

Міністерство освіти і науки України

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-
ДОРОЖНІЙ УНІВЕРСИТЕТ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до самостійної роботи
з дисципліни «Ресурсозбереження при виробництві та
безпека матеріалів на основі мінеральних в'язучих»
для студентів, які навчаються за спеціальністю
G1 «Хімічні технології та інженерія»



Харків 2026

Укладач Хоботова Е.Б.
Кафедра хімії та хімічної технології

Затверджено
Методичною Радою ХНАДУ,
протокол № 2 від 25.11.2025

ВСТУП

Інженер-хімік повинен мати глибокі знання в області ресурсозбереження, які необхідні для застосування засобів хімічної технології на виробництві. Методичні вказівки створено для підвищення рівня та ефективності самостійної підготовки бакалаврів, які навчаються за спеціальністю G1 «Хімічні технології та інженерія», з дисципліни «Ресурсозбереження при виробництві та безпека матеріалів на основі мінеральних в'язучих».

Мета методичних вказівок – допомогти студентам самостійно засвоїти теоретичний матеріал, більш глибоко вивчити основні положення ресурсозбереження при виробництві мінеральних в'язучих речовин.

У методичних вказівках представлено розділи дисципліни, а саме: «Умови розміщення шлаків чорної металургії у навколишньому середовищі», «Заповнювачі із металургійних шлаків. Матеріали із шлакових розплавів», «Заповнювачі на основі золошлакових відходів ТЕС», «Фізико-хімічні основи використання промислових відходів у виробництві мінеральних в'язучих речовин». Формат подання матеріалу наступний: теоретична частина і завдання для самоперевірки. Для діагностування знань та рівня практичних навичок запропоновано виконати завдання самостійно, що надасть студенту можливість мати уяву про ступінь оволодіння ним певного об'єму навчального матеріалу.

Розділ 1

УМОВИ РОЗМІЩЕННЯ ШЛАКІВ ЧОРНОЇ МЕТАЛУРГІЇ У НАВКОЛИШНЬОМУ СЕРЕДОВИЩІ

1.1. Майданчики тимчасового складування шлаків чорної металургії

Тимчасове зберігання відходів на виробничій території призначається:

- для селективного збору та накопичення окремих різновидів відходів;

- для використання відходів у подальшому технологічному процесі з метою знешкодження (нейтралізації), часткової або повної переробки та утилізації на допоміжних виробництвах.

Накопичення та тимчасове зберігання промвідходів на виробничій території здійснюється за цеховим принципом чи централізовано. При цьому зберігання твердих промвідходів IV класу небезпеки дозволяється навалом, насипом, у вигляді гряд.

При тимчасовому зберіганні відходів у нестационарних складах, на відкритих майданчиках без тари (навалом, насипом) або у негерметичній тарі повинні дотримуватися такі *загальні умови*:

- тимчасові склади та відкриті майданчики повинні розташовуватися з підвітряної сторони по відношенню до житлової забудови;

- поверхня відходів, що зберігаються насипом, або у відкритих приймачів-накопичувачів повинна бути захищена від впливу атмосферних опадів і вітрів (укриття брезентом, обладнання навісом і т.д.);

- поверхня майданчика повинна мати штучне водонепроникне та хімічностійке покриття (асфальт, керамзитобетон, полімербетон, керамічна плитка та ін.);

- по периметру майданчика має бути передбачена обвалівка та відокремлена мережа зливнестоків з автономними

очисними спорудами; допускається її приєднання до локальних очисних споруд відповідно до технічних умов;

– надходження забрудненої зливи з цього майданчика у загальноміську систему дощової каналізації або скидання у найближчі водоймища без очищення не допускається.

Розміщення відходів у природних або штучних за нижчими рельєфу (виїмки, котловани, кар'єри та ін.) допускається тільки після проведення спеціальної підготовки ложа на підставі передпроектних опрацювань.

Шлаки можуть складуватися як на території основного підприємства, так і за його межами у вигляді спеціально спланованих відвалів та сховищ.

Критерієм граничного накопичення промислових відходів на території промислової організації є вміст специфічних для даного відходу шкідливих речовин у повітрі на рівні до 2 м, який не повинен бути вище 30% від ГДК у повітрі робочої зони.

Гранична кількість відходів при відкритому зберіганні визначається у міру накопичення маси відходів у встановленому порядку. Періодичність вивезення накопичених відходів спеціально обладнаним транспортом із території підприємства регламентується встановленими лімітами накопичення промислових відходів, визначених у проекті поводження з відходами.

Шлаки чорної металургії мають IV клас небезпеки. Виходячи з цього розміщення шлаків у навколишньому середовищі, в тому числі на території підприємства, на якому вони утворилися, передбачає ті ж умови, що й умови розміщення ТПВ на полігонах. Майданчики розміщення шлакових відходів чорної металургії повинні бути інженерною спорудою, що забезпечує захист об'єктів біосфери від забруднень.

Для зниження гідростатичного напору фільтрату на майданчик, мінімізації об'ємів його просочування в ґрунтові води та запобігання розтіканню фільтрату за межі дамби передбачається влаштування гідротехнічних споруд – *системи протифільтраційного захисту* основи, що складається з протифільтраційного екрану та системи збору та відведення фільтрату.

Типова схема конструкції необхідної системи протифільтраційного захисту основи майданчика складування шлаків представлена на рис. 1.1. Протифільтраційний екран



Рис. 1.1. Система протифільтраційного захисту майданчика складування шлакових відходів

призначається для покриття всього майданчика з метою запобігання надходженню фільтрату до підземних горизонтів.

Грунтові екрани. За нормативно-методичними вимогами до основи полігону розміщення твердих побутових відходів, воно має мати шар зв'язаного ґрунту (наприклад, глини у природному стані з коефіцієнтом фільтрації води не більше $0,00001$ см/с та товщиною не менше $0,5$ м). Майданчик для складування шлакових відвалів має задовольняти тим самим вимогам.

Якщо ґрунти характеризуються коефіцієнтом фільтрації більше $0,00001$ см/с, необхідне влаштування штучних водонепроникних екранів для захисту ґрунтових вод від впливу фільтрату.

Для перешкоди поширення шкідливих речовин у ґрунтовому середовищі майданчик складування шлакових відвалів повинен мати коефіцієнт фільтрації не більше 10^{-7} м/с.

Мінімальна потужність геологічного бар'єру повинна становити не менше 1 м. Якщо ця умова неможлива, необхідне укладання одношарового глинистого екрану завтовшки не менше $0,5$ м з коефіцієнтом фільтрації не більше 10^{-7} м/с. Поверх екрану укладається захисний шар із місцевого ґрунту, товщиною $0,2-0,3$ м.

Штучні захисні екрани повинні мати:

- механічну міцність до навантажень, що можуть виникнути під час будівництва та експлуатації об'єкта;
- хімічну стійкість до інгредієнтів фільтрату, що утворюється з відходів;

- фізичну стійкість до перепадів температур, які можуть мати місце за різних кліматичних умов;
- достатню водонепроникність для утримання фільтрату на майданчику.

Основну складність проектування системи протифільтраційного захисту представляє підбір матеріалу та конструкції протифільтраційного екрану, оскільки після укладання екрану, початку та завершення прийому на майданчик відходів він не підлягає ремонту та, тим більше, заміні. У той же час, потенційна небезпека забруднення навколишнього середовища при складуванні шлакових відходів існує більше 50 років. Тому протифільтраційний екран повинен мати необхідні постійні в часі властивості, щоб забезпечити довготривалий захист від надходження шкідливих речовин в навколишнє середовище.

Мінімальний ізоляційний шар може бути утворений з рівноцінних глинам *мінеральних матеріалів (кераміки)*, що укладаються з ущільненням у два шари та забезпечують коефіцієнт фільтрації не більше 10^{-7} м/с при градієнті напору $i = 30$, тобто відношенні тиску води до товщини ґрунту, що фільтрує (рис. 1.2).

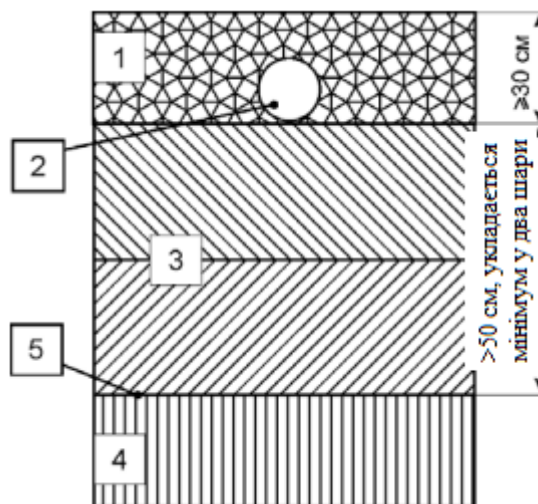


Рис. 1.2. Структура керамічного екрану: 1 – дренажний шар; 2 – дренажна труба; 3 – мінеральний ізоляційний шар; 4 – геологічний бар'єр; 5 – планувальна позначка основи карти

Для ізоляції основи майданчику можуть застосовуватися *ґрунтобитумні екрани* товщиною від 0,2 до 0,4 м, оброблені

органічними в'язучими або відходами нафтопереробної промисловості, або подвійним просоченням бітуму, залежно від складу відходів та кліматичних умов. З метою отримання такого екрану мінеральний глинистий ґрунт обробляється на глибину 10–15 см рідким бітумом або нафтою з додаванням цементу та ущільнюється гладкими катками.

Зазвичай для захисту від інфільтрації віджимних вод у підземні водоносні горизонти влаштовують *комбіновані екрани* із водотривких матеріалів – природних (глини, суглинки) та штучних (плівкові покриття із пластмаси, продуктів та відходів нафтохімічної промисловості – бітумів, смолистих матеріалів тощо). Такі комбіновані екрани складаються із трьох шарів глини, укладених із ущільненням. Коефіцієнт фільтрації $5 \cdot 10^{-7}$ м/с при градієнті напору $i = 30$. Синтетична гідроізоляція має бути виконана з рулонних гідроізоляційних матеріалів завтовшки не менше 2,0 мм. Для захисту синтетичної гідроізоляції на її поверхні розташовується шар дрібного піску товщиною не менше 0,15 м або рівноцінні матеріали – геотекстилі (рис. 1.3).

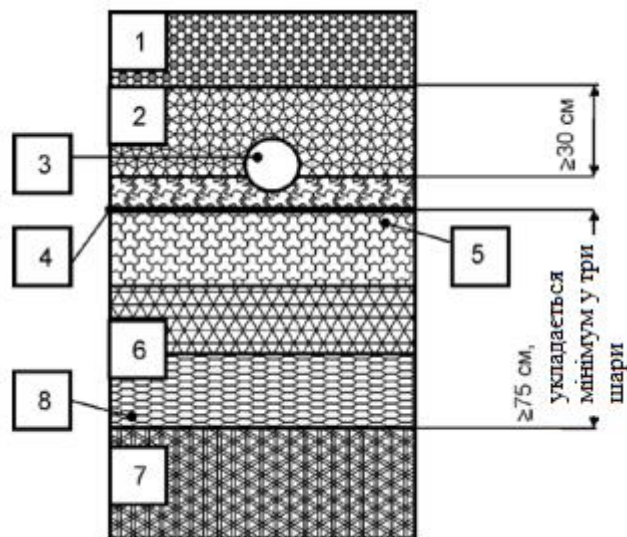


Рис. 1.3. Конструкція комбінованого керамічного екрану:
 1 – дренажний шар; 2 – захисний шар; 3 – дренажна труба;
 4 – ізоляційний шар; 5 – мінеральний ізоляційний шар
 (верхній); 6 – мінеральний ізоляційний шар (нижній);
 7 – геологічний бар'єр; 8 – планувальна позначка основи карти

Також застосовуються *штучні полімерні екрани*:

– екран двошаровий із латексу. Екран складається з планувального шару, що підстилає, товщиною 0,3 м, шару латексу, проміжного шару з піщаного ґрунту 0,4 м, другого шару латексу і захисного шару з дрібнозернистого ґрунту товщиною 0,5 м;

– екран з поліетиленової плівки, стабілізованої сажею, двошаровий. Двошаровий екран складається з підстилаючого шару – глинистого ґрунту товщиною не менше 0,2 м, двох шарів поліетиленової плівки, стабілізованою сажею, товщиною 0,2 мм. Між шарами плівки влаштовується дренажний шар із крупнозернистого піску, товщиною 0,4 м. На верхній шар плівки укладається захисний шар ($h = 0,5$ м) піщаного ґрунту з частинками максимальної крупності до 5 мм. Допускається застосування одношарових штучних екранів без дренажу фільтрату за сприятливих гідрогеологічних умов ділянки складування: рівень ґрунтових вод не менше 6 м від поверхні основи робочих карт;

– плівковий екран із поліетилену високого тиску товщиною 1,5–2,5 мм.

При влаштуванні плівкових екранів один із захисних шарів (підстилаючий або покриваючий) повинен бути виконаний з глинистого ґрунту (глина, суглинок), що дозволяє локалізувати дефекти, що виникають під час виробництва або укладання плівки. Після укладання на поверхню підкладки матеріал має бути захищений від руйнування зверху пластмасовим або гравійним дренажним шаром.

В даний час як гідроізоляційні екрани широко застосовуються синтетичні матеріали. Наприклад, карбофол та секутекс.

Карбофол – це ізолююче покриття, що виготовляється з поліетилену високої щільності низького тиску. Карбофол як геомембрана забезпечує повну ізоляцію від різних рідин, у тому числі токсичних. Застосування карбофолу як складової гідроізоляції основи захищає ґрунтові води від забруднення.

Секутекс являє собою голкопробивний штапельно-волокнутий нетканий геотекстильний матеріал, що використовується як розділовий, фільтруючий, захисний і дренажний шари. Він виготовлений зі 100% синтетичного

волокна, що забезпечує його довговічність. Секутекс застосовується як захисний шар. Він захищає геомембрану від механічних пошкоджень.

У деяких випадках (за високого стояння ґрунтових вод, високої токсичності відходів, неможливості виконання робіт з розробки ґрунту, у складних інженерно-геологічних умовах тощо) замість захисних екранів або спільно з ними можуть застосовуватися різні види протифільтраційних завіс. Принцип огороження полягає в тому, що вертикальні ізоляційні стіни зв'язуються в природну перешкоду для ґрунтових вод або штучно створені ізоляційні яруси.

Доступна чи технічно доцільна глибина таких ізоляційних стін залежить від наступних факторів:

- характеристики ґрунту;
- потужності пристрою;
- здатності введення окремих елементів у ґрунт;
- товщина стіни.

1.2. Розміщення відходів чорної металургії на полігонах

1.2.1. Загальні умови розміщення шлаків на полігонах

Об'єкти складування відходів виробництва та споживання призначаються для тривалого їх зберігання за умови забезпечення санітарно-епідеміологічної безпеки населення на весь період їх експлуатації та після закриття.

Не допускається розміщення полігонів на територіях, що заболочуються і підтоплюються.

Розміщення відходів біля об'єкта здійснюється різними способами: терасами, териконами, грядами, в котлованах, траншеях, цистернах, ємностях, накопичувачах, на картах, платформах.

Тверді промислові відходи IV класу небезпеки, такі як шлаки чорної металургії можуть вивозитися на міські полігони складування побутових відходів і застосовуватися як ізолюючий інертний матеріал у середній та верхніх частинах карт полігону. Прийом твердих промислових відходів IV класу небезпеки на

ділянку поховання токсичних промислових відходів допускається при відповідному техніко-економічному обґрунтуванні. Без обмеження в кількості на полігони приймаються і використовуються як ізолюючий проміжний шар шлаки, що мають однорідну структуру, з розміром фракцій менше 250 мм за умови збереження у фільтраті рівня біохімічного споживання кисню (БПК₂₀) на рівні 100–500 мг/л, ХПК – трохи більше 300 мг/л.

Відходи виробництва та споживання III–IV класу небезпеки дозволяється складувати разом із ТПВ у співвідношенні не більше 30% від маси ТПВ при вмісті в їх водній витяжці хімічних речовин, комплексний вплив яких за рівнем споживання кисню (БПК₂₀ та ГПК) не перевищує 4000–5000 мг/л, що відповідає фільтрату ТПВ.

Об'єкти мають бути забезпечені централізованими мережами водопостачання та каналізації, допускається використання привізної води для господарсько-питних цілей відповідно до санітарно-епідеміологічного висновку. Для очищення поверхневого стоку та дренажних вод передбачаються локальні очисні споруди.

Для запобігання потраплянню забруднень у водоносний горизонт та ґрунти передбачається гідроізоляція дна та стін ложа ущільненими глинистими, ґрунтобитумно-бетонними, асфальтобетонними, асфальто-полімербетонними та іншими матеріалами, що мають санітарно-епідеміологічний висновок.

На полігоні виконуються такі основні види робіт: прийом, складування та ізоляція відходів.

1.2.2. Складування відходів на робочій карті

Вивантажені з машин відходи складуються на робочій карті. *Робоча карта* – частина території полігону, на якій виконуються роботи за добу. Не допускається безладне складування відходів по всій площі полігону, за межами майданчика, відведеного на добу. Встановлюються такі розміри робочої карти: ширина 5 м (для траншейних карт – 12 м), довжина 30–150 м. Бульдозери зсувають відходи на робочу карту, створюючи шари заввишки до 0,5 м. За рахунок 5–10

ущільнених шарів створюється вал з пологим укосом висотою 2 м над рівнем майданчика розвантаження сміттевозів. Вал наступної робочої карти «насувають» до попереднього (складування *методом «насуву»*). За цього методу відходи укладають знизу вгору (рис. 1.4).

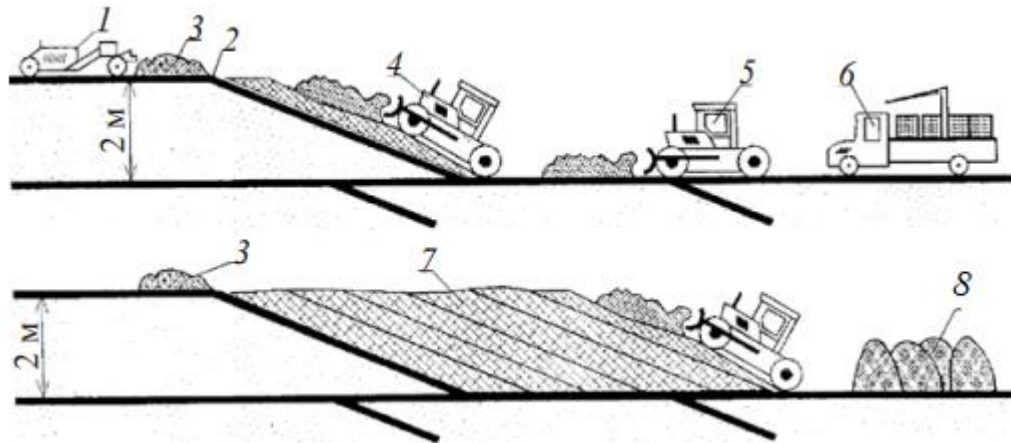


Рис. 1.4. Укладання відходів методом «насуву» (знизу вгору):
 1 – скрепер, що доставляє ґрунт; 2 – ізолюючий шар; 3 – ґрунт для ізоляції; 4 – бульдозер, що ущільнює відходи; 5 – бульдозер, що транспортує відходи від місця вивантаження із самоскида до робочої карти; 6 – машина на місці вивантаження; 7 – укладання похилих шарів; 8 – вивантажені відходи

Ущільнений шар відходів висотою 2 м ізолюється шаром ґрунту 0,25 м (забезпечуючи ущільнення в 3,5 рази і більше допускається ізолюючий шар товщиною 0,15 м). Розвантаження машин перед робочою картою має здійснюватися на шарі відходів, з часу укладання та ізоляції якого пройшло більше 3 місяців. У міру заповнення карт фронт робіт відступає від відходів, покладених у попередню добу.

Складування відходів *методом зіштовхування* здійснюється зверху вниз. Висота укосу має бути не більше 2,5 м. При методі зіштовхування на відміну від методу насуву транспорт розвантажується на верхній ізольованій поверхні робочої карти, утвореної в попередній день (рис. 1.5). У міру заповнення карт фронт робіт рухається вперед по покладених у минулу добу відходах.

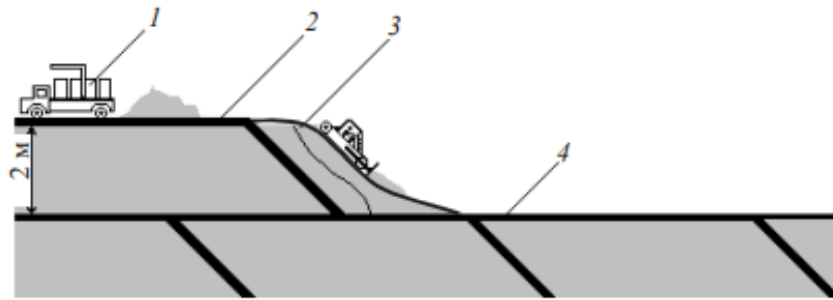


Рис. 1.5. Укладання відходів методом «згори донизу»: 1 – машина на місці розвантаження; 2 – ізоляція, нанесена у попередній день; 3 – ущільнення відходів на робочій карті; 4 – ізоляція, нанесена 0,5–1 рік тому

Для забезпечення рівномірного просідання тіла полігону необхідно двічі на рік виконувати контрольне визначення ступеня ущільнюваності відходів. Проміжна та остаточна ізоляція ущільненого шару відходів здійснюється ґрунтом. При складуванні відходів на відкритих, незаглиблених картах проміжна ізоляція у теплу пору року здійснюється щодобово, у холодну пору року – з інтервалом не більше трьох діб. Шар проміжної ізоляції складає 0,25 м.

1.2.3. Контроль дотримання вимог охорони навколишнього середовища

Дотримання послідовності основних операцій з експлуатації полігонів (рис. 1.6) забезпечує виконання вимог охорони довкілля.

Контроль за забрудненням ґрунтових вод здійснюється за допомогою взяття проб із контрольних колодязів, свердловин або шурфів, закладених по периметру полігону. Попередньо роблять відкачування або водовідлив (вода в контрольних колодязях, свердловинах і шурфах застоюється). Регулярному очищенню підлягають водовідвідні канали, забруднення з яких можуть потрапити у поверхневі води.

Щоб унеможливити несанкціоноване складування відходів, що містять радіонукліди, при надходженні на полігон відходи проходять *радіаційний дозиметричний контроль*.

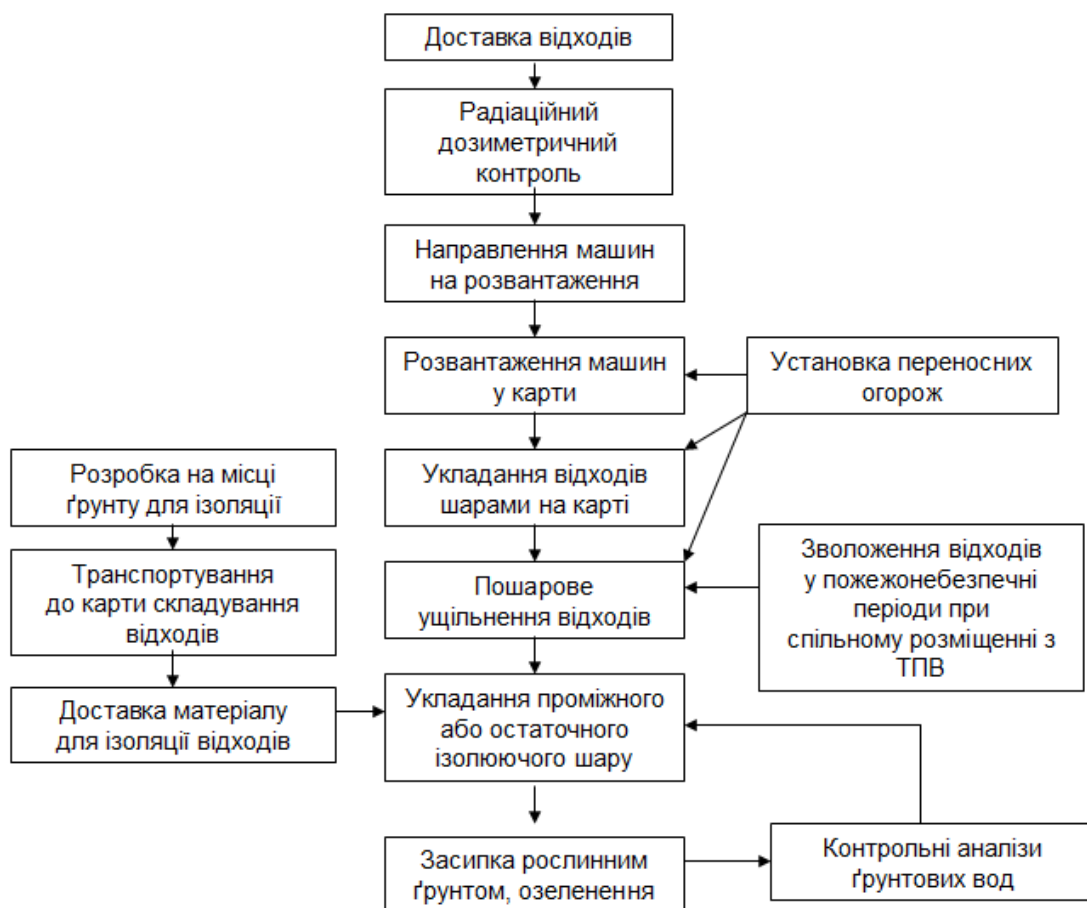


Рис. 1.6. Основні технологічні операції під час експлуатації полігонів

Промислові відходи (ПВ), що допускаються для спільного складування з ТПВ, повинні відповідати наступним вимогам: мати вологість не більше 85%, не бути вибухонебезпечними і самозаймистими. Основною *санітарною умовою* є вимога, щоб токсичність суміші промислових і побутових відходів не перевищувала токсичності побутових відходів за даними аналізу водної витяжки.

Промислові відходи IV класу небезпеки, що приймаються без обмежень у кількісному відношенні та використовуються як ізолюючий матеріал повинні мати вміст токсичних речовин у водній витяжці (1 л води на 1 кг відходів) на рівні фільтрату з твердих побутових відходів, а за інтегральними показниками – біохімічної потреби у кисні (БПК₂₀) та хімічної потреби у кисні (ХПК) – не вище 300 мг/л; мати однорідну структуру розміром фракцій менше 25 см.

1.2.4. Дренажна система збору та відведення фільтрату

Для відведення фільтрату з тіла полігону або з майданчика складування шлакових відходів чорної металургії поверх екрану влаштовується спеціальна система водовідведення. Передбачається система нагірних канав та дощова каналізація, а для відведення фільтрату – *дренажна система*. По всьому периметру зони поховання передбачені кільцевий канал та кільцевий вал заввишки не менше ніж 2 м.

Водонепроникна основа робочого тіла полігону або майданчика тимчасового складування виконується з ухилом так, щоб потік фільтрату стікав до дренажної траншеї, звідки самопливом надходить у приймальну криницю насосної станції. З насосної станції фільтрат передається або на очищення, або на полив робочого тіла полігону, або майданчики, в періоди, коли їх зволоження потрібне (рис. 1.7).

Існує кілька схем облаштування дренажних систем. За однією з них з метою покращення збору фільтрату та видалення його за межі робочого тіла полігону використовується система дренажних труб, покладених у траншеї, засипані фільтруючим матеріалом (рис. 1.8). Система дренажних труб більш ефективна, ніж дренажна траншея в зниженій частині основи полігону, оскільки вона виключає накопичення значних об'ємів фільтрату в тілі полігону, знижує гідростатичний тиск на водонепроникний екран, що зменшує ймовірність можливої інфільтрації у підземні горизонти. По дренажних трубах фільтрат надходить у контрольні-регулюючі ставки. Цільове призначення контрольні-регулюючого ставка:

- накопичення всіх видів стічних вод полігону (фільтрату, забруднених зливових та господарсько-побутових вод);
- усереднення складу стоків та рівномірна подача їх на очисні споруди;
- первинне очищення стоків в результаті тривалого відстоювання.

Контрольно-регулюючий ставок повинен мати протифільтраційний захист. Конструкція фільтраційного екрану ставка аналогічна конструкції протифільтраційного захисту

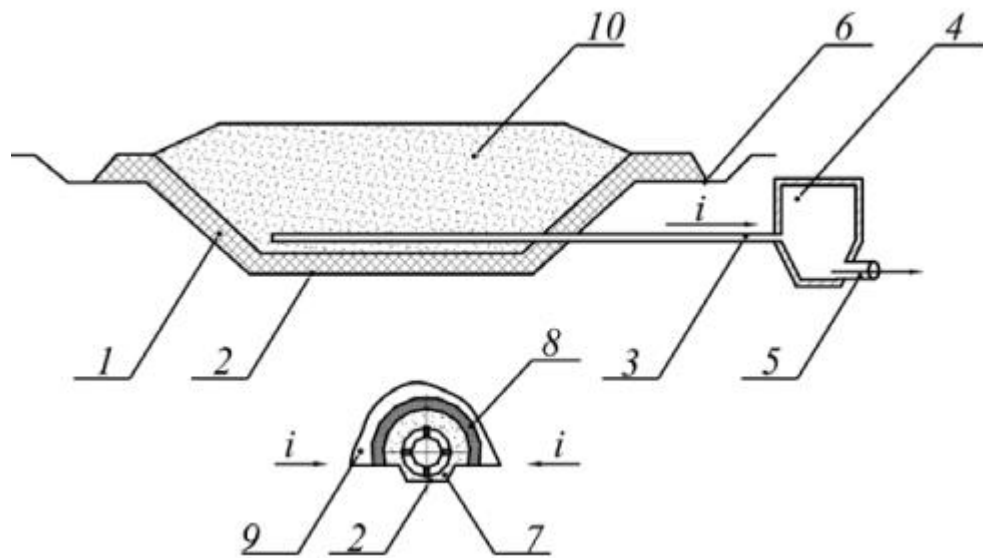


Рис. 1.7. Система збирання фільтрату високонавантажуваних полігонів: 1 – гідроізолюючий екран; 2 – дренажна перфорована труба; 3 – дренажна (неперфорована) труба; 4 – закрита труба-колектор; 5 – випуск із колектора в резервуар-накопичувач або на перекачування; 6 – нагрірна канава; 7 – щебінь фракції 20–40 мм; 8 – щебінь фракції 5–20 мм; 9 – піщане засипання; 10 – тіло полігону

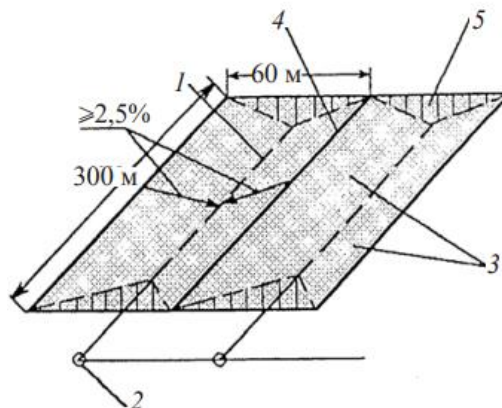


Рис. 1.8. Система збирання дренажних вод на полігоні: 1 – дренажна труба; 2 – колодязі для збирання дренажних вод; 3 – робоче поле; 4 – верхня частина робочого поля (вододіл); 5 – максимальний ухил 1:3

основи полігону. З контрольно-регулюючого ставка за допомогою насосних станцій вода перекачується на очисні споруди. Проблема відведення зливових вод із поверхні полігону вирішується за допомогою нагірних канав, лотків, перепускних труб.

Розглянуті схеми розміщення металургійних шлаків дозволяють мінімізувати шкідливий вплив на довкілля при короткочасному та довгостроковому зберіганні. Багаторічна практика складування відходів металургії на непідготовлених майданчиках призвела до забруднення ґрунту, підземних вод та поверхневих водойм, що не тільки межують із шлаковідвалами, а й значно віддалені від них. У разі використання стратегії сталого розвитку необхідно припинити використання непідготовлених майданчиків навіть для тимчасового розміщення відходів металургії.

1.3. Вплив шлаків на компоненти навколишнього природного середовища

1.3.1. Екологічна характеристика технологічних металургійних процесів

Розвиток людського суспільства відбувається у постійній взаємодії з природою. Вплив людини на довкілля неминуче, воно посилюється у міру розвитку продуктивних сил і збільшення маси речовин, що залучаються до господарського обороту. В даний час вплив людини на природу набуває такі масштаби, що в окремих регіонах можливі порушення відносної рівноваги, що існує в природі, причому ці порушення можуть стати незворотними. При цьому чим менш досконала технологія і чим менша увага (у правовому, адміністративному, виховному та інших відносинах) цим проблемам приділяється, тим більші втрати, часто непоправні, зазнає все суспільство. Тому в даний час промислово розвинені країни витрачають значні кошти, що досягають 2,0–2,5% по відношенню до валового національного продукту на вирішення проблем, пов'язаних з охороною природи.

Однією з галузей, до діяльності якої в екологічному плані людство ставить серйозні претензії, є металургія. Екологічну безпеку виробництва прийнято оцінювати з урахуванням землеємності, ресурсомісткості та відхідності. За рівнем екологічної небезпеки для навколишнього середовища чорну металургію можна порівняти з хімічною, нафтохімічною

промисловістю і теплоенергетикою. За ступенем збитків, завданих навколишньому середовищу, чорна металургія займає друге місце серед галузей промисловості після паливно-енергетичного комплексу, відрізняючись високою ресурсоемністю та, як наслідок, великими об'ємами відходів.

Погіршення якості довкілля веде до зростання захворюваності населення. На думку медиків, більше половини всіх хвороб пов'язано з шкідливим впливом хімічних і фізичних чинників середовища. Сьогодні в чорній металургії часто може виявитися доцільнішим застосувати процес, що менш забруднює довкілля, ніж контролювати з великими витратами рівень забруднень традиційних процесів та організовувати боротьбу із цими забрудненнями.

У галузях металургії великим попитом користується розробка маловідходних технологій. Під маловідходним розуміється виробництво, шкідливий вплив якого на навколишнє середовище не перевищує рівня, допустимого санітарними нормами, але певна частина відходів все ж таки має місце, відповідно, є відвали, поховання відходів тощо.

Водоспоживання. Металургія, поряд з хімією, – одна з водоспоживаючих галузей промисловості. Чорна металургія споживає 13–15% загальної кількості води, яка витрачається усіма галузями промисловості. Незважаючи на заходи щодо ефективного використання оборотної води, що вживаються, більше 4% загального споживання води з природних джерел припадає на чорну металургію. В даний час питома витрата води на 1 т сталі, включаючи всі технологічні операції з видобутку та підготовки руди, коксу, а також подальшого переділу чавуну в сталь, а далі – в прокат, труби, металовироби і т.д., перевищує 260 м³. На жаль, це число включає значну кількість води із природних джерел. Важлива роль у проблемі раціонального використання та охорони водних ресурсів належить нормуванню водоспоживання та водовідведення, використанню нетрадиційних джерел водопостачання, таких як поверхневий стік, стічні води міст після біологічного очищення.

Чорна металургія – одна з галузей промисловості, що *споживає величезну кількість матеріалів*, що за своєю масою значно перевищують масу готового продукту. Серед відходів

металургійного виробництва особливе місце посідають шлаки. Кількість шлаків, що утворюються, дуже велика. Металургійні шлаки містять низку компонентів, які можуть бути ефективно використані. Тому шлакопереробка та утилізація металургійних шлаків набула в цивілізованому світі широкого поширення, і сьогодні на більшості металургійних заводів Європи та Америки не тільки утилізуються всі шлаки, що утворюються, а й розробляються старі шлакові відвали. У шлакових відвалах зберігаються сотні мільйонів тонн шлаку, відвали займають значні площі. Переробка та використання шлаків (і уловленого плавильного пилю) в даний час являють собою самостійну підгалузь металургійного виробництва.

Металургійні шлаки і пил мають такі властивості: агрегатний стан – твердий, небезпечні властивості – токсичні; клас безпеки для довкілля – IV.

Відвали металургійних виробництв є техногенними об'єктами, які можна досліджувати як об'єкти з вивчення високотемпературних процесів мінерагенезу та осклування – аналог вулканічної діяльності. За мінеральним складом та структурно-текстурними особливостями шлаки металургійних виробництв можна порівняти з природними вулканічними утвореннями (аналог продуктів вулканічної діяльності). Так, наприклад, структура спініфекс, утворення футляроподібних, скелетних і дендритних кристалів типові для вулканічних гірських порід, зокрема базальтів, і свідчать про те, що відбувалося швидке охолодження розплаву з утворенням скла та кристалів у ньому. Такі ж структурні особливості властиві шлакам металургійного виробництва. Дослідження металургійних шлаків може дати розуміння процесів утворення вулканічних гірських порід.

Як і у випадку гірських порід, при вивітрюванні шлаків (у відвалах тощо) у них виникають вторинні мінерали: портландит, кальцит, гіббсит, ферум гідроксиди, сірка, гіпс, опал та ін.

Відмінною рисою шлаків є відсутність поширеного в гірських породах кварцу, навіть у шлаках найбагатших за SiO_2 . Це пояснюється високими температурами кристалізації шлаків.

Для скла литих шлаків характерна висока залозистість, що зумовлює їх нестійкість у гіпергенних умовах. У процесі

руйнування такого скла у навколишнє середовище крім Fe і Si у значних кількостях надходять Zn, Ca, K, S, P, Mg.

1.3.2. Вплив металургійного виробництва на атмосферне повітря

Структура техногенних утворень залежить від виду та умов складування відходів. На великих металургійних комбінатах відходи складають за видами виробництв: доменні та сталеплавильні шлаки та виробниче сміття. На малих заводах зазвичай влаштовують загальні відвали, часто змішуючи шлаки зі сміттям. При зберіганні відходів відбуваються процеси, що змінюють властивості вихідної відвальної маси, хімічний, мінеральний та гранулометричний склади, міцність, щільність та ін.

За фізико-технічною оцінкою складові техногенних утворень можна віднести до штучно змінених зв'язаних пород, придатних для виїмково-вантажних та транспортних робіт. За рівнем зв'язності вони ближчі до зв'язно-сипуче зруйнованих порід. Гранулометричний склад техногенних утворень залежить від виду шлаку, способу збирання, первинної переробки, умов утримання та термінів зберігання відвальної маси. У відвалах, де складають шлак, минаючи первинну переробку, переважають крайні класи: >120 та <10 мм. Тут велика кількість включень металу та негабаритного шлаку.

За час існування металургійних заводів поруч із ними накопичилося дуже багато шлаків. Давно відомо, що навіть старі, вже виведені з експлуатації відвали погано впливають на атмосферу, гідросферу та ґрунтовий покрив місцевості, а через них – на стан флори, фауни та здоров'я людей. Тому ліквідація шлакових відвалів сьогодні стала одним із найнагальніших завдань охорони навколишнього середовища.

Вплив розпаду шлаків на атмосферне повітря. Саморозпадний шлак, в якому міститься до 90% кальцій ортосилікату, охолоджується безконтрольно. З ковша розплавлений шлак виливають на майданчик розпаду, де він утворює величезні розпечені до червоного кольору глиби. Охолоджуючись, вони стають оливковими, вся поверхня їх

здувається і починають бризкати фонтанчики тонкого білого порошку, ще дуже гарячого. Через кілька хвилин глиби перетворюються на гірки білого або злегка сірого порошку. Але він не твердне від води. Шлак з майданчика розпаду транспортується у відвал. Зберігання цього пилоподібного шлаку завдає шкоди. Вітер розносить пил по окрузі, через що у місцевого населення виникають захворювання легень та очей. Змитий дощами та талими водами шлаковий пил забруднює ґрунт та водоймища, розчинні компоненти проникають у ґрунтові води, а потім у джерела та колодязі.

Крім того, небезпечними наслідками діяльності промислових підприємств можуть бути *техногенні викиди в атмосферу активних молекул і радикалів*. у результаті знижується концентрація O_3 в озоновому шарі. Підприємства чорної металургії є «постачальниками» CO , CO_2 та NO_x в атмосферу. Домінуючими серед викидів в атмосферу є газоподібні та рідкі забруднюючі речовини, з яких більша частина припадає на карбон(II) оксид. Значним джерелом забруднення навколишнього середовища в чорній металургії є агломераційне виробництво. Аглофабрики викидають в атмосферу близько 50% усієї кількості CO та сульфур(IV) оксиду, понад 20% оксидів Нітрогену та пилу. Наприклад, газоподібні відходи аглофабрики «Азовсталь» складаються з: CO – 12–85%, CO_2 – 5–11 %, N – 0,2–5%, пилу – 0,25 кг/м³.

Характерними забруднюючими атмосферне повітря речовинами для підприємств металургійного виробництва є також високотоксичні та канцерогенні речовини, такі як бензопірен, гідроген ціанід, фенол, фтористі газоподібні та малорозчинні фтористі сполуки, пил коксовий та агломераційний, викиди яких становлять понад 90% від маси викидів.

Екологічно небезпечним компонентом металургійних шлаків є сірка. При охолодженні шлаку розчинність сірки в ньому падає і сірка переходить у навколишнє повітряне або водне середовище у вигляді SO_2 або H_2S .

CO та флуорвмісні сполуки сильно впливають на глобальне потепління, тому підприємства металургійної галузі роблять найбільший внесок у викиди парникових газів. Газоподібні

викиди завдають великої шкоди рослинам, що вегетують, причому особливо небезпечні залпові викиди підвищеної концентрації, які викликають появу на листях рослин ділянок хлорозу та некрозу, при більш тривалому впливі спостерігається раннє пожовтіння та опадання листя.

1.3.3. Вплив металургійного виробництва на ґрунт та рослинність

На ландшафти та їх компоненти впливають техногенні викиди підприємств чорної металургії, що містять пил і газу. Наприклад, якщо пил, що викидається металургійним комбінатом, містить до 30–70% сполук Феруму (оксидів, сульфатів, карбонатів) та 20% сполук Кальцію та Магнію, то формується зона забруднення лужного типу, що спричиняє суттєві зміни у ґрунтовому та рослинному покривах, впливає на міграцію речовин та елементів у ландшафті.

Спочатку геохімічна неоднорідність ландшафтів обумовлює їх різну реакцію у відповідь на техногенне забруднення. Для оцінки реакції ландшафтів та їх компонентів на це забруднення необхідні відомості про динаміку, інтенсивність і форми техногенних навантажень і фонові геохімічні характеристики ландшафтів.

Осідання пилу з пилогазових викидів шлакових відвалів залежить від розмірів порошин і метеорологічних умов. Великі частинки осідають поблизу комбінату та відвалів, а дрібні можуть зноситися вітром на значні відстані. Це підтверджується дослідженням зольності торфу. Сфагновий та інші торфи є ландшафтними індикаторами техногенного забруднення, оскільки їх шари зберігають інформацію тривалий час.

Техногенні забруднення накопичуються переважно у верхньому шарі ґрунту й у дернині (до 10 см), що значно для лугових рослин, оскільки на луках переважає життєва форма трав гемікриптофіти, котрим характерне розташування бруньок відновлення у дернині та на рівні поверхні ґрунту. Ця обставина викликає *суцесії видового складу луків*, пов'язані зі стійкістю лугових трав до техногенного забруднення.

Аналіз біорізноманіття лугів чітко показує його збіднення з наростанням техногенного забруднення. Особливо чутливі до техногенного забруднення різні види конюшини – вони першими зникають із травостою. Сміттєві та рудеральні види здатні накопичувати в тканинах значну кількість важких металів. Наприклад, бодяк і мати-й-мачуха (рудеральний вид) накопичують багато міді. Тому в умовах техногенного забруднення вони набувають перевагу перед луговими видами. Для боротьби із забрудненням ґрунтів рекомендується вносити у ґрунт торф.

Накопичення техногенних забруднень у дернині та верхньому шарі ґрунту впливає на відновлення деревостою, ускладнюючи появу сходів. Тому, хоча деякі луки давно перестали косити, сходи дерев та підрости на них відсутні на відміну від фонові території, де є підріст дерев заввишки 1,5–3 м.

Мікроелементи в ґрунті можуть негативно впливати на рослини, якщо концентрація їх доступних форм перевищує певні межі. Деякі важкі метали, наприклад, Меркурій, Плюмбум і Кадмій, які, мабуть, не дуже важливі для рослин і тварин, небезпечні для здоров'я людини навіть за низьких концентрацій.

Рухливі форми метало-іонів у ґрунті. Доки важкі метали міцно пов'язані з складовими частинами ґрунту і важкодоступні, їх негативний вплив на ґрунт і навколишнє середовище буде незначним. Однак, якщо ґрунтові умови дозволяють перейти важким металам у ґрунтовий розчин, з'являється пряма небезпека забруднення ґрунтів, виникає ймовірність проникнення їх у рослини, а також в організм людини та тварин, які споживають ці рослини. Крім того, при використанні мулу стічних вод важкі метали, що містяться в ньому, можуть забруднити екосистему. Небезпека забруднення ґрунтів та рослин залежить від: виду рослин; форм хімічних сполук у ґрунті; присутності елементів, які протидіють впливу важких металів та речовин, що утворюють з ними комплексні сполуки; процесів адсорбції та десорбції; кількості доступних форм цих металів у ґрунті; ґрунтово-кліматичних умов. Отже, негативний вплив важких металів залежить від їх рухливості, тобто, розчинності. Важкі метали в основному характеризуються

змінною валентністю, низькою розчинністю їх гідроксидів і високою здатністю утворювати комплексні сполуки.

До факторів, що сприяють утриманню важких металів ґрунтом, належать: обмінна адсорбція поверхні глини і гумусу, формування комплексних сполук з гумусом, адсорбція поверхнева та оклюзування, тобто здатність поглинати гази гідроксидами Алюмінію, Феруму, Мангану та ін., а також формування нерозчинних сполук, особливо при відновленні.

Метали мають здатність передаватися по ланцюгах живлення, накопичуючись у тканинах рослин, тварин та людини.

Пил, що містить сполуки Плюмбуму, осідає на поверхні ґрунтів, адсорбується органічними речовинами, пересувається за профілем із ґрунтовими розчинами, в невеликих кількостях виноситься за межі ґрунтового профілю. Завдяки процесам міграції в умовах кислого середовища утворюються техногенні аномалії Плюмбуму, метал накопичується в рослинах. У зерні пшениці та ячменю кількість Плюмбуму у 5–8 разів перевищує фоновий вміст, у бадиллі картоплі – більш ніж у 20 разів, у його бульбах – більш ніж у 26 разів.

Кадмій, Ванадій і Цинк акумулюються у гумусовій товщі ґрунтів. Характер їх розподілу у ґрунтовому профілі та ландшафті має багато спільного з характером розподілу інших металів. Однак Кадмій закріплюється у ґрунтовому профілі менш міцно, ніж Плюмбум. Максимальна адсорбція Кадмію властива нейтральним та лужним ґрунтам з високим вмістом гумусу та високою ємністю поглинання. Вміст його в підзолистих ґрунтах може становити від сотих часток до 1 мг/кг, у чорноземах – до 15–30 мг/кг, а у червоноземах – до 60 мг/кг.

Арсен найбільш міцно утримується у ґрунтах, що містять активні форми Феруму, Алюмінію та Кальцію. Фоновий вміст Арсену у ґрунтах становить соті частки мг/кг ґрунту. Забруднення ґрунтів Арсеном викликає, зокрема, загибель дощових хробаків.

Цинк і Купрум менш токсичні, ніж названі вище важкі метали, але надмірна їх кількість у відходах металургійної промисловості забруднює ґрунт і пригнічує зростання мікроорганізмів, знижує ферментативну активність ґрунтів, знижує врожай рослин.

Слід зазначити посилення токсичності важких металів за їх спільного впливу на живі організми у ґрунті. Сумісний вплив Цинку і Кадмію має в кілька разів сильнішу інгібуючу дію на мікроорганізми, ніж при такій же концентрації кожного елемента окремо. Багато ґрунтових безхребетних концентрують Кадмій у своїх організмах. Кадмій засвоюється дощовими хробаками, мокрицями та равликами в 10–15 разів активніше, ніж Плюмбум і Цинк.

Ландшафтна структура природоохоронних зон визначає фоновий вміст хімічних речовин у природних водах, а також шляхи міграції та можливості проникнення у водосховище техногенних забруднень. Від ландшафтної структури водоохоронних зон залежить наявність у ґрунтах та підстилаючих породах певного набору хімічних речовин, що пов'язано з походженням та формуванням ландшафтів. Техногенний вплив призводить до формування в ландшафтах геохімічних аномалій, що відбивається на ґрунтовому та рослинному покриві, а також на міграції речовин та елементів.

1.3.4. Вплив металургійного виробництва на водні об'єкти

У технологічному циклі металургійних підприємств використовується велика кількість води, що зумовлює розташування їх поблизу водних об'єктів. Відповідно, більшість металургійних шлаків складається у відвалах на берегах річок та водойм відкритим способом, при якому відвал металургійних шлаків є джерелом вторинного забруднення навколишнього середовища внаслідок емісій забруднюючих речовин у повітря, об'єкти гідросфери і ґрунти. Під впливом атмосферних опадів і в результаті вивітрювання відбувається вилюговування з металургійних шлаків іонів важких металів та іонів твердості, що призводить до збільшення їх вмісту у воді рік у порівнянні з фоновими концентраціями.

Проведені оцінки впливу відвалів на стан річок, їх донних відкладень і підземних вод показали істотний негативний вплив складованих шлаків. Зафіксовано зміну хімічного складу вод, мінерального та мікрокомпонентного складу донних відкладень.

Переробка шлаку є однією з основних екологічних проблем у сучасному металургійному виробництві. Існують різні способи їх переробки. Так, наприклад, способи грануляції дозволяють за порівняно невеликих капітальних витрат забезпечити швидку переробку значної кількості шлаків. Проте грануляція завдає шкоди водним ресурсам. Існуючі способи грануляції шлаку пов'язані з його зволоженням великою кількістю води. Відомо, що кількість води на грануляцію доменного шлаку становить до $3,5 \text{ м}^3/\text{т}$, що призводить до безповоротної втрати та погіршення якості питної води. У ході мокрої грануляції відбувається випаровування води, яке може досягати 10% від об'єму води, що витрачається для цього процесу. При цьому отриманий шлак необхідно зневоднювати, що вимагає витрати палива.

Одним із недоліків мокрого способу грануляції є недосконалість систем оборотного водопостачання та забруднення води. Оборотні води систем грануляції шлаків мають температуру $45\text{--}75 \text{ }^\circ\text{C}$, містять зважені речовини (іони Ca^{2+} , SO_3^{2-} , HS^- , Cl^-) і мають лужну реакцію і високу твердість. Забруднюючими речовинами є вапно, сірководень, тіосульфати і аміак при загальній мінералізації до $5,15 \text{ г/л}$. Скидання такої води у водоймища громадського користування викликає їхнє теплове, хімічне та механічне забруднення.

Перешкодою для використання шлаку в морському будівництві та очевидною причиною обмеженого його використання для цих цілей є небезпека переходу шкідливих речовин, насамперед сполук Сульфуру, із шлаку у водне середовище. Дослідження підтвердили повну обґрунтованість таких побоювань. Було досліджено взаємодію з водою наступних зразків шлаку МК «Азовсталь»: необроблений шлак відразу після застигання (зразок 1); шлак промитий водою (зразок 2); гранульований шлак (зразок 3); шлак із відвалу з терміном зберігання 1 рік (зразок 4). Зразки 1–4 поміщали у дистильовану воду на 168 год. Результати аналізу показують, що використання необробленого шлаку (зразок 1) викликає значне забруднення води з розчиненням у ній великої кількості сполук Сульфуру та утворенням сульфідів і сірководню. Обробка шлаку водою (зразки 2 та 3) та тривала витримка у відвалі (зразок 4)

скорочує ступінь забруднення водного середовища в 3–3,5 рази, але не виключає його повністю.

При поміщенні подрібнених зразків необробленого шлаку в морську воду на тривалий термін (до 0,5 року) без контакту з атмосферою спостерігалось помутніння води приблизно через 1 місяць. Через 6 місяців розчин знову став прозорим. При аналізі водної фази виявили наявність сульфатів та сульфідів. Основний вміст Сульфуру (понад 90%) припадає на елементарну сірку. Через 6 місяців весь Сульфур розчині перетворюється до сірководню, сульфати практично зникають.

При поміщенні в морську воду попередньо прогріту до 100 °С, зразків шлаку, прожарених при 110 °С, подібних явищ не спостерігалось. Таким чином, при попаданні в морську воду необробленого шлаку на його збагаченій Сульфуром поверхні починають розвиватися колонії сіробактерій, що відновлюють сполуки Сульфуру до сульфідів. З цього можна зробити висновок, що застосування при морському будівництві необробленого металургійного шлаку, насиченого Сульфуром, екологічно небезпечно.

Шлакові відвали металургійних підприємств негативно впливають на водні об'єкти, атмосферу та ґрунт. Вплив проявляється у зміні хімічного складу вод, мінерального та мікрокомпонентного складу донних відкладень. В атмосферу відбувається викид високотоксичних та канцерогенних речовин. Важкі метали, що потрапляють із шлакових відвалів в атмосферне повітря, присутні у формі органічних та неорганічних сполук, що входять до складу пилу і аерозолів. Один із шляхів зниження антропогенного впливу – використання шлаків як вторинних джерел сировини для промисловості та будівництва.

Питання для самоконтролю

1. Опишіть призначення, загальні умови та способи здійснення тимчасового складування шлаків чорної металургії.

2. Які основні принципи створення системи протифільтраційного захисту майданчику складування шлакових відходів?

3. Перелічіть вимоги до штучних екранів системи протифільтраційного захисту. Які природні матеріали використовуються для створення захисних екранів?

4. За яких умов можливе спільне складування відходів виробництва та споживання III–IV класу небезпеки разом із ТПВ? Назвіть умови використання шлаків в якості ізолюючого проміжного шару на полігоні.

5. Що таке робоча карта і як здійснюється складування відходів на ній?

6. Перелічіть основні технолоічні операції під час експлуатації полігонів та основні контролюючі заходи.

7. Опишіть принцип роботи дренажної системи полігону. Які схеми дренажних систем Вам відомі? Для чого створюють контрольнo-регулюючі ставки поряд з полігонами відходів?

8. За якими ознаками процеси утворення металургійних шлаків співпадають з вулканічними процесами?

9. Охарактеризуйте вплив продуктів розпадів шлаків на атмосферне повітря.

10. Які чинники сприяють утриманню важких металів, що вилуговуються зі шлакових відвалів, у ґрунтах? Перелічіть метали, що найчастіше накопичуються у ґрунтах поблизу металургійних виробництв та їх шлакових відвалів. Опишіть вплив даних металів на мікроорганізми ґрунту та рослини.

11. З якими процесами обробки шлаків пов'язана велика витрата води металургійними підприємствами? Перелічіть забруднюючі речовини, що потрапляють у гідросферу. Як їх наявність у водах відображається на елементном складі донних відкладень?

Розділ 2

ЗАПОВНЮВАЧІ ІЗ МЕТАЛУРГІЙНИХ ШЛАКІВ. МАТЕРІАЛИ ІЗ ШЛАКОВИХ РОЗПЛАВІВ

2.1. Заповнювачі із металургійних шлаків

Металургійні шлаки є значним резервом забезпечення будівельної індустрії заповнювачами для будівельних конструкцій та матеріалів. Шлакові заповнювачі за величиною насипної щільності можуть бути важкими ($\rho > 1000 \text{ кг/м}^3$) та легкими ($\rho < 1000 \text{ кг/м}^3$), а по крупності зерен – дрібними ($< 5 \text{ мм}$) та великими ($> 5 \text{ мм}$).

2.1.1. Шлаковий щебінь

Шлаковий щебінь отримують дробленням відвальних металургійних шлаків або спеціальною обробкою вогненно-рідких шлакових розплавів (литий шлаковий щебінь). Для виробництва щебеню в основному застосовують відвальні шлаки, сталеплавильні (прийнятні для переробки в щебінь), а також мідеплавильні, нікелеві та інші шлаки кольорової металургії.

До ефективних видів важких заповнювачів бетону, що не поступається за фізико-механічними властивостями продуктам дроблення щільних природних кам'яних матеріалів, відноситься литий шлаковий щебінь. При виробництві цього матеріалу вогненно-рідкий шлак із шлаковозних ковшів зливається шарами завтовшки 250–500 мм на спеціальні ливарні майданчики або в трапецієподібні ями-траншеї (рис. 2.1).

При витримуванні протягом 2–3 годин на свіжому повітрі температура розплаву в шарі знижується до $800 \text{ }^\circ\text{C}$ шлак кристалізується. Потім його охолоджують водою, що призводить до розвитку чисельних тріщин. Шлакові масиви на лінійних майданчиках або траншеях розробляються екскаваторами з подальшим дробленням і грохочінням.

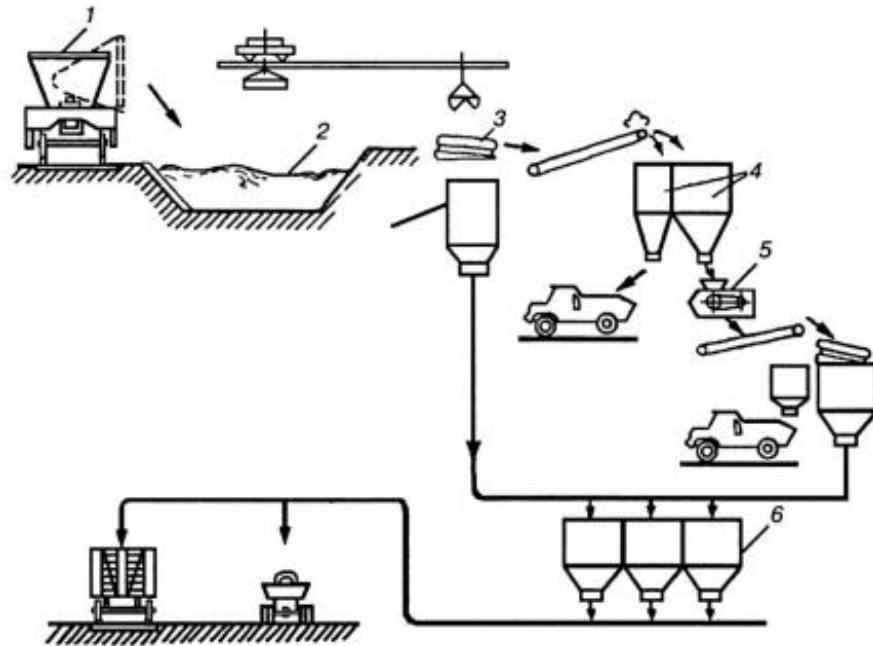


Рис. 2.1. Схема виробництва литого щебеню траншейним способом:
 1 – шлаковивізний ківш; 2 – траншея для шлакових розплавів; 3 – грохот;
 4 – бункери; 5 – дробарка; 6 – бункери для готової продукції (шлакового щебеню)

Для отримання литого щільного шлакового щебеню кристалічної структури застосовуються «малогазисті» вогненно-рідкі шлаки, в яких при охолодженні утворюється мінімальна кількість пор; середня щільність шматків цих шлаків становить щонайменше 2200 кг/м^3 .

Фізико-механічні властивості литого шлакового щебеню:

- середня щільність шматків, кг/м^3 – 2200–2800
- істинна щільність, кг/м^3 – 2900–3000
- межа міцності на стиск, МПа – 60–100
- водопоглинання, мас. % – 1–5
- насипна щільність щебеню, кг/м^3 – 1200–1500.

Литий шлаковий щебінь характеризується високою морозо- та жаростійкістю, а також опором стирання. Вартість його майже в 2 рази менша від вартості щебеню з природного каменю.

Використання литого шлакового щебеню. Для виготовлення бетонних та залізобетонних виробів застосовують фракціонований литий шлаковий щебінь крупністю 5–70 мм. Несортований матеріал використовується у дорожньому будівництві та у виробництві мінеральної вати, а відсів може

служити заповнювачем жароупорних бетонів та частково замінювати гранульований шлак у виробництві ШПЦ.

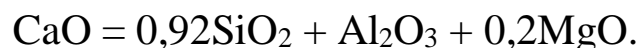
Використання щебеню із відвального шлаку. Дрібна фракція використовується для виготовлення асфальту, вогнетривкого бетону, а також плит та блоків для зведення промислових об'єктів. Щебінь середнього та великого розмірів застосовується як підсіпка для дорожнього покриття, для виробництва шлакоблоків, тротуарної плитки та різних видів бетону. Крім цього, матеріал великої фракції користується попитом у ландшафтному дизайні.

Стійкість шлаків. Необхідною умовою отримання заповнювачів з металургійних шлаків є їхня стійкість до різних видів розпаду. Особливо небезпечний силікатний розпад, характерний для висококальцієвих, маломарганцевих та малоглиноземистих шлаків. Поліморфне перетворення кальцій ортосилікату може виникнути при повільному охолодженні шлаків.

Для прискореної оцінки стійкості шлаків до силікатного розпаду пробу піддають пропарюванню над киплячою водою або в автоклаві за тиском 0,2 МПа. Шлаковий щебінь вважається стійким до силікатного розпаду, якщо втрата маси для фракції, що випробовується, не перевищує 5%.

Схильність до силікатного розпаду можна визначити, опромінюючи шлаки ультрафіолетовими променями (люмінесцентний метод). Шлаки, схильні до силікатного розпаду, відрізняються жовтим або золотистим світінням, а стійкі – фіолетовим відтінком при їх розливанні.

Попередню оцінку стійкості структури доменного шлаку роблять, знаючи його хімічний склад. Стійку структуру мають шлаки, в яких вміст кальцій оксиду (%) не перевищує величину, обчислену за формулою



Способи стабілізації шлаків, що схильні до силікатного розпаду, є їхнє швидке охолодження (термічна стабілізація); наприклад, злив шлакових розплавів тонким шаром із укусу шлакової гори або грануляція.

Крім термічної розроблені також способи хімічної та кристалохімічної стабілізації шлаків, засновані на введенні в розплав добавок, що сприяють утворенню стійких сполук. При хімічному способі стабілізації у розплав зазвичай вводяться добавки (глина, пісок), що зв'язують кальцій оксид і сприяють кристалізації стійких мінералів (геленіту, окерманіту та ін). Сутність кристалохімічного способу полягає у стабілізації структури запровадженням деяких добавок у шлаковий розплав. До ефективних стабілізаторів, при введенні яких утворюється стійка решітка кальцій ортосилікату, відносяться луѓи, оксиди Фосфору, Бору та ін.

Небезпечний також *залізистий розпад шлаків*, що викликається збільшенням об'єму (майже на 38%) при дії води на ферум(II) сульфід з утворенням $\text{Fe}(\text{OH})_2$. Стійкість до залізистого розпаду встановлюється витримуванням шлакового щебеню в дистильованій воді протягом 30 діб. Втрата маси не повинна перевищувати 5%.

Для запобігання *вапняному та магнезійальному розпаду* в шлаках, що переробляються на заповнювачі, не допускаються вільні оксиди Кальцію та Магнію.

Розпад шлаків починається в процесі їх охолодження та завершується у відвалах протягом 2–3 місяців. Шлаки, що пролежали у відвалах тривалий час і не мають ознак розпаду, вважаються стійкими.

Зерновий склад шлакового щебеню. Залежно від крупності зерен шлаковий щебінь ділиться на фракції, мм: 5–10, 10–20, 20–40, 40–70, 70–120. Зерновий склад шлакового щебеню, як й інших видів заповнювачів, підбирається задля забезпечення мінімальної порожнечі. Мінімальна насипна щільність щебеню кожної із фракцій становить 1000 кг/м^3 . Вміст зерен пластинчастої та голчастої форми має бути для щебеню: кубовидного – не більше 15%; покращеного – 25%; нормального – 35%. Довжина таких зерен у три і більше разів перевищує їх товщину чи ширину.

Міцність шлакового щебеню характеризується його маркою (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

Марки за міцністю щебеню з доменного шлаку, що застосовується як заповнювач важкого бетону

Марка щебеню за міцністю	1200	1000	8800	600	300
Втрата в масі після випробувань, %	до 15	15–25	25–35	35–45	45–55

Щебінь марки 1200 може бути використаний для виготовлення бетону марки М400 і вище,
 марки 1000 – для бетону М300,
 марки 800 – для бетону М200,
 марки 600 – для марок бетону нижче М200.

Щебінь низьких марок застосовується також під час виготовлення бетонів вищої міцності, але після відповідної перевірки та техніко-економічного обґрунтування.

Морозостійкість щебеню. Залежно від числа циклів, які витримує щебінь під час випробування, встановлюють його марки за морозостійкістю (табл. 2.2).

Таблиця 2.2

Марки шлакового щебеню за морозостійкістю

Випробування	Марки щебеню						
	F15	F25	F50	F100	F150	F200	F300
Безпосереднє заморожування: число циклів	15	25	50	100	150	200	300
Втрата маси після випробування, %, не більше	10	10	5	5	5	5	5

Домішки у шлаковому щебені. Вміст у шлаковому щебені пилоподібних і глинистих частинок, що відмучуються, повинен бути не більше 3% для слабоактивного і неактивного шлаків. Для активних і високоактивних шлаків вміст домішок, що відмучуються, не нормується.

Неприпустимим є вміст у щебені домішок паливних шлаків, золи, колошнікового пилу.

Вміст глини в грудках у щебені зі шлаків всіх видів не повинен бути більше 0,25 мас. %.

У металургійних шлаках міститься сірка, що викликає корозію арматурної сталі. У щебені з доменного шлаку її вміст не повинен перевищувати 2,5 мас. %. Наявність сірки необхідно враховувати у виробництві переднапружених залізобетонних конструкцій, де можливість використання шлакового щебеню має бути обґрунтовано спеціальними дослідженнями.

Поряд із щільними відвальними шлаками для виробництва щебеню використовують *пористі шлаки*, що утворюються з розплавів з великим газонасиченням, спучуванням бульбашками газів, що виділяються. Міцність пористих відвальних шлаків – 2,5–40 МПа; середня щільність у шматку становить 400–1600 кг/м³, що дозволяє забезпечити насипну щільність щебеню 800 кг/м³ і менше та застосовувати їх для виробництва легких бетонів.

Фізико-механічні властивості шлакового щебеню змінюються у ширшому інтервалі, ніж щебеню з гірських порід (табл. 2.3), що обумовлено коливаннями якості сировинних матеріалів та технологічних параметрів.

Таблиця 2.3

**Фізико-механічні властивості шлакового щебеню на різних
шлаках**

Вид шлака або породи	Істинна щільність, кг/м ³	Середня щільність, кг/м ³	Водопоглинання за масою, %	Межа міцності при стисканні, МПа	Показник подрібнення, %
Граніт	2650	2650	0,2	120	11
Шлаки:					
доменний щільний	2950	2820	1,5	104	19
пористий	2940	2300	7,3	62	44
мартенівський	3200	3030	2,3	110	17
конвертерний	3100	2800	4,0	76	39
мідеплавильний	3500	3430	0,4	140	6
фосфорний	2950	2850	0,9	135	12

Шлаковий щебінь застосовується не тільки як заповнювач цементних бетонів, але також у дорожньому будівництві для зміцнення основ та улаштування асфальтобетонних покриттів. Залежно від структурних особливостей, опору стирання та подрібнення шлаковий щебінь ділиться на марки (табл. 2.4).

Таблиця 2.4

Марки шлакового щебеню по стираності

Марка	И1	И2	И3	И4
Втрата маси при випробуваннях, %	< 25	25–35	35–45	45–60

2.1.2. Мінеральний порошок

Зі сталеплавильних шлаків отримують високоякісний мінеральний порошок, що є важливим структуроутворюючим компонентом (наповнювачем) асфальтобетону. На частку мінерального порошку припадає 90–95% сумарної поверхні мінеральних зерен, що входять до складу асфальтобетону. Основне його призначення – це переведення бітуму в плівковий стан, а також заповнення пір між великими частинками, внаслідок чого підвищуються щільність та міцність асфальтобетону. Мінеральному порошку зі сталеплавильних шлаків властива більш розвинена поверхня, ніж порошку з карбонатних матеріалів і, як наслідок, більше набухання в суміші з бітумом.

Вимоги до мінерального порошку із подрібнених основних металургійних шлаків для асфальтових бетонів представлені у таблиці 2.5.

Мінеральний порошок підвищує міцність асфальтобетону, але водночас збільшує його крихкість. Тому вміст мінерального порошку в суміші має бути мінімальним, достатнім лише для надання асфальтобетону нормативної щільності і міцності. Підвищення масової частки мінерального порошку в суміші понад необхідного мінімуму знижує тріщиностійкість покриттів і різко знижує їх стійкість до зсуву.

Тонкоподрібнені шлаки, що володіють гідравлічною активністю, тобто здатністю хімічно зв'язувати $\text{Ca}(\text{OH})_2$ вже за нормальної температури, є ефективними наповнювачами

Таблиця 2.5

Показники мінеральних порошоків для асфальтових бетонів

Показник	Норма
Зерновий склад, мас. %:	
менше 1,25 мм	100
не менше 0,315 мм	90
не менше 0,071 мм	70
Показник бітумоємності, г, не більше	100
Вміст водорозчинних сполук, мас. %, не більше	Не нормується
Пористість, об. %, не більше	40
Вологість, мас. %, не більше	1
Набухання зразків із суміші мінерального порошку з бітумом, об. %, не більше	Не нормується
Вміст оксидів лужних металів ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$), мас. %, не більше	Не нормується
Коефіцієнт водостійкості зразків із суміші порошку з бітумом, не більше	0,7
Вміст вільного кальцій оксиду CaO , мас. %	0

(мікронаповнювачами) у цементних бетонах.

2.1.3. Цементний камінь

Цементний камінь можна вважати «мікробетоном». Значна частина цементних зерен не повністю гідратується і виконує роль своєрідних наповнювачів цементного каменю. Глибина гідратації окремих клінкерних мінералів неоднакова і за 6 міс. не перевищує для найбільш активного мінералу C_3S 15 мкм, а для найменш активного C_2S – 2,7 мкм (табл. 2.6).

Таблиця 2.6

Глибина гідратації клінкерних матеріалів, мкм

Мінерал	Гідратація протягом				
	3 доби	7 діб	28 діб	3 міс.	6 міс.
C_3S	3,5	4,7	7,9	14,5	15,0
C_2S	0,6	0,9	1,0	2,6	2,7
C_3A	10,7	10,4	11,2	13,8	14,5
C_4AF	7,7	8,0	8,4	12,2	13,2

Крім «природних» наповнювачів, якими служать ядра більшої частини клінкерних частинок, в цементі і бетонні суміші можуть бути успішно введені «штучні» наповнювачі – тонкомолоті, практично не розчинні у воді неорганічні речовини, що складаються з частинок розміром менше 150 мкм. Маючи високу питому поверхню, наповнювачі поруч із прямим хімічним впливом впливають на фізико-хімічні процеси біля поверхні розділу фаз. Енергія утворення зародків кристалів значно зменшується за наявності центрів кристалізації, якими можуть бути частинки наповнювача.

Зменшуючи радіус зерен наповнювача та поверхневий натяг на межі «кристал–рідка фаза», можна значно підвищити ймовірність зародження нової фази. При введенні наповнювача в систему «цемент–вода» швидкість твердіння і міцність зростають доти, доки всі зерна наповнювача залишаються оточеними продуктами гідратації. Для кремнеземистих частинок ступінь наповнення можна визначити за кількістю СаО, яка може зв'язати 1 г наповнювача. Ступінь наповнення, розрахований таким чином, коливається в інтервалі 5–10% цементу.

При надлишку наповнювача виникають ділянки самонапруження, що в міру зростання кристалів може призвести до утворення тріщин та інших порушень мікроструктури однорідності.

Наповнювач повинен забезпечити максимальну адгезійну міцність між в'язучим і заповнювачем, мінімальну пустотність за рахунок витіснення цементного тесту в контактну зону і загальну пустотність бетону в цілому. При цьому ступінь наповнення має бути таким, щоб на стадії початкової стадії формування структури були забезпечені задані реологічні параметри суміші.

2.1.4. Шлакова пемза

Шлакова пемза – один з найбільш ефективних видів штучних пористих заповнювачів. Її одержують поризацією шлакових розплавів внаслідок їхнього швидкого охолодження водою, повітрям, парою, а також впливом мінеральних газоутворювачів. Можливі такі механізми поризації розплаву:

- спучування підйомом газових бульбашок у розплавленій масі;
- спучування шляхом змішування розплаву з газами, що поризують.

Особливості структури шлакової пемзи залежать від властивостей і складу розплаву, що поризується, а також від природи газів та їх кількості. Вихідні розплави можуть мати різноманітний хімічний склад, однак мають бути стійкими до всіх видів розпаду. Температура розплаву, що надходить на поризацію, не менше 1250 °С, в'язкість при цьому не повинна перевищувати 5 Па.

Поризація розплаву відбувається при перенасиченні його газами, що настає внаслідок зниження їх розчинності та кристалізації розплаву. Освоєно виробництво шлакової пемзи такими способами: траншейно-бризкальним, вододутьовим, басейновим та гідроекранним.

Найбільш простим є *траншейно-бризкальний спосіб* (рис. 2.2). На траншейно-бризкальній установці шлаковий розплав у

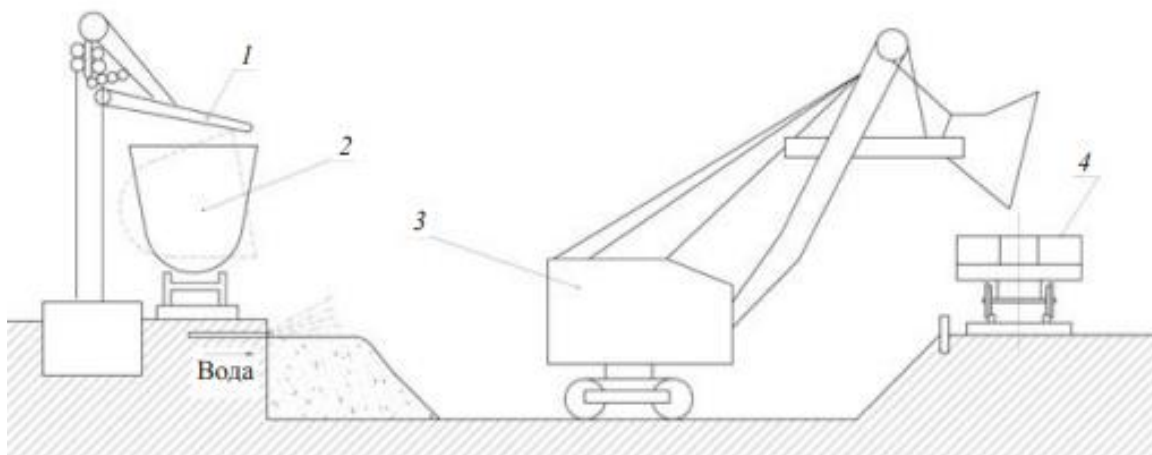


Рис. 2.2. Схема виробництва шлакової пемзи траншейно-бризкальним способом: 1 – кіркопробивач; 2 – шлаковий ківш; 3 – екскаватор; 4 – вагон

міру зливу в траншею зрошується водяними струменями, що подаються через сопла. Спучування та кристалізація шлаку в траншеї при товщині шару 100–300 мм тривають 1,5–2 год. Після застигання шар поливають водою і на зволожену поверхню зливають нову порцію шлаку. Утворюється шлаковий «піріг» заввишки 3,0–3,5 м. Пемзу розробляють екскаватором.

У процесі дроблення та сортування магнітними шайбами провадиться дворазова магнітна сепарація.

Перевагами траншейно-бризгального способу є його простота, економічність і висока міцність одержуваної пемзи. До недоліків слід віднести малий ступінь поризації шлаку та її нерівномірність, у результаті пемза має підвищену об'ємну насипну масу; необхідність виділення великих площ під траншеї.

Вододутьовий (струменевий) спосіб отримання пемзи полягає в дробленні шлаку і перемішуванні його з водою в апаратах спеціальної конструкції за допомогою стисненого повітря або пари. Отримання пемзи ґрунтується на використанні кінетичної енергії для ежекції, перемішування та дроблення компонентів. У струменевому апараті (рис. 2.3) струмись

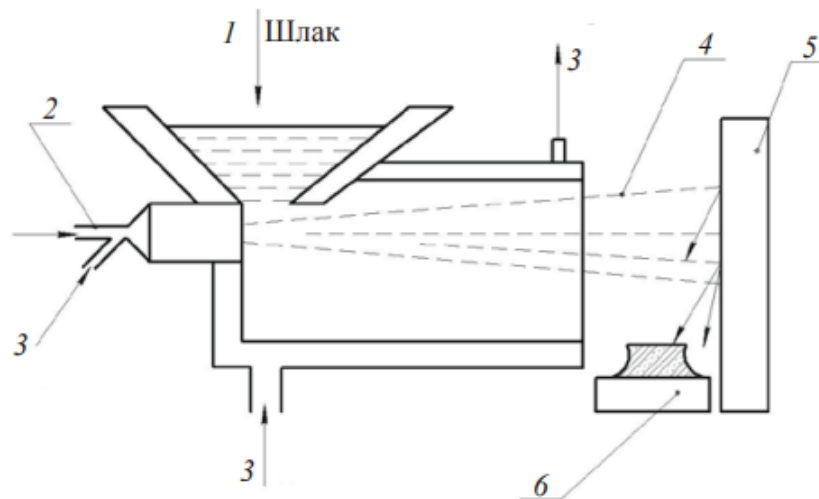


Рис. 2.3. Схема струменевого апарату для отримання шлакової пемзи

енергоносія 2 (стиснене повітря або пара) ежектує воду 3, суміш, що утворюється, впливає на струмінь стікаючого з приймальною камери 1 шлаку, розбиваючи його, спучуючи та охолоджуючи. Спучений шлак 4 з високою кінетичною енергією вилітає з апарата у вигляді снопа розпечених гранул, ударяється об водоохолоджувальний екран 5, конгломерується і опадає з нього у вигляді плоских шматків на транспортер 6. Під час руху транспортера отриманий продукт злипається і утворює застиглу масу, яка надходить на дроблення та сортування. Струменеві апарати мають наступні переваги: відносна довговічність через відсутність рухомих частин, що контактують з розплавленим

шлаком; простота конструкції, що обумовлює дешевизну виготовлення та обслуговування.

Басейновий спосіб отримання шлакової пемзи. Грануляція шлаку в басейнах – найстаріший і найпростіший спосіб. При басейновому способі розплав шлаку із ковша зливають у басейн із водою, в який через перфороване днище під тиском 0,4–0,6 МПа подається вода. Під впливом утвореної пари і газів відбувається спучування розплаву. Глиби пористого матеріалу подрібнюються і розсіюються на фракції. Отриманий продукт вивантажується грейферним краном на майданчик для вилежування та зневоднення або подається безпосередньо до вагонів.

Недоліки способу. Отриманий гранульований шлак містить 25–30% вологи, яка не тільки є баластом, але й при зберіганні та транспортуванні в зимовий час ускладнює перевантаження шлаку та збільшує його вартість, є причиною змерзання мас. Витрата води при такій грануляції становить близько 3 м³/т, і для сушіння продукту перед помелом потрібна додаткова витрата палива.

Гідроекранний спосіб отримання шлакової пемзи є найбільш ефективним. Він заснований на різкому охолодженні шлакового розплаву в системі послідовно встановлених гідрожолобів, що складаються з жолобів та гідромоніторних насадок 3, 5, через які подається вода (рис. 2.4). Між гідрожолобами встановлений екран 4. Шлаковий розплав, що спучується, з жолоба 2 струменями води викидається на екран 4, відбившись від якого, потрапляє на жолоб 6, звідки виноситься водою на конвеєрний перевантажувач 7 для подальшого охолодження і дроблення.

Шлакову пемзу випускають у вигляді щебеню трьох фракцій, мм: 5–10, 10–20 і 20–40 і піску (рядового – з зернами крупністю менше 5 мм, дрібного – менше 1,25 і великого – 1,25–5,00 мм).

Залежно від насипної густини (кг/м³) шлакову пемзу ділять на марки 400–900, для яких міцність при стисканні варіює від 0,3 до 1,5 МПа.

Марку щебеню із шлакової пемзи за морозостійкістю визначають за кількістю циклів поперемінного заморожування

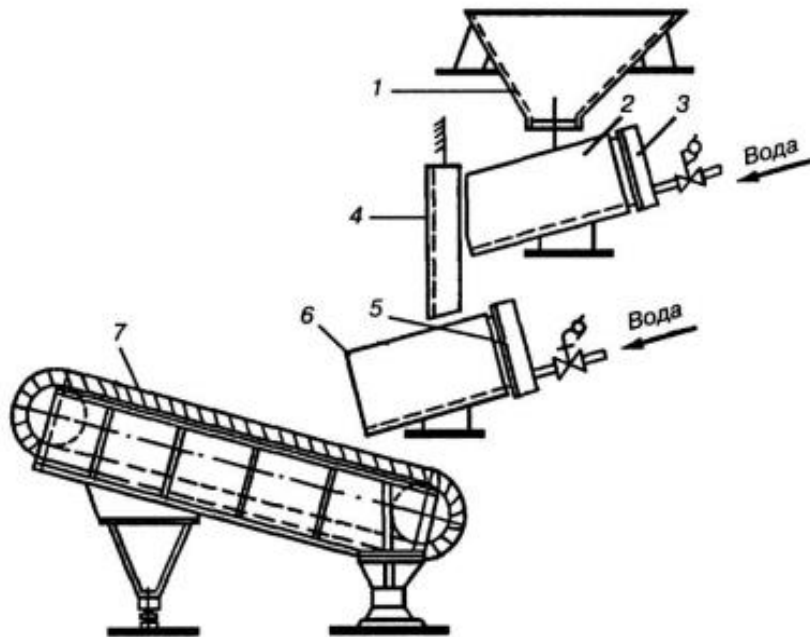


Рис. 2.4. Схема гідроекранного пристрою: 1 – лійка; 2 – перший жолоб; 3 – перша гідромоніторна насадка; 4 – екран; 5 – друга гідромоніторна насадка; 6 – другий жолоб; 7 – перевантажувач

та відтавання, при якому втрата маси досліджуваної проби не повинна перевищувати 8%. Морозостійкість щебеню із шлакової пемзи має становити не менше 15 циклів. Розмір пір шлакової пемзи залежить від способу одержання і дорівнює 0,04–4,50 мм, пористість становить 52–78%, водопоглинання – 10–55%.

Перспективною є *гравієподібна шлакова пемза*, що має щільну оскловану оболонку зерен. При її отриманні частинки розплаву з повітряного гранулятора направляють на екран, де вони об'єднуються у великі шматки. У барабані, що обертається, з поздовжніми лопатями відбувається додаткове спучування і окочування зерен з наданням їм гравієподібної форми. Застосування гравієподібної шлакової пемзи дозволяє зменшити витрату цементу та знизити середню щільність легких бетонів. Показники якості такої пемзи в 2–3 рази вищі за показники пористого шлакового щебеню.

Шлакова пемза застосовується як заповнювач легких бетонів з широким діапазоном за середньою щільністю та показниками міцності. Її використовують як пористий заповнювач для конструкційно-теплоізоляційних легких бетонів із щільністю 1300–1600 кг/м³ та міцністю 5,0–7,5 МПа та конструкційних бетонів із щільністю 1500–1800 кг/м³ та

міцністю 10–20 МПа. При використанні шлакової пемзи для армованих конструкцій повинна бути перевірена стійкість арматури, корозія якої можлива за рахунок сірки, що міститься у шлаці.

2.2. Матеріали із шлакових розплавів

Ще одним напрямом переробки металургійних шлаків поряд з виробництвом заповнювачів бетонів і в'язучих речовин є виробництво матеріалів із шлакових розплавів, до яких відносяться шлакова вата, литі матеріали, скла та шлакосітали. Дані матеріали мають загальні характеристики: одна сировинна база (металургійні шлаки), пов'язаність технологічного процесу з розплавленими шлаками, структура матеріалів у вигляді аморфної склоподібної або склокристалічної.

2.2.1. Шлакова вата

Шлакова вата – це різновид мінеральної вати, що займає провідне місце серед теплоізоляційних матеріалів як за об'ємом випуску, так і за будівельно-технічними властивостями. Приблизно 80% мінеральної вати виготовляється з доменних шлаків. Продуктивність печей для одержання мінерального розплаву з металургійних шлаків на 24% вища, ніж із природної сировини, а собівартість значно нижча.

Сировинна база для отримання мінеральної вати. Поряд із доменними шлаками використовують ваграночні, мартенівські шлаки та шлаки кольорової металургії. Рекомендується такий склад шихти, при якому в'язкість розплаву не перевищувала б 0,5 Па·с при 1500 °С і 1,5 Па·с при 1400 °С. За такої в'язкості забезпечуються достатня плинність та необхідні умови отримання кондиційного мінерального волокна. При надмірно низькій в'язкості ускладнюється витягування довгих волокон. Умови роздування розплаву, діаметр та довжина волокон залежать від швидкості наростання в'язкості при зниженні температури та від поверхневого натягу.

Критерії якості шлаків як сировини для отримання шлакової вати. Основним критерієм якості є значення модуля

кислотності M_k – величини, зворотної модулю основності. Мінеральна вата марки 100 за середньою густиною має $M_k > 1,4$, а марки 75 – $M_k > 1,5$.

Необхідне співвідношення кислотних та основних оксидів у шихті забезпечується застосуванням кислих шлаків. Кислі шлаки більш стійкі до розпаду, неприпустимого у мінеральній ваті. Підвищення вмісту кремнезему розширює температурний інтервал в'язкості, в якому можливе волокноутворення.

Модуль кислотності шлаків коригується введенням у шихту кислих або основних добавок. Як кислі добавки застосовують бій глиняної або силікатної цегли, золу теплоелектростанцій, різні кремнеземисті гірські породи, а основними є доломіти і вапняки.

Для шлаків, що містять підвищену кількість оксидів Феруму і Мангану, додатковою якісною характеристикою є *коефіцієнт насичення*, що є відношенням суми процентного вмісту ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$) до сумарного процентного вмісту інших оксидів. Цей коефіцієнт при плавці шихти у вагранках становить 1,5–2,0.

Технологічний процес виробництва шлакової вати складається з двох стадій: одержання шлакового розплаву та його переробки у волокно. Для отримання шлакових розплавів застосовують *печі шахтного типу (вагранки)* та ванні печі. На стадії отримання волокна використовують дуттьовий або відцентровий спосіб.

Стадія одержання шлакового розплаву. При використанні вагранок у верхню частину їх періодично завантажується газопроникна шихта (рис. 2.5). Оптимальна величина шматків шлаку та коксу становить 50–70 мм. Шихта, опускаючись вниз, розплавляється. Продукти горіння палива піднімаються вгору і передають тепло матеріалу, що розплавляється. Найбільш вигідною шлаковою сировиною є литий шлаковий щебінь. Використання його замість несорттованих шлаків підвищує продуктивність вагранок на 30%.

Найбільш ефективними є *ванні печі*, тепловий ККД яких становить 35–45%, тоді як у вагранок він 16–25%. Для цього безпосередньо використовують первинні шлакові розплави доменних печей. Розплавлений шлак підігрівається у ванних

печах до необхідної температури; тут же коригується його склад (рис. 2.6). Виробництво мінеральної вати з вогненно-рідких шлаків на 30–50% економічніше, ніж з холодних при плавці у

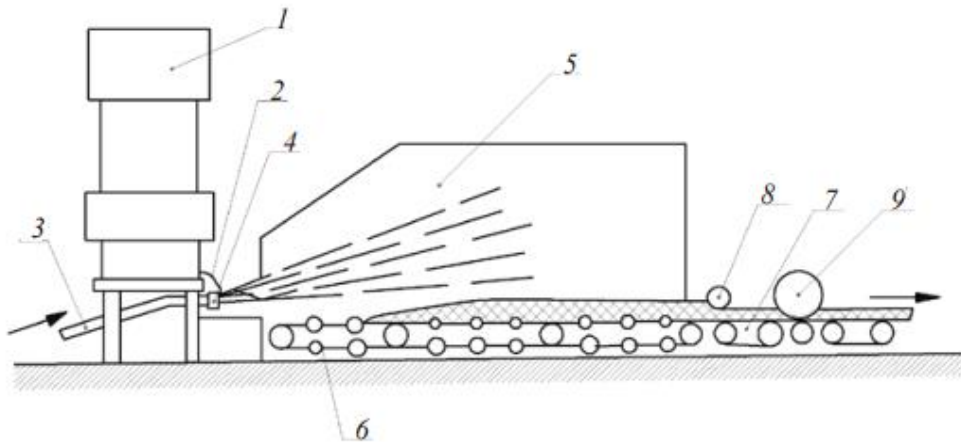


Рис. 2.5. Схема ваграночного виробництва мінераловатних виробів: 1 – вагранка; 2 – струмінь розплаву; 3 – паропровід; 4 – сопло; 5 – камера волокноосадження; 6 – сітчастий транспортер; 7 – транспортер; 8 – ущільнюючий валок; 9 – диск для поздовжнього різання мінераловатного полотна

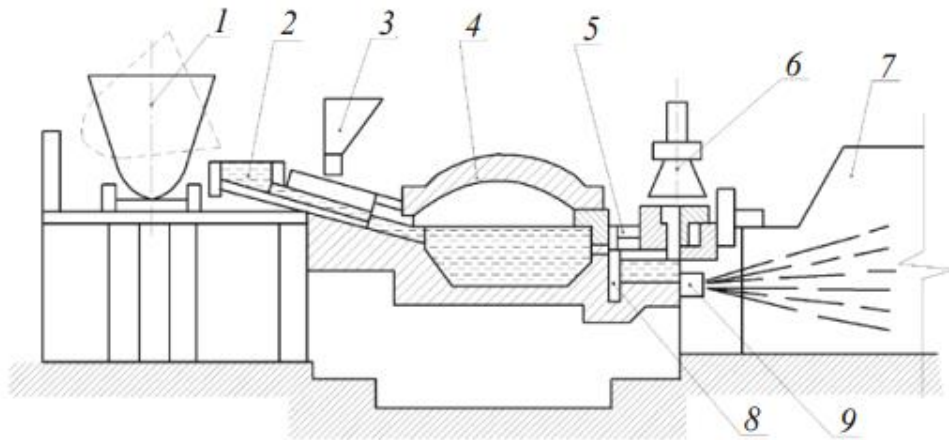


Рис. 2.6. Схема одержання мінеральної вати з використанням вогненно-рідкого шлаку: 1 – шлаковозний ківш; 2 – шлакоприймальна ванна; 3 – бункер для подачі добавок, що підкислюють; 4 – ванна піч-міксер; 5 – піч-живильник; 6 – витяжна парасолька; 7 – камера осадження; 8 – скімерна дошка; 9 – вузол роздування

вагранках. Витрати умовного палива отримання 1 т продукції із рідких шлаків у 4–7 разів нижче, ніж при плавленні шихти з гірських порід.

Стадія переробки розплаву у шлакове волокно. Шлаковий розплав перетворюють на мінеральне волокно, впливаючи на

нього потоком пари, повітря або газу (дутьовий спосіб) або відцентровою силою (відцентровий спосіб). Дутьовий спосіб отримання шлакової вати замінюється на відцентровий та комбінований способи, що дозволяють отримати довговолокнисту вату із щільністю до 100 кг/м^3 та мінімальним вмістом неволокнистих включень.

Найбільш відомий *дутьовий спосіб* поділяється на горизонтально-дутьовий і вертикально-дутьовий. У першому випадку енергоносій направляють на струмінь розплаву діаметром 7–10 мм під кутом $15\text{--}20^\circ$ до горизонталі, у другому – на струмінь діаметром до 3 мм зверху вниз під кутом $10\text{--}11^\circ$ до вертикалі.

При *відцентрових способах* отримання волокон з розплаву здійснюється механічними засобами – одно-, дво- та багатоступінчастими центрифугами (рис. 2.7).

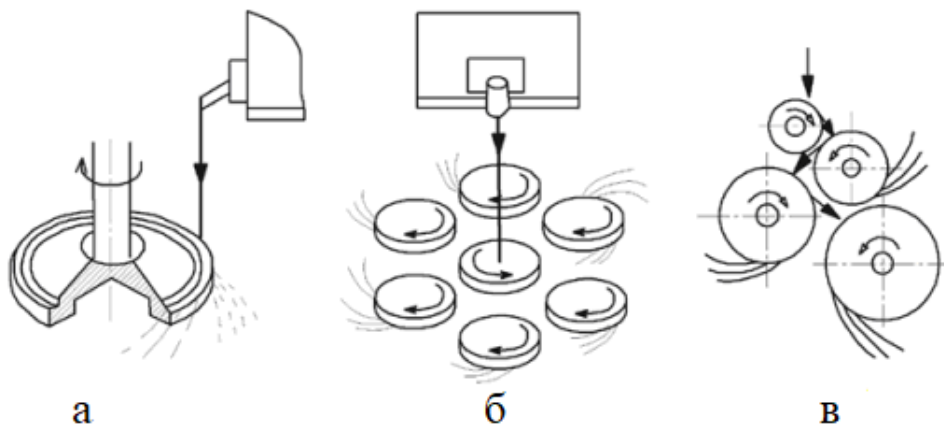


Рис. 2.7. Схеми відцентрових пристроїв для отримання шлаковати:
а – однодискова центрифуга; б – багатовалкова центрифуга
із центральною розподільчою чашею; в – вертикальна багатовалкова
центрифуга

Однодискова центрифуга (рис. 2.7, а) не знайшла широкого застосування через малу продуктивність (до 350 кг/год). Однак цей недолік може бути усунений шляхом прискорення обертання центрифуги.

Багатовалкові центрифуги з центральною розподільчою чашею (рис. 2.7, б) дозволяють отримувати 2 т і більше мінеральної вати за 1 год з виходом до 90% волокна з розплаву.

При роботі вертикальних багатовалкових центрифуг (рис. 2.7, в) перший валок, що обертається з порівняно невеликою

швидкістю, відкидає весь розплав у вигляді струмків і бризок на бічну поверхню другого валка, який переробляє частину розплаву у волокно, а частину передає на третій і четвертий валки.

Комбіновані способи включають переробку розплаву суміщеними прийомами – зазвичай відцентровим та дуттьовим. Найбільш простий і раніше широко поширений дуттьовий спосіб поступається місцем відцентровим і комбінованим способам, що дозволяє отримати якісну мінеральну вату.

Використання шлаковати. На основі мінеральної вати виготовляють вироби різної форми з використанням як сполучних синтетичних полімерів, бітумів, емульсій та паст. Основними видами виробів є м'які, напівжорсткі та жорсткі плити, циліндри, напівциліндри. Допустима ізоляція поверхонь із температурою не більше 700 °С. Основна маса виробів застосовується для теплової ізоляції огорожуючих конструкцій, трубопроводів, звукоізоляції.

2.2.2. Шлакове лиття

Розплави металургійних шлаків є цінною сировиною для виготовлення різних литих шлакових матеріалів і виробів (дрібноштучних, великорозмірних фасонних виробів і труб та ін.). У виробництві литих матеріалів та виробів використовуються кислі доменні або будь-які інші шлаки, які не схильні до силікатного розпаду.

Якість литих шлакових виробів залежить від багатьох чинників: виду та хімічного складу шлаку, температури розплаву, швидкості заливання його у форми, тривалості охолодження, режиму випалу та ін. Литі шлакові вироби мають високу міцність. Відхилення від оптимального режиму технології виготовлення виробів призводять до виникнення тріщин.

Литі вироби із шлакового розплаву економічно вигідніші, ніж кам'яне лиття; при цьому вони наближаються до останнього за механічними властивостями. Середня щільність литих виробів із шлаку досягає 3000 кг/м³, а межа міцності при стисканні – 500 МПа.

По зносостійкості, жаростійкості та ряду інших властивостей шлакове лиття перевищує залізобетон і сталь. Литі вироби зі шлаку ефективніше, ніж сталь, у різних футеровках, наприклад бункерах та тачках для транспортування абразивних матеріалів (руд, агломерату, щебеню, піску тощо). Їх термін служби в 5–6 разів більше терміну служби сталевого футерування. На кожній тонні литих шлакових плит економлять не менше 2–3 т металу.

Виробництво литих виробів. Технологія виробництва шлакового лиття проста і може бути представлена такими позиціями: металургійна піч, завантажувальний ківш, міксер (з підігрівом) для шлакового розплаву, ливарні форми, піч для кристалізації та випалу виробів, місце для їх сортування, склад готової продукції. У виробництві литих виробів застосовують розплави нерозпадних, зазвичай кислих доменних, мартенівських, мідеплавильних, нікелевих та інших шлаків. Вогняно-рідкі шлаки завантажують у спеціальний міксер, де вони підігріваються для дегазації, а потім зливають у ківш і подають на ливарний майданчик до підготовлених форм, де виливки твердіють.

При твердінні, кристалізації та подальшому охолодженні виливків усадка шлаку становить 7% від об'єму, що викликано зміною температури та фазовими перетвореннями. Нерівномірний розподіл температур, коливання хімічного складу шлаку призводять до виникнення напружень, які можуть перевищувати межу міцності лиття на розтяг і призводити до утворення тріщин. Термічні напруги у виробах знімають у спеціальних печах для кристалізації та випалу.

Для зменшення напруги та ліквідації усадкових явищ у виливках створюють жорсткий каркас наповнювача, в якості якого використовують кускові шлаки. При відливанні невеликих плоских виробів кількість наповнювача становить 10–25% від об'єму, і він переважно розплавляється, акумулюючи тепло. У масивних виробах наповнювач складає до 40–60% від об'єму виробу і оплавляється лише частково, знижуючи усадку та покращуючи умови кристалізації шлаку. При цьому можна в широких межах змінювати середню щільність виробів, а також

покращувати умови роботи форм та значно скорочувати терміни охолодження виливків.

Великі вироби для зниження внутрішньої напруги армують сталеву арматурою. Оскільки коефіцієнт термічного розширення шлаку менше, ніж сталі, при охолодженні виробів сталева арматура щільно стягує виливок, перешкоджаючи утворенню тріщин. Армвані шлаколиті вироби можна застосовувати замість збірних залізобетонних; вони перевершують останні за показниками міцності. Однак недоліками цих виробів є деяке зниження міцності сталі за високої температури шлакового розплаву, а також порівняно висока трудомісткість виготовлення.

Для *отримання пористого шлакового лиття* виконують поризацію шлакового розплаву. З цією метою на дно форми насипають зволожену коксову дрібницю або обробляють розплав водою. З поризованого шлакового розплаву формують вироби різноманітних конфігурацій. Залежно від рівня поризації середня щільність литих виробів коливається в діапазоні 350–1500 кг/м³ при міцності на стиск 1,5–30,0 МПа.

Використання шлакового лиття. Зі шлаку відливають тубінги для водонепроникних кріплень гірських виробітків, жаростійкі блоки з температурою служби до 1100–1200 °С, хімічно стійкі вироби.

Ефективна лита бруківка для доріг та підлог промислових будівель. Термін служби автомобільних доріг із шлаколитію бруківки між капітальними ремонтами в 2 рази більший, а експлуатація дешевша, ніж асфальтових.

2.2.3 Шлакові стекла

Металургійні шлаки застосовують як основну сировину при отриманні шлакового скла, а також як добавки, що інтенсифікують процеси скловаріння. Відзначено сприятливий вплив добавок на освітлення скломаси завдяки наявності в них високодисперсних частинок сульфідів Натрію та Кальцію, які посилюють виділення газів. Сірчистий газ, що утворюється, активізує масообмін у шихті, яка проварюється, і тим самим сприяє найшвидшому силікатутворенню за температури на 30–

35 °С нижче звичайної. Рекомендується використовувати до 9% добавки шлаку для листового скла. При цьому вироблювальні та експлуатаційні властивості скла не погіршуються. Відпрацьовано технології отримання шлакового скла для виготовлення декоративних плит та склокрихти.

Авантюринові стекла. Отримані авантюринові стекла на основі шлаків металургійних виробництв, декоративний ефект у яких досягнутий за рахунок оксидів Cu, Cr, Fe, Pb. Багато відомих складів авантюринового скла не знайшли широкого застосування через дорожнечу сировинних матеріалів, що застосовуються. Для масового виробництва підходять лише хромові авантюринові стекла.

Існує можливість здешевлення авантюринового скла за рахунок використання до 60% шлаку в шихті. Запропоновано авантюринове скло на основі високозалізистих шлаків. Воно має гарні декоративні та фізико-хімічні властивості:

- мікротвердість – 50–62 МПа,
- лугостійкість – 93,5–97,0%,
- температура розм'якшення – 620–650 °С,
- показник заломлення – 1,587–1,596.

Авантюринове шлакове скло є різновидом *марблиту* – облицювального матеріалу на основі глушеного скла, що виготовляється у вигляді плит безперервним прокатом. (*Скло глушене* – матове скло, що добре розсіює світло завдяки рівномірному розподілу в ньому частинок тальку, гіпсу, олова, фосфорних сполук, оксидів Арсену і т.д.). Марбліт можна отримувати різного забарвлення з використанням доменного, мідеплавильного та інших видів шлаку.

Сігран. Перспективним матеріалом є сігран – декоративно-оздоблювальний матеріал, що розроблений на основі металургійних шлаків (табл. 2.7).

Характерною особливістю сіграну, що має по всьому об'єму оранжево-коричневий колір, є включення в його масі полікристалічних агрегатів неправильної форми іншого кольору. На структуру сіграну впливає структура вихідного скла та режим його термообробки. Варіюючи кількість добавок та режим термообробки, можна отримувати сігран з різними розмірами агрегованих частинок (від 2 до 5 мм). При цьому змінюється структура цих частинок.

Властивості сіграну

Властивості	Розміри агрегованих частинок сіграну			Мармур	Граніт
	2 мм	5 мм	8 мм		
Щільність, кг/м ³	2900	2700	2600	2600–2800	2500–2900
Міцність при сгинанні, МПа	28,0	20,0	19,0	7,2	15,0
Твердість за Моосом	8	7	7	3	7
Опір стиранню, г/см ³	0,05	0,07	0,08	0,2–2,0	0,1–0,8

Шлакоситал – склокристалічний матеріал (сітал), що отримується керованою каталізованою кристалізацією стекел, зварених на основі металургійних, паливних та інших шлаків, мінеральної та синтетичної сировини.

Піношлакоситал – спінений шлакоситал з пористою структурою, що має малу гігроскопічність і незначне водопоглинання з робочою температурою до 750 °С.

Шлакоситали отримують з вогненно-рідких шлаків, в які вводять добавки, що коригують їх хімічний склад, і каталізатори кристалізації (модифікатори TiO₂, CaF₂, P₂O₅ та інші). Шлакоситали виготовляються у вигляді безперервної стрічки та пресованих плит. Автоматизоване виробництво шлакоситалу здійснюється методом безперервного прокату.

Властивості. Шлакоситали при щільності 2500–2650 кг/м³ мають високу міцність (при стисканні до 650 МПа, при згинанні до 120 МПа), низьке водопоглинання (близько до нуля). Особливо цінні якості шлакоситалів – висока хімічна та термічна стійкість, морозостійкість і мала стираність.

Використання шлакоситалів. Шлакоситали, що забарвлені в масі білий або сірий колір, можуть бути покриті кольоровими керамічними фарбами. Вироби із шлакоситалів недорогі та довговічні, застосовуються у будівництві, хімічній, гірничорудній та інших галузях промисловості для захисту будівельних конструкцій та обладнання від корозії та абразивного зносу.

Шлакоситали використовуються для мощення підлог, сходів, зовнішнього облицювання стін (у тому числі утеплення)

та внутрішніх перегородок (у тому числі для звукоізоляції), включаючи облицювання відповідальних частин гідроспоруд, як покрівельний матеріал та для інших цілей

У дорожньому будівництві застосовується як дорожні плити для покриття тротуарів і як бортові камені.

Питання для самоконтролю

1. На які групи поділяють шлакові заповнювачі за насипною щільністю і за крупністю зерен?

2. Якими методами одержують шлаковий щебінь? Назвіть види металургійних шлаків, які доцільно для цього використовувати.

3. Перелічте умови отримання заповнювачів з металургійних шлаків. Які методи оцінки стійкості шлаків до силікатного розпаду існують? Як можна стабілізувати шлаки, що схильні до розпаду?

4. З якою метою використовують мінеральні порошки у складі асфальтобетону?

5. Охарактеризуйте технологічний процес отримання шлакової пемзи різними способами.

6. Вкажіть напрямки практичного використання шлакової пемзи. У чому полягають переваги використання гравієподібної шлакової пемзи?

7. Опишіть технологічний процес виготовлення шлакової вати, включаючи сировинну базу, критерії якості використовуваних шлаків та технологічні стадії.

8. Назвіть чинники, що впливають на якість виробів із шлакового лиття. Які відмінні механічні властивості шлакового лиття?

9. Як можна зняти внутрішні напруження та ліквідувати усадкові явища у шлакових виливках? Де використовують шлакове лиття?

10. Надайте характеристику складу і фізико-хімічним властивостям авантюриновим склам.

Розділ 3

ЗАПОВНЮВАЧІ НА ОСНОВІ ЗОЛОШЛАКОВИХ ВІДХОДІВ ТЕС

3.1. Заповнювачі із шлаків ТЕС

3.1.1. Загальна характеристика заповнювачів із шлаків ТЕС

Паливні шлаки та продукти їх переробки можуть використовуватися як пористі заповнювачі для легких бетонів. Як вихідне паливо використовують антрацит, кам'яне і буре вугілля, торф, сланці.

Спосіб спалювання і вид палива визначають властивості паливних шлаків. Оптимальна пориста структура досягається при спалюванні:

- антрацитів і кам'яного вугілля у вигляді кусків;
- бурого вугілля у вигляді пилу.

Гранулометричний склад паливних шлаків включає фракції 0,14–30 мм, що дозволяє розглядати їх як суміш заповнювачів різного ступеня дисперсності. Як крупний заповнювач паливні шлаки використовують у бетонах при заміні щебеню у кількості 20–50%. Паливні шлаки в якості дрібного заповнювача поліпшують гранулометричний склад пісків.

Кисотно-основні властивості паливних шлаків. Шлаки після спалювання антрацитів найменш кислі. Шлаки бурого вугілля і сланців відносять до основних, так як в їх складі підвищений вміст оксидів Феруму і близько 40% СаО. Кислими є шлаки кам'яного вугілля.

Домішки у складі паливних шлаків уявляють собою сульфати, сульфіді і вільний кальцій оксид. Сульфурвмісні сполуки викликають руйнування бетону при використанні шлаків як заповнювачів бетону. Загальний вміст усіх сульфурвмісних сполук (перерахування на сульфур(VI) оксид SO₃) не повинен перевищувати 3%, з яких не більше 1% водорозчинних сульфатів і 1% сульфідів.

Вільний СаО може взаємодіяти з водою у порах бетону з утворенням Са(ОН)₂, що приводить до руйнування готових виробів.

Стійкість проти силікатного і залізного розпаду визначають аналогічно, як і для металургійних шлаків при втраті маси не більше 5% при випробуваннях: методом пропарювання і автоклавної обробки (визначення схильності до силікатного розпаду); 30-денним витримуванням у воді (визначення схильності до залізного розпаду).

З метою підвищення стійкості шлаків їх витримують у відвалах протягом 3–6 міс. За цей час весь СаО переходить до кальцій гідроксиду, розчинні сполуки вилугуюються, залишки незгорілого палива окислюються.

Якщо шлаки використовують як заповнювачі бетонов, то попередньо проводять їх збагачення з відсіюванням високодисперсних фракцій. Саме вони містять найбільшу кількість небезпечних для міцності бетону домішок і незгоріле паливо.

Фізико-механічні властивості паливних шлаків:

- густина, кг/м³
 - насипна – 600–1000;
 - середня густина зерен – 1500–2000;
- пористість – 40–60%;
- морозостійкість – не менше 50 циклів;
- міцність до 30 МПа.

Шлакові щебені практично не містять лещадних та голчастих зерен, шкідливих речовин, глинистих домішок, що відрізняє їх від щебенів з природного каменю. Оптимальну структуру і фізико-механічні властивості має шлак з антрациту. У меншому ступені використовують буровугільні шлаки.

3.1.2. Заповнювачі із гранульованих шлаків ТЕС

Хімічний склад гранульованих шлаків ТЕС залежить від способу видалення шлаків і виду вихідного палива.

Спосіб видалення шлаків. При спалюванні вугілля у топках при надлишку кисню утворюються сполуки Fe(III); якщо

видаляють рідкий шлак, то в реакції ферум(III) оксиду з вуглецем відбувається його відновлення до Fe(II).

Вид вихідного палива як чинник, що визначає хімічний склад паливного шлаку, охарактеризован у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Вплив виду палива на хімічний склад паливних шлаків

Вихідне паливо	Особливості хімічного складу паливних шлаків
Кам'яне вугілля	Повне згоряння органічних компонентів вугілля; присутність сполук Fe(II)
Буре вугілля	Підвищений вміст глинозему Al ₂ O ₃ і вапна CaO; малий вміст оксидів Феруму
Сланці	Високий вміст Кальцію і сульфатів

Кислотність гранульованих шлаків більшості ТЕС висока при модулі основності

$$M_O = \frac{CaO + MgO}{SiO_2 + Al_2O_3} \approx 0,05 - 0,07.$$

Вміст оксидів Силіцію і Алюмінію складає 70–85%.

Реакційна здатність шлаків. В гранульованих шлаках ТЕС не протікають силікатний і залізистий розпади.

Пуцоланова активність шлаків обумовлена присутністю аморфного SiO₂ і дорівнює 20–30 мг/г поглиненого CaO. Пуцоланова активність варіює при зміні кількості оксидів Кальцію і Феруму(III) у склофазі: збільшується при підвищенні вмісту CaO і зменшується при насиченні Fe₂O₃. SiO₂ практично не реагує з оксидами Натрію і Калію.

Фазовий склад гранульованих шлаків залежить від режиму та умов охолодження шлакового розплаву: при водному охолодженні шлак практично повністю складається із скла; при охолодженні на повітрі утворюється кристалічна структура.

Якщо вихідне вугілля було низькокальцієвим, то утворюються оскловані шлаки залізистоалюмосилікатного складу, що мають не більше 10–15% кристалічної складової.

Фізико-механічні властивості гранульованих шлаків як заповнювачів бетонів:

- висока міцність шлакових зерен;
- істинна щільність шлаків у межах 2,3–2,7 г/см³;
- підвищена мікро- та макропористість. Присутні відкриті або закриті пори діаметром до 1–3 мм, а також поверхневі раковини;
 - високорозвинена поверхня шлакових зерен з кубічним, призматичним або гострокутним мікрорельєфом;
 - підвищена водопотреба шлаків;
 - висока морозостійкість шлаків;
 - відсутність глинистих, мулистих компонентів і шкідливих домішок, що можуть зменшити захисні властивості бетону по відношенню до металевої арматури.

Дані властивості шлакових зерен, поряд з гідравлічною активністю, сприяють зростанню його адгезії з цементним каменем.

Властивості шлакобетонів.

Гранульований шлак забезпечує високі технологічні та реологічні властивості шлакобетонів, їх легкоукладальність вище, ніж у бетонів з природними заповнювачами. Тому шлакобетони з високою життєздатністю можна рекомендувати для транспортування бетононасосами. Недоліком є низька водоутримувальна здатність шлакової поверхні (3–4%), що викликає відокремлення води навіть при високому вмісті цементу.

Структура шлакобетонів щільніше за структуру бетонів на природних заповнювачах. *Міцність та деформативність* шлакобетону забезпечена його щільністю і добрим зчепленням заповнювача з цементним каменем. Зчеплення у системі «шлак – цементний камінь» обумовлено великою площею поверхні гранульованого шлаку, його високою адгезією з розчиновим компонентом за рахунок мікрорельєфу і хімічною взаємодією заповнювача з цементним каменем. При цьому реагуванні на поверхні зерен шлаку утворюються плівкові новоутворення низькоосновних кальцій гідросилікатів, що обволікають зерна і сприяють підвищенню стійкості бетону під дією зовнішніх чинників. Однорідність структури бетону і добре зчеплення його

компонентів підтверджується руйнуванням шлакобетону при випробуваннях як по шлаку, так і по розчиновій частині. Бетон з природними заповнювачами руйнується по заповнювачу.

Тепловолога обробка пришвидчує взаємодію шлаку з цементним каменем. Одразу після обробки в автоклаві міцність шлакобетону складає 80% від марочної, а після 28 діб – 100–115% від міцності бетону нормального твердіння.

Використання паливних гранульованих шлаків замість природних заповнювачів знижує витрати цементу на 4–6% на 1 м³ бетону.

3.2. Заповнювачі на основі зол ТЕС

Вимоги до зол ТЕС. Золи ТЕС можуть повністю замінити пісок як дрібний заповнювач при виготовленні бетонів, якщо вони задовільняють вимогам:

- насипна щільність не більше 1100 кг/м³;
- вміст зольних зерен розміром менше 0,16 мм не більше 90%;
- вміст незгорілого вугілля при спалюванні:
 - кам'яного вугілля та антрациту – не більше 12%;
 - бурого вугілля – не більше 15%.

Хімічні та гранулометричні показники зол ТЕС, що впливають на властивості золобетонів.

Вміст паливних залишків і вологість зол. Вплив залишків незгорілого палива на довговічність бетону визначається мінералогічним складом спалюваного вугілля. Найчастіше утворюються кокс або напівкокс, що стійкі до впливу кисню повітря. Вони не піддаються об'ємним змінам, так як поглинають мало води. Таким чином, кокс і напівкокс практично не впливають на цикли бетону «зволоження – висушування» і «заморожування – відтавання».

Вміст сульфурвмісних сполук:

- у вигляді сульфідів і сульфатів не повинен перевищувати 3% у перерахунку на SO₃;
- для сульфідів не більше 1% у перерахунку на SO₃.

Вміст глинистих частинок повинен бути зниженим, вміст склофаз підвищений до 50–60%. Дотримання цих умов

дозволяє забезпечити довговічність золобетону для армованих легкобетонних конструкцій.

Оптимальний *гранулометричний склад* зол, що визначається співвідношенням «Крупна фракція (>0,3 мм) : дрібна фракція (<0,08 мм)» = 1 : 2,5 при вмісті середньої фракції 50%.

Використання зол ТЕС у виробництві золобетонів. При використанні золи винесення потрібно враховувати вплив золи на водопотребу бетону. Внесення у бетонну суміш золи дисперсністю 300–450 м²/кг в інтервалі кількості:

- 50–90 кг/м³ – водопотреба бетонної суміші практично не змінюється;

- до 300 кг/м³ – водопотреба бетону збільшується на 5–6% на кожні 50 кг золи.

Властивості золобетонів. При використанні зол ТЕС одержуть як легкі ($\rho < 1000$ кг/м³), так і важкі золобетони ($\rho = 1800$ – 2000 кг/м³). Використовують в'язучі речовини: портландцемент або безклінкерні в'язучі. Проводять твердіння в умовах: звичайних або автоклавних. При автоклавуванні у 1,5–2 рази знижуються витрати в'язучої речовини, також можлива повна заміна цементу вапном.

У таблиці 3.2 наведено основні показники щільних золобетонів. Вони характеризуються високими міцністю при згині та деформаційними показниками.

Таблиця 3.2

Показники пружності золобетонів різних класів

Міцність при стисненні, МПа	Середня щільність, кг/м ³	Модуль пружності, МПа
1,5	1150–1500	–
2,5	1200–1550	$3,0 \cdot 10^3$
3,5	1250–1600	$3,5 \cdot 10^3$
5	1350–1700	$5,5 \cdot 10^3$
7,5	1450–1800	$7,0 \cdot 10^3$
12,5	1650–1900	$9,0 \cdot 10^3$
15	1850–2000	$1,0 \cdot 10^4$

Недоліки щільних бетонів:

- значне водопоглинання, для зменшення якого вводять у суміш тонкомелені добавки (гранульований шлак), що зменшують пористість золобетону;
- усадка, що складає 2–3 мм/м. Для зменшення усадки використовують автоклавну обробку та введення в суміш до 30% крупних пористих заповнювачів або піску.

Використання зол ТЕС у виробництві керамзитобетонів як дрібного заповнювача. У зв'язку з дефіцитом керамзитового піску та його заміною звичайним кварцовим піском зростає щільність керамзитобетонів до 1600 кг/м³ і знижуються теплоізолюючі властивості матеріалу. Для поліпшення ситуації до керамзитобетонів додають золи ТЕС у кількості 180–200 кг/м³.

3.3. Заповнювачі на основі зол і золошлакових сумішей відвалів ТЕС

3.3.1. Заповнювачі на основі золошлакових сумішей відвалів ТЕС

Відвальні золошлакові суміші ТЕС використовують як *в якості крупного заповнювача* при заміні щебенів на 20–50%, так і *в якості дрібного заповнювача* при заміні піску в кількості 40–100%. Зольний пил як активний наповнювач поліпшує легкоукладальність бетонної суміші і властивості золобетонів. Ще одним напрямком використання золошлакових сумішей є поліпшення гранулометрії дрібних пісків. Загальний вміст золошлакової суміші у бетонах складає 230–330 кг/м³.

Золошлакові суміші ТЕС *класифікують за зерновим складом*, що пов'язаний з розмірами частинок, мм:

- золи і шлаку – <0,315;
- шлакового піску – 0,315–5;
- щебеню – 5–20.

Золошлакові суміші поділять на три групи (табл. 3.3).

Класифікація золошлакових сумішей за видом шлакового компоненту:

- зі щільними шлаками ($\rho_{\text{середня}} > 2,0 \text{ г/см}^3$), що утворюються в топках з рідким шлаковидаленням;

**Гранулометричний склад відвальних золошлакових сумішей
ТЕС**

Класифікаційна група золошлакових сумішей за дисперсністю	Максимальний розмір частинок шлаку, мм	Вміст шлакової складової, %	Використання у бетонах	
			важких	легких
Дрібнодисперсні суміші Д	5	<10	Для часткової заміни дрібного заповнювача та цементу	Для повної або часткової заміни дрібного заповнювача в складі бетонів, для часткової заміни цементу
Середньодисперсні суміші С	20	10–50	Для часткової заміни заповнювачів та цементу	Як дрібний заповнювач для теплоізоляційних бетонів
Крупнодисперсні суміші К	40	50–90	З щільною шлаковою складовою для повної або часткової заміни дрібного та крупного заповнювача	З пористою шлаковою складовою для шлакобетонів

▪ з пористими шлаками ($\rho_{\text{середня}} < 2,0 \text{ г/см}^3$), що утворюються в топках з твердим шлаковидаленням.

Вимоги до складу відвальних золошлакових сумішей, %:

- невивалені частинки – 3–25;
- CaO – <10;
- MgO – <5;

- сульфурвмісні сполуки – <3;
- лужні оксиди Натрію і Калію (у перерахунку на Na₂O) – <3.

3.3.2. Зольний гравій

Зольний гравій класифікують на випалений та невивпалений.

Невивпалений зольний гравій. Технологія виготовлення полягає у формування гранул із суміші зволоженої золи з в'язучою речовиною.

Сировиною є золи ТЕС сухого відбору (циклонів та електрофільтрів), висушені золи з відвалів ТЕС і золошлакові суміші гідровидалення. Вміст окремих компонентів у сировинних матеріалах:

- залишковий вуглець у золі при спалюванні кам'яного вугілля – не більше 25%;
- залишковий вуглець у золі при спалюванні бурого вугілля – не більше 5%;
- вільний СаО – не більше 10%;
- сульфідни – не більше 1%;
- загальний вміст Сульфуру (перерахунок на SO₃) – не більше 5%;
- вологість компонентів із відвалів ТЕС – не більше 3%;
- питома поверхня золи – не менше 2500 см²/г.

В'язучі матеріали, що використовують при виробництві невивпаленого зольного гравію: ПЦ, вапно, гіпсові та гіпсоцементнопуцоланові в'язучі. Вид в'язучого визначає умови твердіння: на повітрі, у пропарювальних камерах, в автоклавах.

Фізико-механічні характеристики невивпаленого зольного гравію:

- насипна густина – 700–950 кг/м³;
- водопоглинання – 17–25%;
- морозостійкість (втрати маси після 15 циклів «заморожування – відтавання» – 0,5–10%;
- вихідна міцність при стисненні – 0,6–0,8 МПа;

- міцність при стисненні на 28-му добу – 5–6 МПа. Причому міцність гравію продовжує зростати і в бетоні під час тепловологісної обробки.

Використання невипаленого зольного гравію: крупний заповнювач для конструкційних і конструкційно-теплоізоляційних легких бетонів.

Випалений зольний гравій. Технологія виготовлення полягає у сушінні і помелі золи, обкатуванні золи у гранули розміром 15 мм. При грануляції використовують розчин технічних лігносульфонатів (ЛСТ) або глину. Гранули підсушують і випалюють у печах, причому їх подають у високотемпературну зону печі (~1200 °С). З метою збільшення пористості зольного гравію додають деревну тирсу.

Сировина. Зольний компонент аналогічний золам при виготовленні невипаленого зольного гравію. Вміст окремих компонентів у зольних сировинних матеріалах:

- залишковий вуглець у золі при спалюванні кам'яного вугілля – не більше 6%;
- ферум(III) оксид – не більше 65%;
- (CaO + MgO) – не більше 8%.

Глину додають у кількості 10–20%. Вимоги до глиняного компоненту:

- вогнетривкість – не більше 1320 °С;
- відношення $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)/(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{RO} + \text{R}_2\text{O})$ – 3,5–10;
- число пластичності – не менше 7.

Фізико-механічні характеристики випаленого зольного гравію:

- вимоги до гранул: кулькоподібні з оплавленою поверхнею, пористою структурою, розмір гранул 5–40 мм;
- насипна густина – 300–800 кг/м³;
- водопоглинання – 3–13%;
- морозостійкість (втрати маси після 15 циклів «заморожування – відтавання» – не більше 10%;
- міцність при стисненні – 0,5–10 МПа;
- розколоті зерна – не більше 5%.

Використання випаленого зольного гравію: компонент конструкційно-теплоізоляційних бетонів і конструкційних легких бетонів.

Питання для самоконтролю

1. Перелічить загальні вимоги до паливних шлаків як сировини у виробництві заповнювачів.
2. Як впливають спосіб видалення шлаків і вид вихідного палива на хімічний і гранулометричний склад шлаків ТЕС?
3. Присутністю яких компонентів обумовлена пуцоланова активність гранульованих паливних шлаків?
4. Надайте характеристику властивостям шлакобетонів з використанням гранульованих паливних шлаків.
5. Вкажіть основні хімічні і гранулометричні показники зол ТЕС, що впливають на властивості золобетонів.
6. Охарактеризуйте переваги та недоліки золобетонів.
7. Вкажіть напрямки використання відвальних золошлакових сумішей різної дисперсності у виробництві бетонів.
8. У чому полягає різниця в сировинних матеріалах і технології виготовлення випаленого і невипаленого зольного гравію?

Розділ 4

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ОСНОВИ ВИКОРИСТАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ У ВИРОБНИЦТВІ МІНЕРАЛЬНИХ В'ЯЖУЧИХ РЕЧОВИН

4.1. Основи фізико-хімічної взаємодії складових частин відходів промисловості

Взаємодію всіх складових частин відходів виробництва можна розглядати за такими напрямками:

1) Взаємодія мінеральних складових (за нормальних температур та тиску; за підвищених температур та тиску; за високих температур).

2) Взаємодія органічних складових (за нормальних температур та тиску; за підвищених температур та тиску; за підвищених температур; за підвищеного тиску).

3) Взаємодія мінеральних та органічних складових (за нормальних температур та тиску; за підвищених температур та тиску; за підвищених температур).

Прояв в'язучих властивостей матеріалів залежно від M_o . При нормальному твердінні поява в'язучих властивостей фіксується у матеріалів з $M_o > 1,5$, причому збільшення M_o в такому матеріалі викликає планомірне підвищення активності (в'язучих властивостей).

За величиною M_o всі попутні продукти можна розбити на кілька класифікаційних груп:

$M_o < 0$ – ультракислі;

$M_o = 0-0,8$ – кислі (в'язучих властивостей не виявляють; придатні як заповнювачі в бетонах і розчинах, а також як кислий компонент сировинної суміші різних виробництв технології силікатів);

$M_o = 0,8-1,2$ – нейтральні (в'язучі властивості виражені слабо, придатні для скляної, керамічної та автоклавної технології; використовуються як заповнювачі в бетонах і розчинах);

$M_o = 1,2-3,0$ – основні (мають в'яжучі властивості; придатні як основний компонент сировинної суміші);

$M_o > 3$ – ультраосновні (вапно та його аналоги).

При точній оцінці модуля основності дуже важливо враховувати вплив на його абсолютну величину як відходоутворюючих компонентів, так й вмісту мікродомішок, а також органічних речовин.

Для кожної пари речовин існує область рН, яка є оптимальною при утворенні максимальної кількості зв'язок і нових фаз. Інтервал, або область рН_{опт} для двох речовин, що входять до складу відходів промисловості, можна регулювати кількістю третіх речовин, що мають різні кислотно-основні властивості.

При створенні нових будівельних матеріалів із техногенної сировини необхідно враховувати мікрокількість рідкісних елементів, що каталізують процеси утворення нових фаз, так званий ефект «легування». Наприклад, ефект міграційного впливу фториду при синтезі керамічних виробів, що знижує температуру утворення склофази; кислих солей фосфатів, активних кремнієвих сполук та кислих вуглекислих солей, що беруть участь в утворенні таумасіту та біруніту при певних інтервалах рН суспензій; ванадатів, молібдатів, що підвищують міцність нових матеріалів.

Визначальними факторами при утворенні нових фаз у процесі отримання нових ефективних будівельних матеріалів та виробів з техногенної сировини виступають кислотно-основні властивості складових його речовин та оптимальний рН їхньої взаємодії, що залежить від природи компонентів та мікродомішок.

4.2. Взаємодія відходів з водою

Ступінь гідратаційної активності шлаків і зол залежить від їх фазового складу, кристалічної структури, дисперсності, виду та кількості супутніх мінералів та змінюється в широких межах.

Повністю закристалізовані основні і кислі доменні шлаки мають дуже незначні в'яжучі властивості або зовсім позбавлені їх. Обумовлюється це тим, що більшість мінералів, що входять

до складу шлаку, дуже повільно взаємодіють з водою, при цьому виходить лише невелика кількість гелеподібних продуктів (переважно гелю силікатної кислоти). Гідравлічно активний β - C_2S , присутній у шлаках у незначній кількості, також відрізняється повільним твердінням і, отже, не може сприяти зростанню міцності виробів із шлаку або золи у початкові терміни.

Швидкість взаємодії кристалічних мінералів шлаку з водою збільшується у присутності надлишкових іонів Ca^{2+} і SO_4^{2-}

За підвищених температур (368–523 K) у присутності CaO *геленіт* гідратується в гідрогеленіт $C_2SA \cdot nH_2O$ і утворює гідрогранати в ряду $C_3AH_6 - C_3AS_3$ (типу $C_3AS_{0,8}H_{4,4}$; $C_3AS_{1,2}H_{3,6}$ та ін).

Кристалічний *окерманіт* C_2MS_2 за звичайних температур не взаємодіє з чистою водою, а у вапняній і вапняно-гіпсовій воді активізується, утворюючи гелеподібні кальцій гідросилікати. За підвищених температури у присутності CaO окерманіт розкладається з утворенням гіллебрандиту C_2SH та магній гідросилікатів $M_3S_2H_2$.

Мінерали *монтичелліт* CMS , *воластоніт* CS , *анортит* CAS_2 , *діопсид* CMS_2 , *перовськіт* $CaO \cdot TiO_2$ за нормальних температур слабо взаємодіють з водою: кристали цих мінералів після тривалого перебування у воді покриваються лише тонкою (< 1 мкм) плівкою гелеподібної маси. У присутності іонів Ca^{2+} та SO_4^{2-} зазначені мінерали (за винятком $CaO \cdot TiO_2$) незначно активізуються.

Марганцевмісні мінерали – родоніт, тефроїт, марганцевиста шпінель – виявляють слабку гідравлічну активність.

Мінерали CA , C_5A_3 , C_4AF твердіють у складі шлаків інтенсивно, тому високоглиноземисті кристалічні шлаки характеризуються високою гідратаційною активністю.

З помітною швидкістю взаємодіє з водою і кристалічний *мервініт* C_3MS_2 , гідратуєчись до афвіліту, $C_3S_2H_3$ і магній гідросилікатів.

Гранульовані шлаки вступають у реакцію з водою активніше, ніж кристалічні. Зумовлено це тим, що за нормальних температур скло є нестійкою фазою і під впливом води прагне перейти в стабільну кристалічну фазу. Висока

внутрішня хімічна енергія скла забезпечує підвищену розчинність. Особливо активно розчиняються мікрогетерогенні структури скла. Реакція розчинення призводить одночасно і до утворення на поверхні частинок скла плівки з колоїдних частинок переважно $\text{Si}(\text{OH})_4$ та $\text{Al}(\text{OH})_3$, яка ускладнює доступ молекул H_2O до негідратованої поверхні зерен. Разом з тим гідрати, що утворюються, викликають повільне твердіння зразків з гранульованого шлаку.

Кристалічні та склоподібні модифікації по-різному гідратуються. Так, склоподібні окерманіт та геленіт гідратуються навіть у чистій воді з утворенням відповідно кальцій гідросилікатів типу CSH та гідрогеленіту. З підвищенням температури інтенсивність гідратації мінералів у склоподібному стані зростає і серед продуктів твердіння з'являються гідрогранати. Швидкість гідратації та твердіння склоподібних та кристалічних шлаків зростає в присутності вапна та гіпсу. Склоподібні монтичелліт, діопсид, мервініт у присутності Ca^{2+} і SO_4^{2-} гідратуються з помітною швидкістю; зростає також швидкість гідратації у вапняно-сульфатних водах й склоподібних геленіту, окерманіту та мелілітів. Продуктами їх гідратації в інтервалі температур від 268 до 523 К є CSH, C_2SH , $\text{C}_3\text{S}_2\text{H}$, гідрогеленіт, гідрогранати, відзначалося і утворення гідросульфогеленіту $2\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{SiO}_2\cdot n\text{CaSO}_4\cdot p\text{H}_2\text{O}$.

Прискорення процесу гідратації склоподібних шлаків у присутності у воді замішування іонів Ca^{2+} викликано руйнуванням оболонки з $\text{Al}(\text{OH})_3$ та $\text{Si}(\text{OH})_4$ на гідратованих зернах скла в результаті взаємодії гідроксидів з кальцієм до утворення кристалів низькоосновних гідросилікатів та гідроалюмінатів кальцію (рис. 4.1). Кристалізація оболонки супроводжується утворенням у ній мережі капілярів, якими молекули води досягають негідратованих глибинних частинок. До тих пір, поки у водному розчині є вільні іони Ca^{2+} , нові суцільні оболонки на частинках не з'являються, що забезпечує повільний, але безперервний перебіг реакції гідратації.

Прискорюючи гідратацію малоактивних мінералів, іони Ca^{2+} можуть загальмовувати взаємодію мінералів C_2S , CA , C_5A_3 , C_4AF з водою.

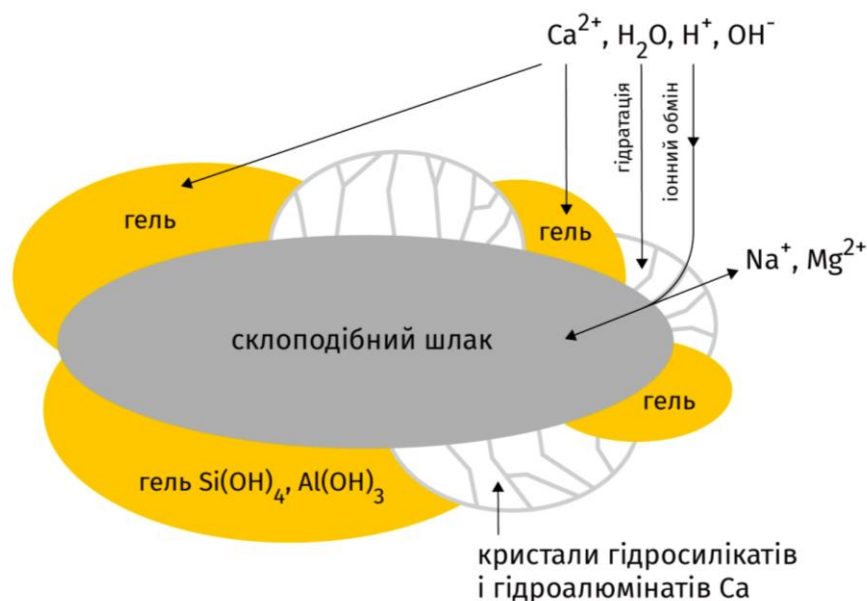


Рис. 4.1. Руйнування захисних оболонок на зернах шлаків у присутності іонів Ca^{2+}

При використанні як інтенсифікаторів процесу твердіння шлаків сполук Натрію на поверхні їх частинок утворюються спочатку натрій гідросилікати, які поступово перекристалізуються у кальцій гідроксидат.

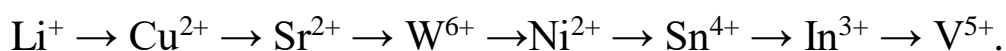
Основні та нейтральні шлаки за нормальних умов твердіння найбільш помітно активізуються в присутності підвищеної кількості іонів SO_4^{2-} . При термовологій обробці, навпаки, корисніше введення у систему переважно іонів Ca^{2+} . Кислі шлаки завжди активніше взаємодіють із водою у присутності одночасно двох іонів: SO_4^{2-} і Ca^{2+} . Шлаки ферохрому та феррованадія також активізуються у присутності сульфатно-кальцієвого збудника твердіння.

У практичних умовах як лужні прискорювачі твердіння шлаку застосовуються $\text{Ca}(\text{OH})_2$, $\text{Mg}(\text{OH})_2$ і портландцемент, при гідратації якого виділяється кальцій гідроксид, сода, рідке скло та ін., а як сульфатні прискорювачі – двоводний або напівводний гіпс, ангідрит, натрій сульфат.

У самих шлаках джерелом вапна і, отже, інтенсифікатором твердіння є кальцій сульфід. Кальцій гідроксид утворюється при взаємодії CaS з водою, реакція протікає за схемою:



Залежність гідратаційної активності склоподібних шлаків від наявності домішок. Активність взаємодії з водою підвищується при введенні до їх складу MgO (не більше 5%), BaO, TiO₂. Мікродомішки в склі (0,05–0,30%), як правило, також підвищують його гідратаційну здатність. Ефективність їх впливу залежить від характеру змін, що відбуваються в решітці скла: чим менша сила зв'язку мікроелемента в структурі скла і чим більше він сприяє розукрупненню складних комплексів, тим вище гідратаційна активність останнього. Різні мікроелементи можна розташувати в порядку зменшення ефективності їх впливу на розчинність склоподібного шлаку у воді:



Сприяє зростанню гідратаційної активності шлаків *ефективний режим охолодження*, що дозволяє отримати:

по-перше, оптимальне співвідношення скла (80–95%) і кристалів (5–20%):

по-друге, активний стан скла та кристалів.

Активність скла зростає, якщо в ньому почалися мікроліквіації (неоднорідність структури) або кристалізації. У цей час склоподібна фаза відчуває перебудову структури, решітка матриці деформується, нова фаза ще належним чином не сформувалася, тобто матеріал перебуває у стані, що умовно можна назвати «безструктурним». Стабілізація цього стану у склі позитивно позначається на гідратаційній активності шлаків. У цьому надзвичайно важливо підібрати найбільш точно температуру розплаву перед його охолодженням (близько 1673–1733 К). Вирішення цього завдання полегшується при грануляції шлакових розплавів.

Вплив TiO₂ на активність шлакового скла. При вмісті TiO₂ у шлаку до 4% іон Ti⁴⁺ виступає як катіон-модифікатор і має координаційне число 6, при більшій кількості титану у склі утворюються переважно аніони TiO₄⁴⁻. Відзначається підвищена активність шлаків при 4% TiO₂, що пояснюється зміною структури скла внаслідок зазначеного катіонно-аніонного перетворення титану. Зі збільшенням кількості TiO₂ зростає кількість складних кремне-титаноокисневих комплексів, що супроводжується зниженням гідратаційної активності шлаку.

Вплив MgO на гідратаційну активність склоподібних шлаків залежить від кількості в них Al_2O_3 :

- при вмісті 5% Al_2O_3 та більше 10% MgO знижується гідратаційна активність системи;
- при вмісті 10–15% Al_2O_3 швидкість взаємодії скла з водою не змінюється, якщо в них розчинено навіть до 20% MgO.

Подібний змінний характер впливу MgO пояснюється можливістю знаходження Mg^{2+} у різних координаційних станах: MgO_4^{6-} і MgO_6^{10-} . Гідратаційна активність шлаків залишається високою, коли магній утворює угруповання MgO_4^{6-} .

Оксиди MnO, FeO та SO₃ при вмісті їх у шлаках у підвищеній кількості негативно впливають на гідратаційну активність системи.

Гідратація сумішей «золошлаковий відхід-клінкер». Гідратаційна активність шлаків і зол у більшості випадків випробовується в суміші з тією чи іншою кількістю портландцементного клінкеру як збудника їх твердіння.

Активність шлакового скла у суміші з портландцементом змінюється за дуже складним законом залежно від співвідношення у склі угруповань AlO_6^{9-} і MgO_6^{10-} з одного боку та AlO_4^{5-} і MgO_4^{6-} – з іншого боку. Зміна співвідношення $MeO_6/MeO_4=0,2-0,35$ сприяє зростанню активності золошлакових відходів, збільшення ж цього відношення понад 0,4 викликає різке падіння активності системи. Це пов'язано з характером порушення кислотно-основного рівноваги у склі.

Активація шлаків залежно від їхньої основності та умов процесу. Цінність шлаку чи золи тим вища, чим більше у них гідравлічно активних фаз. При цьому наявність певної кількості самостійно твердіючих фаз (C_3S , кальцій алюмоферитів, β - C_2S або основного шлакового скла) зумовлює можливість використовувати такі відходи для виготовлення бетонів, що твердіють у нормальних повітряно-вологих умовах. Якщо цих фаз немає або вони спостерігаються в невеликій кількості, то необхідно вводити активатори твердіння. Введення в склоподібні шлаки (золи або шлами) невеликої кількості лугів та сульфатів як би активізує (збуджує) їх приховані гідравлічні властивості. Відповідно до виду добавки, що вводиться

розрізняють лужну, сульфатну і комбіновану активізацію золошлакових відходів.

Лужна активація. Зазвичай як лужні активатори застосовують вапно і портландцемент, що виділяє при взаємодії з водою $\text{Ca}(\text{OH})_2$, а як сульфатні – гіпс у різних модифікаціях та ангідрит CaSO_4 . При комбінованому збудженні ці активатори вводять одночасно.

Підвищеної інтенсифікації гідратації шлакового скла сприяє лужне середовище з $\text{pH} \approx 14$. У цьому випадку особливо ефективно зачиняти вапняно-шлакові суміші водними розчинами лугів, що створюють високу концентрацію гідроксильних іонів. Останні, характеризуючись малим іонним радіусом ($0,96 \cdot 10^{-3}$ мкм), відносно легко проникають у структуру склоподібного шлаку та сприяють його гідратації.

Основні доменні шлаки містять зазвичай 44–48% кальцій оксиду, 35–38% кремнезему і 5–10% глинозему. При введенні 5–10% вапна (або портландцементу) вони піддаються лужній активації. Гідратація таких шлаків (не кажучи вже про кислі) за звичайних температур може призвести до утворення лише низькоосновних волокнистих кальцій гідросилікатів складу $(0,8-1,35) \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2,5\text{H}_2\text{O}$, а також двокальцієвого гексагонального метастабільного гідроалюмінату $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ або, швидше, гідрогеленіту $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$.

Сульфатна активація шлаків відрізняється від лужної тим, що кальцій сульфат безпосередньо взаємодіє з глиноземом, кальцій гідроксидом і водою з утворенням кальцій гідросульфоалюмінатів $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 31\text{H}_2\text{O}$ і $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, що, поряд з іншими новоутвореннями, сприяють твердінню шлакових цементів.

Прихована здатність до гідравлічного твердіння, що виявляється під впливом невеликих добавок активаторів, відрізняє деякі види золошлакових та шламових відходів від кислих активних (гідравлічних) добавок. Останні не мають самостійних в'язучих властивостей. Цементуючі новоутворення в них виникають тільки внаслідок прямої взаємодії кальцій гідроксиду з активним кремнеземом та глиноземом добавок.

Питання для самоконтролю

1. Зв'яжіть прояв в'язучих властивостей матеріалами з їх кислото-основними властивостями. Пояснити зміну гідравлічної активності шлакових відходів при зростанні модуля основності.

2. Яким чином можна регулювати оптимальне значення рН середовища, при якому між двома речовинами, що реагують, у процесі твердіння, утворюється максимальна кількість нових фаз?

3. Поясніть сутність «легування» з боку домішок рідкісних елементів при формуванні новоутворень. Наведіть практичні приклади «легування» та його кінцеві ефекти.

4. Надайте характеристику гідравлічним властивостям алюсилікатних мінералів шлаків. У чому полягає різниця у гідратації кристалічних та склоподібних модифікацій мінералів та як можна прискорити гідrataцію?

5. Опишіть вплив іонів Ca^{2+} , Na^+ і SO_4^{2-} на гідратацію мінералів доменних шлаків. Якими явищами викликано прискорення процесу гідратації склоподібних шлаків у присутності у воді замішування іонів Ca^{2+} ?

6. Висловіть свою думку щодо механізму впливу мікроелементів на гідратаційну активність мінералів склоподібних шлаків.

7. Підкресліть відмінності лужної та сульфатної активації шлаків за кислотністю середовища, реагентним складом, протікаючими процесами та продуктами активації, що утворюються.

Література

1. Дворкін Л.Й., Мироненко А.В. Будівельні матеріали та виробництво із застосуванням промислових відходів: навч. посібник – Рівне: НУВГП, 2019. – 298 с.
2. Борисовська О.О. Інвентаризація та облік відходів: навч. посібник – Дніпро: Літограф, 2017. – 168 с.
3. Канюк Г.І., Пугачова Т.М., Без'язичний В.Ф., Близниченко О.М., Шматков Д.І. Основи енерго- і ресурсозбереження: навч. посібник. – Харків: друкарня “Мадрид”, 2016. – 230 с.
4. Управління та поводження з відходами: Підручник/ Т.П. Шаніна, О.Р. Губанова, М.О. Клименко, Т.А. Сафранов, В.Ю. Коріневська, О.О. Бедункова, А.І. Волков. За ред. Т.А. Сафранова, М.О. Клименка. Одеса, 2019. – 258 с.
5. Управління та поводження з відходами. Частина 2. Тверді побутові відходи / В. Г. Петрук, І. В. Васильківський, С. М. Кватернюк, [та ін.]. Вінниця: ВНТУ, 2015. – 100 с.
6. Екотехнологія в будівництві: навч. посібник / за ред. Р.А. Кизими – Харків: Бурун Книга, 2007. – 234 с.
7. Dvorkin L., Dvorkin O., Ribakov Y. Construction Materials Based on Industrial Waste Products. Nova science publishers, 2-16. – 242 p.
8. Дворкін Л.Й., Дворкін О.Л. Основи бетонознавства. К.: Основа, 2007. – 616 с.
9. Кривенко П.В., Пушкарьова К.К., Кочевих М.О. Заповнювачі для бетону: підручник – К.: ФАДА ЛТД, 2001. – 399 с.
10. Удод В.М., Трофімович В.В., Волошкіна О.С. Техноекологія: навч. посібник – К.: КНУБА, 2007. – 195 с.
11. Shi C., Krivenko P.V., Roy D. Alkali-Activated Cements and Concretes. London, N.Y.: Taylor and Francis Group, 2006. – 376 p.
12. Утилізація та рекуперація відходів. Навчальний посібник / В.М. Кропівний, О.В. Медведева, А.В. Кропівна, О.В. Кузик // Загальна редакція В.М. Кропівного. – Кропивницький: ЦНТУ, Електронне видання, 2020. – 440 с.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
Розділ 1. УМОВИ РОЗМІЩЕННЯ ШЛАКІВ ЧОРНОЇ МЕТАЛУРГІЇ У НАВКОЛИШНЬОМУ СЕРЕДОВИЩІ.....	4
1.1 Майданчики тимчасового складування шлаків чорної металургії.....	4
1.2 Розміщення відходів чорної металургії на полігонах.....	10
1.3 Вплив шлаків на компоненти навколишнього природного середовища.....	17
Питання для самоконтролю.....	27
Розділ 2. ЗАПОВНЮВАЧІ ІЗ МЕТАЛУРГІЙНИХ ШЛАКІВ. МАТЕРІАЛИ ІЗ ШЛАКОВИХ РОЗПЛАВІВ.....	29
2.1 Заповнювачі із металургійних шлаків.....	29
2.2 Матеріали із шлакових розплавів.....	42
Питання для самоконтролю.....	51
Розділ 3. ЗАПОВНЮВАЧІ НА ОСНОВІ ЗОЛОШЛАКОВИХ ВІДХОДІВ ТЕС.....	52
3.1 Заповнювачі із шлаків ТЕС.....	52
3.2 Заповнювачі на основі зол ТЕС.....	56
3.3 Заповнювачі на основі зол і золошлакових сумішей відвалів ТЕС.....	58
Питання для самоконтролю.....	62
Розділ 4. ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ОСНОВИ ВИКОРИСТАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ У ВИРОБНИЦТВІ МІНЕРАЛЬНИХ В'ЯЖУЧИХ РЕЧОВИН.....	63
4.1 Основи фізико-хімічної взаємодії складових частин відходів промисловості.....	63
4.2 Взаємодія відходів з водою.....	64
Питання для самоконтролю.....	71
ЛІТЕРАТУРА.....	72