій

Рисунок 6.1 – Схема рукавного фільтра

В електрофільтрах (рис. 6.2) при пропусканні запиленого газового потоку через сильне електричне поле частинки пилу отримують електричний заряд і прискорення, що змушує їх рухатися уздовж силових ліній поля з подальшим осадженням на електродах. У відповідності з напрямком руху газового потоку фільтри поділяють на горизонтальні і вертикальні. За формою осаджувальних електродів розрізняють електрофільтри пластинчасті, трубчасті і іноді шестигранні. Електрофільтри по влаштуванню складніші і в експлуатації дорожчі, але придатні для уловлювання частинок менше 1 мкм, що складають возгони. Таким чином, уловлювання пилу може здійснюватися в сухому вигляді за допомогою струшування електродів і в мокрому вигляді змивом водою.

Сухі електрофільтри можуть працювати при температурах до 450 °С з коефіцієнтом корисної дії 98-99%. Мокрі електрофільтри при температурах 30-40 °С улавлюють з вологого газу особливо тонкі возгони та аерозолі.



1 – корпус електрофільтру; 2 – осаджувальні електроди; 3 – коронуючі електроди;
 4 – верхня рама коронуючих електродів; 5 – вал молоткастого струшування осаджувальних електродів; 6 – привід струшування коронуючих електродів; 7 – ізоляторна коробка; 8 – пристрій ручного струшування газорозподільних ґрат; 9 – газорозподільні ґрати; 10 – нижня рама коронуючих електродів

Рисунок 6.2 – Схема електрофільтру марки ЕГА

У пінних апаратах і ротоклонах задовільно уловлюються частинки пилу розміром 3-5 мкм, в мокрих апаратах відцентрового типу – частинки 6-8 мкм, в сухих циклонах (рис. 6.3) та інших апаратах відцентрового типу – частинки 10-15 мкм, в порожнистих скрубберах і сухих інерційних апаратах – частинки 15-20 мкм, в осаджувальних камерах і горизонтальних колекторах – частинки 30-40 мкм.

Знепилювання газів агломераційних машин здійснюють у батарейних і одиночних циклонах, мокрих пиловловлювачах і електрофільтрах. Спочатку типовими проектними рішенням була установка батарейних циклонів (рис. 6.4), кількість елементів у яких досягало на великих машинах 1000-2000 шт. На деяких

аглофабриках замість батарейних встановлені поодинокі циклони великого діаметра (рис. 6.4, б).

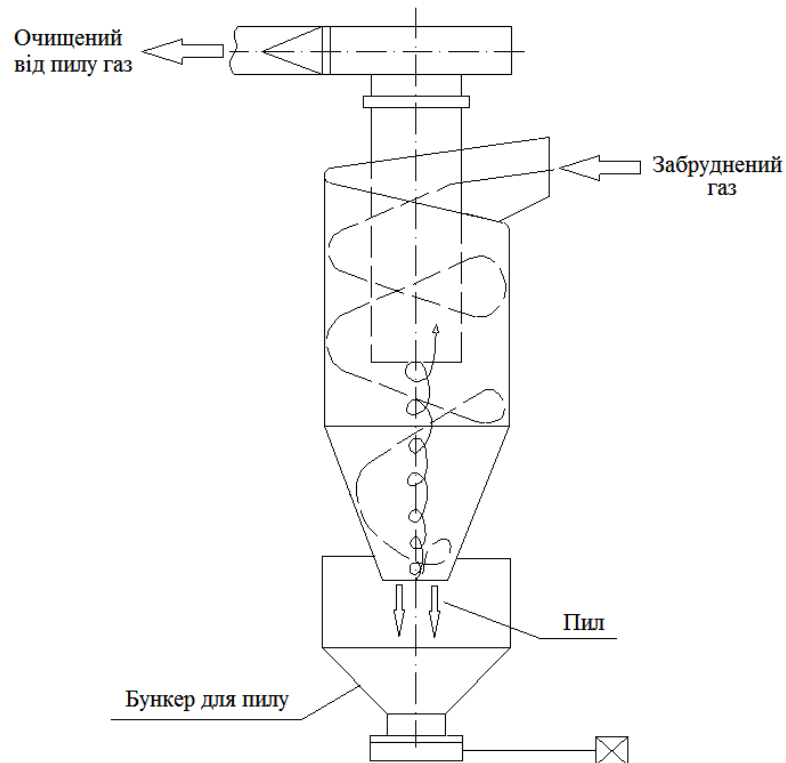
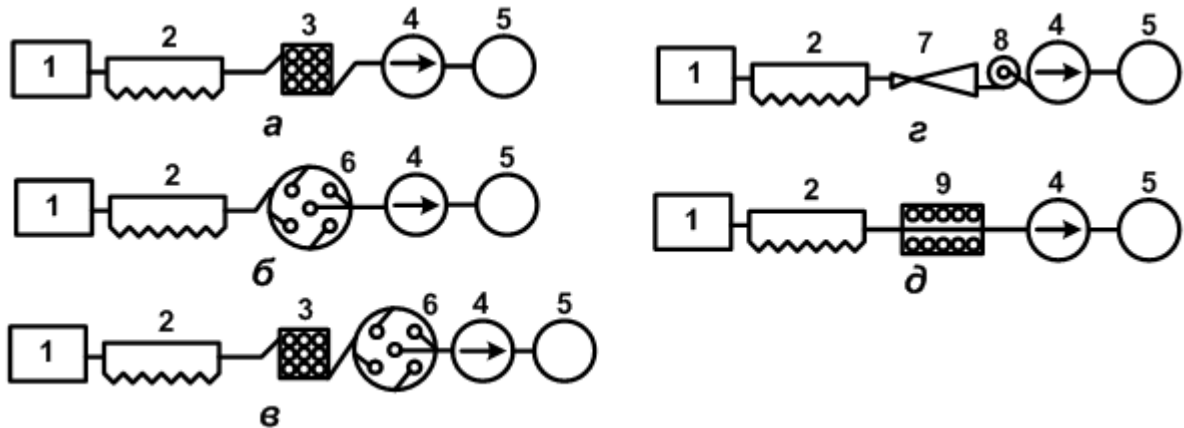


Рисунок 6.3 – Схема циклону марки ЦН-15

Зменшуючи можливість забивання пилом і нерівномірного розподілу газу за елементами, одиночні циклони в той же час не забезпечують високого ступеня очищення внаслідок великих розмірів і зменшення величини відцентрових сил. В результаті експлуатаційний ступінь очищення як в батарейних, так і в одиночних циклонах низький і не перевищує 70-85%; запиленість очищеного газу 0,4-0,5 г/м³. Мокрі пиловловлювачі застосовують для очищення газів агломашини як в якості другого ступеня очищення, так і в якості самостійних апаратів. Можлива установка після батарейних циклонів відцентрових скрубберів типу МП-ВТІ (рис. 6.4, в), що дозволить знизити запиленість очищеного газу до 150-200 мг/м³ і тим самим збільшити термін служби ексгаустерів. Можливе застосування в якості єдиного мокрого апарату низьконапірних скрубберів Вентурі (рис. 6.4, г). Внаслідок того, що вони включаються в газовідвідний тракт агломашини, можливий для використання перепад тисків обмежений 0,2-0,3 кПа, що відповідає

швидкостям газу в горловині труб Вентурі 60-75 м/с. При таких умовах високого ступеня очищення отримати не можна.



- 1 – агломашина; 2 – колектор; 3 – батарейний циклон; 4 – ексгаустер;
 5 – димова труба; 6 – відцентровий скруббер; 7 – труба Вентурі;
 8 – краплевловлювач; 9 – електрофільтр

Рисунок 6.4 – Схеми очищення газів, що відходять агломераційних машин

Останнім часом на зарубіжних і вітчизняних аглофабриках починають застосовувати сухі пластинчасті електрофільтри (рис. 3.4, д). Ці апарати позбавлені недоліків, властивих батарейним циклонам і мокрим пиловловлювачам, і мають високу ефективність. При установці електрофільтрів цілком реальне очищення газу до вмісту пилу 100-120 мг/м³ і навіть менше. У разі високої початкової запиленості газу перед електрофільтрами встановлюють групу циклонів. Слід мати на увазі, що внаслідок великих витрат газів електрофільтри повинні мати високу продуктивність, а через великі розрідження, що створюють ексгаустери, посилену конструкцію і газоцільність корпусу. Установка електрофільтрів значно знижує викиди у повітряний басейн і підвищує термін служби ексгаустерів до 2-3 років і більше. До основних недоліків електрофільтрів відносяться великі габарити і висока вартість; ефективність електрофільтрів знижується при спіканні агломерату високою основністю (3-3,5) і наявності в шихті оксидів свинцю або цинку, використанні замасленої окалини.

6.5 Уловлення і очищення викидів від газів

Для очищення газів від хімічних газоподібних домішок можуть бути використані наступні три методи:

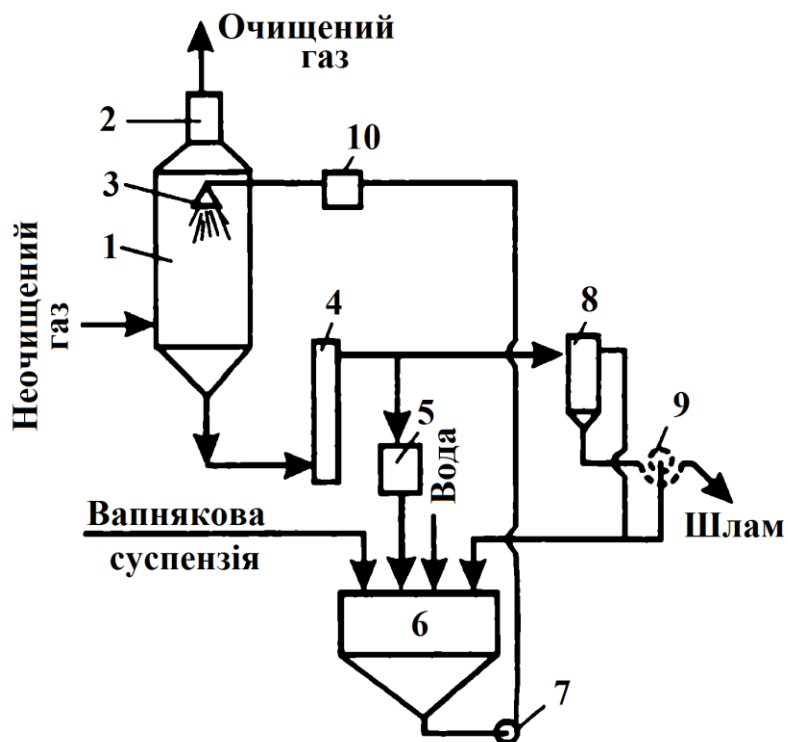
1. Абсорбція – поглинання газів при промиванні рідинами. Часто газоподібний компонент, що виділяється, вступає в хімічну взаємодію з поглинаючою рідиною з утворенням розчинної в ній сполуки. Такий процес називається хемосорбцією.

2. Адсорбція – поглинання газів твердими речовинами, наприклад, іонообмінними матеріалами.

3. Переведення газоподібних домішок за допомогою спеціальних добавок в твердий або рідкий стан з наступним виділенням їх із газу.

Викиди CO в атмосферу можна зменшити трьома способами: сорбцією рідкими і твердими поглиначами; допаленням при температурах вище температури самозаймання; каталітичним окисненням при невисоких температурах. Допал CO до CO₂ в атмосфері можливо при дотриманні двох умов: температура процесу вище температури займання CO (+ 800 °C) і концентрація CO в газах більше 12%. Розроблено схему очищення агломераційних газів від CO і SO₂ в контактному апараті, де в присутності каталізаторів CO окислюється в CO₂, а SO₂ в SO₃. Контактний апарат являє собою циліндричний трубчастий теплообмінник, всередині якого в пологому циліндрі розміщені дві касети: нижня заповнена паладієвим каталізатором для окислення CO в CO₂, а верхня – ванадієвим каталізатором для окислення SO₂ в SO₃. До нього передбачена установка фільтра тонкого очищення (електрофільтру або рукавного фільтра), а за ним – холодильника-конденсатора з поверхнею охолодження для парів сірчаної кислоти, що утворюється з SO₃ і водяної пари. В установці такого типу можна отримувати до 40 т/добу 80%-ої сірчаної кислоти.

У металургії найбільш поширений *вапняковий метод* очищення газів від SO₂, перевагами якого є: простота технологічної схеми, доступність і дешевизна, відносно малі капітальні витрати, можливість очищення газу без попереднього охолодження і тонкого знепилювання. Принципова схема вапнякового методу очищення представлена на рис. 6.5.



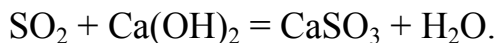
- 1 – скруббер; 2 – пиловловлювач; 3 – форсунка; 4 – гідрозатвор; 5, 10 – фільтр для відділення великих часток; 6 – циркуляційний збірник;
7 – насос; 8 – гідроциклон; 9 – вакуум-фільтр

Рисунок 6.5 – Схема очищення газів від SO₂ вапняковим методом

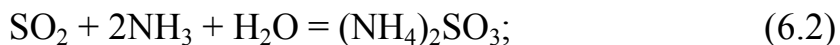
Газ, попередньо очищений від крупного пилу, надходить в порожній форсуночний скруббер, де зрошується суспензією вапняку CaCO₃, що взаємодіє з SO₂ по основній реакції:

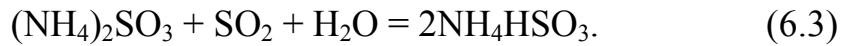


При застосуванні в якості сорбенту вапняного молока Ca(OH)₂ можна зберегти ту ж принципову схему і отримати декілька вищий ступінь очищення (до 90%). У цьому випадку основна реакція має вигляд:

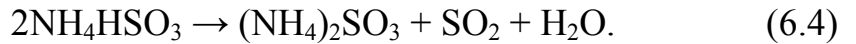


Аміачний циклічний метод – в якості основного реагенту застосовують аміак, який, взаємодіючи у водному розчині з сірчистим ангідридом, утворює сульфід і бісульфід амонію:





При нагріванні (особливо під вакуумом) бісульфіт амонію переходить в сульфїт з виділенням SO_2 :



Отриманий сульфїт амонію направляють для подальшої участі в процесі, а концентрований SO_2 використовують для отримання сірчаної кислоти. При використанні амїачного циклічного процесу утворюються цінні побічні продукти – сульфат амонію, висококонцентрований сірчистий ангїдрид і сірка. До істотних недоліків цього методу відносяться необхідність попереднього охолодження газу, застосування кислотостійкої арматури і матеріалів, висока вартість установки і великі експлуатаційні витрати.

Адсорбційні та каталітичні методи очищення. Переваги адсорбційних методів – простота пристрою і компактність обладнання, можливість очищення нагрітих і запилених газів, високий ступінь очищення, відносно невеликі капітальні витрати. Каталітичні методи очищення засновані на здатності SO_2 окислюватися в SO_3 , який, легко взаємодіючи з водою, утворює товарний продукт – сірчану кислоту. При наявності у воді іонів заліза і марганцю розчинений у воді кисень енергійно окисляє SO_2 в SO_3 . Однак найкращим каталізатором є піролюзит, за допомогою якого в промислових умовах ступінь очищення газів від SO_2 може бути доведений до 80-85%; одержувана сірчана кислота має концентрацію 30-40%.

При окисленні SO_2 в газовій фазі в присутності каталізатора передбачається подальша абсорбція SO_3 , що утворився водою з отриманням сірчаної кислоти. В якості каталізатора застосовують оксид ванадію V_2O_5 або контактну масу БАВ. Гази попередньо повинні бути очищені від пилу і CO , які несприятливо впливають на процес контактного окислення SO_2 в SO_3 .

З методів очищення газів від оксидів азоту в металургії найбільш перспективним представляється їх відновлення амїаком з застосуванням каталізатора (V_2O_5). При відновленні оксиду азоту в нерухомому шарі каталізатора обов'язкова попередня очистка газів від пилу (до $0,1 \text{ г/м}^3$) і вологи. Досягається ступінь очищення 85-90%.

7. ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД МЕТАЛУРГІЙНИХ ВИРОБНИЦТВ

7.1 Утворення і склад стічних вод у металургійному виробництві

Сучасне металургійне підприємство на виробництво 1 т сталевого прокату витрачає 180-200 м³ води. Добовий оборот води на окремих підприємствах досягає 3 млн м³ і більше. Вони містять механічні домішки органічного і мінерального походження, в т.ч. Me(OH)₂, нафтопродукти, токсичні сполуки, в загальнозаводських стоках наявність великої кількості зважених часток (800-4300 мг/л), в основному руди і окалини, які надають стокам червонувато-бурий відтінок.

Найменш шкідливими є стоки рудозбагачувальних фабрик. Кількість стоків велике, але вони містять в основному велику кількість глини, піску, порожньої породи. Стічні води аглофабрики містять залізо, окис кальцію, вуглець.

У доменному виробництві кількість стоків найбільше – 15 м³/т чавуну. Вони утворюються при очищенні доменного газу, гідравлічного прибирання осілого пилу і просипу, від установок грануляції доменного шлаку і розливних машин. У цих стоках містяться частинки руди, коксу, вапняку, сульфати, хлориди, друзки застиглому чавуну, окалини, графіту, недогашеного вапна. При виплавці феромарганцевого чавуну стоки також містять ціаніди, радонисті сполуки, аміак. Найменш забруднені стоки від грануляції шлаку, коли розплавлений шлак швидко охолоджується водою. Більша частина води при цьому випаровується, а решта повертається для повторного використання. Стоки від грануляції мають температуру до 40°C. Кількість зважених часток становить 600-700 мг/л. У стоках також містяться кремній, кальцій, сірчисті з'єднання, сульфати.

На коксохімічних заводах стічні води утворюються від хімічних цехів (фенольні стоки) і від процесу гасіння коксу. В процесі очищення коксового газу від сірководню миш'яково-содовим методом утворюється 4-6 м³/годину стоків, в яких містяться феноли, аміак, сірководень, ціаніди, бензоли, смоли.

У сталеплавильному виробництві стічні води утворюються при очищенні газів мартенівських печей, конвертерів, електropечей, охолодженні і гідроочистки

виливниць, установок безперервного розливання сталі і обмивання котлів–утилізаторів. Вміст зважених часток в таких стоках досягає 7000 мг/л.

У прокатному виробництві стоки забруднені маслами, емульсіями і травильними розчинами. Найбільш шкідливі стоки утворюються в процесі травління поверхні виробів, діляться на дві категорії:

1) концентровані, що включають в себе відпрацьовані розчини з травильних ванн, містять H_2SO_4 , $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$; $t = 30-80\text{ }^\circ\text{C}$; кількість стоків – $0,5\text{ м}^3/\text{т}$ готової продукції;

2) від промивання оброблених виробів – $3\text{ м}^3/\text{т}$ готової продукції.

У стоках ливарних цехів містяться великі кількості глини, піску, зольних залишків від вигорілої частини стрижневих сумішей. Залежно від застосовуваного обладнання та вихідних формувальних матеріалів концентрація всіх цих речовин може досягати 5000 мг/л.

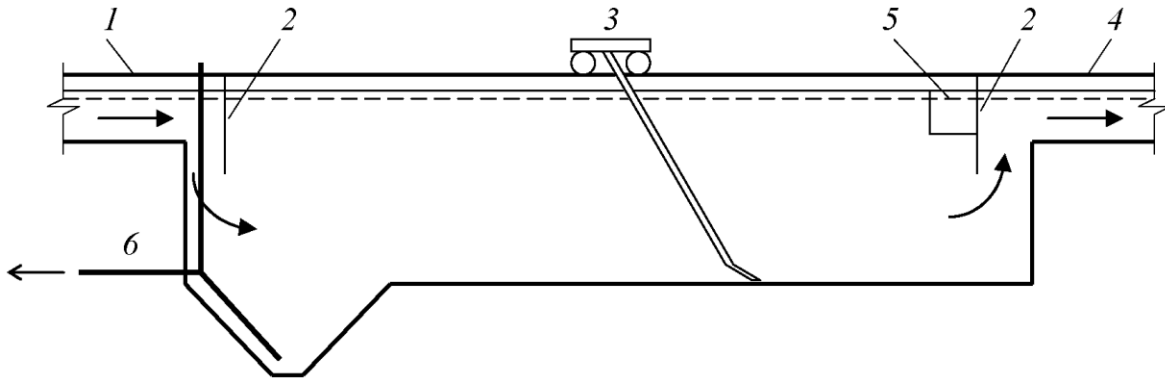
Стічні води феросплавного виробництва характеризуються наявністю зважених речовин, мають лужну реакцією, містять феноли, ціаніди, роданіди, марганець, залізо, хром, миш'як, ванадій.

7.2 Методи і устаткування для очищення промислових стічних вод

Для очищення промислових стоків використовують механічний спосіб і реагентну хімічну очистку. Також розробляються і впроваджуються безреагентні способи: електрохімічний, електроіонітовий, застосування іонообмінних смол, озонування.

Механічні методи використовуються в основному як попередні. Вони призначені для відділення від води нерозчинних домішок різної крупності. Для цих цілей використовують решітки, барабанні сітки, фільтри, пісколовки, відстійники, нафтоловушки. Основним обладнанням механічного очищення стічних вод є відстійники різних принципів дії. В даний час для механічного очищення застосовують гідроциклони, що вимагають значно менших площ і відрізняються більш високою продуктивністю.

Відстійники. Горизонтальні відстійники являють собою прямокутні в плані резервуари, розділені поздовжніми перегородками на кілька відділень. Потік води в них рухається горизонтально (рис. 7.1).



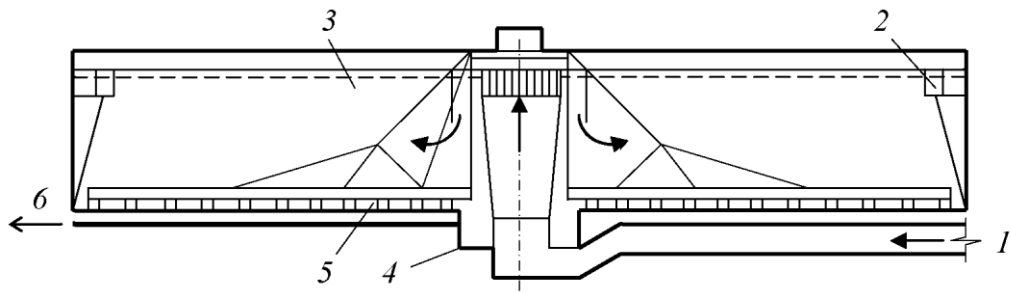
1 – підвідний лоток; 2 – напівзаглиблена дошка; 3 – скребковий візок; 4 – відвідний лоток; 5 – жирозбірний лоток; 6 – видалення осаду

Рисунок 7.1 – Горизонтальний відстійник

Випадаючий по довжині відстійника осад переміщається скребком в розташовані на вході приямки, звідки під гідростатичним тиском видавлюється в самопливний трубопровід. Спливаючі нафтопродукти збираються в кінці споруди в збірний лоток, з якого також самопливом відводяться на перекачування.

Радіальні відстійники мають круглу в плані форму резервуарів, в яких стічна вода подається в центр відстійника і рухається радіально від центру до периферії (див. рис. 4.2). Діаметр типових радіальних відстійників становить 18-50 м. Вони використовуються на очисних станціях продуктивністю понад 20 тис м³/добу. Ефект освітлення досягає 50–55%.

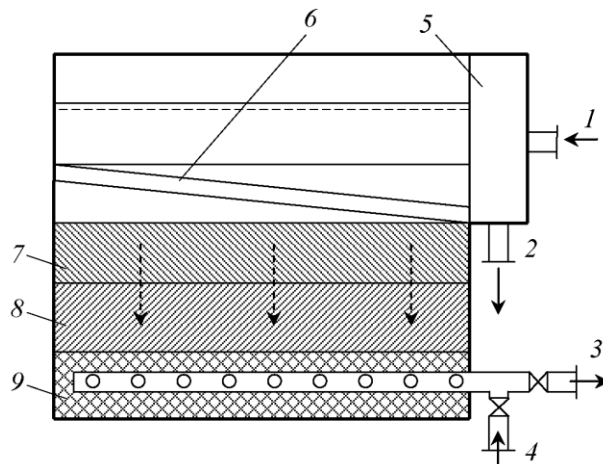
Фільтри застосовують для глибокого очищення (доочищення) стічних вод, що пройшли фізико-хімічну очистку. Вони поділяються на фільтри із зернистим завантаженням та сітчасті барабанні фільтри; по конструкції розрізняють одношарові, двошарові, аеруемі і каркасно-засипні; по виду фільтруючого матеріалу: природні матеріали (кварцовий пісок, гравій, гранітний щебінь, доменний шлак, керамзит, антрацит, горілі породи, мармурова крихта) або штучні матеріали (полімери – пінополіуретан, полістирол, поліпропілен).



1 – подача сточної води; 2 – збірний лоток; 3 – відстійна зона;
4 – шламозбірник; 5 – скребковий механізм; 6 – видалення осаду

Рисунок 7.2 - Радіальний первинний відстійник

В результаті доочищення стічних вод у завантаженні фільтрів затримуються дрібнодисперсні зважені частки і нафтопродукти, що виносяться з відстійників. Регенерацію зернистих фільтруючих матеріалів виробляють промиванням водою або водою і повітрям, синтетичні матеріали зазвичай відводять для регенерації. У двошарових фільтрах (рис. 7.3) використовується принцип фільтрування в напрямку зменшення крупності зерен завантаження зверху вниз.



1 – подача вихідної води; 2 – відведення промивної води; 3 – відведення
фільтрату; 4 – подача промивної води; 5 – розподільний карман; 6 – жолоб для
подачі вихідної води; 7 – завантаження з антрациту;
8 – завантаження з піску; 9 – підтримуючий шар

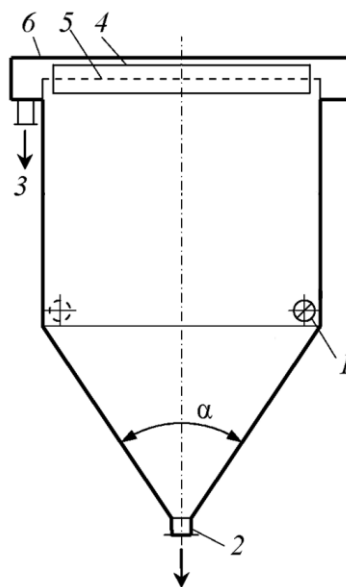
Рисунок 7.3 – Двошаровий фільтр

Двошарове завантаження забезпечує більш рівномірний розподіл забруднень за висотою фільтра, збільшення тривалості роботи. Фільтроцикл дорівнює 24

години. Промивання фільтрів проводиться струмом води знизу вгору. Ефект доочистки для таких фільтрів по зваженим речовинам становить 70-80%, по БПК_{пов} – 60-70%.

Гідроциклони поділяються на два основних типи: відкриті і напірні. Обертальний рух в робочій зоні гідроциклонів створюється тангенціальним підведенням води до циліндричного корпусу. У конічній (нижній) частині гідроциклонів накопичується осад, який осідає в результаті агломерації зважених часток.

Відкриті гідроциклони (рис. 7.4) застосовуються для видалення спливаючих і осідаючих домішок з гідравлічної крупністю понад 0,2 мм/с, а також скоагульованої суспензії. Вихідна вода подається тангенціально в простір обмежений внутрішнім циліндром. Потік по спіралі рухається нагору, а осідаючі зважені частки під дією рівнодіючих сил тяжіння і відцентрових сил відкидаються до внутрішньої стінки циліндра і сповзають вниз у конічну частину. Центральний потік, звільнений від суспензій, відокремлюється діафрагмою і переливається через водозлив у кільцевий лоток. Дрібні зважені частки виносяться потоком у зазор між корпусом і внутрішнім циліндром і осаджуються практично в спокої. У верхній частині гідроциклона розташована кільцева напівзаглибна перегородка для затримки спливаючих домішок.



1 – водоподаюча труба; 2 – труба для відвода шлама; 3 – водовідвідна труба; 4 – напівзаглиблена кільцева стінка; 5 – кільцевий водозлив;

6 – водозбірний кільцевий лоток
Рисунок 7.4 – Відкритий гідроциклон

7.3 Технологічні схеми очищення промислових стоків

Очищення стічної води від забруднень, як правило, проводиться в кілька стадій. Загальним принципом послідовності розташування очисних споруд є видалення зі стічної води забруднень по зменшенню їх крупності. Стічні води після механічного очищення в залежності від складу і пред'явлених до них вимог направляють на хімічну, фізико–хімічну або біологічну очистку.

Хімічну реагентну очистку застосовують у випадках, коли виділення забруднень можливо тільки в результаті хімічної реакції між домішкою і реагентом з утворенням нових речовин, які легко видалити. Для такого очищення використовують реакції окислення, нейтралізації, переведення шкідливих домішок в нешкідливі, знешкодження методом хлорування та інш. Подібні методи вимагають великої витрати реагентів. Крім того, утворені в результаті реакції з'єднання необхідно видалити з стоків і обробляти. Найбільш широко застосовується нейтралізація стічних вод для видалення з них кислот, лугів, солей металів (рис. 7.5).

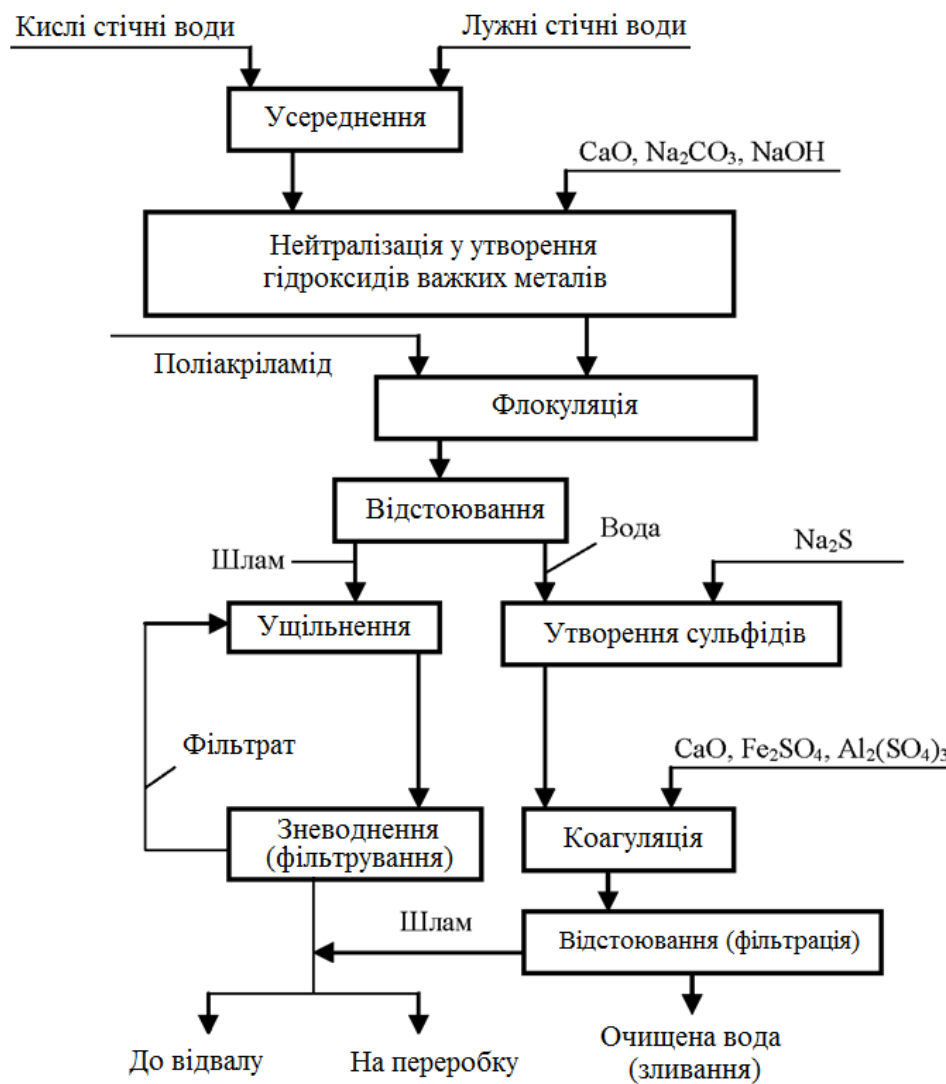


Рисунок 7.5 – Схема реагентної очистки стічних вод від іонів важких металів

Кислі та лужні стічні води усереднюються, а потім піддаються нейтралізації вапном, їдким натром або содою. При цьому утворюються гідроксиди важких металів, для кращого осадження яких додається поліакриламід (ПАА), в результаті флокуляції інтенсифікується подальший процес відстоювання. Виділений шлам піддається ущільненню та зневодненню фільтруванням. Фільтрат повертається на стадію ущільнення. Шлам йде у відвал або на переробку.

Фізико–хімічні методи очищення підрозділяють на реагентні і безреагентні. До реагентних відносяться методи, при яких для осадження та виділення з'єднань зі стоків застосовуються спеціальні речовини – коагулянти (солі алюмінію і заліза,

аміачна вода та інш.) і флокулянти (поліакріламід, синтетичні полімери, природні полімери, неорганічні речовини, наприклад, кремнієва кислота). Очищення стічних вод реагентним способом включає кілька стадій: приготування і дозування реагентів, змішування їх з водою, утворення пластівців, відділення пластівців домішок від води.

До безреагентних методів належать: сорбційні, електрохімічні, радіаційні та ін. Безреагентні методи протікають без введення в реакційне середовище додаткових хімічних сполук. Проте здійснення процесу вимагає додаткових витрат енергії та використання нейтральних речовин в якості сорбентів, які при регенерації дають вторинне забруднення у вигляді шламу.

До електрохімічних методів очищення відносяться іонний обмін, електроліз, електродіаліз. З електрохімічних методів для видалення з води солей важких металів використовують катодне відновлення, за допомогою якого можна осадити на катоді і рекуперувати іони Pb^{2+} , Sn^{2+} , Hg^{2+} , Cu^{2+} , As^{3+} , Cr^{6+} . Процес проходить за схемою $Me^{n+} + n\bar{e} \rightarrow Me^0$, при відновленні хрому реакція протікає при $pH=2$, щільності струму $0,2 - 2 \text{ А/дм}^2$: $Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 12\bar{e} \rightarrow 2Cr + 7H_2O$.

Електродіалізом можна очищати промислові стічні води від катіонів металів, які у вигляді лугів виділяються в катодного камері електролізера.

Іонний обмін є одним з основних способів пом'якшення води. Найбільш широко застосовуються синтетичні іонообмінні смоли, цеоліти, гідроксиди та солі полівалентних металів.

В останні роки широке застосування знайшли мембранні процеси очищення стічних вод (ультрафільтрація, зворотний осмос, мікрофільтрація, випаровування через мембрани, діаліз, електродіаліз). Мембрани виготовляють з ацетатів целюлози, поліаміду, фторопласту, різних полімерів, скла, графіту, оксидів металів.