



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

## Міністерство освіти і науки України

Національний  
університет водного  
господарства та  
природокористування

**ДВОРКІН Л.Й.**  
**ДВОРКІН О.Л.**

Київський  
національний  
університет  
будівництва та  
архітектури

**ПУШКАРЬОВА К.К.**  
**КОЧЕВИХ М.О.**  
**МОХОРТ М.А.**  
**БЕЗСМЕРТНИЙ М.П.**

# **ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОГЕННИХ ПРОДУКТІВ У БУДІВНИЦТВІ**

Навчальний посібник

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки  
України як навчальний посібник для студентів  
вищих навчальних закладів, які навчаються за  
напрямом "Будівництво"*

**Рівне – 2009**



**УДК 624.002.68 (075)**

**ББК 38:30.69**

**Д 24**

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України.  
(Лист № 1.4/18-17 2752 від 17.12.2008 р.)*

**Рецензенти:**

**Савін Л.С.**, доктор технічних наук, професор Придніпровської державної академії будівництва і архітектури (м. Дніпропетровськ);

**Плугін А.А.**, доктор технічних наук, професор Української державної академії залізничного транспорту (м. Харків).

**Дворкін Л.Й.**

**Дворкін О.Л.**

**Пушкарьова К.К.**

**Кочевих М.О.**

**Мохорт М.А.**

**Безсмертний М.П.**

**Д 24** Використання техногенних продуктів у будівництві:

Навчальний посібник. – Рівне: НУВГП, 2009. – 339 с.

**ISBN 978-966-327-112-5**

В навчальному посібнику розглянуті основні напрямки застосування відходів промисловості та міського господарства як техногенних продуктів у виробництві ефективних будівельних матеріалів, а також шляхи економії матеріальних і енергетичних ресурсів, за рахунок використання цього виду мінеральної й органічної сировини. Проаналізовано ефективність застосування у будівельному виробництві традиційних і нових будівельних матеріалів на основі металургійних шлаків, золи і шлаків ТЕС, відходів вуглезбагачення й ін. Наведено основні технологічні параметри використання відходів різних галузей промисловості і техніко-економічні показники їхнього застосування.

Посібник призначений для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямом 0921 "Будівництво".

**УДК 624.002.68**

**ББК 38:30.69**

**ISBN 978-966-327-112-5**

© Дворкін Л.Й., Пушкарьова К.К.,

Дворкін О.Л., Кочевих М.О.,

**Мохорт М.А.**,

Безсмертний М.П., 2009

© НУВГП, 2009



## ПЕРЕДМОВА

Дбайливе і раціональне використання природних ресурсів у даний час набуває особливе значення. Рішення цієї актуальної проблеми вимагає розробки ефективних безвідхідних технологій за рахунок комплексного використання сировини, що одночасно призводить і до ліквідації величезного екологічного збитку від "цвинтарів" відходів. Саме поняття "відходи виробництва та споживання" для багатьох матеріальних продуктів стає умовним. Вони перетворюються в цінну, іноді навіть дефіцитну техногенну сировину.

У даному посібнику зроблена спроба узагальнити основні напрямки застосування техногенних продуктів як цінних матеріальних ресурсів у виробництві будівельних матеріалів.

Посібник призначений для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямом 0921 "Будівництво". Він може бути також використаний студентами інших спеціальностей при вивченні будівельного матеріалознавства і технологічних дисциплін.

У посібнику використовуються матеріали відповідного курсу, що викладається авторами протягом багатьох років у Національному університеті водного господарства та природокористування (м.Рівне) і Київському національному університеті будівництва і архітектури.

Книга може бути корисною не тільки для студентів, а і для широкого кола інженерно-технічних працівників різних галузей промисловості, насамперед, у сфері будівельного виробництва та виробництва будівельних матеріалів.

Автори усвідомлюють, що у порівняно невеликій книзі важко освітити величезний досвід використання промислових відходів як техногенної сировини. Цей досвід безупинно збільшується і підтверджує, що абсолютна більшість відходів промислового виробництва та міського господарства успішно можуть замінити природні ресурси і у багатьох випадках за своїми якісними показниками є високоефективною сировиною для виробництва будівельних матеріалів і виробів.

Автори вдячні рецензентам за цінні зауваження, що були враховані при підготовці посібника до видання.



## ***Не приховуй від себе та від інших наслідків своєї діяльності на Землі (Е.Калленбах із етичних правил поводження людини на Землі)***

### **ВСТУП**

Проблема раціонального використання промислових відходів щільно пов'язана з питаннями охорони довкілля та ресурсозбереження. Утилізація відходів в Україні здійснюється згідно з законами України "Про відходи" та "Про загальнодержавну програму поводження з токсичними відходами", причому основними пріоритетами цієї діяльності є скорочення обсягів накопичення відходів, обмеження утворення, ефективна переробка та екологічно безпечне їх видалення. На жаль вищеназвана державна програма виконується не в повній мірі з причин недостатнього фінансування та відсутності дешевих ефективних технологій переробки й знешкодження відходів.

Характерне для сучасного світу розширення індустріального виробництва супроводжується використанням великої кількості сировини та енергетичних ресурсів, направлених на виробництво матеріальних цінностей. При цьому діє застарілий стереотип, що тільки екстенсивне нарощування промислового виробництва визначає економічно-соціальний рівень розвитку життя суспільства, а об'єми сировини та ресурсів, що споживаються, розцінюються як показники економічного процвітання.

Людство за своїм впливом на природу перетворилось у велику "геологічну силу". За масштабами добування та переробки сировини (100 Гт /рік) господарська діяльність людства наблизилась до діяльності біоти біосфери (1000 Гт /рік) та перевищила вулканічну діяльність (10 Гт /рік). За даними ЮНЕСКО щорічно у світі внаслідок господарської діяльності людини переміщається більше 4000 км<sup>3</sup> ґрунту, видобувається з надр землі 129 млрд. т руди, паливних ресурсів та сировини для отримання будівельних матеріалів (на кожного мешканця планети припадає в середньому 20 т), загальна площа зруйнованих земель складає 20 млн. км<sup>2</sup>, що більше сукупної площі, яка використовується сьогодні для потреб сільського господарства.

До розвитку глобальної екологічної та тісно пов'язаної з нею соціально-економічної кризи, які сьогодні загрожують існуванню нашої цивілізації, призвели два "вибухи" - демографічний та промислово-енергетичний, а також спричинені ними катастрофічно високі показники ресурсопоглинання та продукування відходів.

За останні 100 років людство у 100 разів збільшило швидкість свого пересування у просторі, у 1000 разів - використання енергетичних ресурсів, у сотні мільйонів разів – швидкості зв'язку та обміну інформацією. Водночас людство виробляє відходів у 2000 разів більше, ніж решта біосфери. Світова промисловість нині виробляє у 7-100 разів більше товарів і видобуває у 3-4





рази більше корисних копалин ніж 30 років тому. Щороку людство видобуває з надр понад 3,5 млрд. тонн вугілля, щодня використовує біля 10 млн. тонн нафти та її продуктів.

В той же час, на сьогодні, на всі живі істоти біосфери, в тому числі на нас з Вами, негативно діють понад 50 тис. хімічних речовин. Щороку в світі синтезуються біля 250 тис. нових хімічних сполук, 1,5 тис. шкідливих речовин отруюють атмосферу, приблизно 10 тис. – воду та ґрунти. Більшість з цих синтетичних речовин, як і деякі відходи, не переробляються природою, оскільки є "чужими" в життєдіяльності екосистем, а нагромаджуються, забруднюючи довкілля.

Понад 500 млн. автомобілів щороку викидають в атмосферу Землі майже 400 млн. т оксидів вуглецю, 100 млн. т вуглеводнів, сотні тисяч тонн свинцю. Промислові підприємства, теплові електростанції, авто- та авіатранспорт щорічно спалюють більш як 5 млрд. т нафти, вугілля і приблизно трильйон кубометрів газу. У водоймища світу щороку скидається біля 500 млрд. т промислових і побутових стоків, в тому числі кілька млн. т нафти.

Щорічно світова промисловість виробляє близько 2100 млн. т твердих відходів, із них 340 млн. т – потенційно небезпечні. Спеціалісти підрахували, що на початок 21 століття кількість радіоактивних відходів досягла вже 1 млн. м<sup>3</sup>.

Враховуючи зазначене, будь-які види діяльності у промисловому виробництві, енергетиці, сільському та лісовому господарстві, а також у будівництві та галузях, пов'язаних з ним, повинні враховувати екологічні наслідки порушення рівноваги екосистеми та передбачати заходи щодо її стабілізації та відновлення.

Розвиток нових технологій та створення сучасних будівельних матеріалів повинно бути підпорядковано відомій концепції "рівномірного або сталого розвитку", яка була сформульована на конференції ООН в 1992 р. в Ріо-де-Жанейро і передбачає врахування економічних, екологічних, соціальних й ергономічних аспектів життєдіяльності людства та виробництва, і включає такі головні положення:

- забезпечення мінімальних витрат енергії на всіх етапах виготовлення та застосування;
- можливість рециркуляції та реновації (відновлення матеріалу);
- максимальне повторне використання компонентів, які входять до складу матеріалу;
- збереження навколишнього середовища;
- безпечність матеріалів та технологій їх виготовлення для здоров'я людини.

Дотримання цих принципів забезпечує постійний розвиток науки і техніки, створює умови для вирішення екологічних проблем та є гарантом існування і прогресивного розвитку майбутніх поколінь. Новий підхід до проблеми збереження навколишнього середовища та стабільності розвитку нашого суспільства базується на етичних та еколого-економічних принципах



людської діяльності. До головних еколого-економічних принципів відносяться:

- консервація, збереження ресурсів та енергії, самообмеження в усіх сферах життєдіяльності;
- рециклічність, тобто багаторазове використання матеріалів у виробництві;
- відновлення ресурсів, пошук нових джерел енергії;
- контроль забруднень різних типів, стабілізація та зниження їхнього рівня, впровадження нових технологій в енергетиці, промисловості, сільському господарстві, на транспорті, уповільнення темпів зростання населення.

Деякими прикладами дотримання цих принципів в розвинених країнах (США, ФРН і інш.) є впровадження нових технологій, пов'язаних зі зменшенням забруднення довкілля і одночасним підвищенням економічної ефективності нових матеріалів, що передбачає розробку існуючих техногенних відвалів та створення довготермінових сховищ (депозитаріїв) для відходів, які зараз не можуть бути технологічно перероблені в безпечні продукти.

Деякі країни йдуть так званим "шведським шляхом", що полягає у відмові від використання певних технологій та утворених техногенних продуктів при неможливості їхньої безпечної переробки (наприклад, скорочено виробництво полімерних матеріалів у скандинавських країнах та повністю закрито виробництво портландцементу у Голландії).

Актуальною задачею сьогодення є створення безвідходних технологій, які повинні забезпечувати не тільки отримання високоякісної продукції, але й передбачати повне використання відходів, що зазвичай утворюються на всіх етапах технологічного циклу. Розрахунки вчених свідчать, що залучення у переробку 1% відходів дозволяє знизити рівень інвестицій у мінерально-сировинний комплекс майже на 2%.

Різноманіття багатотонажних відходів промисловості, які за хімічним та мінералогічним складом не поступаються сировинним матеріалам, що добуваються для задоволення потреб різних галузей промисловості, потрібно розглядати як *відновлювальні техногенні ресурси*, що перспективні для використання при залученні сучасних технологій виробництва. В той же час суттєвим недоліком впровадження промислових відходів у виробництво (як компонента сировинних сумішей) є їх перемінний хіміко-мінералогічний склад, можлива наявність домішок токсичних речовин, в тому числі важких металів.

Найбільш раціональним напрямком утилізації промислових відходів є їх використання як техногенної сировини для отримання різних видів продукції а перш за все, будівельного призначення. Відомо, що будівництво споживає біля третини всієї маси продукції матеріального виробництва, а матеріальні ресурси складають більше половини всіх затрат на виробництво будівельно-монтажних робіт. Ось чому найважливішим резервом ресурсозбереження у будівництві є широке використання вторинних техногенних ресурсів, якими є



відходи виробництва та споживання. Використання промислових відходів забезпечує галузь будівельних матеріалів багатим джерелом дешевої, а іноді вже частково підготовленої сировини, що приводить до економії капітальних вкладень, призначених для будівництва підприємств, які добувають та переробляють сировину, й до підвищення рівня їх рентабельності; сприяє вивільненню значних площ земельних ділянок та зниженню ступеня забруднення навколишнього середовища. Використання промислових відходів у виробництві будівельних матеріалів дозволяє до 40 % задовольнити потребу в сировині цієї галузі, на 10...30 % знизити витрати на виробництво будівельних матеріалів у порівнянні з виробництвом їх із природної сировини, при цьому економія капітальних вкладень складає 35...50%.

Слід зазначити, що в основі використання відходів промисловості можливий розвиток виробництва не тільки традиційних, але й нових ефективних будівельних матеріалів. Нові матеріали відрізняються комплексом покращених технічних властивостей, і в той же час характеризуються найменшою ресурсоемністю, як у процесі виробництва, так і під час використання. Широке застосування відходів для виробництва будівельних матеріалів дозволяє також частково вирішити проблему економії палива, особливо враховуючи те, що на виробництво неметалевих будівельних матеріалів і конструкцій щорічно використовується біля 50 млн. т умовного палива.

Розвиток і вдосконалення виробництва будівельних матеріалів, підвищення їхньої економічної ефективності на сучасному етапі в значній мірі визначатимуться раціональністю використання сировинних ресурсів, повнотою залучення до виробництва відходів різних галузей промисловості.

В основі безвідходних виробництв знаходиться ідея комплексного використання сировини. Академік О.Ферсман свого часу писав: "Комплексна ідея є ідея в корені економічна, така, що створює комплексні цінності з найменшою витратою засобів і енергії, це ідея не тільки сьогодення, це ідея охорони наших природних багатств від хижацького марнування, ідея використання сировини до кінця, ідея можливого збереження наших природних запасів на майбутнє."

Таким чином, розвиток та удосконалення виробництва будівельних матеріалів, підвищення їхньої економічної ефективності на сучасному етапі в значній мірі будуть визначатись раціональністю використання сировинних ресурсів, повнотою залучення у виробництво відходів різних галузей промисловості.



# 1. ПРОБЛЕМА ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ ТА ЇХ КЛАСИФІКАЦІЯ

## 1.1. РОЗВИТОК ПРОМИСЛОВОСТІ ТА НАКОПИЧЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ

Інтенсифікація розвитку промислового комплексу призводить до збільшення витрат природних ресурсів, хоча ступінь їхнього раціонального використання є досить низьким. Щорічно використовується біля 10 млрд. т мінеральних та стільки ж органічних сировинних продуктів. Розробка та утилізація корисних копалин у світі відбувається скоріше, ніж розвідка їх запасів. Біля 70 % витрат у промисловості країн СНД припадає на сировину, матеріали, паливо та енергію. В той же час від 10 до 99 % вихідної сировини перетворюється у відходи, що потрапляють в атмосферу та водоймища, які забруднюють землю.

Промислове виробництво щорічно зростає у всьому світі, і пропорційно його росту зростає кількість відходів, збільшуючись приблизно у 2 рази за кожні 8–10 років. Загальна кількість твердих відходів, які щорічно утворюються в Україні складає біля 1 млрд т, у США - 3,5 млрд тонн, тобто приблизно 50 кг на душу населення. За різними джерелами в Україні накопичилось від 20 до 30 млрд т, тобто понад 500 т на одну людину.

Найбільш інтенсивно зростає споживання енергетичних ресурсів. З початку свого існування людство використало майже 90 млрд тонн умовного палива. Збільшення світового споживання мінеральної сировини (5 – 6 % на рік) досягає таких розмірів, що подвоєння його фізичного об'єму повинно відбуватися через кожні 30 років, а палива – й того швидше. Величезні масштаби використання цих ресурсів потребують все більших затрат на їх відновлення, а кількість накопичених відходів стає такою, що їх видалення та складування перестає бути економічно виправданим. Транспортування та складування відходів відволікає значні кошти від основного виробництва. На організацію та експлуатацію відвалів підприємств вугільної та енергетичної галузі витрачаються кошти, що складають 8... 10 % вартості енергії, пара та вугілля, яке добувається.

Промислові відходи негативно впливають на екологію довкілля. Найбільш значними є викиди підприємств енергетичної, хімічної та металургійної промисловості. В атмосферу поступають газоподібні та тверді відходи при спалюванні палива, а також токсичні речовини, утворені внаслідок протікання різноманітних технологічних процесів. Загальна кількість викидів підприємств енергетики України сягає 2,3...2,5 млн.т. на рік. Наприклад, залежно від зольності вугілля, крупні ТЕС країни викидають в атмосферу 10...100 т золи, що розповсюджується у радіусі кількох кілометрів. Крім того, разом із вихідними газами теплових електростанцій щоденно в атмосферу потрапляють десятки тонн сірчаного ангідриду.





Джерелами забруднення атмосфери різноманітним пилом є також підприємства по виробництву будівельних матеріалів, гірничо-збагачувальні комбінати та інші підприємства, технологічні процеси яких ґрунтуються на подрібненні, помелі та випалюванні великої кількості мінеральної сировини.

Загальний об'єм забруднення довкілля, що припадає на будівельну індустрію, складає майже 12%. Наприклад, при роботі обертових печей для випалювання цементного клінкеру винесення пилу складає 8...20 % від загальної кількості сухої сировини. Навіть після очищення газоповітряні викиди технологічних агрегатів цементних заводів містять 100...150 мг/м<sup>3</sup> пилу. Враховуючи, що об'єм газів (які викидаються в атмосферу) з однієї обертової печі для випалювання клінкеру, залежить від її розмірів, виду сировини, палива та режиму випалювання, і коливається від 40 до 600 тис. м<sup>3</sup>/год, кількість винесеного пилу в атмосферу навіть при якісній роботі електрофільтрів складає біля 100 кг/год.

Промислові відходи негативно впливають не тільки на атмосферу, але й на гідросферу (водне середовище). Наприклад, один целюлозно-паперовий комбінат скидає щодоби біля 150 тис. м<sup>3</sup> стічних вод, тобто майже стільки, скільки велике промислове місто. Велику загрозу створюють фенольні сполуки, що містяться в стічних водах підприємств лісохімічної, коксохімічної, сланцевої, анілінофарбової промисловості, а також різних заводів хімічної переробки сільськогосподарської сировини. Стічні води деяких хімічних виробництв містять синтетичні поверхнево-активні речовини, навіть незначна кількість яких викликає утворення стійкої піни, внаслідок чого різко погіршуються біохімічні властивості води.

В наш час на підприємствах гірничопереробної, металургійної, хімічної, деревопереробної, енергетичної та будівельних матеріалів утворюється біля 1 млрд. т. відходів. Використовується лише третина від загального об'єму відходів. У відвалах і шламосховищах України накопичено біля 30 млрд. т. твердих відходів.

Річні економічні втрати від забруднення довкілля відходами виробництва та споживання оцінені на рівні 10% валового внутрішнього продукту.

Найбільш гостро стоїть питання про утилізацію відходів вугільної промисловості. На деяких шахтах Донбасу добування 1 тис. т вугілля супроводжується утворенням вскришних порід в кількості більше 800 т. Крім того, еколого-геохімічними випробуваннями встановлено інтенсивний винос дощовими водами важких металів із териконів шахт Донбасу. Високе забруднення довкілля внаслідок викидів та накопичення відходів представляє собою потенційну загрозу для існуючих екологічних систем різного рівня, а також для здоров'я людини. За останні роки набули поширення ендокринні, алергічні та токсичні хвороби, що спричинені дією хімічних речовин, які потрапили в навколишнє середовище завдяки діяльності людини.



Раціональне вирішення проблеми утилізації промислових відходів залежить від ряду факторів: кількості, речовинного складу та агрегатного стану відходів, особливостей головного технологічного циклу та процесу вилучення відходів із виробництва. Зниження збитків, обумовлених утворенням промислових відходів, досягається удосконаленням виробництва та дотриманням технологічної дисципліни, підвищенням ефективності вилучення й знешкодження та раціональним похованням відходів.

В більшості випадках промислові відходи можна розглядати як *напівфабрикати*, при отриманні яких вже витрачений певний об'єм палива. Так, при отриманні 1 кг металургійних шлаків витрачається більше 1260 кДж теплоти, а паливних золошлаків — 600...840 кДж. Деяка частина промислових відходів може містити значну кількість паливних залишків (наприклад, в складі золи кількість невипалених вуглецевих частинок (НВЧ) досягає 20...30 %).

Масштаби використання промислових відходів у виробництві будівельних матеріалів в Україні так само, як і в більшості розвинутих країн світу, постійно збільшуються. Деякі види відходів, як наприклад, доменні гранульовані шлаки, користуються великим попитом і зараз використовуються майже повністю. Передові металургійні виробництва перейшли практично на використання безвідходних технологій. Значно менше ніж доменні, використовуються поки що сталеплавильні шлаки. Об'єм їхнього споживання складає біля 65%. Незначним є рівень застосування шлаків кольорової металургії. Утилізації підлягає лише біля 15 % об'єму золошлакових відходів енергетичної промисловості, які поряд з металургійними шлаками можна віднести до найбільш значних сировинних ресурсів для промисловості будівельних матеріалів. Незадовільний поки що рівень використання відходів деревопереробної, хімічної, нерудної та ряду інших галузей промисловості.

Залежно від фізико-хімічних властивостей відходів, а також від їх кількості, використовують різні методи знешкодження та переробки: механічні, біологічні, хімічні, сорбційні, термічні, а також комбіновані. Найбільш поширеним є спосіб знешкодження відходів випалюванням. Випалювання відбувається в печах і топках різної конструкції.

На чисельних виробництвах із малотоннажним випуском продукції, що характерно для крупних індустріальних центрів, іноді є економічно невигідно або технічно неможливо створити локальні системи переробки та знешкодження відходів. В цьому випадку промислові відходи відправляють на спеціальні полігони для централізованого знешкодження.

Шкідливі речовини, що отруюють атмосферу й водоймища, в деяких випадках доцільно вилучати для отримання цінних хімічних продуктів. Для цього створюють *енерготехнологічні комплекси*, що виробляють не тільки електроенергію, але й такі речовини, як сульфат амонію, сірчаний ангідрид.





На деяких металургійних підприємствах освоєна технологія регенерації металів шляхом переробки шлаків, шламів та ін. Кожна тонна алюмінію, вилученого з відходів, коштує в 10, міді — в 6, цинку — в 3,5 та свинцю — в 2,5 разів дешевше, ніж ті метали, що виплавлені звичайним шляхом — з рудної сировини.

Ефективне рішення проблеми промислових відходів — це впровадження безвідходних технологій. Безвідходні виробництва базуються на принциповій зміні технологічних процесів, що передбачають розробку систем із замкнутим циклом, та забезпечують багатократне використання продуктів і комплексну переробку сировини.

При комплексному підході до використання сировинних матеріалів промислові відходи або побічні продукти одних виробництв є вихідними матеріалами інших. Подібне застосування сировини обумовлено потребами розвитку народного господарства на сучасному етапі. Важливість комплексної переробки сировинних матеріалів можна розглядати у кількох аспектах.

По-перше, утилізація відходів дозволяє вирішувати задачі щодо охорони навколишнього середовища, вивільняти цінні земельні ділянки, що використовуються під відвали та шламосховища, усувати шкідливі викиди в навколишнє середовище.

По-друге, відходи промисловості в значному ступені задовольняють потреби деяких перероблюючих галузей у сировині, причому в багатьох випадках високоякісному, оскільки вони піддаються у процесі виробництва первинній технологічній обробці (подрібненню, випалюванню і т. д.).

По-третє, при комплексному використанні сировини знижуються питомі капітальні витрати на одиницю продукції та зменшується термін їх окупності; знижуються також витрати основного виробництва, пов'язані зі складуванням відходів, будівництвом та експлуатацією сховищ для них; зменшуються витрати теплоти та електроенергії на нову продукцію за рахунок технологічної підготовки відходів; збільшується продуктивність обладнання.

На сьогоднішній день, враховуючи ефективність використання багатьох мінеральних та органічних відходів як сировинних ресурсів, відходами їх можна вважати лише по відношенню до головної продукції підприємств.

В Німеччині, наприклад, були прийняті спеціальні нормативні акти, згідно яким металургійні шлаки із категорії відходів були переведені до розряду побічних продуктів виробництва. Для кожного виду шлаків (доменного, конвертерного, електроплавильного та ін.) розроблено перелік виробничих факторів (починаючи з обробки шлакових розплавів і закінчуючи технологією їхньої переробки у твердому стані), які впливають на їхні властивості та визначають напрямки, де вони можуть бути застосовані з найбільшою користю. Підприємства – поставщики шлаків, які забезпечують їхню відповідну якість, отримують спеціальний сертифікат, що вказується в



документах на відвантаження. Із 25 млн. т доменних шлаків, що були отримані в 2000р. у європейських країнах, було використано майже 100%: біля 60% – у виробництві цементу, залишок – в інших галузях будівельної індустрії. В той же час, із загального об'єму сталеплавильних шлаків отримало використання тільки лише 75%, залишок – знаходиться у відвалах.

Із галузей-споживачів промислових відходів, які є побічними продуктами різних виробництв, найбільш вагомим є виробництво будівельних матеріалів. Враховуючи, що витрати на матеріальні ресурси складають більше 55 % собівартості будівельних матеріалів, то вірогідно, можна стверджувати, що використання відходів (побічних промислових продуктів) — це один із шляхів підвищення ефективності виробництва будівельних матеріалів.

## 1.2. КЛАСИФІКАЦІЯ ВІДХОДІВ

У нормативній та науковій літературі поки що відсутнє єдине визначення понять "відходи", "вторинні ресурси", "попутні та побічні продукти", "утиль-сировина", а тому увесь час у періодичній пресі продовжуються дебати щодо доцільності введення та використання наведених термінів.

*Відходи* – це продукти діяльності людини у побуті, на транспорті, у виробництві, що не використовуються безпосередньо в місцях свого утворення, але які можуть бути реально чи потенційно використані безпосередньо як сировина в інших галузях господарства, в тому числі після додаткової переробки або спеціальної (хімічної, термічної і т.д.) обробки. Таким чином, відходи – це все те, що утворюється у процесі виробництва і після його завершення, крім продуктів у вигляді енергії або речовин – предметів виробництва. Згідно цьому визначенню до відходів відносяться залишки багатокomпонентної сировини після вилучення з її складу потрібного продукту, наприклад, пуста порода, шлаки та золи теплових електростанцій, доменні шлаки, горіла порода, металева стружка машинобудівних підприємств. Відходами також є речовини, що містяться у викидних технологічних газах та стічних водах підприємств, які використовують воду у технологічних циклах.

Термін "*відходи промисловості*" трактується як залишки матеріалів та напівфабрикатів, що утворилися при виробництві продукції і частково або повністю втратили свої вихідні споживчі властивості. Така трактовка поняття "відходів" у загальному випадку не є вдалою і потребує відповідного коригування. Так, наприклад, при добуванні, корисних копалин, вскришні породи можна розглядати як відходи виробництва. Поряд з тим ці відходи мають певні споживчі властивості і можуть розглядатися в багатьох випадках як сировинні ресурси.

Термін "*відходи промисловості*" (сільського, міського господарства) по відношенню до продуктів, які можна розглядати як сировинні матеріали, часто піддають критиці. Дійсно, при визначенні терміна "відходи" не



акцентуються споживчі властивості матеріальної продукції, що утворюється внаслідок господарської діяльності людей поряд з головною продукцією виробництва. В той же час термін "відходи" є досить загальним і широко використовується як в практичній діяльності, так і в науковій літературі. Відходи виробництва та споживання при їх раціональній переробці перестають бути непотрібними речовинами, а стають цінними вихідними матеріалами та напівфабрикатами для отримання будівельних матеріалів і виробів.

Згідно із стандартизованим визначенням, під *вторинними матеріальними ресурсами* слід розуміти сукупність відходів виробництва та споживання, що утворюються в народному господарстві. При цьому вторинні матеріальні ресурси, що використовуються, вважають за *вторинну сировину*.

Під вторинними ресурсами часто розуміють також використані матеріали, що втратили свою первинну цінність. На таку вторинну сировину припадає 7...8% загальної кількості відходів.

Деяку різницю, хоч досить умовну, може мати такий термін як "*попутні та побічні продукти*". До перших зазвичай відносять відходи, які можуть використовуватись у народному господарстві без зайвої переробки, до других – відходи, що потребують додаткової переробки.

Все більш широке використання знаходить термін "*техногенна сировина*". Під цим терміном розуміють відходи, що утворилися внаслідок технічної діяльності підприємств, і які представляють інтерес як сировинні матеріали для отримання різноманітної продукції. Техногенна сировина часто має певні техніко-економічні переваги порівняно зі звичайною сировиною. Іноді ця сировина може бути технологічно більш підготовленою ніж звичайна природна сировина (наприклад, вона може бути частково випаленою, диспергованою, механічно або хімічно активованою і т.д.).

На сьогодні відсутній реєстр промислових відходів, що ускладнює не тільки вирішення проблеми їхньої утилізації, нейтралізації та знешкодження, але й створює певні перешкоди щодо цільового залучення відходів у виробництво для отримання якісної продукції, в тому числі матеріалів та виробів будівельного призначення. Також на жаль відсутня всебічна загальна класифікація відходів виробництва, яка б враховувала технологічні особливості їх отримання та умови утворення і вилучення із основного технологічного циклу, хімічний та мінералогічний склад, властивості, а також наявність в їх складі шкідливих речовин.

Відходи зазвичай класифікують:

- за агрегатним станом: тверді, рідкі та газоподібні;
- за хімічним складом: органічні та неорганічні;
- за походженням: промислові, сільськогосподарські, побутові.

Розглядаючи поділ відходів за агрегатним станом слід зазначити, що деякі види відходів можуть бути у перехідному стані, тобто у стані дисперсій, аерозолів, емульсій та ін.



В промисловій екології тверді відходи поділяють на *відходи виробництва* та *відходи споживання*. В свою чергу відходи споживання поділяють на *промислові* та *побутові* відходи (рис.1.1).



Рис.1.1. Класифікація відходів

*Відходи споживання* – вироби та матеріали, що втратили свої споживчі властивості внаслідок фізичного(матеріального) або морального зношування.

*Промислові відходи споживання* – це машини, станки та інше застаріле обладнання підприємств.

Найбільше значення для виробництва будівельних матеріалів мають мінеральні продукти, які складають більшу частину всіх відходів, що виробляються добуваючими та перероблюючими галузями промисловості. Ці продукти більш досліджені і ширше використовуються, ніж органічні.

П.І.Боженов запропонував класифікувати побічні промислові продукти в момент виділення їх із основного технологічного процесу на три наступні класи: *А* — продукти, що не втратили природні властивості; *Б* — штучні продукти, отримані внаслідок глибоких фізико-хімічних процесів; *В* — продукти, утворені при тривалому зберіганні в відвалах.

*Продукти класу А* (кар'єрні залишки та залишки після збагачення на корисні копалини) мають хіміко-мінералогічний склад та властивості відповідних гірських порід. Галузь їх використання обумовлена агрегатним станом, фракційним та хімічним складом, фізико-механічними властивостями. Мінеральні продукти класу *А* використовують переважно як заповнювачі бетонів, а також як вихідну глинисту, карбонатну або силікатну сировину для отримання різноманітних штучних будівельних матеріалів (кераміки, вапна, автоклавних матеріалів).

*Продукти класу Б* отримують внаслідок фізико-хімічних процесів, що відбуваються при звичайних або частіше високих температурах. Діапазон їх





можливого використання ширше, ніж продуктів класу *A*. Особливо ефективно використання цих відходів там, де можна компенсувати повністю або частково витрати паливно-енергетичних ресурсів та робочої сили на їх отримання. Використання продуктів цього класу раціонально при виробництві цементів, матеріалів автоклавного твердіння, де підвищена реакційна здатність вихідної сировини дає високий економічний ефект. Так, при використанні доменного шлаку для виготовлення шлакопортландцементу майже в два рази знижуються паливно-енергетичні витрати на одиницю продукції, а собівартість зменшується на 25...30 %.

*Продукти класу B* утворюються внаслідок фізико-хімічних процесів, що відбуваються у відвалах (самоспалахування, розпад шлаків та утворення порошку і т.д.). Типовими представниками сировинних матеріалів цього класу є горілі алюмосилікатні породи, що утворюються при самоспалахуванні териконів.

Наведена вище класифікація потребує обов'язкового врахування хімічних характеристик побічних продуктів. Залежно від переважаючих в їх складі хімічних сполук мінеральні відходи можна поділити на наступні групи: *силікатні, карбонатні, вапняні, гіпсові, залісті*. В межах кожної групи можлива більш докладна класифікація. Наприклад, силікатні відходи можна поділити на основні та кислі залежно від процентного вмісту основних та кислотних оксидів, карбонатні — на кальцієві та магнеєві. В деяких випадках при хімічній характеристиці провідне місце відводиться речовинам, що містяться в порівняно невеликій кількості, але мають вирішальний вплив при виборі способу утилізації (наприклад, луго-, цинко-, алюмініймісткі сполуки).

Більша частина природних та штучних мінеральних відходів промисловості складається переважно з кремнезему, силікатів та алюмосилікатів кальцію й магнею. Це пояснюється тим, що вони є відходами добування та переробки природних силікатних матеріалів, частка яких складає 86,5 % від маси земної кори. Силікатні відходи промисловості можна поділити на чотири групи залежно від структури та хімічного складу.

*Першу групу* складають мінеральні сировинні матеріали, в яких кремнезем зв'язаний у силікати або алюмосилікати кальцію, що знаходяться переважно в скловидному стані. Вони набувають гідравлічної активності при лужній та сульфатній активації. Залежно від вмісту  $\text{CaO}$  та  $\text{Al}_2\text{O}_3$  такі матеріали твердіють в нормальних умовах або при тепловологій обробці. При високотемпературному випалюванні їх разом з карбонатом кальцію можна отримати портландцементний клінкер. Типовими представниками цієї групи є гранульовані доменні та фосфорні шлаки, а також паливні шлаки, що утворюються при підшихтовці вугілля вапняком.

До *другої групи* належать відходи, в яких кремнезем зв'язаний у силікати або в алюмосилікати, що знаходяться в кристалічному стані. Вони не проявляють активності при нормальних температурно-вологих умовах. До



цієї групи входять, наприклад, повільно охолоджені відвальні металургійні шлаки та електротермофосфорні шлаки, а також побічні продукти гірничопереробної промисловості.

У відходах, що відносяться до *третьої групи*, кремнезем знаходиться переважно у вільному стані у вигляді кварцу. Представниками цієї групи є силікатні продукти – хвости збагачення різних руд, сировина для хімічної промисловості, вскришні породи.

Відходи другої та третьої груп можуть бути утилізовані в будівництві як нерудні будівельні матеріали, як сировина для виробництва автоклавних матеріалів, кераміки, скла.

До *четвертої групи* можна віднести сировину, що містить переважно силікати кальцію як в негідратованому, так і в гідратованому станах, наприклад шлами металургійних виробництв (нефелінові, бокситові, сульфатні, білі та ін.). Ці побічні продукти використовують для виробництва так званих шламових цементів, портландцементу, виробів автоклавного твердіння.

Більш деталізована класифікація розроблена для окремих силікатних продуктів, особливо шлаків та золошлакових відходів. Наприклад, О.В.Волженським ці продукти залежно від умов утворення поділені на три групи: швидкого та повільного охолодження внаслідок твердофазових реакцій і взаємодії твердих фаз із розплавом. В свою чергу, кожна група залежно від хімічного та мінералогічного складу поділяється на окремі різновиди. Така класифікація дозволяє прогнозувати оптимальні умови твердіння в'язучих на основі шлаків та золи, а також вибирати оптимальні способи їх активізації.

Згідно з діючими нормативами всі промислові відходи поділяють на чотири класи небезпеки (табл.1.1).

Таблиця 1.1

#### Поділ промислових відходів за ступенем небезпечності

Клас	Характеристика речовин (відходів)
Перший	надзвичайно небезпечні
Другий	високо небезпечні
Третій	помірно небезпечні
Четвертий	мало небезпечні

Для прикладу можна навести клас небезпеки деяких хімічних речовин, що визначається розрахунковим методом:

- наявність у складі відходів ртуті, сулеми, хромовоокислого калію, трихлористої сурьми, бензопирену, оксиду миш'яку та інших високотоксичних речовин дозволяє віднести їх до першого класу небезпеки;





- наявність у відходах хлориду міді, нікелю, оксиду сурьми, нітрату свинцю та інших, менш токсичних речовин дає можливість віднести ці відходи до другого класу небезпеки;
- наявність у відходах сульфату міді, оксалату міді, хлориду нікелю, оксиду свинцю, хлористого вуглецю дозволяє віднести їх до третього класу небезпеки;
- наявність у відходах сульфату марганцю, фосфатів, сульфату цинку, хлориду цинку дає можливість віднести їх до четвертого класу небезпеки.

При оцінці промислових відходів як сировини для виробництва будівельних матеріалів необхідно враховувати їхню відповідність нормам на допустимий вміст радіонуклідів. Як природна, так і техногенна сировина, включають в своєму складі радіонукліди (радій-226, торій-232, калій-40 та ін.), які є джерелом  $\gamma$ -випромінювання. При розпаді радію-226 виділяється радіоактивний газ, який потрапляє до навколишнього середовища. За розрахунками спеціалістів, він вносить до 80% в загальну дозу випромінювання людей.

Згідно з будівельними нормами залежно від концентрації радіонуклідів будівельні матеріали поділяють на три класи:

1 клас: сумарна питома активність радіонуклідів не перевищує 370 Бк/кг. Ці матеріали використовують для всіх видів будівництва без обмежень;

2 клас: сумарна питома активність радіонуклідів знаходиться в діапазоні від 370 до 740 Бк/кг. Ці матеріали можуть бути використані для дорожнього та промислового будівництва в межах території населених пунктів та зони перспективної забудови;

3 клас: сумарна питома активність радіонуклідів перевищує 740, але нижче 1350 Бк/кг. Ці матеріали можна використовувати у дорожньому будівництві за межами населених пунктів – для влаштування основ доріг, дамб та ін. В межах населених пунктів їх можна використовувати для будівництва підземних споруд, що вкриті шаром ґрунту товщиною більше 0,5м, де виключене тривале перебування людей.

Якщо величина сумарної питомої активності радіонуклідів перевищує 1350 Бк/кг, то питання про можливість застосування таких матеріалів вирішують у кожному випадку окремо при погодженні з органами охорони здоров'я.

Вміст радіонуклідів у промислових відходах визначається їх походженням, концентрацією природних радіонуклідів у вихідній сировині. Наприклад, в фосфогіпсах ряду країн концентрація радіонуклідів по радію-226 знаходиться в межах 600...1500 Бк/кг, торію-232 - 5...7Бк/кг і калію- 40 – 80...110 Бк/кг. Фосфогіпси російських та українських підприємств мають активність, яка не перевищує 1005 Бк/кг.

В Європейських нормах заборонено використовувати у будівництві матеріали з радіаційним випромінюванням вище 25 нКи/кг; рекомендується контролювати матеріали з радіаційним випромінюванням від 10 до 25 нКи/кг



і вважати нерадіоактивними матеріали з радіоактивним випромінюванням менше 10 нКи/кг.

Для системного розгляду відходів промисловості та міського господарства вигідна їх класифікація залежно від галузі промисловості, де вони утворюються. За цим принципом можна виділити наступні групи:

1. *Відходи металургії*: доменні, феросплавні та сталеплавильні шлаки; шлаки, що утворюються при виплавленні руд кольорових металів; продукти збагачення руд; нефелінові та інші шлами.
2. *Відходи паливно-енергетичної промисловості*: зола, паливні шлаки, золошлакові суміші, шахтні породи, відходи вуглезбагачення, горілі породи, пусті породи та ін.
3. *Відходи хімічної промисловості*: залізисті, вапно– та гіпсомісткі відходи; соле- та гідроксидмісткі шлами та содопродукти; фосфорні шлаки, вторинні полімерні продукти та ін.
4. *Відходи виробництва будівельних матеріалів та будівельної галузі*, в тому числі цементної, асбестоцементної, скляної, керамічної промисловості.
5. *Відходи гірничо-рудної промисловості*: вскришні породи та породи, що попутно розробляються.
6. *Відходи переробки деревини та іншої рослинної сировини*: кора, обрізки, стружки, тирса, лігнін та ін.
7. *Відходи споживання*, в тому числі міського господарства: *побутові відходи* (відпрацьовані та зношені автопокришки, ганчір'я, макулатура, будівельне сміття, використані полімерні матеріали, склобій тощо) та *промислові відходи* (бетонні, цегляні, металеві та ін. споруди, що вийшли із експлуатації).

### **1.3. ВИРОБНИЦТВО БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА УТИЛІЗАЦІЯ ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ**

Промисловість будівельних матеріалів є базовою галуззю будівельного комплексу і відноситься до найбільш матеріалоємних галузей промисловості.

Матеріалоємність визначається відношенням кількості або вартості витрачених на виробництво продукції матеріальних ресурсів до загального об'єму продукції. Враховуючи, що більшість мінеральних та органічних відходів за своїм хімічним складом та технічними властивостями близькі до природної сировини, а інколи мають і деякі переваги (наприклад, є вже попередньо випаленими або подрібненими), використання промислових відходів у виробництві будівельних матеріалів є одним із основних напрямків зниження матеріалоємності цього масового багатотоннажного виробництва. В той же час зниження об'ємів природної сировини, що розробляється, та утилізація відходів має суттєве економіко-екологічне значення. В ряді випадків використання сировини з відвалів промислових підприємств практично повністю задовольняє потреби галузі в природних ресурсах.



Найбільше значення для будівельної індустрії мають доменні шлаки, які отримують як побічний продукт при виплавці чавуна із залізних руд. На сьогодні доменні шлаки є цінною сировиною для виготовлення багатьох будівельних матеріалів, в тому числі, портландцементу. Європейськими та Українськими нормами дозволяється вводити до складу портландцементу до 35% доменного гранульованого шлаку, а до шлакопортландцементу – до 80%. Введення доменних шлаків до сировинної суміші збільшує продуктивність печей та знижує витрати палива на 15%. При використанні доменних шлаків для виробництва шлакопортландцементу знижуються паливно-енергетичні витрати на одиницю продукції майже в 2 рази, а собівартість – на 25...30%. Крім того, шлак як активна добавка значно покращує будівельно-технічні властивості цементу.

*Доменні шлаки* як сировину доцільно використовувати не тільки для отримання в'язучих речовин та бетонів, але й для виготовлення склокристалічних матеріалів, в тому числі шлакоситалів – продуктів, що виготовляються методом каталітичної кристалізації шлакового скла. За показниками міцності шлакоситали не поступаються металам, але суттєво перевищують міцність скла, кераміки, кам'яного литва, природного каменю. Шлакоситали у 3 рази є легшими за чавун та сталь, у 8 разів стійкіші на стирання, ніж вироби з кам'яного литва та у 20...30 разів, ніж вироби з граніту та мармуру.

Порівняно з доменними шлаками значно менше використовуються сталеплавильні шлаки та шлаки кольорової металургії. Вони є резервом для отримання щільного литого щебеню і можуть бути використані у виробництві мінеральної вати, портландцементу та інших в'язучих матеріалів або бетонів автоклавного твердіння.

Досить велика кількість відходів, що представлена золою та шлаками, а також їх сумішню, утворюється в енергетичній промисловості.

Кількість відходів, що утворюється при спалюванні різних видів твердого палива складає 10...15% ( в разі використання бурого вугілля) , 5...40% (кам'яного вугілля), 2...30% (антрациту) , 50...80% (горючих сланців) та 2...30% (паливного торфу).

У виробництві будівельних матеріалів зазвичай використовують золи сухого видалення та золошлакові суміші із відвалів, причому галузі їхнього використання надзвичайно різноманітні. Найбільш значними напрямками застосування паливної золи та шлаків є дорожнє будівництво, виробництво в'язучих речовин, важких та ніздрюватих бетонів, легких заповнювачів, стінових матеріалів. У складі важких бетонів золи використовують, переважно, як активні мінеральні добавки та мікронаповнювачі, що дозволяє знизити витрати цементу на 20...30%. В легких бетонах на пористих заповнювачах золи використовують не тільки як добавки, що знижують витрати цементу, але й як дрібний заповнювач, а золошлакові відходи – як дрібний пористий заповнювач. Золи та шлаки є також придатними для



виготовлення штучних пористих заповнювачів. У складі ніздрюватих бетонів зола використовується як основний компонент або добавка для зниження витрати в'язучої речовини.

Значне використання у промисловості будівельних матеріалів знаходять *відходи вугледобування та вуглезбагачення*. На вуглезбагачувальних фабриках вугільних басейнів щоденно утворюються мільйони тонн відходів, які можуть бути використані для отримання пористого заповнювача та керамічних виробів.

Використання відходів вугледобування, як паливної та спіснювальної добавки при виготовленні керамічних виробів, дозволяє скоротити витрати умовного палива на 50...70 кг на кожні 1000 шт. цегли та підвищити якість отриманої продукції. Відходи вуглезбагачення широко використовують при влаштуванні дорожніх покриттів.

Цінною сировиною для промисловості будівельних матеріалів є *відходи гірничорудних підприємств та підприємств нерудної промисловості*. Можна навести багато прикладів ефективного використання вскришних порід, відходів збагачення залізних руд та руд кольорових металів, відсівів дроблення як сировини для отримання в'язучих, автоклавних матеріалів, скла, кераміки, фракціонованих заповнювачів. Експлуатаційні витрати на отримання 1м<sup>3</sup> щебеню з відходів гірничорудних підприємств у 2...2,5 рази нижчі, ніж на добування його з кар'єрів.

Для отримання будівельних матеріалів також використовується значна кількість *відходів хімічної промисловості*, наприклад фосфорні шлаки та фосфогіпс. Фосфорні шлаки – відходи при сублімації фосфору у електропечах – перероблюються, в основному, у гранульовані шлаки, шлакову пемзу та литий щебінь. Гранульовані електротермофосфорні шлаки близькі за структурою та складом до доменних і також можуть бути використані у виробництві цементів. На їх основі розроблена технологія отримання шлакоситалів. Використання фосфорних шлаків у виробництві стінової кераміки дозволяє підвищити марку цегли та покращити інші його властивості.

Потребу промисловості будівельних матеріалів у гіпсовій сировині практично повністю можна задовольнити за рахунок гіпсомістких відходів промисловості й, в першу чергу, фосфогіпсу. Розроблено ряд технологій отримання будівельного та високоміцного гіпсу шляхом переробки фосфогіпсу, які реалізовані поки що недостатньо. Це пов'язано в деякій мірі з ціновою політикою на природну сировину та з відсутністю економічних переваг, що повинні бути при застосуванні техногенної сировини. Наприклад, в Японії, де відсутні запаси природної гіпсової сировини, для отримання різноманітних гіпсових виробів фосфогіпс використовують практично повністю.

Використання фосфогіпсу також є ефективним у виробництві портландцементу, причому його можна використовувати як природний





гіпсовий камінь для регулювання строків тужавлення та як добавку – мінералізатор для зниження температури випалювання клінкеру.

Досить велика група ефективних будівельних матеріалів виготовляється з відходів деревини та переробки іншої рослинної сировини. З цією метою використовують тирсу, стружку, деревне борошно, кору, сучки, костру та ін. Всі деревні відходи можна розділити на три групи: відходи лісозаготівельної промисловості, відходи лісопильного виробництва й відходи деревообробної промисловості. З відходів деревини, отриманих на різних стадіях її переробки, виготовляють деревноволокнисті та деревностружкові плити, арболіт, ксилоліт, фіброліт, короліт, деревні пластики. Всі ці матеріали залежно від галузі застосування розділяють на конструкційно-теплоізоляційні, теплоізоляційні та оздоблювальні.

Застосування матеріалів на основі деревних відходів, поряд з високими техніко-економічними показниками, забезпечує архітектурну виразність, гарний повітрообмін і мікроклімат приміщень, поліпшені теплотехнічні показники.

Значні обсяги відходів, які можна розглядати як вторинні сировинні ресурси, утворюються на підприємствах будівельних матеріалів. Це, поряд з відходами виробництва нерудних матеріалів, скляний і керамічний бій, цементний пил, відходи виробництва мінеральної вати та ін. Широке використання бетону і залізобетону у будівництві різноманітних об'єктів, прискорення темпів реконструкції міст, призвело до збільшення об'ємів некондиційної продукції та відходів.

Щорічний обсяг бетонного брухту і накопичення некондиційних виробів постійно збільшується при розбиранні старих будинків, відновленні доріг та заміні фігурних елементів мощення, випробуванні конструкцій.

За прогнозами технічного комітету RILEM обсяги руйнування бетонних і залізобетонних конструкцій у світі на сьогодні становлять більше 400 млн.т. Результати узагальнення зарубіжного досвіду щодо рециклінгу бетону свідчать про значну ефективність використання спеціалізованих комплексів по переробці таких відходів на щебінь для широкого використання його у різних галузях будівельного виробництва.

Однак в Україні застосування вторинного щебеню з подрібненого бетону поки що обмежене через відсутність економічних способів його переробки та технологічного обладнання для руйнування великогабаритних виробів і конструкцій. Позитивне розв'язання цієї проблеми дозволить створити ще одну можливість розширення сировинної бази заповнювачів та вирішити екологічні проблеми щодо утилізації бетонного брухту.

Комплексне використання сировини на більшості підприємств дозволяє створювати безвідхідні технології, завдяки яким сировинні ресурси повністю переробляються в будівельні матеріали. Такий підхід відповідає сучасній концепції *"Integrated Waste Management"*, яка передбачає комплексне вирішення проблеми поводження з відходами, і включає заходи по



скороченню кількості відходів, по ефективній переробці їх в якісну продукцію, а також по похованню тих відходів, які не підлягають повторному використанню.

Істотними резервами для розвитку сировинного потенціалу галузі будівельних матеріалів є *відходи міського господарства*. У передових країнах світу, що дотримуються вищенаведеної концепції комплексного використання відходів, широко застосовується система роздільного збирання сміття, причому в складі твердих побутових відходів превалюють макулатура, полімерні продукти, текстиль, скло. Є багаторічний досвід виробництва на базі цих відходів картону, волокна, будівельних пластмасових виробів та ін. Наприклад, в Іспанії працює завод, який сортує та переробляє 200 т сміття, при цьому кінцева продукція складається з 4 т металу, 23 т паперу та 8 т пластмаси. У Австрії побудовано завод, на якому шляхом переробки відходів отримують волокнисті матеріали, чорні метали та поліетиленову плівку.

Широка утилізація відходів у виробництві будівельних матеріалів вимагає рішення ряду організаційних і науково-технічних проблем. Край необхідною є регіональна каталогізація відходів із наведенням їхньої повної характеристики. Також вимагає розвитку нормативна база для стандартизації відходів як сировинних ресурсів у виробництві конкретних будівельних матеріалів. Масштаби утилізації промислових відходів і відходів міського господарства будуть розширюватися в міру впровадження комплексу технічних заходів щодо стабілізації їхнього складу, підвищення ступеня технологічної підготовки (зниження вологості, грануляція та ін).

Величезне значення має економічне стимулювання, що включає питання ціноутворення, фінансування, матеріального стимулювання тих підприємств, які зорієнтовані або на безвідходне виробництво, або на широке використання відходів у технологічному циклі.

#### **1.4 ВИБІР НАПРЯМКУ УТИЛІЗАЦІЇ ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ**

Вирішення проблем утилізації різноманітних відходів в галузі будівельних матеріалів повинно вирішуватись за рахунок:

- раціонального використання природних ресурсів, в тому числі шляхом максимального використання відходів різних виробництв, а також широкого залучення місцевої сировини;
- створення екологічно безпечних безвідходних низькоенергоємних технологій виготовлення будівельних матеріалів (з використанням сучасних технологій очищення навколишнього середовища);
- розробки концепції отримання довговічних, дешевих, конкурентоздатних та екологічно безпечних матеріалів, виробів і конструкцій, в тому числі спеціального призначення.





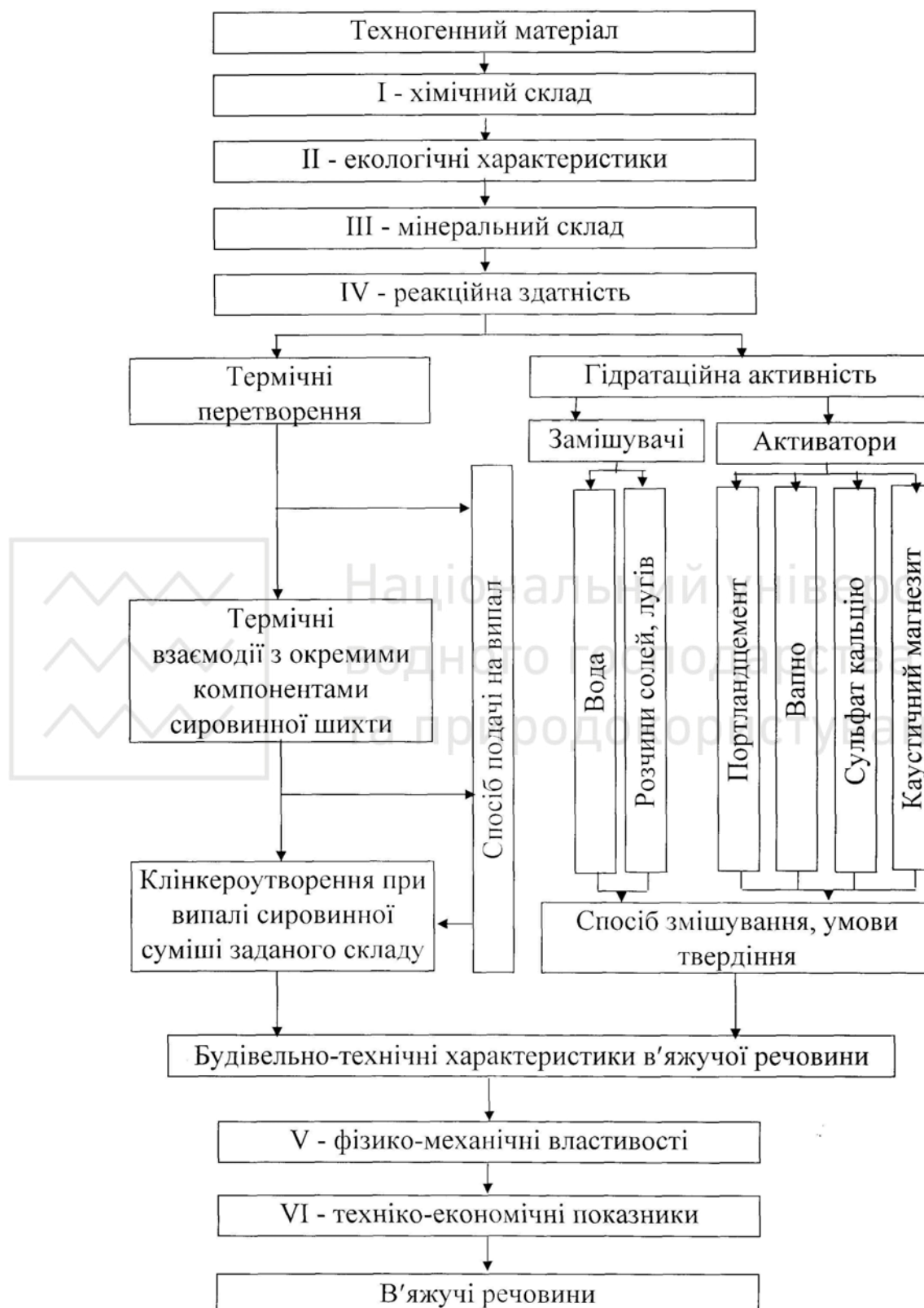
Вибір напрямку використання відходів як техногенної сировини має на меті досягнення максимальної економії ресурсів та ефекту енергозбереження з поліпшенням при цьому екологічної обстановки. При ухваленні рішення щодо можливості застосування тих або інших техногенних продуктів необхідно використати систему критеріїв, розроблених з урахуванням можливої області їхнього застосування. Одна з можливих схем оцінки промислових відходів як сировини у виробництві в'язучих матеріалів наведена на рис 1.2. Схема передбачає послідовний аналіз і врахування хімічного складу, екологічних характеристик, мінерального складу та реакційної здатності техногенної сировини. При екологічній оцінці враховуються дані щодо концентрації важких металів, токсичних речовин і значень активності природних радіонуклідів. При невисокому вмісті важких металів допускається використання відходів при застосуванні високотемпературних технологій за умови утворення в масі розплаву в кількості, достатній для консервації небезпечних речовин. Екологічно небезпечні відходи без попереднього очищення не можуть бути використані й направляються на поховання.

До числа найважливіших техніко-економічних показників, що враховують при виборі напрямку утилізації відходів є: ступінь їхнього можливого використання, економія природної сировини й матеріальних ресурсів, економія паливно-енергетичних ресурсів, якісні показники продукції, її затребуваність і конкурентоспроможність на ринку, однорідність складу відходів, схильність їх до технологічної підготовки й переробки, наявність транспортних комунікацій і радіус перевезень.

Одним з основних критеріїв при виборі напрямку використання промислових відходів є економічний ефект, що досягається. У виробництві будівельних матеріалів економічний ефект утилізації 1т твердих відходів  $E_{\text{пит}}$  визначають як різницю сумарних питомих наведених витрат на виготовлення аналогічних матеріалів із традиційної сировини й експлуатацію відвалів та витрат на виробництво аналогічних матеріалів з відходів промисловості (міського господарства):

$$E_{\text{пит}} = (n_1/a) (C_1 + n_2C_2 - C_3) + E_n(K_1 + n_2K_2 - K_3), \quad (1.1)$$

де  $C_1$  і  $C_3$  - собівартості будівельних матеріалів виготовлених відповідно із традиційної сировини й сировини, що підлягає утилізації;  $C_2$  - щорічні витрати на утримання відвалів та транспортування побічних продуктів;  $n_1$  - коефіцієнт, що враховує частку витрат на даний вид матеріалу в загальних витратах на сировину й матеріали в собівартості конструкції;  $n_2$  - коефіцієнт, що враховує часткову або повну ліквідацію відвалів,  $n_2 = 0,3 \dots 1$ ;  $K_1$  і  $K_3$  - питомі капітальні вкладення на виробництво відповідно будівельних матеріалів із традиційної сировини та сировини, що підлягає утилізації;  $K_2$  - капітальні вкладення на спорудження відвалів;  $E_n$  - нормативний коефіцієнт окупності капітальних вкладень;  $a$  - питома витрата сировини, що підлягає утилізації, на одиницю продукції.



**Рис.1.2.** Схема оцінки якості техногенних матеріалів для використання їх у виробництві в'язучих речовин



По окремих підприємствах економічна ефективність  $E$  від використання відходів виробництва визначається як відношення прибутку, одержаного в результаті використання відходів, до капіталовкладень:

$$E = (Ц - C) / K, \quad (1.2)$$

де  $Ц$  - вартість річного випуску продукції на основі відходів;  $C$  - собівартість річного випуску продукції з відходів;  $K$  - капіталовкладення на здійснення організаційно-технічних заходів щодо переробки відходів.

Коефіцієнт загальної економічної ефективності окремих заходів щодо використання відходів рекомендується визначати відношенням прибутку до витрат на відповідні заходи (капітальні та поточні):

$$\beta = \frac{Ц - C}{K}, \quad (1.3)$$

де  $\beta$  - коефіцієнт загальної економічної ефективності використання вторинних матеріальних ресурсів (по прибутку);  $Ц$  - вартість річного випуску продукції з відходів в оптових цінах підприємства (без податку з обігу), грн.;  $C$  - собівартість річного випуску продукції з відходів, грн.

Показник повного прибутку, будучи похідним від діючої оптової ціни на продукцію й від індивідуальних витрат виробництва, досить повно відображає результати раціонального використання ресурсів і є основою для розрахунку чистого прибутку, що представляє один з кінцевих показників господарської діяльності підприємства й служить джерелом поповнення його заохочувальних фондів. Тому виділення частки прибутку, що утвориться в результаті здійснення заходів щодо використання відходів - обов'язкова умова визначення його фактичної ефективності.

Приріст чистого прибутку підприємства ( $\Delta P_0$ ) у результаті комплексного використання відходів визначається за формулою:

$$\Delta P_0 = \sum_{i=1}^n [Ц_{0i} - (C_{0i} + D_i)] A_{0i}, \quad (1.4)$$

де  $Ц_{0i}$  - відпускна (оптова) ціна продукції, виготовленої з використанням замінного -  $i$ -го виду ( $i = 1, 2, 3 \dots n$ ) - матеріального ресурсу, грн. за од.;  $C_{0i}$  - собівартість виробництва одиниці аналогічної продукції, виготовленої з використанням відходів, грн.;  $D_i$  - сума фіксованих платежів у бюджет з урахуванням пільгових знижок за використання вторинних матеріальних ресурсів, грн. за од.;  $A_{0i}$  - додатковий (понад раніше вироблений) натуральний обсяг реалізованої товарної продукції, виготовленої з використанням відходів, од.

Матеріалоємність товарної або нормативної чистої продукції підприємства характеризує сумарну (за масою або вартістю) витрату сировини, палива, енергії, матеріалів і напівфабрикатів, що доводиться на



одиницю виміру товарної або нормативної чистої продукції, натуральний обсяг  $i$ -х видів якої змінюється у зв'язку з використанням вторинних матеріальних ресурсів.

Показник матеріалоємності продукції підприємства за вартістю ( $M_c$ ) встановлює частку матеріальних витрат у складі вартості товарної продукції або величину матеріальних витрат, що припадають на одиницю виміру нормативної чистої продукції, і визначається за формулою:

$$M_c = \frac{\sum_{i=1}^n M_{z_i}}{\sum_{i=1}^n C_{T(нч)_i} \cdot (A_{0_i} + A_0)}, \quad (1.5)$$

де  $M_{z_i}$  - матеріальні витрати (тис.грн.) на ресурси  $i$ -го виду, що змінюються по роках розрахункового періоду;  $C_{T(нч)_i}$  - вартість одиниці виміру товарної або нормативної чистої продукції, виготовленої з використанням матеріальних ресурсів  $i$ -го виду, тис.грн. на одиницю натурального обсягу продукції кожного виду;  $A_{0_i}$ ,  $A_i$  - фізичний обсяг реалізованої товарної продукції, виготовленої з матеріального ресурсу  $i$ -го виду відповідно з використанням і без використання вторинних матеріальних ресурсів.

Показники матеріалоємності продукції допомагають вивчати динаміку матеріальних витрат підприємства залежно від інтенсивності застосування на ньому вторинних матеріальних ресурсів і здійснювати заходи щодо комплексного використання відходів виробництва в загальній системі ресурсозбереження.

При утилізації окремих видів відходів замість первинної сировини необхідно враховувати ступінь взаємозамінності продуктів, виготовлених на основі первинної сировини й з використанням відходів. Оскільки продукти з первинної (кондиційної) сировини можуть відрізнятися за своїми споживними властивостями від продуктів, виготовлених із відходів, ці показники повинні бути наведені у порівнянному вигляді.

Базою для приведення показників споживних властивостей продукції з відходів та з первинної сировини до порівнянного виду є показники властивостей аналогічної продукції з первинної сировини.

За основу для порівняння варто приймати такі властивості продукції, як міцність, надійність, масу, довговічність, теплопровідність, теплоту згоряння й ін.

З цією метою вводиться поняття коефіцієнта еквівалентності споживних властивостей ( $l$ ), що може бути представлений у вигляді відношення:

$$l = \frac{Q_d}{Q_0}, \quad (1.6)$$



де  $Q_d$  - кількість продукції з первинної (традиційної) сировини (матеріалу), що рівноцінна за своїми споживними властивостями кількості продукції з відходів  $Q_o$ , т;  $Q_o$  - кількість продукції з відходів або з частковим використанням відходів у вигляді добавки, т.

Коефіцієнт еквівалентності споживних властивостей встановлюється на основі експериментального вивчення якісних показників при використанні порівнюваних виробів залежно від умов їхнього застосування.

Якщо певний вид відходу може бути використаний для одержання різних видів продукції, то для вибору оптимального напрямку рекомендується визначати економію наведених витрат для кожного варіанта одержання продукції з відходу порівняно з варіантом цієї продукції, отриманої з кондиційної (первинної) сировини.

Інтенсивність діяльності підприємства по залученню до виробничого процесу вторинних матеріальних ресурсів вимірюється, крім показників приросту чистого прибутку й зміни (скорочення) матеріалоемності продукції, іншими виробничими показниками, на які мають вплив заходи щодо комплексного використання відходів. До них відносяться: приріст обсягів продукції, що випускається; зростання фондівіддачі; збільшення продуктивності праці; зниження собівартості продукції; збільшення повного прибутку; підвищення рентабельності виробництва.

Повний розрахунок економічного ефекту утилізації побічних продуктів можливий при обліку додаткового ефекту від зниження збитку, заподіяного ними в біосфері,  $\Delta Y$ , оскільки відпадає необхідність у площах для складування відходів  $\Delta Y_b$ , а також скорочуються викиди в повітряний та водний басейни  $\Delta Y_6$ :

$$\Delta Y = \Delta Y_b + \Delta Y_6. \quad (1.7)$$

Перший додаток у формулі (1.7) визначається за формулою:

$$\Delta Y_b = \frac{CS_b}{T_b}, \quad (1.8)$$

де  $C$  - ціна 1 га землі, грн.;  $S_b$  - територія, що вивільняється з-під відходів, га;  $T_b$  - час, протягом якого розробляються відвали, років.

Другий додаток  $\Delta Y_6$  визначає зниження збитку сільському, лісовому, водному й іншим господарствам.

Визначаючи напрямок утилізації відходів промисловості (міського господарства), поряд з економічним ефектом, що досягається, необхідно враховувати й ряд інших факторів: суму капітальних вкладень в утилізаційні установки й механізми по переробці сировини і їхню ефективність; споживчу вартість виготовленої продукції, виробничу структуру даного регіону та ін.

Найважливішими властивостями сировинних матеріалів, що визначають методи їхньої переробки, є хімічний склад, фізико-механічні, токсикологічні, пожежо- та вибухонебезпечні характеристики.





У ряді випадків побічні продукти, що є промисловими відходами, характеризуються неоднорідністю складу й властивостей. Наприклад, хімічний склад золи може значно відрізнитися навіть при спалюванні того самого палива на одній електростанції. Коливання складу повинні враховуватися при виборі напрямку переробки сировини. Так, більша частина побічних продуктів, що утворюються при збагаченні й спалюванні вугілля основних родовищ нашої країни, за хімічним складом відповідає технологічним вимогам до сировини, що придатна для отримання аглопоритового щебеню.

При виборі сировини для виробництва аглопоритового гравію діапазон припустимих коливань вмісту окремих оксидів у вихідних матеріалах звужується, зокрема обмежується кількість легкоплавких компонентів. При коливаннях хімічного складу істотно змінюється гідравлічна активність золи. Так, кислі золи як активна мінеральна добавка до цементів і бетонів, можуть застосовуватися при вмісті в їхньому складі  $\text{SiO}_2$  не менш 40 % і  $\text{SO}_3$  не більше 2 %.

Для стабілізації складу та властивостей промислових відходів застосовують ряд технологічних прийомів. Зокрема, золи зі стабільними властивостями одержують при відборі певних фракцій, для чого на теплових електростанціях встановлюють системи золовиловлення.

При транспортуванні відходів на інші підприємства доцільна їхня попередня обробка. Наприклад, для полегшення умов транспортування відходів металургії виконують гранулювання шлаків, при якому отриманий матеріал не тільки набуває товарну форму, але й значно покращуються його технічні характеристики.





## 2. БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ З ВІДХОДІВ МЕТАЛУРГІЇ

### 2.1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВІДХОДІВ

Металургія є однією з провідних галузей промисловості за обсягом мінеральної сировини, що перероблюється, та за питомою її витратою на тону кінцевої продукції. На основних технологічних стадіях виробництва металів утворюються відходи, хіміко-мінералогічний склад і фізико-механічні властивості яких дозволяють віднести їх до досить цінної сировини для виробництва будівельних матеріалів.

Нерудні породи та відходи збагачення є найбільшими за обсягом відходами металургії.

Металургійні шлаки є другим за обсягом відходом металургійних процесів.

*Шлаки* - це штучні силікатні матеріали, які утворюються під час виплавлення металів з руди внаслідок високотемпературної взаємодії руди, палива, плавнів і газового середовища. Їхній хімічний склад і структура змінюються залежно від складу пустої породи, виду виплавленого металу, особливостей металургійного процесу, умов охолодження та ін.

Шлаки можуть бути отримані в результаті наступних процесів: без появи розплаву при спалюванні низькокалорійних видів палива та в алюмотермічних процесах; при частковому розплавленні вихідних компонентів у процесі спалювання палива; при повному розплавленні вихідних компонентів (у більшості металургійних процесів). В останньому випадку шлаки майже однорідні за складом і містять переважно склоподібну фазу. Необхідно відмітити, що основним засобом впливу на фазовий склад шлаків є регулювання швидкості охолодження розплаву. При підвищенні швидкості охолодження збільшується вміст склофазу, а, отже, і гідравлічна активність шлаку.

Металургійні шлаки поділяють на *шлаки чорної та кольорової металургії*.

Залежно від характеру процесу і типу печі шлаки чорної металургії поділяють на: доменні; сталеплавильні (мартенівські, конвертерні, бесемерівські, томасівські, електроплавильні); шлаки виробництва феросплавів; ваграночні шлаки. Найбільшим є вихід доменних шлаків, на 1 т чавуну він становить 0,6...0,7 т. При виплавці сталі вихід шлаків на 1 т значно менший: при мартенівському способі - 0,2...0,3 т, при бесемерівському і томасівському - 0,1...0,2 т; при виплавленні сталі в електропечах - 0,04...0,10 т.

Кількість шлаків феросплавного виробництва і ваграночних шлаків порівняно невелика і постійно зменшується з удосконаленням технологій виготовлення феросплавів та заміни ваграночних технологій виплавки на більш сучасні та ефективні.

Вихід шлаків у кольоровій металургії залежить від вмісту металу у вихідній шихті та технології виплавки. При плавленні у відбивних печах



мідних концентратів з вмістом міді до 10...15 % вихід шлаків становить 10...20 т на 1 т металу, при плавленні в шахтних печах мідних руд з вмістом міді до 1...2 % - 50...100 т, при шахтній плавці окисленої нікелевої руди - 100...200 т.

Хімічний склад доменних шлаків представлений переважно такими оксидами, як CaO (29...30 %), MgO (0...18 %), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (5...23%) і SiO<sub>2</sub> (30...40 %). У невеликій кількості в них є оксиди заліза (0,2...0,6 %) і марганцю (0,3...1 %), а також сірка (0,5...3,1 %). Сталеплавильні шлаки характеризуються більш високим вмістом оксидів заліза (до 22 %) і марганцю (до 10 %).

Для шлаків кольорової металургії характерний знижений вміст оксидів CaO+MgO (7...13 %) і високий вміст FeO (21...61 %). Крім основних компонентів, шлаки кольорової металургії можуть включати у невеликих кількостях метали - мідь, цинк, свинець, нікель і ін.

За хімічним складом шлаки, залежно від модуля основності, що визначається за формулою:

$$M_o = (CaO + MgO) / (SiO_2 + Al_2O_3), \quad (2.1)$$

поділяють на основні ( $M_o > 1$ ), нейтральні ( $M_o = 1$ ) та кислі ( $M_o < 1$ ). Ця характеристика є важливою при оцінці шлаків як сировини для отримання будівельних матеріалів.

Хімічний склад значно впливає на фізичні властивості шлакових розплавів, структуру й властивості затверділих шлаків. Так, збільшення вмісту оксиду кальцію в шлаках обумовлює підвищення температури їхнього плавлення і зниження текучості. При високій температурі (більше 1300 °C) наявність CaO знижує в'язкість розплаву, а при низькій - підвищує. Зменшують в'язкість шлакового розплаву оксиди MgO, MnO, FeO, SO<sub>3</sub>. До збільшення в'язкості розплавів приводять підвищення в них вмісту кремнезему вище 40 %, а також вмісту оксиду алюмінію Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Знижують в'язкість розплаву газові включення.

Оксиди, що входять до складу шлаків, утворюють різноманітні мінерали. В результаті аналізу діаграм стану відповідних систем оксидів встановлена можливість існування в шлаках до сорока сполук, провідне місце серед яких займають силікати, алюмосилікати, алюмінати і ферити. У повільно охолоджених кислих доменних шлаках основними мінералами є анортит CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·2SiO<sub>2</sub>, діопсид CaO·MgO·2SiO<sub>2</sub>, у нейтральних і основних – геленіт 2CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·SiO<sub>2</sub>, окерманіт 2CaO·MgO·2SiO<sub>2</sub>, мервініт 3CaO·MgO·2SiO<sub>2</sub>, двокальцієвий силікат 2CaO·SiO<sub>2</sub>, тверді розчини окерманіту і геленіту - меліліти та ін. Фазовий склад сталеплавильних шлаків є більш складним ніж доменних. Такі компоненти шлаків як оксиди заліза і марганцю, сірка можуть утворювати тверді розчини з основними мінералами, а при значному вмісті можуть виділятися у вигляді самостійних фаз - залізистих, сульфідних, марганцевих сполук.



При повільному охолодженні шлаків поряд з утворенням мінералів можуть відбуватися і їхні поліморфні перетворення, що веде до розпаду і самочинного перетворення кусків шлаку на порошок.

Силікатний розпад є наслідком поліморфного перетворення  $\beta$ - $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  в  $\gamma$ - $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  при температурі нижче  $525^\circ\text{C}$ , що супроводжується збільшенням об'єму матеріалу приблизно на 10 %. Ця форма розпаду спостерігається при вмісті оксиду кальцію в шлаках більше 44...46 %. Запобігти такому розпаду можна швидким охолодженням шлаків та грануляцією.

Залізистий і марганцевий розпади викликані збільшенням об'єму при взаємодії сульфідів заліза або марганцю з водою і утворенням гідроксидів. Таким чином розпадаються шлаки, які містять більше 3 % FeO або більше 1 % сульфідної сірки.

Розпад шлаків можливий також в результаті гідратації вільних оксидів CaO й MgO з утворенням гідроксидів. Такі види розпаду називаються відповідно вапняним та магнезійним.

Практично у всіх металургійних шлаках у тій або іншій кількості поряд із продуктами кристалізації утворюється склоподібна фаза. В відвальних повільно охолоджених основних шлаках кількість склофазы невелика, а в гранульованих доменних може досягати 98 %. Скло є термодинамічно нестійкою фазою, яка значною мірою визначає хімічну активність шлаків. Шлакове скло взаємодіє з водою значно інтенсивніше, ніж мінерали, що входять до складу шлаку.

З усіх видів металургійних шлаків у виробництві будівельних матеріалів найбільш широко застосовуються *доменні шлаки*, що обумовлено близькістю їхнього хімічно-мінералогічного складу до складу цементів, а також здатністю при швидкому охолодженні набувати гідравлічної активності. Основну масу доменних шлаків одержують при виплавлінні передільних та ливарних чавунів.

Доменні шлаки є продуктами взаємодії флюсів (або плавнів, карбонатів кальцію і магнею) з пустою породою залізної руди і золою коксу. Перелік основних процесів, що відбуваються при виплавлінні чавуну та отриманні шлаку, наведено на рис 2.1. Утворений шлак стікає у горно печі та спливає на поверхню чавуну, оскільки є легшим. Шлак випускають з печі через лютки у ковші-шлаковози або (рідше) – подають безпосередньо на грануляцію чи використовують в інших спеціальних технологічних процесах (як то виготовлення волокна).

Різниця в складах залізних руд і коксу обумовлюють відповідні розходження в складі шлаків. Більшість доменних шлаків України є основними, тобто характеризуються модулем основності  $M_o > 1$ . У загальному випадку основні шлаки мають більшу гідравлічну активність, ніж нейтральні і кислі, а тому більш доцільні для використання в промисловості будівельних матеріалів.



**Рис.2.1.** Основні етапи процесу виплавлення чавуну та утворення доменного шлаку

Хімічна активність шлаків визначається коефіцієнтом якості  $K$ , який розраховується за формулами:  
при вмісті  $MgO$  до 10 % -

$$K = \frac{CaO + Al_2O_3 + MgO}{SiO_2 + TiO} \quad (2.2)$$

при вмісті  $MgO$  більше 10 % -

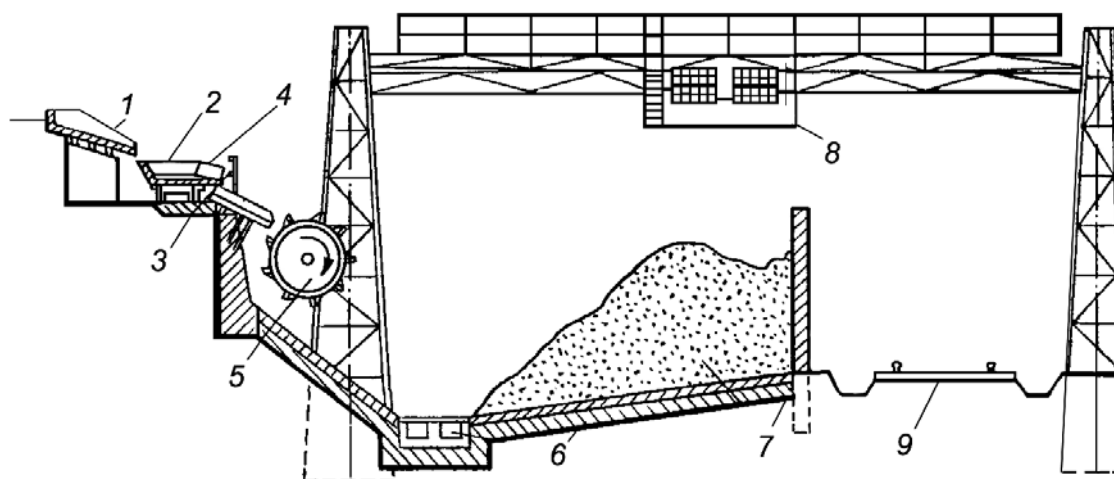
$$K = \frac{CaO + Al_2O_3 + 10}{SiO_2 + TiO + (MgO - 10)} \quad (2.3)$$

Другими за обсягом отримання та використання є *конвертерні сталеплавильні шлаки*, оскільки 60-75 % сталі в розвинених країнах світу виплавляється саме у такий спосіб.

Найпоширенішим способом переробки шлаків є грануляція, сутність якої полягає у швидкому охолодженні шлакових розплавів водою, паром або повітрям і утворенні в результаті цього склоподібних зерен розміром до 10 мм. Застосовують два способи грануляції: мокрий і напівсухий.

Мокру грануляцію проводять при різкому охолодженні розплавлених шлаків в залізобетонних резервуарах об'ємом до  $1000 \text{ м}^3$ , наповнених водою, і диспергуванні їх паром, що утворюється, а також газами, що виділяються з розплаву. Установки мокрої грануляції нескладні (рис.2.2), мають високу продуктивність, а виконання технологічного процесу вимагає невеликих витрат праці. Однак шлаки мокрої грануляції мають високу вологість (10...30 %), що призводить до змерзання їх у зимовий час, підвищення вартості транспортування, викликає необхідність значних витрат тепла на сушку.

Більш ефективна напівсуха грануляція, заснована на комбінованому охолодженні шлаків: спочатку водою, а потім повітрям. Кінцева вологість гранульованих шлаків при цьому досягає 4...7%.



**Рис. 2.2.** Центральна барабанна грануляційна установка:

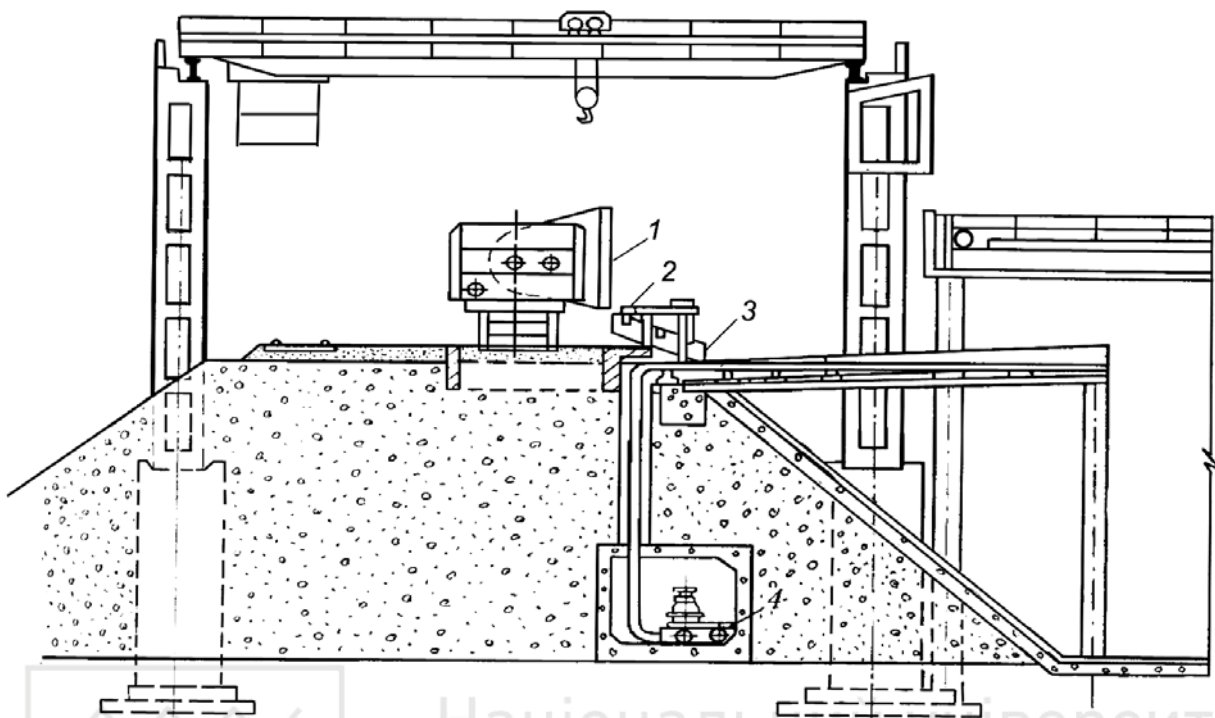
1 - напрямна ринва для розплавлених шлаків; 2 - приймальна пересувна ванна; 3 - пристрій для подачі води; 4 - нижня грануляційна ринва; 5 - барабан; 6 - канави для зливу надлишків води; 7- склад гранульованих шлаків; 8 - мостовий кран; 9 - захисна стінка

Із численних установок для напівсухої грануляції найбільш прогресивними зараз є гідрожолобні (рис.2.3), які можна споруджувати як поза доменним цехом, так і безпосередньо біля доменної печі. У таких установках розплав спочатку надходить у приймальну ванну, а потім на похилу ринву, де охолоджується водою під тиском 0,7...0,8 МПа. Гранульовані шлаки відкидаються водою на відстань до 20 м і виносяться в приймач пульпи, а потім по трубопроводах надходять у систему збезводнювальних бункерів, звідки подаються на склад. Гранулювати шлаки напівсухим способом можна також на барабанних, гідрударних установках і в грануляційних млинах.

Максимальний вміст склофаз спостерігається в шлаках мокрої грануляції, отриманих на басейнових та гідрожолобних установках із сильно перегрітих розплавів (температура більше 1600<sup>0</sup>С). Такі шлаки мають і найбільш високу хімічну активність. При напівсухий грануляції шлакових розплавів відбувається уповільнене охолодження розплаву зі зменшенням кількості скла і, відповідно, хімічної активності.

Спосіб переробки і режим охолодження шлаків впливають на їхні фізико-механічні властивості. Густина шлаків становить, як правило, 2,7-3,0 г/см<sup>3</sup>, насипна густина 1100-1600 кг/м<sup>3</sup>, міцність при стискуванні у циліндрі (фракції 5-10 мм) – 0,4-3,0 МПа. Необхідно відмітити, що гранульовані шлаки мають меншу міцність порівняно з відвальними, що в першу чергу позитивно впливає на їхню здатність до розмелювання. На тонке подрібнення гранульованих шлаків потрібно в 1,3...1,5 рази менше енергії, ніж на подрібнення відвальних шлаків.





**Рис. 2.3.** Установа для напівсухої грануляції шлаків з використанням гідрожилоба:

- 1 – шлаковозний ківш; 2 – приймальна ванна; 3 – похилий жолоб;  
4 – відцентровий насос

У більшості країн гранулюють переважно доменні шлаки, хоча є небагато даних про надшвидке гранулювання сталеплавильних шлаків зі зниженням їх основності за рахунок введення кислих відходів виробництва. Основна маса гранульованих доменних шлаків надходить на виробництво шлакопортландцементу. Їх застосовують також для виготовлення місцевих безклінкерних в'язучих речовин, шлаколужних в'язучих речовин та бетонів, мінеральної вати, шлакового та шлакоситалового лиття, як заповнювач у цементних і асфальтових бетонах, для дорожніх відсипок, для виробництва мінеральних добрив для підлюговування ґрунтів, для ущільнення слабких ґрунтів (як правило з застосуванням низькоконцентрованих розчинів рідинного скла), для тимчасової або довговічної (оскловування) консервації небезпечних відходів.

*Сталеплавильні шлаки* характеризуються високим модулем основності, тому при їхньому охолодженні вони практично повністю кристалізуються і майже не містять склофази. Ці шлаки не гранулюються, а зливаються у відвали, де повільно охолоджуються.

*Мартенівські шлаки* звичайно містять включення металу (1...3 %), тому їх не гранулюють, а зливають у відвали. Для мартенівських шлаків характерна висока основність, що сприяє їх повній кристалізації. Цей вид шлаків має щільну або ніздрювату структуру.



Основні шлаки, перебуваючи у відвалах, розпадаються на куски внаслідок вапняного розпаду. Міцність мартенівських шлаків становить 80...150 МПа, вони характеризуються марками за морозостійкістю F200 і вище.

*Конвертерні і електроплавильні шлаки* звичайно містять продукти розпаду. Кускові шлаки мають щільну структуру, густину 3,1...3,4 г/см<sup>3</sup>, характеризуються міцністю при стиску 60...130 МПа і низькою здатністю до подрібнення.

При плавці ливарного чавуну у вагранках утворюються *ваграночні шлаки*, модуль основності яких досить низький і, як правило, не перевищує 0,8. Такі шлаки, як гранульовані, так і відвальні, характеризуються наявністю склофази. Це пояснює їхню порівняно більшу гідравлічну активність та можливість використання у промисловості будівельних матеріалів. Проте необхідно відмітити, що склад ваграночних шлаків є досить нестабільним, а кількість виробництв, які використовують ваграночний метод, неупинно зменшується, що, відповідно, призводить до зниження їх частки у загальному обсязі використання шлаків.

Зі *шлаків виробництва феросплавів* найбільший інтерес представляють шлаки від виплавлення ферохрому і ферованадію, які мають високий модуль активності (1,6...1,8), а також кислі феромолібденові шлаки. В фазовому складі основних феросплавних шлаків переважає ортосилікат кальцію у вигляді  $\gamma$ -модифікації, тому зазвичай при охолодженні вони перетворюються на шлакове борошно. Шлаки феросплавів містять залишкові кількості відповідних елементів (Cr, V, Mo і т.п.) у вигляді металів, оксидів або інших сполук і можуть в майбутньому бути сировиною для їх отримання, оскільки, за підрахунками німецьких вчених, після 2020-2024 років кількість таких металів у промислових відвалах становитиме більше, а ніж у земній корі.

За світовими даними для розвинутих країн більше 60 % сталеплавильних шлаків становлять шлаки конвертерного виробництва, 35 % - мартенівського. Ситуація в Україні дещо інша - більше 50 % сталеплавильних шлаків становлять шлаки мартенівського виробництва і більше 45 % — конвертерного. Переробляється на сьогодні близько 30 % сталеплавильних шлаків, а також шлаків феросплавного виробництва, з яких одержують в основному щебінь та шлакове борошно, що використовується як мінеральне добриво. Зі шлаків виробництва феросплавів для отримання будівельних матеріалів найбільш цікавим є *ферохромовий шлак*, що утворюється при виробництві ферохрому, який застосовують для розкислення і легування сталі. Цей шлак представлений порошкоподібним матеріалом з високою дисперсністю внаслідок розпаду двокальцієвого силікату при поліморфному перетворенні  $\beta\text{-C}_2\text{S} \rightarrow \gamma\text{-C}_2\text{S}$ . Дослідження показали, що використання ферохромового шлаку у якості алюмосилікатного і фарбуючого компонента сировинної шихти дозволяє одержати портландцементний клінкер зелених кольорів, істотно знижуючи собівартість кольорового цементу.



Зі *шлаків кольорової металургії* найбільше значення для будівництва мають мідеплавильні та нікелеві шлаки. Відвальні мідеплавильні шлаки мають чорні кольори. Вони не піддаються розпаду. Густина таких шлаків становить  $3,3 \dots 3,8 \text{ г/см}^3$ , водопоглинання -  $0,1 \dots 0,6 \%$ , границя міцності при стиску  $120 \dots 300 \text{ МПа}$ . Нікелеві шлаки мають такі ж високі показники фізико-механічних властивостей, як і мідні. За хімічним складом вони є кислими. Нікелеві гранульовані шлаки, незважаючи на склоподібну будову, практично не мають гідравлічної активності.

При переплавленні алюмінієвих сплавів одержують *алюмінієві вторинні шлаки*. Вони мають наступний хімічний склад:  $\text{KCl} - 38 \dots 59\%$ ,  $\text{NaCl} - 11,4 \dots 34,1\%$ ,  $\text{CaCl}_2 - 3,0 \dots 4,2\%$ ,  $\text{MgO} - 6,2 \dots 7,2\%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 - 6,5 \dots 12,6\%$ ,  $\text{SiO}_2 - 1,8 \dots 3,5\%$ . Водорозчинні сполуки в таких шлаках становлять  $75 \dots 85 \%$ . При тривалому знаходженні таких шлаків у воді водорозчинні сполуки вилугуюються. Середня густина шлаків становить  $1,8 \dots 2,0 \text{ г/см}^3$ , а міцність при стиску -  $40 \dots 45 \text{ МПа}$ .

Шлаки кольорової металургії застосовують у невеликій кількості при виробництві цементу як залізистий компонент і активну мінеральну добавку, а також як добавки при виробництві мінеральної вати і литих виробів. Потенційно шлаки кольорової металургії є перспективною базою для виробництва різних будівельних матеріалів, в першу чергу для спеціальних цементів та шлакоситалів зі спеціальними властивостями. Вихід шлаків кольорової металургії в  $10 \dots 25$  разів перевищує вихід самих кольорових металів.

**Шламові побічні продукти.** При виробництві алюмінію та інших металів у великих кількостях утворюються відходи у вигляді водних суспензій високодисперсних частинок — *шлами*. Для виробництва будівельних матеріалів промислове значення мають нефелінові, бокситові, сульфатні, білі і монокальцієві шлами. Обсяг тільки нефелінових шламів, придатних для використання, становить щорічно, за даними країн колишнього СРСР, понад 10 млн. т., але на Україні ця цифра є більш, як на порядок нижчою. За вмістом оксидів  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  такі шлами займають проміжне місце між портландцементом, доменними шлаками і глиноземистим цементом. Мінералогічний склад шламів, крім монокальцієвого, характеризується переважним вмістом двокальцієвого силікату ( $50 \dots 90 \%$ ), а також наявністю алюмінатів і феритів кальцію. Наявність у шламах значної кількості води приводить до досить високого ступеня гідратації мінералів (особливо в сучасних умовах, коли шлами зберігаються в шламовідстійниках десятками років) з утворенням гідросилікатів, гідроалюмінатів і гідроферитів.

*Нефеліновий (біловий) шлам* одержують при добуванні глинозему з нефелінових порід. Мінерал нефелін – це алюмосилікат натрію ( $\text{KNa}_3[\text{AlSiO}_4]_4$ ). У процесі переробки нефеліновий концентрат випалюється в обертових печах у суміші з вапняком при температурі близько  $1300^\circ\text{C}$ . Утворений продукт спікання складається з  $\beta$ -двокальцієвого силікату і



лужних алюмінатів, які надалі піддають подрібненню і вилуговуванню. При цьому відокремлюють від осаду лужні алюмінати, які переробляються в глинозем (напівфабрикат для виробництва алюмінію) і содові продукти. Осад після промивання є грубодисперсною суспензією - нефеліновим шламом, хімічний склад якого наступний, %:  $\text{SiO}_2$  — 26...30;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  - 2,2...6,5;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  - 2,1...5,5;  $\text{CaO}$  - 52..9;  $\text{MgO}$  - 0,2...1,8;  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$  - 1...2,5; втрати при прожарюванні - 1...5,5. Мінералогічний склад характеризується наявністю частково гідратованого беліту  $\beta\text{-}2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  (80...85%), двокальцієвого фериту  $2\text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ , трикальцієвого гідроалюмінату, алюмосилікатів кальцію і натрію та карбонату кальцію. При добуванні глинозему з нефелінових порід на кожен тону готової продукції одержують 7...8 т нефелінового шламу, який в країнах з великими запасами такої сировини та розвиненим виробництвом алюмінію (Росія, Південно-Африканська Республіка) є сировиною для виробництва портландцементу і безклінкерного нефелінового цементу, а також виробів автоклавного твердіння.

*Бокситовий (червоний) шлам* одержують як відхід переробки основної сировини для виробництва алюмінію – бокситу. Рудними мінералами бокситу є гідроксиди алюмінію, а основними домішками – кремнезем  $\text{SiO}_2$ , оксиди заліза і титану. Глинозем з бокситу одержують мокрим лужним способом або способом спікання. Обидва способи полягають в одержанні алюмінату натрію  $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ , що гідролізується у воді з виділенням кристалічного осаду  $\text{Al}(\text{OH})_3$ . Останній промивається, сушиться і прожарюється для видалення гідратної вологи і одержання чистого глинозему (рис.2.4).

Характерною рисою *бокситових шламів* є високий вміст оксидів заліза і алюмінію. Хімічний склад, %:  $\text{SiO}_2$  - 10...18;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  - 10...18;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  - 24...45;  $\text{CaO}$  - 15...40;  $\text{Na}_2\text{O}$  - 4...7. На відміну від нефелінових, бокситові шлами містять значно менше беліту, але включають більшу кількість феритів і алюмоферитів кальцію, алюмінатів, алюмосилікатів і феритів натрію. Основна маса бокситових шламів зливається у відвали. Високий вміст оксидів заліза не дозволяє застосовувати їх як основну сировину для виробництва цементу. Бокситові шлами застосовують як коригуючі добавки при виробництві портландцементного клінкеру, а також як активну мінеральну добавку. Розроблено технології виробництва керамічної й силікатної цегли з використанням бокситових шламів. Сухий бокситовий шлам використовують як наповнювач фарб, мастик, пластмас.

*Сульфатні шлами* одержують при заміні соди на сульфат натрію  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  у виробництві глинозему способом спікання. Вони характеризуються наявністю сполук, що містять сірку різного ступеня окиснення.

Так само, як і нефелінові, сульфатні шлами можуть застосовуватися як компоненти портландцементних сировинних сумішей, для виготовлення місцевих в'язучих речовин і матеріалів автоклавного твердіння.





При виготовленні глинозему з алюмосилікатних порід методом спікання високолувної шихти як відход утворюється *монокальцієвий шлам*. На 1 т глинозему одержують близько 4 т такого шламу. У монокальцієвому шламі вміст CaO значно менший, ніж у белітових (35...38 %), при цьому відношення CaO:SiO<sub>2</sub> близьке до одиниці. Цей вид побічних продуктів може розглядатися як кремнеземистий компонент, що придатний для виробництва портландцементного клінкера.



**Рис. 2.4.** Загальна схема виробництва глинозему з бокситів

На металургійних заводах утворюється значна кількість різних *залізомістких відходів*, в тому числі *шламів*. Вони з успіхом можуть застосовуватися в якості залізистої коригувальної добавки у виробництві портландцементного клінкера. Залізомісткі добавки використовують також при виготовленні керамзиту для покращення спучування глинистої сировини.

Тонкодисперсні *відходи виробництва феросиліцію* більше ніж на 90% складаються із частинок аморфного діоксиду кремнію з діаметром менше 1 мкм. Цей пил при введенні в бетонні суміші разом із пластифікуючою добавкою дозволяє істотно збільшити міцність або відповідно знизити





витрату цементу. Крім того, такі відходи при введенні до складу бетонів реагують з гідроксидом кальцію, який виділяється при гідратації мінералів портландцементного клінкеру, в результаті чого утворюються гідросилікати кальцію, розчинність яких набагато нижча, ніж у гідроксиду кальцію, що приводить до значного підвищення експлуатаційних характеристик та довговічності бетону. Встановлено також ефективність використання добавки відходів виробництва феросиліцію при виготовленні силікатної цегли і ніздрюватих бетонів.

## 2.2 В'ЯЖУЧІ РЕЧОВИНИ НА ОСНОВІ МЕТАЛУРГІЙНИХ ШЛАКІВ

У наш час основним споживачем доменних шлаків є цементна промисловість. Для цементної промисловості також перспективними є деякі інші види металургійних шлаків: ферохромовий, який дозволяє виготовляти кольоровий портландцементний клінкер; нікелеві й мідні, що застосовуються як активні мінеральні добавки та залістий компонент при виготовленні портландцементного клінкеру; шлаки алюмотермічного виробництва феросплавів і вторинного переплавлення алюмінію і його сплавів - як сировина для виробництва глиноземистого цементу і надшвидкотвердіючого портландцементу; сталерафінувальні шлаки, придатні для одержання розширних цементів. Для виготовлення шлакових в'язучих речовин автоклавного твердіння можливе застосування як гранульованих, так і повільно охолоджених сталеплавильних шлаків і шлаків кольорової металургії.

*Шлакомістки в'язучі речовини* можна поділити за вмістом портландцементного клінкеру на клінкермістки та безклінкерні (рис. 2.5).

Найбільш важливе значення для будівництва мають портландцемент з добавкою шлаку і шлакопортландцемент, обсяг виробництва яких преважує в загальному випуску цементу. Безклінкерні шлакові в'язучі речовини при порівняно високих будівельно-технічних властивостях характеризуються низькою собівартістю та нескладною технологією виготовлення.

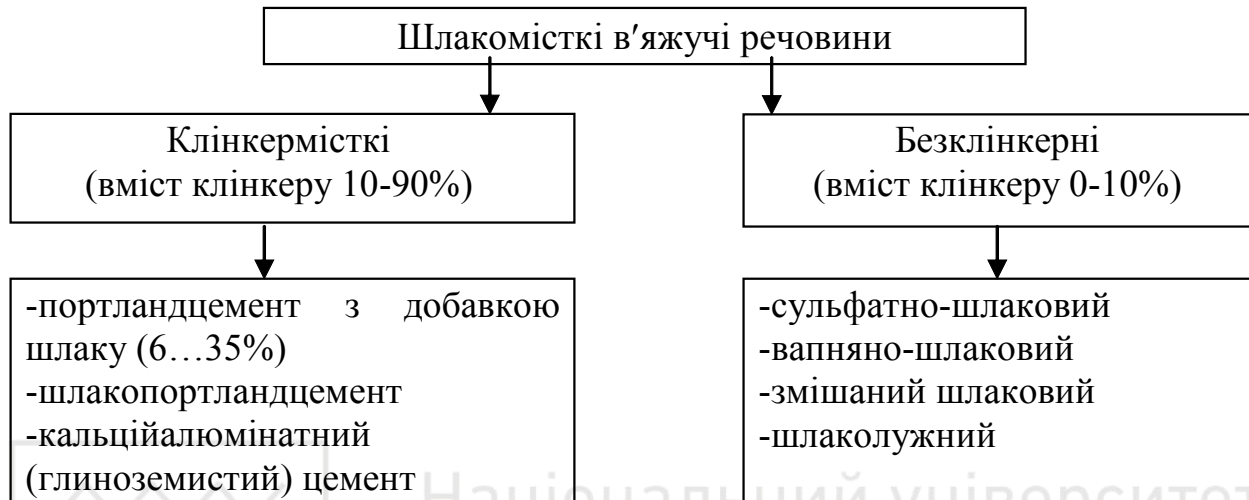
Відповідно до європейських та українських норм (ДСТУ В.2.7-46-96) цементи загальбудівельного призначення розділяють залежно від виду і вмісту добавок на п'ять типів. У групу портландцементів відносять портландцемент I-го типу, що містить від 0 до 5 % мінеральних добавок, і портландцемент II - го типу, що містить від 6 до 35% мінеральних добавок.

Цемент III-го типу – шлакопортландцемент, містить від 36 до 80% доменних шлаків. Цементи IV-го й V-го типів - відповідно пуцолановий і композиційний цемент. Перший містить від 21 до 55% пуцоланових добавок, другий містить 36...80% добавок, причому доменного гранульованого шлаку – в межах 18...60 %.

Доменні шлаки у виробництві цементів на основі клінкера застосовують як компонент сировинної суміші та як активну мінеральну добавку.



Економічна ефективність застосування гранульованих шлаків у якості активної мінеральної добавки до цементу у кілька разів вище, ніж як сировинного компоненту. Як сировинний компонент доцільніше застосовувати відвальні шлаки, ресурси яких досить великі. За хімічним складом як компонент портландцементної сировинної шихти можуть бути використані також і сталеплавильні шлаки.



**Рис. 2.5.** Загальна класифікація шлакомістких в'язучих речовин

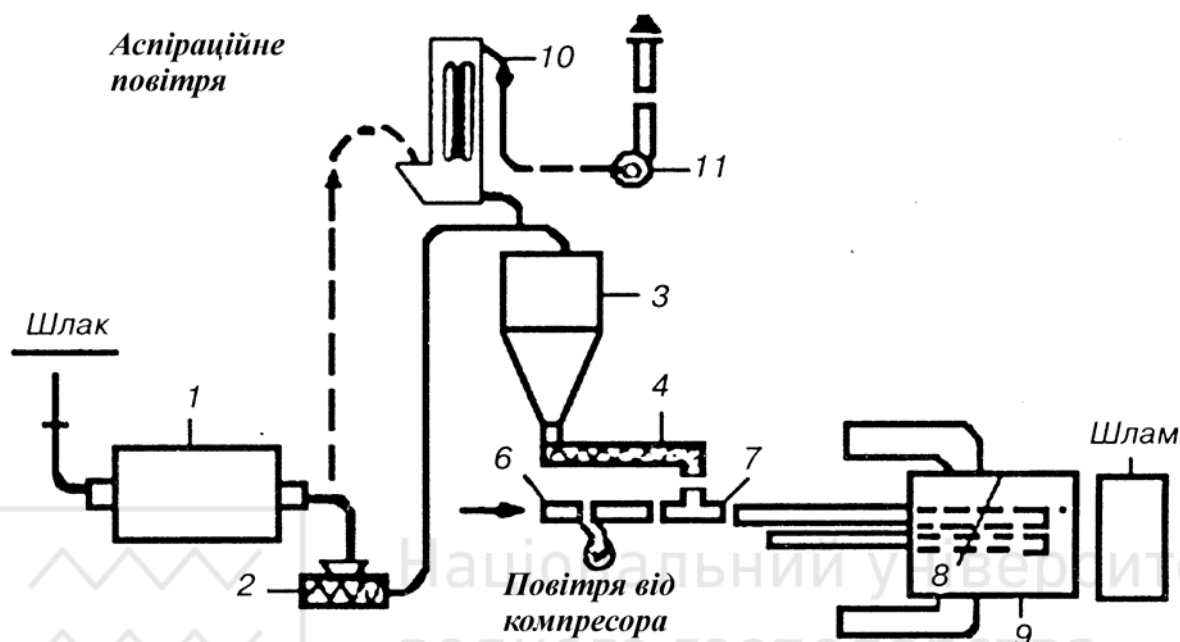
Хімічний склад доменних шлаків дозволяє використовувати їх замість глинистого і частини карбонатного компонентів у складі сировинних сумішей при виробництві клінкеру. Для коригування силікатного модуля сировинних сумішей до звичайних меж при низькому вмісті в шлаках  $Al_2O_3$  (5...7%) до їх складу вводять відповідні добавки.

Доменні шлаки можна розглядати як частково підготовлену сировину, що забезпечує підвищення продуктивності печей і економію палива. Заміна стандартної сировини доменними шлаками дозволяє знизити до 20% вміст вапняного компонента та зменшити при сухому способі виробництва питому витрату сировини і палива на 10...15 %, а також підвищити продуктивність печей на 15 %. Для заводів, що працюють за сухим способом виробництва, та експлуатують пічні агрегати з циклонними теплообмінниками, найбільш раціональним є використання шлаків як компонента сировинної суміші з організацією спільного подрібнювання всіх вихідних матеріалів.

Практикою доведена ефективність використання шлаків у складі сировинної суміші і при організації виробництва цементу за мокрим способом. Встановлено, що при використанні шлакового шламу продуктивність обертових печей збільшується на 13...20 %, витрата сировинних матеріалів на 1 т клінкера знижується приблизно на 12 %, питома витрата палива - на 10...15 %.

Значний приріст виробництва клінкера досягається при двосторонньому живленні обертових печей. Розроблені та застосовуються технологічні схеми

подачі мелених шлаків у піч з її гарячого кінця (рис.2.6), а також додаткового живлення печей шляхом введення доменних шлаків за ланцюгову завісу і в зону декарбонізації. При цьому продуктивність печей підвищується на 20...25 %, а питома витрата палива знижується на 10...15 %.



**Рис. 2.6.** Схема подачі шлаків у піч із гарячого кінця при виробництві портландцементного клінкера:

- 1 - млин; 2 - гвинтовий насос; 3 - бункер мелених шлаків; 4 - шнек;
- 5 - ежектор; 6 – витратомірна шайба для виміру повітря; 7 - шлакова форсунка; 8 - паливна форсунка; 9 - піч; 10 - рукавний фільтр;
- 11 – вентилятор

Практичний інтерес становлять способи виготовлення портландцементного клінкера збагаченням шлакового розплаву необхідними добавками. Випробувано конвертерний і електротермічний способи хімічного збагачення рідких доменних шлаків, при яких тепловим агрегатом є, відповідно, стаціонарний конвертер і електродугова піч. В останньому випадку досягається високий тепловий к.к.д. (70...80%) і технологічна маневреність, що дозволяє при зміні електричного режиму печі регулювати температурні умови плавлення. Техніко-економічна ефективність зазначених способів полягає в тому, що металургійне виробництво безпосередньо кооперується із цементним і приводить до зниження капітальних витрат.

Технологічна схема застосування техногенних продуктів у складі сировинної суміші повинна розроблятися залежно від прийнятого способу її приготування на кожному конкретному підприємстві і з урахуванням особливостей сировинної бази та типорозмірів пічного агрегату. Так, для мокрого способу виробництва найбільш ефективна організація додаткового живлення печей шлаками. Промислово підтверджена доцільність



використання для цієї мети немелених компонентів. При спільному мокрому помелі з гранульованими доменними шлаками вологість сировинного шламу істотно знижується. Однак при такому способі приготування сировинної суміші продуктивність млинів зменшується більше ніж на 30%, а шлакомісткий шлам схильний до загуснення і осаджування в басейнах.

Використання немелених шлаків для додаткового живлення печей мокрого способу виробництва клінкеру вимагає роздільного приготування шламу з наступним змішуванням його зі шлаками перед подачею в піч в окремому змішувачі або ж безпосередньо в робочому об'ємі печі. При організації подачі шлаків зі шламом необхідно враховувати реологічні властивості шламу і його здатність транспортувати шлаки. Необхідно відмітити, що, незважаючи на досить високу економію палива та сировини, на сьогодні такі схеми є досить складними в регулюванні та експлуатації і потребують щонайменше додаткових досліджень при зміні сировини.

При застосуванні малозалізистих шлаків - доменних і ферохромових – в разі створення відновлювальних умов плавки в електропічах, можливо виготовлення білих цементів. При окисненні металевого хрому, що входить до складу ферохромових шлаків, виготовляють клінкери з рівним і стійким зеленим кольором.

До складу портландцементу із мінеральними добавками при подрібненні клінкеру допускається введення до 35 % доменних шлаків. При цьому, практично без зміни активності цементу, витрата клінкеру знижується на 14...16 %, а витрата палива - на 17...18 %. У порівнянні з бездобавочним цементом спостерігається деяке зниження міцності при стиску і згині у ранні терміни твердіння, збільшується усадка та підвищується водовідділення. Корозійна стійкість портландцементу з добавкою шлаків дещо вища, а ніж для бездобавочного цементу як при нормальному твердінні, так і після тепловологої обробки. Портландцемент з добавкою доменних шлаків має досить високу морозостійкість. Він надійно захищає сталеву арматуру в бетоні від корозії. Використання добавки шлаків у портландцементі є ефективним засобом боротьби зі шкідливим впливом лужних оксидів, що особливо важливо при використанні реакційноздатних заповнювачів, але це питання вивчено недостатньо. Певна частина досліджень показує, що для досягнення такої мети найбільш ефективним є введення шлаків разом з незначними кількостями активних мінеральних добавок (5-10 %) переважно осадового походження - природних глинистих порід або термооброблених алюмосилікатів (глин, тощо). Встановлено позитивний вплив добавок шлаку на зниження висолоутворення.

**Шлакопортландцемент** - це гідралічна в'язуча речовина, яку виготовляють з попередньо помелених компонентів або спільним помелом портландцементного клінкеру, гіпсу (до 5 %) і доменного гранульованого шлаку (35...80 %). За стандартом (ДСТУ Б В.2.7-46-96) передбачено випуск



двох типів шлакопортландцементу: ШПЦ III/A та ШПЦ III/B, які містять гранульованого доменного шлаку 36...65% та 66...80%, відповідно.

Гранульовані доменні шлаки у виробництві шлакопортландцементу застосовують не тільки як сировинний компонент цементного клінкеру, але і як активну мінеральну добавку. Цей компонент взаємодіє з гідроксидом кальцію, утворюючи низькоосновні гідросилікати CSH(I) та гідроалюмінати кальцію  $C_2AH_8$ . Незначний вміст у цементному камені  $Ca(OH)_2$  підвищує стійкість шлакопортландцементу в м'якій і сульфатній воді порівняно зі звичайним портландцементом. Штучний камінь на основі шлакопортландцементу характеризується не тільки меншим вмістом  $Ca(OH)_2$ , частково зв'язаного шлаком, але і більш щільною структурою. Екзотермія при твердінні такого цементу в 2...2,5 рази нижча, ніж звичайного, і тому його можна застосовувати для виготовлення масивних бетонних конструкцій. Шлакопортландцемент відрізняється помірною водопотребою, досить високою повітря- і морозостійкістю, а тому може використовуватись для зведення наземних, підземних і підводних частин споруд. Вартість такого цементу на 15...20% нижча за вартість звичайного цементу. Шлакопортландцемент із вмістом шлаків 25...40 % звичайно застосовують у тих же умовах, що і звичайний портландцемент. Цементи, що містять 40...80 % шлаків, використовуються як низькотермічні в масивних гідроспорудах і в спорудах, що піддаються дії агресивних середовищ, а також для виготовлення виробів при ТВО.

Замість доменних шлаків при виготовленні шлакопортландцементу можна застосовувати електротермофосфорні шлаки.

Шлакопортландцемент є одним з найбільш ефективних видів в'яжучих речовин, тому що при його виробництві значна частина клінкера замінюється більше дешевими гранульованими шлаками. При використанні доменних шлаків для виробництва шлакопортландцементу паливно-енергетичні витрати на одиницю продукції знижуються в 1,5...2 рази. Наприклад, при виробництві шлакопортландцементу марки М400 витрата палива в середньому на 36 % нижче, ніж при виробництві бездобавочного портландцементу тієї ж марки. Витрата електроенергії скорочується на 12 %, а витрати на утримання і експлуатацію устаткування - на 10...15 %.

При нормальній температурі подрібнені шлаки без активуючих добавок мають низьку здатність до твердіння, що пояснюється відсутністю або низьким вмістом в їх складі активних фаз. Практично єдиним компонентом шлаків, здатним твердіти, хоча й повільно, при нормальній температурі, є  $\beta$ -двокальцієвий силікат. Інші мінерали набувають гідравлічних властивостей лише в умовах підвищеної температури і тиску водяної пари (ТВО), або при додаванні активуючих добавок. Як уже наголошувалося вище, шлакове скло інтенсивніше, ніж кристалічна фаза, взаємодіє з водою. Загальною закономірністю є підвищення гідравлічної активності шлаку при збільшенні вмісту склофаз, збільшення кількості основних оксидів (силікатного





модуля), збільшення швидкості грануляції. Щодо температури виходу розплаву з печі, то дані є дещо суперечливими і оптимальна температура виходу з печі визначається здебільшого хіміко-мінералогічним складом, а на практиці ще й терміном доставки шлаку до технологічного переділу грануляції. Треба наголосити, що важливим, особливо для формування початкової міцності цементів, є дотримання умов грануляції, які б забезпечували отримання шлаків переважно склоподібної структури.

Якість доменних шлаків при виробництві цементів характеризується коефіцієнтом якості і процентним вмістом оксидів:  $Al_2O_3$ ,  $MgO$ ,  $TiO_2$ ,  $MnO$ . Доменні гранульовані шлаки для цементів підрозділяють на три сорти (табл.2.1.).

Таблиця 2.1

### Параметри якості доменних шлаків

Показник	Сорт		
	1	2	3
Коефіцієнт якості, не менше	1,65	1,45	1,2
$Al_2O_3$ , %, не менше	8	7,5	не нормується
$MgO$ , %, не менше	15	15	15
$TiO_2$ , %, не менше	4	4	4
$MnO$ , %, не менше	2	3	4

Росту міцності шлакопортландцементу сприяє застосування клінкеру з підвищеним вмістом найбільш активних мінералів ( $C_3S+C_3A=65...75\%$ ). При цьому для кислих шлаків бажано застосовувати алітові середньоалюмінатні клінкери ( $C_3S=60...70\%$ ;  $C_3A \leq 8\%$ ). Позитивний ефект досягається при використанні разом з доменними шлаками низькотемпературного клінкеру, що містить до 5% вільного  $CaO$ , який є лужним активатором.

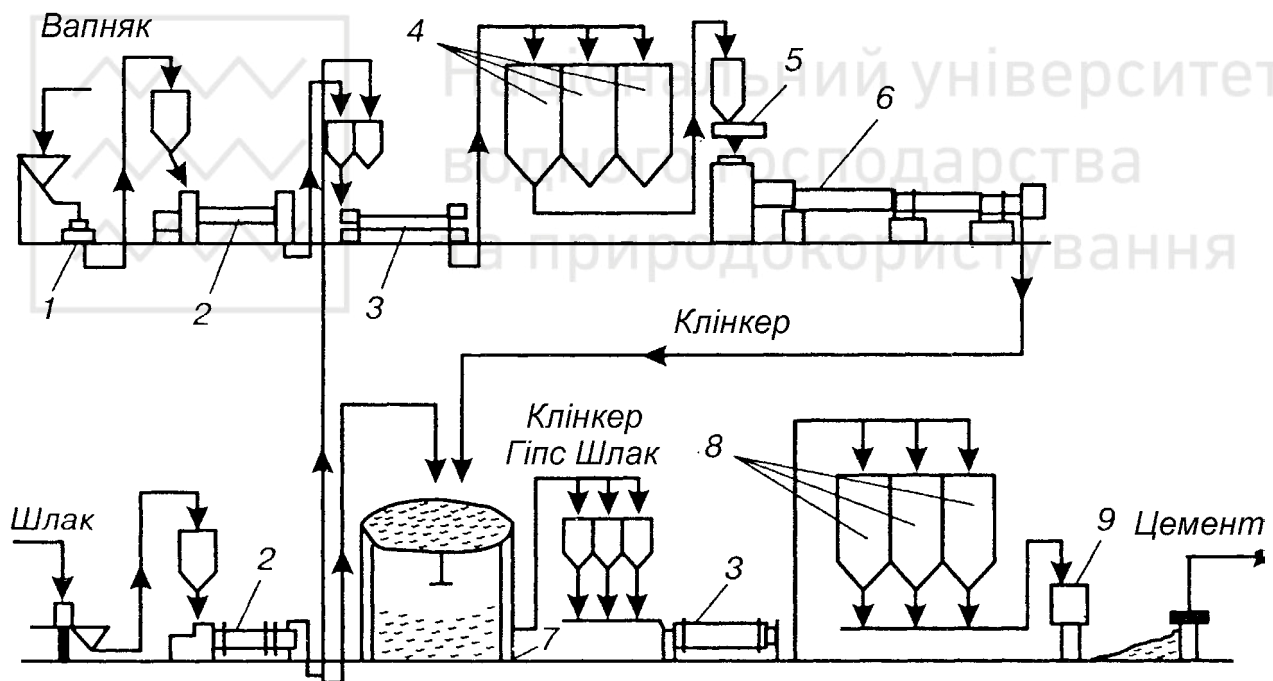
Європейські норми EN 197-1:1992 розрізняють три види шлакопортландцементу: III/A, III/B, III/C, які допускають вміст додаткових компонентів до 5% і включають відповідно шлаку (в мас.% від кількості цементу) 36...65, 66...80, 81...95. За цими самими нормами висувають вимоги до шлаку, який дозволяється використовувати для ШПЦ: відношення суми оксидів ( $CaO+MgO$ ) до  $SiO_2$  має перевищувати 1,0.

Британські норми BS 146:1991 і BS 4246:1991 класифікують шлакові цементу за міцністю при стиску. Їх поділять на три класи: з низькою початковою міцністю при стиску, звичайною та високою. За цими нормами допускається використання цементів із вмістом шлаку від 50 до 85%, що мають досить низьку міцність при стиску на 7 добу (12 МПа).

Американський стандарт ASTM C 983-93 поділяє шлаки на три групи залежно від їхньої гідралічної активності, визначеної на основі міцності, порівняно з портландцементом.



Технологічна схема виробництва шлакопортландцементу (рис.2.7) передбачає сушку гранульованих шлаків до залишкової вологості 1...2 % і спільне подрібнення його із клінкером. Залежно від порівняльної міцності клінкеру і шлаків можливі дві схеми помелу. За першою схемою клінкер попередньо подрібнюють спочатку в першому млині, а потім уже в другому спільно зі шлаком. Така схема раціональна при більш низькій здатності шлаків до подрібнення. Вона дозволяє забезпечити більш тонкий помел клінкеру, що прискорює твердіння шлакопортландцементу. При приблизно однаковій здатності шлаку і клінкеру до подрібнення раціональним є їх спільний помел. Одностадійний помел недостатньо ефективний при застосуванні кислих шлаків. Для підвищення активності шлакопортландцементів можливий також мокрий помел шлаку і наступне змішування шлакового шламу в бетономішалці з портландцементом. Позитивний ефект також досягається при введенні в процесі помелу шлакомістких цементів добавок-пластифікаторів і прискорювачів твердіння.



**Рис. 2.7.** Схема виробництва шлакопортландцементу:

1 - дробарка; 2 - сушильний барабан; 3 - млин; 4 - змішувальні силоси;  
5 - змішувальний шнек; 6 - обертова піч; 7 - клінкерний склад; 8 - цементні силоси; 9 - пакувальна машина

Цементна промисловість випускає звичайний, швидкотвердіючий та сульфатостійкий шлакопортландцементи.

Будівельно-технічні властивості шлакопортландцементу характеризуються рядом особливостей порівняно з портландцементом: більш низькою густиною ( $2,8...3,0 \text{ г/см}^3$ ); трохи уповільненим тужавленням і ростом міцності в початковий термін твердіння, і, особливо, при від'ємних



температурах. Виготовляють наступні марки шлакопортландцементу: М300; М400; М500.

Особливістю шлакопортландцементу, важливою для заводського виробництва збірного залізобетону, є інтенсивне зростання його міцності при пропарюванні, особливо при дії високих температур. Найбільш інтенсивно підвищується міцність при згині. Одночасно підвищуються морозо-, соле- і тріщиностійкість. Характерно, що ефективність шлакопортландцементу при ТВО підвищується при збільшенні кількості шлаку у цементі, що обумовлено утворенням при підвищеній температурі і лужно-сульфатній активації додаткової кількості гідросилікатів кальцію і формуванням щільної дрібнопористої структури цементного каменю.

Морозостійкість шлакопортландцементу трохи нижча за морозостійкість портландцементу; вона зменшується зі збільшенням вмісту шлаків. Бетони на шлакопортландцементі звичайно витримують 50...100 циклів наперемінного заморожування і відтавання. Істотно підвищити морозостійкість бетонів на шлакопортландцементі можна введенням повітровтягувальних добавок.

При виробництві *сульфатостійкого шлакопортландцементу* (ДСТУ В.2.7-85-99) використовують клінкер з вмістом  $C_3A$  не більше 8 % і шлаки з вмістом  $Al_2O_3$  не більше 8 %. Для сульфатостійкого шлакопортландцементу встановлені марки М300 і М400.

*Швидкотвердіючий шлакопортландцемент* відрізняється від звичайного шлакопортландцементу підвищеним вмістом у клінкері  $C_3S$  і  $C_3A$ , кількістю шлаку (36...50%) і підвищеною тонкістю помелу (3500...4500  $cm^2/g$ ). Такий цемент марки М400Р за дві доби твердіння набуває міцності при стиску не менш як 15 МПа, через 28 діб границя міцності при стиску повинна бути не нижчою за 40,0 МПа. Для одержання *швидкотвердіючого шлакопортландцементу* раціонально використовувати двостадійний помел, тобто попереднє подрібнення клінкеру з наступним спільним помелом клінкеру і шлаків до питомої поверхні не менше 400  $m^2/kg$ . Двостадійний помел забезпечує більш тонке подрібнення клінкерних зерен; він доцільний при використанні основних шлаків, здатність до подрібнення яких така сама як у клінкера. Кінцева міцність і інші властивості шлакопортландцементу покращуються також і при більш тонкому помелі шлаків. При тій же самій витраті цементу на 1  $m^3$  бетону, швидкотвердіючий шлакопортландцемент дозволяє на 10...30% скоротити тривалість ТВО залізобетонних виробів, причому в більшості випадків міцність після пропарювання становить 70...90% марочної. Після ТВО обробки бетони, виготовлені на основі швидкотверднучого шлакопортландцементу, продовжують інтенсивно набирати міцність.

**Цементи спеціального призначення.** Крім шлакомістких цементів на основі портландцементного клінкеру, що широко застосовуються у всіх галузях будівництва, металургійні шлаки є сировинними матеріалами для ряду в'язучих речовин, які характеризуються спеціальними властивостями.



Деякі види шлаків і, зокрема, відвальні шлаки алюмотермічного виробництва, можуть бути використані для виготовлення *глиноземистого цементу* – високоміцної швидкотверднучої в'язучої речовини, основні властивості якої визначаються переважанням в її складі низькоосновних алюмінатів кальцію.

Відвальні шлаки алюмотермічного виробництва феросплавів характеризуються мінералогічним складом, що представлений в основному глиноземом (70 - 80%), магнезійною шпінеллю (3 - 10%) і сполуками титану, хрому і бору, залежно від різновиду шлаків. Перспективним видом сировини для виробництва звичайного глиноземистого цементу є відмиті шлаки вторинного переплавлення алюмінію і його сплавів. Використовується спосіб спікання суміші із зазначених шлаків, крейди і невеликої кількості гіпсу, що дозволяє виготовляти глиноземистий цемент із високими будівельно-технічними властивостями.

Глиноземисті шлаки можуть також використовуватись для виготовлення розширеного цементу.

Більшість бетонів та розчинів на основі гідравлічних в'язучих речовин під час твердіння на повітрі дають усадку. Деформації усадки викликають такі небажані явища, як тріщиноутворення, підвищену проникність води, а також зниження морозо- та корозійної стійкості цементного каменю. Для запобігання виникненню цих недоліків використовують багатокомпонентні в'язучі речовини спеціального призначення, що здатні до розширення. Вони складаються з основного в'язучого матеріалу і розширної добавки, до складу якої може входити кілька компонентів.

За здатністю до розширення цементи поділяють на безусадочні, розширні та напружувальні.

Розширні цементи характеризуються збільшенням об'єму (понад 0,1%), що не компенсується усадкою. Такі цементи застосовують для омоноличування збірних залізобетонних конструкцій, зачekanення швів тубінгів, спорудження доріг та аеродромів, виготовлення залізобетонних труб.

*Розширний портландцемент* складається з портландцементного клінкеру; глиноземистих шлаків; двоводного гіпсу і гідравлічної добавки. Дефіцит глиноземистих шлаків змушує шукати більш доступний їх замітник. Так, запропоновано розширний портландцемент, у якому застосовують відхід сталеплавильного виробництва - сталерафінувальні глиноземисті шлаки. Активна мінеральна добавка в складі розширеного портландцементу може бути представлена осадовими гірськими породами типу трепелів або опок, або доменним гранульованим шлаком. При виготовленні розширеного портландцементу здійснюють спільний помел зазначених матеріалів до тонини помелу, що характеризується залишком на ситі № 02 не більше 1% і на ситі № 008 - не більше 7%.



Найбільшого розповсюдження набули нижченаведені види *розширних цементів* на основі глиноземистих шлаків.

*Гіпсоглиноземистий розширний цемент* (ГГРЦ) – це цемент, що має переваги над такими близькими аналогами, як, наприклад, водонепроникний розширний цемент (ВРЦ), є дешевшим та відрізняється довшими строками тужавлення.

Такий цемент отримують спільним помелом або змішуванням попередньо подрібнених високоглиноземистого шлаку (70%), в складі якого переважає однокальцієвий алюмінат, та природного двоводного гіпсу (30%). Марки цементу М300, М400, М500; початок тужавлення не раніше як через 20 хв, кінець – не пізніше як через 4 год. Через добу цемент має бути водонепроникним при тиску 1 МПа. Лінійне розширення цементу через 3 доби твердіння – 0,1...0,7%, а через 28 діб – не більше як 1%. Границя міцності при стиску через 3 доби – не менше 28 МПа. Розширення ГГРЦ пов'язане з утворенням еtringіту і виявляється лише при твердінні у воді, при витримуванні на повітрі цемент є безусадочним.

Гіпсоглиноземистий цемент застосовують для виготовлення безусадочних та розширних водонепроникних розчинів і бетонів, для омоноличування стиків, гідроізоляції шахт, підвалів, тампонування нафтових свердловин.

*Розширний портландцемент* (РПЦ) одержують спільним помелом 60...65% портландцементного алітового клінкеру, 5...7% високоглиноземистого шлаку, 7...10% двоводного гіпсу і 20...25% активної мінеральної добавки (трепелу, опоки, діатоміту, доменного гранульованого шлаку). Портландцемент повинен містити не менше 7% алюмінатів кальцію та 55% аліту.

Механізм розширення зумовлений утворенням кристалічного еtringіту, який збільшує об'єм гідратних новоутворень. Активна добавка сприяє синтезу цієї сполуки до тужавіння цементу, що забезпечує розширення бетонних сумішей у пластичному стані без виникнення напружень у кристалічній структурі. Гідросульфоалюмінат кальцію швидко утворюється при температурі 60...80°C, тому короткочасне пропарювання (при відносно низьких температурах) прискорює твердіння цементу.

Камінь на основі розширного цементу має високу щільність і водонепроникність, а також здатність до розширення у воді й на повітрі при постійному зволоженні протягом перших 3 діб. Цей цемент є напружувальним із малою енергією розширення і має марки за міцністю М400, М500, М600, початок тужавлення – не раніше як через 30 хв, кінець – не пізніше як 12 год після замішування; розширення після 1 доби становить 0,15...1,0%.

Галузі використання такого цементу – шляхове та підземне будівництво, влаштування підлог промислових підприємств, тампонажні роботи, виготовлення залізобетонних виробів із напруженим армуванням (омоноличування каналів із напруженою арматурою).





На основі металургійних шлаків запропоновано *тампонажні в'язучі речовини* і розчини для тампонування нафтових і газових свердловин. У процесі цементування важливе значення мають структурно-механічні властивості тампонажних розчинів. Інтенсивне загуснення цементних суспензій часто є причиною серйозних ускладнень при цементуванні свердловин. Тому до тампонажних цементів висувають такі вимоги, як здатність до утворення легкорухомих суспензійностійких систем, що можна перекачувати насосами, і які зберігають початкову консистенцію у статичних і динамічних умовах: при тампонуванні свердловини глибиною до 1800 м – не менш як 1 год 20 хв, до 4000 м – не менш як 2 год 20 хв. Шлакові розчини на протязі тривалого часу після змішування не піддаються загусненню. Однак істотним недоліком шлакових розчинів є велике водовідділення. Зниження водошлакового відношення сприяє підвищенню в'язкості розчинів і прискорює терміни тужавіння.

Цементний камінь повинен не тільки мати достатню міцність, але й відрізнятися водо- і газонепроникністю, стійкістю в середовищі сольової та сірководневої агресії. Корозія портландцементу і цементно-бентонітових сумішей в основному пов'язана з вилуговуванням вапна. Найбільш інтенсивно цей процес протікає в перші три місяці твердіння. В умовах високих температур внаслідок прискорення проникності портландцементного каменю останній ще більше піддається корозії. При температурі 100<sup>0</sup>С у камені із чистого портландцементу в агресивному середовищі через один рік кількість вапна зменшується більше ніж на 20 % у порівнянні з початковим його вмістом. Шлаковий камінь, що твердіє при високих температурах і тисках, поводить інакше. З підвищенням температури навіть в умовах агресивного середовища гідратаційна активність шлакового цементу і міцність каменю зростають. Концентрація вапна в його складі зменшується лише на 4...6% порівняно з вихідною. Тому в агресивному середовищі в умовах відносно високих температур і тисків шлаковий цемент має істотні переваги перед портландцементом.

Відзначені вище властивості характеризують шлаковий цемент як тампонажний матеріал, що задовольняє основним вимогам при цементуванні високотемпературних свердловин. Однак при введенні активаторів шлаки можуть бути застосовані тільки при температурах, нижчих за 120<sup>0</sup>С. Як активуючий компонент найбільш ефективним є портландцемент. Повільно тужавіючі шлакові розчини при введенні в них незначної кількості тампонажного цементу характеризуються практично тими ж строками тужавлення, що і тампонажні портландцементні розчини.

Найчастіше шлакопортландцементні тампонажні розчини застосовуються в "холодних" свердловинах для підвищення корозійної стійкості каменю при ізоляції агресивних вод.

*Шлакопіщаний цемент* виготовляють шляхом спільного помелу шлаків з піском. При цьому отримують тампонажні матеріали з гамою різноманітних



властивостей, які забезпечують необхідну якість цементування свердловин при різних умовах. Незважаючи на те, що мелений пісок має більшу питому поверхню, ніж пісок природної крупності, шлакові розчини, отримані з добавкою меленого піску, на відміну від аналогічних цементно-піщаних розчинів, не піддаються інтенсивному загусненню на протязі тривалого часу після їх приготування. Це має велике значення при прокачуванні розчину в свердловину. Введення меленого піску в шлаковий розчин не тільки дозволяє збільшити строки тужавлення, але й позитивно впливає на фізико-механічні властивості каменю. Добавка піску в шлаки в кількості 20...60 % підвищує міцність каменю. Таке ж дозування піску забезпечує зниження його водо- і газопроникності.

На основі деяких видів шлаків і, зокрема, ферохромового, можна виготовляти *кольорові цементи* та пігменти.

Оскільки склад ферохрому чітко нормується, коливання хімічного складу ферохромових шлаків незначні, що гарантує стабільність технологічного процесу виготовлення цементів і пігментів на їх основі.

Ферохромові шлаки представлені сірим порошкоподібним матеріалом з високою дисперсністю, що пояснюється поліморфним перетворенням  $\beta$ -двокальцієвого силікату у  $\gamma$ -модифікацію, що супроводжується збільшенням об'єму. При цьому питома поверхня шлаків дорівнює 2500...2800 м<sup>2</sup>/кг. Дані седиментаційного аналізу показують, що вміст фракцій розміром менше 40 мк становить більше 70 %. Враховуючи наближеність хімічного складу ферохромових шлаків до портландцементу, наявність у ньому ряду модифікуючих елементів і оксиду хрому - сильного хромофора, цей вид шлаків можна використати як основний компонент сировинної суміші для одержання кольорових цементів, зокрема, для отримання зеленого цементу і пігментів широкої кольорової гами. За своїми характеристиками зелений цемент на основі ферохромового шлаку повністю відповідає вимогам нормативних документів. Температура випалювання цементного клінкера з добавкою такого шлаку значно нижче температури випалювання стандартних складів декоративних цементних клінкерів.

Виготовлення кольорових цементів можливе також за рахунок забарвлення клінкера при введенні до складу сировинної шихти інших хромофорів - оксидів елементів змінної валентності (Fe, Cr, Ni, Co, Mn тощо), які надають цементу інтенсивного забарвлення. Але допоки технологія виготовлення таких цементів знаходиться на стадії розробки, основною причиною чого є несталість хімічного складу певних типів шлаків, що містять такі хромофори.

Кольорові цементи застосовують для архітектурно-оздоблювальних робіт, виготовлення облицювального шару стінових панелей і блоків, штучного мармуру, скульптурних робіт, при виробництві бетонних фігурних елементів брукування.



**Безклінкерні шлакові вяжучі речовини** — це продукти тонкого подрібнення шлаків, що містять добавки-активізатори їхнього твердіння.

Шлаки здатні самостійно твердіти при нормальних умовах лише при істотному вмісті в них гідравлічноактивних фаз, наприклад,  $\beta$ -двохкальцієвого силікату. Вміст таких фаз у шлаках незначний і вони при нормальних умовах та при пропарюванні в умовах атмосферного тиску не твердіють або твердіють дуже повільно й характеризуються невисокою міцністю. При використанні гранульованих шлаків з високим вмістом скла їхнє твердіння можна прискорити введенням добавок-активаторів, які сприяють проявленню потенційних вяжучих властивостей шлакового скла. Розрізняють *лужну, лужноземельну, сульфатну й комбіновану активацію шлаків*. При лужній активації шлаку в продуктах гідратації поряд з низькоосновними гідросилікатами кальцію виникає фаза низькорозчинних, лужних гідроалюмосилікатів та гідроалюмоферритів. Така активація приводить до утворення найбільш стійкого, міцного та довговічного штучного каменю. При лужноземельній активації виникають переважно фази високоосновних гідроалюмосилікатів, які є більш розчинними і менш міцними, аніж низькоосновні. Тому штучний камінь, отриманий за другим типом активації, має дещо гірші експлуатаційні властивості та меншу довговічність. Сульфатна активація застосовується для високоосновних шлаків, переважно з високим вмістом склофази. Оскільки в продуктах гідратації є гідросульфоалюмінати і гідросульфати кальцію та інші сульфатні сполуки, то штучний камінь характеризується підвищеною стійкістю до сульфатної корозії. Комбінована активація застосовується для низькоактивних шлаків, переважно нейтральних та кислих, з невисоким вмістом склофази. Штучний камінь, отриманий в результаті такого типу активації шлаку, має порівняно з іншими нижчі експлуатаційні властивості, а відповідно й меншу довговічність.

Як лужний активатор шлаків найчастіше використовують вапно, а також натрієві та калієві лужні сполуки. При сульфатній активації в шлаки вводиться добавка сульфату кальцію, зазвичай у вигляді гіпсу або ангідриту.

Комбінована лужноземельна активація шлаків передбачає використання портландцементу, що містить гіпс.

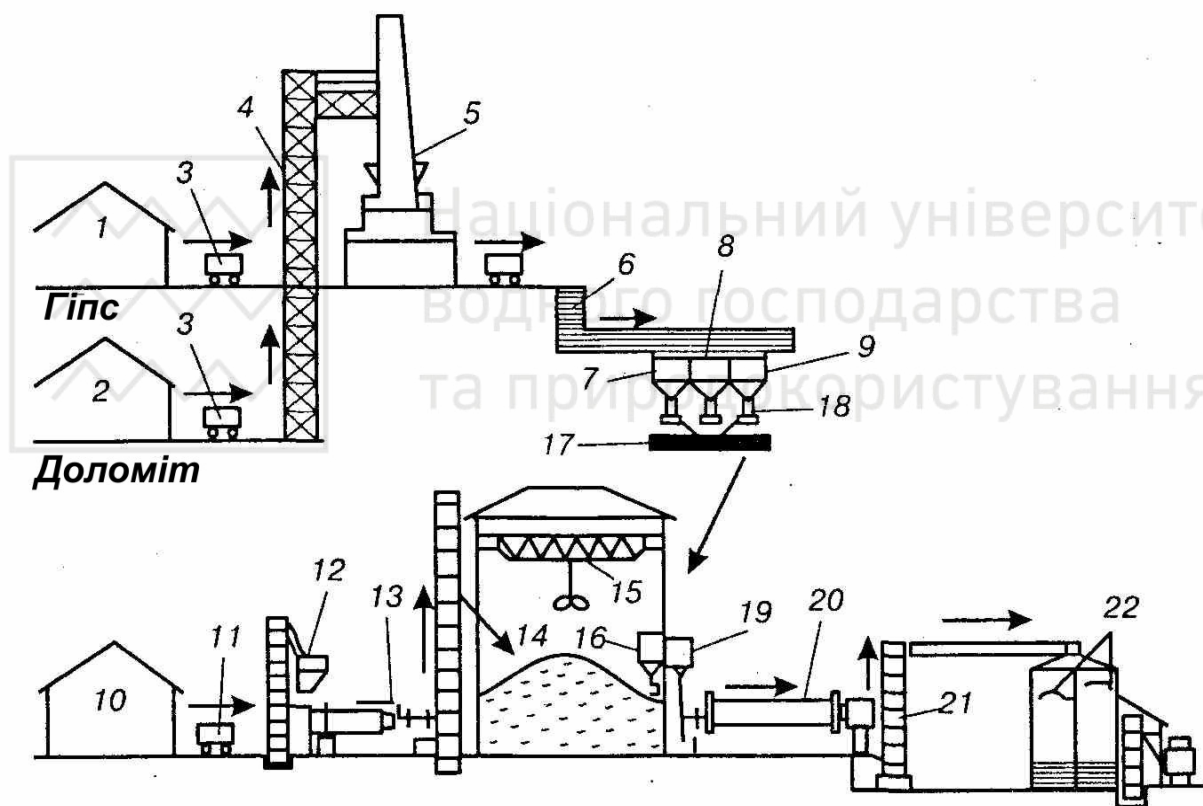
Активатори ретельно змішують зі шлаками при їхньому спільному подрібненні (сульфатно-шлакові, вапняно-шлакові вяжучі речовини), або замішують з водними розчинами (переважна більшість шлаколужних вяжучих речовин).

*Сульфатно-шлакові цементи* - це гідравлічні вяжучі речовини, які одержують спільним тонким подрібненням доменних шлаків і сульфатного активатора твердіння (гіпсу або ангідриту) з невеликою добавкою лужного активатора (переважно вапна, або портландцементу чи випаленого доломіту).

Найбільш поширеним з групи сульфатно-шлакових вяжучих речовин є *гіпсошлаковий цемент*, який містить 75...85 % шлаків, 10...15% двоводного



гіпсу або ангідриту, до 2 % оксиду кальцію або до 5 % портландцементного клінкеру. Високий ступінь активації забезпечується при використанні ангідриту, випаленого при температурі близько 700°C, і високоглиноземистих основних шлаків. При зменшенні основності шлаків доцільно збільшення концентрації вапна (від 0,2 г/л CaO для основних шлаків до 0,4...0,5 г/л для кислих). Різновидом цієї групи цементів є також *шлаковий безклінкерний цемент*, який складається з 85...90 % шлаків, 5...8 % ангідриту і 5...8 % випаленого доломіту. Ступінь випалювання доломіту залежить від основності шлаків. При використанні основних шлаків, випалювання доломіту проводять при температурі 800...900°C до часткового розкладання CaCO<sub>3</sub>, а при використанні кислих - при температурі 1000...1100°C до повного розкладання CaCO<sub>3</sub> (рис. 2.8). Активність сульфатно-шлакових



**Рис. 2.8.** Схема виробництва сульфатно-шлакового цементу при використанні доломіту:

1 - склад доломіту; 2 - склад гіпсу; 3 - вагонетка; 4 - підйомник печі; 5 - шахтна піч для випалювання доломіту; 6 - дробарка; 7 - бункер випаленого доломіту; 8- бункер ангідриту; 9 - бункер гіпсу; 10- склад мокрих шлаків; 11 - вагонетка; 12 - прийомний бункер сушильного барабану; 13 - сушильний барабан; 14 - склад сухих шлаків; 15 - грейферний кран; 16 - бункер шлаків над млином; 17 - шнек; 18 - живильник; 19 - бункер добавок; 20 - кульовий млин; 21 - елеватор; 22 - силоси сульфатно-шлакового цементу

цементів істотно залежить від тонини помелу. Висока питома поверхня таких в'язучих речовин (4000...5000 см<sup>2</sup>/г) досягається за допомогою мокрого





помелу. При високій тонині помелу і раціональному компонентному складі міцність таких цементів не поступається міцності портландцементу. Однак недоліком сульфатно-шлакових цементів є швидке зниження активності при зберіганні; характерним для них є зв'язування підвищеної кількості води при гідратації.

Як і інші шлакові в'язучі речовини, сульфатно-шлакові цементи мають невелику теплоту гідратації, що дозволяє застосовувати їх при зведенні масивних гідротехнічних споруд. Цьому сприяє також їхня висока стійкість до впливу м'яких і сульфатних вод. Хімічна стійкість сульфатно-шлакових цементів вище, ніж шлакопортландцементу, що робить їхнє застосування доцільним у різних агресивних умовах. Сульфатно-шлакові в'язучі речовини твердіють порівняно повільно. Випускають такі цементи марок М150...М300. Протягом перших 2...3 тижнів твердіння бетони на цих цементах необхідно оберігати від висихання, оскільки при висиханні поверхневий шар конструкцій стає недостатньо міцним.

Для виготовлення сульфатно-шлакових в'язучих речовин доцільно застосовувати основні доменні шлаки з підвищеним (10...20%) вмістом глинозему. Для кислих шлаків бажано, щоб модуль основності був не меншим за 0,8, а модуль активності був не нижчим за 0,45. Арматура в бетонах на сульфатно-шлакових цементах при підвищеній вологості піддається корозії.

*Вапняно-шлакові цементи* — це гідралічні в'язучі речовини, які виготовляють спільним помелом доменного гранульованого шлаку і вапна (рис. 2.9). Їх застосовують для виготовлення будівельних розчинів і бетонів марок не вище М200. Для регулювання строків тужавлення і покращення інших властивостей цих цементів при їхньому виготовленні вводиться до 5 % гіпсового каменю. Цементи більш високої якості можна отримати, застосовуючи основні шлаки з підвищеним вмістом глинозему і негашене вапно у кількості 10...30%.

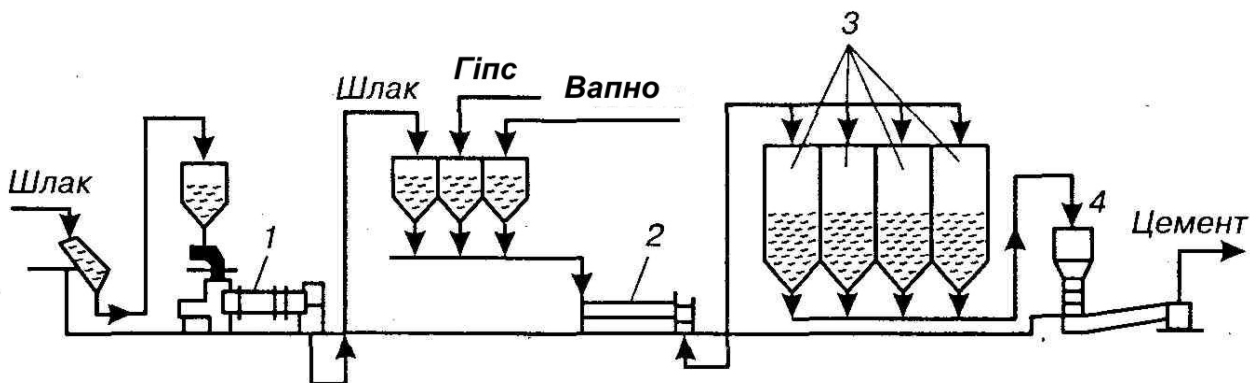
Вапняно-шлакові цементи за міцністю поступаються сульфатно-шлаковим. Їх виготовляють наступних марок: М50, М100, М150, М200. Початок тужавіння повинен наступати не раніше ніж через 25 хв, а кінець - не пізніше ніж через 24 год. після замішування. При зниженні температури, особливо нижче 10°C, наростання міцності різко уповільнюється і, навпаки, підвищення температури при достатній вологості середовища сприяє інтенсивному твердінню. Твердіння на повітрі можливо лише після досить тривалого твердіння (15...30 діб) у вологих умовах. Для вапняно-шлакових цементів характерні низька морозостійкість, висока стійкість в агресивних водах і мала екзотерія.

*Шлакові в'язучі речовини для бетонів автоклавного твердіння* - це продукти тонкого помелу мартенівських, ваграночних і деяких інших низькоактивних при нормальному твердінні шлаків із активаторами твердіння, якими є портландцемент або вапно (10...20 %) і гіпс (3...5 %). Їх





активність особливо проявляється при ТВО в автоклавах під тиском 0,8...1,5 МПа при температурі 170...200°C. Міцність при стиску зразків після автоклавовування досягає 20...30 МПа і більше. Одержують їх в основному так само, як і вапняно-шлаковий та сульфатно-шлаковий цементи. Перед подрібненням та помелом із шлаків за допомогою магнітних сепараторів виділяють металеві включення. Подрібнюють такі в'язучі речовини до залишку на ситі № 008 не більше 10...15 %.



**Рис. 2.9.** Схема виробництва вапняно-шлакового цементу:

1 - сушильний барабан; 2 - млин; 3 - цементні силоси; 4 - пакувальна машина

Здатність інтенсивно твердіти при автоклавній обробці мають не тільки тонкомелені гранульовані, але й відвальні металургійні шлаки. Останні складаються в основному з кристалічних фаз, нездатних твердіти при температурі 20...100°C. При більш високих температурах вони взаємодіють з водяною парою і утворюють низькоосновні гідросилікатні сполуки, що сприяють твердінню цементів. Твердіння відвальних шлаків прискорюється при їх хімічній активації (введення добавок), а також при механічній активації (тонкий помел на бігунах, у кульових і вібраційних млинах тощо). За умов нормального твердіння значення міцності таких матеріалів перебувають у межах від 0,8 до 5,8 МПа, а міцність зразків після автоклавовування змінюється від 12 до 36 МПа.

В умовах автоклавної обробки набувають здатності твердіти також немелені шлаки, які саморозсипаються в результаті переходу мінералу  $\beta$ - $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  в  $\gamma$ - $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  форму.

Особливостями шлакових в'язучих речовин автоклавного твердіння є знижені усадка на повітрі і набухання у вологому середовищі, висока стійкість до дії м'яких і сульфатних вод.

Необхідно відмітити, що за умов сьогодення, при різкому зростанні цін на паливо та електроенергію, обсяги використання таких в'язучих речовин на Україні невпинно знижуються, оскільки вартість тонкого помелу і, особливо, процесів автоклавовування стає дедалі вищою і в багатьох випадках виготовлення таких матеріалів стає економічно недоцільним. З огляду на те,



що вартість шлаку після помелу є дуже близькою до вартості звичайного портландцементу, який, крім того, вигідно відрізняється певною сталістю складу і властивостей, то шлаки для виготовлення автоклавних матеріалів доцільно використовувати тільки при виконанні однієї з наступних умов:

- при значній перевазі автоклавних шлакових матеріалів над традиційними за фізико-технічними показниками;
- при набутті автоклавними шлаковими матеріалами спеціальних властивостей, не притаманних традиційним матеріалам;
- при вирішенні екологічних проблем певного підприємства чи регіону за економічної підтримки держадміністрації регіону.

З огляду на великі обсяги відходів металургійної промисловості в Україні актуальним є виробництво поряд з іншими шлакомісткими матеріалами *лужних в'язучих речовин* і конструкцій на їх основі, які характеризуються покращеними фізико-механічними характеристиками та техніко-економічними показниками.

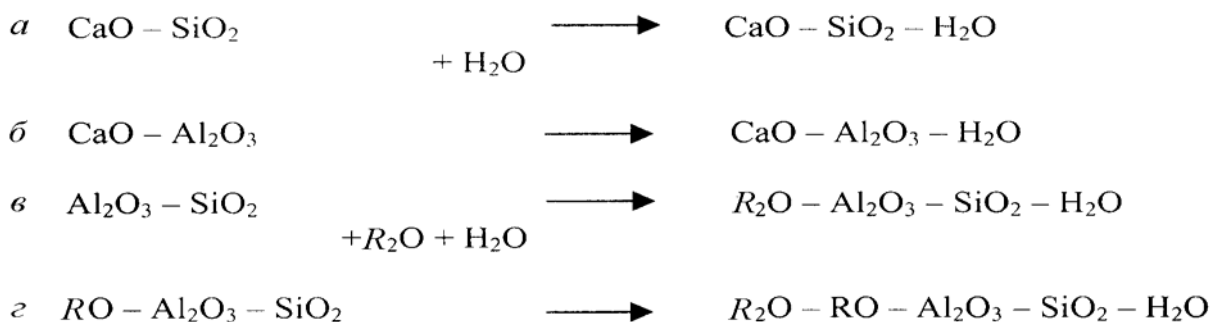
Відкриття професором В.Д. Глуховським у 1957 р. в'язучих властивостей у сполук I групи II підгрупи періодичної системи елементів сприяло створенню лужних цементів і довело, що вимоги обмеженої розчинності (згідно з сучасними теоріями композиційної побудови в'язучих систем) слід ставити не до речовин, що входять до складу цементу, а до продуктів їхньої гідратації та твердіння. Раніше були відомі спроби використання лужних сполук (розчинне скло,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaOH}$ ) як добавок-активаторів до традиційних портландцементів. Проте вміст їх був незначним, оскільки підвищена кількість активних лужних сполук, особливо при наявності реакційноздатних заповнювачів, є причиною розвитку внутрішньої корозії, що призводить до деструктивних процесів у затверділому бетоні.

Ідея створення лужних цементів гідратаційного твердіння базується на аналізі процесів мінерало- та пороудоутворення, які відбуваються в земній корі та на її поверхні при наявності сполук лужних металів. У цьому випадку сполуки натрію і калію відіграють роль структуроутворюючих компонентів, сприяючи синтезу лужних алюмосилікатних речовин, подібних за своїм складом до існуючих у природі цеолітів та фельдшпатоїдів. Умовні схеми процесів гідратації традиційних в'язучих систем та лужних цементів наведено на рис.2.10.

Найбільшого поширення у світі набули *шлаколужні цементи* (ДСТУ Б В. 2.7-24-95), які одержують змішуванням мелених гранульованих металургійних шлаків з розчинами сполук лужних металів (калію, натрію) або спільним помелом шлаків з малогігроскопічними сполуками цих металів (рис. 2.11).



Для виробництва шлаколузких в'язучих застосовують доменні та електротермофосфорні гранульовані шлаки, тонкість помелу яких характеризується питомою поверхнею не менше  $300 \text{ м}^2/\text{кг}$ . Крім того, після попереднього випробування можна використовувати гранульовані шлаки інших виробництв, наприклад, титанисті, нікелеві, феромарганцеві, ваграночні, мартенівські.



**Рис. 2.10.** Схеми процесів гідратації в'язучих систем:

а – портландцементу, б – глиноземистого цементу; в, г – лужних цементів

Гідравлічна активність шлаків значною мірою визначається не тільки структурою і хіміко-мінералогічним складом, але й природою та видом лужного компонента. Лужні компоненти, водні розчини яких мають лужну реакцію, є складовою частиною шлаколузких цементів і використовуються у кількості 5...15% від маси шлаку (в перерахунку на суху речовину) у вигляді водних розчинів 18...40%-ї концентрації.

Ці сполуки за характером взаємодії зі шлаками поділяють на чотири групи:

I група – їдкі луки (гідроксиди натрію та калію);

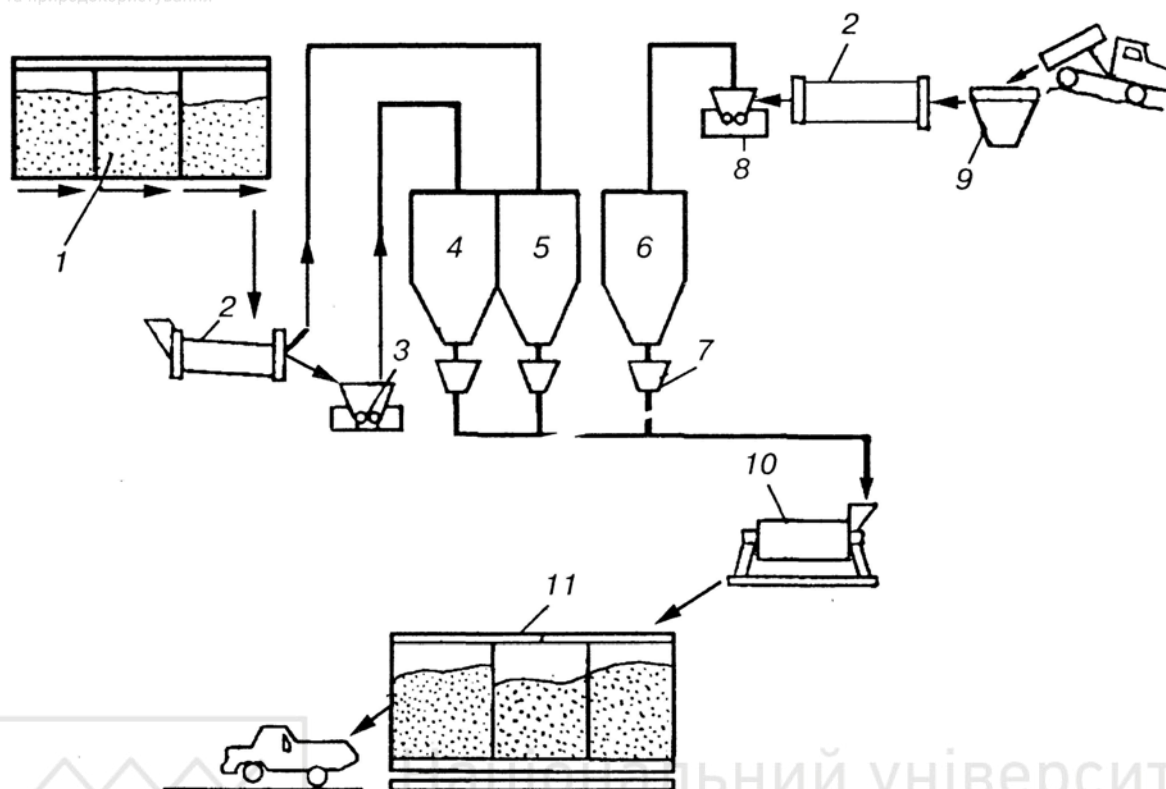
II група – несиликатні солі слабких кислот (сода синтетична кальцинована, сода кальцинована технічна, содолужний плав, фторид натрію);

III група – силікатні солі і розчинні стекла із силікатним модулем 0,5...2,5;

IV група – алюмінатні солі (алюмінати натрію і калію).

Крім вказаних технічних продуктів, у виробництві шлаколузкого цементу можна використовувати луговмістні побічні продукти і відходи виробництва після випробування їх.

Помел шлаку для отримання лужних в'язучих здійснюється на помольних установках, що використовуються у цементній промисловості. Дозволяється також спільний помел шлаку з малогігроскопічним лужним компонентом (содою кальцинованою, що вводиться у кількості 5...7,5% від маси шлаку) та коригуючими добавками.



**Рис. 2.11.** Схема виробництва шлаколувної в'язучої речовини:

1 - склад; 2- сушильний барабан; 3- вальці; 4, 5 - бункери шлаку і активної мінеральної добавки; 6 - бункер лужного компонента; 7 - дозатори; 8 - вальці для подрібнення лужного компонента; 9 - склад лужного компонента; 10 - млин; 11 - склад в'язучої речовини

Виробництво та застосування лужних цементів порівняно із портландцементами (з урахуванням як технічних, так і екологічних аспектів) має наступні переваги:

- сировиною для їхнього виробництва є розповсюджені мінеральні ресурси та відходи і вторинні продукти: металургійні шлаки, золи, шлами та ін.;
- у процесі виробництва не видаляються шкідливі речовини в атмосферу і навколишнє середовище (відсутня емісія  $\text{CO}_2$ ) та зберігається енергія порівняно зі звичайним портландцементом.

Крім того, лужні цементи переважають звичайні за фізико-механічними властивостями, що також дає змогу використовувати їх для іммобілізації шкідливих, токсичних і радіоактивних речовин.

Істинна густина шлаку для шлаколувного цементу становить  $2,6 \dots 3,2 \text{ г/см}^3$ , тонкість помелу – не менше  $300 \text{ м}^2/\text{кг}$ . Густина розчину лужного компонента вибирається залежно від потрібної активності в'язучої речовини і може бути в межах  $1100 \dots 1300 \text{ кг/м}^3$ .

При питомій поверхні шлаку  $300 \dots 350 \text{ м}^2/\text{кг}$  водопотреба шлаколувної в'язучої речовини становить  $25 \dots 30\%$ . Наявність лужного компонента позитивно впливає на пластичність цементного тіста, забезпечуючи при меншому водов'язучому відношенні його більшу рухомість.



Для в'язучих речовин на силікатах натрію і доменних шлаках початок тужавлення має наставати не раніш як через 20 хв, на основі шлаків кольорової металургії – не раніш як через 45 хв, а для решти видів лужних компонентів – не раніш як через 30 хв. Кінець тужавлення – не пізніше ніж через 12 год.

За міцністю при стиску шлаколузні в'язучі речовини поділяють на марки від М300 до М1200. Для прискорення набору міцності і зменшення деформативності у в'язучу речовину вводять добавку цементного клінкеру (2...6%). Границя міцності при стиску швидкотвердіючих шлаколузних в'язучих у віці 3 діб для марок М400 і М500 становить не менше 50% марочної міцності, а для марок М600... М1200 - не менше 30 МПа.

Контракція шлаколузних в'язучих речовин в 4...5 разів менше, ніж у портландцементу, внаслідок чого вони мають більш низьку пористість, що забезпечує їхню високу водонепроникність, морозостійкість, відносно низькі показники усадки і повзучості. Незважаючи на інтенсивне зростання міцності в ранній термін твердіння, тепловиділення в них невисоке (в 1,5...2,5 рази менше, ніж у портландцементу).

Шлаколузні в'язучі речовини мають високу корозійну стійкість і біостійкість. Лужні компоненти виконують роль противоморозних добавок, шлаколузні в'язучі інтенсивно твердіють при від'ємних температурах.

Порівняння властивостей шлаколузних цементів із традиційними дозволяє відмітити деякі їхні переваги, в тому числі:

- для шлаколузного цементу характерна в 2...3 рази нижча (порівняно з портландцементом) екзотермія, що пов'язано з відсутністю в його складі високоосновних силікатів кальцію  $C_3S$ ;

- вища, ніж у сульфатостійкого цементу, стійкість в агресивних середовищах: у розчинах лужних і органічних сполук, у тому числі в жирних кислотах, у розчинах цукру, мінеральних кислот з  $pH=3$  та багатьох електролітів ( $NaCl$ ,  $KCl$ ,  $Na_2SO_4$ ,  $K_2SO_4$ ,  $MgCl_2$ ,  $MgSO_4$ ,  $CaSO_4$ ), морській воді тощо, що пояснюється складом продуктів гідратації, в якому переважають, на відміну від портландцементного каменю, низькоосновні гідросилікати кальцію і лужні гідроалюмосилікати – аналоги породотвірних мінералів земної кори;

- особливості пористої структури (низька замкнута пористість, у складі якої переважають гелеві пори, що кольматовані лужними алюмосилікатними новоутвореннями), обумовлюють можливість отримання штучного каменю підвищеної щільності, водонепроникності (W10...W30) та морозостійкості (300...1000 циклів).

Особливості хіміко-мінералогічного складу новоутворень та можливість їхньої модифікації за рахунок введення добавок різної функціональної дії дозволили отримати широку гаму шлаколузних цементів спеціального призначення.

Швидкотверднучі цементы характеризуються високою міцністю, особливо в початкові терміни твердіння, яка становить після твердіння протягом 1, 2, 3





та 28 діб відповідно (20...45); (40...65); (50...80) та (70...120) МПа. Регулювання кінетики набору міцності досягається за рахунок введення високоосновних добавок у кількості 1...8%.

Швидкотверднучі шлаколузні цементи можна розглядати як цементи поліфункціональної дії, що відрізняються високою морозостійкістю (F400...F1000), корозійною стійкістю в різних мінеральних та органічних агресивних середовищах, водонепроникністю W10...W30, здатністю тверднути при від'ємних температурах; довговічністю; їх можна використовувати для приготування високоміцних бетонів на некондиційних заповнювачах (дрібних пісках, супісках, нефракціонованому щебеню тощо). Ці цементи застосовують поряд з високоміцними, сульфатостійкими портландцементами та глиноземистим цементом для виготовлення звичайних бетонів класів B20...B30 і високоміцних бетонів класів B50...B110.

*Жаростійкі цементи* призначені для виготовлення збірних жаростійких конструкцій або для монолітного футерування теплових агрегатів з температурою експлуатації 300...1600°C.

До складу цих цементів, крім гранульованого шлаку (50...90)%, сполук лужних металів (5...20)% необхідним є введення коригуючих добавок у кількості (5...40)%. Для виробництва жаростійких цементів при температурах експлуатації до 1200°C застосовують гранульовані шлаки ортосилікатної, мелілітової, воластонітової та анортитової структур (масова частка склоподібної фази – 70...90%), а для виготовлення цементів з температурою експлуатації до 1600°C – шлаки алюмотермічного виробництва, що містять не менш як 75% алюмінатів кальцію.

Процеси гідратації та дегідратації цементу регулюють за рахунок введення коригуючих добавок, що представлені відходами різних виробництв, і за хімічним складом належать до кальційалюмінатних (шлаки алюмотермічного виробництва, синтетичні шлаки електросталеплавильного виробництва), алюмозалістистих (червоний шлам, піритні недогарки) та магнійсилікатних (дегідратовані серпентинові та дунітові породи) речовин.

Технічна характеристика жаростійких бетонів, отриманих на основі таких цементів: міцність при стиску становить 30...110 МПа; залишкова міцність після випалювання – 50...140%; термостійкість – понад 20 теплоступнів; вогнева усадка – 0,4...1,0%.

Використання жаростійких шлаколузних цементів дозволяє скоротити строк витримування об'єкта перед введенням в експлуатацію у 1,5...2 рази, збільшити тривалість його служби в 2...3 рази, порівняно із тривалістю служби об'єктів, при зведенні яких застосовували портландцемент.

*Безусадочні цементи* виготовляють на основі шлаків кольорової металургії, сполук лужних металів та добавок. При цьому використовують шлаки від виплавлення свинцю, нікелю, міді, а як добавки – портландцементний клінкер та сульфат натрію або відходи промисловості, що містять не менше як 70% сульфату натрію.



Шлаколужні безусадочні цементы при твердінні в повітряних умовах мають помірну усадку: після 3 діб – 0,014...0,09%, після 28 – 0,011...0,16%. При твердінні цементу в нормальних умовах і у воді спостерігається ефект розширення, що на 28 добу становить 0,2%.

Ці цементы призначені для виготовлення збірних та монолітних бетонних і залізобетонних конструкцій та виробів, у тому числі з попередньо напруженою арматурою, що можуть бути застосовані у шляховому, підземному будівництві та при тампонажних роботах.

*Сульфатостійкі цементы* можуть бути отримані на основі доменних та електротермофосфорних шлаків. Підвищена стійкість цих цементів в агресивних середовищах визначається високою щільністю і міцністю каменю, низькою розчинністю й хімічною стійкістю гідратних новоутворень, відсутністю умов для виникнення гідросульфоалюмінатів типу еtringіту. Найагресивнішими щодо шлаколужних цементів є сульфати полівалентних металів (алюмінію, магнію тощо), а також амонію, які викликають у шлаколужних бетонах корозійні процеси видів II і III (обмінні реакції з утворенням двоводного гіпсу й гідроксидів відповідних металів).

Сульфатостійкі шлаколужні цементы доцільно застосовувати в гідротехнічному, промисловому, сільськогосподарському та шляховому будівництві.

*Тампонажні цементы* – це шлаколужні цементы, в яких лужними компонентами є речовини, що розпадаються при дії підвищеної температури, наприклад, суміш карбонату й бікарбонату натрію, силікат-брили та  $\text{Na}_2\text{S}$ ,  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ .

Шлаколужні тампонажні цементы дають можливість регулювати час загуснення розчинової суміші при різних температурах. Вони мають високі міцнісні властивості, жаро- і корозійну стійкість, седиментаційну стійкість, низьку газопроникність. Їх можна застосовувати під час робіт у холодних свердловинах, а також під час цементування обсадних колон в інтервалі температур 120...140°C і при тиску до 65 МПа.

*Кислотостійкі цементы* призначені для виготовлення бетонних і залізобетонних конструкцій та виробів, що експлуатуються в умовах кислих середовищ. Їх виготовляють на основі шлаколужних цементів з добавками (наприклад, магнійсилікатними), які зумовлюють формування в складі новоутворень цементного каменю сполук, що мають високу стійкість в кислих середовищах. Активність цементів становить 30...80 МПа, коефіцієнт стійкості –  $K_c=0,9...1,3$ , втрата маси – 0...3%, зміна об'єму – 0...2%.

Економічна ефективність шлаколужних в'язучих речовин є досить високою. Питомі капіталовкладення на виробництво цих в'язучих речовин в 2...3 рази менше, ніж при виробництві портландцементу за рахунок того, що відсутні фондо-, капітало- і матеріаломісткі технологічні операції: не потрібна розробка родовищ, підготовка сировини, подрібнення, випалювання тощо. Наприклад, порівнюючи витрати на виробництво шлаколужних



в'яжучих речовин марок М600...М1200 і портландцементу марки М600, можна зробити висновок, що їх собівартість нижче в 2 рази, питома витрата умовного палива - в 2-3 рази, електроенергії - в 2 рази, додаткові витрати - в 2 рази менше, ніж при виробництві портландцементу.

### 2.3 ЗАПОВНЮВАЧІ З МЕТАЛУРГІЙНИХ ШЛАКІВ

Металургійні шлаки є значним резервом забезпечення будівельної промисловості заповнювачами для бетонів. Шлакові заповнювачі за величиною насипної густини можуть бути *важкими* ( $\rho_0 > 1100 \text{ кг/м}^3$ ) і *легкими* ( $\rho_0 \leq 1100 \text{ кг/м}^3$ ), а за крупністю зерен - *дрібними* ( $< 5 \text{ мм}$ ) і *крупними* ( $> 5 \text{ мм}$ ). За густиною зерна шлакові заповнювачі поділяються на *щільні* ( $\rho_0 > 2000 \text{ кг/м}^3$ ) та *пористі* ( $\rho_0 \leq 2000 \text{ кг/м}^3$ ).

**Щільні заповнювачі.** Шлаковий щебінь отримують подрібненням відвальних металургійних шлаків або спеціальною обробкою вогненно-рідких шлакових розплавів (литі шлакові щебені). Для виробництва щебеню в основному застосовують відвальні шлаки, сталеплавильні, а також мідеплавильні, нікелеві і інші шлаки кольорової металургії.

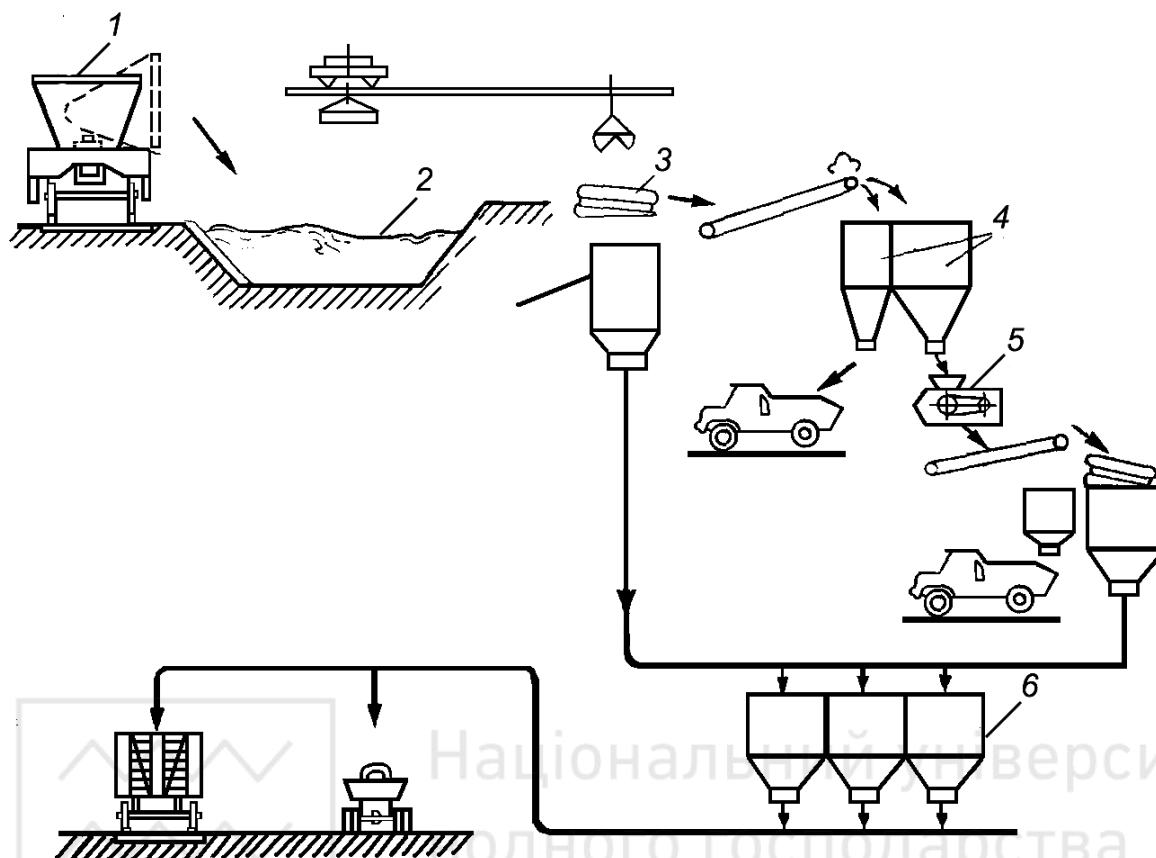
До ефективних видів заповнювачів для бетону, що є не гіршими за фізико-механічними властивостями, ніж продукти подрібнення щільних природних кам'яних матеріалів, відноситься *литий шлаковий щебінь*. При виробництві цього матеріалу вогненно-рідкі шлаки зі шлаковозних ковшів зливаються шарами товщиною 250...500 мм на спеціальні ливарні площадки або в трапецієподібні ями-траншеї (рис. 2.12).

При витримуванні протягом 2...3 год на відкритому повітрі температура розплаву в шарі знижується до  $800^\circ\text{C}$  і шлаки починають кристалізуватися. Потім шлак охолоджують водою, що приводить до розвитку численних тріщин. Шлакові масиви на лінійних площадках або в траншеях розробляють надалі екскаваторами з наступним подрібненням і просіюванням (грохоченням).

Фізико-механічні властивості литого шлакового щебеню:

Середня густина кусків, $\text{кг/м}^3$	2200...2800
Істинна густина, $\text{кг/м}^3$	2900...3000
Границя міцності при стиску, МПа	60...100
Водопоглинання, % мас.	1...5;
Насипна густина щебеню, $\text{кг/м}^3$	1200...1500

Литий шлаковий щебінь характеризується високими морозо- і жаростійкістю, а також опором стиранню. Вартість його майже в 2 рази менше, ніж щебеню з природного каменю. Для виготовлення бетонних і залізобетонних виробів застосовують фракціонований литий шлаковий щебінь з крупністю 5...70 мм.



**Рис. 2.12.** Схема виробництва литого щебеню траншейним способом:

1 - шлаковозний ківш; 2 - траншея для шлакових розплавів; 3 - грохот; 4 - бункери; 5 - дробарка; 6 - бункери для готової продукції (шлакового щебеню)

Бетон на основі заповнювача із литого шлакового щебеню на 15...20 % більш зносостійкий, ніж бетон, що містить заповнювач, представлений звичайним гранітним щебенем, і тому його рекомендують використовувати для будівництва бетонних автострад. Практика використання такого щебеню для дорожнього, аеродромного та промислового будівництва має місце в Англії, США, Німеччині та Франції.

Несортований матеріал використовується в дорожньому будівництві і у виробництві мінеральної вати, а відсів може служити заповнювачем для жаростійких бетонів і частково замінити гранульовані шлаки у виробництві шлакопортландцементу. Для отримання литого щільного шлакового щебеню кристалічної структури застосовуються вогненно-рідкі шлаки, в яких при охолодженні утворюється мінімальне число пор, а середня густина кусків становить не менше  $2200 \text{ кг/м}^3$ .

Необхідною умовою одержання заповнювачів з металургійних шлаків є стійкість їх до різних видів розпаду. Особливо небезпечний силікатний розпад, характерний для висококальцієвих, маломарганцевих і малоглиноземистих шлаків. Поліморфні перетворення ортосилікату кальцію - основна причина, що викликає цю форму розпаду, - може виникнути при



повільному охолодженні шлаків. Тому основним способом стабілізації шлаків, схильних до силікатного розпаду, є швидке їх охолодження (термічна стабілізація), наприклад, злив шлакових розплавів тонким шаром або грануляція.

Крім термічної, розроблені також способи хімічної і кристалохімічної стабілізації шлаків, що передбачають введення в розплав добавок, які сприяють утворенню стійких сполук. При хімічному способі в розплав вводять добавки (глина, пісок), що зв'язують оксид кальцію і сприяють кристалізації стійких мінералів (геленіту, окерманту та ін.). Сутність кристалохімічного способу полягає в стабілізації  $\beta$ - $C_2S$  введенням добавок у шлаковий розплав. До ефективних стабілізаторів, при введенні яких утворюються стійкі структури ортосилікату кальцію є луги, оксиди фосфору, бору і ін.

Небезпечним є також залізистий розпад, що супроводжується збільшенням об'єму (майже на 38%) при взаємодії води з сульфідом заліза і утворенням гідрооксиду заліза.

Розпад шлаків починається в процесі їх охолодження і завершується у відвалах протягом 2-3 місяців. Шлаки, що пролежали у відвалах тривалий час і не мають ознак розпаду, вважаються стійкими. Для прискореної оцінки стійкості шлаків до силікатного розпаду пробу піддають пропарюванню над киплячою водою або в автоклаві при тиску 0,2 МПа. Шлаковий щебінь вважають стійким до силікатного розпаду, якщо втрата маси для випробовуваної фракції не перевищує 5%. Схильність до силікатного розпаду можна визначити, опромінюючи шлаки ультрафіолетовими променями (люмінесцентний метод). Шлаки, схильні до силікатного розпаду, відрізняються жовтим або золотавим світінням, а стійкі - фіолетовим різних відтінків.

Стійкість проти залізистого розпаду встановлюється витримуванням шлакового щебеню у дистильованій воді протягом 30 діб. Втрата маси при цьому так само, як і при випробуванні на силікатний розпад, не повинна перевищувати 5 %.

Для запобігання вапняного і магнезійного розпаду в шлаках, що переробляють на заповнювачі, не допускається вміст вільних оксидів кальцію й магнію.

Попередню оцінку стійкості структури доменних шлаків роблять, визнаючи його хімічний склад. Стійку структуру мають шлаки, в яких вміст оксиду кальцію (%) дорівнює або менше величини, розрахованої за формулою:

$$CaO = 0,92SiO_2 + Al_2O_3 + 0,2MgO \quad (2.4)$$

Залежно від крупності зерен щебінь поділяють на фракції: 5...10, 10...20, 20...40, 40...70, 70...120 мм. Зерновий склад шлакового щебеню, як і інших видів заповнювачів, підбирається в складі бетону для забезпечення мінімальної пористості штучного каменю. Мінімальна насипна густина





щепеню кожної із фракцій становить  $1000 \text{ кг/м}^3$ . Вміст зерен пластинчастої (лещадної) і голчастої форми, %, повинен бути для щепеню: кубовидного - не більше 15; поліпшеного - 25; звичайного - 35. Довжина таких зерен у три і більше разів перевищує їх товщину або ширину.

Міцність шлакового щепеню характеризується його маркою. Для щепеню з доменних шлаків, що застосовують як заповнювач важкого бетону, встановлено п'ять марок за міцністю:

Марка щепеню за міцністю	1200	1000	800	600	300
Втрата маси після випробувань, %	до 15	15...25	25...35	35...45	45...55

Щебінь марки M1200 може бути використаний при виготовленні бетонів марки M400 і вище, M1000 - марки M300, M800- марки M200 і M600 - нижче M200. Щебінь низьких марок застосовується також при виготовленні бетонів більш високої міцності, але після відповідної перевірки і техніко-економічного обґрунтування.

Залежно від числа циклів, які витримує щебінь при випробуванні, встановлюють його марки за морозостійкістю (F15-F300).

Вміст у шлаковому щепені відмулюваних пилоподібних і глинистих частинок повинен бути не більше 3% для слабоактивних і неактивних шлаків. Для активних і високоактивних шлаків вміст відмулюваних домішок не нормується. Неприпустимий вміст у щепені домішок паливних шлаків, золи, колошникового пилу.

У металургійних шлаках є сірка, що викликає корозію арматурної сталі. У щепені з доменних шлаків її вміст не повинен перевищувати 2,5 % за масою. Наявність сірки необхідно враховувати при виробництві попередньо напружених залізобетонних конструкцій, де можливість використання шлакового щепеню повинна бути обґрунтована спеціальними дослідженнями.

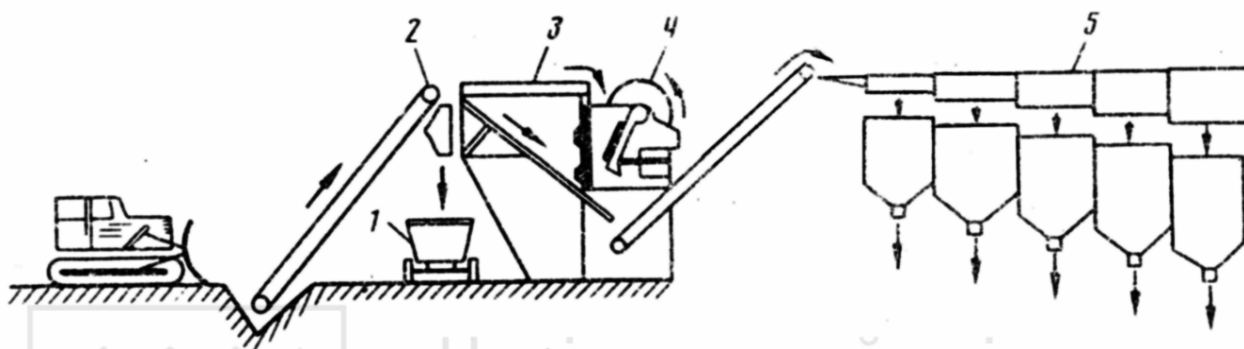
На сьогодні в Україні велику кількість щільного шлакового щепеню виготовляють з відвальних шлаків.

Шлак з відвалу після виділення металу спеціальними електромагнітами надходить на первинне грохочення, де розділяється за фракціями. Заповнювачі фракції 40...70 мм і вище підлягають складуванню. Подрібнений шлак з розміром зерен 0...40 мм подають на друге грохочення, де одержують фракції 0...10, 10...20, 20...40 мм, що надходять на склад готової продукції. Якщо шлак містить куски розміром більше 120 мм, і їх кількість перевищує 20%, то в процес його переробки включають також стадію подрібнення (рис. 2.13).

Зазвичай щебінь для бетону отримують з доменних шлаків поточного виходу, інколи – подрібненням та сортуванням шлаків із старих відвалів. Одержання щепеню, піску та щепеневопіщаної суміші з металургійних шлаків має наступні стадії: розплав металургійних шлаків зливають у



траншею або у шлаковий відвал, охолоджують водою та витримують на відкритому повітрі до закінчення процесів стабілізації структури. Шлаки зі стабільною структурою подають на дробильно-сортувальні комплекси, де їх подрібнюють і розсіюють за фракціями. Шлаковий пісок використовують для виробництва бетонів та розчинів. Фракціонований щебінь придатний для виробництва бетонів, основ фундаментів та покриттів доріг, а піщано-щебенева суміш – для відсипання територій, виробництва бетонів низьких класів та основ фундаментів.



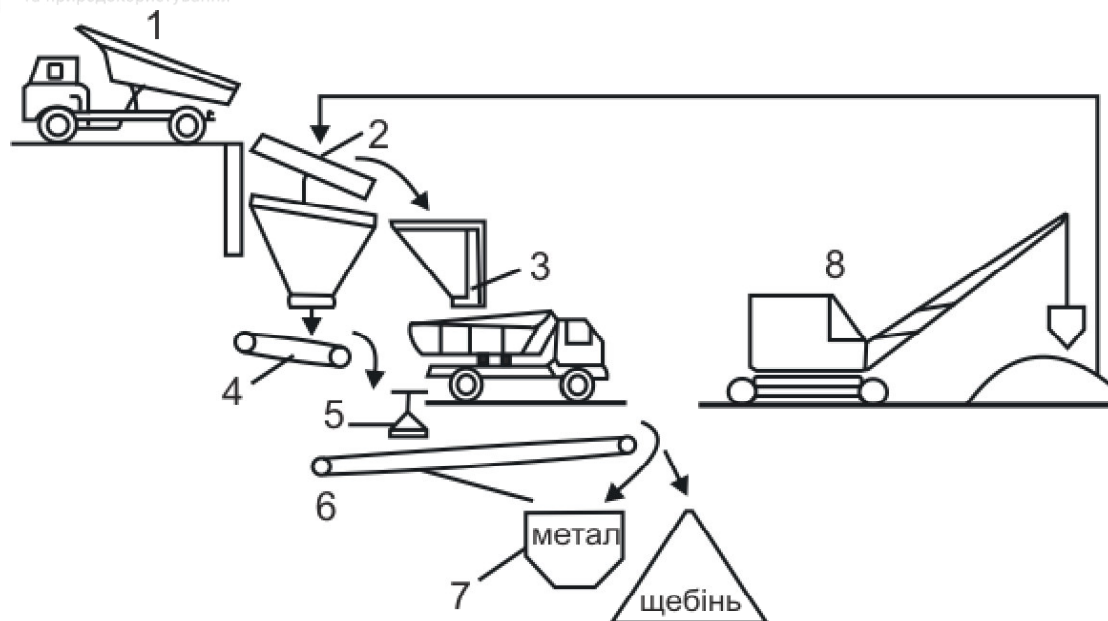
**Рис. 2.13.** Схема установки з переробки металургійних шлаків на щебінь:

1 – бункер для металу; 2 – електромагнітний сепаратор; 3 – віброгрохот із отворами 120 мм; 4 – дробарка; 5 – бункерна естакада з грохотом для розподілу щебеню за фракціями

Сталеплавильні шлаки поточного виробництва перероблюють на щебінь термоударним способом, який оснований на миттєвому охолодженні шлаку водою. У зв'язку з великим вмістом металу (15...20%) сталеплавильні шлаки перероблюють в охолодженому стані: зливають шлак до шлакової траншеї при температурі 1400°C і зрошують його водою протягом 30...40 хвилин. Після випаровування води через 1,5...2 години проводять наступний злив шлаку. Таким чином заповнюють одну траншею і переходять до іншої. Після охолодження шлаку в траншеї його подрібнюють спеціальним вантажем (копром) та вибирають з нього великі куски металу. Потім шлак подається на переробку для одержання щебеню (рис.2.14).

Поряд із щільними відвальними шлаками для виробництва щебеню використовують пористі шлаки, утворені з розплавів, що відрізняються виділенням значної кількості газової фази. Міцність пористих відвальних шлаків становить 2,5...40 МПа; середня густина у куску становить 400...1600 кг/м<sup>3</sup>, що дозволяє забезпечити насипну густину щебеню 800 кг/м<sup>3</sup> і менше і застосовувати їх для виробництва легких бетонів.

Фізико-механічні властивості шлакового щебеню змінюються в більш широкому інтервалі, ніж щебеню з гірських порід, що обумовлено коливаннями якості сировинних матеріалів і технологічних параметрів.



**Рис. 2.14.** Схема установки для переробки відвальних шлаків на щебінь з видаленням металу:

1 - відвальний шлак; 2 - приймальний бункер з колосниковою решіткою;  
 3 - бункер для кусків шлаку крупніше 120 мм; 4 - живильник; 5 — вантажопідйомний електромагніт; 6 - транспортер з електромагнітним ковшем;  
 7 — бункер для металу; 8 — екскаватор з копром

Шлаковий щебінь застосовують не тільки як заповнювач для цементних бетонів, але також у дорожньому будівництві для зміцнення основ і улаштування асфальтобетонних покриттів. Залежно від структурних особливостей, опору стиранню і дробимості шлаковий щебінь ділиться на марки:

Марка щебеню за стиранністю	II	I II	I III	I IV
Втрата маси при випробуванні, %	<25	25...35	35...45	45...60

Марка щебеню з металургійних шлаків як заповнювача асфальтових бетонів залежить від виду сумішей. Вона повинна бути, наприклад, для сумішей марки I:

- для гарячих і теплих асфальтобетонів типів А, Б и В відповідно 1200, 1000 і 800;
- холодних – типів Б<sub>х</sub> і В<sub>х</sub> – 800 і 600;
- пористих - 800.

*Шлакомінеральні суміші*, що використовуються для влаштування основи доріг, практично не вимагають спеціального догляду і дозволяють відкрити рух відразу після ущільнення. Вони допускають укладання асфальтобетонних покриттів відразу після ущільнення основи. При влаштуванні основ із шлакомінеральних сумішей на дорогах вищих категорій можна використовувати не тільки місцеві низькоміцні кам'яні матеріали, але й піщано-гравійні суміші.



Шлакомінеральна основа більш жорстка порівняно з бітумомінеральною, але набагато гнучкіша і деформативніше основ, для влаштування яких використані бетони.

У дорожньо-будівельній практиці добре зарекомендували себе склади шлакомінеральних сумішей, у яких вміст гранульованих шлаків становить від 10 до 20 %. Фізико-механічні властивості найбільш поширених шлакомінеральних сумішей наведені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2

**Фізико-механічні властивості шлакомінеральних сумішей**

Склад добавок	Границя міцності при стиску зразків, МПа, після твердіння			Границя міцності при розколюванні, МПа, у віці		Границя міцності при стиску після 25 циклів заморозування-відтавання у віці 28 діб, МПа
	7 діб	28 діб	60 діб	28 діб	60 діб	
Суміші щебеневі і гравійно-піщані						
шлак гранульований 10...20%, вапно 1...2%	-	0,2-0,3	0,5...0,6	—	0,1	Не нормується
шлак гранульований 5...10%, цемент:						
3%	0,5	1,0	—	0,2-0,3	—	0,8
5%	0,8	2,0	—	0,5	—	1,5
Суміші піщані						
шлак гранульований 10...20%, цемент 3%	0,4	1,0-1,5	—	0,1-0,2	—	0,8-1,0
шлак гранульований 10%, цемент 5%	0,5	2,0	—	0,2	—	1,5

Шлакомінеральні суміші, замішані водою у кількості 8...9%, добре перемішуються і легко ущільнюються. Асфальтобетонне покриття, покладене на шлакомінеральну основу, добре зчеплюється з нею.

Дорожнє будівництво є найбільш матеріаломісткою галуззю застосування шлакового щебеню. Вимоги, що висуваються до шлакового щебеню, залежать від шару дорожнього покриття, де вони використовуються. Так, матеріал, що укладається в підстилаючий шар, повинен мати високу водостійкість і морозостійкість, щебінь для основ - шорстку поверхню. В утрамбованому стані матеріал для будівництва доріг повинен мати високу міцність на зсув.



Для забезпечення руху зі встановленою швидкістю, покриття повинні мати високу зносостійкість і зберігати рівність. Однією з основних вимог до щебеню для дорожнього будівництва є його здатність не подрібнюватися при укладанні і ущільненні. У дорожніх насипах і підстильних рівнях застосовують щебінь з несортованих відвальних шлаків. Нефракціонований шлаковий щебінь придатний також для влаштування опорних призм гребель і дамб, зміцнення їх укосів, які піддаються впливу хвиль. Щебінь із доменних та сталеплавильних шлаків легко укачується в основах доріг, цементується і створює монолітний шар в суміші із щебенем з слабких вапнякових порід. Щебінь з мартенівських шлаків успішно застосовують для розклинення основ з гранітних щебенів, які погано піддаються утрамбовуванню. Найбільш економічними є конструкції з використанням сталеплавильних шлаків крупністю до 40 мм. Застосування шлаків з хлористим кальцієм дає можливість вести дорожні роботи в зимовий час.

Відвальні шлаки і мінеральний порошок зі сталеплавильних шлаків використовують при виготовленні асфальтобетону для верхніх шарів дорожнього одягу. Асфальтобетонні покриття з шлаковим заповнювачем характеризуються високою міцністю, стійкістю до стирання, високим коефіцієнтом зчеплення, відсутністю деформацій зсуву. Також ці покриття відрізняються підвищеним опором ударним навантаженням при позитивних і від'ємних температурах, більшою теплостійкістю, ніж у асфальтобетонів на природних мінеральних заповнювачах. При тривалому контакті з водою пори шлакового матеріалу заповнюються кристалогідратними новоутвореннями, що запобігає надалі доступу води і приводить до підвищення морозостійкості асфальтобетону.

Недоліком шлакових асфальтобетонних сумішей є їх висока середня густина, що на 15-25% перевищує густину сумішей із природних матеріалів.

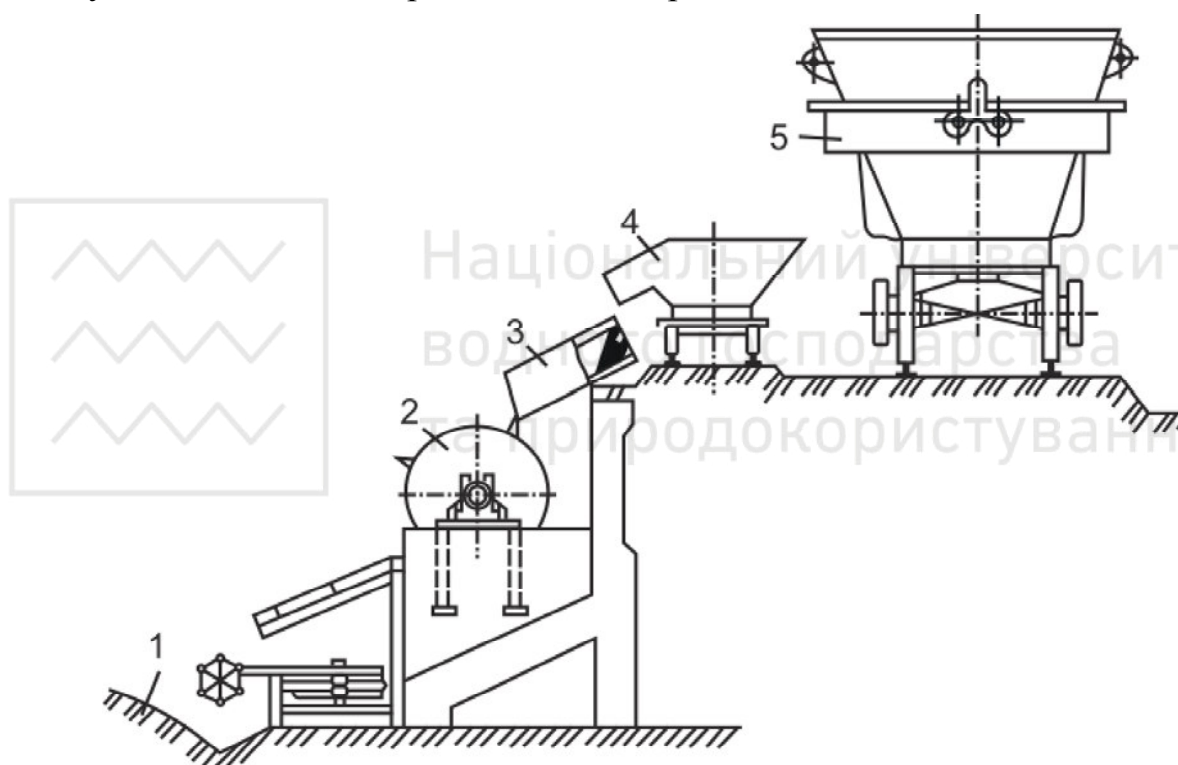
**Легкі пористі шлакові заповнювачі.** Гранульований пористий шлак застосовують в бетонах як дрібний заповнювач. Міцність при стиску пористих відвальних шлаків – 2,5...40 МПа; середня густина шлаку у куску становить 400...1600 кг/м<sup>3</sup>, що дає змогу забезпечити невисоку насипну густину гранульованого шлаку та використовувати його для виробництва легких бетонів. За зерновим складом він відповідає крупному природному піску. Приблизно 50% його маси – це зерна крупністю більше 2,5 мм. Насипна густина гранульованого шлаку залежить від властивостей шлакового розплаву і технології грануляції та становить 600...1200 кг/м<sup>3</sup>. Гранули, що утворюються при швидкому охолодженні шлакового розплаву водою або пароповітряною сумішшю, характеризуються високим вмістом скловидної фази та підвищеною пористістю.

Згідно з ДСТУ Б В.2.7-17-95 "Гравій, щебінь і пісок штучні пористі" пісок з доменного шлаку повинен мати марки за насипною густиною від 700 до 1000.





Гранульований шлак є ефективним заповнювачем для звичайних та дрібнозернистих бетонів, може бути використаний як добавка, що коригує крупність при збагаченні природних дрібних пісків. Пористі різновиди гранульованого шлаку також можна застосовувати як заповнювачі для легких бетонів. У зв'язку з поризацією гранул при охолодженні гранульовані шлаки використовують як легкий дрібний заповнювач при виробництві бетонів та шлакоблоків, а також як теплоізоляційний матеріал при влаштуванні покривель. Як вказувалося вище, грануляція шлаку відбувається під час миттєвого охолодження шлакового розплаву водою, паром або повітрям. Основними способами грануляції шлаків є мокрий, напівсухий та сухий. Причому найбільш ефективним способом грануляції можна вважати напівсухий, схема якого представлена на рис. 2.15.



**Рис. 2.15.** Схема напівсухого способу грануляції доменного шлаку:

- 1 – гранульований шлак; 2 – обертовий барабан; 3 – жолоб;
- 4 – приймальний бункер; 5 – шлаковозний ківш

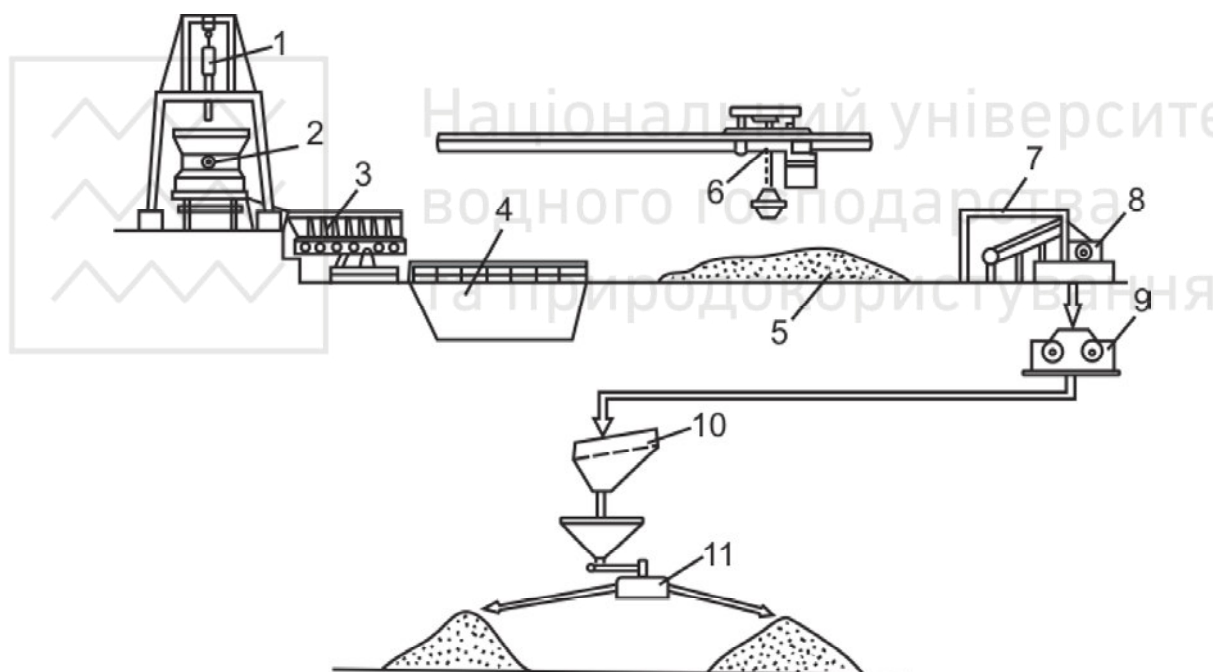
*Шлакова пемза* – це штучний пористий заповнювач ніздрюватої структури, який одержують поризацією розплавів шлаків металургійного виробництва шляхом швидкого охолодження водою, повітрям або паром. Ефективність цього виду заповнювача пояснюється тим, що для отримання шлакової пемзи використовують готовий розплав, який має температуру близько  $1300^{\circ}\text{C}$ , а поризація його можлива за допомогою достатньо простих способів. Температура розплаву повинна бути не нижчою  $1250^{\circ}\text{C}$ , його в'язкість не повинна перевищувати  $5 \text{ Па}\cdot\text{с}$ . У вигляді вихідної сировини

використовують переважно доменні шлаки, причому не відвальні, а ті, що зливаються з доменних печей у вогнянорідкому стані.

Існує декілька способів виробництва шлакової пемзи, але всі вони базуються на спучуванні шлакового розплаву водою. Промислове виробництво шлакової пемзи здійснюють чотирма способами: басейновим, бризкально-траншейним, гідрокранним та вододуттьовим.

При басейновому способі одночасно оброблюється великий об'єм розплаву, при цьому в басейні проходить процес виробництва шлакової пемзи: спучування, кристалізація і формування пористої структури. Ця особливість способу поризації у сполученні з можливістю широкого регулювання процесом спучування, зміною технологічних параметрів дає змогу одержувати шлакову пемзу практично з будь-яких шлакових розплавів.

Басейновий спосіб виробництва шлакової пемзи (рис.2.16) передбачає виконання таких етапів. Шлаковий розплав виливають шлаковозним ковшем до перекидного басейну для спучування.



**Рис. 2.16.** Технологічна схема виробництва шлакової пемзи в перекидному басейні:

- 1 – машина для вдування порошкових добавок; 2 – шлаковозний ківш;
- 3 – басейн, що перевертається; 4 – приямок; 5 – проміжний склад;
- 6 – грейферний кран; 7 – приймальний пристрій дробильно-сортувального відділення; 8 – перший ступінь подрібнення; 9 – другий ступінь подрібнення; 10 – грохот; 11 – сепаратор для розподілу щебеню

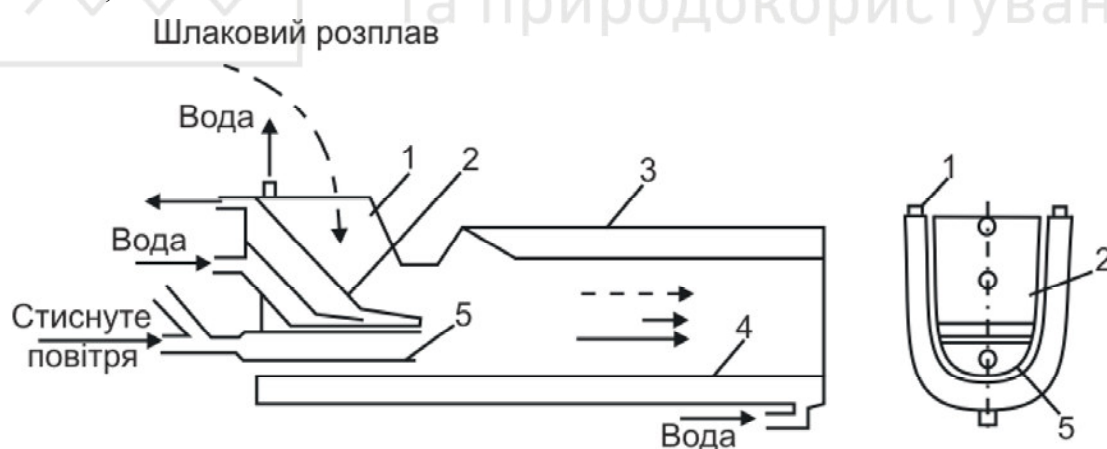
Перекидний басейн складається з металевої чаші з перфорованим дном з такою місткістю, що дає змогу відразу прийняти весь розплав із шлаковозного ковша (до 16,5 м<sup>3</sup>). Перекидання басейну відбувається за допомогою спеціальної гідравлічної системи. Знизу крізь отвори до басейну



подається вода, на її фонтануючі струмені виливають шлаковий розплав. Розплав спучується і твердне, застигаючи у вигляді брил, після цього відвантажуються, піддається подрібненню та розсіванню за фракціями. Об'єм одержаної шлакової пемзи – до  $25 \text{ м}^3$ . Режим поризації розплаву можна регулювати з урахуванням зміни його складу.

*Бризкально-траншейний спосіб* є найбільш простим. Розплав під час зливу до траншеї пронизується водяними струменями з евольвентних сопел, що встановлені групами. Після закінчення зливу одержаний шар спученого шлаку витримують протягом 1,5 годин, поливають великою кількістю води, а потім зливають наступний шар шлаку. Після заповнення траншеї поризована маса розроблюється екскаватором, подрібнюється і розсівається за стандартними фракціями. Наведений спосіб не можна вважати перспективним внаслідок низької якості отриманого продукту: шлакова пемза неоднорідна за структурою, розмір пор коливається в інтервалі  $0,1 \dots 8 \text{ мм}$ , насипна густина – від 700 до  $900 \text{ кг/м}^3$ , міцність при стискуванні у циліндрі –  $2 \dots 3,5 \text{ МПа}$ .

*Вододуттьовий спосіб* передбачає поризацію розплаву за допомогою спеціальної конструкції струминних апаратів, що складаються з приймальної камери, робочого сопла, направляючого лотка і камери змішування (рис.2.17).



**Рис. 2.17.** Схема струминного вододуттьового апарата:

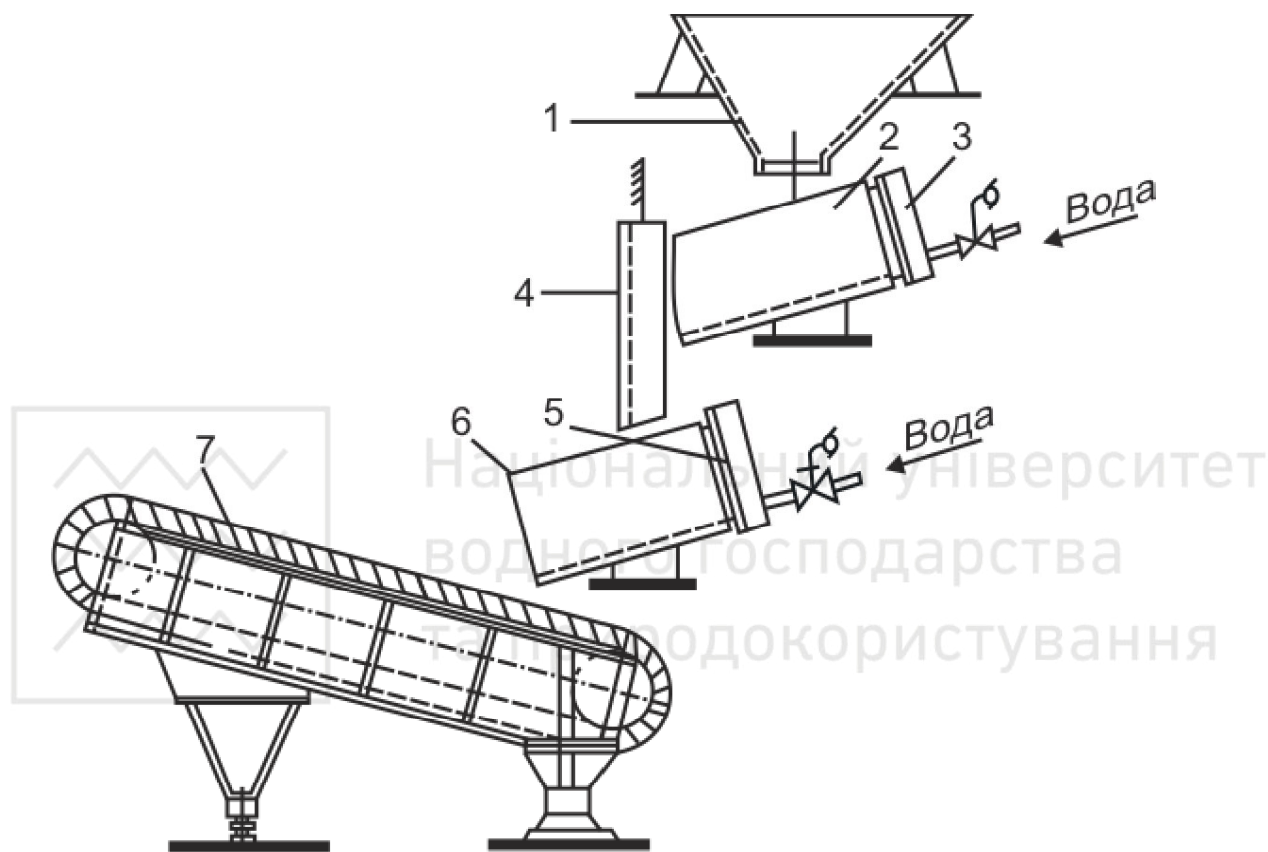
1 – стінка приймальної камери; 2 – направляючий лоток; 3 – водяна сорочка; 4 – камера змішування; 5 – робоче сегментне сопло

Шлаковий розплав за допомогою жолоба попадає на лоток і розбивається на окремі краплі сильним струменем стиснутого повітря з розпиленою в ньому водою, потім рідкі гранули розплаву інтенсивно змішуються з водоповітряною сумішшю в камері змішування, спучуються і відкидаються на екран, звідки подаються в приймальні пристрої, де відбувається їх агрегація у крупні брили. Пемза, одержана таким способом, має однорідну дрібнопористу структуру з розміром пор до  $1 \text{ мм}$ .



Гідроекранний спосіб передбачає багаторазову дію на шлаковий розплав струменів води у відкритих жолобах, обладнаних екранами. При цьому регулюються процеси виділення газів із шлаку, швидкість кристалізації і зміна в'язкості розплаву.

Гідроекранний пристрій може мати два або три ступені обробки (рис.2.18).



**Рис. 2.18.** Схема гідроекранного пристрою:

1 – приймальний бункер; 2 – перший жолоб; 3 – перша гідромоніторна насадка; 4 – екран; 5 – друга гідромоніторна насадка; 6 – другий жолоб; 7 – перевантажувач

В результаті дії води та перемішування в об'ємі шлаку газові бульбашки більшого діаметра руйнуються, а в'язкість розплаву набуває значень, при яких фіксуються бульбашки газів діаметром до 1 мм, що позитивно впливає на властивості отриманого матеріалу. При отриманні пемзи гідроекранним способом ківш з вогнянорідким доменним шлаком подають у приймальне відділення та встановлюють проти гідроекранного апарата. Кірку на поверхні розплаву руйнують копром. При нахилі ковша шлаковий розплав зливають у приймальний бункер гідроекранного апарата, звідки розплав подається у перший жолоб апарата під вплив струменів води, що виходять із сопел зі швидкістю 20...35 м/с (тиск води 1 МПа). Сопла розташовані паралельно внутрішній поверхні дна жолоба. Розплав при змішуванні з водою частково



охладжується і відкидається на перший екран. В цей час відбувається інтенсивне газовиділення і утворення пор у розплаві. Потім розплав, що підлягає поризації, стікає з першого екрана на другий жолоб, де таким же чином його вдруге оброблюють струменями води, охолоджують і відкидають на другий екран, на якому відбувається подрібнення крупних пор, що залишилися, і подальше підвищення в'язкості матеріалу.

З другого екрана маса шлакового розплаву, що поризується, надходить на лоток накопичувача, що перевертається, звідти окремими брилами, які застигають, подається на жолобчасту стрічку конвеєра-перевантажувача, яка безперервно рухається. На перевантажувачі маса продовжує охолоджуватися і твердіти. Брили пемзи при температурі 100...110°C перевантажувачами подаються на проміжний склад, який має кранову естакаду з мостовим грейферним краном.

Зі складу пемзу у вигляді брил та дрібняку завантажують у приймальні бункери дробильно-сортувального комплексу. Пемзу подрібнюють у дві стадії: перша відбувається у шоківій дробарці, друга – у конусній. Подрібнений продукт розсіюють на вібраційних грохотах на три фракції: 0...5, 5...10 та 10...20 мм. Фракціоновану шлакову пемзу стрічковими конвеєрами подають на склад готової продукції.

Одержана таким способом шлакова пемза, має однорідну дрібнопористу структуру з розміром пор до 1 мм; її насипна густина становить 600...700 кг/м<sup>3</sup>, міцність при стискуванні в циліндрі – 0,8...1,5 МПа.

Гідроекранний, басейновий та вододуттєвий способи дають змогу отримувати шлакову пемзу однакової якості у вигляді пористого щебеню і піску. Шлакопемзовий щебінь має зерна гострокутної форми з відкритими порами, відрізняється великою міжзерною пористістю.

Найбільш перспективною можна вважати технологію одержання шлакової пемзи у вигляді гравію із закритими порами. Для спучування і диспергації розплаву використовують вдосконалений вододуттєвий апарат (водоповітряний гранулятор), в якому контакт з водою і спучування розплаву починається у приймальному жолобі.





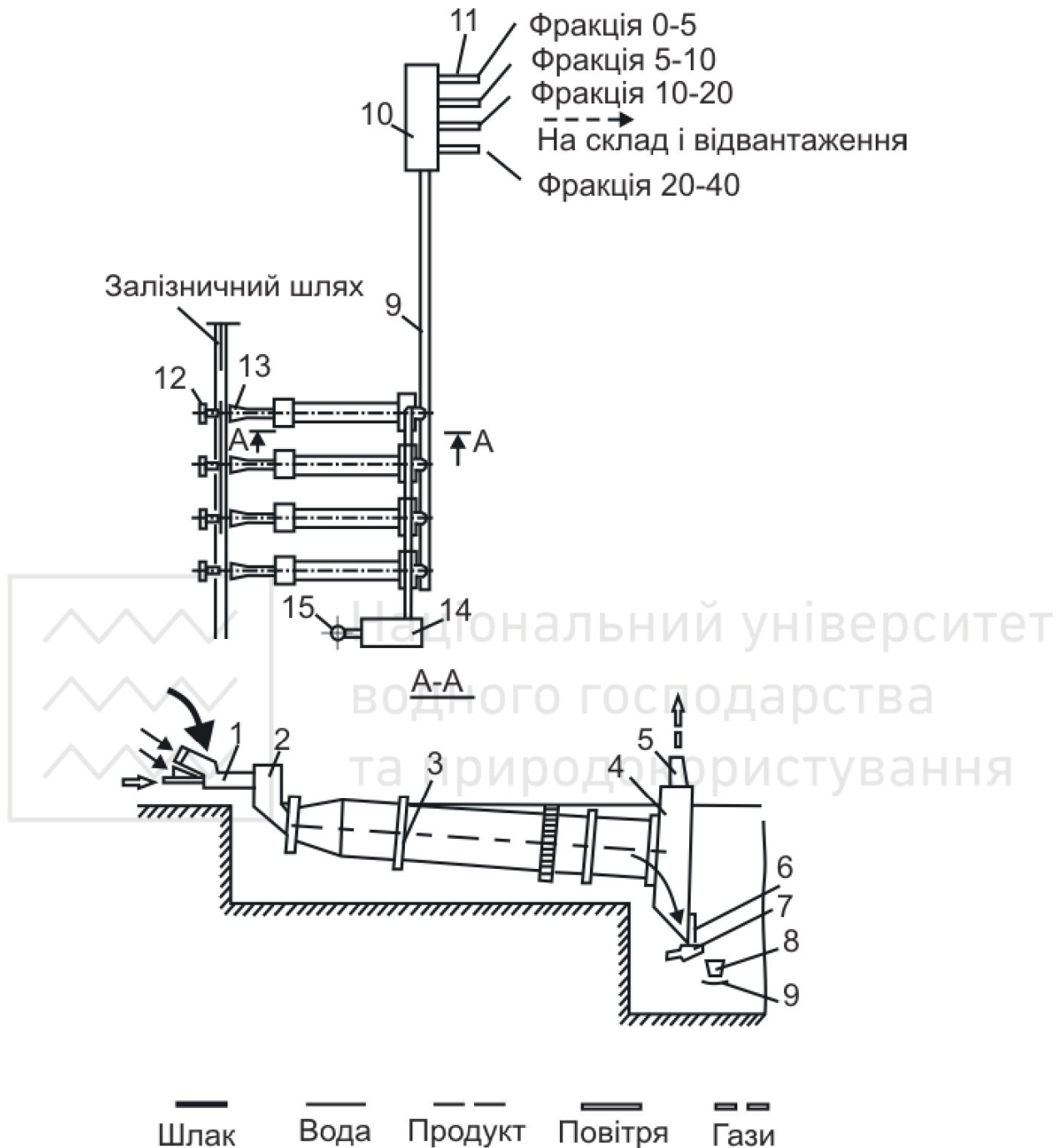
Технологія одержання *гравієподібної шлакової пемзи* передбачає такі етапи (рис. 2.19): дисперговані частинки розплаву з повітряного гранулятора направляють на екран, де спучена піропластична маса розплаву з'єднується в крупні куски, а потім ще у рухомому стані оброблюється у барабанному холодильнику. В обертовому барабані з повздовжніми лопатями відбувається додаткове спучування, руйнування брил на окремі зерна і їх обкатування, що надає їм гравієподібної форми. Вихід фракції 0...5 мм приблизно 30%, фракції 5...20 мм – не менше 50% і фракції 20...40 мм – близько 20%.

Показники якості такої шлакової пемзи можуть бути у 2...3 рази вище, ніж у шлакової пемзи, що виготовляється промисловістю (переважно D600...700). Вдосконалення технології отримання шлакової пемзи може відбуватися шляхом застосування автоматизації для додержання заданого співвідношення “шлак – вода”, керуванням режимом охолодження маси, що підлягає поризації, її розсівом (перед подрібненням), сепарацією готового продукту за насипною густиною; обкаткою шлакової пемзи у барабанах, використанням спеціальних добавок, що сприяють регулюванню властивостей пемзи в заданому напрямку.

Загальними властивостями, що визначають якість шлакової пемзи, є насипна густина, міцність та теплопровідність, а також морозостійкість. Вони визначаються складним комплексом факторів, найважливішими з яких є характер пористої структури, ступінь закристалізованості, мінералогічний склад.

Розміри пор шлакової пемзи залежно від способу її одержання коливаються від 0,04 до 4,5 мм, товщина стінок пор від 0,01 до 1,6 мм. Пористість матеріалу становить 52...78%, а водопоглинання – 10...53%. Насипна густина залежить від характеру пористості структури і міжзернової пустотності, що визначається формою та розміром зерен шлакової пемзи. Пустотність фракціонованого щебеню не повинна перевищувати 52%, середнє значення коефіцієнта форми зерен повинно становити не більше 2,5.

Шлакову пемзу виробляють у вигляді щебеню трьох фракцій: 5...10, 10...20 та 20...40 мм і піску (рядового з зернами крупністю менше 5 мм, дрібного – менше 1,25 і крупного – 1,25...5 мм). Згідно з ДСТУ Б В.2.7-17-95 за насипною густиною щебінь із шлакової пемзи розподіляють за марками від 300 до 800, пісок – від 700 до 1000. Марки щебеню за міцністю залежно від марок за насипною густиною – від П15 до П50, що відповідають міцності при стискуванні у циліндрі від 0,5 до 1,5 МПа. Маркам за насипною густиною 900 та 1000 відповідають марки за міцністю П75 та П100 відповідно, тобто міцність змінюється від 1,5 до 2,5 МПа. Коефіцієнт форми зерен – не більше 2; об'єм міжзернових пустот – не більше 50%. Марку щебеню із шлакової пемзи за морозостійкістю визначають кількістю циклів поперемінного заморожування та відтавання, при чому втрати маси не повинні перевищувати 8%. Морозостійкість щебеню повинна становити не менше 15 циклів.



**Рис. 2.19.** Технологічна схема установки для виробництва гравієподібної шлакової пемзи:

1 – водоповітряний гранулятор; 2 – приймальна камера; 3 – барабанний холодильник; 4 – розвантажувальна камера; 5 – парогазоповітропровід; 6 – затвор; 7 – віброживильник; 8 – короб; 9 – конвеєр нефракціонованого продукту; 10 – грохот; 11 – конвеєр фракціонованого продукту; 12 – пристрій для пробивання кірки; 13 – приймальна ванна; 14 – газоочищення; 15 – витяжна труба

Пісок щепенеподібної форми з шлакової пемзи повинен мати марки за насипною густиною від 700 до 1000.



На основі шлакової пемзи виготовляють легкі бетони двох різновидів: конструкційно-теплоізоляційний, який має середню густину 1300...1600 кг/м<sup>3</sup> при міцності 5...7,5 МПа та конструкційний з середньою густиною 1500...1800 кг/м<sup>3</sup> та міцністю 10...20 МПа. Внаслідок меншої теплопровідності можливе використання шлакової пемзи для одержання бетону підвищеної міцності без погіршення його теплозахисних властивостей у порівнянні, наприклад, з керамзитобетоном: шлакопемзобетон середньою густиною 1400 кг/м<sup>3</sup> характеризується такою ж теплопровідністю, як керамзитобетон густиною 1200 кг/м<sup>3</sup>.

Шлакова пемза марок 750...900 може використовуватися при одержанні високоміцних бетонів для несучих конструкцій. Але необхідно мати на увазі можливість виникнення корозії сталеві арматури в шлакопемзобетоні внаслідок вмісту у складі шлаку сірки. При виготовленні попередньонапружених конструкцій, особливо з дротяною арматурою, стійкість останньої повинна бути перевірена спеціальними дослідженнями.

**Шлакові наповнювачі.** Тонкомелені шлаки, які мають високу гідравлічну активність, тобто здатність хімічно зв'язувати Ca(OH)<sub>2</sub>, вже при нормальній температурі є ефективними наповнювачами (мікронаповнювачами) у цементних бетонах.

Численними дослідженнями показано, що крім наповнювачів, якими є негідратовані частинки клінкеру, до складу цементів і бетонних сумішей можуть бути введені тонкомолоті, практично нерозчинні у воді неорганічні речовини, що складаються із частинок розміром менш 150 мк. Маючи високу питому поверхню, наповнювачі, не тільки приймають участь у формуванні гідратних новоутворень, але й впливають на фізико-хімічні процеси, що відбуваються на поверхні розділу фаз. При введенні наповнювача в систему "цемент-вода" швидкість твердіння і міцність зростають доти, поки всі зерна наповнювача залишаються оточеними продуктами гідратації. При надлишку високодисперсного наповнювача може виникати підвищена кількість новоутворень, що призводить до розвитку напружень в мікроструктурі матеріалу, сприяє утворенню тріщин та підвищує анізотропність структури штучного каменю.

Зі сталеплавильних шлаків одержують високоякісний *мінеральний порошок*, що є важливим структуроутворюючим компонентом (наповнювачем) асфальтобетону. На частку мінерального порошку доводиться 90...95 % сумарної поверхні мінеральних зерен, що входять до складу асфальтобетону. Основне його призначення - це перетворення бітуму в плівковий стан, а також заповнення пор між великими частинками, у результаті чого підвищуються густина і міцність асфальтобетону. Мінеральному порошку зі сталеплавильних шлаків властива більш розвинена поверхня, ніж порошку з карбонатних матеріалів і, як наслідок, більш високе набухання його в суміші з бітумом. Мінеральний порошок підвищує міцність асфальтобетону, але разом з тим збільшує його крихкість, тому його вміст у



суміші повинен бути мінімальним, достатнім лише для надання асфальтобетону потрібної густини та міцності. Підвищення масової частки мінерального порошку в суміші понад необхідний мінімум, знижує тріщиностійкість покриттів та їх стійкість до зсуву.

## 2.4. БЕТОНИ НА ОСНОВІ МЕТАЛУРГІЙНИХ ШЛАКІВ

У будівництві знайшли застосування різноманітні види бетонів на основі в'язучих речовин та заповнювачів, отриманих з використанням металургійних шлаків. Вартість виробів з шлакових бетонів на 20...30 % менше, ніж традиційних.

За видом в'язучої речовини, що містить шлак, розрізняють бетони на основі цементу з добавкою доменного гранульованого шлаку, шлакопортландцементу та композиційного цементу. Існують також бетони на основі сульфатношлакових та шлаколуужних цементів.

Залежно від виду шлакових заповнювачів виготовляють бетони з різною середньою густиною: *особливо важкі* ( $\rho > 2500$  кг/м<sup>3</sup>) з використанням деяких шлаків сталеплавильного виробництва і кольорової металургії; *важкі* ( $\rho = 2200 \dots 2500$  кг/м<sup>3</sup>) на основі литого і відвального шлакового щебеню, піску і гранульованого шлаку; *полегшені* ( $\rho = 2000 \dots 2200$  кг/м<sup>3</sup>) на основі нещільних заповнювачів, таких як поризований відвальний шлаковий щебін та шлакова пемза; *легкі* ( $\rho = 500 \dots 2000$  кг/м<sup>3</sup>) на основі добре спученої шлакової пемзи та гранульованого шлаку. Поряд із крупнозернистим використовують дрібнозернисті шлакові бетони, де заповнювачем є гранульовані шлаки.

Залежно від структури розрізняють звичайні щільні, крупнопористі і ніздрюваті шлакові бетони. Останні є особливо ефективними.

За призначенням шлакові бетони поділяють на: конструкційні (загального призначення); конструкційно-теплоізоляційні, що застосовують при зведенні огорожуючих конструкцій; гідротехнічні; дорожні; теплоізоляційні; кислото- і жаростійкі.

За умовами твердіння шлакові бетони можуть поділятися на бетони, що твердіють при звичайних умовах, в умовах тепловологої обробки та автоклавування. Використання двох останніх видів обробки значно поліпшує властивості бетонів.

При використанні звичайного портландцементу або портландцементу з добавкою шлаку та заповнювачів, частина яких може замінитися шлаком, можна одержати важкі бетони майже всіх класів за міцністю при стиску – від В3,5 до В50. При цьому міцність для пропарених бетонів досягає 10...30 МПа, а для бетонів автоклавного твердіння - 30...60 МПа. Заміна у складі важких бетонів крупного заповнювача із щільних гірських порід шлаковим щебенем, отриманим подрібненням щільних металургійних шлаків, практично не знижує, а іноді трохи підвищує міцність бетону за рахунок їх більш розвиненої і активної поверхні.



Використання шлакового щебеню при отриманні бетонів сприяє підвищенню їх міцності при розтягу і згині порівняно з бетоном на основі гранітного заповнювача.

Застосування шлакового піску замість звичайного кварцового підвищує водопотребу бетонної суміші, у результаті чого відбувається певна перевитрата цементу. Ефективність застосування шлакового піску як дрібного заповнювача бетону зростає при введенні пластифікуючих добавок або в суміші з іншими заповнювачем (кварцовим піском, гранітними відсівками та ін.).

*Використання як в'язучої речовини шлакопортландцементу* дозволяє отримати важкий гідротехнічний бетон для конструкцій підводних зон, який характеризується класами за міцністю при стиску В7,5...В40, морозостійкістю від 50 циклів і вище і марками за водонепроникністю W2...W20. Такий бетон є стійким до дії м'яких і сульфатних вод, особливо при використанні сульфатостійкого шлакопортландцементу (з обмеженням вмісту в складі клінкеру  $C_3A$  до 8%, а в складі шлаку  $Al_2O_3$  до 8%). Наведені види бетонів не можна застосовувати в зоні змінного рівня води, а також підчас проведення будівельних робіт при дії низьких температур без штучного обігрівання.

Внаслідок низького тепловиділення і підвищеної жаростійкості бетон на основі шлакопортландцементу можна застосовувати для масивних споруд (в тому числі гідротехнічних) та конструкцій гарячих цехів. У випадку отримання жаростійкого бетону на основі шлакопортландцементу використовують спеціальні види заповнювачів, в тому числі шлакові.

Жаростійкі бетони на основі шлакопортландцементу не можна застосовувати для конструкцій, що експлуатуються у кислотному середовищі, наприклад у димових трубах, де утворюється сірчаний ангідрид.

Морозостійкість важких бетонів з використанням шлакомістких в'язучих нижча, ніж звичайних цементних, і становить 50...100 циклів. Підвищення морозостійкості досягається як загальними для всіх бетонів технологічними прийомами (наприклад, зниженням В/Ц, пом'якшенням режиму теплової обробки, введенням повітровтягувальних добавок), так і застосуванням замість пропарювання автоклавної обробки.

Деформативні властивості шлакомістких бетонів і зчеплення їх з арматурою такі самі, як і у цементних бетонів на щільних заповнювачах, що дозволяє виготовляти з них різноманітні несучі залізобетонні конструкції для промислового і цивільного будівництва.

З використанням шлакопортландцементу та дрібного заповнювача (щільного та пористого) у вигляді гранульованого шлаку виготовляють дрібнозернистий шлакобетон міцністю 30...100 МПа із середньою густиною 1800...2300 кг/м<sup>3</sup>.





Застосування гранульованих шлаків як дрібного заповнювача передбачає їхнє попереднє подрібнення. Оптимальний зерновий склад шлаків для дрібнозернистих шлакових бетонів визначається за формулою:

$$J = 100\sqrt{d_x / (D - 5) + 3(n - 1)}, \quad (2.5)$$

де  $J$  — кількість шлаку, %, що пройшла через сито з діаметром отвору  $x$ ;  $d_x$  — найбільший розмір зерен, що відповідає діаметру отворів  $x$ , мм;  $D$  — максимальна крупність зерен, мм,  $D=10$ ;  $n$  — відношення шлакового заповнювача до цементу,  $n=2\dots6$ .

На основі шлакомістких в'язучих та легких заповнювачів виготовляють легкі бетони із середньою густиною  $1200\dots1600 \text{ кг/м}^3$  і міцністю при стиску  $5\dots25 \text{ МПа}$ . Легкими заповнювачами для шлакових бетонів є шлакова пемза з насипною густиною  $\rho_o=500\dots800 \text{ кг/м}^3$ , гранульовані доменні шлаки ( $\rho_o=700\dots1000$ ), доменні поризовані відвальні шлаки ( $\rho_o=800\dots1000$ ). Наявність в складі шлакової пемзи і гранульованого доменного шлаку склофази обумовлює зменшення теплопровідності шлакових бетонів порівняно з аналогами на основі легких заповнювачів, що мають переважно кристалічну структуру. Легкі бетони у вигляді стінових вібропресованих шлакоблоків на основі звичайних і шлакомістких цементів та дрібного заповнювача, що містить гранульований шлак, характеризуються класами за міцністю від В3,5 до В12,5, морозостійкістю  $25\dots50$  циклів, та середньою густиною  $1500\dots1700 \text{ кг/м}^3$ . Як заповнювач використовують крупний пісок часто у вигляді гранітного відсіву із зернами максимальної крупності 5 мм та гранульований шлаковий пісок, співвідношення між якими становить приблизно 1:1.

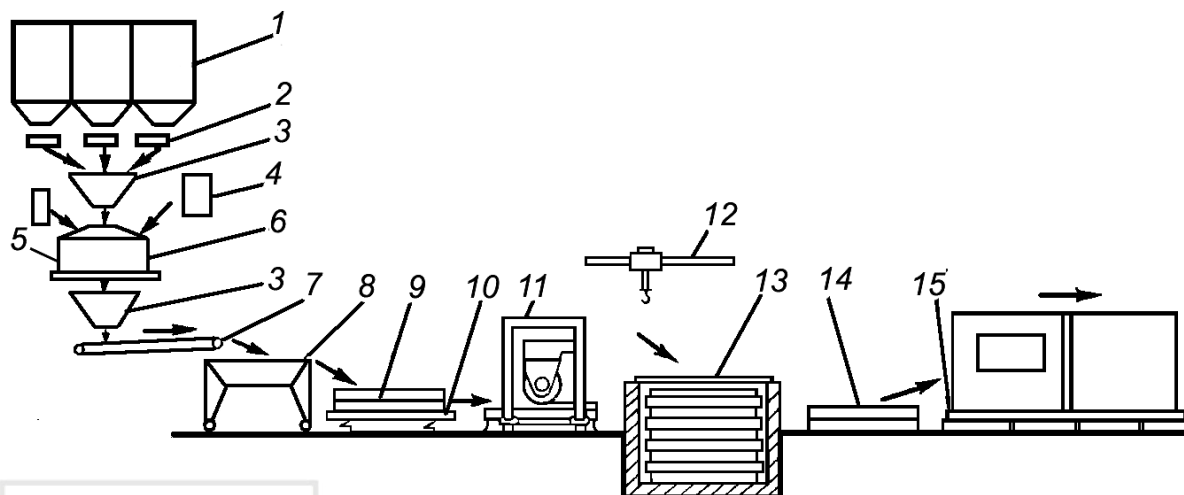
Легкі бетони на основі шлакової пемзи відрізняються порівняно високою міцністю на осьовий розтяг і, подібно бетонам на природних заповнювачах вулканічного походження, мають підвищений модуль пружності. Порівняно з іншими видами легких бетонів *шлакопемзобетон* має вищу тріщиностійкість. Особливості структури шлакової пемзи, як заповнювача сприяють отриманню бетону підвищеної морозостійкості. Це пов'язано з швидким поглинанням шлакопемзовим заповнювачем води замішування і зниженням водопотреби бетонної суміші, а також утворенням цементного каменю з низькою капілярною пористістю. Підвищенню морозостійкості шлакопемзобетона сприяють також деформативність заповнювача, що гасить значну частину виникаючих внутрішніх напружень, і міцна контактна зона шлакопемзових щебенів з розчиною частиною. Це обумовлює можливість одержання конструкційного шлакопемзобетону морозостійкістю до 600 циклів..

Щільний і поризований шлакобетони застосовують при виробництві стінових панелей (рис.2.20), а також інших огорожувальних і несучих конструкцій.

Шлакопортландцемент ефективно застосовувати для виробництва ніздрюватих бетонів. Причому гранульовані та відвальні шлаки, подрібнені



до питомої поверхні 150...350 м<sup>2</sup>/кг, можуть застосовуватись не тільки як компонент в'язучої речовини, але й як активний наповнювач ніздрюватого бетону поряд з іншими тонкодисперсними кремнеземистими матеріалами.



**Рис. 2.20.** Схема виробництва стінових панелей із пористого шлакопемзобетону:

1 - бункери для сировини; 2 - вагові дозатори; 3 - приймальна воронка; 4 - бак для води; 5 - змішувач для приготування водноалюмінієвої суспензії; 6 - бетонозмішувач; 7 - стрічковий конвеєр; 8 - бетоноукладач; 9 - форма; 10 - віброплощадка; 11 - заглажуючий пристрій; 12 - мостовий кран; 13 - пропарювальна камера; 14 - пост розпалублення; 15 - конвеєр оздоблення панелей

Бетони на основі *сульфатно-шлакових цементів*, в тому числі гіпсошлакового і шлакового безклінкерного, також характеризуються підвищеною стійкістю у м'яких і сульфатних водах, застосовуються вони аналогічно бетону на основі шлакопортландцементу.

Дрібнозернисті бетони на основі безклінкерних шлакових в'язучих та заповнювача у вигляді гранульованого шлаку характеризуються наступними властивостями: порівняно високою міцністю на осьовий розтяг (0,09...0,12 R<sub>ст</sub>) та згин (0,15...0,3R<sub>ст</sub>); більшою деформативністю, ніж у звичайних важких бетонів.

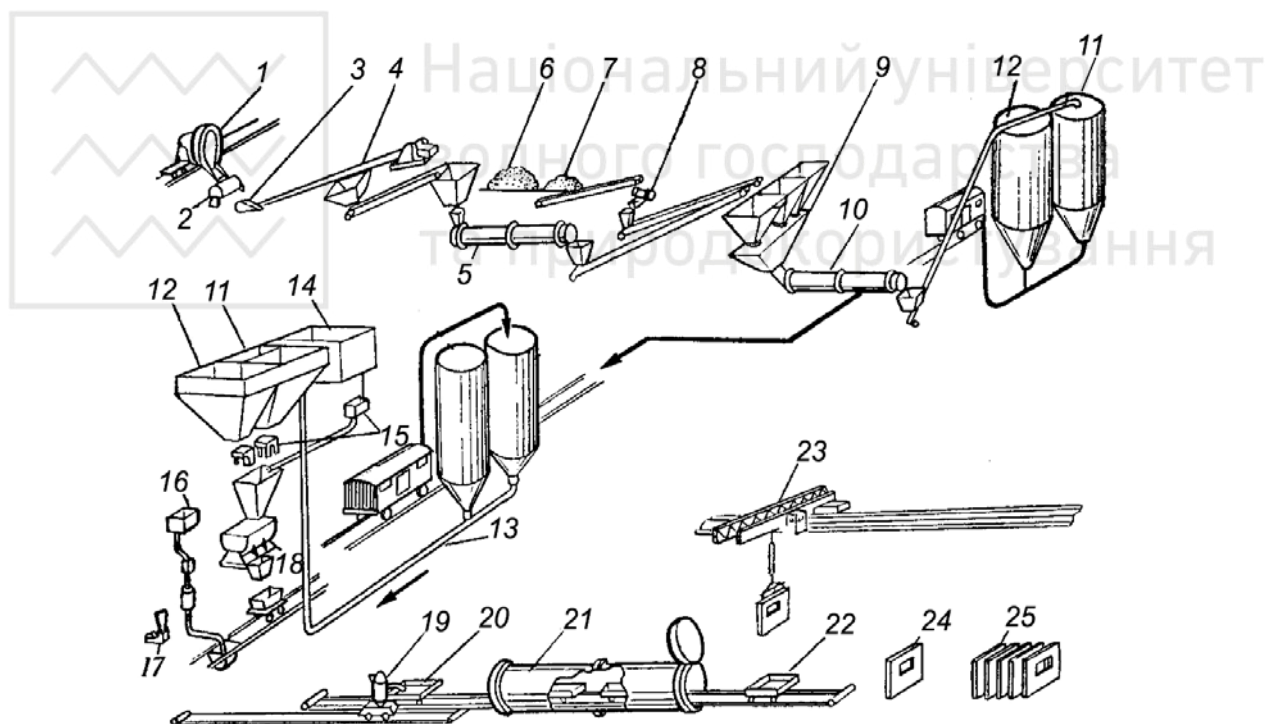
Міцність при стиску дрібнозернистих бетонів на безклінкерних шлакових в'язучих становить 10...40 МПа і вище. Міцність бетонів зростає при збільшенні ступеня подрібнення в'язучих речовин, а також при використанні інтенсивних способів ущільнення суміші, наприклад пресування, вібрування з привантаженням тощо. Застосування крупних шлакових пісків, які мають високорозвинену активну поверхню, забезпечує міцне зчеплення частинок заповнювача із цементним каменем і обумовлює зростання міцності бетонів на 40...60 % порівняно з аналогом, отриманим на основі звичайного дрібного піску.



Особливостями легких шлакових бетонів на основі безклінкерних шлакових в'язучих є більша деформативність і менш міцне зчеплення з арматурою, ніж у бетонів на основі портландцементу.

Для виробництва ніздрюватих бетонів зазвичай застосовують вапняно-шлакові в'язучі речовини з використанням гранульованих доменних шлаків. Відвальні шлаки застосовують, якщо величина їхнього модуля основності становить не менше 0,6, а модуля активності (що визначається відношенням  $Al_2O_3$  до  $SiO_2$ ) — не менше 0,4. Вапняно-шлаковий цемент характеризується початком тужавлення не пізніше ніж 2 год після замішування, його питома поверхня повинна становити не менш  $400 \text{ м}^2/\text{кг}$ , вміст активного  $CaO$  повинен становити не менше 10 %.

Міцність ніздрюватих бетонів на шлакових матеріалах змінюється залежно від середньої густини. Так, теплоізоляційний газозолошлакобетон ( $\rho_0=400\text{...}500 \text{ кг/м}^3$ ) характеризується міцністю при стиску  $0,6\text{...}2 \text{ МПа}$ , а конструкційно-теплоізоляційний ( $\rho_0=600\text{...}1200$ ) —  $3\text{...}12,5 \text{ МПа}$ . Схема виготовлення автоклавного газозлошлакобетону наведено на рис 2.21.



**Рис. 2.21.** Схема виробництва стінових панелей із автоклавного газозлошлакобетону:

- 1 - шлаковізний ківш; 2 - грануляційний барабан; 3 - скреперна установка;
- 4 - бункер із решітками; 5 - сушильний барабан; 6 - вапно; 7 - гіпс;
- 8 - дробарка для вапна й гіпсу; 9- тарілчасті живильники; 10 - млин;
- 11 - бункер для вапняно-шлакового порошку; 12 - бункер для золи;
- 13 - пневмотрубопровод; 14 - бак для води; 15 - дозатори; 16 - бак для ПАР;
- 17 - ваги для алюмінієвої пудри; 18 - розчинозмішувач; 19 - змішувач-роздавач;
- 20 - вагонетка з формою; 21 - автоклав; 22 - місце розпалубки виробів;
- 23 - мостовий кран; 24 - ділянка обробки виробів; 25 - склад готової продукції



Тріщиностійкість і несуча здатність конструкцій із ніздрюватих бетонів залежать від величини деформацій усадки. Усадка автоклавних ніздрюватих бетонів на основі шлакових матеріалів становить 0,45...0,7 мм/м, безавтоклавних - 2 мм/м і більше. Для зниження деформацій в ніздрюватобетонні суміші вводять структуроутворюючі компоненти у вигляді крупних заповнювачів таких як шлакова пемза, доменні гранульовані шлаки тощо. Наприклад, заміна 20...25 % об'єму кремнеземистого компонента крупним пористим заповнювачем зменшує деформації усадки ніздрюватих бетонів на 50...70 %.

Ніздрюваті бетони оптимальних складів характеризуються відносно високою морозостійкістю (100...150 циклів), що майже не поступається морозостійкості бетонів на основі портландцементу. Ці бетони відрізняються порівняно високими значеннями сорбційної вологості, паро- і повітропроникності, які в 5...10 разів перевищують аналогічні показники для важкого бетону. Це обумовлює необхідність застосування захисних покриттів в огороджувальних конструкціях. Автоклавні ніздрюваті бетони не захищають сталеву арматуру від корозії, тому виникає необхідність вживання спеціальних заходів щодо її захисту в конструкціях, зокрема захисними покриттями.

*Бетони на основі шлаколузких в'язучих* одержують на основі тонкомеленого шлаку, активованого сполуками лужних металів (NaOH, KOH, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O·mSiO<sub>2</sub>·nH<sub>2</sub>O). Як заповнювач використовують подрібнені гірські породи та відходи промисловості. Орієнтовний склад шлаколузких важких бетонів становить, %: мелені гранульовані шлаки- 15...30; лужний компонент - 0,5...1,5; заповнювачі - 70...85.

Тверднення таких бетонів пов'язано з утворенням поряд з гідросилкатами кальцію нерозчинних лужних гідроалюмосилкатів - аналогів природних цеолітів, що сприяють ущільненню і підвищенню міцності матеріалу. Внаслідок цього поряд з традиційними заповнювачами для важких бетонів в складі шлаколузких бетонів можуть бути використані дисперсні природні матеріали, в тому числі з глинистими і пилюватими частинками, а також попутні продукти різних галузей промисловості. Із природних матеріалів можна використовувати місцеві ґрунти і пухкі гірські породи (дрібні піски, супіски, леси, гравійно-піщані і глино-гравійні суміші), які внаслідок високої дисперсності недопустимо застосовувати для виготовлення звичайних цементних бетонів. Вміст глинистих частинок може досягати 5% мас, а пилюватих - 20%, не можна застосовувати заповнювачі, що містять зерна гіпсу й ангідриту.

Для виготовлення важких і легких шлаколузких бетонів із промислових відходів можна застосовувати різні шлаки, золи і золошлакові суміші, горілі породи, відходи каменеподрібнення і каменепиляння, у тому числі вапнякові, дисперсні органічні відходи рослинного походження і ін.





Важкі шлаколузні бетони характеризуються класами за міцністю при стиску В10...В110, морозостійкістю F200...F1000, водонепроникністю – W4...W30. Міцність на розтяг становить 1/10...1/15, а міцність при згині – 1/6...1/10 міцності при стиску. Коефіцієнт розм'якшення шлаколузних бетонів становить 0,9...1,0, а іноді перевищує 1,0. Стираність шлаколузних бетонів дорівнює 0,2...1,2 г/см<sup>2</sup>, що відповідає показникам стираності гірських порід типу гранітів і щільних піщаників.

Для виробів зі шлаколузних бетонів характерна підвищена корозійна стійкість за рахунок відсутності в продуктах твердіння високоосновних гідроалюмінатів кальцію, що викликають сульфатну корозію цементів, а також вільного вапна, вилуговування якого приводить до руйнування цементного каменю в м'яких водах. Внаслідок цього за стійкістю в середовищі з низькою гідрокарбонатною жорсткістю, мінералізованих сульфатних і магнезіальних водах шлаколузні бетони переважають бетони не тільки на портландцементі, але і на сульфатостійкому цементі. Крім того, вони є стійкими проти дії бензину і інших нафтопродуктів, концентрованого аміаку, розчинів цукру і слабких розчинів органічних кислот; є біостійкими.

Достатня щільність шлаколузних бетонів і лужне середовище забезпечують високий ступінь збереження сталевий арматури. Стабільний водневий показник середовища (рН=12) і міцне зчеплення бетону з арматурою дозволяють виготовляти армовані конструкції зі шлаколузного бетону, у тому числі й попередньо напружені.

Дрібнозернисті шлаколузні бетони отримують при використанні дрібних пісків та ґрунтів у вигляді супісків та легких суглинків, а також золошлакових сумішей, відсівів від подрібнення гірських порід. Пилуваті та глинисті частинки, що містяться в таких заповнювачах, активно взаємодіють зі сполуками лужних металів, сприяючи ущільненню структури бетону. Мінімальна витрата шлаку становить 400 кг/м<sup>3</sup>, в той час як для важкого бетону – 300 кг/м<sup>3</sup>.

Міцність при стиску дрібнозернистих бетонів становить 60...120 МПа; морозостійкість F500...F800; водонепроникність – W6...W12; початковий модуль пружності – (3,5...4,2)·10<sup>4</sup> МПа, деформація усадки – (34...38)·10<sup>-5</sup> мм/м.

Шлаколузні бетони використовують не тільки для загальнобудівельних робіт, але й як спеціальні бетони – високоміцні, швидкотверднучі, гідротехнічні, жаростійкі, кислотостійкі тощо. Особливо вони ефективні в умовах зведення будівель при від'ємних температурах, а також в умовах жаркого клімату, коли замість звичайної тепловологої обробки можна застосовувати геліотехнологію.

Таким чином, шлаколузні бетони можуть бути використані як конструкційні матеріали в промисловому і цивільному будівництві, а з врахуванням їхніх спеціальних властивостей - і в різних галузях будівництва (гідротехнічному, водогосподарчому, дорожньому, сільському,





транспортному). Варто підкреслити, що розширення обсягу виробництва шлаколуужних бетонів, які виготовляють повністю з відходів промисловості, має велике природоохоронне значення.

**Жаростійкі бетони.** Шлакові матеріали широко використовують у виробництві жаростійких бетонів у складі в'язучих речовин, заповнювачів, тонкомелених добавок і отверджувачів. В'язучі речовини на основі металургійних шлаків характеризуються більшою жаростійкістю ніж портландцементні, що обумовлено відносно низьким вмістом гідрооксиду кальцію у складі штучного шлакомісткого цементного каменю. На основі шлакопортландцементу можна отримати жаростійкі бетони з температурою експлуатації до 1200 °С.

У випадку використання портландцементу до складу бетону вводять тонкомелену добавку, що містить активний кремнезем, здатний при температурі 800... 1000°С вступати у взаємодію з СаО. У ролі таких добавок поряд із шамотом, золю-винесення та іншими кремнеземистими матеріалами при максимальній температурі служби бетону 700°С застосовують тонкомелені доменні шлаки.

Як заповнювачі жаростійких бетонів доцільно використовувати гранульовані та відвальні металургійні шлаки, а також шлакову пемзу. На основі вказаних заповнювачів з використанням як в'язучої речовини портландцементу або шлакопортландцементу можна отримати жаростійкі бетони з температурою експлуатації 700...800°С. При підвищенні температури міцність бетону зменшується внаслідок розм'якшення склоподібної фази, що міститься у складі шлакових заповнювачів.

Основним критерієм придатності доменних шлаків для використання в жаростійких бетонах є модуль основності, що повинен бути не більше 1.

Якість жаростійких бетонів характеризується наступними основними характеристиками: міцністю при стиску (контрольною та залишковою); термічною стійкістю; максимально допустимою температурою застосування; вогневою усадкою, середньою густиною (для легких бетонів). Контрольна міцність при стиску важких шлакових бетонів досягає 30 МПа, знижуючись при 700...800°С у 2...2,5 рази. Жаростійкі бетони на шлакових заповнювачах мають порівняно низьку термічну стійкість, що обумовлено підвищеним коефіцієнтом термічного розширення шлаків. Шлакові бетони витримують у середньому близько 7-ми теплзмін при водному охолодженні і 20 повітряних теплзмін після нагрівання зразків до 800 °С. Більш високою термічною стійкістю відрізняються дрібнозернисті шлакові бетони на основі шлакопортландцементу. При статичних навантаженнях при 0,2МПа під дією високих температур у жаростійкому бетоні виникають деформації. Гранична температура використання таких бетонів визначається температурою, при якій спостерігається усадка зразків на 4 %. Поліпшеною жаростійкістю характеризуються бетони на основі безклінкерних шлакових в'язучих речовин.



Деякі різновиди шлаків (ферохромові і марганцеві) застосовують як отверджувачі при виготовленні жаростійкого бетону на основі рідинного скла.

Одержання жаростійких бетонів з температурою застосування до  $1000^{\circ}\text{C}$  є можливим при застосуванні доменних шлаків з підвищеним ступенем кристалізації. Як тонкомелену добавку застосовують феромолібденовий шлак.

Жаростійкі бетони з температурою використання  $800\text{...}1700^{\circ}\text{C}$  можна отримати при використанні в'язучих речовин і заповнювачів, що містять шлаки сталеплавильного і феросплавного виробництва.

Легкі жаростійкі бетони густиною  $1440\text{...}1600\text{ кг/м}^3$  з максимальною температурою експлуатації  $800\text{...}1000^{\circ}\text{C}$  можна отримати при застосуванні глиноземистого цементу і заповнювача у вигляді шлакової пемзи.

Деякі шлаки після подрібнення і введення добавок можна використовувати як в'язучі речовин для жаростійких бетонів. Наприклад, для приготування в'язучих використовують мартенівські шлаки з добавкою 5% двоводного гіпсу, що піддають сумісному подрібненню до питомої поверхні  $300\text{...}350\text{ м}^2/\text{кг}$ . Отримані гідравлічні в'язучі речовини характеризуються марками 100..150, та температурою використання  $600^{\circ}\text{C}$ , а із введенням як добавки тонкомеленого шамоту - до  $1200^{\circ}\text{C}$ . За певних умов можливе одержання штучних сталеплавильних шлаків, які за складом подібні до глиноземистого цементу і характеризуються міцністю при стиску через добу твердіння 20...60 МПа. В гідратованому стані вони зберігають 60...80% вихідної міцності при температурі  $1000^{\circ}\text{C}$ , при підвищенні температури до  $1200^{\circ}\text{C}$  і вище внаслідок часткового спікання їхня міцність зростає.

На основі рідинного скла з добавками техногенної сировини, що містить силікати або алюмінати кальцію, в тому числі сталеплавильних шлаків та шлаків алюмінотермічного виробництва, розроблені лужні жаростійкі бетони з температурою застосування до  $1600^{\circ}\text{C}$  і стійкістю до дії різних середовищ. Ці бетони відрізняються також високою термостійкістю, водостійкістю, швидким набором міцності, стабільністю міцнісних характеристик і добрими експлуатаційними властивостями. Розроблені склади жаростійких бетонів знайшли використання як футерувальні матеріали для теплових агрегатів із різними умовами і режимами роботи, в тому числі в агрегатах зі змінними температурними режимами, наприклад, у грубих пиловловлювачах мідеплавильного виробництва з трикратною зміною температури за добу від  $200$  до  $800^{\circ}\text{C}$ , з досить високим терміном придатності матеріалу (експлуатація без ремонту протягом 15 років), для футерування вагонеток тунельних печей, причому термостійкість бетону у 2 рази перевищує термостійкість вогнетривкої шамотної цегли.

**Застосування в бетонах металургійного пилу й горілої землі.** На всіх етапах металургійного виробництва утворюється значна кількість тонкодисперсного пилу, який підлягає уловленню і утилізації з метою



вилучення з нього металів, а також підтримки необхідного рівня захисту навколишнього середовища. Зазвичай застосовують системи сухого та мокрого пиловловлення, внаслідок чого в наступні процеси переробки надходить сухий пил або шлам.

На цей час у виробництві металів використовується більша частина колошникового пилу, шламів фабрик грудкування, агломераційних фабрик і частина пилу і шламів систем газоочищення доменних і сталеплавильних цехів. Більша частина шламів газоочищення з високим вмістом заліза (до 50...60%), а також цинку й свинцю, надходить у шламонакопичувачі і не переробляється. Використання шламів ускладнено внаслідок нестабільності їх хімічного і гранулометричного складів і високої вологості, що при будь-якому способі утилізації викликає необхідність їх сушки.

Крім оксидів заліза, цинку і свинцю пил і шлами містять оксиди марганцю, магнію, кальцію, а деякі також і оксиди хрому, нікелю, кадмію та інших металів. Вказані домішки можна відокремити від оксиду заліза для наступного використання. Це доцільно здійснювати у випадку, коли вміст таких металів порівняно великий і процеси їхнього виділення не супроводжуються значними витратами.

Разом з тим, хімічний склад і висока дисперсність металургійного пилу та шламів обумовлює перспективність їхнього використання як сировинних матеріалів і, особливо, як коригувальних і модифікуючих добавок у виробництві в'язучих речовин, кераміки та інших будівельних матеріалів.

Особливе місце займають пил і шлами феросплавного виробництва. Гази феросплавних печей очищають, як правило, в установках мокрого типу. Для печей відкритого типу застосовують сухе очищення із тканинними фільтрами і циклонами. При середньому вмісті пилу в пічних газах, що відходять, 3...4 г/м<sup>3</sup> викиди його становлять близько 20 т/добу від однієї печі.

Сухий пил феросплавних печей представляє значний практичний інтерес як активна кремнеземиста добавка для цементних бетонів. Цей продукт складається в основному з аморфного кремнезему (85...95 % SiO<sub>2</sub>) у вигляді частинок діаметром близько 0,1 мкм та менше. Завдяки значній дисперсності (15000...20000 см<sup>2</sup>/г) пил феросплавних печей має високу реакційну здатність. При використанні такої добавки для запобігання підвищення водопотреби бетонних сумішей вводять добавки-суперпластифікатори. Зазвичай при рекомендованій кількості добавки мікрокремнезему 10...15% від маси цементу разом з використанням суперпластифікатору підвищення міцності бетонів становить 30...60%, а економія цементу складає 100 кг/м<sup>3</sup> та більше. При використанні відходу виробництва феросплавів у кількості 10...20% від маси цементу міцність бетонів при стиску із рухомих бетонних сумішей з добавкою суперпластифікатора збільшується в 1,5...2 рази при незмінному водоцементному відношенні і може досягати у віці 28 діб до 100...150 МПа при помірних витратах цементу рядових марок.



Для виготовлення піщаних ливарних форм при отриманні виробів використовують формувальні і стрижневі суміші. Залежно від виду металу, товщини і маси стінок виливок до складу формувальних сумішей входять у певній пропорції неорганічні матеріали (кварцовий пісок, вогнетривка глина тощо) і органічні матеріали (тирса, кам'яновугільний пил та ін.). Регенерацію *горілої землі*, що утворилася після відливки виробів здійснюють шляхом видалення пилу, дрібних фракцій і глини, що під впливом високої температури при заповненні форми металом втратила зв'язуючу здатність. Існують два основних способи регенерації горілої землі: мокрий і сухий.

При регенерації землі мокрим способом формувальні і стрижневі суміші надходять до системи послідовних відстійників із проточною водою. Пісок осідає на дні басейну, а дрібні фракції виносяться проточною водою. Потім пісок просушують і знову використовують у виробництві. Мокра регенерація застосовується, як правило, разом з гідравлічним очищенням литих виробів.

Сухий спосіб регенерації складається із двох операцій: відокремлення в'язучих речовин від зерен піску і видалення пилу й дрібних часток, що досягається продуванням повітря в закритому барабані з наступним відсмоктуванням повітря з пилом.

Регенерація формувальних сумішей дозволяє одержати якісний пісок, який можна знову використовувати в ливарному виробництві, а також у виробництві різноманітних будівельних матеріалів.

## 2.5. МАТЕРІАЛИ З ШЛАКОВИХ РОЗПЛАВІВ

До основних напрямків переробки металургійних шлаків поряд з виробництвом в'язучих речовин, заповнювачів і бетонів на їхній основі відноситься одержання матеріалів з шлакових розплавів - шлакової вати, литих матеріалів, скла і шлакоситалів.

**Шлакова вата** — це різновид мінеральної вати, що займає одне з провідних місць серед теплоізоляційних матеріалів. Приблизно 80 % мінеральної вати виробляється з доменних шлаків. Для одержання мінеральної вати поряд з доменними шлаками застосовуються також ваграночні, мартенівські і шлаки кольорової металургії.

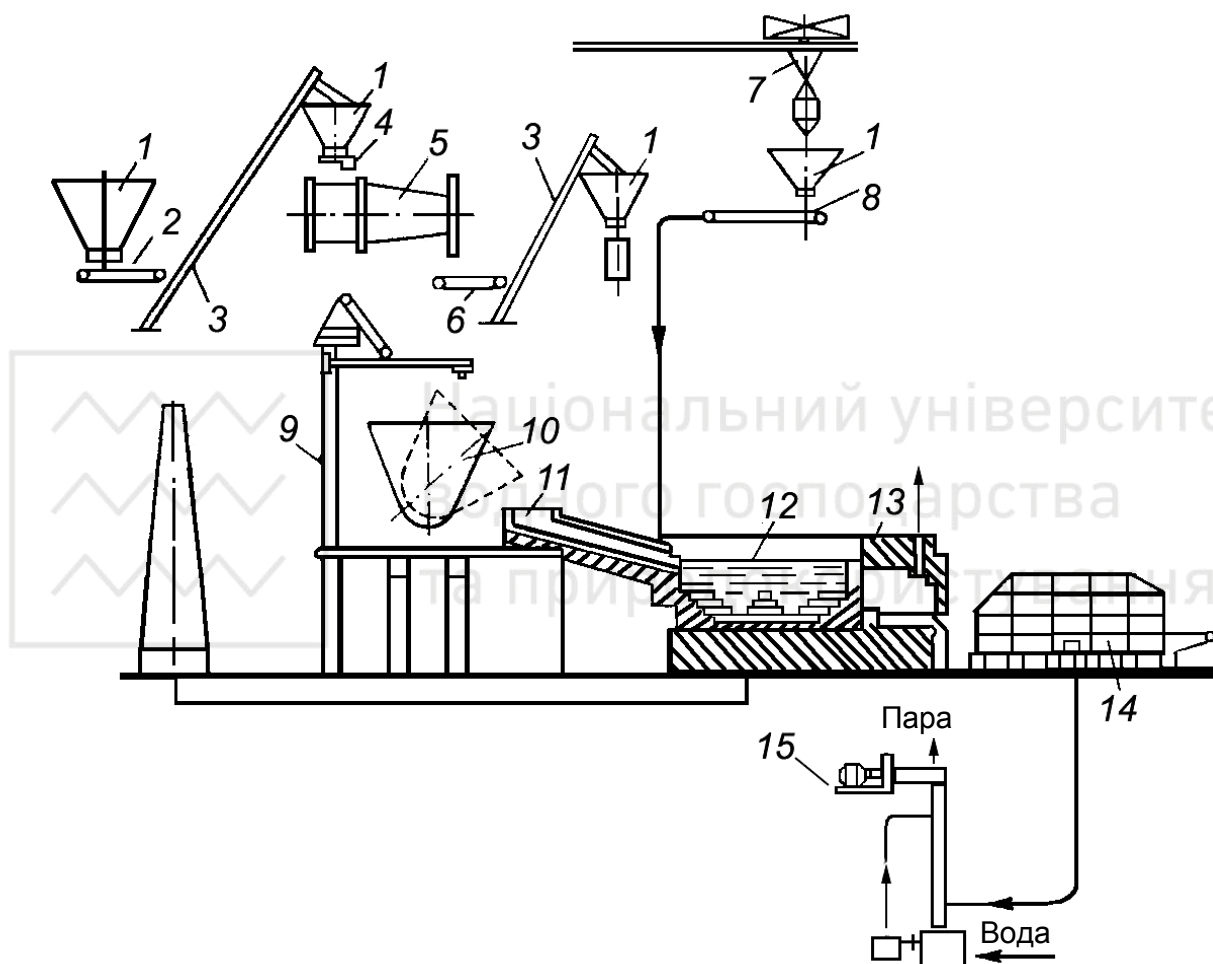
Основним критерієм якості шлаків, як сировини для виробництва мінеральної вати, є значення модуля кислотності  $M_k$  — величини, зворотної модулю основності. Мінеральна вата марки 100 за середньою густиною має  $M_k \geq 1,4$ , а марки 75 —  $M_k \geq 1,5$ .

Необхідне співвідношення кислотних і основних оксидів у шихті забезпечується застосуванням кислих шлаків. Модуль кислотності шлаків коригується введенням у шихту кислих або основних добавок. Як кислі добавки звичайно застосовують бій глиняної або силікатної цегли, золу теплоелектростанцій, різні кремнеземисті гірські породи, а основними є доломіти й вапняки.



Для шлаків, що містять підвищену кількість оксидів заліза і марганцю, додатково якісною характеристикою є коефіцієнт насичення, що представляє собою відношення сумарної кількості оксидів  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$  до сумарної кількості інших оксидів. Цей коефіцієнт повинен становити 1,5...2.

Технологічний процес виробництва шлакової вати (рис.2.22), як і інших різновидів мінеральної вати, складається із двох основних стадій: одержання розплаву і переробки його у волокно. Для одержання шлакових розплавів застосовують переважно ванні печі.



**Рис.2.22.** Схема виробництва мінеральної вати з вогнено-рідких шлаків:

1- бункер для піску; 2- живильник; 3 - похилий шнек; 4- тарілчастий живильник; 5 - сушильний барабан; 6 - конвеєр; 7 - тельфер; 8 - шнек-живильник; 9 - копер для пробивання шлакової кірки; 10- шлаковий ківш; 11 жолоб-ринва для зливу шлаків у піч-шлакоприймач; 12 - піч-шлакоприймач; 13 - піч-живильник; 14 - камера волокноосадження; 15 - димосос із системою очищення повітря від пилу

Найбільш ефективним способом виробництва вати є її одержання безпосередньо з первинних шлакових розплавів доменних печей. Розплавлені шлаки підігріваються у ванних печах до необхідної температури; тут же





коригується склад. Виробництво мінеральної вати з вогненно-рідких шлаків на 30-50 % економніше, ніж з холодних при плавленні у вагранках. Шлаковий розплав перетворюють у мінеральне волокно, впливаючи на нього потоком пари, повітря або газу (дутьовий спосіб) або відцентровою силою (відцентровий спосіб). Дутьовий спосіб одержання шлакової вати замінюється на відцентровий і комбінований способи, що дозволяють одержати довговолокну вату з густиною до  $100 \text{ кг/м}^3$  і мінімальним вмістом неволокнистих включень.

Вату залежно від призначення виготовляють трьох типів для виробництва плит підвищеної жорсткості з гідромаси, плит гарячого пресування, напівсухого пресування марки 200 і інших виробів на синтетичній в'язучій речовині - А; плит марок 50, 75, 125, 175, циліндрів, напівциліндрів, матів, шнурів і волокна - Б; плит на бітумній в'язучій речовині - В. Теплопровідність вати при  $25 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$  становить  $0,045\text{-}0,050 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ , вологість – 1-2 %.

На основі мінеральної вати виготовляють вироби різної форми з використанням у якості в'язучих речовин синтетичних полімерів, бітумів, емульсій і паст. Основними видами виробів є м'які, напівжорсткі і жорсткі плити, циліндри, напівциліндри. Основна маса виробів застосовується для теплової ізоляції огорожуючих конструкцій, трубопроводів, звукоізоляції.

**Шлакове лиття.** Вогненно-рідкі шлаки металургійної промисловості є сировиною для одержання різних литих шлакових матеріалів і виробів (дрібноштучних, великорозмірних, фасонних виробів і труб тощо). Технологія їх виробництва проста і у загальному виді може бути представлена наступною послідовністю промислового обладнання: металургійна піч, завантажувальний ківш, міксер (з підігрівом) для шлакового розплаву, ливарні форми, піч для кристалізації і відпалу виробів, місце для сортування, склад готової продукції. У виробництві литих матеріалів і виробів використовуються кислі доменні або інші будь-які шлаки, не схильні до силікатного розпаду.

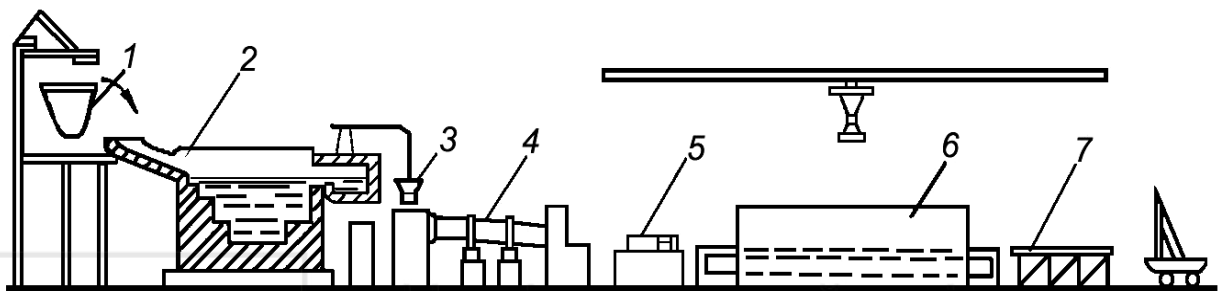
З розплавлених металургійних шлаків відливають різноманітні вироби: камені для мощення доріг і підлог промислових будинків, тубінги, бордюрний камінь, протикорозійні плитки, труби та ін. Литі вироби з шлакового розплаву економічно більш вигідні, чим кам'яне лиття, наближаючись до нього за механічними властивостями. Середня густина литих виробів зі шлаків досягає  $3000 \text{ кг/м}^3$ , міцність при стиску – до 500 МПа.

За зносостійкістю, жаростійкістю та рядом інших властивостей шлакове лиття переважає залізобетон і сталь. Литі вироби зі шлаків ефективніше, ніж сталь у різних футеровках, наприклад бункерів і візків для транспортування абразивних матеріалів (руди, агломерату, щебеню, піску і т.д.). Термін служби їх в 5...6 раз більше терміну служби сталевих футеровок. Не менш ефективна лита брущатка для доріг і підлог промислових будинків. Термін



служби автомобільних доріг зі шлаколітої брущатки між капітальними ремонтами в 2 рази більше, а експлуатація дешевше, ніж асфальтових. Зі шлаків відливають тубінги для водонепроникних кріплень гірських виробіток, жаростійкі блоки з температурою служби до 1100... 1200 °С, хімічно стійкі вироби.

У виробництві литих виробів (рис. 2.23) застосовують розплави звичайно кислих доменних, мартенівських, мідеплавильних, нікелевих і інших шлаків. Вогняно-рідкі шлаки завантажують у спеціальний міксер, де вони підігріваються для дегазації, а потім зливають у ківш і подають на ливарну площадку до підготовлених форм, де відливки і твердіють.



**Рис. 2.23.** Схема виробництва литих труб відцентровим способом:

- 1 - шлаковізний ківш; 2 - ванна піч; 3 - дозатор; 4 - відцентрова машина;  
5 - гідралічний штовхач; 6 - піч відпалу; 7 - стелаж контролю

При охолодженні (фізичний процес) та твердінні і кристалізації (фізико-хімічні процеси) відливок усадка шлаків становить 7 % об'єму, що викликано зміною температури і фазовими перетвореннями. Нерівномірний розподіл температур, коливання хімічного складу шлаків приводять до виникнення напруг які можуть перевищувати міцність лиття на розтяг і приводити до утворення тріщин. Термічні напруги у виробах знімають у спеціальних печах для кристалізації і відпалу.

Для зменшення напружень і ліквідації усадочних явищ у відливках створюють твердий каркас наповнювача з кускових шлаків. При відливці невеликих плоских виробів кількість наповнювача становить 10...25% об'єму, і він в основному розплавляється, акумулюючи тепло. У масивних виробах наповнювач становить до 40...60% об'єму виробу і оплавляється лише частково, знижуючи усадку і покращуючи умови кристалізації шлаків. Великі вироби для зниження внутрішніх напружень армують сталеву арматурою. Оскільки коефіцієнт термічного розширення шлаків менше, ніж сталі, при охолодженні виробів сталева арматура міцно стягує відливку, перешкоджаючи утворенню тріщин. Армвані шлаколіті вироби можна застосовувати замість збірних залізобетонних, вони переважають останні за міцнісними показниками. Однак недоліками цих виробів є деяке зниження



міцності сталі при високій температурі шлакового розплаву, а також порівняно висока трудомісткість виготовлення.

Для одержання пористого шлакового лиття виконують поризацію шлакового розплаву. Із цією метою, наприклад, на дно форми насипають зволожений коксовий дріб'язок або обробляють розплав водою. Із поризованого шлакового розплаву формують вироби різноманітних конфігурацій. Залежно від ступеня поризації середня густина литих виробів коливається в діапазоні 350...1500 кг/м<sup>3</sup> при міцності на стиск 1,5...30 МПа.

**Шлакове скло.** Металургійні шлаки застосовують як основну сировину при одержанні шлакового скла, а також як добавки, що інтенсифікують процеси скловаріння. Відзначено сприятливий вплив добавок на провітлення скломаси завдяки наявності в них тонкодисперсних частинок сульфідів натрію і кальцію, які підсилюють виділення газів. Рекомендується використовувати до 9% добавки шлаків для виробництва листового скла. При цьому технологічні і експлуатаційні властивості скла не погіршуються. Існують технології одержання шлакового скла для виготовлення декоративних плит і склокрихти.

Перспективним матеріалом на основі металургійних шлаків є декоративно-оздоблювальний матеріал *сигран*. Характерною рисою цього матеріалу є включення в його масі полікристалічних агрегатів неправильної форми інших кольорів. За зовнішнім виглядом він нагадує природні оздоблювальні матеріали (граніт, мрамур), відрізняється помаранчево-коричневим забарвленням. Сигран характеризується середньою густиною 2600...2900 кг/м<sup>3</sup>, міцністю при згині 19...28 МПа, стираністю 0,05...0,08 г/см<sup>2</sup>.

На основі шлаків металургійних виробництв виготовляють *авантюринові стекла*, декоративний ефект у яких досягається за рахунок введення оксидів міді, хрому, заліза, свинцю, урану. Для масового виробництва підходять лише хромові авантюринові стекла.

Якісні показники шлакового авантюринового скла наведені нижче:

Фізико-хімічні властивості плит

Густина, г/см <sup>3</sup>	2,794
Термостійкість, °С	110,000
Хімічна стійкість, %:	
у розчині 35% NaOH	83,520
у розчині 96% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	99,860
Максимальний розмір кристалів, мм	1,000

Авантюринове шлакове скло є різновидом *марблиту* – облицювального матеріалу на основі глушених стекол, що виготовляються у вигляді плит



безперервним прокатом. Марбліт можна одержувати різного забарвлення з використанням доменного, мідеплавильного і інших видів шлаків.

**Шлакоситали** — різновид склокристалічних матеріалів, які одержують направленою кристалізацією скла. На відміну від інших ситалів, сировинними матеріалами для них є шлаки чорної і кольорової металургії, а також золи від спалювання кам'яного вугілля. Шлакоситали широко застосовуються в будівництві як конструкційні і оздоблювальні матеріали, що характеризуються високою міцністю (500-650 МПа при стиску, 80-130 МПа при згині при середній густині 2600-2750 кг/м<sup>3</sup>), зносостійкістю (стиранність 0,01 г/см<sup>2</sup>), низьким водопоглинанням, температуростійкістю до 200°C, високою хімічною стійкістю (кислотостійкість більше 99%, лугостійкість 85-96%).

Виробництво шлакоситалів має наступні технологічні стадії: варіння шлакового скла, формування виробів та їхня кристалізація. Шихта для одержання скла складається зі шлаків, піску, луговмістких і інших добавок. Шлакове скло готують у два етапи: 1) сировина попередньо вариться в конвертері, де змішуються рідкі шлаки і інші сировинні компоненти; 2) отримана скломаса освітлюється у ванних печах. Для одержання білого і сірого шлакоситалу до складу скла вводять оксид цинку, блакитних відтінків - оксид хрому, чорного - сульфід заліза і марганцю. Шлакоситали у вигляді прокатних листів, пресованих плит, труб і інших виробів випускають на потокових механізованих лініях. Відформовані вироби надходять у кристалізатор, де піддаються тепловій обробці.

Шлакоситал можна піддавати різним способам механічної обробки: шліфуванню, поліруванню, різанню, свердлінню алмазним або карборундовим інструментом. Цей матеріал можна зміцнити загартуванням на 50...100 %. Шлакоситал - це ефективний матеріал для сходів, підвіконь і інших конструктивних елементів будинків, а також підлог промислових і цивільних будинків. Високі зносо- і хімічна стійкість дозволяють успішно застосовувати шлакоситали для захисту будівельних конструкцій і апаратури в хімічній, гірничій і іншій галузях промисловості. Шлакоситалові плити застосовують для облицювання цоколів і фасадів будинків, внутрішніх стін і перегородок, виконують з них огороження балконів та покрівлі. З шлакоситалу виготовляють труби, високовольтні ізолятори й ін. Поряд із щільним одержують пористий шлакоситал (піношлакоситал), який є гарним теплоізоляційним матеріалом.

## 2.6. МАТЕРІАЛИ НА ОСНОВІ МЕТАЛУРГІЙНИХ ШЛАМІВ

Основними напрямками застосування шламів - побічних продуктів одержання глинозему - є виготовлення безклінкерних в'язучих речовин, матеріалів на їхній основі, виготовлення портландцементу і змішаних



цементів. У промисловості особливо широко використовується нефеліновий (белітовий) та бокситові шлами.

**В'яжучі речовини на основі шламів.** Наявність у шламах мінералів, що мають гідравлічну активність ( $C_2S$ ,  $C_2F$  і ін.) визначає можливість одержання в'яжучих речовин на їхній основі. Технологія приготування включає наступні етапи: сушка шламу, його подрібнення та введення активізаторів твердіння.

Зі шламових в'яжучих речовин найбільш досліджений *нефеліновий цемент*, що є продуктом спільного помелу попередньо подрібнених нефелінового шламу (80...85 %), вапна або портландцементу (15...20 %) і гіпсу (4..7 %). Існують наступні марки цього цементу: М100, М150, М200 і М250.

Нефеліновий цемент характеризується повільним зростанням міцності, низьким тепловиділенням при гідратації і підвищеною стійкістю в агресивних водах.

Галузі застосування нефелінового цементу різноманітні. Він може застосовуватися як гідравлічна в'яжуча речовина поряд з портландцементом у гідротехнічному будівництві; для виготовлення жаростійких бетонів; при закріпленні ґрунтів і тампонуванні свердловин; виробництві ливарних стрижнів і форм; для заміни вапна при виробництві силікатної цегли, ніздрюватих бетонів і ін.

Одним з напрямків використання нефелінових шламів є виготовлення *сульфатно-нефелінових в'яжучих речовин*. Ці в'яжучі речовини одержують при активації нефелінового шламу фосфогіпсом, який після термообробки при температурі  $400^{\circ}C$  перетворюється на гідравлічноактивний фосфоангідрид.

Використання нефелінового шламу у виробництві керамічної облицювальної плитки дозволяє одержати вироби з підвищеною міцністю.

Близькими за складом і областю застосування до нефелінового цементу є в'яжучі речовини на основі бокситового, сульфатного і іншого шламів металургійних виробництв.

**Нефеліновий портландцемент.** Хімічний склад металургійних шламів дозволяє застосовувати їх як сировинні компоненти для виготовлення портландцементного клінкеру, а також як активну мінеральну добавку у виробництві портландцементу і змішаних цементів. Для одержання на основі нефелінового шламу сировинної шихти з хімічним складом, типовим для портландцементу, до маси вводять такі компоненти: близько 41 % шламу, 53 % вапняку, 4,5 % бокситів і 1,5 % піритних недогарків. Сировинну суміш при використанні нефелінового шламу одержують спільним мокрим подрібненням компонентів з наступним коригуванням хімічного складу та випалюванням в обертових печах.





Нефеліновий і інший шлами у висушеному стані можуть використовуватися як активні мінеральні добавки і компоненти змішаних цементів. Для підвищення активності шламів ефективно збільшувати тонину їх помелу до питомої поверхні близько 5000 см<sup>2</sup>/г. Заміна в портландцементі до 15 % клінкера нефеліновим шламом не призводить до істотного зниження міцності, а введення 30...70 % шламу в цемент знижує його марочну міцність на 20...50%. Якщо нефеліновий шлам використовують як активну мінеральну добавку, то в його складі повинно бути не більше 2,5 % лугів, у тому числі водорозчинних - не більше 0,5 %.

Міцність бетонів на змішаних нефелінових цементах у віці 180 діб наближається до міцності бетонів на портландцементі, а в більш пізньому - навіть перевищує її. Змішані нефелінові цемента є низькотермічними і використовуються як в'язучі речовини для зведення масивних бетонних споруд.

**Застосування бокситових (червоних) шламів.** Бокситові шлами, що відрізняються від нефелінового високим вмістом оксидів заліза і алюмінію, доцільно застосовувати як комплексну коригуючу добавку при виробництві портландцементного клінкера.

Використання високозалізного червоного шламу замість піритних недогарків у ряді випадків дозволяє не тільки підвищити вміст трикальцієвого алюмінату, але і оптимізувати значення силікатного модуля клінкера. Клінкери, отримані при використанні як коригуючої добавки червоного шламу, відповідають стандартам за строками тужавлення і рівномірністю зміни об'єму, а також мають більш високу активність (на 6...9 МПа), ніж клінкери, отримані при використанні в якості добавки піритних недогарків.

Існує досвід виробництва глиняної цегли з використанням високозалізного бокситового шламу, а також силікатної цегли з застосуванням як вапняного компонента малозалізного бокситового шламу. Відоме також використання цих шламів при виробництві шлакокам'яного литва, шлакового щебеню, а також місцевих в'язучих речовин.

Висушений бокситовий шлам є ефективним наповнювачем ізоляційних матеріалів, фарб, мастик, плиткових і рулонних матеріалів для покриття підлог тощо.



## 3. МАТЕРІАЛИ ІЗ ВІДХОДІВ ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

### 3.1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВІДХОДІВ

Відходи паливно-енергетичної промисловості утворюються в процесі добування, збагачення та спалювання твердого палива.

Цю групу відходів розділяють за джерелом утворення, видом палива, числом пластичності мінеральної частини відходів, вмістом невипалених частинок, зерновим і хіміко-мінералогічним складом, ступенем плавкості, інтервалом розм'якшення.

**Відходи добування та збагачення вугілля.** До основних видів твердого палива відносять кам'яне та буре вугілля. При добуванні та збагаченні вугілля утворюються побічні продукти у вигляді шахтних та розкривних порід, відходів вуглезбагачення.

*Шахтні відвальні породи* зазвичай представлені метаморфізованими аргілітами, алевролітами, пісковиками, вапняками. Ці породи є достатньо щільними і, як правило, погано розмокають у воді. Їх можна віднести до мало пластичної або непластичної глинистої сировини.

Для використання у виробництві будівельних матеріалів найбільш придатні *відходи вуглезбагачення*, які характеризуються найменшими коливаннями складу та властивостей. Вони представлені зазвичай кусками крупністю 8...80 мм. Мінеральна частина відходів вуглезбагачення за хімічним та мінералогічним складом подібна до глинистої сировини. Ця сировина має ряд відмінних особливостей – значний вміст невиділеного у процесі збагачення вугілля (до 20%), а також наявність такої шкідливої домішки як сірка, що міститься звичайно у вигляді сульфатних та сульфідних сполук.

За основними технологічними властивостями відходи вуглезбагачення відносять до групи малопластичної сировини. Вони представлені поліфракційною сумішшю гірських порід, які містять аргіліти, алевроліти, кварц, карбонати та ін. Глиниста речовина в таких відходах представлена каолінітом та гідрослюдами. Вміст глинистих мінералів у відходах вуглезбагачення складає за об'ємом в середньому від 66 до 81%.

Відходи вуглезбагачення залежно від вмісту вуглецю (мас. %) поділяють на три групи : 1 – менше 3; 2 – від 3 до 10; 3 – вище 10.

Відповідно до типових схем технологічного процесу збагачення, вугілля після подрібнення піддають гідравлічній класифікації за крупністю, після чого збагачують методом гравітації, відокремлюючи концентрат, промисловий продукт та породу. При зневодненні концентрату виділяють шлам із розмірами зерен менше 1мм, який відправляють на флотацію. Після флотаційного збагачення отримують концентрат та відходи флотації (хвости).



Залежно від способу отримання відходів та їх класу за крупністю, вміст вугілля, а відповідно, й хімічний склад та число пластичності змінюється в широких межах. Найбільший вміст вугілля (10...30%) відмічається у відходах флотації. У відходах гравітаційного збагачення (розмір зерен - 1...13 мм) кількість вугілля може досягати 15%, а у відходах з розміром зерен 13...150 мм – 4...7%. Достатньо важливим фактором, що обмежує використання відходів збагачення вугілля, є наявність в їх складі сірки. Наприклад, вміст сірки в породах центрального Донбасу становить 3...4%.

Вологість відходів залежить від способу їх отримання. Природна вологість аргілітів становить 4...5%. Відходи флотації вугілля, які отримують із шламонакопичувачів, характеризуються вологістю 25...30%

Характеристика відходів вуглезбагачення деяких вуглезбагачувальних фабрик України наведена у табл.3.1.

Таблиця 3.1

### Характеристика відходів вуглезбагачення

Фабрика	Зольність, %	Вміст сірки, %	Вміст вуглецю, %	Хімічний склад, %				Питома теплота спалювання, кДж/кг
				Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO+MgO	
Павлоградська	82	1,04	8,7	4,5	18,8	57,3	2,4	4500
	70	0,6	21	2,3	15,5	45,5	2,17	8450
Добропільська	78,9	0,9	14,5	4,6	23,5	46,8	1,6	5040
	70,3	1,4	18,8	4,2	21,8	41,0	2,2	7500
Дзержинська	85,8	1,7	8,7	7,4	22,3	50,0	1,4	4700
	77,6	1,5	14,1	4,5	22,0	42,7	3,5	5470

**Примітка.** В чисельнику наведено дані для відходів гравітації, в знаменнику – флотації.

На відміну від відвальних порід вугільних шахт, відходи вуглезбагачення характеризуються більш високим вмістом вугілля у породі, більш стабільним хімічним складом, меншим вмістом пісковиків і більшим вмістом аргілітів та сірки, меншою міцністю.

Продуктами випалювання супутніх порід, які супроводжують родовища кам'яного вугілля, є *горілі породи*. Різновидами таких порід є *глиєжі* - глинисті та глинисто-піщані породи, які випалені у надрах землі підчас підземних пожеж у вугільних пластах, та відвальні перегорілі шахтні породи. Поклади природних горілих порід широко розповсюджені в різних регіонах. Істинна густина їх складає 2,4...2,7 г/см<sup>3</sup>, середня густина - 1300...2500 кг/м<sup>3</sup>, міцність при стиску – 20...60 МПа. За основними фізичними та хімічними властивостями вони наближаються до глин, які випалені в інтервалі температур 800...1000°C. Хіміко-мінералогічний склад горілих порід є дуже різноманітним, але загальним для них є наявність у складі дегідратованих глинистих мінералів активних глиноземистих,



кремнеземистих та залізистих сполук. На відміну від золи та шлаків, горілі породи майже не містять склоподібних компонентів і характеризуються високою сорбційною здатністю. Вміст невипаленого палива в глієжах досягає 2...3%, у відвальних горілих породах він може збільшуватись.

До горілих порід відносять й *перегорілі пусті шахтні породи*, які містять мінімальну (менше 5%) кількість вугільних домішок і мінеральну глинисто-піщану частину різного ступеня випалювання.

Під дією кисню повітря вугілля та сірка окислюються і самозаймаються, а під впливом високих температур (до 1000 °С) породи піддаються природному випалюванню. Органічні домішки при цьому частково вигорають. Найбільш інтенсивно горять породи в териконах шахт із коксовим або антрацитовим вугіллям. Ступінь випалювання горілих порід залежить від багатьох факторів. Нерівномірне надходження вологи у гарячий шар породи, а також нерівномірна кількість повітря, що стикається з поверхнею породи у териконі та велика кількість дрібних фракцій, що ускладнюють доступ кисню до джерел горіння, призводить до того, що випалювання відбувається вкрай нерівномірно, незважаючи на високу температуру у териконі. В результаті утворюється матеріал різного ступеня випалювання (від спеченого до практично невипаленого) з неоднаковими фізико-механічними властивостями. Неоднорідність матеріалу у териконі – один з його суттєвих недоліків. Розмір частинок коливається в межах від 40 см до часток міліметра. У териконах зустрічаються щільні і пористі різновиди горілих порід.

**Золошлакові відходи ТЕС.** При спалюванні твердих видів палива у топках теплових електростанцій утворюються зола у вигляді пилоподібних залишків, шлак та золошлакові суміші. Вони є продуктами високотемпературної (1200...1700 °С) обробки мінеральної частини палива.

В залежності від температурних умов утворення золи і паливних шлаків є можливим без плавлення, у присутності розплаву і при повному розплавленні вихідних компонентів. У першому випадку золи і шлаки утворюються при спалюванні низькокалорійних видів твердого палива. Одержання з розплаву характерно для гранульованих паливних шлаків. Найбільш характерне одержання паливних зол і шлаків у результаті взаємодії розплаву з твердими фазами.

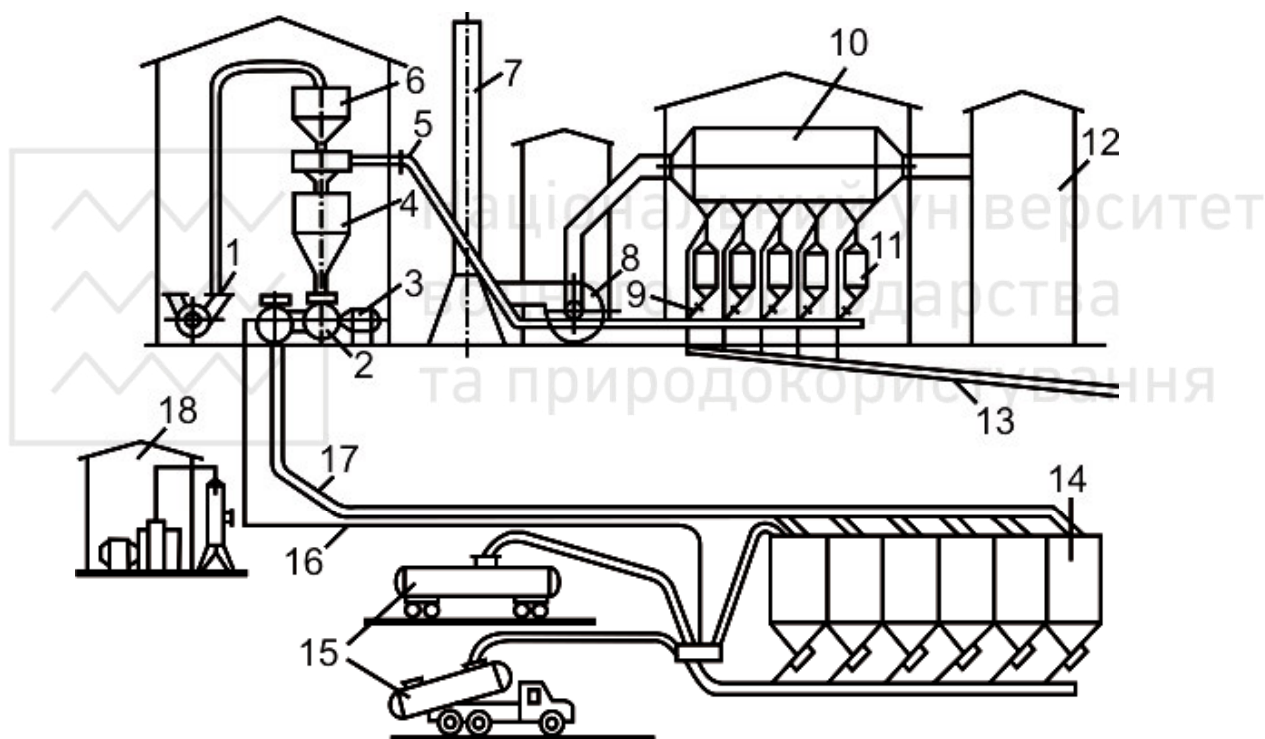
Утворення шлаків і зол перших двох груп відбувається зазвичай у середовищі, що сприяє окислюванню органічних сполук та сульфідів, і присутності сполук заліза в тривалентному стані. Утворення відходів третьої групи відбувається у відновлювальному середовищі, що призводить до збереження сульфідної сірки і зростання вмісту двовалентних сполук заліза.

Зольна частина Донецького і ряду інших басейнів містить не більше 8...10% CaO. Висококальцієву зольну частину із вмістом CaO 15...40% має кам'яне і буре вугілля басейнів Середньої Азії та Сибіру, торф та горючі сланці. В останніх вміст у зольній частині CaO може досягати 60%.



Паливо спалюють у шарі над колосниковими решітками у подрібненому вигляді або при вдуванні у пилоподібному стані. Золи пилоподібного спалювання проходять високотемпературну обробку. Вони мають порівняно однорідний хімічний склад і незначний вміст незгорілих часток палива. Деяка частина золи осідає на трубах котла, підлозі і стінках топки, але основна її маса виноситься з димовими газами, уловлюється і накопичується у бункерах, звідки видаляється потоком води або пневмотранспортом. На більшості діючих ТЕС застосовують систему гідровидалення для транспортування золошлакових сумішей у відвали.

Для використання золи у виробництві будівельних матеріалів переважно застосовується система пневмовидалення (рис.3.1), що дозволяє постачати золу споживачам у сухому стані, з меншим вмістом невипалених частинок і запобігати її змерзанню у відвалах взимку.



**Рис . 3.1.** Схема установки сухого відбору золи:

1 -вакуум-насос; 2 - пневмогвинтовий насос; 3 - електродвигун; 4 - бункер-накопичувач; 5- водопровід вакуумний; 6 - осаджувальна камера; 7- димар; 8 – димосос; 9 - пневматичні засувки; 10 – електрофільтри; 11- золозбірники; 12 - котел ТЕС; 13 - шламопровід на відвал золи та шламу; 14-силосний склад золи; 15 - відвантаження золи на залізничний і автотранспорт; 16-трубопровід стиснутого повітря; 17— водопровід напірний; 18 — компресорна

Найбільш ефективними зололовлювачами є електрофільтри, ККД яких дорівнює 95...97 %.

Зола-винесення це тонкодисперсний матеріал, що складається переважно з частинок розміром 5...100 мкм. Хіміко-мінералогічний склад золи-винесення відповідає складу мінеральної частини палива, що спалюється. Наприклад,





при згорянні кам'яного вугілля зола складається з випаленої глинистої речовини з включенням дисперсних часток кварцового піску, при згорянні сланців — з мергелів з домішками гіпсу та піску. При випалюванні мінеральної частини палива дегідратується глиниста речовина й утворюються низькоосновні алюмінати та силікати кальцію.

Основним компонентом золи-винесення є склоподібна алюмосилікатна фаза, що складає 40...65 % усієї маси і має розмір частинок до 100 мкм. З кристалічних фаз у золах можуть бути присутні  $\alpha$ -кварц і муліт, а при підвищеному вмісті  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  також гематит. Кількісне співвідношення між  $\alpha$ -кварцом і мулітом визначається співвідношенням  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ . Зі збільшенням останнього вміст  $\alpha$ -кварцу у кристалічній фазі зростає, а муліта зменшується. Відповідно дещо зростає активність зол за поглинанням вапна. Золи збагачені оксидами заліза більш легкоплавкі, у них утворюється більше скла.

Залежно від хіміко-мінералогічного складу зола може мати пуцоланові або гідрравлічні властивості.

Пуцоланова активність пов'язана з хімічною взаємодією оксидів кремнію та алюмінію з гідроксидом кальцію, який виділяється при гідролізі клінкерних мінералів, з утворенням гідросилікатів та гідроалюмінатів кальцію. При цьому склоподібна фаза, що міститься в складі золи, сприяє її гідратації, а кристалічна є практично інертною.

Гідравлічна активність золи пов'язана з наявністю у її складі таких сполук як вільне вапно або ангідрит, що здатні до взаємодії з водою та з алюмосилікатним склом з утворенням водостійкого штучного каменю без введення додаткових активізаторів.

Скло у золі можна розглядати як компонент, що містить аморфіти — утворення, подібні за складом і структурою до відповідних кристалічних фаз, але з високою питомою поверхнею і неупорядковані глиноземисто-кремнеземисті прошарки між ними. Здатність склоподібної фази до гідратації і гідролізу пояснюється пухкою субмікроструктурою і відносно високою проникністю аморфітів, що обумовлюється порожнинами між іонними угрупованнями. Активність склоподібної фази визначається співвідношенням глинозему і кремнезему, чим воно більше, тим легше йде процес гідратації зольного скла у лужному і в сульфатно-лужному середовищах. У нейтральному середовищі зольне скло є стійким. На активність кальцієво-алюмосилікатного скла, що міститься у золі, позитивно впливають домішки оксидів магнію, заліза і деяких інших елементів.

Певну активність у золі, поряд зі склоподібною фазою, має дегідратована й аморфізована глиниста речовина. Вона залежить від мінералогічного складу глин, що входять у мінеральну частину палива, і підвищується при тепловій обробці. Із підвищенням у золі вмісту аморфізованої глинистої речовини збільшується її водопотреба.



Якщо мінеральна частина палива містить значну кількість карбонатів, то в золі утворюються низькоосновні силікати і ферити кальцію, що здатні вступати у взаємодію з водою.

У невеликій кількості зола містить наступні домішки: вільні оксиди кальцію і магнію, сульфати, сульфідні й ін.

У золі, зазвичай, є вуглець у вигляді різних модифікацій коксових залишків. Їх вміст залежить від виду палива, що спалюється: для бурого вугілля і горючих сланців він менше 4 %, кам'яного вугілля — 3...12, антрациту — 15...25 %. Вміст невипалених частинок у тонкодисперсних фракціях золи менше, ніж у грубодисперсних.

Хімічний склад золи-винесення коливається в залежності від родовищ вугілля. Середній вміст головних оксидів у золі різних ТЕС, %:  $\text{SiO}_2$  — 37...63;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 9...37;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  — 4...17;  $\text{CaO}$  — 1...32;  $\text{MgO}$  — 0,1...5;  $\text{SO}_3$  — 0,05...2,5;  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$  — 0,5...5. Втрати при прожарюванні, що характеризують вміст у золі невипалених частинок вуглецю, складають 0,5...30 %.

Важливими показниками якості золи є її дисперсність і гранулометричний склад. Дисперсність золи-винесення виражається її питомою поверхнею, що визначається методом повітропроникності, а також значеннями залишків на ситах при просіюванні. Прямої залежності між цими двома показниками немає. Питома поверхня золи-винесення дорівнює 100...400 м<sup>2</sup>/кг. У багатьох випадках вона наближається до питомої поверхні цементу. Зола, що містить більшу кількість залишків невипаленого палива, має більш високі значення питомої поверхні.

Гранулометричний склад золи коливається у широких межах: розміри зерен 1...200 мкм. У золі-винесення вміст фракції більше 85 мкм зазвичай не перевищує 20 %. Близько 50 % частинок золи мають розміри 30...40 мкм. Більш крупна зола утворюється при підвищеному вмісті в мінеральній частині палива оксидів-плавнів  $\text{CaO}$  і  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Дисперсність золи залежить від тонкості подрібнення пилоподібного палива. Також на дисперсність золи суттєво впливає режим спалювання палива. Важливим фактором є тип колектора для збору золи. Найбільш дисперсна зола вловлюється електрофільтрами.

Різні фракції золи мають різну істинну і середню густину, що пояснюється хіміко-мінералогічним складом і формою частинок. Крупні фракції мають підвищений вміст  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Густина частинок зменшується зі зростанням у них вмісту коксових частинок. Середня насипна густина золи дорівнює 600...1000 кг/м<sup>3</sup>, істинна густина — 1,8...2,4 г/см<sup>3</sup>.

Золи поділяють на *висококальцієві* ( $\text{CaO}>20\%$ ) та *низькокальцієві* ( $\text{CaO}<20\%$ ). В перших переважають кристалічні фази, а в других — скло й аморфізована глиниста речовина. Висококальцієві золи, у свою чергу, поділяють на *низькосульфатні* ( $\text{SO}_3<5\%$ ), що одержуються при спалюванні вугілля і торфу, і *сульфатні* ( $\text{SO}_3>5\%$ ) — при спалюванні сланців.



Інтегральною характеристикою хімічного складу золи є модуль основності  $M_o$ , що для основних зол дорівнює  $M_o > 0,9$ ; кислих —  $0,6 \dots 0,9$ ; надкислих —  $M_o < 0,6$ . В основних золах сумарний вміст  $CaO + MgO$  досягає 50%, у надкислих — 12. Останні є більш розповсюдженими.

За величиною питомої поверхні золи поділяють на: тонкодисперсні ( $S > 400 \text{ м}^2/\text{кг}$ ), середньодисперсні (200...400) і грубодисперсні ( $S < 200$ ). При насипній густині менше  $800 \text{ кг/м}^3$  золи вважаються легкими, 800...1000 — середньої густини і більш 1000 — важкими.

Відомі у світі класифікації золи базуються на американському стандарті ASTM C 618. Країни Європи працюють за загальним стандартом EN 450.

Американський стандарт ASTM C 618, як і канадський Can 3-A 23.5-M 86, базується на класифікації золи за джерелом її отримання та за хімічним складом. За цими критеріями золи поділяють на категорії F (отримують при випалюванні антрациту та бітумінізованого вугілля) і C (отримують при випалюванні малобітумінізованого вугілля). За хімічним складом до категорії F відносять золи із вмістом оксидів ( $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$ )  $> 70\%$ , а для золи категорії C сума даних оксидів повинна бути не менше 50%.

Згідно сучасним уявленням при класифікації золи до уваги слід приймати не тільки джерела її отримання і хімічний склад, але й загальний вміст оксиду кальцію. За стандартом EN 450 золи запропоновано ділити на три категорії за вмістом  $CaO$  (низьким, середнім, високим), а також враховувати втрати при прожарюванні, які становлять залежно від типу золи від 6 до 12%.

При класифікації золи також слід акцентувати увагу на вмісті невипалених вуглецевих частинок,  $Fe_2O_3$  та величині співвідношення оксидів  $SiO_2/Al_2O_3$ . Класифікація золи за вищевказаними критеріями наведена у табл.3.2.

Таблиця 3.2

### Класифікація золи за різними критеріями

Тип золи	$SiO_2/Al_2O_3$	$CaO, \%$	$C, \%$	$Fe_2O_3$	Вид використаного палива
алюмосилікатні золи	$>2$	$<4$	$0 \dots 16$	$4 \dots 35$	бітумінізоване вугілля
силіко-алюмінатні золи	$1 \dots 2$	$4 \dots 20$	$<4$	$5 \dots 25$	малобітумінізоване та бітумінізоване вугілля
кальцієві золи	$<2$	$>20$	$<1$	$6 \dots 10$	малобітумінізоване вугілля

Крім головних оксидів, що визначають склад та структуру золи, потрібно враховувати наявність і другорядних оксидів, які можуть мати визначальний вплив на можливі галузі застосування відходів при їх утилізації під час виготовлення різноманітних будівельних матеріалів. Наприклад, при використанні золи як компонента портландцементних в'язучих систем, потрібно враховувати вміст у її складі лужних оксидів ( $R_2O < 1,5\%$ ), оскільки при наявності реакційноздатного заповнювача можливе виникнення



внутрішньої лужної корозії бетону, що призведе до розширення та руйнування бетону .

*Шлаки* — основний вид відходів при спалюванні палива у вигляді кусків. При пилоподібному спалюванні шлаки складають 10...25 % від маси утвореної золи. Шлаки утворюються в результаті спікання окремих частинок на колосникових решітках при температурі понад 1000 °С або при охолодженні розплавленої мінеральної частини палива при температурі більше 1300<sup>0</sup>С.

У зв'язку з інтенсифікацією процесів спалювання твердого палива і переходом до використання у тепловій енергетиці багатозольних видів вугілля та сланців перспективним є застосування топок з рідким шлаковидаленням. Продуктами рідкого шлаковидалення з топок є *паливні гранульовані шлаки*, утворені в результаті швидкого охолодження водою мінерального розплаву. Рідке шлаковидалення забезпечується підігрівом повітря до температури близько 700 °С або зниженням температури плавлення мінеральної частини палива при додаванні до неї флюсу.

На відміну від зол, шлаки, що утворені при більш високих температурах, практично не містять невипалене паливо і характеризуються більшою однорідністю.

Шлак видаляють гідравлічним або сухим способом. При гідравлічному способі, що має на даний час більше поширення, золи і шлаки змішуються.

Гранульовані шлаки - це механічна суміш зерен розмірами 0,14...20 мм. Хімічний склад шлаків, як і зол, може змінюватися в широкому діапазоні — від надкислих ( $M_o < 0,6$ ) до основних ( $M_o > 1$ ). Більшість паливних шлаків характеризуються значною кількістю (20 % і більше) оксидів заліза, що містяться переважно у закисній формі. Вміст склоподібної фази дорівнює 85...98 %, а в основних шлаках може бути значно меншим. У кристалічній фазі можлива наявність муліту, геленіту, псевдоволластоніту, двокальцієвого силікату й інших мінералів.

У залежності від вмісту невипалених частинок вуглецю золи та шлаки ТЕС поділяють на 6 категорій, %: 1 — до 5; 2 — 6...10; 3 — 11...15; 4 — 16...20; 5 — 21...25; 6 — більше 25.

**Золошлакова суміш** – механічна суміш золи та шлаку, співвідношення між якими залежить від виду палива та технології його спалювання. В топках з твердим шлаковидаленням вміст золи в золошлакових сумішах складає 10...20%, в топках з рідким шлаковидаленням – 20...40%, а в циклонних топках – 85...90%.

Хімічний склад золошлакових відходів України дозволяє віднести їх до типу кислих та надкислих, в їхньому складі переважає аморфізована глиниста речовина з незначними включеннями кварцового компонента. Вміст золи в продуктах випалювання антрацитового кам'яного та бурого вугілля знаходиться в межах 15...50%, сланців – від 5 до 80%, паливного торфу – від 2 до 30%.





**Побутові золошлакові відходи.** У високорозвинутих країнах значна частка відходів приходить на органісткі продукти, які за своїм об'ємом та складом можуть розглядатися як додаткове паливо. Розрахунки показують, що при використанні побутових відходів як палива для отримання тепла і перетворення теплової енергії в електричну, за рахунок цього джерела енергії можна покрити від 10 до 15% загальної потреби в електроенергії.

Існують три головні процеси отримання енергії при переробці побутових відходів: звичайне спалювання (термічний метод), піроліз та біологічна переробка.

Найбільш поширеною є термічна переробка побутових відходів, яка здійснюється в ряді міст України (Києві, Харкові, Дніпропетровську, Севастополі) у спеціальних котлах, причому утворені продукти спалювання також потребують складування та наступної утилізації. Продукти спалювання побутових відходів складаються із золошлакової суміші та золи-винесення, яка осідає в скруберах та електрофільтрах. Крупні зерна продуктів спалювання складаються в основному з негорючих частинок побутових відходів: скла, кераміки, каміння, кісток, дрібних металевих утворень. Основна маса золи-винесення утворюється при спалюванні відходів паперу та деревини. За своїми фізичними властивостями продукти спалювання твердих відходів наближаються до паливних зол та шлаків: істинна густина – 2,05...2,45 г/см<sup>3</sup>; насипна густина – 800...1100 кг/м<sup>3</sup>; середня густина крупних включень – 1400...2650 кг/м<sup>3</sup>.

Хімічний склад продуктів спалювання твердих побутових відходів нестабільний і залежить від виду компонентів побутових відходів, технологічних параметрів спалювання, конструкції печі.

У продуктах спалювання сірка присутня з різним ступенем окислення у вигляді сульфідної, сульфітної та сульфатної форм, причому її кількість не перевищує кількості сірки, що знаходиться у золах та шлаках, отриманих при спалюванні бурого вугілля.

Гідралічна та пуцоланова активність продуктів спалювання твердих побутових відходів порівняно з паливними золами та шлаками є незначною через малу кількість активної алюмосилікатної речовини у побутових відходах і їхню відносно низьку температуру спалювання.

У зв'язку з різним походженням компонентів твердих побутових відходів, фізичні та фізико-механічні властивості продуктів спалювання нестабільні внаслідок неоднорідності структури паливної частини відходів. Компоненти продуктів спалювання істотно відрізняються між собою не тільки за хімічним та мінералогічним складами, але й за показниками густини та міцності. Все зазначене створює певні труднощі та обмеження при використанні таких відходів як складових сировинних сумішей при виготовленні будівельних матеріалів різного призначення.





## 3.2. ЗАПОВНЮВАЧІ ІЗ ПАЛИВНИХ ЗОЛ ТА ШЛАКІВ

Золошлакова сировина може застосовуватися для виготовлення заповнювачів як важких, так і легких бетонів. Як пористі заповнювачі для легких бетонів можна використовувати: шлаки від спалювання антрациту, кам'яного і бурого вугілля, торфу і сланців; золи, щебінь і пісок із паливних шлаків, аглопорит на основі золи ТЕС, зольний випалювальний і безвипалювальний гравій, глинозольний керамзит.

**Паливні шлаки.** Властивості шлаків залежать від способу спалювання і виду палива. Оптимальну пористу структуру антрацитових і кам'яновугільних шлаків одержують при кусковому спалюванні, а шлаків бурого вугілля — при пилоподібному. Недоліком пилоподібного спалювання або переробки в газогенераторах антрациту і кам'яного вугілля є те, що ці процеси призводять до надмірного спікання й одержання внаслідок цього щільних і важких заповнювачів.

За зерновим складом шлак є механічною сумішшю зерен крупністю 0,14...30 мм з окремими включеннями більш крупних частинок, тому її можна розглядати як суміш дрібного та крупного заповнювачів. У зв'язку з цим шлаки ТЕС доцільно застосовувати в легких і важких бетонах як основний заповнювач, для часткової заміни щебеню (20...50%), а також для поліпшення гранулометричного складу пісків.

Усі паливні шлаки можна класифікувати на основні, кислі та нейтральні. Шлаки кам'яного вугілля переважно кислі. Шлаки деяких видів бурого вугілля та сланців, що містять до 40% СаО і підвищену кількість оксидів заліза, відносяться до основних. Найменш кислими є антрацитові шлаки.

Шкідливими компонентами шлаків, що викликають при підвищеній кількості руйнування бетону, є сульфати і сульфіді. Загальний вміст сірчаноокислих і сірчистих сполук у перерахуванні на SO<sub>3</sub> у паливних шлаках не повинен перевищувати 3% за масою, у тому числі не більш 1% водорозчинних сульфатів і 1% сульфідів. Неприпустима також наявність у шлаках ТЕС вільного оксиду кальцію, гашення якого в затверділому бетоні може бути причиною його руйнування.

Як і металургійні, шлаки ТЕС повинні бути стійкі проти силікатного і залізного розпаду. Стійкість проти силікатного розпаду визначають шляхом пропарювання і автоклавної обробки пористого щебеню, а залізного — 30-денним витриманням у дистильованій воді. Втрати маси випробовуваних проб не повинна перевищувати 5%. Для запобігання розпаду паливні шлаки рекомендується застосовувати після тривалого (3...6 місяців) витримання у відвалах, внаслідок чого у них гаситься вільний оксид кальцію, частково вилугуюються розчинні солі й окисляються паливні залишки. При застосуванні шлаків у бетонах доцільно їх збагачувати шляхом відсіювання дрібних фракцій, що містять найбільшу кількість невипаленого вугілля й інших шкідливих домішок.



Насипна густина паливних шлаків дорівнює 600...1000 кг/м<sup>3</sup>, середня густина зерен –1500...2000 кг/м<sup>3</sup>. Пористість шлаків звичайно коливається від 40 до 60 %, морозостійкість досягає 50 циклів і більше. Оптимальні структуру і фізико-механічні властивості мають антрацитові шлаки, менше застосовують шлаки з бурого вугілля.

На відміну від щебеню з природного каменю шлаковий щебінь практично не містить плескатих та голчастих зерен, глинистих та інших шкідливих домішок і при використанні як заповнювача у бетонах такий щебінь, як свідчать результати досліджень, забезпечує міцність до 30 МПа (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

**Фізико – механічні властивості бетонів на паливних шлаках**

Вид бетону	Клас бетону	Відношення міцності призм і кубів	Границя міцності на згин, МПа	Модуль пружності, МПа	Зчеплення з арматурою, МПа	Морозостійкість (кількість циклів)
Важкі бетони $\rho_0=2400...2500$ кг/м <sup>3</sup>	B7,5... B25	0,8...0,9	4,5...7,5	18000	4,6...5,5	100...150
Дрібнозернисті бетони $\rho_0=2000...2200$ кг/м <sup>3</sup>	B12,5... B15	0,8...0,9	4,0...6,0	18000... 21000	2,5...3,7	75...100
Легкі бетони $\rho_0=1000...1800$ кг/м <sup>3</sup>	B3,5... B12,5	0,85...0,88	3,5...3,8	5000... 8000	1,5...1,7	25...50

Хімічний склад гранульованих шлаків, отриманих з того самого палива, але із застосуванням різних способів видалення, дещо розрізняється. У топках паливо спалюють в умовах надлишку повітря, тобто в окислювальному середовищі, у результаті чого утворюються сполуки тривалентного заліза. При рідкому шлаковидаленні іон Fe<sup>3+</sup> відновлюється до Fe<sup>2+</sup> внаслідок безпосередньої взаємодії Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> з вуглецем.

Гранульовані шлаки від спалювання кам'яного вугілля характеризуються практично повним випалюванням органічної частини і переходом сполук заліза у двовалентний стан. Шлаки від бурого вугілля вміщують підвищену кількість глинозему або оксидів кальцію при значно меншій кількості оксидів заліза. Сланцеві шлаки є висококальцієвими, у них більше сульфатів, ніж у шлаках від спалювання кам'яного або бурого вугілля.

Для більшості ТЕС характерні надкислі гранульовані шлаки з модулем основності:

$$M_o = \frac{CaO + MgO}{SiO_2 + Al_2O_3} \approx 0,05...0,07. \quad (3.1)$$



Вміст кислих склотвірних оксидів ( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ ) у гранульованих шлаках знаходиться зазвичай у межах 70...85%.

Гранульовані шлаки є стійкими до силікатного і залізного розпаду, не вступають у взаємодію з оксидами лужних металів у цементі, незважаючи на наявність у них значної кількості аморфного  $\text{SiO}_2$ .

Розчинний кремнезем визначає пуцолановий характер взаємодії шлакових зерен з цементом. Реакційна здатність підвищується зі збільшенням кількості  $\text{CaO}$  у склофазі і знижується при збільшенні кількості  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Пуцоланова активність паливних гранульованих шлаків, що визначається кількістю поглиненого вапна дорівнює 20...30 мг/г.

Безпосередній вплив на активність шлаків має їхній фазовий склад. Структура зерен шлаку залежить від умов охолодження. Так, шлакові зерна, отримані при попаданні розплаву у воду, тобто при відсутності умов кристалізації, складаються з однорідного скла. У повітряних умовах шлаковий розплав характеризується більш повільним режимом охолодження, що сприяє утворенню кристалічної структури.

Гранульовані шлаки від спалювання вугілля з низькокальцієвою мінеральною частиною представлені залістоалюмосилікатним склом. Розплави такого складу важко кристалізуються, і шлаки, навіть при відносно повільному охолодженні, вміщують не більше 10...15 % кристалічних компонентів.

Фізико-механічні характеристики шлаку, його структура залежать від виду палива, що спалюється, і способу його видалення. У складі шлаку можна виділити щільні і пористі зерна з різною кількістю відкритих і закритих пор. Середня густина таких зерен може коливатися від 2,6 до 1,5 г/см<sup>3</sup>. Істинна густина шлаку переважно дорівнює 2,3...2,7 г/см<sup>3</sup>, насипна густина знаходиться в межах 1100...1700 кг/м<sup>3</sup>.

Гранульований паливний шлак характеризується різноманітністю форми і рельєфу поверхні окремих гранул. Переважно це кубічна, призматична і гострокутна форма зерен. Важливою позитивною особливістю гранульованих шлаків у порівнянні із заповнювачами з гірських порід є значний вміст зерен з високорозвиненим мікрорельєфом. Аналіз зерен шлаків під мікроскопом показує, що у крупних зернах шлаку часто зустрічаються пори діаметром 1...3 мм і більше, а також поверхневі раковини. Це поряд з гідравлічною активністю шлаку є фактором, що сприяє збільшенню його зчеплення з цементним каменем.

Найважливішими особливостями гранульованих паливних шлаків як заповнювачів бетону є порівняно велика міцність шлакових зерен (зразки - кубики з розміром ребра 2 см мають міцність 120...140 МПа); підвищена макро- і мікропористість (до 13%); розвинута поверхня зерен і, внаслідок цього, підвищена водопотреба (9...11%); відсутність глинистих, мулистих та інших шкідливих домішок.



Механічні характеристики паливних гранульованих шлаків дозволяють одержувати бетон класів до В40.

Морозостійкість склоподібних шлаків досить висока і дозволяє використовувати їх для виготовлення різноманітних бетонів підвищеної довговічності. Шлаки практично не містять компоненти, які можуть знижувати захисні властивості бетону по відношенню до арматури.

Вміст зерен, що проходять крізь сито із сіткою № 0315, повинен бути для фракціонованого шлакового щебеню не більше 5% за масою, для піску - не більше 20% і для рядового несортваного шлаку - не більш 10%.

У ряді досліджень встановлено, що гранульований паливний шлак впливає на реологічні і технологічні властивості бетонних сумішей. Відзначається, що бетонні суміші із шлаковим заповнювачем мають кращу легкоукладальність порівняно з бетонами на природних заповнювачах. Паливний гранульований шлак рекомендовано застосовувати для литих бетонних сумішей, що транспортуються бетононасосами, продуктивність яких збільшується внаслідок підвищення життєздатності бетонних сумішей. Однак, склоподібна поверхня шлаку, що має низьку водоутримувальну здатність (3...4%), сприяє водовідокремленню бетонної суміші в бетонах високої рухомості навіть при підвищених витратах цементу.

Встановлено, що бетони на паливних гранульованих шлаках відрізняються за структурою і властивостями від бетонів на природних заповнювачах. Щільна структура шлакобетону, велика площа поверхні гранульованого шлаку, добре зчеплення заповнювача з цементним каменем надають бетону високу міцність та деформативність. Руйнування бетону на основі гранульованого шлаку ТЕС відбувається частково по розчиновій частині і частково по шлаку, на відміну від бетону на гранітному щебені. Такий характер руйнування свідчить про однорідність бетону, міцне зчеплення заповнювача з розчиновою частиною. Фізико-хімічними дослідженнями встановлено, що міцність зчеплення шлаку з цементним каменем обумовлена не тільки адгезією за рахунок рельєфу поверхні зерен, але й у значній мірі хімічною взаємодією цементного каменю і заповнювача. Утворена в зоні контакту плівка новоутворень (низькоосновні гідросилікати кальцію) є оболонкою, що обволікає зерна заповнювача, поліпшує опір бетону зовнішнім впливам.

Більш інтенсивна взаємодія гранульованого шлаку з цементом відбувається при тепловологісній обробці бетону. У зв'язку з цим відразу після пропарювання міцність шлакомісткого бетону складає близько 80% від марочної, а через 28 діб вона на 10...15% перевищує міцність бетону нормального тверднення.

При проведенні порівняльних випробувань бетону із шлаковим і гранітним заповнювачами на міцність при розтягу методом розколювання були отримані практично однакові результати. Дослідження призмової міцності, початкового модуля пружності, граничних відносних деформацій, а





також деформацій усадки і повзучості дозволили зробити висновок про те, що деформативні властивості шлакобетону подібні до властивостей важкого бетону на щебені з природних матеріалів.

Заміна природних заповнювачів паливним гранульованим шлаком знижує витрату цементу за рахунок поліпшення гранулометричного складу суміші заповнювачів, а також зміцнення контактної зони між шлаком і цементним каменем. Витрата цементу знижується на 4...6% на  $1\text{ м}^3$  бетону. Економічний ефект залежить від вартості шлаку і природних заповнювачів у конкретних умовах виробництва.

**Зола ТЕС.** Дрібний заповнювач у важкому і легкому бетонах частково або цілком може бути замінений золою. При виготовленні конструкційно-теплоізоляційних легких бетонів класів В2,5...В7,5 зола, що використовується як пісок, повинна мати насипну густину до  $1100\text{ кг/м}^3$  та включати зерна розміром менше 0,16 мм у кількості не більше 90 % маси. Вміст вуглецевих залишків у золі, яку отримують при спалюванні кам'яного вугілля й антрациту, повинен бути не більше 12 %, бурого вугілля – не більше 5 %.

Встановлено, що на довговічність бетону при використанні золи впливає, головним чином, склад паливних залишків, стійкість яких до окислювання та впливу вологи залежить, у свою чергу, від мінералогічного складу вихідного вугілля.

Невипалені частинки вугілля переважно представлені залишками коксу та напівкоксу. Кокс та напівкокс є стійкими до окислювання на повітрі і поглинають незначну кількість вологи, внаслідок цього практично не піддаються об'ємним змінам при попереминому зволоженні-висушуванні або заморожуванні-відтаванні. Визначення вмісту і складу залишків невипаленого палива дає можливість оцінити доцільність застосування золи як дрібного заповнювача для бетону.

Властивості бетону суттєво залежать від вологості золи і вмісту в ній сірчистих і сірчаноокислих сполук. Кількість останніх у перерахунку на  $\text{SO}_3$  не повинна перевищувати 3% за масою (у тому числі сульфідної сірки в перерахунку на  $\text{SO}_3$  не більше 1%). Для одержання довговічного золобетону для армованих легкобетонних конструкцій золи ТЕС повинні також вміщувати знижену кількість глинистих частинок при підвищеному вмісті склофази (не менше 50...60%).

Властивості бетону у значній мірі залежать від гранулометричного складу заповнювачів. Оптимальним для легких бетонів є певне співвідношення між крупною (більше 0,3 мм) і дрібною (менше 0,08 мм) фракціями золи. Високі показники міцності бетону досягаються при використанні зол, у яких співвідношення між крупною і дрібною фракціями не перевищує 1:2,5, а вміст частинок середньої фракції дорівнює 50%.

Застосування в бетонах золи-винесення дозволяє замінити як частину піску, так і частину цементу. Кількість золи, що вводиться до складу бетону,





може досягати 150...250 кг/м<sup>3</sup> і більше. При виборі можливого вмісту золи в бетоні варто враховувати вплив золи на властивості бетонної суміші. У залежності від вмісту золи вплив її на водопотребу може бути несуттєвим або значним. Так, якщо введення до складу бетону 50...90 кг золи дисперсністю 300...450 м<sup>2</sup>/кг практично не позначається на водопотребі бетонної суміші, то подальше збільшення вмісту золи до 300 кг на 1 м<sup>3</sup> бетону призводить до збільшення водопотреби бетонної суміші на 5...6% на кожні 50 кг золи.

Золобетони можна одержувати із широким діапазоном властивостей: за міцністю при стиску — 5...40 МПа, середньою густиною — від легких ( $\rho_0 < 1000 \text{ кг/м}^3$ ) до важких ( $\rho_0 = 1800...2000 \text{ кг/м}^3$ ). Їх одержують як на портландцементі, так і на безклінкерних в'язучих речовинах в умовах звичайного й автоклавного тверднення. Щільний золобетон характеризується високими показниками міцності при згині і деформативних характеристик. Значення середньої густини та модуля пружності для характерних класів щільного золобетону наведені у табл. 3.4.

Таблиця 3.4

#### Середня густина та модуль пружності золобетону різних класів

Клас за міцністю при стиску, МПа	Середня густина, кг/м <sup>3</sup>	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	$7 \cdot 10^3$
12,5	1650...1900	$9 \cdot 10^3$
15	1850...2000	$1 \cdot 10^4$

Недоліками щільних золобетонів є значне водопоглинання, а також усадка, що при твердненні зразків на повітрі дорівнює 2...3 мм/м. Для зменшення водопоглинання рекомендується вводити у суміш тонкомелені добавки, які зменшують пористість золобетону, наприклад гранульований шлак. Усадка зменшується при автоклавній обробці та введенні в суміш до 30 % крупних пористих заповнювачів або піску, а також при застосуванні жорстких сумішей.

На виготовлення золобетону класів В2,5...В12,5 із середньою густиною 1000...1600 кг/м<sup>3</sup> при безавтоклавному твердненні витрачається 200...400 кг/м<sup>3</sup> цементу, залежно від властивостей вихідних компонентів і технології виготовлення виробів. Запарювання золобетонних виробів в автоклавах дозволяє в 1,5...2 рази знизити витрату в'язучої речовини і частково (або цілком) замінити цемент вапном.

Більш широке застосування знаходить зола як дрібний заповнювач у виробництві керамзитобетонів. Для забезпечення щільної структури цих



матеріалів у піщаній фракції повинне бути 40...50 % за масою частинок розміром менше 0,15 мм. У зв'язку з дефіцитом керамзитового піску при виготовленні легких бетонів застосовують звичайний кварцовий пісок, що призводить до збільшення густини керамзитобетонів до 1400...1600 кг/м<sup>3</sup> і відповідно до зниження термічного опору стін. Застосування золи у керамзитобетонах у кількості 180...200 кг/м<sup>3</sup>, а для однофракційного керамзиту й більше, поліпшує технологічні властивості легкобетонних сумішей та сприяє одержанню щільної структури бетону.

Повна заміна дрібного заповнювача золою найбільш доцільна в конструкційно-теплоізоляційних легких бетонах. Оптимальний вміст золи в конструкційно-теплоізоляційному керамзитобетоні дорівнює 300...450 кг/м<sup>3</sup>. Подальше збільшення її вмісту підвищує середню густину легкого бетону. При виготовленні легких конструкційних бетонів добавка золи в кількості до 100 кг на 1 м<sup>3</sup> бетону може бути використана як мікронаповнювач.

**Золошлакова суміш.** Можливим є застосування в бетонах рядових класів поряд із золою та шлаками і золошлакової суміші відвалів ТЕС. Золошлакову суміш доцільно використовувати як основний заповнювач бетонів, для часткової заміни щебеню (20...50%) і піску (40...100%), а також для поліпшення гранулометрії дрібних пісків.

Виробничий досвід показав, що застосування золошлакових сумішей як основного заповнювача бетону є економічно доцільним, оскільки шлакові фракції замінюють частину дрібного піску і щебеню та поліпшують зерновий склад, а пилоподібна зола, яка є активним наповнювачем, поліпшує легкоукладальність бетонної суміші і властивості затверділого бетону. Це дозволяє застосувати значну частину золошлакової сировини, що знаходиться у відвалах.

При введенні золошлакових сумішей у бетони застосовуються суміші із досить широкими границями зміни гранулометрії, але оптимальним є вміст пилоподібної золи-винесення в кількості 16...30%. Загальний вміст золошлакової суміші знаходиться звичайно в межах 230...330 кг на 1 м<sup>3</sup> бетону.

За інших рівних умов середня густина бетону на золошлаковій суміші на 130...150 кг/м<sup>3</sup> менше, ніж на гранітному щебені. Для бетону, наприклад, на золошлаковій суміші, яка отримана при спалюванні донецького вугілля, характерні наступні фізико-механічні властивості: міцність при стиску — до 35 МПа; розтягу — 2,3 МПа; модуль пружності — 24,1 МПа; морозостійкість — 150 циклів; усадка — 0,6...0,7 мм/м.

За зерновим складом, який пов'язаний з наявністю частинок золи та шлаку розміром менше 0,315, шлакового піску (розмір частинок від 0,315 до 5 мм) та щебеню (5...20 мм) золошлакові суміші поділяють на крупнозернисті (К), середньозернисті (С), дрібнозернисті (М). Максимальний розмір частинок шлаку в крупно-, середньо- та дрібнозернистих сумішах становить



40, 20 та 5 мм відповідно, вміст шлакової складової - від 50 до 90%, від 10 до 50% і менше 10 % відповідно.

За видом шлакової складової суміші поділяють на такі, що містять щільний шлак (утворюються в топках з рідким шлаковидаленням, середня густина зерен становить більше  $2,0 \text{ г/см}^3$ ) та ті, що містять пористий шлак (утворюється в топках з твердим шлаковидаленням, середня густина зерен менше  $2,0 \text{ г/см}^3$ ).

Для важких бетонів використовують крупнозернисту суміш із щільною шлаковою складовою для повної або часткової заміни дрібного та крупного заповнювачів, середньозернисту суміш для часткової заміни заповнювачів та цементу, та дрібнозернисту суміш для часткової заміни дрібного заповнювача та цементу. Залежно від вимог до класу бетону, який може змінюватись від В12,5 до В40, насипна густина суміші повинна збільшуватись відповідно від  $1300$  до  $1600 \text{ кг/м}^3$  і вище.

При виготовленні легких бетонів крупнозернисту суміш з пористою шлаковою складовою використовують для виробництва шлакобетонів; середньозернисту - як дрібний заповнювач для отримання конструкційно-теплоізоляційних та теплоізоляційних бетонів; дрібнозернисту суміш - для повної або часткової заміни дрібного заповнювача в складі бетонів, а також для часткової заміни цементу. Насипна густина золошлакової суміші як дрібного заповнювача для легких бетонів повинна становити не більше  $1200 \text{ кг/м}^3$ .

До золошлакових сумішей висувають вимоги щодо вмісту невипалених частинок, який залежно від виду спаленого вугілля, дисперсності продукту випалювання (зола або шлак) і призначення бетонів змінюється від 3 до 25%. Вміст СаО повинен становити не більше 10%, MgO - до 5%, сірчаних сполук - до 3%, лужних оксидів натрію і калію в перерахунку на  $\text{Na}_2\text{O}$  не повинен перевищувати 3%.

**Невипалений зольний гравій.** Невипалений зольний гравій виготовляють у вигляді гранул кулькоподібної форми шляхом грануляції зволоженої суміші сухої золи з в'язучою речовиною та наступного твердіння у природних умовах або при тепловологісній обробці.

Для виробництва невипаленого зольного гравію використовують золи ТЕС сухого відбору (електрофільтрів та циклонів), а також попередньо висушені відвальні золи та золошлакові суміші гідровидалення.

Зола повинна відповідати таким вимогам: вміст залишкового вуглецю для золи від спалювання кам'яного вугілля та антрациту - не більше 25%, для золи від спалювання бурого вугілля - не більше 5%. Вказаний вміст залишкового вуглецю істотно більший, ніж для виробництва випалених заповнювачів, що дає можливість збільшити використання золи. Вміст вільного оксиду кальцію має бути не більше 10%; сульфідної сірки - не більше 1%, загальний вміст сірки в перерахунку на  $\text{SO}_3$  - не більше 5%. Вологість золи або золошлакової суміші, що подається з відвалів на склад, не



повинна перевищувати 3%, а питома поверхня золи повинна бути не менше 2500 см<sup>2</sup>/г. Здатність до гранулювання шихти та характеристики сирцевих гранул є оптимальними при наявності у суміші до 30% частинок розміром менше 20 мкм.

При виробництві невивпаленого зольного гравію використовують портландцемент, вапно, гіпсові та гіпсоцементнопуцоланові в'язучі. Залежно від виду в'язучої речовини, твердіння гранул може відбуватися в пропарювальних камерах, автоклавах або на повітрі.

Існують різні варіанти технологій невивпаленого зольного гравію. Однією з технологій передбачено помел сировинної суміші (що складається з золи або золошлакової суміші та портландцементу у кількості 10...20%), зволоження шихти та одержання гранул в тарілчастих або барабанних грануляторах із наступним короткочасним пропарюванням гранул у камері протягом 4-х годин при температурі 90...95°C. Використання портландцементу обумовлює міцність гранул не тільки за рахунок власного твердіння, але й активізує процес гідратації золи та шлаку. Під час термообробки відбувається активація алюмосилікатних компонентів золи та їх хімічна взаємодія з гідроксидом кальцію з утворенням гідросилікатів та гідроалюмінатів кальцію змінного складу, а також гідросульфоалюмінатів кальцію.

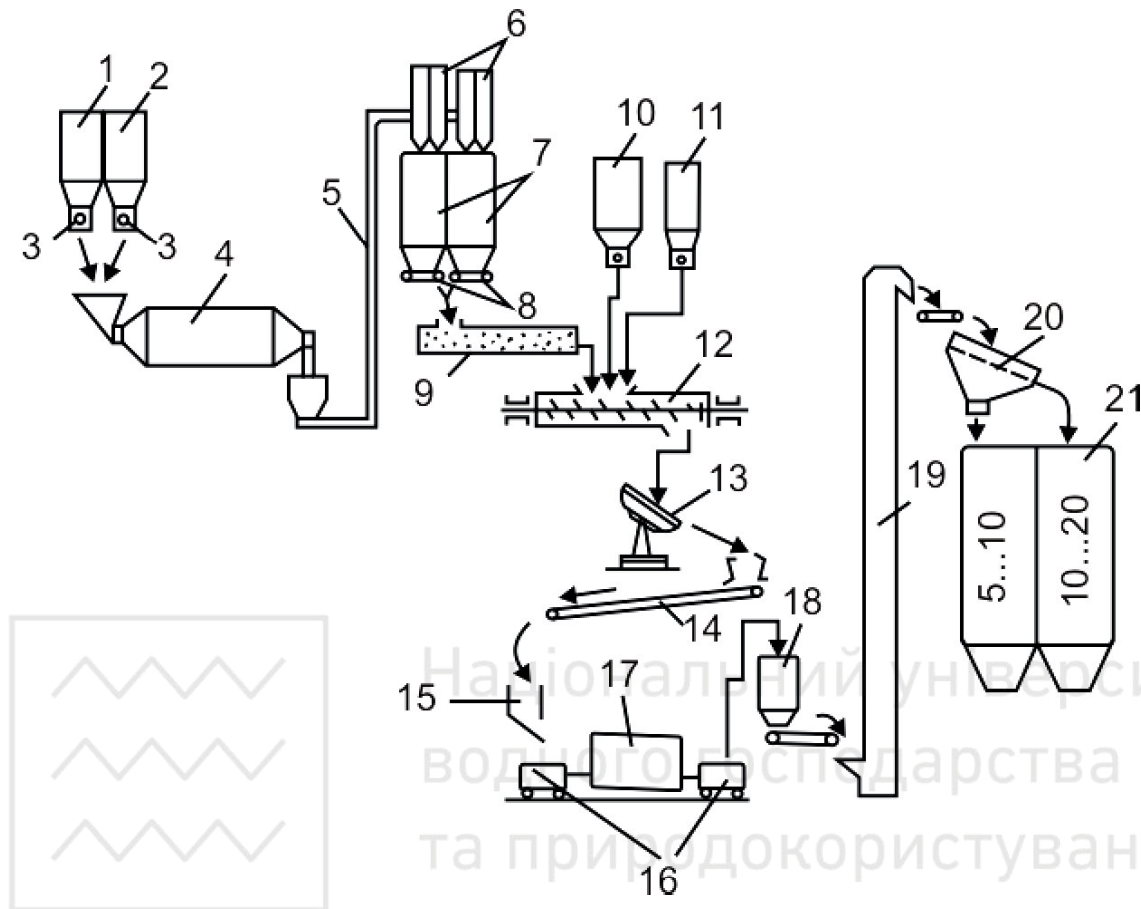
З метою підвищення міцності гранул у початкові строки (після першої доби твердіння у нормальних умовах міцність гранул може сягати 1...2 МПа) та прискорення твердіння при тепловологісній обробці використовують добавки-прискорювачі типу сульфату натрію Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, нітрит-нітрат-хлорид кальцію та інші солі неорганічних кислот, що вводять з водою в кількості 1...3% від маси в'язучої речовини.

Технологічна схема виготовлення заповнювача (рис.3.2) складається з наступних етапів: підготовка та помел сировинної суміші, приготування розчинів добавок-прискорювачів твердіння, зволоження сировинної суміші, грануляція, тепловологісна обробка, класифікація гранул за фракціями.

Насипна густина гравію становить 700...950 кг/м<sup>3</sup>, міцність при стискуванні у циліндрі – 0,6...0,8 МПа, що забезпечує можливість транспортування та складування готового продукту. Міцність заповнювача продовжує зростати при повільному твердінні і досягає 5...6 МПа на 28-му добу, причому процес зростання міцності відбувається і при введенні гравію до складу бетону під час тепловологісної обробки виробів.

Залежно від насипної густини невивпалений зольний гравій поділяють за такими марками: 700, 800, 900, 1000. Середнє значення коефіцієнта форми зерен гравію має бути не більше 1,5. Фізико-механічні характеристики невивпаленого зольного гравію, що визначають у віці 28 діб нормального тверднення, повинні відповідати таким показникам: міцність при стискуванні у циліндрі – 3...6 МПа; об'єм міжзернових пустот – 32...45%; істинна густина – 2,3...2,8 г/см<sup>3</sup>; густина зерен – 1,3...1,8 г/см<sup>3</sup>; водопоглинання –

17...25%; коефіцієнт розм'якшення – 0,8...1; морозостійкість – втрати маси після 15 циклів поперемінного заморожування і відтавання – 0,5...10%.



**Рис. 3.2.** Технологічна схема виготовлення невивпаленого зольного гравію на основі портландцементу:

1 – бункер в'язучої речовини; 2 – бункер сухої золи; 3 – дозатори;  
 4 – кульовий млин; 5 – система пневмотранспорту; 6 – циклони; 7 – бункер суміші в'язучої речовини з золою; 8 – живильник стрічковий; 9 – конвеєр гвинтовий; 10 – бак води з дозатором; 11 – бункер для рідких добавок з дозатором; 12 – змішувач двовальний; 13 – гранулятор тарілчастий; 14 – конвеєр стрічковий; 15 – бункер проміжний; 16 – вагонетки; 17 – камера пропарювальна; 18 – бункер приймальний; 19 – елеватор; 20 – грохот; 21 – силоси

При використанні гіпсоцементнопуцоланових в'язучих речовин, що швидко твердіють, отриманий заповнювач відразу після грануляції набирає достатню міцність і не потребує теплової обробки. Після 1 доби твердіння міцність при стискуванні у циліндрі становить 0,7...1,5 МПа, після 3 діб – 2,3...3,0 МПа.

Насипна густина гравію може бути зменшена додаванням до сировинної суміші різних добавок: спученого перлітового піску, деревної тирси, склопору, відходів піноскла або газосилікату. Добавки додають у змішувач при підготовці маси до грануляції. Витрата цементу становить 60...100 кг/м<sup>3</sup>. Особливо легкий безвивпалювальний зольний гравій має насипну густину





400...600 кг/м<sup>3</sup>, міцність при стискуванні у циліндрі в сухому стані – 1,0...1,6 МПа.

Виробництво невипаленого зольного гравію характеризується економією паливно-енергетичних ресурсів. Наприклад, витрати умовного палива у 2...3 рази нижчі, ніж при виробництві випалених штучних заповнювачів.

Використовують невипалений зольний гравій як крупний заповнювач для конструкційних і конструкційно-теплоізоляційних легких бетонів.

**Зольний випалений гравій.** Сировиною для виробництва випаленого зольного гравію є золи теплоелектростанцій, в тому числі і з відвалів після їх гідровидалення. У вигляді зв'язуючих добавок використовують водний розчин технічних лігносульфонатів (ЛСТ) та глину.

Зола, що застосовується для виготовлення такого заповнювача, повинна відповідати наступним умовам: вміст невипалених вуглецевих частинок (НВЧ) – не більше 6%; вміст Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – не більше 65%; вміст (CaO + MgO) – не більше 8%. Зола, що містить більше 6% НВЧ, необхідно попередньо прожарити або ввести до її складу легкоплавку глину.

Глина, як добавка до золи в кількості від 10 до 20% (залежно від пластичності сировини), повинна відповідати наступним вимогам: вогнетривкість не більше 1320°C; відношення (SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)/(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+RO+R<sub>2</sub>O) – у межах від 3,5 до 10; число пластичності – не менше 7.

Технологія випаленого гравію передбачає сушіння і помел золи, її обкатування в гранули діаметром біля 15 мм. Для здійснення грануляції та забезпечення достатньої міцності гранул, золу змочують водним розчином ЛСТ або додають глину. Гранули підсушують та випалюють у коротких обертових печах, причому їх подають одразу у високотемпературну зону печі (температура біля 1200°C). Для підвищення пористості гравію до золи можна додавати деревну тирсу. Схему виготовлення зольного гравію наведено на рис. 3.3.

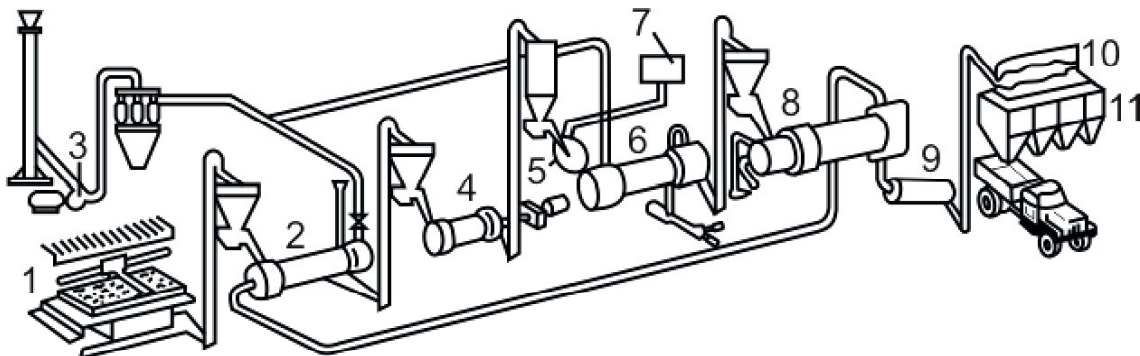
Можлива технологія випаленого гравію при вмісті палива в золі більше 6% довипалюванням золи, помелом, гранулюванням і випалюванням гранул у прямострумінній печі.

Зольний гравій представлений гранулами кулькоподібної форми розміром від 5 до 40 мм. Поверхня гранул звичайно оплавлена і має бурий або сталевий колір, а структура пориста. Насипна густина заповнювача – 300...800 кг/м<sup>3</sup>. Границя міцності при стискуванні у циліндрі приблизно відповідає вимогам до керамзитового гравію тієї ж насипної густини – 0,5...10 МПа. Вміст розколотих зерен – не більше 5%, втрата маси після 15 циклів поперемінного заморожування і відтавання – не більше 10%, при прожарюванні – не більше 5%; водопоглинання – 3...13%.

Розроблена технологія одержання дрібного гравію із шлаків ТЕС випалюванням в киплячому шарі, яка включає підготовку шихти пластичним способом із подрібненого до питомої поверхні 2000...3000 см<sup>2</sup>/г шлаку в кількості 78%, пластичної глини – 20%, розчину ЛСТ – 2,0%. Готовий



продукт характеризується таким зерновим складом: фракція більше 10 мм – 14%; 5...10 мм – 67%; менше 5 мм – 19%. Насипна густина складає 650...750 кг/м<sup>3</sup>; міцність при стискуванні у циліндрі – 2,76 МПа; водопоглинання – 7,5...10 %.



**Рис. 3.3.** Технологічна схема виготовлення випаленого зольного гравію:

1 – ящиковий живильник (з глинорозпушувачем); 2 – сушильний барабан контактного нагрівання; 3 – димосос; 4 – кульовий млин; 5 – тарілчастий гранулятор; 6 – сушильний барабан; 7 – вузол приготування рідкої добавки; 8 – обертова піч; 9 – холодильник; 10 – гравіесортувалка; 11 – бункери готової продукції

Головне застосування зольний гравій знаходить при виготовленні конструкційно-теплоізоляційних бетонів.

Таблиця 3.5

### Склади легких бетонів на зольному гравії

Клас бетону	Витрата матеріалів на 1м <sup>3</sup> бетону					
	портланд-цемент марки 400, кг	зольний гравій, м <sup>3</sup>	зольний пісок, м <sup>3</sup>	зола (відвальна), м <sup>3</sup>	кварцовий пісок, м <sup>3</sup>	вода, л
B3,5	140	0,95	0,10	0,35	-	170
B7,5	200	0,90	0,14	0,4	-	180
B22,5	400	0,85	-	-	0,5	170

Таблиця 3.6

### Властивості легких бетонів на зольному гравії

Клас бетону	Середня густина, кг/м <sup>3</sup>	Тепло-провідність, Вт/(м·°С)	Морозостійкість, цикли	Призмova міцність при стиску, МПа	Модуль пружності при стиску, МПа	Міцність при осьовому розтягу, МПа
B3,5	850	0,256	50	4,4	5800	0,5
B7,5	930	0,325	100	8,5,	6900	0,7
B22,5	1550	0,465	150	25,7	18800	2



На основі зольного гравію можуть виготовлятися також конструкційні легкі бетони. Склади бетонів на зольному гравії та їх основні властивості наведені в табл. 3.5, 3.6.

**Шлаковий гравій та пісок.** Гравій та пісок пористі шлакові отримують шляхом спучування при випалюванні гранул, які одержані із жорстких сумішей на основі сухих тонкомелених порошоків шлаків ТЕС, матеріалів, що містять паливо, і в'язучих речовин. Вміст оксидів заліза у складі шлаку повинен становити не менше 10% від маси, вогнетривкість шлаку не повинна перевищувати 1300°C. Істинна густина шлаку ТЕС - 2,45...2,65 г/см<sup>3</sup>, насипна густина – 1380...1400 кг/м<sup>3</sup>. Як матеріали, що містять паливо, використовують відходи збагачення кам'яного вугілля або інші відходи промисловості, що містять не менше ніж 20% органічної складової і характеризуються вогнетривкістю не більше 1200°C. Як в'язучий компонент зазвичай застосовують бентонітову глину.

Шихта для виробництва шлакового гравію складається з наступних компонентів, %: шлак ТЕС – 65...85; відходи вуглезбагачення – 10...15; бентонітова глина – 5...30. Сировинна суміш повинна мати число пластичності не менше 2...3; втрати маси при прожарюванні – 5...7%.

Процес виготовлення шлакового гравію передбачає здійснення таких операцій: сушіння та подрібнення сировини, змішування вихідних компонентів, грануляцію отриманої шихти, термічну обробку гранул, їх охолодження та класифікацію за фракціями. Технологічну схему одержання шлакового гравію наведено на рис. 3.4.

Гравій залежно від розміру зерен розділяють за фракціями 5...10 мм та 10...20 мм. Середнє значення коефіцієнта форми гравію не повинно перевищувати 1,1. За насипною густиною гравій розділяють за марками: 200, 250, 300, 350 та 400. Міцність його при стискуванні у циліндрі повинна бути 0,6; 0,9; 1,2; 1,6; 2,0 МПа відповідно вищенаведеним маркам за насипною густиною. Морозостійкість гравію повинна перевищувати 15 циклів.

Технічні характеристики шлакового гравію наведено в табл. 3.7.

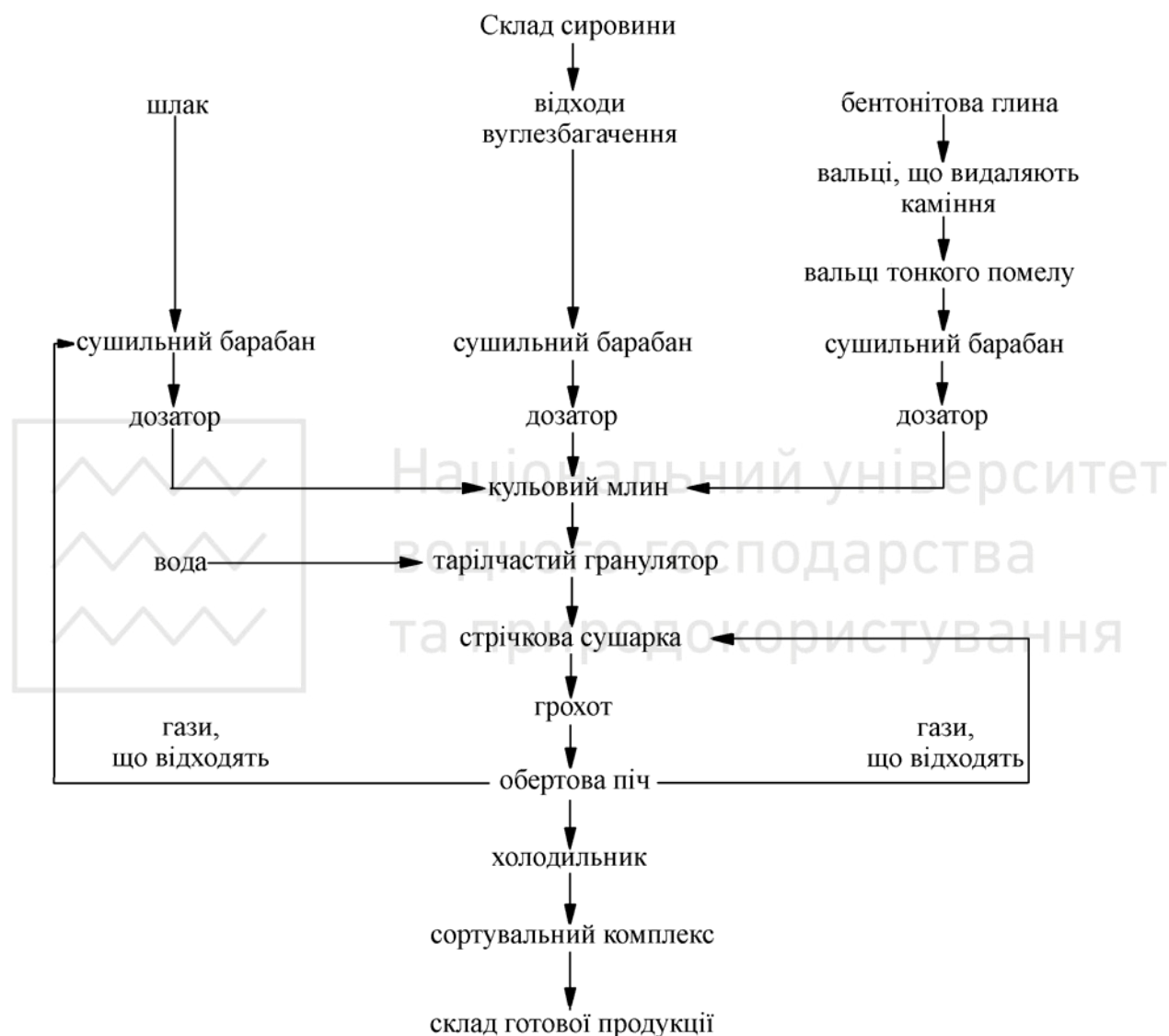
Таблиця 3.7

#### Технічні характеристики шлакового гравію

Розмір фракції, мм	Насипна густина, кг/м <sup>3</sup>	Міцність при стискуванні у циліндрі, МПа	Коефіцієнт форми зерен	Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м <sup>0</sup> С)
10...20	200...300	0,8...2,0	1...1,2	0,112
5...10	300...350	2,0...3,0	1...1,1	0,162
2,5...5	400...600	-	-	-

Пісок залежно від насипної густини розділяють за марками 500, 600, 700.

Шлакові гравій та пісок використовують як заповнювачі легких бетонів, для теплоізоляції підлоги та панелей покриттів житлових та цивільних споруд, а також для ізоляції трубопроводів. Шлаковий пісок також використовують як дрібнозернистий фільтр газоочисного обладнання в системах аспірації промислових споруд.



**Рис. 3.4.** Технологічна схема виготовлення шлакового гравію

**Глинозольний гравій та пісок.** Глинозольний гравій – це продукт спучування та спікання в обертовій печі гранул, що виготовлені із суміші глини і золи ТЕС, при вмісті золи 10...80% від усієї маси сировини.

Орієнтовний вміст окремих оксидів в глинозольній шихті повинен бути у межах, %:  $\text{SiO}_2$  – 40...60;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 15...25;  $(\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO})$  – 7...15;  $\text{CaO}$  – 1...6;  $\text{C}$  – не більше 10.

Для виробництва глинозольного гравію використовують золу, яку постачають із золівдвалів від пилоподібного спалення торфу, бурого і кам'яного вугілля. Застосовують переважно золи з відвалів гідровидалення,



тому що використання сухої золи-винесення ускладнює процес гомогенізації глинозольної шихти. Придатні золи, що містять  $\text{SiO}_2$  – 33...57%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 14...37%. З підвищенням ступеня дисперсності та кількості золи в складі сировинної суміші збільшується міцність керамзиту та зростає його середня густина. Дисперсність золи повинна становити не менш ніж  $1000 \text{ см}^2/\text{г}$ , вологість – не більше 30%, вміст неспаленого вугілля – до 10%,  $\text{CaO}$  – до 10%, сірчанних і сірчаноокислих сполук – не більше 5%. Максимальна температура плавлення золи повинна дорівнювати  $1380^\circ\text{C}$ . При надлишковій кількості вуглецю гранули керамзиту оплавляються і якість заповнювача погіршується.

Регулювання властивостей глинозольного гравію може відбуватися за рахунок використання золи з визначеними характеристиками. Наприклад, для отримання глинозольного гравію низьких марок за насипною густиною (до 500) використовують золи дисперсністю від 1000 до  $3000 \text{ см}^2/\text{г}$  із вмістом оксидів заліза у межах 12...20%; а для одержання глинозольного керамзиту підвищеної міцності потрібно застосовувати золи дисперсністю вище  $3000 \text{ см}^2/\text{г}$ , що містять  $\text{Al}_2\text{O}_3$  більше 20%, вуглецю – до 5%.

З метою підвищення інтервалу спучування пористого заповнювача використовують золи ТЕС з температурою плавлення вище  $1380^\circ\text{C}$ .

Додавання глинистого компонента до складу шихти покращує її формувальні властивості, сприяє спаленню залишків вугілля у золі, що дає змогу використовувати відходи з підвищеним вмістом невипаленого палива.

Отримання глинозольного гравію спеціального призначення досягається за рахунок використання відповідних типів золи. Наприклад, для жаростійкого глинозольного гравію застосовують золи з вмістом  $\text{Al}_2\text{O}_3$  більше 25%; для кислотостійкого гравію придатні золи, що містять муліт; для лугостійкого гравію – золи ТЕС, що містять обмежену кількість силікатної скловидної фази (не більше 40%).

Коригуючи добавки у виробництві глинозольного гравію використовують для зниження або підвищення щільності і міцності, вогнетривкості, жаростійкості, стійкості заповнювача до агресивних середовищ, а також для регулювання реологічних властивостей шихти, наприклад, пластичності, в'язкості та адгезії. Добавки для коригування складу вводять у шихту або наносять на поверхню відформованих гранул.

При реалізації технології виготовлення глинозольного гравію (рис.3.5) глиниста сировина повинна мати число пластичності вище 15, а глинозольна шихта – не нижче 7. Формувальна вологість глинозольної маси – 18...28%, причому у шихті для виготовлення гранул обмежується кількість включень вуглецю до 10%. Згідно з технологічними вимогами температура випалювання глинозольних сирцевих гранул не повинна перевищувати  $1250^\circ\text{C}$ , а інтервал спучування повинен становити більше 50 градусів.

Властивості глинозольного гравію залежать від виду та співвідношення глинистого і зольного компонентів у складі шихти. З підвищенням кількості



золи у складі шихти збільшується насипна густина і відповідно зростає міцність глинозольного гравію.



**Рис.3.5.** Технологічна схема виготовлення глинозольного гравію

Виробництво глинозольного гравію відбувається за технологічною схемою, що прийнята для керамзиту, і включає наступні технологічні операції: послідовне подрібнення й усереднення золи та глинистого компонента і їх змішування, введення добавок (рідких та твердих) у шихту, одержання сирцевих гранул, їх обпудрювання та випалювання в обертових печах.

Головною особливістю технології виготовлення глинозольного гравію є більш ретельна підготовка сировинної суміші. Для цього використовують двостадійне перемішування глинистої породи і золи в послідовно встановлених агрегатах. Золю змішують з глиною в глинозмішувачі з парозволоженням, глинозольна маса подається на вальці для переробки та гомогенізації, а потім в агрегат для грануляції. Зола, що використовується як добавка до глини, сприяє збільшенню кількості органічних домішок у складі



сировини і підвищує її здатність до спучування. Виробництво глинозольного гравію може здійснюватися на діючих керамзитових підприємствах при різних методах підготовки шихти. В цьому випадку керамзитові підприємства повинні бути обладнані закритим складом з окремим збереженням золи та глини; дозуючими пристроями для золи, глини, добавок; механізмами для усереднення двокомпонентної шихти.

Властивості глинозольного гравію повинні відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.7-17-95. Насипна густина глинозольного гравію становить 400...700 кг/м<sup>3</sup>, міцність при стискуванні в циліндрі – 2,3...4,8 МПа, водопоглинання – 10...21%, морозостійкість – більше 15 циклів, коефіцієнт форми – 1,2...1,8; вміст розколотих зерен – до 15%; за зерновим складом глинозольний гравій може включати фракції 5...10 мм - 5...40% та 20...40 мм – 2...20%.

Технологія виготовлення глинозольного піску принципово не відрізняється від технології виготовлення керамзитового піску.

Глинозольний гравій та пісок використовують як пористі заповнювачі для легких бетонів класів від В3,5 до В30. Глинозольний гравій також можна застосовувати для виготовлення бетонів спеціального призначення.

**Аглопорит.** Аглопорит одержують спіканням (агломерацією) сировини, яка може бути представлена поряд з глинистими або піщано-глинистими породами відходами від добування, збагачення та спалювання твердого палива.

Доцільність утилізації паливної золи та шлаків для виготовлення аглопориту обумовлена здатністю золошлакової сировини як і інших алюмосилікатних матеріалів спікатися на решітках агломераційної машини, а також вмістом в її складі залишків палива, кількість яких достатня для процесу агломерації.

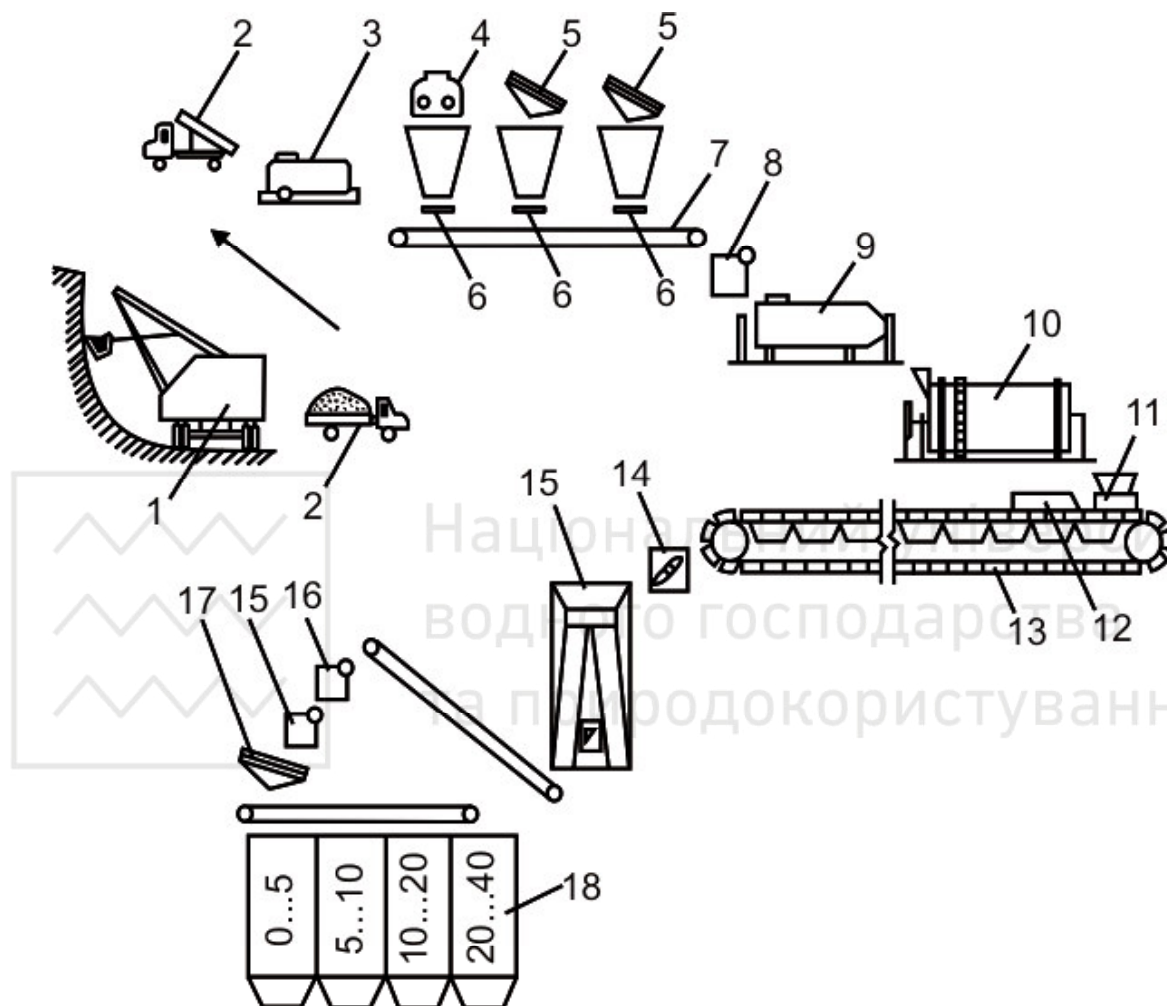
Золи ТЕС можуть бути використані і як паливні добавки при виробництві аглопориту із глинистих порід. До складу шихти для виробництва аглопориту необхідно ввести до 8% висококалорійного палива. Введення добавки золи сприяє скороченню витрат палива і зменшенню собівартості аглопориту. Золю використовують також як добавку, що сприяє підвищенню швидкості спікання глинистої сировини, а також збільшенню потужності агломераційних машин та покращенню якості аглопориту.

Для виготовлення аглопориту використовують золи і шлаки ТЕС, які відносяться до тугоплавких та середньої плавкості з інтервалом розм'якшення більше 100°C. Питома поверхня золи ТЕС повинна становити не менше ніж 2000 см<sup>2</sup>/г. При використанні відходів, що містять паливо, обмежується кількість останнього, для сировини середньої плавкості вона становить до 12%, а для тугоплавкої сировини – до 15%.

Як глинисту сировину доцільно застосовувати легкоплавкі глини, що не здатні до спучування, або слабо спучуються та суглинки з вогнетривкістю від 1150 до 1250°C.



Традиційна технологія виробництва аглопоритових щебеню, гравію та піску передбачає виконання таких операцій: підготовку сировинних матеріалів; дозування та змішування компонентів шихти; грануляцію і термічну обробку шихти (гранул) на агломераційній машині при температурі 1200...1300°C; подрібнення та розсів готового спеченого продукту (рис.3.6).



**Рис. 3.6.** Технологічна схема виробництва аглопоритового щебеню та піску:

1 – екскаватор; 2 – автотранспорт; 3 – ящиківий живильник; 4 – валкова дробарка; 5 – віброрито; 6 – стрічковий живильник; 7- збірний стрічковий конвеєр; 8 – вальці для видалення каміння; 9 – двовальний глинозмішувач; 10 – барабанний гранулятор; 11 – укладач шихти; 12 – запалювальний горн; 13 – агломераційна машина; 14 – корже-розломлювач; 15 – шахтний холодильник; 16 – валково-зубчаста дробарка; 17 – гравієсортувалка; 18 – склад готової продукції

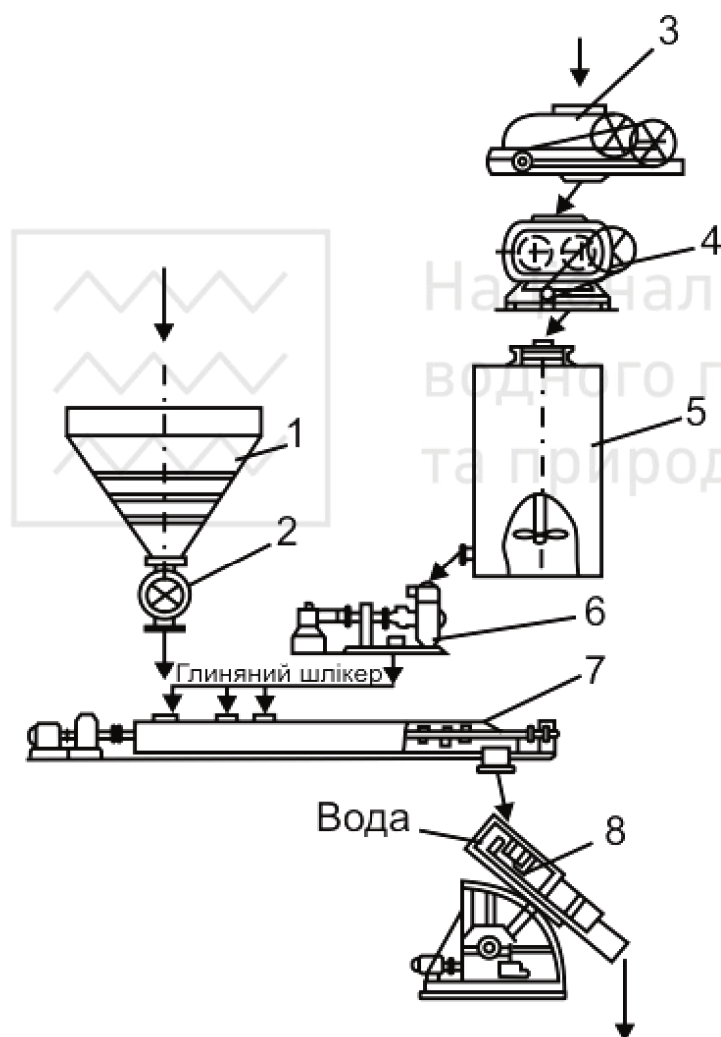
У випадку використання золи як компонента сировинної суміші її зволожують спеціальною зв'язуючою добавкою у вигляді глиняного шлікера або розчину технічного лігносульфонату (рис.3.7).



Отриману шихту подають до гранулятора, де підвищують її вологість до 20...35% і піддають грудкуванню.

При використанні звичайної технології аглопорит одержують у вигляді щебеню та піску. Залежно від вимог до готового продукту в технологічній схемі передбачається два або три ступеня подрібнення. Первинне подрібнення забезпечує отримання кусків розміром 100...200 мм. На другому ступені подрібнення отримують матеріал із максимальною крупністю 20...40 мм. При включенні в технологічну схему третього ступеня подрібнення максимальна крупність одержаного матеріалу становить 5...20 мм.

Подрібнений аглопоритовий щебінь або гравій розсіюють за фракціями 5...10, 10...20, 20...40 мм, пісок – за фракціями до 1,25 мм та 1,25...5 мм.



**Рис. 3.7.** Схема приготування шихти для виготовлення аглопориту з використанням золи ТЕС:

- 1 – витратний бункер золи;
- 2 – живильник;
- 3 – вальці грубого помелу;
- 4 – вальці тонкого помелу;
- 5 – змішувач;
- 6 – насос;
- 7 – змішувач;
- 8 – тарілчастий гранулятор

При отриманні аглопоритових гравію або щебеню утворення пористої структури матеріалу пов'язане з видаленням вільної та фізично зв'язаної води; вигоранням палива та органічних домішок; просочуванням повітря та газів крізь шар розм'якшеної шихти; спучуванням окремих зерен шихти; спіканням частинок при наявності рідкої фази в зерні; контактним спіканням зерен в шарі шихти.

При використанні золи-винесення її подають пневмотранспортом або цементовозами до силосів, де передбачена можливість перемішування золи за рахунок барботування, а також перекачування її у витратний бункер.

При використанні золи з відвалу її складують під навісом біля цеху. Після усереднення і розпушування золу подають у витратні бункери шихтозмішувального цеху.



Для виробництва *аглопоритового гравію* використовують золи з обмеженим вмістом палива (до 15%) з інтервалом плавлення не менше ніж 50...100°C і вмістом оксидів заліза нижче 4%.

Технологія виробництва аглопоритового гравію складається з одержання сирцевих зольних гранул крупністю 10...20 мм, укладання їх на колосники стрічкової агломераційної машини шаром завтовшки 200...300 мм та термічної обробки. Внаслідок високої газопроникності шихти, крізь її шар проходить велика кількість повітря, в результаті чого утворюється окислювальне середовище і гранули між собою не спікаються. Аглопоритовий гравій розсіюють за фракціями, а спечений продукт подрібнюють, а потім також класифікують за фракціями.

Аглопоритовий гравій має щільну поверхню і тому при однаковій з *аглопоритовим щебенем* середній густині відрізняється від останнього підвищеною міцністю і меншим водопоглинанням.

Застосування агломераційного методу при одержанні пористих золомістких заповнювачів сприяє зменшенню витрат технологічного палива за рахунок вигорання невипалених вуглецевих частинок, що входять до складу золи, дає змогу регенерувати тепло і застосовувати гази, що відходять, забезпечувати високий тепловий ККД агломераційних машин поряд з їх високою продуктивністю.

Виробництво аглопоритового гравію, порівняно з виробництвом аглопоритового щебеню, характеризується зменшенням витрат технологічного палива на 20...30 мас.%, низьким розрідженням повітря у вакуум-камерах, а також збільшенням питомої продуктивності в 1,5...2 рази.

Аглопоритові щебінь та гравій поділяють на марки за насипною густиною від 400 до 900 кг/м<sup>3</sup>, пісок – від 600 до 1100 кг/м<sup>3</sup>. Міцність повинна бути 0,5...1,5 МПа для гравію; 0,5...2 МПа – для щебеню.

Особливістю аглопориту, як і більшості інших заповнювачів, є те, що при зменшенні розмірів фракції щебеню чи піску її насипна густина збільшується.

Міжзернова пустотність щебеню складає 50...60%, густина зерен приблизно в 2 рази перевищує насипну густина щебеню. Пористість зерен щебеню знаходиться в межах 40...60%. Коефіцієнт форми в середньому не повинен перевищувати 2,5.

До аглопориту ставлять вимоги щодо стійкості до залізного та силікатного розпадів, при цьому втрати маси не повинні перевищувати 5 та 8% відповідно. Втрати маси при прожарюванні не повинні перевищувати 3%. Морозостійкість аглопориту повинна становити не менше 15 циклів перемінного заморожування та відтавання при втратах маси, що не перевищують 8%. Коефіцієнт розм'якшення зерен аглопориту повинен бути більше 0,7. Вміст водорозчинних та сірчаноокислих сполук в перерахуванні на SO<sub>3</sub> не повинен перевищувати 1%.





Аглопорит відрізняється порівняно високою однорідністю за насипною густиною та міцністю. На відміну від керамзиту аглопоритовий щебінь характеризується більшою кількістю відкритих пор (15...20%), що приводить до деякого збільшення витрат цементу при виготовленні бетону, але одночасно сприяє зміцненню заповнювача та зчепленню його з цементним каменем.

Використання аглопориту на основі зол та шлаків ТЕС дає змогу одержати легкі бетони класів В3,5...В30, які мають середню густину 900...1800 кг/м<sup>3</sup> при витраті цементу 200...400 кг/м<sup>3</sup>.

### 3.3. В'ЯЖУЧІ МАТЕРІАЛИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ЗОЛОШЛАКОВИХ ВІДХОДІВ

Золошлакові відходи використовують як компонент шихти при отриманні портландцементного клінкера та у вигляді активних мінеральних добавок до портландцементу, а також при виготовленні безклінкерних в'язучих речовин.

**Портландцементи і пуцоланові (зольні) цементи.** Паливні золи та шлаки використовують в складі сировинної суміші при виробництві портландцементного клінкера для часткової заміни глинистого та вапнякового компонентів.

Орієнтовну оцінку придатності золошлакових відходів для використання їх як компонентів сировинної суміші визначають за значенням умовного силікатного модуля  $n_y = \frac{\text{SiO}_2}{1,77\text{Al}_2\text{O}_3}$ , який повинен становити менше 1,9.

Найбільш високі техніко-економічні показники виробництва клінкера досягаються при використанні сухих зол пневмовидалення.

Деякі види золи та шлаків можна використовувати для підвищення глиноземного та зниження силікатного модуля сировинної суміші. Реакційна здатність золи та шлаку дозволяє збільшити швидкість утворення рідкої фази при випалюванні клінкера і знизити температуру клінкероутворення. Слід зазначити, що застосування золи та шлаків як сировинних компонентів клінкера обмежено внаслідок нестабільності їх складу та суттєвого вмісту сульфатів і лугів.

При виробництві клінкера із застосуванням золошлакових відходів важливим фактором є наявність в їх складі залишків невипаленого вугілля, вміст якого в середньому становить близько 10%. Це дозволяє зменшити витрати палива. При використанні 1 млн. т золи як компонента сировинної суміші витрати палива зменшуються орієнтовно на 100 тис. т.

Внаслідок того, що зола характеризується меншою водопотребою, ніж глини, використання її у складі сировинної суміші дозволяє зменшити



вологість шламу до 33...34%, зменшити витрату палива на 7...10% та збільшити потужність обертових печей.

Золи та паливні шлаки як компоненти сировинної суміші використовують як при мокрому, так й при сухому способі виробництва портландцементного клінкера. При цьому також полегшується процес грануляції сировинної суміші і гранули мають підвищену міцність. Золошлакові компоненти, що містять значну кількість вільного оксиду кальцію, можуть викликати загущення та тужавлення сировинного шламу, тому їх використовують тільки при сухому способі виробництва.

Основна частина золи застосовується як активна мінеральна добавка до портландцементу і пуцоланового (зольного) цементу. При цьому вона повинна містити не більше, %:  $\text{SiO}_2$  — 40,  $\text{SO}_3$  — 3, втрати при прожарюванні — 10. Золу-винесення вводять, як і інші активні мінеральні добавки, у кількості не більше: у портландцемент — 20%, у пуцолановий цемент — 55%.

Введення золи в цемент у кількості до 20% дещо зменшує його міцність у початковий період тверднення, на 28-му добу зменшення міцності є мінімальним, а при тривалому твердінні міцність цементів із золою часто стає більш високою, ніж без золи. Збільшення вмісту золи (більше 20%) зазвичай призводить до істотного зниження міцнісних характеристик цементу особливо у ранній період тверднення.

Позитивно впливає добавка до портландцементу золи на властивості розчинів і бетонів в умовах гідротермальної обробки. Підвищення дисперсності золи сприяє інтенсивності тверднення зольного портландцементу.

Зазвичай рекомендована витрата золи в зольних цементах становить 25...30%. При цьому зола як правило, є досить дисперсною і може не піддаватися помелу. Однак у багатьох випадках для підвищення гідратаційної активності склоподібних частинок потрібна деформація їхніх поверхневих шарів, що досягається при спільному помелі клінкеру та золи. Встановлено, що найбільш активними є частинки золи розміром 5...30 мкм.

Пластичні розчини із зольного цементу з піском складу 1:3 характеризуються зниженою водопотребою. Вони можуть перевищувати за кінцевою міцністю розчини на основі портландцементу, у випадку, коли правильно підібрані співвідношення розмірів частинок золи та клінкеру.

Зі збільшенням вмісту золи водопотреба цементів зростає, але в меншому ступені, ніж при використанні інших пуцоланових добавок. Характерно, що збільшення дисперсності золи не викликає підвищення водопотреби зольних портландцементів, а навпаки, має деяку пластифікуючу дію.

Внаслідок порівняно невеликої активності золи, застосування зольних цементів значно зменшує тепловиділення в бетоні, що є важливим чинником при використанні його в масивних спорудах. Експериментально встановлено,



що зола будь-якого типу підвищує сульфатостійкість розчинів та бетонів, особливо при використанні клінкеру з високим вмістом алюмінатів.

Введення в цемент золи зменшує його усадочні деформації при твердненні. Цей ефект тим вище, чим менше дисперсність золи. Позитивний вплив золи встановлений при підвищеному вмісті в цементі  $MgO$ , що викликає небажані об'ємні деформації при твердненні.

При використанні золи в якості активної мінеральної добавки важливе значення має її гранулометричний склад. Краще використовувати золи з підвищеною дисперсністю, вони містять менше невипалених частинок.

Тривалість тужавлення цементів із золою збільшується пропорційно її вмісту. Дисперсність золи має незначний вплив на строки тужавлення.

Добавка золи більш суттєво позитивно впливає на міцність цементу при розтягу, ніж при стиску, що підвищує тріщиностійкість розчинів та бетонів. Введення золи в цемент призводить до збільшення його сульфатостійкості.

Значний ефект досягається при введенні паливних зол у різні види спеціальних цементів. Перспективно, наприклад, використання золи для виробництва цементу, що розширюється, з уповільненими строками тужавлення. Оптимальний склад такого цементу, %: портландцемент - 55, зола електрофільтрів - 27, сиштоф (твердий залишок від одержання сульфату алюмінію з каоліну) - 9, вапно - 9. До кінця тужавлення зразки з такого цементу мають усадку, а потім вона компенсується і за одну добу повітряного тверднення розширення становить 0,206%.

Зола використовується також для виробництва тампонажного портландцементу, що має підвищену сульфатостійкість. За рекомендаціями японських вчених золу можна застосовувати для одержання швидкотверднучого цементу при обробці її розведеною сірчаною кислотою та наступним висушуванням.

Суттєвий ефект спостерігається при спільному введенні у цемент золи-винесення і добавок-суперпластифікаторів. У такий спосіб одержують в'язучі речовини низької водопотреби (ВНВ), які при високій дисперсності (питома поверхня  $4000...5000 \text{ см}^2/\text{г}$ ) характеризуються низькою нормальною густиною (16...20%) і високою міцністю (до 100 МПа). Бетони на ВНВ характеризуються інтенсивним зростанням міцності вже через кілька годин, а до 1 доби їхня міцність може досягати до 60 МПа.

Типова схема використання золи ТЕС як добавки до цементу передбачає наступні етапи: приймання золи в залізничних або автоцементовозах; перекачування її стисненим повітрям у склад силосного типу для зберігання; транспортування від складу до витратних бункерів перед млинами за допомогою пневмокамерних насосів; подачу золи у млин. Зола при питомій поверхні більш  $2500 \text{ см}^2/\text{г}$  транспортується стисненим повітрям разом з подрібненим цементом безпосередньо у цементні силоси.



Підвищення пуцоланової активності золи здійснюється за рахунок використання різних способів активації, в тому числі механічного, хімічного, термічного, а також комплексного.

*Механічна активація* золи здійснюється або окремо - шляхом її помелу в дезінтеграторах та млинах різної конструкції, або сумісним помелом золи разом з портландцементом. Другий спосіб є більш ефективним, оскільки підвищується реакційна здатність компонентів, збільшується число контактів між частинками золи та в'язучої речовини. Підвищення дисперсності сприяє зростанню пуцоланової активності золи і, як наслідок, збільшенню активності в'язучих композицій. Часто механічна активація використовується разом з хімічною, особливо при активації низькокальцієвої золи.

*Термічна активація* базується на збільшенні розчинності кремнезему та глинозему при підвищенні температури. Термічна активація здійснюється як попередня операція перед мокрим помелом золи або під час теплової обробки матеріалів, що містять золу (пропарювання, автоклавування). Подібно до механічної, термічна активація є ефективною в разі комплексного використання її разом з хімічною.

*Хімічна активація* золи передбачає протікання процесів розчинення алюмосилікатних речовин в реакційному середовищі, найчастіше лужному. Взагалі розрізняють декілька видів хімічної активації: лужну, лужноземельну та сульфатну.

*Сульфатна активація* передбачає сумісне подрібнення золи разом з сульфатними добавками (гіпсом, ангідритом або різними модифікаціями напівводного гіпсу).

*Лужноземельна активація* відбувається при отриманні пуцоланових в'язучих систем, причому для досягнення достатньої міцності композицій певне значення має хіміко-мінералогічний склад портландцементного клінкеру.

*Лужна активація* пов'язана з використанням сполук лужних металів.

Використовуючи різні способи активації золи можна поліпшити властивості золомістких в'язучих речовин.

**Безклінкерні золошлакові в'язучі.** Здатність твердіти без добавок-активаторів, як видно з табл.3.8, в умовах пропарювання при атмосферному тиску мають лише висококальцієві пилоподібні вугільні сульфатомісткі золи. В умовах автоклавної обробки (запарювання) та при наявності добавок-активаторів цю здатність здобувають низькокальцієві шлаки та золи. При запарюванні активність шлаків та зол за поглинанням  $\text{CaO}$  і міцність, що вони досягають, суттєво зростають.



Таблиця 3.8

**Властивості зол та подрібнених паливних шлаків**

Вид сировини	Міцність при стиску, МПа		Об'ємні зміни на приладі Ле-Шательє, мм			Поглинання CaO в мг/г		
	пропарю-вання при 90°C	запарю-вання при 175°C	нормальне тверднення при 20°C	пропарю-вання при 90°C	запарю-вання при 175°C	нормальне тверднення при 20°C	пропарю-вання при 90°C	запарю-вання при 175°C
Низькокальцієві шлаки CaO+MgO>10%	-	1,5	-	-	0.6	35... 75	150... 180	200
Надкислі шлаки CaO+MgO>10%	-	-	-	-	-	50... 75	125... 170	200... 280
Висококальцієві пилоподібні золи CaO>20%	5...7	8...10	4	6	10	-	-	-
Вугільні сульфатомісткі золи	2,5... 3,5	3,5... 5,6	2	5	12	-	-	-
Низькокальцієві пилоподібні золи CaO<20%	-	-	-	-	-	30... 50	100... 150	200

Оптимальний спосіб активації залежить від виду золошлакових матеріалів (табл.3.9).

Таблиця 3.9

**Види активації різновидів паливних шлаків і зол**

Вид шлаків і зол	Різновиди шлаків і зол	Головна характеристика за хімічним складом	Джерело одержання	Вид активації
Високо-кальцієві шлаки і пилоподібні золи	низько-сульфатні шлаки і золи	CaO>20% SO <sub>3</sub> <5%	спалювання кускового і пилоподібного палива (вугілля та торфу)	лужна, сульфатно-лужна
	сульфатні шлаки і золи	CaO>20% SO <sub>3</sub> >5%	спалювання кускового і пилоподібного сланцю	лужна залежно від кількості CaO
Низько-кальцієві шлаки і пилоподібні золи	кислі та надкислі шлаки і золи	CaO<20%	спалювання кускового і пилоподібного палива (вугілля і торфу)	сульфатно-лужна





Вид шлаків і зол	Різновиди шлаків і зол	Головна характеристика за хімічним складом	Джерело одержання	Вид активації
Гранульовані шлаки	основні	модуль основності більше 0,9, $Al_2O_3 > 5\%$	топки з рідинним шлаковидаленням	сульфатно-лужна
	кислі глиноземисті	модуль основності більше 0,6, $Al_2O_3 > 10\%$		сульфатно-лужна
	кислі кремнеземисті	модуль основності більше 0,6...0,9, $Al_2O_3 < 10\%$		сульфатно-лужна

При визначенні оптимальних складів безклінкерних золошлакових в'язучих речовин необхідно враховувати, що міцнісні характеристики затверділого золошлакового каменю не відповідають його активності за поглинанням CaO. У табл.3.10 наведені оптимальні склади золошлакових в'язучих речовин. Їхнє виробництво включає процеси сушіння шлаків або золи, подрібнення, дозування всіх компонентів та їхній спільний помел у кульових млинах. Спільний помел зол і шлаків з добавками - активізаторами підвищує активність в'язучих речовин та збільшує міцність виробів. Із золошлакових в'язучих речовин за нормальних умов твердіють лише *вапняно-зольні в'язучі* при використанні золи-винесення і *вапняно-шлакові в'язучі* при використанні гранульованих шлаків. Пропарювання розчинів і бетонів на основі зольних і шлакових в'язучих рекомендується здійснювати при 90...95<sup>0</sup>С.

При запарюванні задовільні результати за міцністю досягаються при тиску 0,8 МПа. Більш високі значення тиску водяної пари призводять до збільшення міцності матеріалів. Паропрогрівання золошлакових матеріалів може бути замінено прогріванням інфрачервоними променями і електропрогріванням.

Зі збільшенням дисперсності золошлакових в'язучих їхня міцність зростає. У найбільшій мірі підвищення питомої поверхні позначається при використанні висококальцієвих склоподібних зол і шлаків. Підвищення питомої поверхні від 1800...2000 до 3100...3500 см<sup>2</sup>/г для в'язучих із такої сировини призводить до збільшення їхньої міцності у два рази. При грубом помелі золошлакові в'язучі витримують 15...25 циклів заморожування і відтавання, зі збільшенням питомої поверхні їхня морозостійкість підвищується до 75...100 циклів.

Шлакові і зольні в'язучі речовини оптимальних складів є досить стійкими у різних середовищах. На підвищення стійкості в'язучих позитивно впливає збільшення співвідношення між вмістом оксиду кальцію та кислотних



оксидів. Позитивно позначається також добавка 10...15% портландцементу. Усадочні деформації безклінкерних в'язучих відносно близькі до відповідних показників цементу. Стабілізація усадки настає через 4...6 місяців для пропарених зразків і 3...5 місяців для запарених.

Таблиця 3.10

**Оптимальні склади безклінкерних золошлакових в'язучих речовин**

Види шлаків і зол	Орієнтований вміст за масою, %			Марка в'язучих речовин	
	шлак, зола	вапно негашене	двоводний гіпс	при пропарюванні або електропрогріві (температура 95...98 <sup>0</sup> С)	при запарюванні (температура 175 <sup>0</sup> С)
Гранульовані шлаки					
Середньокальцієві (СаО від 45 до 20%)	80 65-55	15 30-40	5 5	150-200 200-300	250-350 300-400
Низькокальцієві (СаО від 20 до 10%)	75 65-55	20 30-40	5 5	100-150 200-300	250-300 300-400
Надкислі (СаО<10%)	75 65-55	20 30-40	5 5	100-150 200-300	150-250 300-400
Пилоподібні золи					
Висококальцієві (СаО>20%)	80 55	15 40	5 5	150 150-200	200-250 250-350
Надкислі (СаО<10%)	60 55	35 40	5 5	100 100-150	200-250 250

Із безклінкерних зольних в'язучих речовин найбільш відомі вапняно-зольні гідралічні в'язучі, що одержують спільним помелом або ретельним змішуванням подрібнених окремо золи і вапна. У золі вміст невипаленого палива повинен бути мінімальним (у кам'яновугільних золах — не більше 10%, торф'яних — 5), вміст SO<sub>3</sub> не повинен перевищувати 3%, СаО і MgO, що викликають нерівномірність зміни об'єму в'язучих, — 5%. Вапно застосовують зазвичай гашене, хоча накопичено досвід застосування і негашеного вапна. Склад вапняно-зольних в'язучих речовин залежить від вмісту у золі активного оксиду кальцію і мінералів, що здатні до гідратації. Оптимальний вміст вапна в цих в'язучих становить 10...40 %, зменшуючись при збільшенні у золі вмісту вільного оксиду кальцію й активних мінералів.

Різновидами вапняно-зольної в'язучої речовини є *ТЕЦ-цемент* і *торфозольний цемент*, які одержують при спалюванні кам'яного вугілля або торфу, попередньо подрібнених разом з вапняком. При цьому у топках



відбуваються наступні процеси: вигорання органічних сполук, дегідратація й аморфізація глинистої речовини зольної складової палива з частковим її оплавленням, дисоціація кальциту з утворенням тонкодисперсного активного оксиду кальцію і взаємодією його з кислотними оксидами золи палива. Процес взаємодії повинен бути максимально повним. Значна кількість вільного оксиду кальцію викликає нерівномірність зміни об'єму.

Тонкість помелу вапняно-зольних в'язучих, як і інших вапномістких гідралічних в'язучих речовин, повинна бути такою, щоб при просіюванні крізь сито № 008 проходило не менш 90 % маси проби. Тужавлення в'язучих цієї групи повинне починатися не раніше ніж через 25 хв, а кінець — не пізніше ніж через 24 год після початку замішування водою. Тужавлення прискорюється, а також поліпшуються інші властивості в'язучих при введенні до їхнього складу гіпсу (близько 5 %) і застосуванні негашеного вапна.

На відміну від інших пуцоланових в'язучих, вапняно-зольні в'язучі мають меншу водопотребу і водоутримуючу здатність. Твердіння їх супроводжується утворенням гідроалюмосилікатів (гідрогранатів) і гідросилікатів кальцію, від співвідношення й основності яких залежить міцність в'язучих речовин. Максимальну міцність вапняно-зольним матеріалам надають низькоосновні гідросилікати кальцію. Переважне утворення гідросилікатів кальцію можна забезпечити підбором оптимального складу в'язучого, а також збільшенням температури та тривалості гідротермальної обробки. Швидкому утворенню гідросилікатів кальцію сприяє також високий ступінь помелу золи.

Марку вапняно-зольних в'язучих встановлюють так само, як і для портландцементу. Особливість випробувань полягає в тому, що зразки-балочки витримують спочатку у вологому середовищі протягом 7 діб, а потім зберігають у воді протягом 21 доби. Марки в'язучих: М50, М100, М150 і М200. Автоклавна обробка дозволяє одержати на основі вапняно-зольних в'язучих речовин бетони з міцністю 15...25 МПа.

За основними будівельно-технічними властивостями вапняно-зольні в'язучі є близькими до інших вапняно-пуцоланових в'язучих речовин. Переважною областю їхнього застосування є мурувальні та штукатурні розчини, а також виробу автоклавного тверднення. Виробництво вапняно-зольних матеріалів є економічно ефективним, тому що потребує у 2...2,5 рази менше капітальних вкладень, ніж цементне та вапняне виробництво.

Збільшення міцності вапняно-зольних в'язучих може досягатися:

- зниженням водопотреби в'язучих за допомогою пластифікуючих добавок та створенням, таким чином, більш сприятливих умов гідратації і структуроутворення;
- за допомогою хімічних добавок – прискорювачів тверднення.

В якості пластифікуючих добавок можуть бути використані добавки типу ЛСТ, С-3 й інші. Пластифікуючі добавки спочатку розчиняють у вапняному



молоці густиною 1180...1200 кг/м<sup>3</sup>, яким потім замішують суміш золи-винесення та заповнювачів. Для підвищення міцності до складу суміші вводять 30...50 кг цементу на 1 м<sup>3</sup> бетонної суміші. Активність в'язучих речовин і міцність бетонів зростає із збільшенням вмісту вапна (до 25%).

Значно більшого зростання міцності можна досягти при введенні у в'язучі речовини добавок-електролітів. При цьому поряд із прискоренням тверднення має місце й пластифікуюча дія добавок. Найбільш значний прискорюючий та пластифікуючий вплив виявляє суміш хлоридів кальцію і натрію у співвідношенні  $\text{CaCl}_2:\text{NaCl} = 2:1$ . При цьому водопотреба в'язучих на 25...30% менше, ніж у в'язучих з добавкою суперпластифікатора С-3. Солі електролітів сприяють підвищенню іонної дії рідинної фази в'язучих та зростанню рухливості іонів  $\text{OH}^-$ , підвищують розчинність вапна, чим і пояснюється зниження водопотреби і збільшення активності в'язучої речовини. Визначено, що активність вапняно-зольних в'язучих може бути суттєво підвищена при замішуванні їх лужними розчинами. Для армованих конструкцій можуть використовуватися добавки нітратів та нітритів кальцію або комплексних добавок з обмеженим вмістом хлоридів.

У розглянутих вище в'язучих речовинах відбуваються лужна та сульфатно-лужна активізація шлаків і зол. Можливі й інші способи хімічної активізації тонкодисперсних зол і подрібнених шлаків, наприклад замішуванням 3...4 %-м розчином хлориду кальцію.

Виконані за останні роки науково-дослідні роботи виявили нові перспективи у використанні золошлакових відходів гідровидалення - на їхній основі можуть бути отримані також високоефективні в'язучі речовини. Технологія одержання в'язучих на основі золошлакових відходів і вапна передбачає наступні основні операції:

- попереднє усереднення золошлакових відходів з метою стабілізації хімічного та гранулометричного складів;
- перемішування золошлакових відходів і подрібненого негашеного вапна у барабанному гомогенізаторі;
- помел гомогенізованої золошлаковапняної суміші у млинах різної конструкції із введенням оптимальної кількості напівводного гіпсу (2...5 % за масою) та суперпластифікатору.

Вологість золошлаковапняної суміші перед помелом не повинна перевищувати 1,5...2 % за масою.

Метою спільного помелу сухої суміші є руйнування склоподібної оболонки навколо зерен золи і розкриття активних поверхонь, а також забезпечення більш високого ступеня гомогенізації всіх складових одержуваного в'язучого. При цьому фактором, що визначає основні властивості кінцевого матеріалу, є механохімічна обробка в'язучих при спільному помелі всіх його складових. Питома поверхня в'язучої речовини повинна знаходитися у межах 5000—7000 см<sup>2</sup>/г.



При дотриманні всіх технологічних параметрів процесу одержання в'яжучих нормальна густина тіста дорівнює 22...24 %, що сприяє досягненню досить високої щільності штучного каменю. Це, у свою чергу, забезпечує одержання в'яжучих активністю 35...42 МПа при тепловологісній обробці зразків складу 1:3 (в'яжуча речовина : стандартний кварцовий пісок). Подальше підвищення дисперсності в'яжучих супроводжується зниженням міцності зразків, що пов'язано із зростанням водопотреби.

Встановлено принципову можливість та розроблено технологію одержання малоклінкерних гідравлічних композиційних в'яжучих речовин, які вміщують до 80...90% відходів, нездатних до самостійного тверднення. До таких в'яжучих відноситься *золосульфатна в'яжуча речовина*. До сульфатомістких матеріалів техногенного походження відносяться крупнотонажні відходи хімічної промисловості, а також продукти газоочищення, що одержують на ТЕЦ при уловлюванні оксидів сірки за допомогою вапна.

Визначено склади малоклінкерних гідравлічних в'яжучих, які залежно від вмісту портландцементу та співвідношення між компонентами у віці 28 діб після тепловологісної обробки мають міцність 10...50 МПа, коефіцієнт водостійкості 0,75...1 та строки тужавлення, що характерні для портландцементів із мінеральними добавками.

Проведені дослідження показали, що однією з важливих характеристик зол, що визначають формування міцності в'яжучих як у початковий, так і в наступні періоди тверднення, є алюмозалізістий модуль  $K$ , що представляє собою відношення сумарного вмісту оксидів алюмінію та заліза до вмісту оксиду силіцію:

$$K = \frac{Al_2O_3 + Fe_2O_3}{SiO_2} \quad (3.2)$$

Для виготовлення золосульфатних в'яжучих найбільш доцільно використовувати кислі золи, що мають коефіцієнт  $K$  від 0,6 до 0,8.

Розроблену в'яжучу речовину рекомендується використовувати для виробництва будівельних розчинів, середньо- і дрібнорозмірних стінових матеріалів із щільних та ніздрюватих бетонів для малоповерхового будівництва різного призначення.

Деякі види зол, особливо такі, що отримані при спалюванні горючих сланців, у тонкодисперсному стані виявляють здатність до самостійного тверднення внаслідок гідратації силікатів і алюмінатів й інших мінералів, які утворюються у процесі випалювання мінеральної частини сланців. Сланцеві золи характеризуються нестабільними якісними характеристиками, тому їх доцільно сепарувати на окремі фракції.

Для виробництва місцевих *сланцезольних в'яжучих* застосовують дрібні та дуже дрібні фракції, розмір зерен яких не перевищує 30 мкм. Питома поверхня дрібних фракцій досягає 2500 см<sup>2</sup>/г, а дуже дрібних — до 5000





см<sup>2</sup>/г. З підвищенням дисперсності у золі зменшується вміст вільного оксиду кальцію, знижується водопотреба та зростає гідравлічна активність, що досягає при стандартному випробуванні у пластичних розчинах 20 МПа. Гідравлічна активність сланцевої золи залежить також від вмісту і складу склоподібної фази, що утворюється з розплаву при спалюванні сланцю. Більшою є активність золи з великим вмістом глинозему та кремнезему у склоподібній фазі. При звичайних температурах сланцезольні в'язучі твердіють повільно і співвідношення міцності на 7 добу тверднення до міцності у віці 28 діб для них складає 0,15...0,3. Прискорити процес тверднення можна шляхом підвищення температури середовища та введенням добавки цементного клінкеру. При значному вмісті у сланцевій золі вільного СаО підвищення активності й усунення нерівномірності зміни об'єму можна досягти введенням у золу до 20 % кислих гідравлічних добавок.

**Зололужні в'язучі.** Можливість використання дисперсних зол-винесення як алюмосилікатного компонента лужних в'язучих речовин була встановлена у роботах В.Д.Глуховського. На основі лужних компонентів – їдких натру та калію – отримані в'язучі активністю до 50 МПа. Висока вартість і дефіцитність технічних їдких лугів перешкоджає впровадженню цих в'язучих у виробництво.

Для одержання зололужних в'язучих на більш доступних лужних компонентах (сода, содовий плав, рідинне скло) були запропоновані способи, що передбачають спільний помел золи або золошлакових сумішей з вапном або металургійними шлаками та портландцементним клінкером. При замішуванні розчином лужного компонента ці добавки утворюють їдкий натр, що забезпечує гідратацію та твердіння золи. Однак, незважаючи на використання готового дисперсного продукту – золи-винесення, для виготовлення даних в'язучих необхідний помел суміші компонентів, що у багатьох випадках обмежує можливості впровадження у виробництво.

Проведені також дослідження лужних в'язучих на основі широко розповсюджених алюмосилікатних відходів: виробництва мінеральної вати (плавленого базальту) та ваграночних гранульованих шлаків. З метою збільшення основності алюмосилікатного компонента і підвищення активності в'язучого у деякі його склади додавали добавки вапна і цементного клінкеру. Результати визначення активності зололужних в'язучих наведені у табл.3.11.

Активність в'язучих на содовому плаві або содосульфатній суміші може бути значно збільшена шляхом спеціальної обробки лужного замішувача – каустифікації. Каустифікований содовий плав або каустифіковану содосульфатну суміш одержують наступним способом: спочатку у підготовчому бункері-реакторі розчиняють содовий плав (або содосульфатну суміш), потім у цей розчин додають грудкове або подрібнене негашене вапно при постійному перемішуванні до одержання однорідної суспензії. Сутність



процесу каустифікації полягає в одержанні їдкого натру із соди або сульфату натрію та вапна в результаті відповідної хімічної реакції.

Таблиця 3.11

**Склад та характеристики зололужних в'язучих**

Витрати компонентів				Активність в'язучих, МПа	
Лужний компонент		Добавка			
Вид	Витрата, л/м <sup>3</sup>	Вид	Витрата, кг/м <sup>3</sup>	Після пропарювання	Після 28 діб нормального тверднення
Їдкий натр	150	-	-	42,0	40,6
Їдкий натр	150	-	-	14,0	13,7
Метасилікат натрію	150	-	-	8,7	-
Метасилікат натрію	150	вапно	30	32,1	17,7
Дисилікат натрію	150	-	-	6,7	-
Содовий плав	150	вапно	100	21,2	10,3
Содосульфатна суміш	150	вапно	100	19,7	10,1

Зололужні в'язучі можна використовувати для виготовлення важких, легких та ніздрюватих бетонів. Міцність бетонів зростає при збільшенні вмісту вапна і солей лужних металів у складі в'язучих (до 14%) і зниженні водозольного відношення. Міцність пропарених зразків досягає 40 МПа і більше та продовжує зростати при їхньому зберіганні у воді.

Зололужні бетони мають досить високу стійкість до різних видів хімічної корозії у водному середовищі. Для запобігання утворенню висолів у виробів, що піддаються періодичному зволоженню, їхню поверхню обробляють гідрофобними сполуками.

Раціональна галузь застосування безклінкерних шлакозольних в'язучих, що включають шлаколужні в'язучі речовини – це бетони, які тверднуть при пропарюванні та в умовах автоклавної обробки. Із таких бетонів можна виготовляти стінові, фундаментні блоки, конструкції для різних елементів будинків і споруд. Їх можна застосовувати також при зведенні підземних та підводних споруд, що піддаються впливу прісних та сульфатних вод. Шлакозольні в'язучі, що тверднуть при нормальних температурах, можна використовувати у розчинах для мурування і штукатурки, а також у низькомарочних бетонах. Цей вид в'язучих речовин не рекомендується застосовувати при зниженій температурі навколишнього середовища, у конструкціях, що піддаються висиханню та зволоженню, багаторазовому заморожуванню та відтаванню.



### 3.4. БУДІВЕЛЬНІ РОЗЧИНИ ТА БЕТОНИ З ВИКОРИСТАННЯМ ЗОЛОШЛАКОВИХ ВІДХОДІВ

**Будівельні розчини.** Зола у складі будівельних розчинів виконує функцію мінеральної добавки, мікронаповнювача та дрібного заповнювача. Вона покращує пластичність і водоутримуючу здатність розчинових сумішей, а також експлуатаційні властивості затверділих розчинів. У складі будівельних розчинів застосовують як суху золу-винесення, так і золу гідровидалення. При застосуванні тонкодисперсної золи, що відібрана з електрофільтрів, істотно знижується витрата в'язучих. Зола як добавку раціонально вводити при отриманні ефективних розчинів для кам'яної кладки і зведення стін із великорозмірних елементів. Проте розчини з добавкою золи не слід застосовувати в зимовий час у зв'язку зі сповільненням їх твердіння при низьких температурах.

Зола для використання в складі мурувальних розчинів повинна відповідати наступним вимогам: втрати при прожарюванні антрацитової золи повинні становити не більше 15%, кам'яновугільної – 5%, вміст сірчаних сполук в перерахунку на  $SO_3$  не повинен перевищувати 3 %, залишок на ситі № 008 - 15%.

Рекомендована кількість золи у складі цементних розчинів становить 100...200 кг/м<sup>3</sup>, при цьому в малоцементних (жорстких) розчинах вона складає 80...125 % від маси цементу, в пластичних — 40...50 %. Тонкодисперсну золу-винесення можна без додаткового подрібнення додавати замість частини цементу і піску до складу розчинових сумішей, крупнодисперсну - замість частини піску без зміни витрати цементу.

Введення золи-винесення до складу цементних розчинів сприяє поліпшенню легкоукладальності розчинової суміші. Перевитрати цементу при повній заміні піску золою можна уникнути, застосовуючи в невеликій кількості добавку вапняного тіста.

При повній заміні піску золою в 2...3 рази підвищуються деформації усадки з часом та деформації при поперемінному зволоженні порівняно з цементно-піщаними розчинами.

При введенні золи-винесення можна зекономити до 30...50 кг цементу і 40...70 кг вапняного тіста на 1 м<sup>3</sup> розчину без погіршення легкоукладальності та міцності. Цементно-вапняно-зольні розчини характеризуються достатньо низькою розшаровуваністю. Застосовують їх так само, як і бездобавочні розчини, в основному для мурування надземних частин будівель.

Застосування золи-винесення у складі вапняних розчинів дозволяє зменшити на 50% витрату вапняного тіста без втрати міцності і погіршення інших властивостей. При заміні 50% вапна подвоєною (за масою) кількістю золи-винесення можна не тільки зменшити витрату вапна, але й підвищити міцність будівельного розчину до марки М25 і вище.



Технологія приготування розчинів з добавкою золи складається з дозування вихідних компонентів за масою і перемішування їх в розчинозмішувачах протягом 3...5 хв до отримання однорідної суміші.

Золу можна використовувати і в складі оздоблювальних розчинів. Наприклад, для шпатлювання внутрішніх поверхонь застосовують гіпсове тісто із сповільнювачем тужавлення. Заміна золою 30...50% гіпсу не тільки не погіршує якість цієї шпатлівки, але навіть декілька скорочує витрату сповільнювача.

Золу застосовують також в цементних монтажних розчинах для заповнення тріщин в залізобетонних конструкціях, в тому числі і масивних. При цьому визначальне значення мають здатність до перекачування розчинових сумішей, їх зв'язність, стабільність властивостей в часі, зменшення водовідділення і сегрегації (розшарування).

**Бетони з добавкою золи-винесення.** Зола у складі бетонної суміші виконує роль не тільки активної мінеральної добавки, що збільшує кількість в'язучої речовини, але й мікронаповнювача, який поліпшує гранулометричний склад піску і активно впливає на процеси структуроутворення бетону.

Діючі нормативні документи дозволяють застосовувати золу-винесення як добавку для виготовлення бетонів збірних і монолітних конструкцій будівель і споруд, крім спеціальних бетонів для зведення конструкцій, які експлуатуються в середньо- та сильно агресивних середовищах. Зола-винесення не рекомендується застосовувати в попередньо напруженому бетоні, армованому термічно зміцненою арматурою.

Вимоги до золи-винесення, яку застосовують як компонент для виготовлення важких, легких та ніздрюватих бетонів та будівельних розчинів, а також тонкомеленої добавки жаростійкого бетону наведені у стандарті (ГОСТ 25818-91), згідно якому золу залежно від хімічного складу поділяють на типи: кислу (К) – антрацитову, кам'яновугільну та буровугільну, що містить CaO до 10%; та основну (О) - буровугільну, що містить CaO більше 10%.

Залежно від показників якості золу поділяють на 4 види: I — для залізобетонних конструкцій і виробів із важкого і легкого бетонів; II — для бетонних конструкцій і виробів із важкого і легкого бетонів, будівельних розчинів; III—для виробів і конструкцій із ніздрюватого бетону; IV - для бетонних і залізобетонних конструкцій, які працюють у надважких умовах (гідротехнічні споруди, дороги, аеродроми та ін.).

Основними показниками, за якими визначають придатність золи до використання при виготовленні бетонів різного призначення, є: вміст оксиду CaO не більше 10%, в тому числі вільного оксиду CaO – не більше 5%, вміст оксиду MgO - до 5%, сірчаних сполук у перерахунку на SO<sub>3</sub> не більше 3...6%; вміст лужних оксидів – від 1,5 до 3%, втрати при прожарюванні від 3 до 25%, питома поверхня золи – не менше 1500...3000 см<sup>2</sup>/г та залишок на





ситі №008 – від 15 до 30%. Коливання показників залежать від виду золи і характеристики вихідного палива.

Вимоги до золи, як активної мінеральної добавки до бетону, обумовлені її впливом на процеси твердіння і структуроутворення штучного каменю. Гідралічна активність золи, як і інших речовин пуцоланового типу, значною мірою обумовлена хімічною взаємодією алюмосилікатної складової золи з гідроксидом кальцію, який виникає при гідролізі клінкерних мінералів, з утворенням гидросилікатів та гидроалюмінатів кальцію. Ступінь гідратації золи збільшується з підвищенням вмісту склофази в її складі, оскільки кристалічна фаза є практично інертною. Хімічна активність золи безпосередньо пов'язана також зі ступенем її дисперсності. Згідно сучасним уявленням міцність бетонів з добавкою золи залежить від товщини поверхневого шару зольної частинки, що бере участь в хімічних процесах. Позитивному впливу золи на структуроутворення бетону сприяє також здатність дрібнодисперсних частинок золи виконувати роль своєрідної підложки для кристалізації новоутворень, що в свою чергу прискорює процес твердіння цементу.

Золомісткі бетонні суміші порівняно з бездобавочними характеризуються кращою легкоукладальністю, більшою зв'язністю, меншим водовідділенням і розшаруванням, піддаються транспортуванню насосами, мають достатньо високу життєздатність, придатні для транспортування на дальні відстані. Заміщення частини цементу золою приводить до зменшення деформацій усадки бетону, що виявляється при зниженні водопотреби бетонної суміші. Зменшення усадки пояснюється також тим, що зола адсорбує з цементу розчинні луги і утворює стійкі, нерозчинні алюмосилікати.

При високій дисперсності золи і незначному вмісті в ній невипалених вуглецевих частинок легкоукладальність суміші підвищується. Пластифікуючий ефект золи підвищується при наявності в бетонній суміші дрібного заповнювача з недостатньою кількістю дрібних фракцій.

Підвищення дисперсності золи з одночасним зниженням її водопотреби може досягатись відбором її з електрофільтрів або помелом для руйнування органомінеральних агрегатів, що входять до складу золи.

Вплив золи на міцність бетону залежить від її властивостей і дисперсності, кількості і хіміко-мінералогічного складу цементу, умов обробки і віку бетону.

Визначено позитивний вплив підвищення дисперсності золи на міцність бетону. Встановлено, що активність золи істотно підвищується при доведенні розмірів її частинок до 5...30 мкм. На показники міцності бетонів істотно впливає відповідність між гранулометричним складом золи і тонкістю помелу клінкеру при змішуванні їх після окремого подрібнення. Найбільший вплив підвищення дисперсності золи має на міцність бетону в ранньому віці.

Найбільш ефективними активними добавками для бетонів є тонкодисперсні кислі золи, які не мають в'язучих властивостей, але їх





активність проявляється в процесі гідратації та взаємодії з новоутвореннями гідратованого цементу. Залежно від цієї характеристики по відношенню до конкретного виду цементу, водопотреби і легкоукладальності бетонної суміші, умов і тривалості твердіння вдається істотно скоротити витрату цементу. Найбільш стабільна економія цементу досягається при використанні сухої золи-винесення.

Додавання золи до складу штучного каменю, що твердіє в умовах тепловологісної обробки, сприяє зростанню міцності при згині, в'язкості руйнування і підвищенню тріщиностійкості. При твердінні золомістких композицій в умовах тепловологісної обробки вже на початку гідратації зола починає проявляти в'язучі властивості, а пізніше негідратовані зерна золи виконують функції наповнювача і заповнювача, що сприяє утворенню каменя достатньої міцності.

Для забезпечення якості виробів на основі золомістких композицій, важливим є визначення кількості золи в їх складі, що позитивно впливає на показники міцності та довговічності. Оптимальним вважається вміст золи в складі бетонів: після пропарювання — близько  $150 \text{ кг/м}^3$ ; нормального твердіння —  $100 \text{ кг/м}^3$ . Наприклад, додавання  $150 \text{ кг}$  золи-винесення на  $1 \text{ м}^3$  важкого бетону класів В7,5...В30 дозволяє заощадити  $40\text{...}80 \text{ кг}$  цементу. Застосування золи в складі бетону, що твердіє в умовах ТВО, дозволяє зекономити до  $25\%$  цементу.

Існує значний практичний досвід застосування золи-винесення в складі гідротехнічних бетонів. На цей час доведена ефективність заміни  $25\text{...}30\%$  портландцементу на золу-винесення для бетонів внутрішніх зон масивних гідротехнічних споруд і  $15\text{...}20\%$  для бетону в підводних частинах споруд. У ряді випадків є доцільним збільшення вмісту золи-винесення в складі гідротехнічного бетону до  $50\text{...}60\%$  від маси цементу. При заміні золою до  $40\%$  цементу у разі їх сумісного помелу міцність бетону після 28 діб твердіння незначно знижується, а через 60 діб практично дорівнює міцності бетону без добавки.

Зола сприяє підвищенню сульфатостійкості цементних бетонів так само, як і інші активні мінеральні добавки. Результати 10-річних випробувань показали, що бетон на основі зольного цементу, є більш стійким до дії морської води навіть порівняно з бетоном на шлакопортландцементі. Найбільшою сульфатостійкістю відрізняється бетон з використанням портландцементу з високим вмістом  $\text{C}_3\text{A}$  і при додаванні золи з найбільшою кількістю  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ , тобто найбільш кислої за хімічним складом. Незначно впливає добавка золи на підвищення стійкості бетону до дії кислотних та магнезійних агресивних середовищ.

У сучасному будівництві зола-винесення широко застосовується у виробництві збірних залізобетонних конструкцій. При цьому суху золу вводять до складу бетону класів В7.5...В40 в кількості до  $20\text{...}30\%$  від маси



цементу. Проте при надмірному вмісті золи можливе спучування (деформація) поверхні пропарених виробів.

Підбір складів бетону з добавкою золи полягає у визначенні такого співвідношення компонентів, при якому необхідні властивості бетонної суміші і бетону досягаються при мінімальній витраті цементу. Зменшення витрати цементу при додаванні золи-винесення є доцільним при підвищеній марці цементу, який використовується. При застосуванні золи ТЕС допускається зниження мінімальної норми витрати цементу для неармованих бетонних виробів до  $150 \text{ кг/м}^3$ , а для армованих залізобетонних — до  $180 \text{ кг/м}^3$ . Сумарна витрата цементу і золи при цьому повинна становити відповідно не менше 200 і  $220 \text{ кг/м}^3$ .

Запропоновано методику підбору складів бетону, що враховує коефіцієнт ефективності використання цементу при застосуванні золи ТЕС ( $K_e$ ):

$$K_e = R_{ct} / Ц, \quad (3.3)$$

де  $R_{ct}$  — міцність бетону при стиску у заданому віці, МПа;  $Ц$  — витрата цементу,  $\text{кг/м}^3$ .

Значення коефіцієнту ефективності  $K_e$  визначається емпіричним шляхом.

Для одержання бетонів рівної міцності при обраному складі змішаного в'язучого витрати компонентів складають:

цементу -

$$Ц = R_{ct} / K_e, \quad (3.4)$$

золи-винесення -

$$З = (Ц m_3) / (100 - m_3), \quad (3.5)$$

де  $m_3$  — масова частка золи-винесення у змішаному в'язучому.

Введення золи-винесення в оптимальній кількості не підвищує водопотреби бетонних сумішей, що пояснюється оплавленою поверхнею та відносно правильною формою зерен. При високій дисперсності золи і незначному вмісті у ній невипаленого вугілля легкоукладальність суміші підвищується.

Ряд дослідників вважає, що кулеподібні частинки золи можна розглядати як своєрідний “кулькоколоверт” у суміші, вони аналогічно бульбашкам повітря при використанні повітрявтягувальних добавок створюють пластифікуючу дію на бетонну суміш.

Підвищення дисперсності зол та зниження їхньої водопотреби можна досягнути їх відбором з останніх полів електрофільтрів або помелом, що руйнує присутні у них органомінеральні агрегати.

Пластифікуюча та водоутримуюча здатність золи обумовлює перспективність її застосування у литих бетонах.

Вплив золи на міцність бетону залежить від її властивостей і дисперсності, вмісту і хіміко-мінералогічного складу цементу, віку й умов обробки бетону. Для оцінки впливу золи на міцність бетону введено поняття її “цементуючої ефективності”, що характеризується коефіцієнтом  $K_{ц.е.}$ . При



прогнозуванні міцності бетону запропоновано знаходити "приведене цементно-водне відношення"  $(Ц/В)_{пр}$  за формулою:

$$(Ц/В)_{пр} = \frac{Ц + K_{ц.е} D_з}{В}, \quad (3.6)$$

де  $Ц$  – витрата цементу у золомісткому бетоні,  $кг/м^3$ ,  $В$  – витрата води,  $кг/м^3$ ,  $D_з$  – витрата золи,  $кг/м^3$ .

"Цементуюча ефективність" золи-винесення характеризує кількість цементу у  $кг$ , що замінюється без зниження міцності бетону одним  $кг$  золи. Встановлено, що подібно відомому у технології бетону правилу цементно-водного (або водоцементного) відношення, що встановлює однозначний зв'язок даного параметру з міцністю бетону, є дійсним правило "приведеного  $Ц/В$ ".

Після визначення показника  $(Ц/В)_{пр}$  та оптимального вмісту золи із відомим значенням  $K_{ц.е}$ , можна знайти необхідне  $Ц/В$  золомістких бетонів і проектувати їхні склади.

Позитивний вплив на міцність золомістких бетонів чинять добавки-пластифікатори, які сприяють зменшенню водопотреби бетонної суміші і підвищенню якості штучного каменю. Додавання до бетону добавок-прискорювачів твердіння може підвищувати міцність каменю на 7 добу на 18...25%, а на 28 дібу – на 10...15%.

При використанні золи разом із реакційноздатними заповнювачами, що містять опал, халцедон, кременисті сланці, вулканічні туфи тощо, слід обмежувати кількість лугів у складі золомісткого цементу: максимально допустимий вміст лужних оксидів становить до 1,5%. В той же час ряд досліджень показали, що заміна цементу усіма видами золи зменшує взаємодію між лугами і заповнювачами.

Зниження витрат цементу при введенні в бетонну суміш золи приводить до зменшення тепловиділення бетону та його розігрівання в початковий період. При використанні золи-винесення спостерігається зменшення екзотермії бетону при твердінні на 28 добу приблизно на 50%.

Зола, як і інші активні мінеральні добавки, при помірному вмісті в бетонній суміші, підвищує водонепроникність бетону. Це пояснюється підвищенням щільності бетону. Значно підвищує водонепроникність бетону введення до його складу повітрявтягувальної добавки і прискорювачів твердіння. Водонепроникність бетону в цьому випадку зростає і у віці 28 діб досягає  $W12$ .

Випробування бетонів при дії статичних навантажень показали, що добавка золи значно знижує повзучість бетону. При введенні добавок ПАР деформації повзучості золомістких бетонів мало відрізняються від деформацій бетонів без золи. Після випробувань бетону з пластифікатором ЛСТ протягом 300 діб повзучість за відсутності добавок золи становила  $59,2 \cdot 10^{-5}$  а при наявності золи в кількості 20% -  $59,5 \cdot 10^{-5}$ .



Зола знижує коефіцієнт лінійного температурного розширення розчинового компонента бетону в повітряно-сухому стані, наближаючи його до значень, які характерні для заповнювачів. Так, при температурі  $20^{\circ}\text{C}$  коефіцієнт лінійного розширення для звичайних розчинів дорівнює  $8,8 \cdot 10^{-6}$ , розчинів з 25% золи і добавкою ПАР –  $5,8 \cdot 10^{-6}$ , граніту –  $3,8 \cdot 10^{-6}$ . Ці дані показують, що введення золи в бетон може підвищувати його термічну тріщиностійкість в умовах нагрівання і охолодження.

Накопичено певний позитивний досвід застосування рухомих золомістких бетонних сумішей при отриманні монолітних тонкостінних залізобетонних конструкцій. Отримані бетони характеризуються достатньо високими фізико-механічними властивостями, а конструкції на їх основі – високою якістю поверхні. Пластичність бетонних сумішей, завдяки введенню до їх складу золи, істотно збільшується. Зола підвищує також й водонепроникність важких бетонів на одну – дві марки.

Існуючі обмеження по вмісту золи у складі бетонної суміші пов'язані переважно з наявністю у її складі підвищеної кількості сірчаних сполук та лужних оксидів, які можуть спровокувати розвиток корозії арматури.

Добавка золи в бетон не рекомендується при проведенні робіт в осінньо-зимовий період з використанням методу "термоса", оскільки вона уповільнює твердіння бетону при низьких температурах. При будівництві в районах з жарким і сухим кліматом догляд за бетоном, що має в своєму складі золу, повинен бути тривалішим, ніж в районах з помірним кліматом.

При використанні золи в кількості, що перевищує кількість портландцементу, можуть бути отримані бетони, які зазвичай відрізняються не тільки низькою міцністю, але й погіршеною морозостійкістю. Ступінь зниження морозостійкості бетонів при введенні до їх складу золи залежить від багатьох факторів, в тому числі від її неоднорідності. Значне підвищення морозостійкості, та інших експлуатаційних характеристик золонаповнених бетонів, досягається при введенні спеціальних добавок, в тому числі пластифікуючих, з використанням яких можуть бути отримані досить ефективні різновиди бетонів, в тому числі :

- низькоенергоємні з низьким тепловиділенням (при використанні портландцементу до  $150 \text{ кг на } 1 \text{ м}^3$  бетонної суміші);
- високоміцні ( з високим модулем пружності), границя міцності при стиску яких на 3 добу становить  $10 \dots 15 \text{ МПа}$ , а на 28 –  $40 \text{ МПа}$ ;
- довговічні та стійкі до дії зовнішнього середовища.

До негативних наслідків введення золи в бетонну суміш можна віднести зниження стійкості до стирання і кавітації.

На основі зольних пуцоланових портландцементів, науковою школою КНУБА розроблені пластифіковані бетони, що мають наступні експлуатаційні властивості: міцність на стиск після 3 діб тверднення від 22 до  $26,3 \text{ МПа}$ ; міцність на стиск після 28 діб –  $49 \dots 51 \text{ МПа}$ ; марка за водонепроникністю  $W2 \dots W4$ ; модуль пружності на стиск та розтяг ( $37,5 \dots$





$43,4) \cdot 10^{-3}$  МПа. Використання до 40...55 % золи в складі пуцоланових в'язучих, модифікованих акриловими суперпластифікаторами, дозволяє отримувати бетони з поліпшеними експлуатаційними властивостями, які можуть бути широко використані у будівництві. Використання пуцоланових зольних цементів забезпечує ефективну пасивацію металеві арматури у бетоні як у проектному віці, так і після 5 місяців експлуатації.

Ефективні золонаповнені бетони також можуть бути отримані на основі золоцементних композицій, модифікованих сульфатними добавками. Сумісне використання хімічної та механічної активації разом з додаванням пластифікуючих добавок дозволяє ефективно застосовувати як кислі золи-винесення, так і золи гідровидалення, отримуючи бетони, які за своїми експлуатаційними властивостями не поступаються властивостям бетонів на основі бездобавочних портландцементів.

Встановлено, що модифікація золоцементних в'язучих речовин, сульфатними добавками з додаванням суперпластифікатора, сприяє утворенню більшої кількості гідратних фаз (етрингіт, низькоосновні гідросилікати кальцію, гідрогранати), здатних до формування щільної структури цементного каменю.

На базі запропонованих золоцементних в'язучих речовин з підвищеним вмістом золи (до 65%) розроблені склади бетонних сумішей, що забезпечують отримання бетонів класу В40, пористість яких не перевищує 4%, а водопоглинання становить до 5%. Розроблені матеріали відрізняються досить високою корозійною стійкістю у розчинах сульфату магнію та сульфату натрію. Значення коефіцієнтів корозійної стійкості золонаповнених бетонів  $K_c = 1,22 \dots 2,29$  суттєво перевищують показники корозійної стійкості бетонів на основі сульфатостійких портландцементів ( $K_c = 0,78 \dots 1,22$ ) та бетонів на основі шлаколуужних в'язучих речовин ( $K_c = 0,91 \dots 1,4$ ).

Розроблені бетони класів В35 і вище з використанням зололуужних в'язучих, модифікованих штучними цеолітами, синтезованими на основі золи гідровидалення, які характеризуються пористістю до 3,5% і водопоглинанням до 5%. Приріст міцності таких бетонів у віці 7 діб відповідно становить 8%, 28 діб – 61%, 90 діб – 55%, значення міцності при стиску 28, 46 та 55 МПа. Отримані бетони є корозійностійкими в середовищах морської води та сульфату натрію.

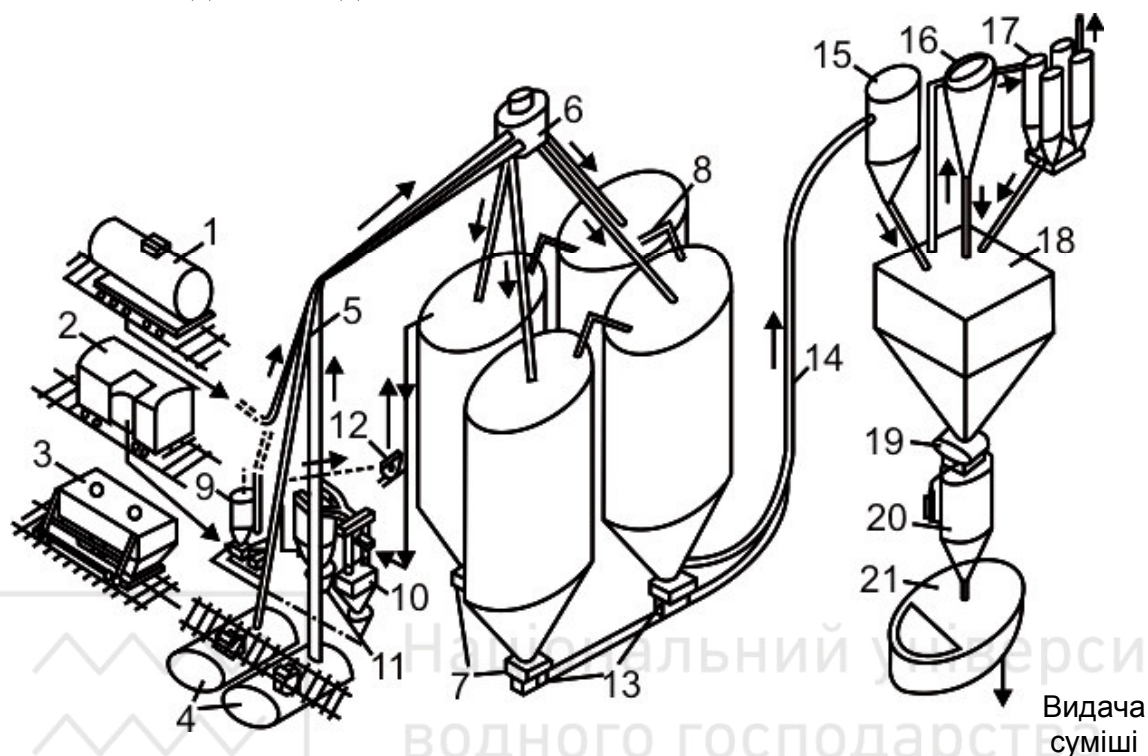
Типова технологічна лінія виробництва бетонної суміші з добавкою золи-винесення (рис.3.8) включає приймальний пристрій, склад, витратний бункер і дозатор. Зола доставляють залізничним транспортом у вагонах типу "Хоппер". Можлива її доставка і іншими спеціальними транспортними засобами.

Після розвантаження золи стиснуте повітря подається в бункер для аерування і створення необхідного тиску, а також у відділення змішування для утворення повітряного середовища певної концентрації. Розпушена стислим повітрям аерована зола надходить у змішувальну камеру, звідки по





транспортному трубопроводу подається на склад. Робочий тиск стислого повітря на вході трубопроводу пневмосистеми залежить від кількості золи-винесення і відстані подачі.



**Рис. 3.8.** Схема введення золи-винесення до бетонної суміші:

1 — залізнична цистерна; 2 — напіввагон; 3 — вагон типу "Хоппер";  
4 — приймальний пристрій; 5, 14 — трубопроводи; 6 — розподілюючий пристрій сипких матеріалів; 7 — донний пневморозвантажувач; 8 — силосні банки; 9 — пневморазвантажувач; 10, 11 — група циклонів з пилозбірниками; 12 — вентилятор; 13 — насос; 15 — бункер-осаджувач; 16 — циклон; 17 — блок мультициклонів; 18 — витратний бункер; 19 — пристрій для порційного подавання золи-винесення; 20 — дозатор; 21 — бетонозмішувач

За допомогою розподільного пристрою, що входить в комплект установки, золу-винесення розподіляють по силосах. Для очищення повітря, що виходить з силосів, передбачені фільтри і циклони, під якими встановлені пилозбірники. Пил відсмоктується і транспортується на склад. За допомогою струменевих або камерних насосів зола подається в бункер-осаджувач, встановлений в надбункерному відділенні бетонозмішувального вузла, а потім у витратні бункери.

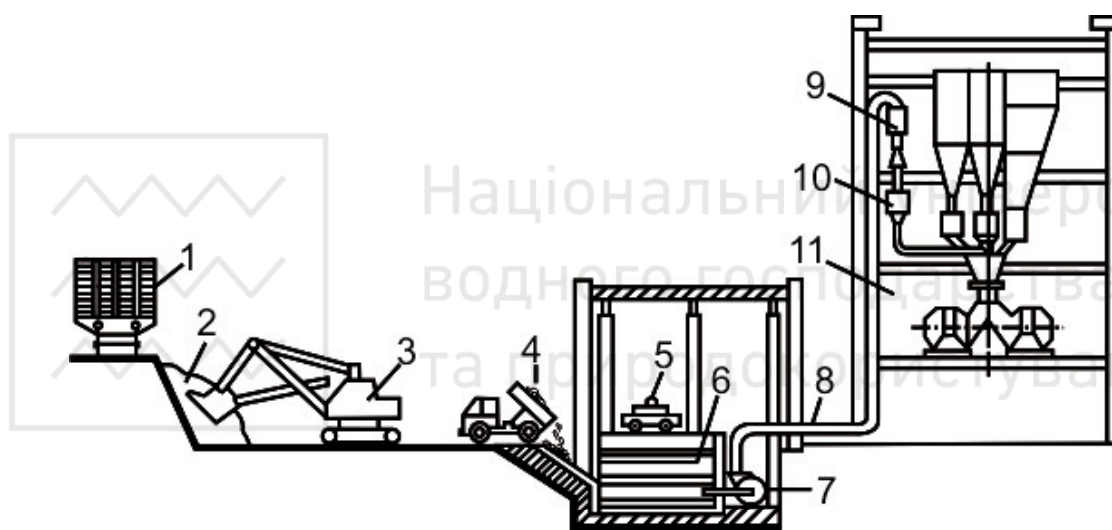
Механізми тракту подачі золи вимикаються автоматично по сигналу показника рівня, встановленого у витратному бункері. Зола разом з повітрям потрапляє в циклони, де суміш повторно очищається і осідає. З дозатора зола подається безпосередньо в бетонозмішувач. Повітря, що поступає в приймальний пристрій і струменевий насос, проходить очищення від масла та води. При використанні неочищеного повітря зола налипає на стінки трубопроводів і вся система виходить з ладу.



**Ніздрюваті бетони.** У виробництві ніздрюватих бетонів золи і подрібнені шлаки можуть застосовуватись як основні компоненти в'язучих і як кремнеземисті добавки. Найбільш поширена автоклавна технологія ніздрюватих бетонів, вона сприяє збільшенню активності золошлакових в'язучих і підвищенню показників фізико-механічних властивостей будівельних виробів.

Поряд з автоклавною технологією при застосуванні золошлакових в'язучих є можливим отримання ніздрюватих бетонів в умовах пропарювання при атмосферному тиску. У композиції з портландцементом застосування високодисперсних зол і шлаків сприяє твердінню ніздрюватих бетонів і без теплової обробки.

При виробництві ніздрюватих бетонів зола і золошлакові суміші можуть використані як в сухому вигляді, так і у вигляді шламу (рис.3.9).



**Рис. 3.9.** Схема переробки золошлакової суміші та використання її при виробництві бетонної суміші:

1 — залізничний напіввагон; 2 — відкритий склад золошлакової суміші, що доставляється із відвалу; 3 — екскаватор; 4 — автосамоскид для подавання золошлакової суміші до басейну; 5 — самохідний шламозмішувач; 6 — басейн для приготування шламу; 7 — шламо-насос; 8 — шламопровід до бункеру бетонозмішувального відділення; 9 — бункер для шламу; 10 — дозатор; 11—бетонозмішувальне відділення

На основі безклінкерних і малоклінкерних в'язучих при мокрому і сухому помелі можливе отримання ніздрюватих бетонів з міцністю при стиску 8...12 МПа при середній густині 1000...1200 кг/м<sup>3</sup>, 6...9 МПа при 800...1000 кг/м<sup>3</sup>, 4...5,5 МПа при 600...700 кг/м<sup>3</sup> і 1...2,5 МПа при густині 300...500 кг/м<sup>3</sup>. Верхні значення міцності відносяться до ніздрюватих бетонів, виготовлених на основі високо- і середньокальцієвих гранульованих паливних шлаків, а



також на основі кислих гранульованих шлаків і золи-винесення з добавкою 50...75 кг/м<sup>3</sup> портландцементу.

Заміна тонкомеленого вапняно-піщаного в'язучого вапняно-шлаковим або зольним дозволяє знизити витрату вапна в 2...3 рази.

Для виробництва безавтоклавних газозолошлакових бетонів бажано застосувати цемент із підвищеним вмістом високоосновних мінералів - аліту і трикальцієвого алюмінату. При виготовленні автоклавних ніздрюватих бетонів можливе застосування цементів із низькою активністю зокрема шлакопортландцементу і пуцоланового портландцементу.

*Ніздрюватий золобетон* є різновидом ніздрюватих бетонів, в яких зола виконує роль кремнеземистого компонента. Порівняно зі звичайним кремнеземистим компонентом — меленим кварцовим піском — зола характеризується підвищеною реакційною здатністю, вимагає значно менших (а при достатній дисперсності взагалі й не вимагає) витрат на подрібнення і дозволяє отримувати ніздрюватий бетон меншої середньої густини.

Недоліками золи як кремнеземистого компонента є менший, ніж в кварцовому піску, вміст SiO<sub>2</sub>; наявність невивпаленого палива і нестабільність хімічного складу. Технологічні вимоги до золи, яку використовують для ніздрюватих бетонів, наступні: вміст склоподібних і оплавлених частинок повинен складати не менше 50 %, невивпалених частинок бурого вугілля — не більше 3 %, кам'яного — не більше 5 %; питома поверхня 3000...5000 см<sup>2</sup>/г; набухання у воді не повинне перевищувати 5 %.

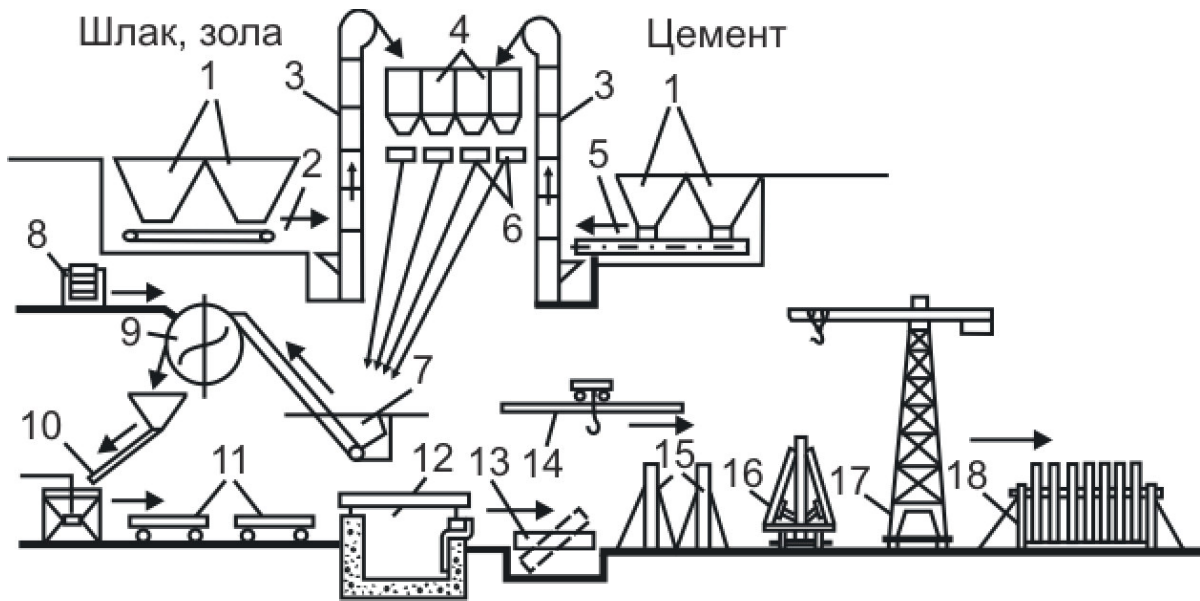
Із застосуванням золи-винесення випускають приблизно 10% загального об'єму ніздрюватобетонних виробів, причому значну частину від цієї кількості складають вироби, що виготовляються на основі сланцевої золи. Використання сланцевої золи зумовлене її хіміко-мінералогічним складом (вміст вільного оксиду кальцію — 15...25 %, клінкерних мінералів — 10...15 %, ангідриду — 7...10 %, склофази — 30... 35 %), а також комплексом технологічних прийомів, в результаті яких забезпечується гідратація вільного оксиду кальцію до початку автоклавної обробки (тонкий помел золи, литьовий спосіб формування і витримання сирцю при підвищеній температурі в умовах, що виключають великі температурні перепади). Сланцева пилоподібна зола повинна містити оксид кальцію в кількості не менше 35 %, в тому числі вільного CaO — не менше 15...25 %; існують обмеження щодо вмісту SO<sub>3</sub> - не більше 6 % і (K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O) – не більше 3 %.

Із застосуванням золи випускають газозолобетони з середньою густиною 400...1200 кг/м<sup>3</sup> у вигляді теплоізоляційних виробів, панелей, блоків і плит для зовнішніх стін, покриттів, міжповерхових перекриттів і внутрішніх перегородок (рис.3.10).

Найпоширенішим способом формування ніздрюватих золобетонів є литьовий з використанням бетонної суміші з вмістом 50...60 % води. Основними недоліками литьового формування є недостатня газоутримуюча здатність суміші; неоднорідна щільність виробів за висотою; повільне



твердіння; підвищена вологість виробів після теплової обробки і велика усадка.



**Рис. 3.10.** Схема виробництва газозолошлакобетонних виробів:

- 1 — приймальні бункери; 2 — стрічковий конвеєр; 3 — елеватор;
- 4 — витратні бункери для вапна, цементу, гіпсошлакового порошку та золи-винесення; 5 — шнек; 6 — вагові дозатори; 7 — скіповий підіймач;
- 8 — дозатор води; 9 — розчинозмішувач; 10 — газо-бетонозмішувач;
- 11 — форми-вагонетки; 12 — автоклав; 13 — обертовий стіл;
- 14 — мостовий кран; 15 — оздоблювальне відділення; 16 — візок;
- 17 — баштовий кран; 18 — склад готової продукції

Найбільш придатною для виробництва газобетону є комплексна вібраційна технологія, що дозволяє за рахунок розрідження суміші при вібрації в процесі перемішування і формування зменшити кількість води замішування на 25...30 %. При цьому порівняно з литьовим способом міцність газобетону зростає на 15...25 %, а усадочні деформації знижуються на 25...30 %. Армування ніздрюватого газобетону волокнами азбесту, мінеральної вати і іншими волокнами сприяє зниженню усадки і підвищенню тріщиностійкості бетону. Ефективним є введення до складу ніздрюватобетонних сумішей крупних пористих заповнювачів - шлакової пемзи, керамзиту, аглопориту та ін., а також застосування сумішей з добавками поверхнево-активних речовин.

Міцність при стиску ніздрюватих золобетонів складає 0,5... 15 МПа при середній густині 400...1200 кг/м<sup>3</sup>, морозостійкість – 150 циклів. Ніздрюваті золобетони на основі цементу є більш стійкими, ніж на основі вапна. Негативною особливістю золобетонів є їх здатність до високого сорбційного зволоження, що обумовлено великою мікропористістю золи. Вони відрізняються також більшою чутливістю до циклічного зволоження і висушування, ніж щільний бетон. Для захисту від агресивної дії атмосфери виробу з ніздрюватих золобетонів ізолюють різними покриттями.





Розроблено технологію отримання зололужних ніздрюватих бетонів з використанням золи-винесення і лужного компонента (рідинного скла та каустифікованого содового плаву) для влаштування теплоізоляції в цивільних та промислових будівлях. Ніздрюватий бетон виготовляють за литвювою технологією шляхом змішування компонентів і подальшого введення в суміш пороутворювача у вигляді водної суспензії алюмінієвої пудри. Для емульгування алюмінієвої пудри застосовують сульфанол, господарське мило. Швидкість спучування суміші регулюють шляхом додавання їдкового натру, а час тужавлення - добавкою вапна. Вироби із ніздрюватого бетону підлягають сушінню при температурі 60..80<sup>0</sup>С протягом 6..10 годин. Після сушіння бетони набувають водостійкості і міцність їх складає 40...60% від марочної. При зберіганні в сухих умовах міцність такого бетону зростає.

Економічна ефективність ніздрюватих золобетонів обумовлена заміною піску золою, зменшенням в 1,2... 1,5 рази витрати вапна порівняно з вапняно-піщаним бетоном і скороченням приблизно в 2 рази капітальних вкладень на добування і переробку вихідної сировини.

### **3.5. АВТОКЛАВНІ, КЕРАМІЧНІ ТА СКЛОКРИСТАЛІЧНІ ВИРОБИ НА ОСНОВІ ЗОЛ ТА ШЛАКІВ ТЕС**

Золи і шлаки ТЕС є ефективною сировиною для виготовлення силікатної цегли, зольної кераміки, мінеральної вати, скла і склокристалічних матеріалів. Можливість застосування паливних зол і шлаків у виробництві наведених матеріалів забезпечується їхньою хімічною взаємодією з вапном, дисперсністю, теплотворною здатністю, здатністю спікатися і утворювати силікатний розплав.

**Силікатна цегла.** На частку силікатної цегли припадає значна частина всього об'єму виробництва стінових матеріалів. Витрати на зведення стін із силікатної цегли складають приблизно 80% порівняно з витратами при використанні керамічної цегли. Витрата умовного палива і електроенергії на виробництво силікатної цегли в 2 рази нижче, ніж керамічної. На отримання 1 тис. шт. силікатної цегли витрачається в середньому 4,9 ГДж теплоти, половина якої приходить на випалювання вапна, а інша — на автоклавну обробку та інші технологічні операції.

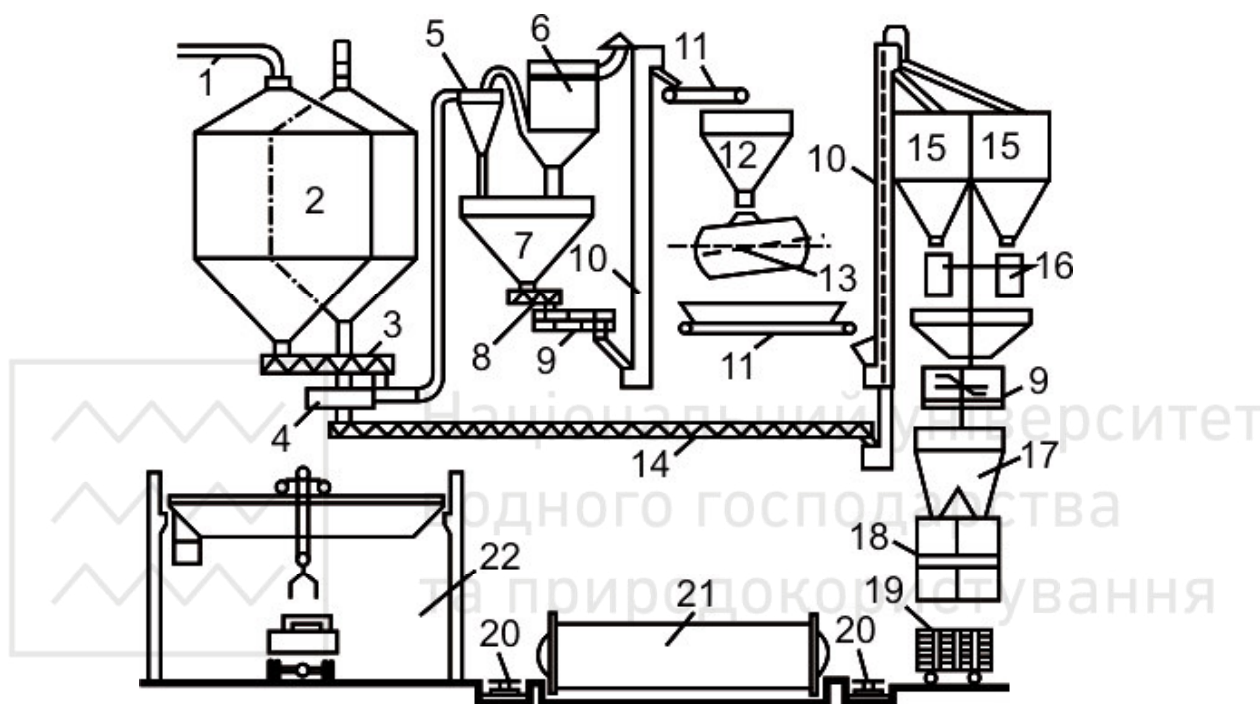
При виготовленні силікатної цегли золи і шлаки ТЕС використовують як компонент в'язучої речовини або заповнювача (рис.3.11).

У першому випадку витрата золи становить 0,5 т на 1 тис. шт. цегли, в другому — 1,5...3,5 т. Оптимальне співвідношення між вапном та золою у складі в'язучої речовини залежить від активності золи, вмісту у складі вапна активного оксиду кальцію, крупності і гранулометричного складу піску та інших технологічних чинників і може коливатися в широкому діапазоні. При введенні золи від спалювання вугілля витрата вапна знижується на 10...50 %, а сланцевої золи із вмістом (СаО+MgO) до 40...50 %, іноді навіть можна





повністю замінити вапно золю в силікатній масі. Зола у вапняно-зольній в'язучій речовині є не тільки активною кремнеземистою добавкою, але й сприяє пластифікації суміші і підвищенню міцності сирцю в 1,3...1,5 рази, що є важливим для забезпечення нормальної роботи автоматів-укладальників. Ефективність введення золи підвищується із зростанням питомої поверхні вапняно-зольної в'язучої речовини. При цьому в зольному компоненті силікатної цегли повинно міститися не більш 3...5% невивпаленого палива і не менше 10 % оплавлених частинок.



**Рис. 3.11.** Схема виробництва силікатної цегли із високо- кальцієвих зол:

1 — пневмоконвеєр; 2 — силосний склад; 3 — шнек; 4 — пневмонасос;  
5 — циклон; 6 — рукавний фільтр; 7 — витратний бункер; 8 — гвинтовий живильник; 9 — змішувач; 10 — елеватор; 11 — конвеєр; 12 — бункер;  
13 — реактор; 14 — шнек; 15 — бункер для золи та цементу;  
16 — дозатор; 17 — бункер пресу; 18 — прес; 19 — візок;  
20 — пересувний візок; 21 — автоклав; 22 — склад готової продукції

Можливо використовувати золи і шлаки антрацитового вугілля, в яких вміст невивпаленого палива складає 15...20 %. Основна маса невивпаленого палива міститься в середині частинок аморфизованої глинистої речовини, оплавленої зовні. Вміст склоподібних частинок в антрацитових золах складає 60... 80 % за масою.

Вапняно-кремнеземисті в'язучі при виробництві силікатної цегли отримують сумісним помелом грудкового негашеного вапна із золю та кварцовим піском. Сумарний вміст активних CaO і MgO в складі в'язучої речовини становить 30...40 %, питома поверхня — 400...500 м<sup>2</sup>/кг, залишок на ситі № 02 — не більше 2 %.



Міцність сирцю і готової цегли можна підвищити частковою заміною кварцового піску золошлаковими відходами, внаслідок чого поліпшується гранулометричний склад суміші. При заміні в силікатних сумішах 20...30 % кварцового піску золою міцність сирцю підвищується на 30...40 %, автоклавованого матеріалу — на 60...80 %. Ефективна також часткова заміна кварцового піску подрібненим до крупності не більше 5 мм паливним шлаком.

При заміні золою більше 30 % кварцового піску можливе погіршення формувальних властивостей суміші внаслідок залучення повітря до вапняно-зольної маси при формуванні і розшарування сирцю. Для формування вапняно-зольних сумішей револьверні преси, які використовують у виробництві силікатної цегли, замінюють колінно-важильними, які використовують для пресування керамічної цегли і вогнетривів із напівсухої маси. Такі преси створюють двобічне прикладання зусиль, що забезпечує збільшення тривалості пресування.

Оптимальний вміст золошлакових відходів у силікатній масі зростає зі збільшенням модуля крупності суміші та тривалості циклу пресування.

На пресах двосторонньої дії із подовженим циклом і підвищеним тиском при пресуванні можна формувати силікатну масу із вмістом золи до 50 %, а шлаку — до 35%. Сумарний вміст активних оксидів CaO і MgO в силікатній масі повинен складати 6...8 %, вологість— 6...10 %.

Висококальцеві і кислі золи, що містять значну кількість вільного оксиду кальцію, повинні заздалегідь гаситися парою під тиском. Золи, що не містять вільний оксид кальцію, гасіння не потребують, але при змішуванні з вапном повинні піддаватися звичайному силосуванню.

Силікатна цегла з добавками золи і паливних шлаків твердіє в автоклавах при тиску насиченої пари 0,8...1,6 МПа. Рекомендоване витримування під тиском пари складає 4...8 годин. Отриманий матеріал за показниками водо- і морозостійкості перевищує звичайну силікатну цеглу, має менші значення водопоглинання і водопроникності, кращий товарний вигляд.

Перевагою цегли із золосилікатної суміші оптимального складу є нижча, ніж у звичайної, середня густина (1700... 1800 кг/м<sup>3</sup> проти 1900...2000 кг/м<sup>3</sup>).

З використанням золи ТЕС може бути отримана *пориста силікатна цегла* з такими властивостями: середньою густиною 1250...1400 кг/м<sup>3</sup>; міцністю 10...17,5 МПа, пористістю 27...28%, морозостійкістю 15...35 циклів.

Застосування таких виробів дозволяє зменшити товщину зовнішніх стін на 20%, а масу—на 40% і істотно скоротити витрату теплоти на опалювання будівель.

Технологія виготовлення традиційних стінових матеріалів з використанням золошлакової сировини, отриманих методом напівсухого формування з подальшим випалюванням, автоклавуванням або пропарюванням, пов'язана з високою витратою енергоносіїв. Перспективним напрямком вирішення проблеми енергозбереження при виробництві стінових



матеріалів є розробка технологій з використанням високого тиску пресування до 30 МПа і вище (гіперпресування). Із сумішей, що містять портландцемент і золошлакові відходи із наявністю певної кількості тонкодисперсних фракцій (не менше 30%) є можливим при здійсненні гіперпресування отримати стінові матеріали з середньою густиною 1300...1800 кг/м<sup>3</sup> і міцністю при стиску 10...15 МПа. Вироби повинні зберігатися в умовах, що виключають випаровування вологи протягом 3...7 діб.

Високий тиск пресування збільшує сирцеву міцність, значно прискорює процес формування структури штучного каменю, впливає на кінетику фізико-хімічних процесів, що відбуваються при твердінні цементного каменю і бетону; при цьому поліпшуються фізико-механічні і гідрофізичні характеристики бетону, в результаті зниження кількості макропор за рахунок витиснення повітря, знижується витрата в'язучих, зменшуються енерговитрати внаслідок виключення теплової обробки, є можливим використання некондиційних і техногенних продуктів. Собівартість виробів на основі золошлакових відходів і цементу, що отримуються гіперпресуванням, знижується на 20...25 % порівняно з собівартістю традиційних стінових матеріалів.

**Керамічні та склокристалічні вироби.** Для отримання керамічних виробів різного призначення переважно застосовують золи та золошлакові відходи, які мають невисокі втрати при прожарюванні та відрізняються відносно сталими хімічним та мінералогічним складами. Зола в складі шихти для отримання керамічних матеріалів може бути використана як активний компонент, що приймає участь у твердофазових реакціях, а також як інертна складова, що підлягає утилізації і виконує функцію наповнювача.

Висока дисперсність та наближеність хіміко-мінералогічного складу золиннесення до глинистих порід дозволяють ефективно використовувати її як спіснювальний та паливний компоненти шихти при виготовленні цегли та керамічного каміння. Доведено, що золи характеризуються низькою гідрофільністю, внаслідок чого при їх використанні збільшується вологопровідність глини у 2 рази порівняно з дегідратованою глиною та знижується чутливість до сушіння у 3...4 рази. Наявність у складі золи оксидів алюмінію, заліза та лугів (плавнів) сприяє отриманню не тільки рідкої фази, але й направленої кристалізації сполук (муліту, фаяліту), які обумовлюють підвищення міцності виробів. Вміст у золі невипалених частинок вуглецю та лужних оксидів знижує температуру утворення рідкої фази та дозволяє зменшити витрати палива при випалюванні керамічних виробів.

Як спіснювальні добавки використовують золи, які мають мінімальний вміст залишків палива (золи від спалювання бурого вугілля), а як вигоряючі – паливомісткі золи (золи від спалювання антрациту та кам'яного вугілля). Інколи золи можна використовувати як добавки, що мають комбіновану дію, тобто є одночасно спіснювальними та вигоряючими. Зазвичай золи та шлаки,



що містять до 10% палива, використовують як спіснювальні, а золи, що містять більше 10% палива – як паливомісткі добавки. Як спіснювальна добавка золошлакова суміш найбільш ефективна при максимальному розмірі зерен 1,5 мм і вмісті фракції менше 0,3 мм не більше 30%. Для виготовлення повнотілої і порожнистої цегли і керамічних каменів, перш за все, рекомендується використовувати легкоплавкі золи з температурою розм'якшення до 1200 °С. В золах, що використовуються як добавки при виробництві стінових керамічних виробів, кількість SO<sub>3</sub> не повинна перевищувати 2 % від загальної маси, а шлакових включень розміром більше 3 мм — 5%.

Оптимальний вміст золи в складі шихти залежить від пластичності глинистої сировини. До складу середньопластичних глин вводять золу за об'ємом приблизно 30...40 %, помірно пластичних — 20...30, малопластичних— 10...20 %. При введенні до складу шихти золи більше 60%, виробництво золокерамічних матеріалів стає досить високоенергоємним, оскільки температура випалювання виробів дещо перевищує температуру випалювання глиняної кераміки.

Вміст у складі золи склоподібної фази, оксидів заліза та невипалених вуглецевих частинок сприяє тому, що в процесі випалювання створюється відновлювальне середовище, яке приводить до кращого спікання частинок вихідної шихти та отримання керамічних виробів підвищеної міцності.

Слід відмітити, що спікання глинозольної маси відбувається при більш низьких температурах ніж глиняної, невипалені частинки палива створюють відновлювальне середовище, а оксиди заліза, які відновлюються до FeO, є активними плавнями.

Реакційна здатність золи може бути підвищена шляхом її помелу в кульовому млині. Після механічної активації зола веде себе як дегідратована глина, а при випалюванні - приймає участь у формуванні новоутворень, наприклад муліту. Більш того, у процесі випалювання зола є активним плавнем, що іноді дозволяє знизити температуру випалювання виробів на 50...70 градусів.

Важливим фактором, який визначає фізико-механічні властивості керамічних виробів, є їх макроструктура. При введенні до складу шихти добавок золи збільшується кількість дрібних ізольованих пор в керамічному матеріалі. Відмічено досить міцний контакт склоподібних частинок золи з матрицею кераміки. При утворенні тріщин в структурі матеріалу наявність частинок золи сприяє зниженню деструктивних напружень, так само як і при використанні добавок шамоту, що пов'язано з більш низьким модулем пружності частинок золи порівняно з модулем пружності випаленої глини.

Розроблено ряд технологічних способів отримання *зольної кераміки*, де золошлакові відходи ТЕС є основним сировинним компонентом. Так, при звичайному устаткуванні цегляних заводів можна виготовити зольну цеглу з керамічної маси, що містить золу, шлак і натрієве рідинне скло в кількості 3





% за об'ємом. Останнє сприяє отриманню виробів з мінімальною вологістю, що виключає необхідність сушки сирцю. Міцність виробів при цьому становить 14...22 МПа. У США розроблена технологія отримання звичайної та лицьової випаленої цегли на основі суміші, що містить 74% золи, 23% паливного шлаку та 3% рідинного скла.

Відомий практичний досвід отримання на основі золошлакової суміші керамічних каменів, що мають міцність при стиску 7,5...12 МПа, а на основі золи ТЕС з добавкою 3% рідинного скла – виробів міцністю 14...22 МПа.

Зольну кераміку випускають також у вигляді пресованих виробів з керамічної маси, що включає 60...80 % золи-винесення, 10...20 % глини і інші добавки. Встановлено, що на основі золи з високим вмістом оксидів алюмінію і кремнію (75...95%) можна отримати керамічні стінові матеріали, що характеризуються достатньо високою границею міцності при стиску (10...60 МПа). Низький вміст оксидів  $Al_2O_3$  і  $SiO_2$  в складі золи ускладнює процес випалювання внаслідок незначного інтервалу спікання і зниженої в'язкості розплаву та призводить до нерівномірної якості виробів.

Зниження температури випалювання виробів приблизно на 100 градусів досягається шляхом використання у складі золокерамічної шихти добавок-плавнів, наприклад, лужних та залізомістких компонентів у кількості до 10%.

Найбільший ефект від використання золи і шлаків як основної паливомісткої сировини може бути отриманий при виробництві золокерамічних каменів і пустотілої зольної цегли. Параметри раціональних режимів випалювання золокерамічних виробів: максимальна температура — 1080...1150°C, середня швидкість нагрівання — 50...60°C/год, тривалість витримки 3...4 год. Випалювання рекомендовано вести в першій половині зони випалювання печі (800...1000°C) в окислювальному газовому середовищі, в другій (1000...1100°C) — у відновлювальному.

Зольна цегла та золокерамічні камені характеризуються міцністю при стиску 10...60 МПа, при згині - 2,5...10 МПа при порівняно низькій середній густині - 1080...1600 кг/м<sup>3</sup>, коефіцієнті теплопровідності - 0,398...0,438 Вт/(м°C) і морозостійкості більше 25 циклів.

Також можливим є отримання на основі глинозольної маси (60% глини та 40% золи) лицьової цегли з фактурним шаром. При цьому повнотіла цегла має марку за міцністю М300, а пустотіла – М125.

Зольна кераміка може використовуватись не тільки як стіновий матеріал, що має стабільну міцність та високу морозостійкість, вона також відрізняється високою кислотостійкістю та низькою стираністю. Це дозволяє виготовляти на основі зольної кераміки тротуарні плити та інші вироби спеціального призначення.

При виробництві зольної кераміки, залежно від вмісту в золі вуглецю, золи в шихті і умов випалення, витрата палива може бути скорочена в 1,5...4 рази





Золошлакові відходи також можуть бути використані для отримання плиток фасадних та плиток для внутрішнього облицювання стін, причому введення 30...35% таких відходів забезпечує утворення каркасної структури виробів на стадії пресування.

Зола, що містить обмежену кількість невивалених вуглецевих частинок (6...8%) та лужних оксидів (2,5...5.0%) може бути використана замість шамоту для отримання керамічних труб, при цьому отримані вироби мають поліпшені фізико-механічні властивості, в тому числі міцність становить 40...50 МПа.

Основною перешкодою широкого використання золошлакових відходів при виробництві керамічних виробів є абразивність, що призводить до сильного зношування поверхні робочих органів молоткових та роторних дробарок. Також, враховуючи існуючі високі вимоги до декоративних властивостей облицювальних матеріалів, обмежується використання золи для отримання оздоблювальних керамічних матеріалів світлих тонів.

З урахуванням екологічних, економічних та технічних переваг більш доцільним є використання золи у складі керамічних сумішей як активного компонента, оскільки остання не тільки впливає на протікання процесів силікатоутворення, але й сприяє утворенню газоподібної фази, що обумовлює формування поризованого штучного каменю.

З іншого боку широке використання золи, як сировини для отримання кераміки та інших виробів, що передбачають проведення високотемпературного випалювання, обмежується непластичністю та нестабільністю її хіміко-мінералогічного складу.

*Склокристалічні вироби* отримують із розплавлених паливних зол і шлаків так само, як з розплавів металургійних шлаків. Найбільш доцільним є застосування паливних шлаків рідкого видалення. Без зміни складу цих шлаків можна отримати шлакову пемзу дрібнопористої склоподібної структури з насипною густиною 600...800 кг/м<sup>3</sup>, щільні литі вироби міцністю до 400 МПа, які є стійкими до агресивних середовищ при підвищених температурах.

Можливе отримання стекол типу *марблін* з вмістом в шихті 60...70% відходів ТЕС. Стекла на основі золи і шлаків ТЕС мають ряд переваг: порівняно низький коефіцієнт лінійного термічного розширення ( $54...65 \cdot 10^{-7}$  град<sup>-1</sup>); підвищену міцність (80...100 МПа) і водостійкість. Здатність до кристалізації золомісткої шихти дає можливість отримувати на їх основі різноманітні архітектурно-будівельних вироби у вигляді облицювальних плиток.

Із більшості різновидів золи ТЕС можна отримувати мінеральну вату густиною 80...200 кг/м<sup>3</sup>, із широким діапазоном вмісту оксидів SiO<sub>2</sub> та Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (40...75%). Розроблена технологія виробництва *стійкої до високих температур мінеральної вати* (із золи ТЕС) методом плавлення в електродугових печах. Такий матеріал можна застосовувати для ізоляції



поверхонь з температурою до 900°C або при використанні керамічної зв'язки для ізоляції поверхонь з температурою до 1150°C. За властивостями золвата подібна до високотемпературної каолінової вати, але її собівартість в 2 рази менша.

В останні роки все більш важливого значення набуває виготовлення на основі паливних зол та шлаків ефективних склокристалічних матеріалів - золоситалів та шлакоситалів.

Синтезовані *золоситали*, фазовий склад яких представлений твердим розчином піроксену. Фізико-механічні властивості золоситалів наведені нижче:

Густина	3,11 г/см <sup>3</sup>
Мікротвердість	9400 МПа
Границя міцності при згині	100 МПа
Температура початку розм'якшення	1010 <sup>0</sup> С
Термостійкість	250 <sup>0</sup> С
Хімічна стійкість:	
у воді	99,96%
у HCl	99,89%
у NaOH	97,65%

### **3.6. ДОРОЖНЬО-БУДІВЕЛЬНІ ТА ІЗОЛЯЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ НА ОСНОВІ ЗОЛИ ТА ПАЛИВНИХ ШЛАКІВ**

Одним із основних споживачів золи та паливних шлаків є дорожнє будівництво, в якому зола і золошлакові суміші використовують для влаштування підстилаючих і нижніх шарів дорожньої основи, часткової заміни в'язучих при стабілізації ґрунтів цементом і вапном, як мінеральний порошок для асфальтових бетонів і розчинів, як добавки для дорожніх цементних бетонів.

У дорожньому будівництві золошлакові суміші застосовують неукріпленими і укріпленими.

*Неукріплені золошлакові суміші* використовують в основному для влаштування підстилаючих та нижніх шарів доріг обласного і місцевого значення. При вмісті пилоподібної золи у сумішах не більше 16 % їх застосовують для поліпшення ґрунтових покриттів шляхом поверхневої обробки бітумною або дьогтьовою емульсією. Конструкційні шари доріг можна влаштовувати із золошлакових сумішей із вмістом золи не більше 25...30 %. У гравійно-щебених основах доцільно застосовувати золошлакову суміш із вмістом пилоподібної золи до 50 % як ущільнюючу добавку. Вміст невипаленого вугілля у паливних відходах ТЕС, які використовуються для будівництва доріг, не повинен перевищувати 10 %.

Технологія і організація робіт при влаштуванні дорожнього одягу із застосуванням неукріплених золошлакових сумішей практично не відрізняється від робіт з використанням природних кам'яних матеріалів. Оптимальна вологість сумішей, що сприяє кращому ущільненню, особливо



при використанні катків на пневматичних шинах, складає 4...8 %. Коефіцієнт ущільнення золошлакових сумішей становить 1,3...1,5, модуль деформації - 50...60 МПа. За експлуатаційними показниками дорожній одяг з неукріплених золошлакових сумішей є подібним до конструкцій із кондиційних матеріалів.

Ефективність застосування відвальних золошлакових сумішей в дорожньому будівництві можна підвищити зміцненням їх вапном, цементом, вапняно-шлаковим в'язучим або подрібненим гранульованим доменним шлаком, що збільшує модуль деформації, дозволяючи тим самим зменшити товщину основи і відповідно витрати матеріалів, а також витрати на їх транспортування.

В укріплених золошлакових сумішах з добавкою вапна або цементу при достатній вологості і температурі утворюються гидросилікати кальцію, що сприяють зміцненню матеріалу. При введенні до золошлакових сумішей вапна, на відміну від цементу, відсутня небезпека передчасного тужавіння. Суміші укріплюють, застосовуючи мелене негашене вапно або пушонку (іноді вапняне тісто або молоко) в кількості 15...35 % (у перерахунку на активні оксиди CaO+MgO) від маси пилоподібної фракції золошлакової суміші. Процес твердіння прискорюється добавками портландцементу або хімічних прискорювачів твердіння, наприклад хлоридів, сульфатів тощо. На 90-у добу міцність зразків золошлакових сумішей, що містять вапно, досягає 5 МПа. Витрата вапна становить 3...5 % від загальної маси суміші. Основні властивості золошлакових сумішей з добавкою вапна, наведені в табл. 3.12.

Таблиця 3.12

### Властивості дорожніх золошлакових сумішей з добавкою вапна

Показник	Клас міцності		
	1	2	3
Мінімальні розрахункові модулі, МПа:			
-деформації	150	100	75
-пружності	500	300	200
Мінімальна границя міцності при стиску водонасичених зразків, МПа, після, діб.:			
28	2	1	0,5
90	4	2	1
Мінімальний коефіцієнт морозостійкості після твердіння 90 діб	0,75	0,7	0,5
Мінімальний коефіцієнт ущільнення	0,98	0,98	0,98

Вапном укріплюють золошлакові суміші, що містять 16...50 % пилоподібної фракції (менше 0,16 мм), цементом — 8...30 %. Витрата цементу складає 4...7 % від загальної маси, при цьому на 28-у добу міцність водонасичених зразків на стиск складає 1...2 МПа.

Золошлакові суміші обробляють вапном (або цементом) в змішувачах або безпосередньо на дорозі. Для запобігання випаровуванню води із матеріалів



після ущільнення їх захищають бітумною емульсією або іншими матеріалами. Роботи ведуть при температурі повітря не нижче 10 °С.

Залежно від транспортних витрат вартість будівництва дорожніх основ при заміні щебеню золошлаковими сумішами може бути знижена на 50...75 %. Враховуючи різні місцеві умови, економічна ефективність застосування золошлакових сумішей може істотно коливатися.

При влаштуванні конструктивних шарів дорожнього одягу ефективним є використання місцевих ґрунтів, укріплених цементом (*цементогрунтів*) або іншими в'язучими речовинами. Для зниження витрати в'язучих і заповнення міжзернового простору в ґрунті раціонально вводять золу-винесення або золошлакову суміш, які на 30...40 % зменшують витрату портландцементу при одночасному підвищенні міцності і морозостійкості цементогрунтів. Так, міцність піщаного ґрунту, укріпленого цементом з добавками паливних залишків бурого вугілля, підвищується на 40...50 %; найбільш інтенсивно міцність зростає протягом 40... 120 діб.

Механізм дії золи і шлаків при зміцненні ґрунтів портландцементом полягає у взаємодії їх активних складових з продуктами гідратації цементу і утворенні сполук, що важко розчинюються у воді, колюматують пори і тим самим зменшують ступінь водонасичення цементогрунту. Оптимальний вміст добавок підвищується при зменшенні витрати портландцементу: при витраті портландцементу 6 % вміст добавок складає 20...30 % від загальної маси суміші, а при витраті портландцементу 4...5 % — 30...35%. Максимальна активність золошлакових добавок забезпечується якщо вміст в них  $\text{SiO}_2$  становить не менше 35...50%, а  $\text{CaO}$  — не менше 5 %. Вміст органічних речовин в паливних відходах не повинен перевищувати 6 %. Для підвищення показників міцності цементогрунту добавки повинні містити не менше 35...40 % частинок розмірами менше 0,0074 мм.

Прискоренню процесів взаємодії активного кремнезему, що входить до складу золи, з продуктами гідратації цементу сприяє застосування силікату натрію, каустичної соди або інших хімічних речовин. Зола є не тільки активною добавкою, що заміняє частину цементу в укріплених ґрунтах, вона також застосовується як самостійна в'язуча речовина або як компонент вапняно-зольних в'язучих.

Найбільш придатними для зміцнення ґрунтів є золи від спалювання бурого вугілля або торфу. При зміцненні крупноуламкових ґрунтів, супісків і пісків застосовують висококальцієву золу-винесення сухого відбору як повільно твердіючу в'язучу речовину. Укріпляти засолені ґрунти золами можна у випадку, коли ґрунти містять хлористі солі в кількості не більше 3 %, а сульфатні - не більше 5%.

Одним з найбільш дешевих методів стабілізації ґрунтів є зміцнення їх вапняно-зольними сумішами. При цьому перевагу надають золам з мінімальним вмістом невипалених частинок палива і високою питомою



поверхнею. Максимальна міцність зразків ґрунту досягається при співвідношенні вапно: зола - 1: 5.

Вимоги до золи, що застосовується для зміцнення ґрунтів, наведені в табл.3.13.

Таблиця 3.13

### Вимоги до золи для зміцнення ґрунтів

Показник	Призначення золи		
	В'язуча речовина	Активний компонент змішаних в'язучих на основі	
		цементу	вапна
Вміст вільного CaO, %	$\geq 8$	$\leq 4$	
Питома поверхня, см <sup>2</sup> /г	$\geq 3000$	$\geq 3000$	$\geq 3000$
Вміст сірчанних і сірчаноокислих сполук (в перерахунку на SO <sub>3</sub> ), %	$\leq 6$	$\leq 3$	
Втрати маси при прожарюванні, %	$\leq 5$	$\leq 10$	$\leq 10$

Кращі результати досягаються при зміцненні піщаних ґрунтів та супісків. Міцність і морозостійкість таких ґрунтів підвищуються при використанні як добавок до вапняно-зольних в'язучих хлориду кальцію або інших хімічних речовин. За властивостями такі суміші відповідають вимогам для укріплених ґрунтів I-го класу міцності, що дає можливість використовувати їх при будівництві основ в різних кліматичних зонах. Для зміцнення глинистих ґрунтів застосування вапняно-зольних в'язучих є малоефективним.

Залежно від гранулометричного складу і властивостей ґрунтів витрата вапна і золи, необхідних для їх зміцнення, складає 10...30%.

При введенні як прискорювача 0,5...1% хлориду кальцію після 28-діб твердіння міцність ґрунтів, укріплених вапняно-зольними в'язучими, складає 2...5 МПа, а після 90 діб - 4...10 МПа.

Гранульовані паливні шлаки застосовують в дорожньому будівництві як окремо, так і в поєднанні з місцевими кам'яними матеріалами і ґрунтами.

Неукріплені гранульовані паливні шлаки використовують як матеріал для влаштування дренажних, морозозахисних та підстилаючих шарів, а також основ і узбіччя. Шлаки, завдяки чорному кольору і гострокутній формі зерен, є матеріалом придатним для посипання доріг при ожеледиці.

При застосуванні неукріплених паливних шлаків для зведення покриттів на місцевих дорогах з малою інтенсивністю руху до них додають 10...20% суглинистого ґрунту.

Порівняно висока ефективність досягається при будівництві основ доріг із гранульованих паливних шлаків, укріплених різними видами мінеральних і органічних в'язучих. Для їх зміцнення використовують цементи,





безклінкерні шлакові і вапняно-шлакові в'язучі, а також бітуми і кам'яновугільні дьогті.

Гранульовані паливні шлаки відносять до кислих мінеральних матеріалів, адгезія яких до бітуму є досить низькою. Для підвищення адгезійної здатності шлаків до бітуму їх необхідно обробляти активаторами або вводити в бітум катіоноактивні ПАР. Активованій гранульований паливний шлак використовують замість щебеню і піску в асфальтобетонних і бітумно-мінеральних сумішах. На відміну від бітумів кам'яновугільні дьогті добре зчеплюються з поверхнею зерен паливних шлаків, тому їх можна застосовувати для виготовлення дьогтьобетонних і дьогтьомінеральних сумішей.

*Асфальтові матеріали* отримують при використанні в якості в'язучих речовин бітумів або дьогтів. Видом матеріалу визначається і функціональне призначення золошлакових добавок. Золошлакові відходи ТЕС так само, як і природні кам'яні матеріали високої міцності, використовують для виготовлення бітумно-мінеральних сумішей, що застосовуються для влаштування конструктивних шарів доріг III...V категорій. Із паливних шлаків, які оброблені бітумами або дьогтем (до 2 % за масою), одержують *чорний щебінь*.

Для поліпшення зчеплення органічних в'язучих із золошлаковими сумішами останні попередньо активізують добавками вапна або катіоноактивних ПАР. При змішуванні підігрітої до 170...200°C золи із 0,3...2% розчином бітуму у зеленому маслі, одержують гідрофобний порошок із середньою густиною 450...600 кг/м<sup>3</sup>. Одночасно він може бути використаний як гідро- і теплоізоляційний матеріал.

Поширено застосування зол у якості наповнювачів мастик. Для влаштування рулонних покрівель, приклеювання синтетичних матеріалів та паркету при влаштуванні підлог, паро- та гідроізоляції використовується холодна *бітумно-золяна мастика*, що складається з бітуму БН 70/30 — 52...59, уайт-спіріту — 22...25 та наповнювача (зола) — 18...26 %. Дисперсність золи повинна характеризуватися повним проходженням крізь сито №02 та залишком на ситі № 008 не більше 3 %. Максимальна вологість наповнювача 3 %.

Технічна характеристика бітумно-зольної мастики:

Середня густина мастики, кг/м<sup>3</sup>, для:

Покрівель	910
Підлоги	980
Час висихання при 20 °С, год.	41
Міцність при відриванні (плитки паркету, лінолеуму по бетону), МПа, у віці, діб:	
1	0,07
2	0,1
Водостійкість (міцність склеювання зразків 3-добового віку після 24-годинного витримування у воді), МПа	0,09



### 3.7. ВИКОРИСТАННЯ ГОРІЛИХ ПОРІД, ВІДХОДІВ ДОБУВАННЯ ТА ЗБАГАЧЕННЯ ВУГІЛЛЯ

**Матеріали із застосуванням горілих порід.** Можливості застосування горілих порід у виробництві будівельних матеріалів досить різноманітні. Вони знаходять широке застосування в дорожньому будівництві переважно при влаштуванні основ доріг. У Донбасі, наприклад, горілі породи використовуються при влаштуванні нижнього шару двошарових основ під асфальтобетонні покриття. При цьому конструкція дорожнього одягу наступна: асфальтобетонне покриття – 4...9, щебенева або шлакова основа – 12...20, нижній шар із горілої породи – 10...18 см. До горілих порід як матеріалу для основ доріг висувають наступні вимоги: густина в куску – не менше 2 г/см<sup>3</sup>, водопоглинання – не більше 5%, зношування у поличному барабані – не більше 35%, вміст пилоподібних частинок – не більше 3%.

При задовільних фізико-механічних властивостях горілі породи використовують не тільки для нижніх, але і для верхніх шарів основ, а також нижнього шару покриття. Найефективніше використовується горіла порода після обробки органічною в'язучою речовиною.

Горілі породи, як і інші випалені глинисті матеріали, характеризуються пуцолановою активністю і застосовуються як гідравлічні добавки в складі в'язучих вапняно-пуцоланового типу, портландцементу, пуцоланового цементу і автоклавних матеріалів.

Висока адсорбційна активність і зчеплення з органічними в'язучими дозволяють застосовувати їх в асфальтових і полімерних композиціях. Природно випалені в надрах землі або в териконах вугільних шахт горілі породи, що представлені аргілітами, алевролітами і пісковиками, можуть застосовуватися у виробництві жаростійких бетонів і пористих заповнювачів. Деякі горілі породи мають низьку середню густина, що дозволяє використовувати їх як заповнювачі для легких розчинів і бетонів.

Горілі породи містять активний глинозем у складі дегідратованих глинистих мінералів, а також активний кремнезем і залісті сполуки. На відміну від шлаків і золи, вони майже не містять склоподібних компонентів. Дегідратація каолініту та інших гідроалюмосилікатів, присутніх у глинах, приводить до утворення продуктів, що вступають у взаємодію з гідроксидом кальцію. Активність дегідратованих глинистих мінералів залежить від будови кристалічної ґратки і зменшується в ряду від каолініту до гідрослюд. Максимальну активність мають породи, випалені при 500...600°C. При підвищенні температури випалювання до 800... 1000 °C, активність знижується. Висока адсорбційна активність і адгезія до високомолекулярних сполук дозволяють віднести горілі породи до кращих наповнювачів в асфальтових в'язучих, бетонах і полімермінеральних композиціях. Композиції з активними наповнювачами мають високі фізико-механічні властивості при незначних витратах полімерів.



Активність горілих порід по відношенню до вапна і гіпсу характеризують модулем:

$$M = (Al_2O_3 + Fe_2O_3) / SiO_2 \quad (3.7)$$

Залежно від модуля  $M$  горілі породи ділять на чотири групи активності (табл.3.14).

Таблиця 3.14

### Класифікація горілих порід за активністю

Група активності горілих порід	Модуль $M$	Склад породи
Малоактивні	$<0,2$	Крупнозернисті пісковики, карбонатні сланці
Помірноактивні	$0,2 \dots 0,3$	Дрібнозернисті пісковики, алевроліти
Активні	$0,3 \dots 0,45$	Алевроліти, аргіліти
Високоактивні	$>0,45$	Аргіліти, парцеланіти

Горілі породи застосовують як активні мінеральні добавки для вапняно-глинитних і сульфатно-глинитних в'язучих.

*Вапняно-глинитні в'язучі* містять 10...30 % вапна залежно від активності горілої породи і до 5 % гіпсу. Для забезпечення достатньої повітростійкості застосовують породи із вмістом  $Al_2O_3$  не менше 14 %, а вміст вапна підвищують до 50 %. Міцність при стиску вапняно-глинитних в'язучих відповідає маркам М50 і М100. При нормальній температурі їх міцність зростає поволі, збільшуючись за 60 діб майже в 1,3...2 рази, за 90 діб — в 2...3 рази порівняно з міцністю на 28 добу. При пропарюванні міцність збільшується по відношенню до міцності на 28-добу в 1,5...3, при обробці паром під тиском 0,8 МПа — в 4...5 разів.

*Сульфатно-глинитні в'язучі* — це композиції з двуводного гіпсу (50...65%), горілої породи (15...40%) і активізатора у вигляді портландцементного клінкеру (10...20%). Безвипалювальні сульфатно-глинитні в'язучі відносяться до групи гідравлічних в'язучих, твердіння яких обумовлене хімічною взаємодією гіпсового каменю, портландцементного клінкеру і горілої породи, а також процесами перекристалізації двуводного гіпсу. При повітряному твердінні міцність таких в'язучих невелика і досягає при випробуванні зразків з тіста нормальної густоти 5...7 МПа, причому на 60 добу зростання міцності практично припиняється. У вологих умовах спостерігається тривале і порівняно інтенсивне зростання міцності, причому на 28-добу міцність становить 20 МПа, а після 1 року - 40 МПа. Міцність в'язучих сульфатно-глинитного типу також підвищується після тепловологісної обробки.

Накопичений позитивний досвід застосування різновиду горілих порід, відомих як глієжі. Їх використовують як гідравлічні добавки до



портландцементу і пуцоланового цементу. Реакційна здатність добавок зростає з підвищенням їх дисперсності. Як і золи, глієжі вводять в пуцолановий цемент в кількості 35...55 %. Проте вони значно менше, ніж інші добавки осадового походження, збільшують водопотребу цементу і відповідно бетонних сумішей, деформації усадки і набухання бетону.

Сульфатостійкість *глієж-цементів* залежить не тільки від мінералогічного складу клінкеру, але і від вмісту розчинного глинозему в складі добавки, який взаємодіє з гідроксидом кальцію при твердінні цементу і створює додаткову кількість гидроалюмінату. Вміст розчинного  $Al_2O_3$  в сульфатостійкому пуцолановому цементі не повинен перевищувати 2 %. Розчинність глинозему в глієжах і інших випалених глинах знижується з підвищенням температури їх випалювання до 1000 °С.

Горілі породи і в'язучі на їх основі відрізняються стійкістю до дії високих температур і можуть застосовуватися при отриманні жаростійких бетонів. Проте широкому використанню горілих порід заважає їх неоднорідність, оскільки в них може міститися деяка кількість (до 2...3 %) незгорілого палива.

У бетонах і розчинах горілі породи можуть бути не тільки активними мінеральними добавками у складі в'язучих, але й виконувати функції заповнювачів. На їх основі ефективно виготовляти мурувальні розчини, особливо для зведення фундаментів в агресивних середовищах, і дрібнозернисті легкі автоклавні бетони середньою густиною до 1800 кг/м<sup>3</sup>, міцність при стиску яких є в межах 2...5 МПа.

При використанні горілих порід, що відрізняються досить високою фізико-хімічною активністю, як дрібних заповнювачів для розчинів і бетонів має місце підвищення міцності отриманих матеріалів, особливо в умовах гідротермального твердіння.

**Матеріали із застосуванням відходів добування і збагачення вугілля.** Відходи добування і збагачення вугілля використовують в основному у виробництві стінових керамічних матеріалів і пористих заповнювачів. За хімічним складом вони є близькими до традиційної глинистої сировини. Як шкідлива домішка в них присутня сірка, що міститься в сульфатних і сульфідних сполуках.

При вмісті  $Al_2O_3$  в мінеральній частині відходів більше 15% і вуглецю менше 15% відходи можна застосовувати як сировину для отримання керамічних стінових виробів марок М75...М300 без добавки глини. При збільшенні кількості вуглецю більше 15 % до сировинної суміші додають глину. Якщо вміст  $Al_2O_3$  становить менше 15 %, а вуглецю - більше 15%, відходи непридатні як основна сировина і можуть бути використані як спіснювальні і паливомісткі добавки до глинистої шихти.

У виробництві *стінових керамічних виробів* на основі каолінітових і гідрослюдистих глин, суглинків і глинистих сланців відходи добування і збагачення вугілля застосовують як спіснювальну та вигоряючу



паливовмісну добавку. Кускові відходи при додаванні до керамічної шихти подрібнюють в молоткових дробарках, кульових або інших млинах. В разі використання шламу з розміром частинок менше 1 мм, попереднє подрібнення не потрібне, а доцільне лише підсушування до вологості 5...6 %. При отриманні цегли пластичним способом добавка відходів складає 10...30 %.

Введення оптимальної кількості паливовмісної добавки виключає необхідність додавання до шихти кам'яного вугілля, підвищує зв'язуючу здатність керамічної шихти і показники міцності виробів (до 30...40%), економить паливо (до 30 %), а також і підвищує продуктивність печей.

Найбільш придатні як добавки до керамічної маси відходи збагачення антрацитного вугілля. Відходи добування вугілля, так звані шахтні породи, відрізняються значною нестабільністю складу, можуть містити підвищену кількість пісковиків і вапняків. Використання шахтних порід виправдане в тих випадках, коли в районі підприємства немає інших паливних добавок і можлива доставка відходів на завод.

Якщо як основну керамічну сировину використовують аргіліти, алевроліти або інші породи, вироби з яких після випалювання мають незадовільну структуру, погані теплоізоляційні властивості і низьку морозостійкість, для покращення властивостей використовують як пороутворюючі та спіснювальні добавки вуглемісткі відходи в кількості 30...40 %. Для цього ефективно використовувати породи з максимальною кількістю вигоряючих частинок і значним вмістом летких речовин, які видаляються з димовими газами раніше температури їх займання. Добавками до такої керамічної сировини можуть бути також флотаційні відходи збагачення. Для точного дозування їх заздалегідь гранулюють, пропускаючи через глиномішалку з фільтруючою головкою, а потім отримані гранули вводять в шихту через ящиківий живильник за загальноприйнятою технологією.

При застосуванні гідрослюдистих, гідрослюдисто-монтморилонітових і лесовидних суглинків вуглемісткі відходи можна використовувати як паливно-мінеральну добавку, що поліпшує технологічні властивості суміші і показники міцності готових виробів. Для цього вибирають породи з меншим ступенем метаморфізації, що здатні утворювати пластичну масу з числом пластичності більше 10, причому вміст оксиду алюмінію повинен складати не менше 20...25 %. Склад сировинної суміші вибирають таким, щоб сумарний вміст  $Al_2O_3$  складав не менше 15 %. Помел відходів в цьому випадку ведуть до отримання дрібнішої фракції (<1 мм).

Велику кількість горючих речовин містять відходи флотації. У відходах збагачення газового вугілля міститься значна кількість летких речовин, що може привести до розпушування виробів. Меншу калорійність мають відходи добування вугілля, а також вуглезбагачення крупних фракцій (40...100 мм).





Ефективними добавками до керамічної маси можуть бути відходи флотації, що не потребують подрібнення. Проте вони поставляються з вологістю більше 25 %, що перевищує формувальну вологість шихти. Вологі відходи збагачення флотації грудкують, що ускладнює введення їх в шихту і гомогенізацію суміші.

Шлами вуглезбагачення порівняно високої теплотворної здатності (18900...21000 кДж/кг) застосовують як технологічне паливо. Вони не вимагають додаткового подрібнення, добре розподіляються і засипаються через паливні отвори, що сприяє рівномірному випалюванню виробів.

Породи, що містять вугілля, застосовують не тільки як паливомістку добавку, але і як основний компонент керамічної шихти. Встановлена можливість виробництва пустотілої цегли та керамічних каменів на основі відходів вуглезбагачення як пластичним, так і напівсухим формуванням.

З усіх видів відходів вугільної промисловості відходи вуглезбагачення найбільш стабільні за складом. Вони містять більше глинозему, ніж більшість інших рядових глин. Глиниста речовина в них представлена каолінітом та гідрослюдами. Вміст вуглецю в цих породах у декілька разів перевищує допустиму норму, необхідну для випалювання стінової кераміки. Після тонкого подрібнення відходи вуглезбагачення ідентичні глинам, що малочутливі до сушіння.

Технологічна схема виробництва стінових виробів з відходів вуглезбагачення методом пластичного формування передбачає наступні етапи: сухий помел вихідної породи в млині; формування сирцю на стрічковому вакуумному пресі; сушіння його в щільній сушарці або сушарці з реверсивним рухом теплоносія; випалювання в тунельній печі за режимом, що забезпечує ізотермічне витримування і окислювальне середовище при максимальній швидкості вигорання коксового залишку.

Сухе пресування при тиску 2,2...4,5 МПа має ряд переваг порівняно з пластичним, оскільки міцність отриманого сирцю дозволяє укласти його відразу на випалювальний візок в декілька рядів, виключає ряд технологічних операцій, а тому зменшує кількість машин і агрегатів в технологічній лінії, підвищуючи надійність роботи і коефіцієнт корисної дії. Необхідна формувальність суміші при сухому пресуванні досягається завдяки високому тиску, при якому скорочується водопотреба, і підвищеній температурі бруса (до 600<sup>0</sup>С), що сприяє швидкому висушуванню відформованого сирцю. При цьому усадка і чутливість до сушки внаслідок зменшеної вологості сирцю і підвищеного ступеня ущільнення є меншими, ніж у сирцю, отриманого при пластичному способі пресування. При сухому пресуванні для досягнення необхідної міцності і забарвлення виробів потрібна температура випалювання менше на 50...80<sup>0</sup>С.

При виробництві керамічних стінових виробів заміна глинистих порід, що добувають в кар'єрах, переробленими відходами вуглезбагачення призводить



до зниження витрати технологічного палива приблизно на 80 % і собівартості виробів на 19...28 %.

Таким чином, наявність у мінеральних відходах вуглезабагачення глинистої складової, а також паливного компонента (залишкового вугілля) в поєднанні з простим та економічним способом їх переробки, дозволяє отримувати матеріали без введення до шихти технологічного палива і за рахунок цього знизити їх собівартість.

Накопичений значний досвід використання вуглемістких порід для виробництва *пористих заповнювачів*. Експлуатація підприємств по виробництву штучних пористих заповнювачів в різних країнах СНГ, Франції та Бельгії показала, що використання відходів з вмістом вуглецю 5% для отримання керамзиту та аглопориту, дозволяє економити приблизно 50% технологічного палива.

Для забезпечення спучування вугіллямістких відходів необхідно дотримуватися двох умов:

- 1) мінеральна частина відходів за хімічним та мінералогічним складом повинна відповідати складу легкоплавких глин, що здатні до спучування;
- 2) вміст вуглецю у сировинній суміші не повинен перевищувати 3%.

Значні коливання вмісту палива (5...25%), низька пластичність і зв'язуюча здатність, неоднорідність хімічного і мінерального складів відходів добування і збагачення вугілля ускладнюють переробку цього виду сировини за існуючими технологічними схемами для природних глин без додаткового коригування. Тому для отримання легкого заповнювача з використанням таких порід найбільш ефективним вважають використання методу агломерації. Крім простоти технології, він дає можливість ефективно використовувати паливо, що міститься у відходах. Відходи вуглезабагачення можна вважати за найбільш перспективну сировину для одержання *аглопориту* особливо в промислово-розвинутих регіонах України. В табл.3.15 наведено рекомендований хімічний склад відходів вуглезабагачення для виготовлення аглопоритового щебеню та гравію в порівнянні з вимогами до глинистих порід та золи ТЕС.

Для забезпечення спікання шихти у відходах добування і збагачення вугілля повинно міститися близько 10 % палива (у перерахунку на умовне).

Одним з критеріїв, що характеризують придатність силікатної сировини для виробництва аглопорита, є модуль плавкості, значення якого для паливовмісної сировини, придатної для виробництва аглопорита, повинні складати 4...20.

Величина модуля плавкості характеризується процентним співвідношенням оксидів:

$$M_{\text{п}} = \frac{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O}}. \quad (3.8)$$



Таблиця 3.15

**Хімічний склад глинистих порід і паливомістких відходів промисловості, придатних для виготовлення аглопоритових щебеню і гравію**

Вихідна сировина	Заповнювач	Вид бетону	Вміст основних оксидів, %				
			SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO+MgO	SO <sub>3</sub>
			в межах		не більше		
Глиниста порода	Щебінь	Конструкційно-теплоізоляційні та конструкційні легкі бетони	55...85	8...20	8	20	3
Відходи вуглезбагачення	—	Те ж	45...65	15...35	15	12	3
Зола ТЕС	—	—	45...65	15...35	25	12	3
	Гравій	—	45...65	15...35	18	12	3
	—	Конструкційні та високоміцні легкі бетони	50...65	20...35	10	3	1

Сутність процесу агломерації полягає в тому, що паливо у шихті, яке спікається, горить у тонкому горизонтальному шарі, внаслідок чого повітря, що надходить у зону горіння, нагрівається й інтенсифікує процес горіння палива шихти, а гарячі газы, що виходять із зони горіння, підсушують і нагрівають наступний шар шихти. Після вигорання палива зона горіння переміщується у шар шихти, що знаходиться нижче.

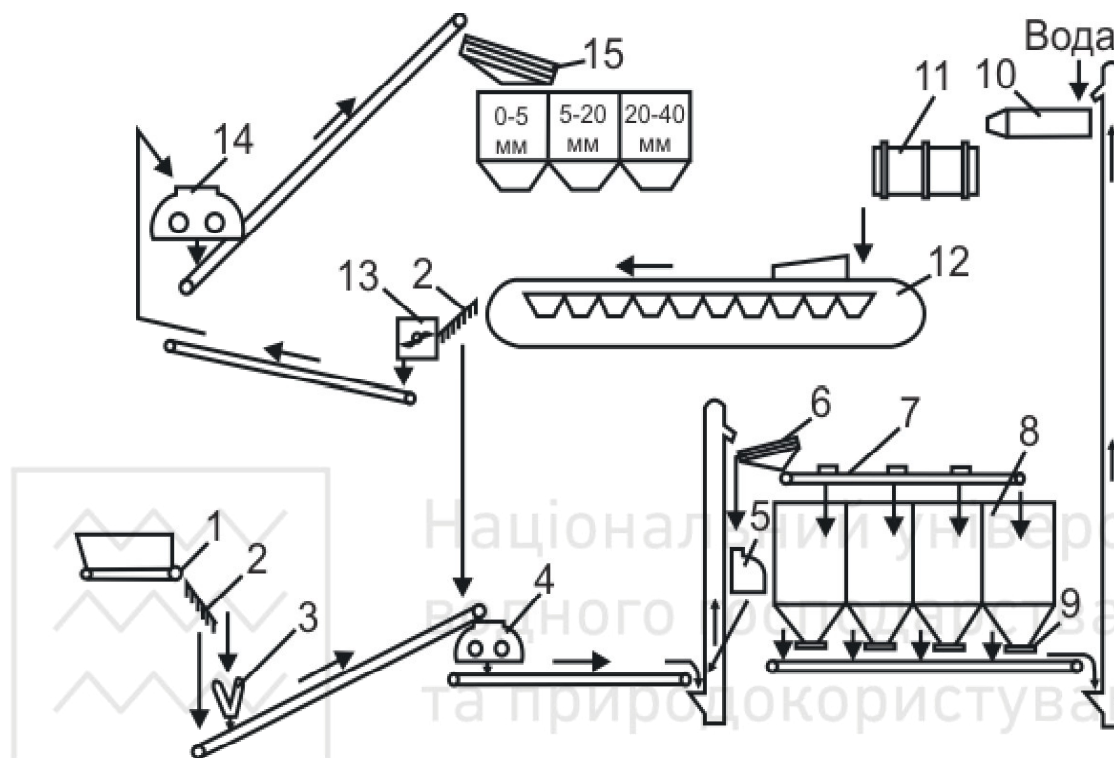
При одержанні із порошкоподібної та дрібнозернистої сировини методом агломерації (рис.3.12) пористого і міцного конгломерату вихідну сировину змішують із подрібненим паливом, зволожують і гранулюють. Потім шихту, що складається з окремих зерен (гранул), подають на верхню робочу зону стрічкової конвеєрної агломераційної машини. На першій ділянці стрічки, що безперервно рухається, у верхньому шарі шихти запалюють паливо, після чого зона горіння просувається у товщу шихти за рахунок просмоктування через неї повітря. Наприкінці робочої зони машини одержують готовий випалений продукт.

Відходи вуглезбагачення вважаються придатними як сировина для виробництва аглопориту, якщо в результаті випробувань у лабораторних умовах будуть досягнуті наступні показники процесу спікання та якості готового продукту:

Вертикальна швидкість спікання, мм/хв	Не менше 5
Питома продуктивність агломераційної машини, м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> год	Не менше 0,23
Насипна густина аглопоритового щебеню крупністю 10–20 мм, кг/м <sup>3</sup>	Не більше 800
Насипна густина аглопоритового піску крупністю не більше 5 мм, кг/м <sup>3</sup>	Не більше 1200
Міцність аглопоритового щебеню при стискуванні у циліндрі, МПа	Не менше 0,4



В процесі агломерації шкідливі домішки у вихідній сировині, наприклад сірка, навіть при забезпеченні оптимальних умов термообробки переходять в аглопорит у кількості не менше 14...15 % від початкового вмісту. На залишковий вміст сірки у готовому продукті впливає наявність у вихідній сировині оксидів лужноземельних металів, зокрема CaO.



**Рис. 3.12.** Схема виробництва аглопориту із відходів збагачення горючих сланців:

1 — пластинчастий живильник; 2 — нерухома решітка; 3 — шокова дробарка; 4 — валкова дробарка; 5 — молоткова дробарка; 6, 15 — віброгрохоти; 7 — реверсивний стрічковий конвеєр з ножами; 8 — бункери для зберігання запасу шихти; 9 — стрічкові живильники; 10 — змішувач; 11 — гранулятор; 12 — агломераційна машина; 13 — роторна дробарка; 14 — зубчаста дробарка

При агломерації відходів з високим вмістом палива необхідно створювати відповідні умови для його вигорання. Процес вигорання палива при агломерації легкоплавких силікатних матеріалів ускладнений через утворення при спіканні значної кількості розплаву. Тільки певне співвідношення у шихті тугоплавких та легкоплавких компонентів забезпечує нормальний режим її термообробки.

Не менш важливим фактором, що забезпечує нормальний перебіг процесу вигорання палива у шихті, є газопроникність шару, що спікається. Вона зумовлювана пластичністю та зв'язуючою здатністю вихідної сировини. На основі помірно пластичних порід при визначеному співвідношенні фракцій



вихідної сировини (менше 0,3; 0,3...1,2; 1,2...2,5 мм) можуть бути отримані досить високі значення газопроникності шару, що спікається.

При виготовленні аглопоритового щебеню на основі відходів вуглезбагачення у процесі їх переробки застосовують дробарки для двостадійного подрібнення з проміжним грохотом та витратний бункер для отриманого продукту (крупність не більше 2,5 мм).

Для поліпшення грануляції непластичних і малопластичних порід доцільно вводити в шихту пластичний суглинок в кількості 5...20 % за масою. Для грануляції шихти в разі використання відходів вуглезбагачення поряд з барабанним можна застосовувати й тарілчастий гранулятор.

Рекомендовані параметри виробництва аглопоритових гравію та щебеню наведені в табл.3.16.

Таблиця 3.16

### Рекомендовані параметри виробництва аглопоритових гравію та щебеню

Показники	Глиниста порода (глина, суглинок, супесь)	Відходи збагачення вугілля	Зола ТЕС
Висота шару, що спікається, мм	250–300	150–200	250–300
Температура, °С :			
сушіння	–	–	400–600
підігріву	–	–	600–800
запалювання	1000–1200	1000–1200	1000–1200
Розрідження, кПа, у період :			
запалювання	0,6–1	0,6–1	0,5–0,8
спікання	2,5–4	2,5–4	1,5–2,5
Витрата повітря на 1 м <sup>2</sup> площі агломераційної решітки, м <sup>3</sup> /с, у період:			
запалювання	0,22–0,25	0,2–0,3	0,1–0,3
спікання	0,9–1	0,4–0,6	0,5–0,8
охолодження	0,9–1	0,8–1,8	0,7–1

На основі відходів вуглезбагачення отримують в основному аглопоритовий щебінь з насипною густиною 400...700 кг/м<sup>3</sup> і аглопоритовий пісок з насипною густиною 800...1000 кг/м<sup>3</sup>.

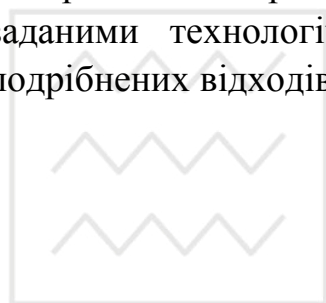
Відходи вуглевидобування після видалення з них надмірної кількості вуглецю є перспективною сировиною для отримання *керамзиту*. Попередня обробка сировини (декарбонізація) проводиться в спеціальному апараті, який





залежно від початкового вмісту вуглецю може бути або обертовим барабаном, або реактором киплячого шару. Процес декарбонізації протікає при температурах 800...900 °С. Отриманий напівфабрикат поступає в обертову піч для випалювання. Використання підігрітого матеріалу дозволяє досягти необхідної температури випалювання при меншій витраті палива. Подавання напівфабрикату в обертову піч з температурою 800...900°С дозволяє скоротити витрату палива порівняно з витратами палива при роботі печі в разі використання холодного матеріалу на 30...35 %.

Вилежування відходів вуглевидобування в шихтозапасниках забезпечує повну гомогенізацію сировинної суміші за складом і властивостями, а попереднє зволоження порід сприяє руйнуванню їх структури, підвищуючи ефективність подальшої механічної обробки. Оптимальний зерновий склад сировинної суміші, що характеризується наявністю частинок розмірами не більше 2 мм, досягається при подрібненні шахтних порід в дві стадії з використанням дробарок ударної дії. Для отримання формувальної маси із заданими технологічними властивостями необхідний модуль крупності подрібнених відходів вуглевидобування знаходиться в межах 1,6...1,9.





## 4. МАТЕРІАЛИ З ЗАСТОСУВАННЯМ ВІДХОДІВ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ

### 4.1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВІДХОДІВ

Більшість хімічних виробництв характеризуються утворенням значної кількості побічних продуктів. Утилізація їх, з одного боку, сприяє істотному підвищенню ефективності роботи хімічних підприємств і спрямована на охорону навколишнього середовища, а з іншого боку — є одним зі шляхів хімізації виробництва будівельних матеріалів, зниження витрат, інтенсифікації технологічних процесів, розширення асортименту і підвищення якості будівельних виробів.

Відходи хіміко-технологічних виробництв можна класифікувати за вмістом характерного хімічного компонента та за технологічним призначенням у виробництві будівельних матеріалів.

За вмістом характерного хімічного компонента розрізняють такі побічні хімічні продукти: фосфор- і фторвмісні шлаки, гіпсо- і вапновмісні продукти, залізисті, кремнеземисті й інші матеріали.

За технологічним призначенням у виробництві будівельних матеріалів хімічні продукти поділяють на такі групи:

1. Сировинні матеріали (для одержання цементу, гіпсу, вапна й ін.).
2. Іntenсифікатори технологічних процесів (плавні, знижувачі твердості, розріджувачі, утворювачі гранул й ін.).
3. Додатки-модифікатори властивостей матеріалів (легуючі присадки, пластифікатори, прискорювачі твердіння й ін.).

Класифікація за технологічним призначенням досить умовна, тому що той самий хімічний продукт, що є відходом виробництва, залежно від конкретної області його застосування можна віднести до різних груп. Наприклад, фосфогіпс для виробництва гіпсових в'язучих або сірчаної кислоти відноситься до першої групи хімічних відходів, якщо ж він вводиться при випалюванні цементного клінкера — до другої, при подрібненні цементу для регулювання термінів тужавлення — до третьої групи.

Для виробництва будівельних матеріалів найбільш цінною сировиною з відходів хімічної промисловості є шлаки електротермічного виробництва фосфору, гіпсовмісні, вапняні та залізисті відходи, полімерні продукти й ін.

*Фосфорні шлаки* — побічний продукт виробництва фосфору термічним способом в електропечах. При температурі 1300...1500 °С фосфат кальцію взаємодіє з вуглецем коксу і кремнеземом, у результаті чого утворюються фосфор і шлаковий розплав. Шлак зливається з печей у вогнянорідкому стані і гранулюється мокрим способом. На 1 т фосфору приходить 10...12 т шлаку. На великих хімічних підприємствах одержують до 2 млн. т шлаку на рік.

Хімічний склад фосфорних шлаків близький до складу доменних. Сумарний вміст у них оксиду кальцію і кремнезему досягає 95 % при їхньому співвідношенні 0,9...1,1.



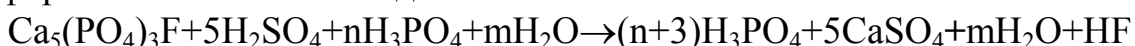
Особливостями фосфорних шлаків є вміст у них  $P_2O_5$  і  $CaF_2$  (до 3 % кожного) і знижена кількість  $Al_2O_3$  (звичайно не більше 4 %). Розходження у вмісті  $P_2O_5$  і  $CaF_2$  і коефіцієнтах основності, що визначають фізико-хімічні властивості шлакових розплавів і особливості грануляції, істотно впливають на фазовий склад, структуру і властивості шлаків. Гранульований шлак електрофосфорного виробництва ясно-сірого кольору із синюватим відтінком, має склоподібну структуру; густину приблизно  $2,8 \text{ г/см}^3$ , насипну густину у сухому стані близько  $1220 \text{ кг/м}^3$ . Петрографічними дослідженнями встановлено, що 90...95 % шлаку складає скло з включеннями кристалів псевдоволластоніту й інших мінералів. Гранулометричний склад гранульованих фосфорних шлаків відповідає зерновому складу звичайних дрібно- або середньозернистих будівельних пісків.

*Гіпсовмісні, вапняні і залізисті продукти* — це відходи ряду хімічних і суміжних з ними виробництв.

Гіпсовмісні продукти утворюються при виробництві мінеральних (фосфогіпс і фосфонапівгідрат, борогіпс, фторангідрит, фторогіпс) та органічних кислот (цитрогіпс і ін.), хімічній обробці деревини (гідролізний гіпс), обробці водних розчинів деяких солей і кислот (кремнегіпс, титаногіпс і ін.), очищенні промислових газів, що містять  $SO_2$  (сульфогіпс); виробництві солей з озерної рапи (рапний гіпс).

З гіпсовмісних продуктів у найбільшій кількості утворюється *фосфогіпс*. Фосфогіпс є відходом сірчаноокислотної переробки апатитів або фосфоритів у фосфорну кислоту або концентровані фосфорні добрива.

При розкладанні природних фосфатів сірчаною кислотою в розчин переходить фосфорна кислота й утворюється важкорозчинний сульфат кальцію. У загальному випадку реакція взаємодії апатитів з сумішшю сірчаної і фосфорної кислот має вигляд:



Кристалічний осад сульфату кальцію відокремлюють від фосфорної кислоти фільтруванням.

На 1 т екстракційної фосфорної кислоти (у перерахунку на 100 %  $H_3PO_4$ ) утворюється 3,6...6,2 т фосфогіпсу в перерахунку на суху речовину.

На деяких підприємствах річний вихід фосфогіпсу досягає 2,5 млн. т. Вартість транспортування і зберігання його у відвалах складає до 30 % загальної вартості споруд і експлуатації основного виробництва.

Хімічний склад фосфогіпсу переважно визначається якістю використаної фосфатної сировини, а також способом виробництва екстракційної фосфорної кислоти. Нижче наведений хімічний склад (у %) фосфогіпсу на основі Кольських апатитових концентратів:  $CaO$  – 39...40;  $SO_3$  – 56...57;  $P_2O_5$  (заг.) – 1,0...1,2;  $P_2O_5$  (водорозч.) – 0,5...0,6;  $F$  – 0,3...0,4. Наявність домішок ускладнює використання фосфогіпсу, а в деяких випадках, наприклад, при високій радіоактивності воно стає неможливим. Радіоактивність фосфогіпсу на основі широко застосовуваного в країнах СНД Кольського апатиту



порівняно невисока. Екстракційну фосфорну кислоту одержують дигідратним та напівгідратним способами. Залежно від температури і концентрації одержаної кислоти сульфат кальцію може бути виділений у формі дигідрату  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (гіпс), напівгідрату  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$  або безводної солі  $\text{CaSO}_4$  (ангідрит).

При дигідратному способі утворений фосфодигідрат містить 93...95 % двоводного гіпсу з механічною домішкою 1...1,5 %  $\text{P}_2\text{O}_5$  і деякої кількості кремнезему й інших оксидів. Фосфогіпс має вигляд шламу вологістю до 40 %. Тверда фаза шламу тонкодисперсна і більш ніж на 50 % складається з частинок розміром менше 10 мкм. Двоводний гіпс у фосфогіпсі має вигляд голчастих кристалів і зростків.

При виробництві фосфорної кислоти способом екстракції за напівгідратною схемою побічним продуктом є фосфонапівгідрат сульфату кальцію, що містить 92...95%  $\alpha\text{-CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ , тобто основного компонента високоміцного гіпсу. Однак наявність на поверхні кристалів напівгідрату пасивуючих плівок знижує здатність цього продукту до проявлення в'язучих властивостей. Вологість фосфонапівгідрату складає до 25 %.

Підприємства хімічної промисловості мають у своєму розпорядженні побічні продукти двох типів. До першого, що задовольняє технічним вимогам на вапно, відносяться карбідне вапно, відходи збагачення фосфоритів; до другого, що дозволяє одержати вапно шляхом випалювання карбонату кальцію, — вапнякові відходи содового виробництва, карбонатні шлами азотно-тукових заводів і підприємств целюлозно-паперової промисловості й ін.

*Карбідне вапно* — побічний продукт одержання ацетилену при дії води на карбід кальцію. Вапняне тісто на основі так званого «карбідного мулу» містить домішки карбиду кальцію, що нерозклався, і розчиненого ацетилену. Застосовувати його можна після витримання протягом 1...2 місяців до зникнення запаху ацетилену, що визначається нагріванням проби у фарфоровій чашці до  $70^\circ\text{C}$  з помішуванням протягом 20 хв.

Порошкове карбідне вапно відрізняється від вапна-пушонки розмірами і формою зерен. У ньому кристали гідрату оксиду кальцію мають вигляд пластинок розміром до 0,2 мм, а у звичайній пушонці вони мають сферичну форму та розміри 0,5...1 мм. Вміст активних  $\text{CaO} + \text{MgO}$  у карбідному вапні залежить від тривалості її перебування на повітрі у відвалах і складає 50...60%, при цьому активність досягає активності вапна третього сорту або може бути трохи менше. Для поліпшення в'язучих властивостей карбідного вапна при виготовленні автоклавних виробів доцільно подрібнювати його разом з піском.

Близькими за складом і властивостями до карбідного вапна є деякі відходи суміжних галузей хімічної промисловості, такі як підзол і окшара. *Підзол* — відхід шкіряної промисловості, *окшара* — текстильної. Обидва



відходи є вапняним тістом з домішками відповідно органічних речовин, хлору і хлориду кальцію.

Деякі вапняні відходи хімічної промисловості, наприклад, що одержані при електровозгонці і збагаченні фосфоритів – це розведені суспензії, що при згущенні і фільтрації близькі по якості до вапняного молока.

Найбільша кількість *карбонатних відходів*, придатних для виробництва вапна і портландцементу, накопичується на содових, целюлозно-паперових і азотно-тукових підприємствах у вигляді шламів. Їхнє застосування неможливе без очищення від домішок і часткового зневоднювання, наприклад у центрифугах безперервної дії або у вакуумних барабанних фільтрах.

Найбільш розповсюдженими залізистими побічними продуктами хімічної промисловості є *піритні недогарки* — відходи переробки сірчаного колчедану (піриту) у сірчану кислоту. Хімічний склад піритних недогарків, %:  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  — 56...77;  $\text{SiO}_2$  — 9...22;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 1...18;  $\text{CaO}$  — 0,8...5;  $\text{MgO}$  — 0,1...0,2;  $\text{SO}_3$  — 1...11; втрати при прожарюванні — 0...5,5 %. За мінералогічним складом вони представлені сумішшю оксидів заліза з непрореагованим піритом і оксидами інших металів. У незначних кількостях присутні домішки сірчано-кислих солей лужно-земельних металів, свинцю, цинку, міді, кобальту. Гранулометричний склад недогарків характеризується порівняно високою дисперсністю, основна маса зерен (більш 90 %) має крупність не більше 0,14 мм.

До залізистих відходів належать також залізисті *шлами* анілінофарбових заводів. Вміст оксидів заліза в них у розрахунку на  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  складає 81...93 %, у тому числі закисного заліза близько 20 %.

До *кремнеземистих побічних продуктів* хімічної промисловості належить, наприклад, *сиштоф* — твердий залишок після одержання хлориду або сульфату алюмінію з каоліну. Його хімічний склад представлений в основному трьома оксидами:  $\text{SiO}_2$  (до 55 %),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (до 20 %) і  $\text{SO}_3$  (до 12 %). Втрати при прожарюванні складають близько 10 %.

Сиштоф одержують також при виробництві сірчано-кислого алюмінію з глини. При обробці дегідратованої вогнетривкої глини сірчаною кислотою глинозем переходить у розчин, а кремнезем залишається. У таких відходах міститься 80...90 % активного кремнезему. Домішками при цьому є глина, що нерозклася, і сульфат або хлорид алюмінію.

*Лігнін* — відхід гідролізного виробництва, один з компонентів деревини, є полімером складної будови. Природний лігнін при виділенні з деревини набуває незворотних перетворень. У відходах гідролізного виробництва, крім власне лігніну, утримуються залишки полісахаридів, мінеральні й органічні кислоти, смоли, віск, азотисті речовини й ін. Вологість лігніну 65...70 %, середня густина 500...600 кг/м<sup>3</sup>, теплотворна здатність 6300...7600 кДж/кг, зольність до 3 %. Висока дисперсність і внутрішня поверхня





(700...800 м<sup>2</sup>/г), а також переважна кількість мікропор обумовлюють високі сорбційні властивості лігніну та його пластичність.

Хімічна і суміжні з нею галузі промисловості утворюють численні побічні продукти, що застосовуються або можуть застосовуватися як поверхнево-активні речовини або добавки - електроліти при виробництві будівельних матеріалів.

*Поверхнево-активні речовини (ПАР)* — це органічні сполуки, до складу молекул яких входять одночасно полярна група (наприклад ОН, СООН, NH) і неполярний вуглеводневий ланцюг. Загальною особливістю ПАР є здатність до концентрування на поверхні розділу фаз, тобто до адсорбції.

Залежно від зміни ступеня змочуваності твердих тіл при утворенні адсорбційних шарів розрізняють гідрофілізуючі і гідрофобізуючі ПАР. З ПАР першої групи, застосовуваних звичайно як добавки-пластифікатори, найбільш поширені *концентрати технічних лігносульфонатів (ЛСТ)* — відходи, що утворюються при сульфитному варінні целюлози. При варінні сірчиста кислота зв'язується з лігніном деревини. Технічні лігносульфонати містять кальцієві, іноді магнієві або натрієво-амонійні солі лігносульфонових кислот, а також деревні цукри і невеликі домішки скипидару, фурфуролу, органічних кислот і ін. Цукри й інші домішки в ЛСТ, що мають відновлювальну здатність, поєднують у групу редуруючих речовин.

Близькими до технічних лігносульфонатів за характером дії є *патокова барда* — відхід переробки патоки в етиловий спирт, сульфитні луги і стічні води целюлозного виробництва. В якості пластифікуючих добавок застосовуються також інші ПАР, отримані з відходів хімічної, нафтохімічної і харчової промисловості — пластифікатор адипіновий, лужні стоки виробництва капролактаму, білковий гідролізат, молочна сироватка й ін.

Гідрофобізуючі ПАР, застосовувані при виробництві будівельних матеріалів, містять нафтеніві і вищі жирні кислоти та їхні похідні. Поширені *кубові залишки*, утворені при виробництві синтетичних жирних кислот з числом атомів вуглецю в молекулі від С<sub>10</sub> до С<sub>20</sub>. Представником гідрофобізуючих ПАР на основі нафтевих кислот є *милонафт* — відхід очищення дистилатів нафти їдким натрієм.

Деякі хімічні відходи містять електроліти. При виробництві 1 т соди виходить близько 8 м<sup>3</sup> *дистилерної рідини*, що представляє собою суспензію нерозчинних продуктів у розчині хлоридів кальцію і натрію. Середній склад цієї рідини, г/м<sup>3</sup>: CaCl<sub>2</sub> — 85...95; NaCl — 45...50; CaCO<sub>3</sub> — 6...15; CaSO<sub>4</sub> — 3...5; Mg(OH)<sub>2</sub> — 3...10; CaO — 2...4; (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) — 1...3; SiO<sub>2</sub> — 1...4. На хімічних підприємствах цю рідину перекачують у шламонакопичувачі (так звані «білі моря»).

Луговмісними відходами є *метасілікат натрію* (побічний продукт виробництва діоксиду титана або глинозему), *содолужний плав* (відхід капролактамового виробництва), *лужні відходи виробництва фенолу*.



При виробництві хлориду калію із сильвініту близько 80 % руди, що добувається з надр, після переробки йде у відвал у вигляді *галітових відходів, глинисто-сольових шламів і розсолів*. На поверхні Землі поблизу калійних підприємств утворені сотні мільйонів тонн сольових відвалів.

При коксуванні кам'яного вугілля поряд з основним продуктом — коксом — утворюються газ, бензол, сира кам'яновугільна смола й інші продукти. Вихід сирової смоли складає до 5 % від маси кам'яного вугілля. При фракційній розгонці смоли одержують легкі, середні і важкі масла, що містять ряд хімічних речовин, а також антраценове масло і пек — компоненти дорожнього дьогтю. У процесі відстоювання кам'яновугільної смоли в сховищах утворюються *фуси* — відходи, що містять смолисті речовини (50...80 %), вугільний і коксовий пил, залістисті й інші сполуки. У процесі очищення сірчаною кислотою бензольної фракції кам'яновугільної смоли утворюється так звана *кисла смола*, що представляє собою чорну в'язку масу з густиною 1,28.. 1,3 г/см<sup>3</sup>.

До відходів коксохімічного виробництва відносяться також кубові залишки ректифікації сирого бензолу і деякі інші продукти.

Великотонажні відходи утворюються в процесі переробки нафти у вигляді *кислих гудронів, нафтових шламів, відпрацьованих масел* і ін.

## 4.2. МАТЕРІАЛИ З ЗАСТОСУВАННЯМ ФОСФОРНИХ ШЛАКІВ

Можливості застосування шлаків електротермічного виробництва фосфору у виробництві будівельних матеріалів не менш широкі, ніж металургійних і паливних. Наявність домішок сполук фосфору і фтору, більш високий вміст кремнезему і менша кількість глинозему визначають деякі особливості використання цього виду відходів.

**В'язучі матеріали.** Більшість фосфорних шлаків застосовується в цементній промисловості. Фосфорний шлак відповідає вимогам, що висуваються до активних мінеральних добавок штучного походження. Порівняно низький вміст  $Al_2O_3$  обумовлює меншу гідравлічну активність фосфорних шлаків порівняно з доменними. При твердінні в нормальних умовах шлак електротермофосфорного виробництва не має в'язучих властивостей, також незначна його міцність в умовах пропарювання. Однак фосфорні шлаки добре активізуються лужними сполуками, у зв'язку з чим їх використовують у виробництві шлаколужних в'язучих.

Встановлено можливість комплексної активізації тонкомеленого електротермофосфорного шлаку невеликими добавками вапна (0,5...3,0 %), хлористими, сірчаноокислими і вуглекислими солями лужних і лугоземельних металів. Для солешлакових в'язучих характерна підвищена сульфатостійкість, застосування їх замість цементу можливо при виготовленні бетонних і залізобетонних виробів і конструкцій без змін існуючих технологій з тепловологісною обробкою в пропарювальних камерах і автоклавах.



Використання безвипалювального солешлакового в'язучого дозволяє поєднати технологію виробництва в'язучого і безцементних бетонів в одному комплексі. При цьому спрощується процес виробництва в'язучих, який зводиться до сушіння і помелу гранульованого електротермофосфорного шлаку разом з добавкою вапна-кипілки до питомої поверхні 2800...3500  $\text{cm}^2/\text{г}$ . Так як всі види солей, що застосовуються є водорозчинними, то введення їх у бетонну суміш здійснюється з водою замішування.

Однієї з областей застосування безвипалювального солешлакового в'язучого може бути виробництво на його основі легкобетонних панелей з бетонів класів В3,5...В10 і конструкційних керамзитобетонних виробів з бетонів класів В15...В25.

Морозостійкість керамзитобетону класів В3,5...В10 становить більше 35 циклів, класів В15...В25 — більше 50. Міцність зчеплення керамзитобетону з арматурою на солешлаковому в'язучому складає 3...4 МПа, що відповідає показникам зчеплення цементного керамзитобетону з арматурою.

Хімічний склад фосфорних шлаків дозволяє частково або цілком замінити ними глинистий компонент у виробництві портландцементного клінкера. При добавці 3...5% шлаку можливо загустіння сировинного шламу і зниження його текучості в результаті коагуляції. При збільшенні дозування до 8...10 % шлам знову надобуває задовільної текучості.

Фосфорні шлаки, що містять до 3 %  $\text{P}_2\text{O}_5$ , фтору 1...2 % і оксидів марганцю 1...1,5 %, є комплексними мінералізаторами і легуючими добавками, які прискорюють випалювання і позитивно впливають на активність портландцементного клінкера. Оксид фосфору сприяє зростанню активності клінкера при вмісті його не більше 0,3 %, а при більшому — нормальний процес клінкероутворення змінюється і якість цементу знижується. Для одержання вмісту в клінкері 0,2...0,3 %  $\text{P}_2\text{O}_5$  кількість фосфорних шлаків у сировинній суміші повинна складати 8...10 %. Відзначено, що при такій кількості шлаку декарбонізація сировинної суміші починається при більш низькій температурі і йде інтенсивніше, а температура спікання знижується на 100... 150°C. Це забезпечує зниження питомої витрати палива на випалювання і підвищення продуктивності печей на 3...6 %. Одночасно істотно підвищується гідравлічна активність клінкера на 5...10 МПа - на 28 добу. Легуюча дія фосфорних шлаків пояснюється зміною властивостей клінкерних мінералів при утворенні їх твердих розчинів, що містять  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Зміна тонкої структури клінкера приводить до зниження мікротвердості мінералів фосфорвмісного клінкера, що, у свою чергу, знижує питому витрату електроенергії на помел цементу.

Завдяки підвищеному вмісту кремнезему, фосфорні шлаки можуть замінювати в сировинній суміші кремнеземисті добавки, застосовувані при виготовленні сульфатостійкого портландцементу. Коефіцієнт



сульфатостійкості і показники міцності цементу при твердінні в сульфатних розчинах зростають на 10...15 %.

При вмісті фосфорних шлаків у сировинних сумішах більше 10 % різко підвищується силікатний модуль і випалювання клінкера ускладнюється, незважаючи на мінералізуючу дію фтористих сполук. Збільшення в цементі кількості оксиду фосфору більше 1,5 % сповільнює строки тужавлення. Цемент із підвищеним вмістом  $P_2O_5$  характеризується меншою теплою гідратації в ранньому віці, ніж цемент із такою же мінералогією, але виготовлений на звичайному клінкері. У більш пізньому віці ця різниця стає незначною.

Фосфорні шлаки також ефективні в якості активної мінеральної добавки при подрібненні клінкера. Їх вводять у портландцемент та шлакопортландцемент у тій же кількості, що і гранульовані доменні шлаки. При цьому вміст в них  $SiO_2$  повинен складати не менше 38 %,  $(CaO+MgO)$  — не менше 43 і  $P_2O_5$  — не більше 2,5 %.

На відміну від доменних, фосфорні шлаки представлені в основному склоподібною фазою псевдоволластонітового складу, що сповільнює формування структури шлакопортландцементу. Тужавлення *фосфорно-шлакового цементу* сповільнюється в міру зростання вмісту в ньому шлаку. Показники міцності цього виду шлакопортландцементу в ранні строки твердіння нижче, ніж звичайного, особливо при високому вмісті фосфорних шлаків. Однак у віці 3...5 міс. міцність цементу на основі електротермофосфорного шлаку стає вище, ніж цементу на основі доменних шлаків. Як і інші види шлакопортландцементу, цемент на основі електротермофосфорного шлаку інтенсивно твердіє при тепловологісній обробці, особливо при високих температурах.

Характерною рисою цементів на основі електротермофосфорного шлаку є висока сульфатостійкість, що забезпечується низьким вмістом у шлаках глинозему і зменшенням значення рН середовища в результаті зв'язування гідроксиду кальцію з шлаковим склом.

**Матеріали з фосфорно-шлакових розплавів.** З фосфорно-шлакових розплавів можна одержувати шлакову пемзу, вату і литі вироби. *Шлакову пемзу* одержують за звичайною технологією без зміни складу фосфорних шлаків. Вона має насипну густину 600...800  $кг/м^3$  і склоподібну дрібнопористу структуру. *Фосфорно-шлакова вата* характеризується довгими тонкими волокнами і середньою густиною 80...200  $кг/м^3$ .

Фосфорно-шлакові розплави можуть перероблятися в *литий щебінь* за траншейною технологією, застосовуваної на металургійних підприємствах. Технологічний ланцюг складається з електротермічної печі, ливарних траншей і дробильно-сортувального вузла.

Промислова установка для одержання литого щебеню складається з відділення наповнення розплавом шлаковозних ковшів, ливарних траншей з кантовальними механізмами і пристроями для поливу водою, екскаваторів





для розробки застиглому шлаку, механізмів для подрібнення, фракціонування, складування і транспортування щебеню споживачеві. Оптимальна товщина шару шлаку в траншеї становить 100...200 мм; при цьому кількість одержуваного шлакового щебеню, що має міцність не нижче 100 МПа і середню густину 2500...2550 кг/м<sup>3</sup>, складає 95...100 %.

На основі щебеню, отриманого з вогненно-рідких шлаків, виготовляють бетони з границею міцності до 50 МПа без перевитрати цементу. Для них характерні більш високі, ніж при застосуванні гранітного щебеню, значення модуля пружності і менші граничні деформації.

З вогненно-рідких фосфорних шлаків можна відливати бруківку з високою щільністю і механічною міцністю. У закристалізованих фосфорних шлаках основними мінералами є воластоніт (65...70 %), меліліт (20...25 %) та апатит (5...7 %).

На основі шлаків електротермічного виробництва фосфору одержують *шлакоситали* міцністю до 400 МПа, що мають підвищену стійкість в агресивних середовищах і при дії високих температур. Вони мають більш низьку собівартість, ніж аналогічні матеріали на основі доменних шлаків, що пояснюється дешевим складом шихти для варіння стекломаси, а також вимагають менших питомих капіталовкладень у їхнє виробництво.

Шляхом випробувань встановлено позитивний вплив добавки фосфорних шлаків (20...40 %) на міцність при стиску *керамічних виробів*. Застосування фосфорних шлаків у виробництві цегли дозволяє підвищити марку стінових виробів.

Встановлено можливість застосування фосфорних шлаків як основного компонента керамічних мас, наприклад при виробництві фасадної плитки. Так як шлак є плавнем, він сприяє утворенню необхідної кількості рідкої фази і поліпшує спікання кераміки. Одночасно, завдяки голчастій будові псевдovoластоніту, він є армуючим компонентом.

Використання фосфорних шлаків при виробництві керамічних виробів пов'язано з певними труднощами. При шлікерному способі підготовки маси введення добавки шлаків викликає деяке загустіння шлікерів. Наявність у складі шлаків сполук фосфору і сірки може стати причиною підвищеної загазованості і вимагає використання відповідних вентиляційних систем.

#### **4.3. МАТЕРІАЛИ НА ОСНОВІ ГІПСО- І ВАПНОМІСТКИХ ВІДХОДІВ**

В даний час використовується лише невелика частина гіпсомістких відходів, в тому числі фосфогіпсу. Цей багатотонажний відхід зазвичай транспортується з території підприємства у шламосховище, що пов'язано зі значними витратами праці і коштів. Гіпсомісткі відходи, як переконливо показано результатами численних досліджень і практики, можуть бути використані в сільському господарстві для хімічної меліорації кислих і солонцевих ґрунтів і компостування з органічними добривами; у цементній





промисловості як мінералізатор (добавка до сировинної суміші) і як регулятор швидкості тужавлення (замість природного гіпсу); для виробництва гіпсових в'язучих і виробів, наповнювача у виробництві пластмас, скла; у будівництві автомобільних шляхів, для виробництва сірчаної кислоти тощо.

До найбільш перспективних напрямків утилізації фосфогіпсу відноситься використання його у виробництві гіпсових в'язучих матеріалів.

Обсяг гіпсомістких побічних продуктів перевищує обсяг гіпсового каменю, що спеціально добувається для виробництва будівельних матеріалів. Значний інтерес у виробництві в'язучих і матеріалів на їх основі поряд з гіпсомісткими представляють також вапномісткі відходи промисловості.

**Гіпсові в'язучі на основі фосфогіпсу.** Фосфогіпс, що містить від 80 до 98% гіпсу може бути віднесений до гіпсової сировини. Висока дисперсність фосфогіпсу ( $S_{\text{пит}}=3500..3800 \text{ см}^2/\text{г}$ ) дозволяє виключити з технологічного процесу його переробки подрібнення і грубий помел. Разом з тим висока вологість фосфогіпсу (до 40%) ускладнює його транспортування і підготовку та приводить до значних витрат палива на сушіння. Наявність у фосфогіпсі водорозчинних, особливо фосфоро- і фторовміщуючих домішок, ускладнює переробку відходів порівняно з переробкою природного гіпсового каменю, викликає необхідність промивання, нейтралізації тощо і обумовлює відповідно більш високі теплові витрати. Гіпсові в'язучі, отримані за звичайною технологією переробки фосфогіпсу є низькоякісними, що пояснюється високою водопотребою фосфогіпсу, обумовленою високою пористістю утвореного напівгідрату. Якщо водопотреба звичайного будівельного гіпсу складає 50...70 %, то для одержання тіста нормальної густоти з фосфогіпсового в'язучого без додаткової обробки потрібно 90...120 % води. Негативний вплив на будівельні властивості фосфогіпсу домішок, що містяться в ньому, можна дещо знизити помелом фосфогіпсу і формуванням виробів методом віброукладання. У цьому випадку якість фосфогіпсового в'язучого підвищується, хоча і залишається нижче, ніж будівельного гіпсу з природної сировини.

Дослідження показали, що основною причиною погіршення в'язучих властивостей непромитого фосфогіпсу є утворення значної кількості ангідриту, тобто безводного сульфату кальцію при випалюванні під впливом кислих фосфатних і фтористих сполук. Із зростанням вмісту нерозчинного ангідриту більше 30%, міцність в'язучих наближається до нуля.

Домішки у фосфогіпсі вільних фосфорної і сірчаної кислот, розчинних солей сповільнюють твердіння гіпсових в'язучих. Ускладнює технологію також виділення фтористих газів при тепловій обробці, через підвищену кислотність відбувається корозія устаткування.

В даний час розроблено і випробувано у виробничих умовах декілька технологій одержання гіпсових в'язучих з фосфогіпсу. Промислове виробництво цих в'язучих і виробів на їх основі було організовано на



Воскресенському хімічному заводі (Росія), Кедайняйському експериментальному заводі (Литва), заводі «Суміхіпром (Україна).

Технологічні процеси одержання гіпсових в'язучих, основним компонентом яких є напівгідрат сульфату кальцію або ангідрит, включають підготовку вихідного продукту до випалювання і випалювання.

Основні методи підготовки фосфогіпсу у виробництві гіпсових в'язучих можна розділити на 4 групи:

- 1) промивання фосфогіпсу водою;
- 2) промивання у поєднанні з нейтралізацією й осадженням домішок у водній суспензії;
- 3) метод термічного розкладання домішок;
- 4) введення нейтралізуючих, мінералізуючих і регулюючих кристалізацію добавок перед випалюванням і після нього.

Методи першої і другої груп пов'язані з утворенням значної кількості забрудненої води (2...5 м<sup>3</sup> на 1 т фосфогіпсу), великими витратами на їх видалення й очищення. Більшість методів термічного розпаду домішок (3 група) засновано на випалі фосфогіпсу до утворення розчинного ангідриту з подальшою його гідратацією і повторним випалюванням до напівгідрату. Широкого застосування вони поки що не мають так само як і методи 4-ої групи. Для реалізації останніх необхідні дефіцитні добавки і вони не забезпечують стабільність властивостей в'язучих речовин.

Провідне місце в розробці і практичному застосуванні технології гіпсових в'язучих з фосфогіпсу належить Японії, Франції, ФРН.

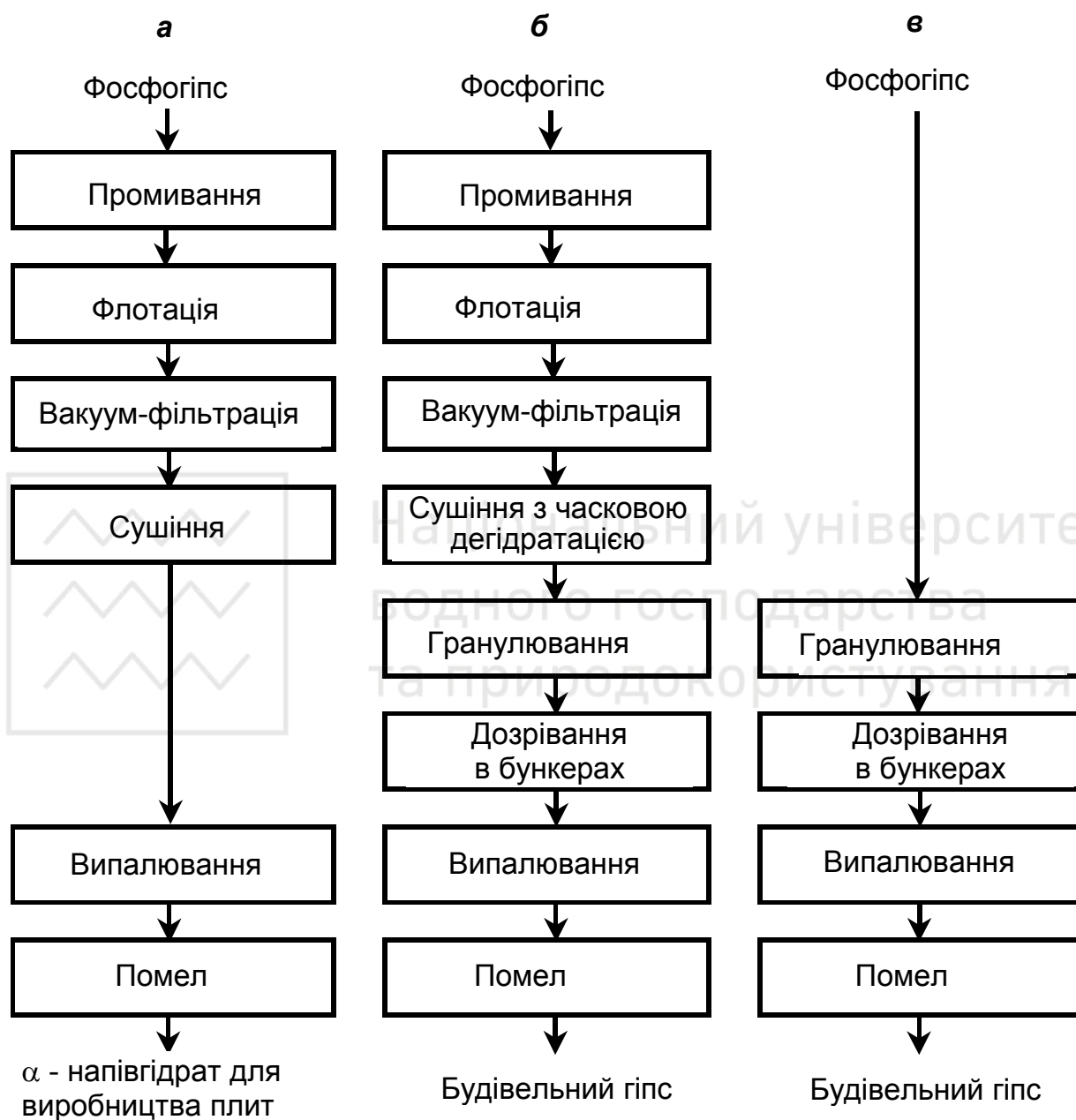
На основі фосфогіпсу можливе одержання як високоміцного, так і будівельного гіпсу, що відрізняються водопотребою і відповідно міцністю, яка досягається вже через 1,5 год після замішування.

Фірма Кнауф пропонує три варіанти виробництва в'язучих з фосфогіпсу в залежності від області його подальшого використання. Принципова схема цих трьох варіантів представлена на рис. 4.1. За I варіантом (а) забруднений фосфогіпс промивають і флотують для видалення водорозчинних і твердих домішок, потім дегідратують у котлах періодичної або безперервної дії. Отриманий чистий продукт є безпечним для картону, яким покривають поверхню панелей або плит.

За II варіантом (б) склад фосфогіпсу відповідає відношенню ангідриту до напівгідрату, рівному  $1/3:2/3$ . Стадія очищення від домішок може бути тією ж, що і за першим варіантом; ступінь очищення можна знизити за рахунок зменшення дозування хімічних реагентів на стадії флотації. У процесі грануляції до дегідратованого фосфогіпсу додають воду і речовини, що осаджують нерозчинні сполуки фосфору. Потім продукт витримують у спеціальних реакторах, де відбувається утворення фосфатів і направляють на випалювання і помел.



III варіант (в) розроблений для одержання напівгідратного фосфогіпсу безпосередньо у виробництві екстракційної фосфорної кислоти. Так як напівгідрат містить набагато менше домішок порівняно з дигідратом, то необхідність перших чотирьох стадій його очищення відпадає.



**Рис.4.1.** Принципові схеми процесів отримання гіпсових в'язучих методами фірми Кнауф: а, б та в

Одна з технологій одержання *високоміцного фосфогіпсового в'язучого* реалізована на Воскресеньському хімічному заводі (Московська обл.). Фосфогіпс від фільтрів лінії фосфорної кислоти подають у змішувач, розбавляють до одержання суспензії з концентрацією 400 г/л і транспортують по трубопроводу до пристрою по його переробці. Суспензію приймають у ємкості і відцентровими насосами подають у барабанні вакуумні фільтри,



призначені для промивання і фільтрації фосфогіпсу. Промитий кек знову розбавляють водою до концентрації близько 700 г/л і отриману суспензію перекачують в автоклави. Утворену в автоклавах суспензію  $\alpha$ -напівгідрату охолоджують і зневоднюють у вакуум-фільтрах. Відфільтрований і промитий гарячою водою продукт з вологістю близько 12...15 % висушують у прямоочних трубах-сушарках до 4,5 % вмісту кристалізаційної води. Висушений  $\alpha$ -напівгідрат подрібнюють у кульових млинах і транспортують у силоси для зберігання готового в'язучого.

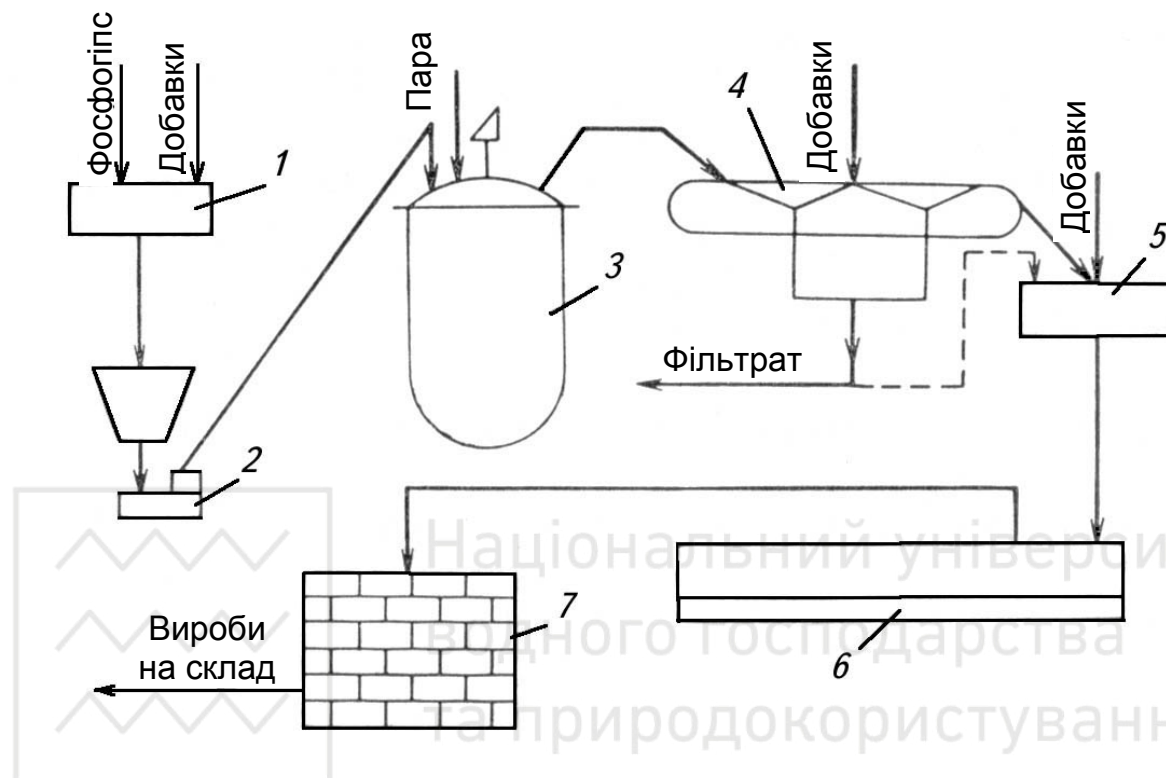
Технологія одержання високоміцного гіпсу з фосфогіпсу, що розроблена Науково-дослідним інститутом будівельних матеріалів (м.Москва), передбачає доведення співвідношення у фосфогіпсовому шламі рідкої і твердої фаз до одиниці, введення в отриману суспензію добавки ПАР — регулятора кристалізації напівгідрату — і гідротермальну обробку усередненої суспензії в автоклаві, де відбуваються дегідратація фосфогіпсу і кристалізація напівгідрату кальцію  $\alpha$ -модифікації. На вакуум-фільтрі тверда фаза суспензії відокремлюється і надходить послідовно на сушіння, помел і склад готової продукції. При використанні подібної технологічної лінії одержання високоміцного гіпсу з фосфогіпсу може бути безперервним і цілком автоматизованим. Застосування двох автоклавів місткістю 25 м<sup>3</sup> дозволяє одержувати в рік 100...110 тис. т високоміцного гіпсу. Цикл тепловологої обробки складає 45 хв. Тужавлення фосфогіпсового в'язучого починається через 8...10 хв, кінець - через 10...15 хв, границя міцності при стиску складає 30...50 МПа, тобто в 3...4 рази вище міцності при стиску звичайного будівельного гіпсу.

Висока вологість і дисперсність фосфогіпсу обумовлюють перспективність застосування автоклавних способів для одержання високоміцних гіпсових в'язучих. При автоклавній обробці випаровується переважно вода, що залишається після фільтрації продукту автоклавної обробки. При нагріванні фосфогіпсової пульпи в автоклаві при 114...125<sup>0</sup>С гіпс розчиняється і рідка фаза стає пересиченою відносно напівгідрату, що і призводить до кристалізації голчастих кристалів  $\alpha$ -напівгідрату. На відміну від кристалів  $\beta$ -напівгідрату, що утворюється у варильних котлах і інших апаратах, які з'єднані з атмосферою, відносно великі кристали  $\alpha$ -CaSO<sub>3</sub>·0,5H<sub>2</sub>O мають суттєво меншу водопотребу і сприяють синтезу штучного каменю з більш високими фізико-механічними властивостями.

На створеній дослідній установці організоване експериментальне виготовлення стінових каменів з використанням продукту автоклавної обробки сировинної суміші фосфогіпсу і гідравлічних компонентів. Принципова схема установки наведена на рис 4.2.



Важливим резервом значного підвищення економічності автоклавного способу переробки фосфогіпсу є усунення процесів сушіння, помелу, а в перспективі і фільтрації продукту автоклавної обробки. На ці стадії витрачається близько 45% капітальних, близько 50% поточних, більш 60% теплових і енергетичних ресурсів.



**Рис.4.2.** Принципова схема переробки фосфогіпсу у вироби (стінові камені) без проміжного отримання порошкоподібного в'язучого:

1 - агрегат для модифікації фосфогіпсу; 2 -насос; 3-автоклав безперервної дії; 4-фільтр; 5-змішувально-активуючий агрегат; 6 -машина для формування виробів; 7 - вироби

Запропоновано технологію одержання високоміцних гіпсових в'язучих обробкою вихідного фосфогіпсу в розчинах кислот або солей, що мають температуру кипіння  $105...120^{\circ}\text{C}$ , з промиванням і висушуванням готового продукту.

Процес одержання в'язучого полягає в дегідратації гіпсу, що міститься у фосфогіпсі, до напівгідрату, а процес виготовлення виробів — у зворотному: гідратації напівгідрату до гіпсу у великому надлишку води. Таким чином, спостерігається парадоксальний факт: при вологій вихідній сировині (фосфогіпс) і вологому готовому продукті (гіпсові вироби) на проміжній стадії технологічного процесу за допомогою сушіння одержують порошкоподібний продукт (гіпсову в'язучу речовину), який при виготовленні виробів на цьому ж підприємстві вже через короткий час знову змішують з водою.





Ефективне виробництво виробів безпосередньо з фосфогіпсу за одностадійною технологією, що передбачає здійснення обох хімічних процесів — дегідратації двоводного гіпсу і гідратації утвореного напівгідрату — у межах одного технологічного циклу. Дегідратація відбувається за принципом "самозапарювання", тобто у формах підвищеної щільності кристалізаційна вода виділяється в крапельно-рідкому стані, залишаючись у порах зерен і порожнинах кристалічної решітки гіпсу.

За цією технологією вироби можна формувати на установках, що складаються з двох пуансонів і зовнішньої опалубки. Верхній пуансон служить виштовхувачем відпресованого виробу. У форму засипають гіпсову сировину, розрівнюють її, а потім верхнім пуансоном торкаються поверхні порошку. Таким чином створюється замкнутий простір, у якому відбувається термічна обробка фосфогіпсу, після чого отриману гідратовану масу пресують. Затверділі вироби розпалублюють при температурі нижче 40°C.

Розроблена також технологія виробництва високоміцного гіпсу на основі *фосфонапівгідрату* — відходу виробництва екстракційної фосфорної кислоти за напівгідратною схемою. Вона складається з наступних етапів обробки: подрібнення й активування фосфонапівгідрату на вальцях тонкого помелу, переведення "пасивуючих" плівок за допомогою спеціальних добавок у рідку фазу, наступного фільтрування суспензії на стрічкових вакуум-фільтрах; промивання твердої фази, сушіння її до повного видалення гігроскопічної вологи і помелу.

Основні роботи з використання фосфонапівгідрату для одержання гіпсових в'язучих проводяться у трьох напрямках:

- гідратація до двоводного гіпсу й одержання сировини для виробництва будівельного і високоміцного гіпсу;
- активація з сушінням;
- випалювання до ангідриту з введенням активаторів твердіння.

Зниження пасивуючої дії кислих домішок на зернах фосфонапівгідрату досягається механічною обробкою і нейтралізацією. Як активатори твердіння застосовують добавки різних фтористих сполук. З фосфонапівгідрату при його нейтралізації лужними добавками в сполученні з механічною обробкою в бігунах можна отримувати суміші і пресувати з них різні вироби.

Фізико-механічні показники в'язучого, отриманого з фосфонапівгідрату за такою технологією наступні:

Насипна густина, кг/м <sup>3</sup>	1190...1270
Водопотреба, %	32...38
Терміни тужавлення, хв:	
початок	8...10
кінець	11...14



Міцність, МПа, зразків 40×40×160 мм у віці 1,5 год. при:

згині	3...3,9
стиску	5,5...9
у віці 1 доби при:	
згині	5...7
стиску	10...16
висушених до постійної маси при:	
згині	7...9
стиску	20...30
Об'ємне розширення, %	0,03...0,08

Відмінними особливостями в'язучого з фосфонапівгідрату є: зростання міцності при зберіганні в нормальних умовах через 20...30 діб на 10...30 %; порівняно невелике об'ємне розширення.

Фосфонапівгідрат без додаткової обробки може бути рекомендований для спорудження основ дорожніх покриттів у тих випадках, коли до останніх не висуваються підвищені вимоги за морозостійкістю.

*Водостійке в'язуче на основі фосфогіпсу* можна одержати як змішуванням з цементом і пуцолановою добавкою (*фосфогіпсоцементно-пуцоланове в'язуче*), так і спільною тепловою обробкою суспензії фосфогіпсу та різних гідравлічних компонентів, наприклад портландцементу, нефелінового шламу, металургійних шлаків з лужними активізаторами тощо. В останньому випадку отримують високоміцну в'язучу речовину підвищеної водостійкості.

Технологічна схема включає: підготовку суспензії фосфогіпсу і подачу її на переробку; фільтрацію суспензії фосфогіпсу і підготовку робочої сировинної суміші з фосфогіпсу, добавок і води; автоклавну обробку сировинної суміші; сушіння напівпродукту і його помел.

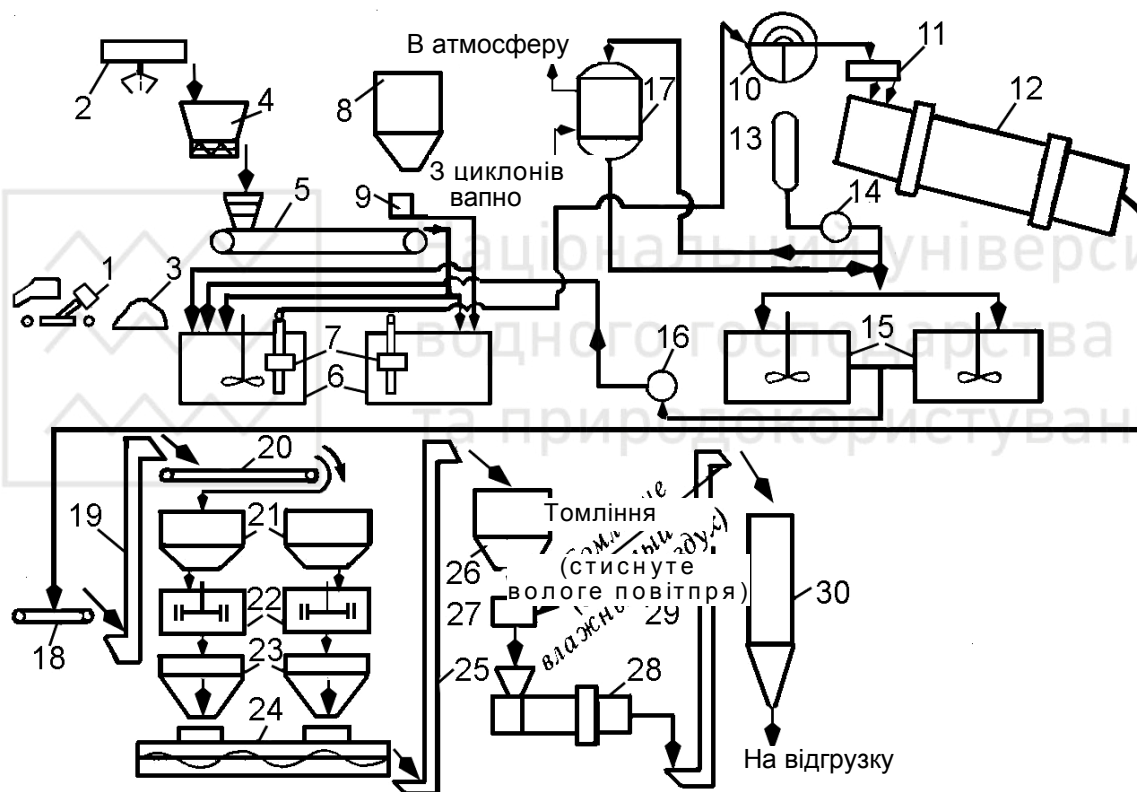
На 1 т в'язучого витрачається 1,5 т вологого фосфогіпсу і 0,1 т добавки. При питомій поверхні 3000...4500 см<sup>2</sup>/г водопотреба в'язучого складає 35...45 %, тужавлення починається через 30...60 хв, кінець — через 80...120 хв, границя міцності при стиску через 3 год складає 6...7 МПа, а при постійній масі — 20...40 МПа, коефіцієнт розм'якшення 0,6...0,7.

За цією технологією запроектовано цех по виробництву високоміцного гіпсового в'язучого підвищеної водостійкості на Уваровському хімічному заводі (Росія) потужністю 400 тис.т у рік.



На відміну від високоміцного, *будівельний гіпс* одержують в апаратах, що передбачають з'єднання з атмосферою. При цьому вихідний дигідрат сульфату кальцію переходить у  $\beta$ -напівгідрат.

За технологією Литовського НДІ будівництва й архітектури при одержанні будівельного гіпсу вихідний фосфогіпс не промивають, а створюють умови для проходження процесу перетворення активних форм фосфатів у важкорозчинні сполуки групи гідроксилапатиту. Для цього здійснюють нейтралізацію фосфогіпсу вапном у рідкій пульпі (рис. 4.3). Після повної нейтралізації фосфогіпс фільтрується до вологості 20...30 %, висушується в сушильному барабані і надходить у варильний котел, де відбувається процес дегідратації.



**Рис. 4.3.** Схема виробництва будівельного гіпсу з фосфогіпсу:

- 1 — транспорт фосфогіпсу;
- 2 — мостовий грейферний кран;
- 3 — склад фосфогіпсу;
- 4 — живильник гвинтовий;
- 5 — стрічковий конвеєр;
- 6 — реактор нейтралізації;
- 7 — насос;
- 8 — бункер вапна;
- 9 — дозатор;
- 10 — барабанный вакуум-фільтр;
- 11 — живильник;
- 12 — барабан для сушіння;
- 13 — ресівер;
- 14 — насос;
- 15 — збирач фільтру;
- 16 — насос;
- 17 — скрубєр;
- 18 — стрічковий конвеєр;
- 19 — елеватор;
- 20 — стрічковий конвеєр;
- 21 — бункер;
- 22 — гіпсоварильний котел;
- 23 — бункер томління;
- 24 — гвинтовий конвеєр;
- 25 — елеватор;
- 26 — бункер;
- 27 — дозатор;
- 28 — кульовий млин;
- 29 — елеватор;
- 30 — бункер будівельного гіпсу

Будівельний гіпс, отриманий за такою технологією, відповідає стандартним вимогам: водопотреба для нормальної густоти — 60...70 %,



початок тужавлення 6...12 хв, кінець – 10...20 хв., 2-годинна міцність на стиск 5...6, на згин 2,4...3,0 МПа.

За спрощеною технологією можна одержати гіпсову в'язучу речовину з фосфогіпсу, витриманого тривалий час у відвалах. Відвальний фосфогіпс вміщує у декілька разів меншу кількість розчинних фосфатів, що дозволяє уникнути їх відмивання. При змішуванні відвального фосфогіпсу з 1...3% негашеного вапна відбувається практично повна нейтралізація кислих домішок, що залишаються в ньому. З нейтралізованого вапном відвального фосфогіпсу шляхом випалювання при 140...170<sup>0</sup>С у сушильному барабані або варильному котлі можливе одержання гіпсової в'язучої речовини, яка за властивостями відповідає вимогам стандарту на будівельний гіпс. Суттєве покращення фізико-механічних властивостей в'язучої речовини можна досягти тонким помелом і введенням ефективних пластифікуючих добавок.

В'язуча речовина, отримана на основі кислого фосфогіпсу при випалюванні відвального гіпсу без попередньої його нейтралізації має значно гірші фізико-механічні властивості. Вона може бути використана в дорожньому будівництві. У конструктивні шари дорожніх покриттів фосфогіпсова в'язуча речовина на основі вкладається у вигляді сухих сумішей з мінеральним матеріалом, попередньо ущільнюється до густини 1,8...2 г/см<sup>3</sup>, лише потім обробляється водою в кількості, необхідній для гідратації в'язучого. Завдяки застосуванню жорстких сумішей і ущільненню міцність та водостійкість фосфогіпсових композицій зростає в 2...4 рази в порівнянні з аналогічними показниками для зразків, отриманих литим способом. Ущільнення дозволяє реалізувати можливу активність в'язучого й у значній мірі компенсувати негативний вплив домішок.

Шляхом випалювання фосфогіпсу при 600...1000<sup>0</sup>С можливе одержання *ангідритових в'язучих*, що складаються в основному з нерозчинного ангідриту. Вони набувають здатність твердіти при введенні добавки 1,5...2 % вапна, що додається при помелі випаленого матеріалу. В якості добавок-катализаторів твердіння ангідритових в'язучих можуть бути також оксид магнію, випалений доломіт (3...8 %), сульфат натрію (0,5...1 %) і ін. Введення цих добавок дозволяє в 28-добовому віці досягнути границі міцності при стиску до 20 МПа. Розроблено декілька патентованих рецептур ангідритових в'язучих з фосфогіпсу, що включають різні комплексні добавки, в які входять вапно, кремнефторид натрію, алюмосилікатні, залізисті компоненти тощо.

Перспективними є роботи з одержання *безвипалювальних фосфогіпсових дигідратних в'язучих*. При механохімічній активізації фосфогіпсу за рахунок підвищення його питомої поверхні шляхом домелення і введенням деяких добавок він набуває здатності твердіти без переведення у напівгідрат. Цей ефект пояснюється підвищеною розчинністю високодисперсного дигідрату, його спроможністю до утворення пересичених розчинів і формуванню коагуляційно-кристалізаційних структур. Найбільшу міцність (30 МПа)



фосфогіпсова дигідратна в'язуча речовина виявляє в умовах пресування при тиску 20...25 МПа.

Пріоритет у розробці безвипалювальних гіпсових в'язучих (гіпсових цементів) належить П.П.Будникову. Ще у 1924 р. ним було встановлено, що двоводний гіпс після помелу в присутності різних добавок ( $\text{NaHSO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  і ін.) і замішуванні водою набуває здатності твердіти на повітрі і досягає при цьому значної міцності. Подальші дослідження показали можливість одержання безвипалювального гіпсового дигідратного в'язучого шляхом його тонкого помелу в кульовому млині за сухим і мокрим способами. Суттєвим недоліком запропонованих технологій є необхідність високої тонкості подрібнення гіпсу. Вироби з безвипалювального гіпсового в'язучого отримують при силових методах ущільнення – пресуванні, вібропресуванні. Для фосфогіпсу необхідне попереднє підсушування перед пресуванням або відведення рідкої фази в процесі пресування, що ускладнює і підвищує вартість технології виробів на основі дигідратного гіпсової в'язучої речовини.

Для підвищення водостійкості дигідратного гіпсового в'язучого застосовують ті ж самі добавки, що використовуються для підвищення водостійкості напівгідратних в'язучих (вапно, гранульовані доменні шлаки, синтетичні смоли).

Розроблена технологія, яка передбачає перемішування суміші взятих у певному співвідношенні сирого фосфогіпсу, меленого негашеного вапна, активної мінеральної добавки і води в бетонозмішувачі примусової дії, формування виробів і їхню термообробку. Краще всього на якість виробів впливає перемішування фосфогіпсобетонної суміші в бігунах, в яких не тільки змішуються компоненти суміші, але і додатково подрібнюються часточки фосфогіпсу. Правильно обране співвідношення між вапном і активною мінеральною добавкою забезпечує не тільки міцність, але і довговічність одержуваного на основі двоводного фосфогіпсу бетону при його твердінні у вологому середовищі. Спостереження за станом зразків з фосфогіпсобетону, які містять різну кількість активної мінеральної добавки, показали, що при твердінні протягом 1 року в ньому відбувається безперервне зростання міцності. Найбільш інтенсивне підвищення міцнісних показників відбувається у вологих умовах при більш повному утворенні гідросилікатів і гідроалюмінатів кальцію.

З фосфогіпсових в'язучих у суміші з заповнювачами можна отримати перегородкові плити і блоки, гіпсопіщану цеглу, декоративні й акустичні плити. Ці в'язучі перспективні також для виготовлення стінових гіпсобетонних каменів класів В7,5...В12,5 способом вібропресування, а також крупнорозмірних елементів зовнішніх стін. Вироби на основі фосфогіпсових в'язучих речовин характеризуються більш низькою деформативністю, ніж на аналогічних гіпсових в'язучих з природної сировини.





На основі водостійких *фосфогіпсоцементно-пуцоланових в'язучих* розроблені склади легких керамзитобетонів класів В3,5...В7,5. Водостійкість гіпсокерамзитобетону на 40...50 % більше, ніж чистої в'язучої речовини. Міцність бетону після 3 годин складає 30...35 %, після 1 доби — 40...45 %, а після 7 діб досягає майже 100 % марочної міцності, що визначається у віці 28 діб. Інтенсивне зростання міцності бетону в початковий період дозволяє виключити теплову обробку виробів з нього і здійснити попередню розпалубку вже через 20...25 хв, що значно спрощує процес виробництва і знижує на 10...15 % вартість виробів.

Раціональним є застосування фосфогіпсоцементно-пуцоланової в'язучої речовини для виробництва санітарно-технічних кабін. В розрахунку на одну санітарно-технічну кабінку скорочуються трудові витрати на 16 чол-год, енергетичні витрати — на 155 кг умовного палива, вивільняється до 630 кг цементу і 25 кг арматурної сталі.

Ефективною галуззю застосування в'язучих речовин з фосфогіпсу є *сухі суміші*, до складу яких входять додатково наповнювачі, пластифікатори, сповільнювачі і, при необхідності, інші компоненти. Застосування сухих гіпсових сумішей замість цементних і вапняних дозволяє збільшити продуктивність праці: при влаштуванні підлог — у 2...3 рази, штукатуренні стін — у 1,3...1,5, тампонуванні нафтових і газових свердловин — у 1,5...2,5 рази.

Основною продукцією гіпсової промисловості є *перегородкові плити і панелі, гіпсокартонні листи* для влаштування перегородок і підвісних стель. Їх питома енергоємність у 2...3 рази нижче, ніж перегородок з керамзитобетонних, цегляних, залізобетонних виробів.

Для поліпшення акустичних властивостей міжкімнатних несучих перегородок і зниження маси конструкцій розроблений *гіпсоволокнистий матеріал*, що містить волокнистий наповнювач — розпушену паперову макулатуру, скловолокно або мінеральну вату. Введення до 10...12 % мінеральної вати знижує середню густину матеріалу майже на 25 %. Дисперсне армування гіпсових матеріалів скловолокном дозволяє зберегти необхідні міцнісні властивості виробів, незважаючи на зниження їх середньої густини. Поліпшені технічні властивості гіпсоволокнистих листів досягаються і при армуванні паперовою макулатурою. Завдяки перевагам, що забезпечуються дисперсним армуванням, розширюється область застосування гіпсових матеріалів, наприклад для покриття підлог, міжповерхових перекриттів у малоповерховому каркасному будівництві. Для гіпсоволокнистих листів не потрібен будівельний картон, як волокниста сировина використовується в основному розпушена паперова макулатура.

Звукоізолююча здатність міжкімнатних перегородок товщиною 80 мм із гіпсоволокнистих плит оцінюється в 50...52 дБ, в той час як одношарові гіпсобетонні плити і панелі такої ж товщини мають звукоізоляцію близько 40 дБ.



Найбільш ефективним є застосування фосфогіпсоцементно-пуцоланових в'язучих речовин при виробництві гіпсоволокнистих плит, що відрізняються підвищеною міцністю, довговічністю й особливо технологічністю. Більш повільні строки тужавлення цієї в'язучої речовини дозволяють виготовляти вироби без сповільнювачів тужавлення.

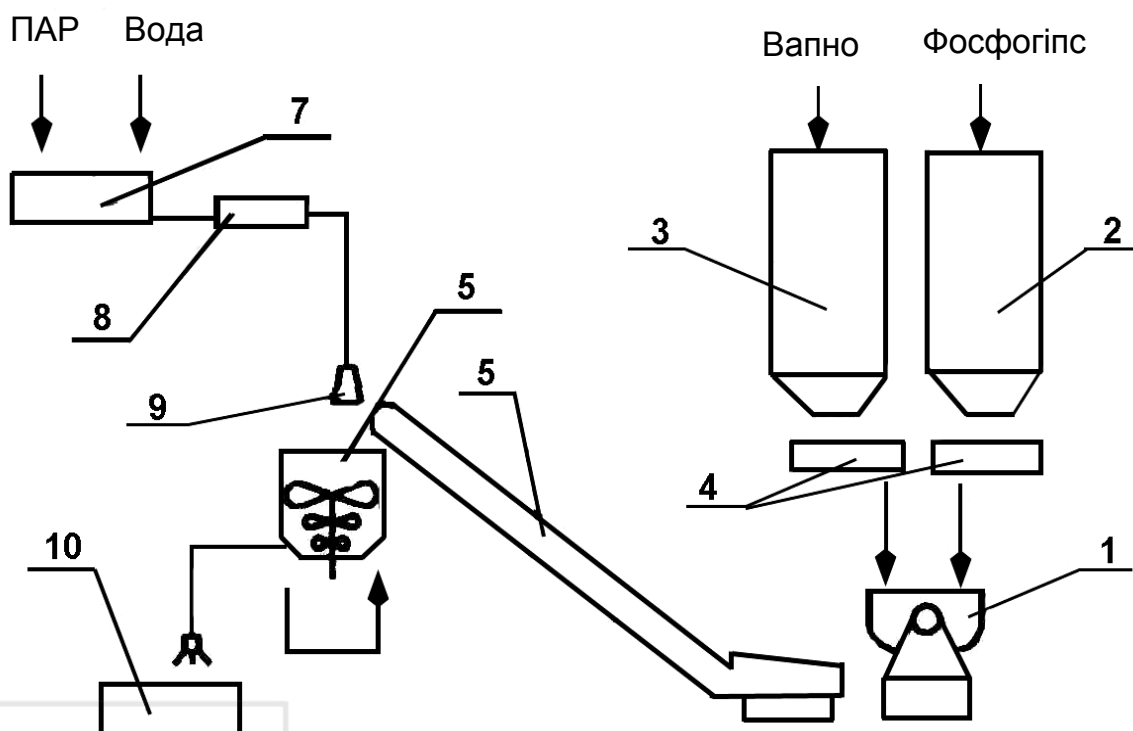
Освоєно випуск перегородкових плит — з пазогребневим замком по периметру. Продуктивність праці при застосуванні таких плит, порівняно з влаштуванням перегородок з цегли і гіпсових пазових плит, підвищується відповідно в 1,5...2 і 1,3...1,6 рази.

На основі фосфогіпсових в'язучих можливе одержання декоративних матеріалів, наприклад *штучного мармуру*. В'язучу речовину для таких матеріалів одержують шляхом випалювання при 800...900°C сировинної суміші, що складається з фосфогіпсу, кремнефтористих солей і оксиду кальцію. Одержання високоміцних декоративно-лицювальних виробів можливе також з напівгідратного фосфогіпсового в'язучого пресуванням з фільтраційним видаленням вологи.

Ефективною є технологія *пінофосфогіпсових блоків*. Вона полягає в наступному (рис. 4.4): вихідні матеріали (фосфонапівгідрат безпосередньо з лінії екстракції і вапно-пушонка) у заданому співвідношенні піддаються механохімічній активації у дволопатовому змішувачі з Z-подібними самоочисними лопатями, а потім у швидкісному лопатовому змішувачі. Водний розчин піноутворювача з бака нагнітається через піногенератор, для виробництва піни низької кратності. Піна заданої кратності подається у швидкісний змішувач і перемішується з нейтралізованим активованим фосфонапівгідратом до одержання однорідної дрібнопористої пінофосфогіпсової маси, з якої потім формують вироби. Твердіння виробів відбувається в нормальних умовах, розпалублення — через 15...18 год. Готові вироби укладають на піддони і зберігають на складі протягом 3 діб до досягнення відвантажувальної міцності. При необхідності скорочення термінів визрівання виробів піномасу у формах потрібно розігрівати до температури 60...75°C. Експериментально встановлено, що для виготовлення суміші потрібно застосовувати тільки свіжий фосфонапівгідрат, тому що при його зберіганні більш 1 доби у результаті гідратації відбувається агрегування частинок у великі конгломерати і міцність виробів суттєво зменшується.

За вищезгаданою технологією у виробничих умовах показана можливість виготовлення пінофосфогіпсових пазогребневих перегородок і стінових блоків, що можуть застосовуватися для зведення 1...3-поверхових будинків.

Високоякісні будівельні вироби можуть бути отримані при використанні фосфогіпсу в композиції з органічними сполуками і, зокрема, карбомідними смолами. Такі суміші переробляються способом екструзії в тонкостінні вироби. Кислі домішки у фосфогіпсі сприяють твердненню полімерного зв'язуючого.



**Рис.4.4.** Принципова технологічна схема виробництва пінофосфогіпсових блоків:

- 1 — двохлопатовий змішувач з Z-подібними самоочисними лопатями;  
2 — бункер фосфوناتів; 3 — бункер вапна-пушонки; 4 — ваговий дозатор; 5 — конвеєр стрічковий; 6 — швидкісний лопатовий вертикальний змішувач; 7 — бак водного розчину ПАР; 8 — насос; 9 — піногенератор; 10 — форми для виробів

Розроблено технологію отримання білого наповнювача на основі фосфогіпсу для фарб і пластмас. Він може замінити наповнювачі з природної сировини – крейди, тальку, каоліну й ін., а також частково замінити білі пігменти.

**Фосфогіпс у виробництві цементів.** У цементній промисловості фосфогіпс застосовують як мінералізатор при випалюванні клінкеру і як добавку для регулювання тужавлення цементу замість природного гіпсу. Добавка 3...4 % фосфогіпсу в шлам дозволяє збільшити коефіцієнт насичення клінкеру з 0,89...0,9 до 0,94...0,96 без зниження продуктивності печей, підвищити стійкість футеровки в зоні спікання внаслідок рівномірного утворення стійкої обмазки і сприяє одержанню клінкера, що легко розмелюється. Механізм мінералізуючої дії фосфогіпсу обумовлений каталітичним впливом  $SO_3$  при температурах нижче  $1400^{\circ}C$ , що викликає зниження в'язкості розплаву, збільшення його кількості й утворення проміжних сполук, що зв'язують  $CaO$ . Певний позитивний вплив мають домішки фосфорного ангідриду і фтору.

Встановлено придатність фосфогіпсу для заміни гіпсу при помелі цементного клінкеру. Високий вміст сірчаного ангідриду і наявність домішок водорозчинних сполук фосфору і фтору обумовлюють більш високий ефект

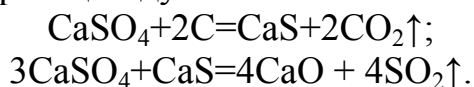


уповільнення строків тужавлення фосфогіпсом, ніж гіпсовим каменем. Це дозволяє зменшити дозу сповільнювача порівняно зі звичайною для природного гіпсу. Додаток фосфогіпса не впливає на активність цементу, лише в ранні строки твердіння може спостерігатися незначне зниження міцності.

Широке застосування фосфогіпсу як добавки при виробництві цементу можливо лише при його підсушуванні і гранулюванні. Вологість гранульованого фосфогіпсу не повинна перевищувати 10...12 %. Запропоновано спосіб гранулювання фосфогіпсу, що полягає у зневоднюванні частини вихідного фосфогіпсового шламу при температурі 220...250°C до стану розчинного ангідриду з наступним змішуванням його з іншою частиною фосфогіпсу. При змішуванні фосфоангідриду в обертовому барабані зневоднений продукт підлягає гідратації за рахунок вільної вологи вихідного матеріалу, внаслідок чого утворюються тверді гранули двоводного фосфогіпсу.

Запропоновано й інші методи гранулювання фосфогіпсу: пресування на торфобрикетних і інших пресах, при якому в умовах динамічного стиску досягається "холодне" спікання кристалів дигидрата сульфату кальцію; введення зміцнюючих добавок, наприклад піритних недогарків і ін.

Фосфогіпс може бути й основним сировинним компонентом у виробництві цементу, що забезпечує ефективний процес одночасного одержання цементного клінкера і сірчаної кислоти (рис. 4.5), сутність якого полягає в термохімічному розкладанні сульфату кальцію у відновлювальному середовищі. При цьому реакції йдуть за схемою:

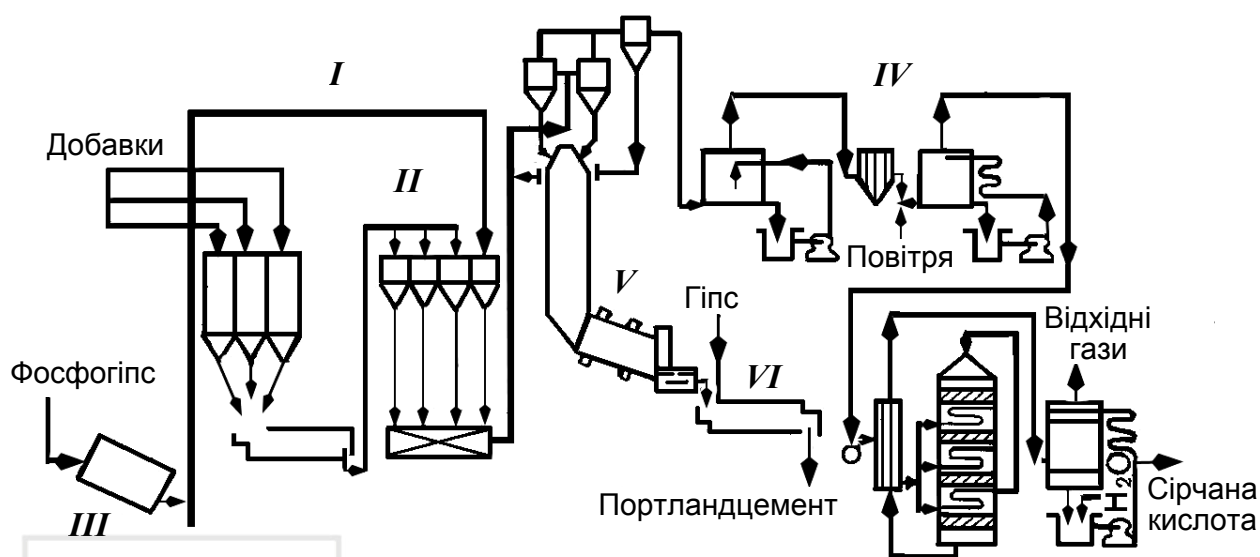


Сірчистий газ уловлюється і переводиться в сірчану кислоту. Оксид кальцію вступає у взаємодію з  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  і  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , утворюючи клінкерні мінерали. Мінералоутворення клінкеру в результаті каталітичного впливу сульфату кальцію і відновлювального середовища відбувається при температурі на 50...70 °C нижче, ніж зазвичай. Основною вимогою до складу шихти є обмеження вмісту  $\text{P}_2\text{O}_5$  не більше 2,5 % при оптимальній кількості фторидів, що встановлюються окремо для кожного складу сировинної суміші. Наявність навіть невеликої кількості залишкових сульфатів у клінкері підсилює шкідливу дію фосфатів і фторидів. Фосфогіпс перед введенням в шихту доцільно випалювати до утворення фосфоангідриду. Структура одержаного клінкеру відрізняється більшою пористістю, завдяки чому він розмелюється легше, ніж звичайний. Як показали дослідження, з фосфогіпсу можна отримувати цементи середніх марок.

Основним недоліком такого способу комплексної переробки фосфогіпсової сировини є його висока енергоємність, а також більш низький вміст  $\text{SO}_2$  в газі, що отриманий при розкладанні  $\text{CaSO}_4$  порівняно з газом, що одержують при спалюванні сірки або колчедану. Капітальні витрати на



будівництво заводу, що працює за цією технологією, у 5 разів, а споживання енергії — у 2 рази вищі, ніж на будівництво заводу, що працює на сірці.



**Рис. 4.5.** Схема комплексного виробництва сірчаної кислоти і портландцементу на основі фосфогіпсу; відділення:

*I* — помелу фосфогіпсу і добавок; *II* — підготовки сировинного борошна;

*III* — сушки фосфогіпсу; *IV* — отримання сірчаної кислоти; *V* — термічної обробки; *VI* — помелу цементу

В останні десятиліття проведені роботи щодо одержання швидкотвердіючих і високоміцних *сульфоалюмінатно-белітових цементів* на основі фосфогіпсу (марок М400...М600). Виробництво таких цементів можливе при температурах на 200...250°C нижчих за температури, які характерні для портландцементу, що дозволяє заощаджувати значну кількість тепла, продуктивність печей при цьому підвищується на 15...25 %. Сульфоалюмінатно-белітові цементи, поряд з інтенсивним зростанням міцності, характеризуються високою корозійною стійкістю, за сульфатостійкістю вони перевершують навіть глиноземистий цемент, мають незначну усадку або є практично безусадочними.

До складу сировинної шихти входять фосфогіпс, алюмосилікатні компоненти і відновлювач у кількості, що забезпечує неповне розкладання сульфату кальцію. Частина  $\text{CaSO}_4$ , що не розклалася, йде на утворення мінералів:  $3(\text{CA}) \cdot \text{CaSO}_4$ ,  $2(\text{C}_2\text{S}) \cdot \text{CaSO}_4$ , а також залишається в незв'язаному вигляді. Частина  $\text{CaSO}_4$ , що залишилася, розкладається з виділенням у газове середовище  $\text{SO}_2$ , який переробляється в сірчану кислоту.

Отриманий на основі фосфогіпсу безалітовий цемент — швидкотужавіюча і швидкотвердіюча в'язуча речовина з границею міцності при стиску 20...25 і 30 МПа через 1 і 28 діб нормального твердіння відповідно, стійка до впливу мінералізованих вод. При використанні





малозалізистих видів сировини можуть бути отримані білий, а при введенні барвників — кольорові сульфовміщуючі цементи. Особливості твердіння сульфовміщуючих мінералів дозволили розробити надшвидкотвердіючий цемент — бесаліт: границя міцності цього цементу при стиску становить 7...12,6; 16...21,7 і 18...30,8 МПа через 2; 6 і 24 год відповідно; на 28 добу міцність складає 40...50 МПа.

Висока ефективність виробництва сульфатних цементів може бути досягнута при наявності відповідних запасів глиноземвміщуючої сировини.

Отримані при використанні фосфогіпсу сульфоалюмінатні і кальцієво-сульфатні продукти спікання можуть застосовуватися у виробництві розширних і напружуючих цементів. При одержанні *напружуючого цементу*, продукт спікання фосфогіпсу і крейди, взятих приблизно у рівних кількостях, подрібнюють до питомої поверхні 2500...3000 см<sup>2</sup>/г і вводять у портландцемент у кількості до 15 %. Варіюючи вміст добавки, можна одержувати напружуючі цементи з малою НЦ-20 і середньою НЦ-40 енергією самонапруження.

Введення фосфогіпсо-вапняних спеків у портландцемент Здолбунівського ЦШК дозволило одержати напружуючий цемент зі стійким лінійним розширенням 0,2...0,5 % і самонапруженням 1,8...2,7 МПа. Застосування фосфогіпсо-вапняного продукту спікання як розширювальної добавки у виробництві азбестоцементних виробів дає можливість підвищити міцність листів орієнтовно на 15 %, ударну в'язкість — на 5 % (без зменшення несучої здатності) знизити товщину листа на 10 %, що дозволяє одержати значний економічний ефект.

Можливе комбіноване виробництво білого цементу і сірчистого газу при неповній дисоціації фосфогіпсу в слабовідновлювальному середовищі при 1200...1250°C. При відсутності родовищ природної карбонатної сировини ефективна переробка фосфогіпсу в сірчану кислоту і вапно.

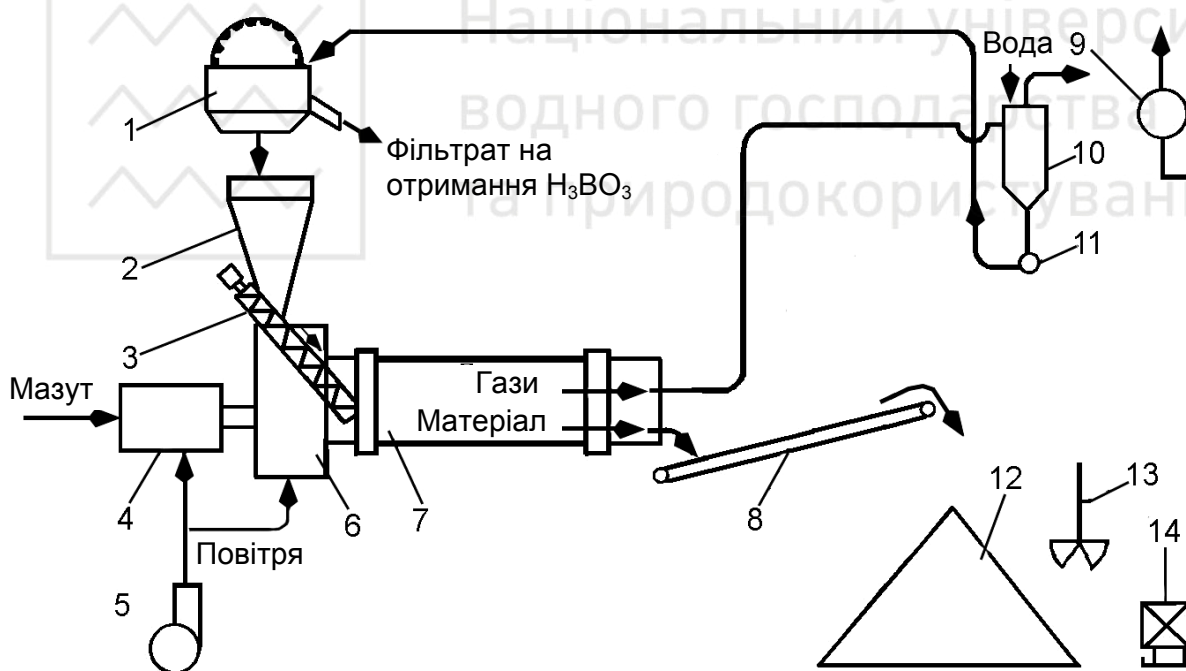
Крім виробництва в'язучих і виробів на їх основі, відомі й інші шляхи утилізації фосфогіпсу. Досліди показали, що добавка фосфогіпсу до 5 % в шихту при виробництві цегли інтенсифікує процес сушіння і сприяє підвищенню якості виробів. Пояснюється це поліпшенням кераміко-технологічних властивостей глиняної сировини за рахунок присутності основного компонента фосфогіпсу — двоводного сульфату кальцію. Позитивно впливають на процес формування і випалу домішки фосфогіпсу — апатит, що нерозклався, і невідмита фосфорна кислота. На основі фосфогіпсу одержують також різноманітні теплоізоляційні матеріали. Фосфогіпс може ефективно замінити крейду в шпаклювальних і інших сумішах.

**Застосування інших гіпсовміщуючих продуктів.** Для виготовлення будівельних матеріалів, і насамперед в'язучих речовин, крім фосфогіпсу можуть успішно застосовуватися й інші побічні гіпсовміщуючі продукти.



Друге місце за обсягом виробництва після фосфогіпсу займає *борогіпс*, який одержують поряд з борною кислотою при розкладанні природних боратів сірчаною кислотою.

Показано можливість сушіння і гранулювання борогіпсу в сушильному барабані (рис.4.6) і застосування його як регулятора строків тужавлення замість природного гіпсу. Промислові випробування показали, що введення гранульованого борогіпсу навіть у кількості 1 % (по  $SO_3$ ) забезпечує нормальні строки тужавлення цементу, а добавка його в кількості 2,5 % по  $SO_3$  значно поліпшує якість цементу. За цією технологією борогіпсовий шлам спочатку перемішується, а потім отримана пульпа зневоднюється за допомогою вакуум-фільтру, що сприяє більш повному виходу борної кислоти. Шлам вологістю 40...50 % подається шнеком у сушильно-грануляційний барабан, що працює за принципом прямогоку. Для інтенсифікації сушіння й одержання гранул у барабані встановлені спеціальні насадки. Матеріал на виході з барабану має температуру не більш 80 °С, що запобігає дегідратації двоводного гіпсу до напівгідрату. Гранули борогіпсу вологістю 14...16 % розміром 5...30 мм надходять на склад.



**Рис. 4.6.** Схема виробництва гранульованого борогіпсу:

- 1 — вакуум-фільтр; 2 — бункер; 3 — циклонна топка; 4 — шнек;
- 5 — вентилятор; 6 — змішувальна камера; 7 — сушильно-грануляційний барабан; 8 — стрічковий конвейер; 9 — димосос; 10 — скруббер;
- 11 — насос; 12 — склад; 13 — грейферний кран; 14 — залізничні вагони

Борогіпсові гранули досить міцні. Вони можуть витримувати при роздавлюванні навантаження до 30...40 Н, не руйнуються при транспортуванні і досить водостійкі. Висока міцність гранул обумовлена наявністю у борогіпсі домішки кремнегелю. Вміст у борогіпсі активного



кремнезему, який взаємодіє з гідроксидом кальцію, що виділяється при гідролізі аліту, позитивно впливає на міцність цементу.

Ефективним регулятором строків тужавлення цементу, поряд з фосфогіпсом і борогіпсом, може бути гранульований *фторгіпс* — побічний продукт підприємств хімічної промисловості, що виробляють фтористоводневу кислоту.

Виробництво стандартних гіпсових в'язучих з борогіпсу й інших видів хімічного гіпсу так само, як з фосфогіпсу, звичайно, неможливе без попередньої підготовки. Особливістю, зокрема борогіпсу, є високий (до 35%) вміст нерозчинного ангідриду. Перетворення нерозчинного ангідриду в дигідрат досягається витримуванням шламу протягом 4...30 діб в умовах, що виключають випаровування води. Прискорення процесу гідратації ангідриду характерне при зниженні рН рідкої фази. Введення сірчаної кислоти скорочує час гідратації нерозчинного ангідриду з 4 діб до 24 год. Кількість домішок у борогіпсі можна зменшити за рахунок збагачення гідравлічною класифікацією і флотацією. При цьому створюються можливості для одержання з борогіпсу будівельного гіпсу марок Г2...Г6.

*Фторангідрит* одержують як побічний продукт на заводах хімічної промисловості, що виробляють фтористоводневу кислоту, безводний фтористий водень і фтористі солі, зокрема кріоліт.

Вміст основних компонентів у складі фторангідриду наступний (у %):  $\text{CaSO}_4$  – 80...95...95;  $\text{CaF}_2$  – 0,5...5;  $\text{SiO}_2$  – 1,5...4;  $\text{SO}_3$  – 0,5...1,5;  $\text{MgO}, \text{R}_2\text{O}$  і ін. < 1.

Було показано, що фторангідрит, аналогічно природному гіпсу, може розглядатися як ефективний регулятор строків тужавлення цементу. При цьому міцнісні характеристики отриманого цементу не тільки не погіршуються, але спостерігається тенденція до підвищення міцності цементу. У той же час були виявлені суттєві недоліки фторгіпсу: внаслідок тонкодисперсності і мулистості цей матеріал комкується при зберіганні і транспортуванні та містить невідмиту сірчану кислоту (до 12...16 %)

Операцію нейтралізації зайвої кислотності фторгіпсу запропоновано здійснювати шляхом подрібнення у млині кислого фторгіпсу разом з нейтралізуючим реагентом і використовувати з цією метою, крім вапна, пил обортових печей цементного заводу або саморозсипний металургійний шлак.

На багатьох підприємствах хімічної промисловості при сірчано-кислотному розкладанні титаномістких руд (ільменіту) утворюється значна кількість *титаногіпсу*. Титаногіпс істотно відрізняється від природного гіпсу підвищеним вмістом заліза, яке переходить до його складу з ільменіту. Сполуки титану переважно представлені залишками титанату заліза, що нерозклався.

Результати випробувань цементів, в які замість природного гіпсу додавали гранульований титаногіпс, показали, що цей гіпсомісткий відхід регулює строки тужавлення цементу аналогічно природному гіпсу.



Активність цементів з добавкою титаногіпсу, як правило, близька до активності цементів із природним гіпсом. При введенні титаногіпсу водонепроникність і морозостійкість цементів зростають у 1,5...2 рази, що можна пояснити наявністю в ньому гідрогелю оксидів заліза. Введення до складу сировинної шихти гранульованого титаногіпсу помітно прискорює реакцію декарбонізації  $\text{CaCO}_3$  при температурі 800-900<sup>0</sup>С.

Одним з найбільш чистих гіпсовміщуючих відходів є *сульфогіпс*, утворений в результаті очищення димових газів теплових електростанцій від оксидів сірки. Сульфогіпс - це дисперсний світлосірий матеріал з питомою поверхнею 2800...3000  $\text{cm}^2/\text{g}$  і загальним вологовмістом 28...30 %, вміст у сульфогіпсі дигідрату сульфату кальцію ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) складає 93...95 %, що відповідає вимогам, які висуваються до гіпсової сировини 1<sup>го</sup> сорту. Домішки в сульфогіпсі представлені у вигляді карбонату кальцію 1,6... 1,7 %, флюориту ( $\text{CaF}_2$ ) близько 0,03 %, інертної частини (пил, зола) до 3 % і ін. Водневий показник водного розчину сульфогіпсу дорівнює 4,5...9. Насипна густина сульфогіпсу в сухому стані складає 520...530  $\text{kg}/\text{m}^3$ , істинна густина - 2,35... 2,37  $\text{g}/\text{cm}^3$ .

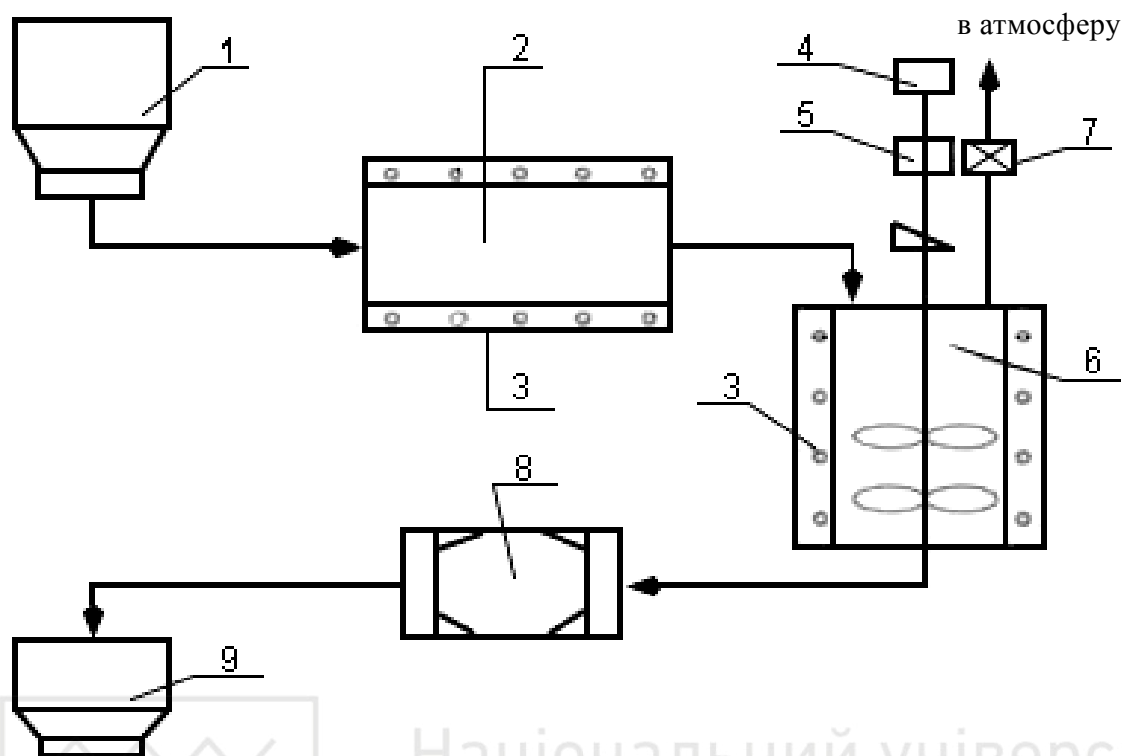
З сульфогіпсу за спрощеною технологічною схемою (рис 4.7), що включає термічну обробку вихідного продукту і наступний помел, можна одержувати будівельний гіпс марок Г2...Г4.

**Застосування карбідного вапна і карбонатних відходів.** Карбідне вапно застосовується для одержання вапняно-кремнеземистих в'язучих і автоклавних матеріалів на їх основі. Як кремнеземисті компоненти використовують піски, горілі шахтні породи, розкривні породи залізорудних родовищ, відвальні доменні шлаки і відходи збагачення руд.

Порівняльні дослідження показали, що найбільша активність силікатних мас на основі карбідного і звичайного вапна досягається при вмісті в них 8 мас. % активного оксиду кальцію і 20 мас. % меленого піску. Спільний помел карбідного вапна з піском приводить до підвищення активності суміші в 2...2,5 рази. Границя міцності при стиску виробів на карбідному вапні після запарювання досягає 25 МПа і більше. Склади і властивості щільних силікатних виробів на основі в'язучих з використанням карбідного вапна наведені в табл.4.1.

Автоклавні силікатні вироби, приготовлені із застосуванням вапновміщуючих промислових відходів, можна застосовувати в конструкціях, що експлуатуються при дії мінералізованих вод.

На содових, целюлозно-паперових, азотно-тукових підприємствах накопичується у вигляді відходів значна кількість сировини, що містить карбонат кальцію. На підприємствах содової промисловості накопилися мільйони тон твердих залишків *дистиленних шлаків*. До їх складу входять наступні компоненти, %: карбонат кальцію — 50...65, гідроксид кальцію — 4...10, гіпс — 5...10, хлорид кальцію — 5...10, домішки глинистих мінералів і кварцу — 5...10.



**Рис. 4.7.** Технологічна схема виробництва будівельного гіпсу з сульфогіпсу:

- 1 - бункер сульфогіпсу; 2 - сушильна піч; 3 - термоелектронагрівач;  
 4 - електродвигун; 5 - редуктор; 6 - гіпсоварильний котел; 7 - вентилятор;  
 8 - кульовий млин; 9 - бункер готової продукції

Таблиця 4.1

**Властивості силікатних виробів на основі карбідного вапна**

В'яжуче	Вміст в'яжучого, %	Активність суміші, мас. %	Середня густина, кг/м <sup>3</sup>	Водопоглинання, мас. %	Міцність при стиску, МПа, після	
					запарювання	запарювання та 25 циклів заморожування
Карбідне вапно+ мелений пісок	25	8	1940	10	26,5	26,5
Карбідне вапно+ горіла порода	23	6	2000	10	16,0	15,0
Карбідне вапно+ відходи ванадієвих руд	25	8	1450	28	8,2	6,2
Негашене вапно+ розкривна порода	29	7	1750	15	15,0	12,3
Негашене вапно+ відвальний доменний шлак	15	7	2100	7	20,0	18,6





Одним із промислових напрямків використання цих ресурсів є одержання вапняно-білітового в'язучого і силікатної цегли на його основі. Наявність у складі відходів хлориду і сульфату кальцію значно підвищує реакційну здатність сировинної суміші, дозволяючи випалювати в'язучу речовину при 950...1000°C.

Технологічна схема одержання в'язучого полягає в наступному. Твердий залишок ковшовим екскаватором зі шламонакопичувача доставляється на склад. Для запобігання налипання вологого матеріалу на стінки бункеру і робочі органи технологічного устаткування сирий твердий залишок змішується з висушеним, а потім грейферним краном завантажується у витратний бункер, звідки конвеєром подається на сушіння в сушильний барабан. Матеріал висушується до залишкової вологості не більше 10 % і надходить в обертову піч. У процесі випалювання відбуваються дегідратація гідроксидів кальцію і магнію та розкладання карбонатів, в результаті чого вміст активних (CaO+MgO) підвищується до 40...55 %. Випалений продукт після охолодження надходить у силосний бункер помельного відділення, туди ж подають висушений пісок. Підготовлені компоненти через вагові дозатори направляють на помел у кульовий млин у заданому співвідношенні. Отриману в'язучу речовину пневмотранспортом переправляють у силосний склад. Тонкість помелу в'язучої речовини характеризується питомою поверхнею 3000...5000 см<sup>2</sup>/г.

Технологія виробництва силікатної цегли з використанням в'язучої речовини вапняно-білітового типу не відрізняється від загальноприйнятої технології отримання цегли на основі вапна. Цегла характеризується марками за міцністю 125...200 і морозостійкістю не менше 25 циклів заморожування і відтавання.

Шляхом випалювання і помелу твердого залишку дистиллерної рідини без додавання піску виготовляється вапномістка в'язуча речовина для виробництва будівельних розчинів, щільних автоклавних бетонів класів В15...В30, газобетонів середньої густини 300...800 кг/м<sup>3</sup> і керамзитобетонів класів В3,5...В5.

Відходи содового виробництва використовуються також для одержання наповнювача асфальтобетонних сумішей, лінолеуму, полівінілхлоридної плитки і тампонажних матеріалів.

Десятки тисяч тонн *шламів водоочищення* утворюються в процесі зниження жорсткості води на теплових електроцентралях і в котельнях. Для пом'якшення води додають вапняне молоко, що перетворює розчинні бікарбонати кальцію і магнію в нерозчинні карбонати. Потім воду обробляють сульфатом заліза FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, який є коагулянтom і осаджує всі суспензії і домішки у вигляді колоїдної маси. У процесі коагуляції двовалентне залізо окислюється й утворює гідроксид заліза. Коагульовані частки гідроксиду заліза об'єднуються в ланцюги. У процесі побудови



ланцюгових структур, об'єднаних у кільця, утворюються пори, заповнені водою. В наслідок сорбції води гідроксидом заліза формуються пластівці. Укрупнені пластівці осідають під дією сили тяжіння, захоплюючи за собою завислі частинки.

При дослідженні хімічного складу шламу встановлені можливі коливання вмісту основних сполук, %:  $\text{SiO}_2$  – 0...4,9;  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  – 5,8...7,1;  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  – 3...9,5;  $\text{CaCO}_3$  – 62,8...68,2;  $\text{CaSiO}_3$  – 3,9...6,6; органічні речовини – 5,2...8,9. Основним компонентом шламів є карбонат кальцію. Коливання складу шламів водоочищення у вузькому діапазоні дозволяє зробити висновок про достатню стабільність хімічного складу шламів.

Шлами водоочищення можуть замінити вапно в будівельних розчинах. У розчин додатково вводять пластифікуючі ПАР. Корисне введення також добавки сульфату натрію, що реагує з гідроксидом заліза, який міститься в шламів.

У табл.4.2 наведені результати випробувань розчинів, що містять шлам водоочищення і пластифікуючу добавку.

Таблиця 4.2

**Склади і властивості розчинів, що містять шлам водоочищення**

Марка розчину	Склад розчину, кг/м <sup>3</sup>					В/Ц	Рухливість, см	Міцність після 28 діб, МПа	Розшарування, %	Повітрятримуюча здатність, %
	цемент	вапно	шлам	пласти-фікагор	пісок					
50	140	85,4	–	–	1550	2,06	8	5,08	9,1	96,6
	140	–	25,6	2,24	1550	1,85	8	5,15	8,8	97
75	200	71,4	–	–	1550	1,46	8	7,55	8,9	96,6
	200	–	25	2,8	1550	1,29	8	7,6	8,6	97
100	255	58,3	–	–	1550	1,15	8	10,1	8,9	69,5
	255	–	20,4	3,06	1550	1,01	8	10,3	8,2	96,9

Таким чином, будівельні розчини, отримані з використанням шламів водоочищення, мають значення основних показників, що характерні для вапняно-цементних розчинів.

#### **4.4. МАТЕРІАЛИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ЗАЛІЗИСТИХ, СІРКОВІСНИХ І СИЛІКАТНИХ ВІДХОДІВ**

**Застосування залізистих і сірковмісних відходів.** З відходів цієї групи широко застосовуються *піритні недогарки* – відходи утворені при спалюванні сірчаного колчедану (піриту) на підприємствах з виробництва сірчаної кислоти.



Вміст у недогарках деякої кількості миш'яку, який вилугується під дією атмосферних опадів, обумовлює їх шкідливий вплив на навколишнє середовище при зберіганні у відвалах.

Найбільший інтерес для народного господарства представляє проблема переробки піритних недогарків у металеве залізо, що у промисловому масштабі доки ще не вирішена.

Перспективним є добування з недогарків таких цінних металів, як мідь, цинк, кобальт, свинець тощо. Найбільш раціональним способом переробки піритних недогарків є низькотемпературне випалювання, що дозволяє одержати кольорові та рідкі метали, а потім переробляти залізовмісний залишок на чавун.

Широке застосування піритні недогарки знаходять у цементному виробництві як коригуюча залізовмісна добавка. Внаслідок зміни технології одержання сірчаної кислоти в теперешній час зменшений вихід недогарків і вони замінюються у виробництві цементу іншими залізовмісними відходами. У сировинну суміш звичайного портландцементного клінкеру піритні недогарки вводять у кількості, що забезпечує вміст оксидів заліза в перерахуванні на  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  у межах 2...5 %. Розроблена технологія виготовлення високозалізистих цементів. Вихідними компонентами для їх одержання є крейда (приблизно 60 %) і піритні недогарки (близько 40 %). Сировинну суміш випалюють при температурі 1220...1250°C. В отриманому клінкері переважають ферити й алюмоферити кальцію. Високозалізисті цементи характеризуються нормальними строками тужавлення при введенні в сировинну суміш до 3 % гіпсу. Їх міцність при стиску в умовах водного і повітряно-вологого твердіння протягом 28 діб відповідає маркам М150 і М200, а при пропарюванні й автоклавній обробці збільшується в 2...2,5 рази. Високозалізисті цементи при вмісті в них двокальцієвого фериту до 40 % є безусадочними. При збільшенні в цементах вмісту цього мінералу цементи набувають здатності розширюватися при твердінні.

З огляду на дефіцитність глиноземистої сировини, що застосовується для утворення сульфоалюмінатів кальцію, вивчена можливість одержання стійких сульфоферитів у системі  $\text{CaO}\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{---CaSO}_4$ .

В результаті досліджень встановлене утворення твердих розчинів типу  $\text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot n\text{CaSO}_4$  і  $2\text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot n\text{CaSO}_4$  ( $n = 0,5$ ). Відзначається, що за своїми показниками міцності сульфоферити поступаються сульфоалюмінату кальцію. Однак їх введення до складу цементу в кількості до 5 % приводить до підвищення міцнісних показників останнього на 20 %.

Використання сульфоферитного клінкеру дозволяє одержувати розширні або напружуючі цементи, показники яких легко регулюються в досить широких межах варіюванням складу в'язучого.

Піритні недогарки використовують також у виробництві штучних заповнювачів бетонів, де вони можуть бути як добавкою, так і основною сировиною. Добавку піритних недогарків у кількості 2...4 % від загальної



маси вводять для збільшення газотвірної здатності глин при одержанні керамзиту. Цьому сприяє розпад у недогарках при 700...800 °С залишків піриту з утворенням сірчистого газу і відновлення оксидів заліза під впливом органічних домішок, що присутні у глинистій сировині, з виділенням вуглекислого газу.

Залізисті сполуки, особливо у закисній формі, діють як плавні, викликаючи розрідження розплаву і зменшення температурного інтервалу зміни його в'язкості. Вміст органічних речовин (у перерахуванні на твердий вуглець) по відношенню до оксиду заліза повинен складати 0,01...0,2. Якщо у вихідній керамзитовій сировині міститься оксидів заліза менше 7 %, а органічних речовин — менше 1 %, то піритні недогарки вводять у комплексі з органічними добавками, що сприяє зниженню середньої густини керамзиту.

Розроблено технологію одержання важких заповнювачів на основі піритних недогарків. Сутність її полягає у змішуванні 95...97 % недогарків і 3...5 % пластичної глини, гранулюванні шихти і випалюванні її при 1150...1200 °С в окислювальній атмосфері. При випалюванні вивільняються водорозчинні домішки, розкладаються залишки сірчаного колчедану і маса спікається. Заповнювач має істинну густину 3,5...3,6 г/см<sup>3</sup>, середню густину зерен — 3200...3300 кг/м<sup>3</sup>, водопоглинання за масою — 0,5...0,6 % границю міцності гранул при стиску — 150...170 МПа, насипну густину — 1500...1700 кг/м<sup>3</sup>. Його можна використовувати як для одержання звичайних важких бетонів, так і спеціальних — особливо важких і кислотостійких.

Залізовмісні добавки застосовують у виробництві стінових керамічних матеріалів для зниження температури випалювання, підвищення якості і поліпшення кольорових характеристик. Позитивні результати дає попереднє прожарювання недогарків для розкладання домішок сульфідів і сульфатів, що утворюють при випалюванні газоподібні продукти, присутність яких знижує механічну міцність виробів. Ефективним є введення у шихту 5...10 % недогарків, особливо в сировину з низькою кількістю плавнів і недостатнім спіканням.

При виробництві фасадних плиток напівсухим і шлікерним способами прожарені недогарки можуть додаватися у шихту в кількості 5...50 % за масою. Для запобігання відновлення оксидів заліза і темного забарвлення виробу слід випалювати в окислювальному середовищі. Використання недогарків дозволяє виготовляти кольорові керамічні плитки без додаткового введення в глину шамоту. При цьому температура випалювання плиток з тугоплавких і вогнетривких глин знижується на 50...100 °С.

Попереднє подрібнення недогарків до практично повного проходження через сито №0064 і наступне їх прожарювання при температурі 700...800 °С дозволяють одержати червоний залізооксидний пігмент, близький за властивостями до залізного сурику, який відрізняється від нього фіолетовим відтінком. Червоний залізооксидний пігмент з піритних недогарків стійкий





до дії лугів і вапна, кислото- і світлостійкий, може застосовуватися як у водних, так і неводних фарбувальних сумішах.

Піритними недогарками можна замінити сурик і частково крейду в шпаклювальних сумішах для вирівнювання дерев'яних або оштукатурених поверхонь під масляну фарбу. Недогарки в шпаклівках можуть складати до 25 % їхньої маси без погіршення основних властивостей останніх.

Недогарки застосовують також для фарбування силікатної цегли, одержання хлорного заліза (добавки до водонепроникних розчинів і бетонів).

Характерними представниками сіркомістких відходів є *хвости флотації* сіркомістких руд і *зола відстою* товарної сірки. Ці відходи містять відповідно 4...12% і 40...80 % сірки та вапняк з максимальною крупністю зерен 1,25 і 0,315 мм.

Продукти, багаті сіркою, можна використовувати для виготовлення сірчаних цементів, в якості просочувальних сумішей, при виготовленні виробів з гуми, ебоніту, пластмас, наповнювача асфальтових сумішей.

Одержання сірчаного цементу можливо шляхом розплавлення сірковмісної породи з додаванням дрібнодисперсного кислотостійкого наповнювача і пластифікатора. Сірчані цементи перед використанням нагрівають до 145...155<sup>0</sup>С і швидко використовують.

Сірчані цементи зазвичай містять деякі добавки, без яких вони нестійкі до дій ударів і різких змін температури. При раціонально підбраному гранулометричному складі наповнювачів зменшення об'єму сірчаного цементу при твердінні досягає приблизно 4 %, замість звичайних 12 %. Маючи високий коефіцієнт теплового розширення при переході ромбічної сірки в моноклінну (95,6<sup>0</sup>С), ці цементи можуть застосовуватися тільки при порівняно низьких температурах (нижче 90<sup>0</sup>С), тому що точка плавлення сірки 112,8<sup>0</sup>С.

Сірчані цементи швидко тужавіють при низьких температурах і мають високу стійкість до багатьох хімічних речовин.

Їх застосовують для наклеювання плиток, футеровки підлог і апаратури, захисту будівельних конструкцій від дії органічних і неорганічних кислот (крім плавикової). Вони мають високу міцність, морозостійкість, водонепроникність, атмосферостійкість. Сірчані цементи мають високу адгезію до металів.

Бетони на основі сірчаних цементів і важкого заповнювача мають середню густина 2300...2400 кг/м<sup>3</sup> і границю міцності при стиску 30...35 МПа. Особливо ефективно їх застосовувати у будівництві хімічних підприємств, дорожньому і гідротехнічному будівництві, де потрібний швидкотвердіючий бетон з підвищеною корозійною стійкістю.

При просоченні цементного бетону сіркою міцність збільшується в 3...5 разів; підвищується його водо-, морозо- і хімічна стійкість. Технологія просочення включає виготовлення розплаву сірки і його підігрів до 150 °С, сушіння виробів до постійної маси, їх просочення і охолодження.





При використанні сірчаних "хвостів" в якості мінерального наповнювача асфальтових бетонів вміст їх у сумішах повинен складати 15...20 %. Сірка в асфальтових сумішах сприяє структуруванню бітуму, підвищенню його адгезії до заповнювачів. Підвищується також зчеплення асфальтових сумішей з кам'яною підготовкою, при цьому витрата бітуму знижується на 10...15 %, поліпшується ряд властивостей асфальтових бетонів. При використанні сірковмісних порід відпадає необхідність у використанні активованого мінерального порошку як компонента асфальтових бетонів.

Використання відходів виробництва сірки як компонента асфальтових бетонів ефективніше, ніж використання елементарної сірки. Пояснюється це тим, що карбонатні породи, що містяться у всіх відходах виробництва сірки, виконують роль прискорювачів реакції взаємодії вуглеводнів органічного компоненту і сірки.

**Матеріали на основі кремнеземистих і алюмосилікатних відходів.** У ряді хіміко-технологічних виробництв утворюються кремнеземисті й алюмокремнеземисті (алюмосилікатні) відходи. Так, на першій стадії переробки кремнефтористоводневої кислоти у фтористі сполуки утворюється *кремнегель* – аморфний осад кремнієвої кислоти у вигляді  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ .

Основною перешкодою для застосування кремнегелю є високий вміст вологи і наявність у ньому фтористих сполук.

При аміачних способах переробки кремнефтористоводневої кислоти кремнегель утворюється у вигляді активного діоксиду кремнію, що може бути використаний в якості наповнювача в гумових сумішах. Проведено ряд досліджень по визначенню можливості одержання активного діоксиду кремнію у виробництві фторида алюмінію. Показано, що шляхом нейтралізації 4,4...8,4%-ої кремнефтористоводневої кислоти гідроксидом алюмінію можна одержати  $\text{SiO}_2$ , придатний для використання в якості наповнювача гуми.

Висушений кремнегель — відхід виробництва фториду алюмінію, що містить не менше 90%  $\text{SiO}_2$  може бути використаний замість природних кремнеземвмісних матеріалів. Розроблено технологію литих бетонів, де кремнегель є ефективною водоутримуючою добавкою.

Одним з можливих шляхів переробки кремнегелю є одержання на його основі білої сажі шляхом розчинення в розчині їдкого натру або фториду амонію. Процес одержання білої сажі включає стадії її відмивання від сполук фтору, розчинення в NaOH, осадження з отриманого метасилікату натрію активного діоксиду кремнію за допомогою бікарбонату натрію, промивання і сушіння  $\text{SiO}_2$ . Основним недоліком цього процесу є необхідність відмивання вихідного кремнегелю від сполук фтору.

При одержанні сульфату і хлориду алюмінію з каолінів або глин утворюються високодисперсні кремнеземисті відходи – *сіштофи*.

Одна з основних особливостей сіштофів — це висока активність, яка оцінюється поглинанням вапна з вапняного розчину. Нижче для порівняння



приводяться значення активності за поглинанням вапна з вапняного розчину кремнеземистими відходами й основними матеріалами пуцоланового типу:

Добавки	Поглинання вапна з вапняного розчину, мг, СаО на 1 г добавки, не менше
Штучні:	
кремнеземисті відходи (сіштофи)	200
випалені глини, паливні золи і шлаки	50
Природні осадового походження:	
діатоміти, трепели й опоки	150
глісжі	30
Вулканічного походження:	
попіл і туфи вулканічні	50
пемзи, траси	60

Висока активність сіштофів обумовлена наявністю в них аморфного кремнезему, частинки якого характеризуються значною дисперсністю і реакційною здатністю. Вже при кімнатній температурі гідрат оксиду кальцію хімічно взаємодіє з аморфним кремнеземом, утворюючи гідросилікати тоберморитової групи. Висока активність сіштофів дозволяє застосовувати їх в якості компонентів змішаних в'язучих. Їх недоліками, як активних добавок, є колювання складу, а іноді вміст великої кількості сірчаного ангідриду.

Із кремнеземистих відходів різних відпрацьованих каталізаторів синтезований декоративний склокристалічний матеріал *сігран*, що нагадує за властивостями і фактурою природні камені — граніт і мармур. Каталізатори містять кольорові метали такі, як цинк, нікель, мідь, що фарбують сігран у різні кольори.

Сігран одержують методом пресування з розплавів зазвичай у вигляді плиток. Зовнішня поверхня плиток шліфується і полірується, внутрішня — рифлена. Розмір плиток від 48×48 мм до 300×300 мм, товщина від 4 до 20 мм.

#### Технічна характеристика сіграну

Водостійкість, %	не менше 99,8
Опір удару, Дж	не менше 20
Густина, кг/м <sup>3</sup>	не менше 2500
Твердість (по Моосу)	5...7
Термостійкість	не нижче 80

Плитки призначені для внутрішнього і зовнішнього облицювання культурно-побутових будинків і споруд, оформлення інтер'єрів, для захисту і декоративного оформлення цоколів будинків.

До кремнеземистих продуктів відносяться *відходи суперфосфатного виробництва (ВСВ)*, що представляють собою шлам вологістю 40...55 %. Після висушування він перетворюється в тонкодисперсний порошок білого кольору наступного хімічного складу, %: SiO<sub>2</sub> — 89...90; AlF<sub>3</sub> — 5...7; Na<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub> — 0,5...2,5; Al(OH)<sub>3</sub> — 0,3...0,5. Питома поверхня цього порошку досягає 10 000 см<sup>2</sup>/г.



На основі ВСВ можливе одержання декоративно-облицювального матеріалу. Сировинна суміш складається з наступних компонентів, %: мармуровий порошок — 60...65; білий портландцемент — 3...12; ВСВ — 5,5...10; стеарат кальцію — 0,5...3, рідинне скло — 6...15. З отриманої суміші формують вироби шляхом пресування під тиском 10...15 МПа з наступною термічною обробкою сировини при 150...170°C або способом гарячого пресування при аналогічному тиску і температурі. Застосування добавки стеарату кальцію дозволяє збільшити водостійкість виробів. Фізико-механічні показники матеріалу: границя міцності при стиску 50...60 МПа; при згині 15...18, середня густина 2000...2200 кг/м<sup>3</sup>, водопоглинання через 48 год 2...4 %. Одержаний декоративно-облицювальний матеріал дешевше керамічних облицювальних виробів на 30...50 %.

Дисперсні висококремнеземисті відходи перспективні в якості мікронаповнювачів у бетонні суміші. Для запобігання можливого при цьому підвищення водопотреби до бетонних сумішей вводять добавки суперпластифікаторів.

В ніздрюватих бетонах порошкоподібний кремнезем є ефективним компонентом, який активно взаємодіє з Ca(OH)<sub>2</sub> і продуктами гідратації цементу при підвищених температурах.

Розроблено швидкотверднучий цемент, що розширюється (ШРЦ), на основі портландцементного клінкеру, гіпсу і розширювальної добавки. Як останню використовують різновид сіштофів — *сульфоалюмосилікатний продукт (САСП)*, що є відходом виробництва сірчаноокислого алюмінію з каоліну. САСП не потребує попереднього подрібнення. Цемент одержують помелом у трубних млинах портландцементного клінкеру, гіпсу і САСП.

Склад ШРЦ, %: клінкер — 67...74, САСП — 17...23, гіпс — 5...10. Цемент має короткі строки тужавлення: початок - не раніше 3...6 хв., кінець - не пізніше 8...10 хв. від початку замішування водою. Важливими показниками ШРЦ є висока міцність у ранні строки твердіння. Границя міцності при стиску складає через 1 добу 3...5, через 3 доби — 22,5...30, через 28 діб — 50...60 МПа. При тривалому твердінні (до 5 років) міцність зростає. Цементний камінь у ранньому віці характеризується високою щільністю і водонепроникністю. Фільтрація води через шар цементного каменю на основі ШРЦ у віці 1 доби під тиском 0,1 МПа припиняється через 6 год. Через добу твердіння зразки є цілком водонепроникними при дії тиску 0,6 МПа.

Найбільш високу корозійну стійкість мають цементи, що розширюються, на основі клінкеру, який містить C<sub>3</sub>S до 60 % і не більше 8 % C<sub>3</sub>A. ШРЦ, який випробувували у 3 % і 5 % розчинах сульфату натрію й у ґрунтовій воді, що містить 1500 мг/л іонів SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, мав коефіцієнт стійкості відповідно 0,87; 0,92 і 0,96, що свідчить про його високу сульфатостійкість.

ШРЦ успішно застосовують і при торкретуванні поверхонь споруд, при цьому не використовують добавки — прискорювачі твердіння, а висока рання міцність цементу на основі САСП дозволяє наносити кожен наступний



шар практично без перерви. Наприклад, застосування ШРЦ при будівництві плавального басейну стадіону "Піонер" у м.Харкові дозволило відмовитися від спорудження металевого кожуха, що значно скоротило витрати металу та термінів будівництва.

На цементних заводах випуск ШРЦ на основі клінкеру, САСП і гіпсу може бути організований без зміни технологічної схеми виробництва. Вартість ШРЦ у 3 рази нижче вартості звичайного розширеного гіпсоглиноземистого цементу.

Отримано шлакопортландцемент, що розширюється, на основі відходів переробки каоліну, які містять приблизно 55 %  $\text{SiO}_2$ , 20 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 12,5 %  $\text{SO}_3$ . Оптимальні склади цього цементу містять 10 % сіштофу. Для запобігання надмірно швидкого тужавіння вводять 0,01 % технічних лігносульфонатів. Цемент замішують 2 %-м вапняним молоком. Він розширюється вже в перші години після замішування, до 7 діб розширення досягає близько 4 мм на 1 м. Додаток до 10 % сіштофу не знижує міцності цементів, і навіть може збільшувати її до 20 %. Шлакопортландцемент, що розширюється, можна використовувати для одержання торкретних сумішей, самонапружених бетонів, замоноличування швів, а також при зведенні гідротехнічних споруд і в метробудівництві.

Встановлено принципову можливість одержання сульфатованих цементів на основі попутних продуктів хімічних підприємств, що містять алюмосилікатні компоненти та гіпсомістку сировину. Використання в якості вихідних компонентів алюмокремнеземистих відходів, фосфогіпсу, основного доменного шлаку та крейди знижує температуру випалювання клінкеру на 200°C порівняно зі звичайними цементами.

При виробництві хлориду алюмінію каолін піддається дворазовій термічній обробці: спочатку в печі прокалювання при 300°C, а потім у печі хлорування при 800...1250°C. Для регулювання температури в печі хлорування до каолінової маси додають 15 % кам'яного вугілля, що зазвичай не повністю згоряє. Утворені при такій технології *каолінові відходи* (різновид сіштофів) відправляються у відвали у вигляді шматків циліндричної форми діаметром близько 35 мм і довжиною 50...80 мм. Середня густина окремих зерен складає 1270...1570 кг/м<sup>3</sup>, водопоглинання — 28...43 %, насипна густина у висушеному стані — близько 800 кг/м<sup>3</sup>.

Каолінові відходи, що складаються переважно з кремнезему та глинозему, можуть замінити шамот при виготовленні вогнетривких виробів і заповнювачів для вогнетривких бетонів. Цьому сприяє наявність у термічно оброблених відходах високовогнетривких мінералів, таких як муліт і корунд. Ці відходи можуть використовуватися в цегельному виробництві як спіснювачі і, при включенні вугілля, як вигораючі добавки, а також у виробництві тонкої кераміки і кислототривких цементів і бетонів.

Багатотоннажні відходи виробництва калійних добрив – *глинисто-сольові шлами* після видалення водного розчину солей виявляються близькими за





складом до глинисто-карбонатно-ангидритних мергелів, що можуть бути використані при виробництві цементного клінкеру, скла, кераміки й ін. Дослідно-промислові випробування показали можливість застосування частково зневоднених шламів у виробництві аглопориту.

Переробка глинисто-сольових шламів у будівельні матеріали за традиційними технологіями вимагає їх знесолення і промивання, а також очищення димових газів, що утворюється при гідролізі хлоридів від парів соляної кислоти. Глинисто-сольові шлами можуть бути використані як добавки - інтенсифікатори твердіння і мінеральні пластифікатори будівельних розчинів, як наповнювачі гуми й ін.

#### **4.5. МАТЕРІАЛИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ГІДРОЛІЗНОГО ЛІГНІНУ І ВІДХОДІВ ЦЕЛЮЛОЗНО-ПАПЕРОВОГО ВИРОБНИЦТВА**

**Застосування гідролізного лігніну.** Підприємства будівельних матеріалів, розташовані поблизу гідролізних заводів, можуть утилізувати *лігнін* — один з найбільших відходів лісохімії.

Гідролізний лігнін одержують при переробці деревини хвойних і листяних порід способом гідролізу розведеної сірчаної кислоти. Вихід лігніну залежно від виду деревини складає 17...32%.

Гідролізний лігнін представляє собою природну високомолекулярну речовину з розгалуженими макромолекулами, що утворилися при полімеризації спиртів ароматичного ряду. Він має молекулярну масу близько 11000, вологість до 70 %, нерозчинний у воді й органічних розчинниках. При нагріванні до температури 400...600°C у парогазовому середовищі лігнін розпадається з виділенням 40...50 % вугілля (напівкоксу), 13...20 % смоли, 15...30 % надсмольної води, невеликої кількості рідких (ацетону, метилового спирту) і газоподібних продуктів (СО, СО<sub>2</sub> етилену).

Існують наступні основні напрямки застосування гідролізного лігніну: як паливно-вигоряючої добавки у виробництві керамічних матеріалів; замітника тирси у будівельних виробках; сировини для одержання феноллігнінових полімерів; пластифікатора й інтенсифікатора подрібнення.

Досвід роботи ряду цегельних заводів дозволяє вважати лігнін ефективною вигоряючою добавкою. Він добре змішується з іншими компонентами шихти, не погіршує її формувальних властивостей і не ускладнює різання бруса. Його застосування найбільш продуктивне при порівняно невеликій вологості глини у кар'єрі.

Запресований у сирець лігнін при сушінні горить. Паливна частина лігніну цілком згорає при температурі 350...400°C, зольність складає 4...7 %. Для забезпечення кондиційної механічної міцності звичайної керамічної цегли лігнін варто вводити у формувальну шихту в кількості до 20...25 % її об'єму. Маючи високу дисперсність, лігнін не потребує, на відміну від більшості інших видів вигоряючих добавок, подрібнення.





Лігнін може бути використаний як пороутворююча добавка у виробництві теплоізоляційних і легких конструкційних керамічних виробів. Також він може застосований замість тирси у виробництві аглопориту. При введенні лігніну має місце покращення гранулометричного складу шихти (вона більш інтенсивно і рівномірно спікається). Добавка лігніну, збільшуючи газопроникність шихти, тим самим знижує розрідження у вакуум-камерах стрічкової агломераційної машини на 200...400 Па. Введення в шихту лігніну збільшує пористість готового продукту за рахунок утворення дрібних замкнених пор з тонкими перегородками, що дозволяє знизити середню густину аглопоритового щебеню на 150...180 кг/м<sup>3</sup>, зменшити витрату вугілля на 20...25 % і одночасно підвищити коефіцієнт конструктивної якості аглопориту (відношення міцності до квадрату середньої густини).

Доведено можливість застосування лігніну як наповнювача для ксилолітових плит і інших виробів.

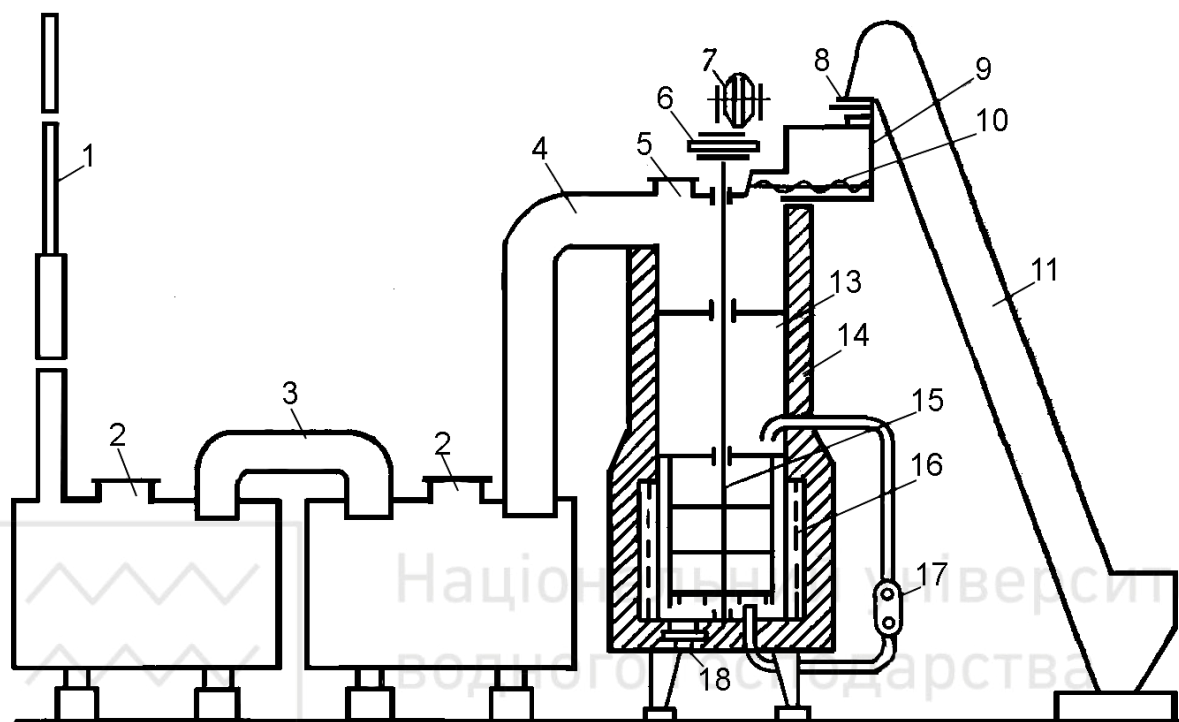
Гідролізний лігнін може бути використаний у дорожньому будівництві в якості наповнювача асфальтових бетонів і сировини для виробництва лігнінових в'язучих. Асфальтовий бетон, наповнений лігніном, за основними показниками не поступається бетону, наповненому вапняковим порошком.

Лігнінові в'язучі складаються з двох компонентів: рідкої вуглеводневої фракції і продукту крекінгу в ній — гідролізного лігніну. Термічний розпад лігніну (рис.4.8) відбувається при температурі 300...310°C. Залежно від виду рідкого компоненту і його в'язкості співвідношення між лігніном і вуглеводневою фракцією знаходиться в межах 1:2...1:7,5.

В основі технології лігнінових в'язучих знаходиться спосіб модифікації рідкої вуглеводневої фракції продуктами термічного розпаду лігніну. Технологія отримання лігнінові в'язучої речовини включає наступні операції: зневоднювання частини кам'яновугільної смоли (25...35 %) у спеціальному котлі при нагріванні до 240°C; подачу смоли в реактор і розігрівання її до 300...310°C; завантаження лігніну в реактор і нагрівання суміші до 310°C при перемішуванні; крекінг лігніну при 310...320°C протягом 1 год; диспергування продукту крекінгу шляхом перекачування насосом протягом 15...20 хв; подачу в реактор частини кам'яновугільної смоли, що залишилася, розігрітої до 90...110°C і змішування її з продуктом крекінгу; перекачування в'язучого у котел і перемішування його з конденсатом, зібраним при розігріві смоли і крекінгу лігніну.

Для виробництва дорожніх в'язучих запропоновано нагрівати гідролізний лігнін у розчиннику при температурі 310...320°C протягом 50...60 хв. при ретельному перемішуванні. Як розчинники для цього процесу можуть бути використані кам'яновугільні дорожні малов'язкі дьогті, смоли, нафтові гудрони, мазут, сланцеві смоли, смоли піролізу нафтових фракцій, відходи лавсанового виробництва. Залежно від виду розчинника і його в'язкості співвідношення між кількостями лігніну і розчиннику знаходиться в межах

від 1:2,9 до 1:7,5. Кількість розчинника вибирається таким, щоб температура розм'якшення продукту термопластифікації була не вище 140...160°C.



**Рис. 4.8.** Схема установки для виробництва лігнінових в'язучих:

- 1 — труба для відводу газів; 2 — пристрій для вловлення конденсату;
- 3, 4 — з'єднувальні труби; 5 — лаз; 6 — редуктор; 7 — електродвигун;
- 8 — засувка; 9 — бункер; 10 — шнек; 11 — елеватор; 12 — бункер-дозатор;
- 13 — реактор; 14 — теплоізоляція; 15 — змішувач; 16 — електродвигун;
- 17 — насос; 18 — люк

При одержанні лігнінових в'язучих для термопластифікації лігніну використовують кам'яновугільну смолу або рідкі кам'яновугільні дьогті Д-1...Д-4. Лігнінові в'язучі відрізняються високою адгезією, вони перевершують за цим показником кам'яновугільні дьогті і рекомендуються до застосування в дорожніх сумішах для нижніх і верхніх шарів покриття.

Бетони на основі лігніно-гудронового і лігніно-смоляного в'язучих за рядом властивостей перевершують асфальтобетони (табл.4.3). При використанні однакових кам'яних матеріалів бетон на лігніновому в'язучому має підвищену водостійкість, менші значення показника міцності при 0°C, високі адгезійні властивості.



**Властивості бетонів на лігнінових в'язучих**

Властивості в'язучі речовини		Витрата в'язучого, %	Міцність при стиску, МПа			Коефіцієнт водостійкості через 24 год	Коефіцієнт розм'якшення	Густина, г/см <sup>3</sup>	Водонасичення, %	Набухання, %
T <sub>p</sub> , °C	P <sub>25</sub>		50 <sup>0</sup> C	20 <sup>0</sup> C	0 <sup>0</sup> C					
<i>Лігніно-гудронові в'язучі</i>										
56	35	8	1,2	4	12	1	0,99	2,33	1,2	0,8
47,5	50	8	0,9	3	8,5	1	0,98	2,35	1,5	0,5
<i>Лігніно-смоляні в'язучі</i>										
26	85	7,4	0,79	8	-	0,9	0,8	2,27	7,3	0,5
29	45	7,2	0,8	9	-	0,9	0,8	2,28	9,3	0,8
32	37	7,1	1,15	10	-	0,95	0,9	2,30	9,8	0,5
<i>Бітум нафтовий БНД 40/60</i>										
47	50	8	0,85	3,5	12,5	0,95	0,69	2,35	1,4	0,6

**Примітки. 1.** Склад мінеральної частини бетону, %: щебінь гранітний (5...15 мм) — 43; відсів гранітний (0...5 мм) — 48; цементний пил — 9. **2.** Тр — температура розм'якшення; P<sub>25</sub> — глибина проникнення голки при 25<sup>0</sup>C.

Економічна ефективність застосування лігнінових в'язучих обумовлена більш низькою вартістю вихідних компонентів і підвищеною довговічністю дорожніх покриттів.

Існує позитивний досвід одержання зв'язуючих на основі лігніну для теплоізоляційних матеріалів.

Значний інтерес представляє досвід отримання зв'язуючих на основі технічних лігносульфонатів (ЛСТ) і лігнінових відходів для виробництва теплоізоляційних матеріалів. Для виготовлення теплоізоляційних матеріалів зі спученого перліту й інших заповнювачів потрібна велика кількість дефіцитних зв'язуючих. Було запропоновано використовувати лігнін, переведений у водорозчинний стан у процесі сульфитного варіння целюлози, у вигляді водного розчину лігносульфонових кислот і їхніх солей з домішкою золи і редуруючих речовин. Процес конденсації лігніну прискорюється в кислому середовищі і при підвищених температурах. Для створення в'язучого використані багатоосновні кислоти, зокрема, сірчана і ортофосфорна в кількості 5...20 %, що утворюють ковалентні зв'язки між різними частинами макромолекул лігносульфонатів у процесі етерифікації гідроксильних груп. Оптимальна температура тверднення складає 220<sup>0</sup>C. Для



поліпшення адгезії до наповнювача до складу зв'язуючого доцільно вводити поверхнево-активні речовини (ГКЖ-10, ГКЖ-11). Отриманий полімер має високу водостійкість. Було встановлено також, що для підвищення когезійної міцності полімеру доцільно до складу в'язучих вводити олігомери синтетичних смол.

На основі лігнінових в'язучих речовин і перліту освоєне виробництво теплоізоляційного матеріалу – лігноперліту. Для одержання лігноперліту використовують в'язучі речовини, отримані на основі лігносульфонатів марки КБЖ, ортофосфорної кислоти, фенолоспиртів, сечовино-формальдегідної смоли МФ-17, етилсиліконату натрію (ГКЖ-10). Отвердження композиції лігносульфонатів з ортофосфорною кислотою і сечовино-формальдегідною смолою проводилося при 80°C. Як наповнювач використовували неспучений перлітовий пісок. У складі в'язучої речовини оптимальна кількість добавок становить: ГКЖ-10 — 3...5 %, олігомерів синтетичних смол — 2...15, ортофосфорної кислоти — 15...20. Вироби формували з сировинної суміші вологістю 15...20 %. Низька вологість дає можливість у 2...2,5 рази скоротити витрату палива на виробництво виробів з лігноперліту порівняно з паливоємністю мінераловатних плит підвищеної твердості на синтетичному зв'язуючому.

За фізико-механічними і технічними властивостями лігноперліт не поступається ефективним теплоізоляційним матеріалам цього класу. Середня густина лігноперлітових плит і шкаралуп 130...250 кг/см<sup>3</sup>; границя міцності при стиску 0,2...1 МПа, при згині 0,1...0,8; водопоглинання 4...10 % за об'ємом; коефіцієнт розм'якшення 0,8...0,85; морозостійкість не менше 25 циклів; теплопровідність 0,04...0,08 Вт/(м<sup>0</sup>С). Залежно від вмісту зв'язуючого лігноперліт відноситься до груп неспалимих і важкоспалимих матеріалів. Лігноперліт при вмісті зв'язуючого не більше 7 % відноситься до неспалимих матеріалів, а не більше 20 % — до важкоспалимих. Вміст зв'язуючого у формувальній масі 5...20 %. На 1м<sup>3</sup> теплоізоляційного матеріалу витрачається в середньому, кг: лігносульфонатів — 14, фенолоспиртів — 2, ГКЖ-10 — 0,8 і ортофосфорної кислоти — 3,2.

Плити виготовляють довжиною 1, шириною 0,5, товщиною 0,04...0,06 м. Їх використовують як теплоізоляційний шар по профільованому металевому настилу без влаштування стяжки під рулонну покрівлю, а також у 3-шарових залізобетонних стінових панелях. Встановлено ефективність застосування лігноперліту як утеплювача в керамзитобетонних панелях. Цей матеріал може бути використаний і в якості теплової ізоляції устаткування при температурі до 200 °С.

Лігноперлітові плити виготовляють за напівсухою технологією, що включає: перемішування зв'язуючого з перлітовим піском; формування виробів із сировинної суміші при тиску 0,2...0,5 МПа і їх теплову обробку при 220 °С. На відміну від традиційних технологій виготовлення перлітових теплоізоляційних виробів, що передбачають сушіння до 24 год, добра



змочуваність лігніновим зв'язуючим поверхні перлітового піску дозволяє знизити вологість сировинної суміші і скоротити тривалість теплової обробки до 1,5...2 год.

Практичний інтерес представляє використання лігніну замість формальдегіду при одержанні полімерів фенол-альдегідного типу. Поліконденсацію фенолу з лігніном виконують при нагріванні в присутності сірчаної кислоти. За основними властивостями феноллігнінові полімери, що виготовляються у вигляді рідких резольних і твердих новолачних смол, близькі до фенолоформальдегідних. Рідкі смоли використовуються у виробництві деревостружкових плит, шаруватих пластиків і фанери. Також з феноллігнінових смол виготовляють форми методом лиття. На основі твердих смол новолачного типу можуть виготовлятися прес-порошки для одержання вентиляційних решіток, електроарматури, плитки для облицювання стін і покриття підлоги.

У виробництві цементу лігнін можна використовувати як пластифікатор сировинного шламу й інтенсифікатор подрібнення сировинної суміші і цементу. Дозування лігніну в цьому випадку складає 0,2...0,3 %. Розріджуюча дія гідролізного лігніну пояснюється наявністю в ньому речовин фенольного типу, що знижують в'язкість вапняково-глинистих суспензій. При помелі лігнін зменшує злипання дрібних фракцій матеріалу, а також перешкоджає їхньому налипанню на мелючі тіла.

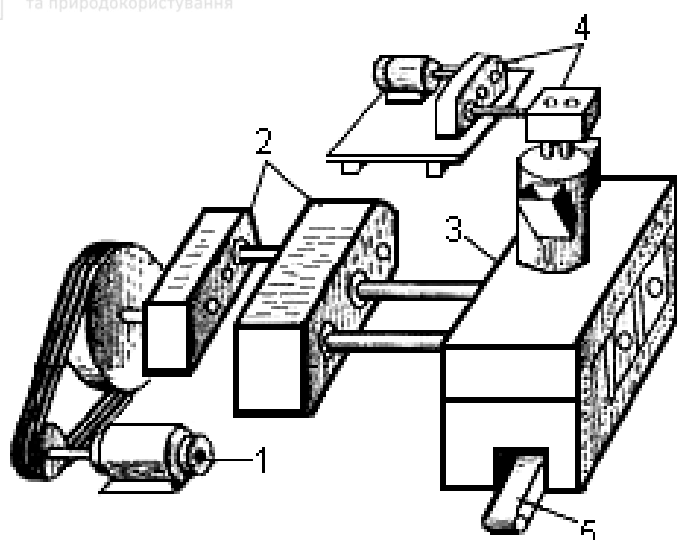
Гідролізний лігнін може бути використаний як наповнювач пластмас, гумовотехнічних виробів, лінолеуму й ін. Для досягнення низької вологості (до 10 %) лігніну перспективне поєднання сушіння з подрібненням. Розроблено і застосовується метод струменевого сушіння і подрібнення лігніну. Вологий лігнін, пройшовши сепарацію, подається в струменевий млин, де захоплюється потоками перегрітої пари при температурі 400<sup>0</sup>С и тиску 0,7 МПа. У камері змішування млина відбувається сушіння і подрібнення лігніну.

Раціональному використанню лігніну й інших дрібнозернистих і слабоструктурованих матеріалів сприяє їхнє брикетування (кускування) при тиску пресування від 15 до 150 МПа. Для брикетування лігніну і подібних йому матеріалів ефективно застосування валкових пресів високого тиску (рис.4.9, 4.10).

**Застосування відходів целюлозно-паперового виробництва.** До цього виду сировини відносяться відходи целюлозно-паперового виробництва після первинного очищення стічних вод — *скоп*. Мінеральна частина скопу складає понад 50 % і містить до 90 % каоліну. Органічні включення представлені в основному целюлозними волокнами.

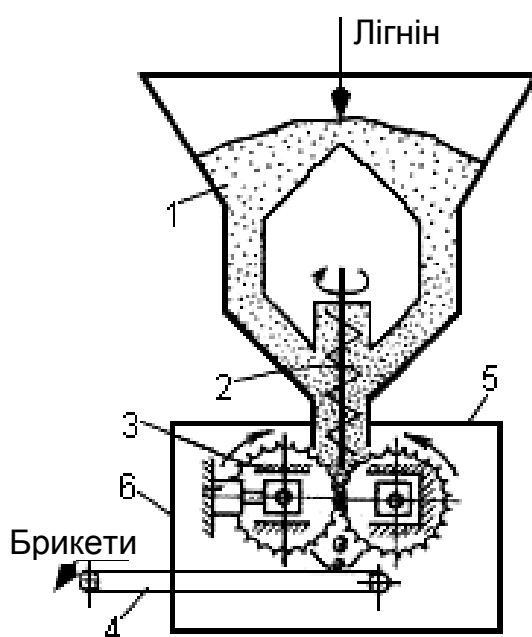
Скоп є ефективною добавкою при виробництві аглопоритового гравію на основі зол ТЕС (табл.4.4). Він, маючи низьку густину, високі сорбційні властивості і пластичність, поліпшує умови комкування зольної шихти і сприяє збільшенню міцності як вологих, так і сухих сирцевих гранул.





**Рис.4.9.** Валковий прес високого тиску з гнучким регулюванням параметрів пресування:

1 – електродвигун приводу валків;  
2 - редуктори; 3 - формуючі валки;  
4 - привід шнекового підпресувальника; 5 - транспортер брикетів



**Рис.4.10.** Схема валкового пресу високого тиску:

1 - бункер лігніна; 2 - шнек-підпресувальник; 3 - пресуючі валки; 4 - транспортер; 5 - корпус пресу; 6 - гідронасос

Випробування цього заповнювача в бетоні показали, що на його основі можуть бути отримані легкі бетони класів В12,5...В20 із середньою густиною від 1350 до 1800 кг/м<sup>3</sup> при витраті цементу відповідно від 215 до 435 кг на 1м<sup>3</sup> бетону.

Таблиця 4.4

**Фізико-механічні властивості зольного аглопориту з добавкою скопу**

Властивості аглопоритового гравію	Показники властивостей (фракція 10...20 мм)	
	без добавки скопу	з добавкою скопу
Густина, г/см <sup>3</sup>	2,62	2,4
Середня густина, кг/м <sup>3</sup>	1620	1160
Насипна густина, кг/м <sup>3</sup>	750...800	485...550
Пористість зерен, %	38,2	56
Міцність при стискуванні в циліндрі, МПа	2,72	1,7
Міжзернова пористість, %	55	48,7
Водопоглинання, %		
за 1 год.	24,6	24,1
за 48 год.	28,2	28,2
Втрати маси, % при прожарюванні:		
при силікатному розпаді	0,18	0,17
при залістому розпаді	0,27	0
	0,25	0



Скоп може бути використаний як заповнювач конструкційно-теплоізоляційного легкого бетону (*скопобетон*). Скопобетонна суміш виготовляється в змішувачах примусової дії шляхом перемішування портландцементу і вологого скопу без додавання води. Ущільнення суміші здійснюється трамбуванням чи пресуванням при тиску 0,08...0,12 МПа. Режим твердіння – природне або штучне сушіння. На основі скопобетону можна виготовляти стінові блоки з класом за міцністю не менше В1,2, середньої густиною 600...700 кг/м<sup>3</sup>, теплопровідністю 0,15 Вт/(м·°С) і морозостійкістю до F35 і більше. Витрата портландцементу для виготовлення скопобетонних блоків складає 220...230 кг/м<sup>3</sup> і може бути доведена до 180...200 кг/м<sup>3</sup> за рахунок введення добавки золи-виносу. Експериментальні житлові будинки зі скопобетону були зведені в Київській області.

Скоп можна використовувати у виробництві теплоізоляційних волокнистих плит із застосуванням як органічних, так і неорганічних в'язучих речовин. Розроблено склади для виготовлення теплоізоляційних матеріалів, що включають скоп 60...90 %, спучений перліт 8...20 %, фтористий натрій 0,5...2,5 %, і зв'язуюче – продукт спільної нейтралізації ортофосфорної кислоти, сечовини, формаліну 1...12 %. Показано можливість застосування в якості зв'язуючого глини, фторангідритового в'язучого. Теплоізоляційні плити на основі скопу мають середню густину 300...400 кг/м<sup>3</sup>, міцність при згині 0,17...0,24 МПа і міцність при стиску 3,5...5 МПа, водопоглинання 20...60 % по масі і теплопровідність 0,063...0,087 Вт/(м·°С).

Розроблені також теплоізоляційні матеріали на основі *активного мулу*. Останній, так само, як і скоп, відноситься до багатотоннажних відходів целюлозно-паперової промисловості. Активний мул утворюється при вторинному біологічному очищенні стічних вод і представляє собою білково-вуглеводний комплекс. Активний мул може бути використаний як пластифікуюча добавка для дисперсних систем на основі в'язучих речовин і як зв'язуючий компонент у сумішах з органічними волокнами.

Виробництво теплоізоляційних виробів на основі суміші скопу і надлишкового активного мулу включає наступні основні процеси: ущільнення суміші скопу й активного мулу до концентрації 2,5...4 %; змішування відходів з перлітовим піском і гідрофобізатором у гідрозмішувачі; формування плит у вакуум-пресі з вологістю 90 % або на конвеєрі з вологістю 87 %; їхнє сушіння в тунельних сушарках при температурі 150...230°C до вологості 2...5 %. Готові вироби мають границю міцності при згині не менше 0,3 МПа, середню густину не більше 200 кг/м<sup>3</sup>, водопоглинання не вище 70 % по масі і теплопровідність 0,051 Вт/(м·°С).



#### 4.6. ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНІ РЕЧОВИНИ (ПАР) І ДОБАВКИ ЕЛЕКТРОЛІТІВ НА ОСНОВІ ВІДХОДІВ ХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ

Добавки цієї групи дозволяють інтенсифікувати виробничі процеси і цілеспрямовано змінювати властивості будівельних матеріалів. Вони вводяться в невеликій кількості (доза деяких ПАР складає усього лише декілька сотих або тисячних часток відсотка маси основного матеріалу). Усі технологічні ефекти при введенні добавок ПАР обумовлені адсорбційним механізмом їхньої дії і найбільшою мірою характерні для колоїдно-дисперсних систем. Добавки електролітів змінюють розчинність матеріалів, хімічно з ними взаємодіють, є центрами кристалізації і т.д.

*ПАР гідрофільної дії* застосовують для підвищення рухливості розчинових і бетонних сумішей, розрідження сировинних шламів, зниження вологості і поліпшення формувальних властивостей керамічних сумішей.

До розповсюджених у виробництві будівельних матеріалів пластифікуючих ПАР гідрофільної дії належать *технічні лігносульфонати (ЛСТ)*, що постачаються у вигляді різних концентратів. ЛСТ і близькі до них хімічні відходи, головними компонентами яких є солі лігносульфонових кислот, молекулярно адсорбують цукри й інші активні ліофільні речовини та утворюють на поверхні зерен цементу й інших дисперсних матеріалів адсорбційні плівки. Наявність таких гідрофільних плівок сприяє утворенню навколо часток матеріалу, що адсорбують ПАР, водних оболонки, які перешкоджають злипанню і виконують роль гідродинамічного змащення.

Ефективність добавок ЛСТ виявляється на всіх основних етапах технології цементу і бетону. Протягом багатьох років ЛСТ використовують для зниження вологості шламу, що надходить у клінкеровипалювальні печі. Завдяки застосуванню розріджуючих добавок, досягається високий ступінь насичення шламу твердою речовиною без погіршення його рухливості. Добавка ЛСТ у кількості 0,2...0,3 % маси сухої сировини (у перерахуванні на суху речовину) знижує вологість шламу на 2,5...3,5 % і підвищує продуктивність печей на 3...4 %. Характерно, що ЛСТ і інші органічні розріджувачі пластифікують в основному карбонатну складову шламів. При гідротранспорті шламу з добавкою ЛСТ майже в 2 рази знижуються втрати напору, умови забирання шламу насосом поліпшуються навіть після тривалих зупинок. Близькими за механізмом дії й ефективності до ЛСТ розріджувачами шламу є відходи шкіряного виробництва, що містять 12...18 % твердого залишку, в основному танідів.

Шляхом введення 0,1...0,3 % ЛСТ і подрібнення клінкеру разом з гіпсом та мінеральними добавками, одержують пластифікований портландцемент - один з найбільш ефективних видів портландцементу. Розплив конуса при випробуванні на струшуючому столику розчину на основі суміші цього цементу з нормальним (стандартним) піском складу 1:3 при В/Ц=0,4 після 30 струшувань складає не менше 135 мм.



Залежно від поставленої мети і конкретної виробничої ситуації висока пластичність цементу може мати наступні результати:

- зниження витрати цементу на 5...10 % при незмінній легкоукладальності і водоцементному відношенні бетонної суміші;
- підвищення міцності, морозо- і корозійної стійкості і поліпшення ряду інших будівельно-технічних властивостей бетонів і розчинів за рахунок зниження водоцементного відношення при заданій легкоукладальності суміші;
- підвищення рухливості, зниження трудомісткості і підвищення якості укладання бетонних сумішей.

Інтенсивність твердіння пластифікованого портландцементу при нормальних умовах практично така ж, як і в звичайного; вона може знижуватися лише при прискорених режимах тепловологісної обробки і при неоптимальному дозуванні ПАР. Найбільш значний пластифікуючий ефект добавки ЛСТ досягається в низькоалюмінатних алітових цементах. Для забезпечення нормальних строків тужавлення пластифікованого портландцементу в деяких випадках потрібно підвищити вміст гіпсу.

Розчинові і бетонні суміші поряд із застосуванням спеціального пластифікованого портландцементу пластифікуються і безпосередньо введенням добавки ЛСТ та близьких до неї ПАР з водою замішування. Пластифікуюча дія ЛСТ найбільш виразна в "жирних" сумішах, які характеризуються високими витратами цементу, що обумовлено самим механізмом дії ПАР гідрофільної дії.

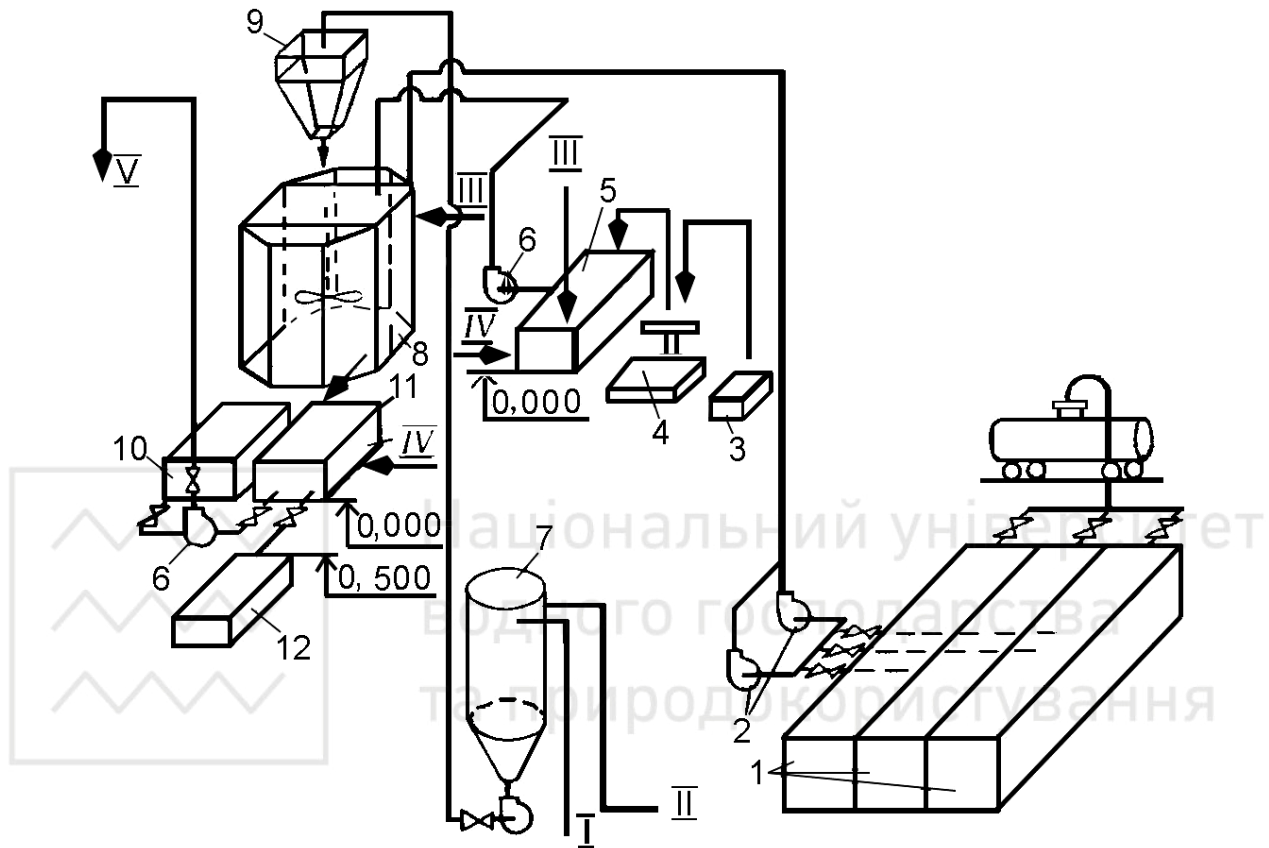
Введення пластифікуючих ПАР також поліпшує формувальні властивості керамічних сумішей, знижує їхню пластичну міцність і напруження зсуву, інтенсифікує сушіння виробів, усуває брак, пов'язаний з деформаціями свіжевідформованого сирцю.

При застосуванні технічних лігносульфонатів як пластифікуючих добавок варто враховувати і їхні недоліки: нестабільність властивостей; сповільнюючу дію на процеси гідратації і твердіння цементу; надлишкове повітрявтягування в бетонну суміш, результатом чого є необхідність використання м'яких режимів теплової обробки з тривалим (не менше 4 год) попереднім витримуванням і повільним підйомом температури.

Для виготовлення *пластифікаторів підвищеної ефективності (ППЕ)* розроблений ряд способів модифікації ЛСТ: формальдегідом; добавкою каустичної соди; відокремленням лігносульфонатів від супутніх компонентів з наступним їхнім переведенням у натрієву основу.

Одержання ППЕ можливо при перемішуванні водного розчину ЛСТ з цементом (*добавка НІЛ-20*) або золою-винесення з наступним відстоюванням й ін. (рис.4.11). В останньому випадку компоненти ЛСТ, що сповільнюють твердіння (редуючі речовини), адсорбуються на зернах цементу або золи-винесення і видаляються разом з осадом. Цей метод модифікації досить простий і передбачає використання недефіцитної сировини. Зниження

концентрації редуруючих речовин дозволяє збільшити вміст добавки до 0,6 % маси цементу без зниження міцності бетону. Ефективність застосування пластифікатору зростає зі збільшенням вихідної рухливості бетонної суміші.



**Рис. 4.11.** Схема виготовлення пластифікаторів підвищеної ефективності на основі ЛСТ:

I — завантаження цементу; II — розвантаження цементу; III — подача гарячої води; IV — подача повітря; V — завантаження в автотранспорт;  
 1 — бункер для рідких ЛСТ; 2 — насоси; 3 — контейнер для твердих ЛСТ;  
 4 — ваги платформенні; 5 — бак для розчинення твердих ЛСТ; 6 — насос;  
 7 — склад цементу; 8 — пропелерний змішувач; 9 — витратний бункер цементу;  
 10 — витратний бункер; 11 — відстійник; 12 — бак для шламу

Введення НІЛ-20 у кількості 0,6 % маси цементу збільшує рухливість від 4 до 16 см при збереженні міцнісних характеристик бетону, що твердіє як в нормальних умовах, так і в умовах тепловологої обробки. При підвищенні дози пластифікатора до 1 % рухливість бетонної суміші зростає до 22 см при зниженні міцності бетону в початкові строки твердіння не більше ніж на 10%. Введення оптимальної кількості НІЛ-20 до рівнорухомих сумішей дозволяє підвищити міцність бетону на 20...25 % або знизити витрату цементу не менше ніж на 15 %.





Близьким за ефективністю до добавки НІЛ-20 є інший представник модифікованих концентратів ЛСТ — *пластифікатор ХДСК-1*, вперше широко застосований на ДБК-1 м. Харкова. Він отриманий у спеціальній установці шляхом гідродинамічної, термічної і хімічної обробки ЛСТ з лугом. Застосування ХДСК-1 дозволило значно поліпшити укладання бетону в касети, знизити його пористість, скоротити час тепловологої обробки виробів на 4 год і зменшити витрату цементу на 12 %.

Модифіковані концентрати ЛСТ наближаються за пластифікуючим ефектом до найсильніших розріджувачів — суперпластифікаторів. При їхньому введенні в бетонну суміш водовміст знижується так само, як і при застосуванні суперпластифікаторів на основі кондиційних органічних продуктів — нафталіну і меламіну — на 18...25 %.

При модифікації концентратів ЛСТ спеціально підібраними аміновміщуючими речовинами отриманий *пластифікатор ЛСТ-М*, ефективний при подрібненні цементного клінкеру. Введення 0,1...0,2 % цієї добавки дозволяє поліпшити гранулометрію цементу і підвищити його активність на 3...7 МПа.

Основні добавки, отримані модифікуванням ЛСТ, наведені в табл. 4.5.

Таблиця 4.5

#### Модифіковані технічні лігносульфонати

Скорочене найменування	Склад	Скорочене найменування	Склад
ЛТМ	Суміш ЛСТ з натрієвими або кальцієвими солями мінеральних кислот	ЛСТМ-2	Продукт, який отриманий шляхом хімічної модифікації ЛСТ карбамідною смолою
		ЛСТМ-1	Продукт хімічної модифікації ЛСТ аміновміщуючими речовинами
ХДСК-1	Продукт обробки ЛСТ лугом при одночасному інтенсивному механічному впливі	МТС-1	Суміш ЛСТ і антиспінювача, в якості якого використовуються вищі жирні спирти або кубові залишки їх виробництва
НІЛ-20	Суміш ЛСТ і продуктів гідратації портландцементу	НІЛ-21	Модифікація ЛСТ антиспінювачем, який введений у водний розчин в процесі емульгування



Технічні лігносульфонати застосовують не тільки як пластифікуючі ПАР, вони також виконують роль зв'язуючих. При введенні невеликих добавок фосфорної або сірчаної кислоти і кремнійорганічної рідини, вони за своєю водостійкістю і клеючою здатністю перевершують фенолоспирти.

Близькими за досягаємым ефектом до технічних лігносульфонатів є добавки ЛСВК (лужні стоки виробництва капролактаму), УПБ (упарена післядріжджева меласна барда) і ін.

*Добавка ЛСВК* відноситься до пластифікуючих повітрявтягуючих добавок. Це в основному натрієва сіль адипінової кислоти — побічний продукт окислення циклогексанона киснем повітря при виробництві капролактаму. Ця добавка так само, як і ЛСТ, при введенні в бетонні суміші в кількості 0,1...0,2 % від маси цементу має пластифікуючу дію, дозволяє виготовлювати морозостійкі бетони марок F200 і вище, а також заощаджувати близько 8 % цементу. У комплексі з протиморозними добавками (наприклад, нітритом натрію, поташем, нітратом кальцію) добавка ЛСВК скорочує витрату останніх у 3...5 разів при бетонуванні конструкцій в умовах низьких температур.

*Добавка УПБ* є промисловим відходом спиртових заводів при виробництві кормових дріжджів. Оптимальні дозування складають 0,15...0,5 % від маси цементу. Використання УПБ так само, як і інших пластифікуючих добавок, поліпшує умови праці і знижує трудомісткість, підвищує якість виробів і дозволяє заощаджувати до 10 % цементу.

В останні роки на основі відходів промисловості розроблено ряд добавок, що відносяться до групи суперпластифікаторів і дозволяють без збільшення водовмісту і зниження міцності бетону переводити малорухомі бетонні суміші в литі. Так, на основі відходів виробництва нафталіну отриманий *суперпластифікатор "Дофен" (С-4)*. Високий пластифікуючий ефект при введенні цієї добавки досягається при вмісті її в бетонній суміші в кількості 0,5...2 %.

З відходів нафтохімічної і нафтопереробної промисловості розроблено *суперпластифікатор ІНХП-1*, що поряд з високою розріджуючою дією має підвищене повітрявтягування. Він особливо перспективний для дорожнього будівництва і виробництва залізобетонних конструкцій з підвищеною морозостійкістю.

*ПАР гідрофобізуючої дії* застосовують як добавки-інтенсифікатори подрібнення і регулятори властивостей, головним чином, у виробництві цементу і бетонів. Їхньою загальною властивістю є, хімічна взаємодія з цементом і продуктами його гідратації з утворенням сполук, що незмочуються водою.

ПАР гідрофобізуючої дії доцільно диференціювати за повітрявтягуючою здатністю. Повітрявтягування в розчинових бетонних сумішах при введенні ПАР - це наслідок мікропіноутворення, що виникає при зниженні поверхневого натягу на границі розділу рідини і газу. Повітрявтягуючу



здатність має більшість ПАР, але особливо яскраво вона виявляється в ПАР гідрофобізуючої дії, які залежно від повітрявтягуючої активності можна розділити на дві групи: з підвищеним повітрявтягуванням і помірним.

До добавок першої групи відносяться мила смоляних і, у меншій мірі, нафтових і жирних кислот, а також відходи, що їх вміщують. Типовим представником цієї групи є *абіетат натрію*, або смола нейтралізована повітрявтягувальна (СНП).

Добавками першої групи також є наступні хімічні відходи: милонафт (лужний відхід очищення дистилятів нафти); підмільний луг (відхід миловарного виробництва одержаний при обробці омилених жирів), відходи соапстоків (продуктів переробки рослинних масел і різних жирів).

Усі ці ПАР здатні пластифікувати розчинові і бетонні суміші. Зазвичай їх вводять з водою замішування. Бульбашки втягнутого повітря послаблюють контакт між зернами піску і розсувають їх, утворюючи своєрідний мастильний шар з повітряної емульсії. При втягненні емульгованого повітря збільшується загальний об'єм цементного тіста, що також сприяє пластифікації розчинових і бетонних сумішей.

Вміст повітря за допомогою повітрявтягуючих ПАР може бути доведений в розчинових і бетонних сумішах до 5...10 %. Ефект повітрявтягування, крім поверхневої активності ПАР, визначається комплексом технологічних факторів. Повітрявтягування сприяє запобіганню розшарування і водовідділення, підвищенню стійкості до хімічної корозії, істотному підвищенню морозостійкості бетонів і розчинів. Останнє пояснюється тим, що бульбашки повітря є "резервними пустотами", куди витискується вода при заморожуванні. Вплив повітрявтягування на міцність бетонів залежить від трьох факторів: кількості втягнутого повітря, складу суміші і характеру застосовуваної добавки. При незмінній рухливості суміші кожен відсоток втягнутого повітря знижує міцність бетону на 28 добу на 2...4 %. В міру збільшення віку бетону міцність знижується усе повільніше.

Друга група ПАР гідрофобізуючої дії у звичайних умовах і при оптимальних концентраціях втягує помірну кількість повітря (звичайно не більш 2...3 %).

З добавок цього типу найбільше значення мають синтетичні жирні кислоти з 10...20 атомами вуглецю в молекулі і кубові залишки, які одержують при виробництві цих кислот. ПАР цієї групи вводять як у воду замішування, так і цементний клінкер при подрібненні. У першому випадку забезпечується пластифікація сумішей, особливо з низькою витратою цементу, і підвищення довговічності бетонів та розчинів, а у другому — ще й інтенсифікація подрібнення й утворення гідрофобного цементу.

Кубові залишки при нормальній температурі мають високу в'язкість, тому для дозування з водою замішування їх потрібно емульгувати у воді. Перед подачею в цементний млин кубові залишки розчиняють в органічному



розчиннику або спеціально модифікують, намагаючись отримати достатню текучість.

Гідрофобізуючі добавки зазначеної групи, сприяють утворенню площин ковзання в бетонних (розчинових) сумішах, діють як пластифікатори внаслідок адсорбційної дії, обумовленої "шаруватою" структурою тонких орієнтованих плівок.

*Гідрофобний цемент* був запропонований М.І.Хігеровичем і Б.Г.Скрамтаєвим. Сутність гідрофобізації полягає в утворенні молекулами ПАР на поверхні зерен цементу хемосорбційних плівок, орієнтованих гідрофобними вуглеводневими радикалами до зовнішнього середовища. Основною перевагою гідрофобного цементу є його низька гігроскопічність, що сприяє збереженню активності протягом тривалого часу (1...2 років і більше).

Для універсалізації ПАР доцільно їх об'єднувати у *комплексні добавки*, ефективними з яких є композиції різних ПАР гідрофілізуючої і гідрофобізуючої дії, наприклад ЛСТ і кубових залишків синтетичних жирних кислот. Ці ПАР добре суміщуються емульгуванням кубових залишків у водному розчині ЛСТ. Введенням комплексних ПАР пластифікуються як "жирні" бетонні суміші, так і суміші з низьким вмістом цементу, бетонні суміші на цементах з різним хіміко-мінералогічним складом. Спільне введення обох видів ПАР в подрібнений клінкер дозволяє одержувати *гідрофобно-пластифкований портландцемент*.

У табл.4.6 наведені фізико-механічні властивості цементів з різними добавками ПАР, виготовлених на клінкері Здолбунівського цементно-шиферного комбінату. Залежно від функціонального призначення можливі комбінації різних груп добавок. На рис.4.12 проілюстрована можливість одержання хімічних добавок різного призначення на основі пластифікуючих і інших компонентів.

Хімічні добавки, що прискорюють твердіння в'язучих речовин і бетонів, у тому числі і при від'ємних температурах, в основному, відносяться до електролітів.

З *прискорювачів твердіння* бетону в найбільшій мірі досліджений хлорид кальцію. Прискорююча дія хлориду кальцію пояснюється підвищенням розчинності клінкерних мінералів цементу, утворенням комплексних малорозчинних сполук, каталітичним і модифікуючим впливом при гідратації цементу. Застосування його в бетоні, однак, обмежено через прискорення корозії сталеві арматури і зниження стійкості цементного каменю в сульфатному середовищі. У деяких країнах застосування цієї добавки заборонено.

Як прискорювач тужавіння і твердіння застосовують також сульфати натрію і калію, нітрати натрію і кальцію, хлорне залізо, хлорид і сульфат алюмінію й інші солі-електроліти.



Для запобігання корозії сталевій арматурі запропоновані композиційні добавки, що суміщують інгібітори з прискорювачами твердіння, наприклад, у вигляді нітрит-нітрату і хлориду кальцію й ін.

Таблиця 4.6

**Властивості цементів з різними ПАР**

Вид цементу	Вид ПАР	Вміст ПАР, %	Нормальна густина, %	Строки тужавлення, хв.		Гідрофобізація, хв	Розплив конуса, мм	Міцність, МПа, у віці, діб			
				початок	кінець			3	7	28	90
Гідрофобний	Розчин кубових залишків	0,15	25,5	3...10	5...40	5	121	$\frac{20,1}{3,5}$	$\frac{27}{4,7}$	$\frac{40,5}{5,9}$	$\frac{49,1}{6,5}$
Пластифікований	ЛСТ	0,15	22,3	2...40	6...50	0	145	$\frac{23,5}{4,7}$	$\frac{35}{4,9}$	$\frac{44}{5,7}$	$\frac{53,2}{6,6}$
Гідрофобно-пластифікований	Розчин кубових залишків+ ЛСТ	0,15	23,1	2...50	5...20	5	165	$\frac{22}{3,5}$	$\frac{26}{4,8}$	$\frac{39}{6,4}$	$\frac{46}{7}$

**Примітки: 1.** Склад цементу, %: клінкеру — 85, шлаку — 10; гіпсу — 5; тонкість помелу відповідає залишку на ситі № 008 8...10%. **2.** У чисельнику зазначена міцність на стиск, у знаменнику — на згин.

В останні роки встановлено прискорюючу дію на твердіння цементу тіосульфату і роданіду натрію ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  і  $\text{NaSCH}$ ), що подібно з дією  $\text{CaCl}_2$ . Міцність бетону в ранні строки твердіння зростає пропорційно кількості цих добавок. Добавки тіосульфату і роданіду натрію не викликають корозії арматури в залізобетоні. Як тіосульфат, так і роданід натрію є порівняно дорогими добавками, тому практичний інтерес представляють суміші цих солей на базі промислових відходів, зокрема переробки коксового газу. Ці суміші в Україні виготовляються як добавки системи "Релаксол".

Було показано, що комбінація промислової суміші тіосульфату і роданіду натрію із суперпластифікатором С-3 приводить до посилення їх індивідуального прискорюючого і пластифікуючого впливу. Це дозволило запропонувати комплексні добавки "Реламікс" (табл.4.7).



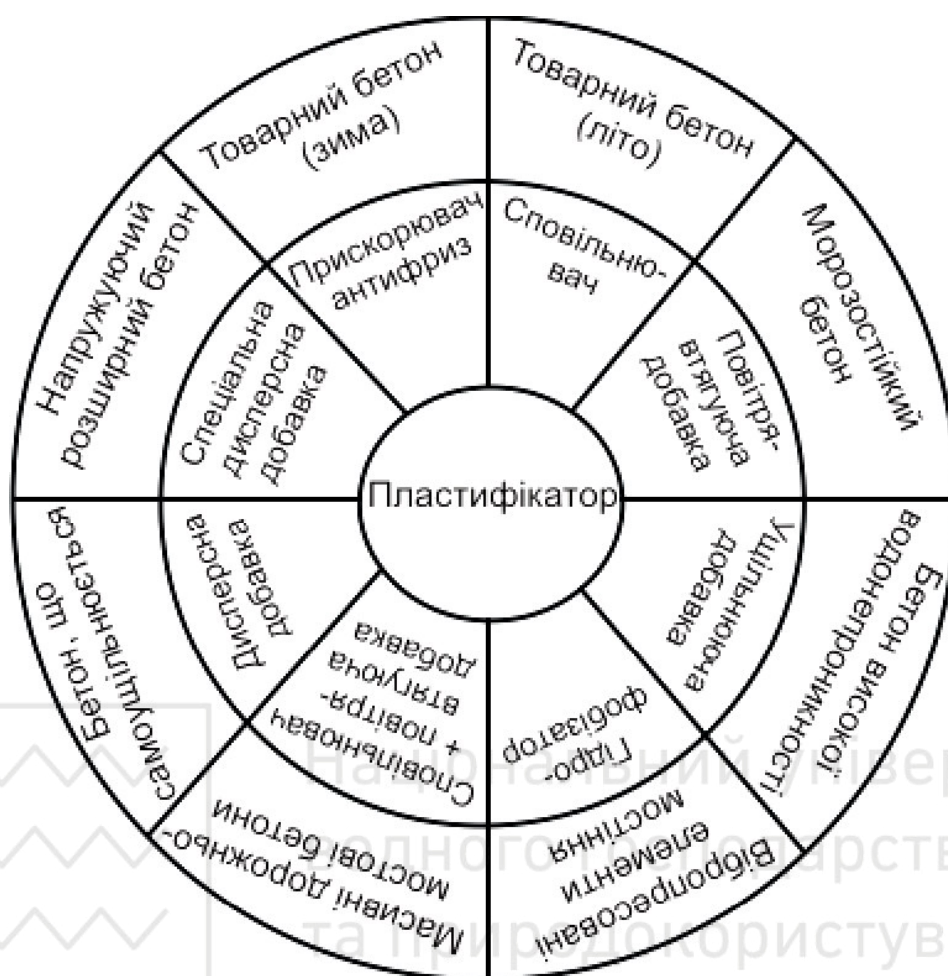


Рис. 4.12. Діаграма формування комплексних добавок (по О.В.Ушерову-Маршаку)

Таблиця 4.7

**Порівняльна ефективність комплексних добавок**

Порівняль на ефективні сть комплекс них добавок Добавка	Дозування, % маси цементу	Тривалість стабільної рухливості, год	Підвищення міцності при нормальному твердінні, %		Показники довговічності	
			1...3 діб	7...28 діб	морозо- стійкість	водонепро- никність
С-3	0,6	0,75...1,0	10...20	5...10	F300	W8
Реламікс-1	0,5	0,75...1,00,	20...40	10...15	F400	W10
Реламікс-2	0,5	75...1,0	30...45	20...25	F500	W10
Реламікс-3	1,0	1,5...2,0	40...50	20...25	F500	W12



Добавки електролітів використовуються у виробництві бетонів, розчинів, керамічних і інших будівельних матеріалів. Так, дистилерні відходи виробництва кальцинованої соди застосовують як добавку, що містить  $\text{CaCl}_2$  і  $\text{NaCl}$ , до бетонів при зимовому бетонуванні, виготовленні місцевих в'язучих спільним мокрим помелом із гранульованим доменним шлаком і т.д. Високі концентрації іонів  $\text{Ca}^{2+}$  і  $\text{Na}^+$  у дистилерній рідині, забезпечують активізацію шлаку.

Луговмісні відходи можуть бути компонентами шлаколужних в'язучих і бетонів. Їх невеликі добавки викликають ефект розрідження сировинних цементних шламів і керамічних шлікерів.

Крупнотонажними луговмісними відходами є сульфатно-содові продукти, що утворюються при термічному знешкодженні промислових стоків хімічних виробництв. Сульфатно-содові відходи містять суміш сульфатів, карбонатів та сульфідів натрію, %:  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  - 55...80,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  - 2...35,  $\text{Na}_2\text{S}$  - 1...6.

Значний інтерес для виробництва шлаколужних в'язучих речовин становлять представляють луговмісні відходи, що не вимагають додаткової переробки. До них відносяться відходи ливарного виробництва, що утворюються у вигляді відпрацьованих шламів при хімічному й електрохімічному очищенні металевих виливків і труб від залишків кераміки, пригару й окалини в розчинах і розплавах лугів. Хімічний склад шламів наступний, %:  $\text{NaOH}$  - 40...70,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  - 10...20,  $\text{NaNO}_3$  - 5...20,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  - 14...8,  $\text{Na}_2\text{CrO}_4$  - 0,3...1.

Використання відпрацьованих лужних відходів ливарного виробництва як лужного компонента для шлаколужних в'язучих речовин дозволяє одержати шлаколужні бетони класів В40...В60. До луговмісних відходів, що не вимагають додаткової обробки, відносяться і відпрацьовані карбонатні розчини після очищення повітря, кисню, газів, етилену, стиrolу в лужних розчинах.

#### **4.7. ЗАСТОСУВАННЯ ВІДХОДІВ КОКСО- І НАФТОХІМІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА**

На основі відходів, одержаних в процесі очищення кам'яновугільних смол (*фусів*), можливе виготовлення матеріалів для захисних покриттів бетонних, залізобетонних і металевих виробів. Такі суміші одержують при розчиненні фусів в уайт-спіриті й інших розчинниках з додаванням полівінілхлоридної смоли і наступному відстоюванні протягом півгодини.

Рекомендовано наступні склади захисного покриття, % по масі: фуси — 30...70, розчинник — 30...65; фуси — 30...70, полівінілхлоридна смола — 3...5; розчинник — 22...65.

Розроблені покриття мають високу адгезію до бетону і металу, високу міцність і водостійкість, є гідрофобними. Вартість покриттів, у порівнянні з існуючими (наприклад, на основі кам'яновугільного пеку), менше на 10...20 %, а час повного висихання скорочується в 2 рази. Суцільність захисного



покриття на основі фусів досягається при 3-шаровому нанесенні суміші, а покриттів на основі пеку — при 6-шаровому.

*Кубові залишки ректифікації сирого бензолу* можна використовувати як компонент органічної зв'язуючої речовини на основі фурфуролацетонного мономера (мономер ФА), що збільшує відносно подовження зразків під час розриву при практично незмінній міцності на розтяг. Оптимальна кількість добавки кубових залишків складає приблизно 50 % від маси мономера ФА. На основі цього зв'язуючого встановлені оптимальні склади полімербетону, % за масою: щебінь — 40...42; пісок — 30...32; мінеральний порошок — 15,3...16,5; мономер ФА — 6...12; кубові залишки — 3...4; отверджувач (бензосульфокислота) — 1,5...2,7.

Бетони на основі кубових залишків характеризуються наступними фізико-механічними властивостями: середня густина - 1800...1820 кг/м<sup>3</sup>; границя міцності, МПа, при стиску - 67,7...68,2, згині - 19,2...21,2, розтягу - 7...7,1; модуль пружності - 19300...19500 МПа; теплопровідність 0,732...0,754 Вт/(м·°С); питома теплоємність 0,607...0,614 кДж/(кг°С). Полімербетони стійкі у розчинах сірчаної і соляної кислот, а також у сірчано-кислотному травильному розчині, що містить 20...22 % сірчаної кислоти при температурі 95 °С. Їх можна застосовувати для виготовлення травильних баків, резервуарів для цехів ректифікації коксохімічних заводів.

Коксохімічні заводи викидають у відвали у великих кількостях і *кислу смолку*, яку одержують при переробці сирого бензолу. За хімічним складом, вона є сумішшю смолистих речовин (продуктів окислення на повітрі вуглеводнів), здатних полімеризуватися при 120...140°С. Вміст у кислотній смолці вільної сірчаної кислоти складає 10...30 %, бензольних вуглеводнів — 25...40 %, полімерів — 40...60 %.

Дослідження показали, що кисла смолка є інтенсифікатором помелу цементу. Зокрема, тонкість помелу шлакопортландцементу при введенні інтенсифікатора помелу даного виду підвищується до 20 %.

При твердінні цементного каменю у воді й у повітряно-вологих умовах добавки оптимальних кількостей кислотної смолки (0,5...1 %) можуть бути рекомендовані як активізатор твердіння цементу в ранні строки. Міцність цементного каменю збільшується через 7 діб на 18...37 %, після 28 діб значення міцності наближаються до контрольних показників або перевищують їх на 8...10 %.

Кисла смолка — активна спучуюча добавка, тому що містить не менше 50% вуглецевої речовини, її можна використовувати у виробництві керамзиту. Експериментальна перевірка показала, що введення 1...3 % кислотної смолки у глиняну масу дозволяє одержати керамзитовий гравій насипною густиною 250...450 кг/м<sup>3</sup> (табл.4.8). Можливо використовувати кислотну смолку замість солярного масла.



### Властивості керамзитового гравію з добавкою кислій смолки

Добавка, %	Коефіцієнт спучування	Насипна густина, кг/м <sup>3</sup>	Коефіцієнт деформативності зерен	Водопоглинання протягом 1 год, %	Міцність при стискуванні у циліндрі, МПа	Вміст SO <sub>3</sub> , % за масою
Кисла смолка:						
1,0	5,5	440	1,36	23,6	2,1	0,85
1,5	5,7	410	1,38	23,9	2,08	0,82
2,0	6,0	390	1,22	24,1	1,6	0,82
2,5	6,3	330	1,26	24,6	1,28	0,87
3,0	6,8	238	1,20	24,9	0,67	0,95
Солярне масло, 3,0	4,46	495	1,18	19,35	2,51	0,42

З кислій смолки після її нейтралізації можливе виготовлення дорожніх дьогтів. Властивості нейтралізованої смолки близькі до властивостей дорожнього кам'яновугільного дьогтю марок Д-4...Д-6. Ефективним є введення в нейтралізовану смолку 15...25 % рідкого бітуму. Бетон на такому в'язучому має міцність при температурі 50°C - 1,5...1,6 МПа, 20°C - 3,5...4; коефіцієнти теплостійкості - 2,25...2,45 і водостійкості - 0,82...0,83.

У виробництві дорожньо-будівельних матеріалів застосовують також побічні продукти піролізу нафтових фракцій - *смоли*. Піроліз рідких вуглеводневих (нафтових) фракцій проводиться з метою одержання етилену, пропілену і т.д. Склад і властивості смол залежать від виду сировини і технологічного режиму піролізу. Так, при піролізі нафтового газу, бензинової фракції, гасу одержують смолисті рідини темного кольору, що киплять при температурах 200...360°C, в'язкістю 0,5...2 Па·с при 20°C. Ці смоли містять до 95% ароматичних вуглеводнів, у тому числі стирол, інден і інш. Деяку частину смол піролізу перероблюють разом з нафтою для збільшення виходу бензину, частину використовують для виробництва інден-кумаронових і нафтополімерних смол, частину застосовують як паливо для котлів.

При полімеризації смол піролізу одержують *нафтополімерні смоли*. Вони мають температуру розм'якшення від 50 до 100°C, густина 0,86...0,90 г/см<sup>3</sup> при 20°C і майже цілком розчинні в бензолі. При пластифікації нафтополімерних смол екстрактами селективного очищення масляних фракцій або іншими пластифікаторами одержують в'язучі речовини для дорожнього будівництва, у тому числі для кольорових полімербетонів. З цією метою пластифікатор нагрівають до температури 70...80°C і завантажують у





підготовчий котел, куди подають нафтополімерну смолу. Для повного розчинення смоли температуру в котлі підтримують у межах 120...130°C при циркуляції суміші. Робочий котел обладнаний мішалкою для додаткового перемішування в'язучої речовини.

Технологічний процес виготовлення полімербетонних сумішей аналогічний виготовленню асфальтобетону. Температура готової суміші повинна бути 120...150°C. Після ущільнення матеріал має наступні характеристики: границя міцності при стиску 2,5...4 МПа при 20°C, 0,85...1,5 МПа при 50°C и 6,0...8,0 МПа при 0°C, коефіцієнт водостійкості 0,92...1,0, набухання 0...0,4 %, водонасичення 0,3...0,4 %. Нафтополімерні смоли світлого кольору дозволяють одержувати кольорові полімербетонні суміші.

З відходів нафтопереробної промисловості для виробництва будівельних матеріалів інтерес представляють *кислі гудрони*, що утворюються при сірчаноокислотному очищенні масел, парафінів, газово-газойлевих фракцій від ароматичних вуглеводнів.

Склад кислих гудронів досить різноманітний. Гудрони, що утворюються при очищенні мастил сірчаною кислотою, містять 32...49 %  $H_2SO_4$ , 49...60 % органічної маси і 2...8 % води. При очищенні парафінів сірчаною кислотою в кислих гудронах переважає  $H_2SO_4$  (78...85 %), вміст органічної маси не перевищує 8...16 %. Такі гудрони води практично не містять.

Запропоновано спосіб одержання дорожніх бітумів з гудронів сірчаноокислотного очищення масел. Цей спосіб, однак, не одержав розповсюдження, через вміст у кислому гудроні великої кількості сірчаної кислоти і низької якості в'язучої речовини, що виділяється.

Після зливу кислого гудрону у відстійники його в'язкість значно зростає, він стає майже твердим, обводнюється, а частина сірчаної кислоти вимивається дощами і снігом.

Основний спосіб утилізації кислого гудрону полягає в нейтралізації сірчаної кислоти вапном з наступним видаленням води. Однак нейтралізований гудрон має незадовільні властивості як в'язучий матеріал. Його використовують як компонент дорожнього бітуму, але не для поліпшення якості, а швидше, як добавку, що дозволяє збільшити вихід бітуму.

Одним з можливих способів утилізації кислого гудрону є застосування його як добавки при випалюванні цементного клінкеру в обертових печах. Вапняні породи, що входять до складу сировинної суміші, реагують з надлишковою сірчаною кислотою, у той час як інші нафтовмісні компоненти згоряють, виділяючи корисну теплову енергію. Практична реалізація даного способу вимагає розробки спеціальних заходів екологічного характеру.

Кислі гудрони можна використовувати як паливо (як компонент мазуту), а також як сировину для одержання оліфи.





Кислий гудрон застосовують також як добавку в глиномасу для виробництва керамзиту. Витрата добавки складає 1...2 % від маси шихти. При введенні добавки насипна густина керамзиту знижується на  $100 \text{ кг/м}^3$ .

*Залишки від регенерації відпрацьованих мастил* можуть бути використані в дорожньому будівництві як розріджуюча добавка для в'язких бітумів, а після термоокислення - як пластифікуюча добавка.

При додаванні залишку від регенерації в кількості 5...10 % до бітуму (пенетрація якого становить 6...9 мм) одержують бітум з пенетрацією 9...13 мм, а при введенні до 15 % залишку – 20...30 мм, що може бути використано для виробництва теплового асфальтобетону.

Окислення залишку від регенерації масел може бути виконана на звичайних установках для переробки гудрону в бітум. Відпрацьовані масла й інші нафтовідходи використовують як добавки, що сприяють спучуванню глин при випалюванні керамзиту та як мастило для змащення форм у виробництві залізобетонних виробів і ін.

#### 4.8. УТИЛІЗАЦІЯ РОЗЧИНІВ І ШЛАМІВ

На підприємствах хімічної й інших галузей промисловості утворюється значна кількість відходів у вигляді розчинів і шламів. Деякі з них можуть бути використані у виробництві різних будівельних матеріалів.

Багатотоннажний відхід виробництва соди за аміачним способом - *дистилерна рідина* має початкову густина  $1,12...1,13 \text{ г/см}^3$ ; після її упарювання можливо одержати продукт, що містить більше 30 %  $\text{CaCl}_2$ . Після змішування його з нітратними продуктами виробництва азотної кислоти одержують нітрит-нітрат хлориду кальцію (ННХК). Існує багаторічний позитивний досвід застосування ННХК як комплексної добавки у виробництві бетонних і залізобетонних виробів, що дозволяє суттєво прискорити твердіння бетону і разом з тим захищає сталеву арматуру від корозії. Добавка ННХК є також ефективною протиморозною добавкою. Дослідження показали, що добавка ННХК може суттєво прискорювати твердіння азбестоцементних виробів при застосуванні розчинів з концентрацією 27...40 % у кількості 2 % маси цементу. У цьому випадку початкова міцність азбестоцементних листів зростає в 1,8...3,5 рази, а стандартні показники продукції досягаються вже через 3...5 діб твердіння. При цьому можна скоротити час перебування листів у конвеєрі попереднього твердіння до 2,5...3 год.

Після відділення дистилерної рідини тверді відходи содового виробництва можуть бути використані для одержання вапняновмісної в'язучої речовини та матеріалів на її основі.

Технологія одержання *вапняновмісної (вапняно-білової) в'язучої речовини* заснована на термообробці твердого відходу содового виробництва при температурі  $900...1000^\circ\text{C}$ , сушінні кварцового піску і наступного їхнього спільного подрібнення до питомої поверхні  $4000...5000 \text{ см}^2/\text{г}$  у визначеному



співвідношенні з додаванням напівводного гіпсу, що сповільнює гідратацію в'язучого, інтенсифікатору помелу і води для гідратації оксиду кальцію. Отриманий у процесі помелу продукт пневмотранспортом подається в силос. На основі вапняно-білової в'язучої речовини можливе виробництво силкатної цегли і ніздрюватих бетонів.

Відпрацьовані сірчаноокислі *травильні розчини* після нейтралізації вапном складаються з 60...70 % гіпсу і 30...40 % залізистих відходів. Вони можуть бути використані як хімічний активатор шлакових бетонів. Використання відпрацьованих травильних розчинів дозволило одержати шлакокерамзитобетон класу 7,5 при зниженні витрати цементу на 20 %, середньої густини – до 16 %, коефіцієнта теплопровідності – до 12 %. Крім того, введення добавки дозволило знизити величину температури ізотермічного прогріву виробів з 90 до 60<sup>0</sup>С без збільшення загальної тривалості тепловологісної обробки.

*Відходи хлорного виробництва* утворюються у вигляді водної пульпи. Ця пульпа містить, %: гіпохлорит кальцію – 7...15, гідроксид кальцію – 3...5, карбонат кальцію – 2...3,  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$  – 1...3,  $\text{SiO}_2$  – 1...2,  $\text{MgO}$  – 2...3. Експерименти показали, що добавка пульпи з вмістом 4...8% "активного хлору" прискорює набір міцності бетону особливо в початковий період твердіння при постійному В/Ц. Відходи хлорного виробництва, що містять гіпохлорит кальцію, можуть бути використані для активації сталеплавильних шлаків. Міцність отриманих бетонів на малоактивних конвертерних шлаках для основ дорожніх покриттів при замішуванні пульпою, що містить гіпохлорит кальцію, суттєво зростає порівняно з міцністю бетонів замішаних водою. Також зростає міцність та стійкість до впливу солей поверхневого шару бетону при просочуванні його поверхні відходами хлорного виробництва. В результаті взаємодії гіпохлориту кальцію з цементним каменем утворюються малорозчинні комплексні солі, що заповнюють поверхневі пори і мікротріщини.

Хлоромісткі відходи представляють також інтерес як мінералізуюча добавка для виробництва цементного клінкеру за низькотемпературною технологією алітового цементу.

Відходи підприємств з виробництва калійних добрив, нітроаммофоски, технічної тіосечовини, капролактаму, синтетичних миючих засобів, лакофарбових матеріалів, фармацевтичних препаратів тощо викидаються у вигляді пульп і шлаків. Область їхнього можливого застосування встановлюється за вмістом і складом твердої фази з урахуванням вологості, токсичності й інших факторів.

Наприклад, відходи виробництва хімічних підприємств, що містять барит можуть бути використані для інтенсифікації випалювання портландцементного клінкеру і виготовлення високосульфатостійкого барійвмісного портландцементу. Відходи виробництва технічної тіосечовини - т. зв. "чорний шлам", що містять  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  – 40...50 %, тіосечовину – 0,5...1



%, становлять інтерес для виробництва цементно-вапняних розчинів і автоклавних бетонів.

Відходи виробництва синтетичних миючих засобів включають різні поверхнево-активні речовини, а також такі електроліти як сульфат натрію, триполіфосфат натрію, силікат натрію й ін. Вони можуть успішно використані як добавки – модифікатори у виробництві в'язучих речовин, розчинів, бетонів, керамічних і інших матеріалів.

У технологічних циклах машинобудівних, металообробних і інших підприємств широко застосовують гальванічні покриття, що наносяться на поверхню металевих виробів. Гальванічні покриття застосовують для підвищення корозійної стійкості, зносостійкості і поліпшення декоративного вигляду виробів. При цьому неминуче утворюються токсичні стічні води, які не можна скидати без очищення у водойми і каналізацію, а очищення їх звичайними механічними і біохімічними методами, як правило, не дає позитивних результатів. У ряді випадків можливе застосування *відходів гальванічних виробництв* у виробництві будівельних матеріалів, при цьому досягається як екологічний, так і техніко-економічний ефект.

Наприклад, хромовмісні осаді після сушіння до гігроскопічної вологості, а при значному вмісті органічних складових прокалені до озолення, можна використовувати як пігменти при виробництві декоративного скла.

Добавки гальванічних осадів можна вводити до складу асфальтових сумішей без погіршення їх властивостей. У деяких країнах прожарені гальванічні шлами використовують для одержання будівельних блоків із застосуванням портландцементу й інших в'язучих матеріалів.

Гальванічні відходи доцільно використовувати у виробництві керамічних матеріалів, при цьому зменшується чутливість виробів до сушіння та поліпшується їхній колір.



## 5. МАТЕРІАЛИ І ВИРОБИ З ВІДХОДІВ ПЕРЕРОБКИ ДЕРЕВИНИ ТА ІНШОЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

### 5.1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВІДХОДІВ

Зі збільшенням обсягів капітального будівництва зростає потреба в деревині. Обсяги будівельно-монтажних робіт збільшуються значно швидше, ніж обсяги заготівлення деревини. Кондиційна деревина стає все більш дефіцитним матеріалом у будівництві. Питомі норми витрати лісоматеріалів у капітальному будівництві постійно знижуються. Використання відходів заготівлі та переробки деревини є найважливішим джерелом задоволення потреб будівництва в ефективних будівельних матеріалах.

Аналіз споживання деревини показує, що її заготівля та переробка супроводжуються величезними втратами. До 50% усієї деревини, що переробляється, складають відходи, велика частина яких спалюється або вивозиться у відвали.

Утилізація відходів деревини з одного боку дозволяє задовільнити потреби будівництва в багатьох конструктивних, опоряджувальних та теплоізоляційних матеріалах, які за технічними властивостями у ряді випадків переважають пиломатеріали, а з іншого боку — істотно скоротити обсяги вирубки лісу.

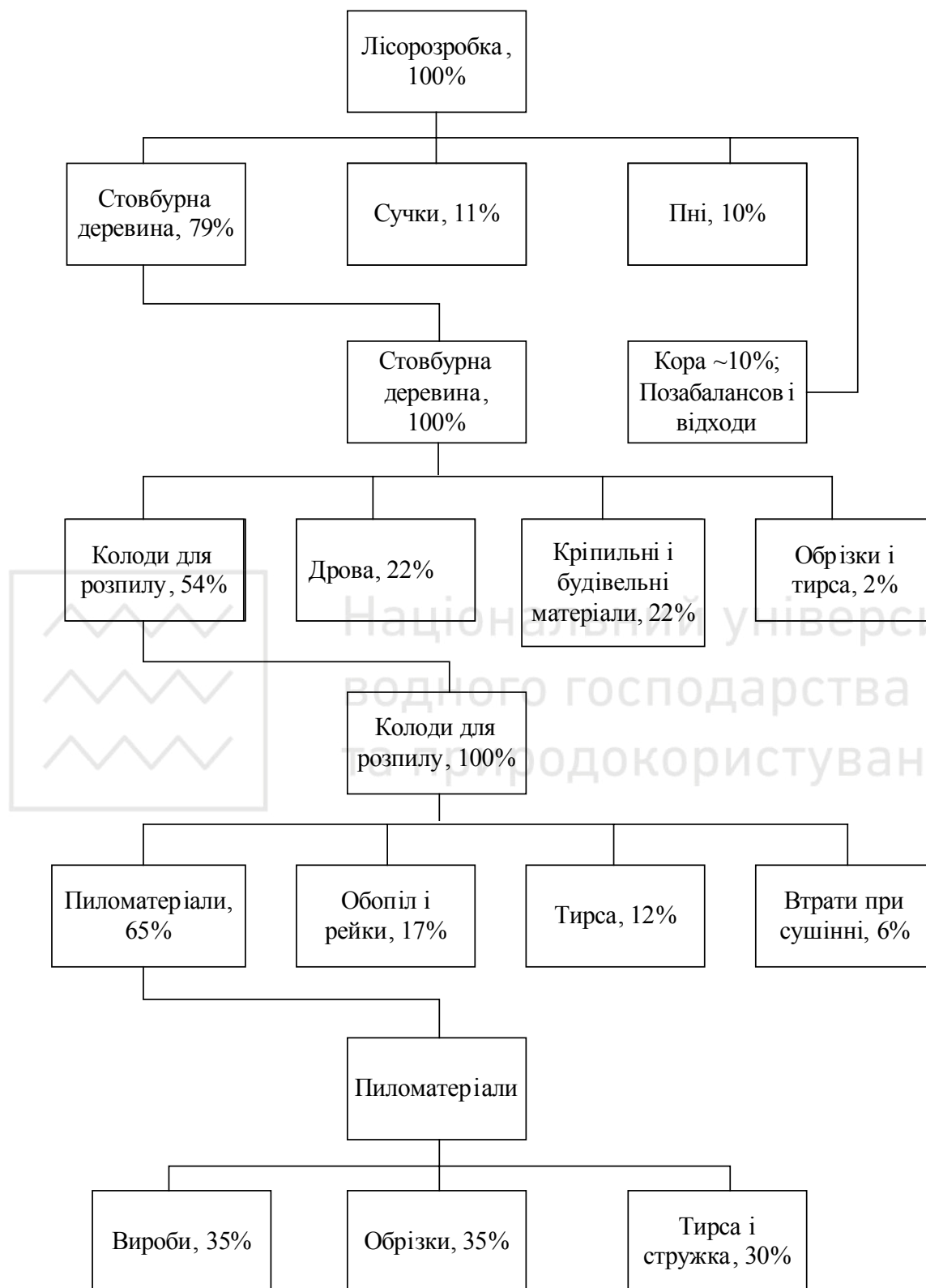
*Відходи деревини* утворюються на всіх стадіях її заготівлі та переробки. Галузі промисловості по заготівлі, обробці та переробці деревини можна розділити на три групи: лісозаготівельна, первинна та вторинна обробка й переробка деревини.

До першої групи відноситься заготівля лісних матеріалів в круглому вигляді, які використовують без подальшої обробки в будівництві.

До другої групи відносяться виробництва, для яких сировиною є кругла деревина. Продукцією первинної обробки та переробки деревини є пиломатеріали, деревна маса, целюлоза, а також продукти лісохімічної переробки деревини.

До третьої групи відносяться виробництва, для яких сировиною є пиломатеріали, шпон; виробництва столярних виробів, фанери, паркетних виробів, клеєних деревних конструкцій, сірникової соломки, меблів, деревних плит, паперу та інш.

Номенклатура та кількість відходів (мас. %), які отримують в процесі лісозаготівлі і деревообробки наведені на рис. 5.1. Аналіз показує, що використання деревини за прямим призначенням складає біля 10% від загального об'єму.



**Рис. 5.1.** Види основних відходів деревини

Основною сировинною базою відходів для виробництва будівельних матеріалів і виробів є лісопильно-деревообробна галузь, в якій утворюється найбільша кількість відходів деревини. Значна кількість відходів





утворюється при виробництві столярних виробів і меблів.

В числі відходів лісохімічної галузі на особливу увагу заслуговує лігнін, який отримують при гідролізі деревини.

Всі відходи деревини можна класифікувати за видом; послідовністю утворення; залежно від досконалості технології переробки і виду обладнання, а також за їх призначенням.

За першою ознакою відходи деревини класифікують наступним чином: *тверді* (або кускові), *м'які* (тирса, стружка тощо) та *кора* (в тому числі луб, деревна зелень й деревна лапка).

Тверді або кускові відходи отримують при обробці деревини у вигляді обополу, рейок і обрізків та при лісозаготівлі у вигляді гілок, сучків, вершин, пнів, коренів, козирків тощо.

М'які відходи у вигляді стружки, тирси і деревного пилу отримують на деревообробних підприємствах при лісопилянні.

Кора при лісопилянні залишається при обробці круглого лісоматеріалу. Кора з лубом гілок, сучків і вершин, кора середньої і комлевої частини стовбура утворюються при лісозаготівлі. Деревна зелень у вигляді хвої і листя, деревна лапка з тонкими гілками та пагонцями залишаються на місці лісозаготівлі.

За послідовністю утворення відходи деревини розділяють на чотири групи:

1. Відходи, які пов'язані з заготівлею деревини (гілки, вершини, корені, пні, а також відходи, які утворюються при розкрязуванні хлестів).
2. Відходи від обробки круглого лісу (обрізки, тріски та кора).
3. Відходи, які утворюються при первинній обробці деревини (рейки, обрізки, обапіл, стружка, тирса, кора, а також відходи від хімічної переробки деревини - лігнін, здубиця, луги та ін.).
4. Відходи, які утворюються при вторинній обробці і переробці деревини, в тому числі відходи, які утворюються при виготовленні столярних виробів, меблів, тари та в будівництві.

За третьою ознакою, тобто залежно від досконалості процесу переробки, відходи поділяють на дві групи:

- відходи, утворення яких є технологічно обґрунтованим; вони спричинені властивостями або якістю деревини, а також умовами її використання;
- відходи, утворення яких можна уникнути і які можуть бути виключені повністю або частково при застосуванні сучасних технологій і обладнання.

За призначенням відходи деревини поділяють на три групи:

- відходи, які відносяться до вторинної сировини, оскільки вони можуть повністю або частково замінити первинні сировинні матеріали, що використовуються в деревообробній, целюлозно-паперовій та лісохімічній галузі;
- відходи, які придатні до застосування в будівництві безпосередньо або після додаткової обробки та переробки;



- відходи, які використовують як паливо.

Для виробництва будівельних матеріалів та виробів застосовують переважно тирсу, стружку і кускові відходи, останні придатні як безпосередньо для виготовлення клеєних будівельних виробів, так і після їхньої переробки на тріску, стружку, дрібняк, волокнисту масу і т.п.

*Тирса* - один з найбільш масових відходів деревини, який утворюється при лісопилянні і деревообробці. Тирсу використовують при гідролізі на заводах з виробництва спирту і дріжджів; як поротвірну добавку при виробництві керамічної цегли, як дрібний заповнювач при виготовленні тирсобетону і гіпсотирсових плит та блоків. Фракційний склад тирси залежить від виду деревини й способу одержання та становить 0,2...10 мм. Частинки крупністю менш 0,2 мм відносяться до деревного борошна. Середня насипна густина залежить від виду деревини і складає 175...225 кг/м<sup>3</sup>, пористість - 71...75% (табл.5.1).

Таблиця 5.1

**Властивості деревної тирси в залежності від фракційного складу**

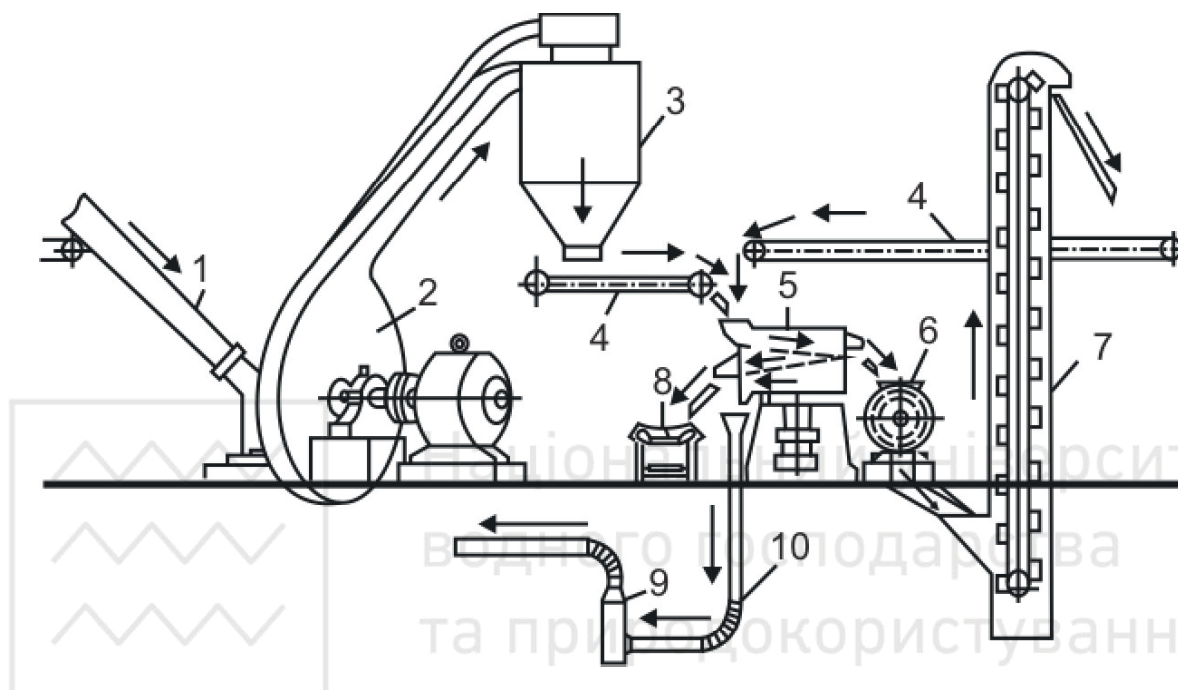
Фракційний склад, %, часток крупністю, мм			Насипна густина у сухому стані, кг/м <sup>3</sup>	Пористість, % від об'єму
20...10	10...5	5...2,5		
-	100	-	194,0	74,7
40	40	20	175,7	72,0
25	25	50	217,0	71,9
35	35	30	226,5	70,8

Спосіб отримання тирси впливає на її зерновий склад та фізичні властивості. Так при розпилюванні стовбурів на лісопильній рами отримують тирсу крупністю до 7 мм майже кубічної форми. При обробці деревини на круглопильних верстатах отримують тирсу волокнистої структури розміром 1...2 мм. На відміну від вищенаведеної, тирса, що отримана при розпилюванні на лісопильній рамі, має більші розміри поперек волокна, що призводить до зниження міцності виробів.

*Технологічна тріска* – це продукт первинного подрібнення кускових відходів і неділової деревини на дискових або барабанних рубальних машинах для подальшої переробки на дрібняк, стружку та волокнисту масу. Технологічна схема виробництва тріски наведена на рис. 5.2.

Вимоги до тріски визначаються можливими сферами її застосування. Звичайно, нормують розміри тріски, вміст гнилизни і трухлявості, кори та мінеральних домішок. При виготовленні волокнистої маси для нормальної роботи розмельних машин бажано, щоб куски тріски були приблизно однакові, для виготовлення деревно-волокнистих плит довжина тріски складає вздовж волокна - 20...25 мм, ширина поперек волокна - 15...30 мм і товщина - 3...5 мм; для виготовлення пресованих деревно-стружкових плит

(ДСП) оптимальна довжина тріски складає 40 мм, а при екструзійному методі формування - 20 мм, оптимальна товщина тріски в обох випадках становить 30 мм; вміст кори при виробництві деревно-волокнистих плит (ДВП) не повинен бути більшим 15 мас.%, а ДСП - 12 мас.%. Вміст гнилизни (трухлявини) незалежно від способу виготовлення допускається до 5 мас.%, а для деяких виробів взагалі не допускається; вміст мінеральних домішок - 0,3...1 мас.%.



**Рис. 5.2.** Технологічна схема отримання технологічної тріски:

1 - деревина; 2 - рубальна машина; 3 - циклон; 4 - конвеєр;  
 5 - класифікатор; 6 - дезінтегратор; 7 - елеватор; 8 - ланцюговий конвеєр; 9 - приймач; 10 – пневмоконвеєр

Характер переробки тріски залежить від виду матеріалу або виробу. Для виготовлення арболіту застосовують дрібняк та стружку, для виготовлення деревно-стружкових плит (ДСП) - стружку, деревно-волокнистих плит (ДВП) - волокнисту масу.

*Дрібняк* - повинен мати коефіцієнт форми (відношення довжини до ширини) в межах 5...10, товщину - 3...5 мм, максимальну довжину до 25 мм. Така форма і розміри дрібняку дозволяють наблизити значення деформацій деревини внаслідок зміни вологості уздовж і поперек волокон і зменшити їхній негативний вплив на процеси структуроутворення і міцність арболіту.

*Стружка* для виготовлення арболіту повинна мати товщину - 0,1...1 мм і довжину - 2...20 мм, для зовнішніх шарів ДСП - 0,1...0,2 і 10...20 мм, для середніх шарів - 0,4 і 40...60 мм відповідно. Стружку можна також отримати безпосередньо з відходів лісопиляння без попередньої переробки їх на тріску.

Деревина перед переробкою на стружку підлягає спеціальній підготовці, яка включає сортування та виділення окремих порід, гідротермічну обробку, обкорування, видалення гнилизни і трухлявини. Гідротермічна обробка



деревини відбувається в автоклавах при тиску водяної пари 0,25.. 0,3 МПа або іноді може бути передбачена обробка у воді з температурою - 70... 85°C. Такий вид обробки зменшує шорсткість стружки та вихід дрібних фракцій. Деревина, яка надходить для переробки на стружку, повинна мати вологість в межах 30..40 %

*Волокнисту масу* отримують при переробці деревини механічними, хіміко-механічними та термомеханічними способами.

Механічна обробка ґрунтується на стиранні зовнішньої деревини в спеціальних дробарках, робочими органами яких є швидкообертові рифлені диски або металеві ножі.

Термомеханічна обробка ґрунтується на попередній обробці твердих відходів деревини водяною парою при тиску 0,8... 1,0 МПа.

Хіміко-механічні способи обробки складаються з двох процесів - хімічної обробки тріски і механічного подрібнення. Хімічна обробка деревини полягає в тому, що при дії на неї водних розчинів спиртів, ацетону, лугів і кислот із складу деревини виводяться цукри і смоли, які негативно впливають на цементний камінь.

Для виробництва будівельних матеріалів і виробів застосовують відходи як хвойних так і листяних порід деревини, причому віддають перевагу хвойним породам як таким, що мають менший вміст водорозчинних шкідливих дубильних та смолистих речовин, полісахаридів, які негативно впливають на довговічність цементних виробів.

Для зменшення кількості таких речовин у відходах деревини вміст домішок кори повинен бути мінімальним, корисно витримувати деревину на складах протягом 4...6 місяців. Для зниження дії «цементної отрути» деревину просочують (мінералізують) розчинами хлориду кальцію, сульфату алюмінія, рідинним склом тощо.

Розроблено технології одержання будівельних матеріалів з *кори* та *одубини* — відходу виробництва дубильних екстрактів.

Дубильні екстракти використовуються у шкіряній промисловості, для обробки та "облагороджування" натуральної шкіри.

Дослідження підтвердили можливість організації виробництва арболіту на одубині фракції 2,5...10 мм. Отриманий на цих відходах арболіт має середню густину близько 650 кг/м<sup>3</sup> і міцність 1,5...2 МПа.

Кількість кори на стовбурах дерев різних порід у відсотках до об'єму стовбурів складає: для сосни – 11...17, ялини – 9...16, берези – 13...15, осики – 11... 18, дуба – 16...23, модрина – 22...24, кедра – 11...16, ялиці – 11...15%.

Механічні властивості кори залежать від вологості і змінюються в значних межах. Так, при збільшенні вологості кори сосни від 20 до 70% опір розтягуванню вздовж волокон знижується в 2,3 рази, поперек волокон – у 6,7 разів, опір зрізуванню поперек волокон – у 2,1 рази, вздовж волокон – у 3,8 рази.

Хімічний склад кори різко відрізняється від складу деревини. Ця



відмінність обумовлюється їхньою різною анатомічною будовою. Кора містить значно більше екстрактивних речовин, ніж деревина.

Важливим джерелом сировини для виготовлення будівельних матеріалів є відходи сільського господарства рослинного походження — стебла бавовнику; соняшника, кукурудзи, костриця льону і коноплі, а також відходи від переробки круп'яних культур - лузга насіння соняшника, проса, гречки тощо.

*Костриця* - відхід первинної переробки стебел коноплі і льону після їх обробки в коноплетіпальних машинах, які відділяють волокно від подрібненої частини стебел, що задеревеніла. Довжина костриці становить - 10...70 мм, ширина - до 3 мм; товщина - 0,2...0,3 мм; середня густина - 100... 120 кг/м<sup>3</sup>.

Оскільки луб'яні культури вимочують перед переробкою на заводах, костриця не містить екстрактивних речовин, і тому її не потрібно попередньо обробляти мінералізаторами.

*Стебла бавовнику, кукурудзи і соняшника* залишаються після збирання відповідних культур. В цих стеблах так само, як і в деревині, присутні водорозчинні екстрактивні речовини, вміст яких зменшується при тривалому вилежуванні. Вміст пачосів, клоччя і інших включень не повинен перевищувати 4 %.

Як заповнювачі композиційних будівельних матеріалів крім розглянутих вище відходів, можуть бути використані рисова солома, рисова і соняшникова лузга.

## 5.2. ХІМІЧНІ ТА ФІЗИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ДЕРЕВИНИ

При виробництві багатьох видів будівельних матеріалів і виробів із застосуванням відходів деревини при термічній обробці відбуваються складні фізико-хімічні процеси, які мають значний вплив на якість продукції. Крім цього необхідно врахувати фізико-механічні і технологічні властивості вихідної сировини.

Деревина містить комплекс органічних речовин, до складу яких входять вуглець, кисень, водень і азот. Крім органічних речовин, деревина містить мінеральні сполуки, які при згоранні дають 0,2... 1,7% золи.

Органічні речовини утворюють складні сполуки, в тому числі целюлозу, лігнін, геміцелюлозу, пентозани і гексозани, що складають 90...95% маси абсолютно сухої деревини і утворюють клітинну оболонку. Усі інші речовини можуть бути вилучені із деревини тільки розчинниками. Найбільше значення з них мають дубильні речовини і смоли.

*Целюлоза* є основною речовиною деревини (до 56%), яка забезпечує її пружність і міцність. Молекули целюлози об'єднані в міцели, які у свою чергу утворюють фібрили. Целюлоза характеризується достатньою стійкістю до теплових впливів. Короткочасний нагрів до 200°C не призводить до її розкладання. Процес розкладання починається при температурі 275°C. При гідролізі целюлози утворюються моносахариди.





*Лігнін* забезпечує підвищену твердість і жорсткість деревини. При нагріві лігнін набуває пластичності. Наявність гідроксильних груп та їх взаємодія з їдкими лугами веде до утворення сполук типу фенолятів. При сухій перегонці лігніну утворюється фенол.

*Геміцелюлоза* складається із суміші полісахаридів, які легко гідролізуються легкими кислотами і екстрагуються слабкими розчинами лугів.

*Пентозани* впливають на еластичність і гнучкість деревини. При їхньому гідролізі утворюються пентози, цукри, які в процесі бродіння переходять в спирти. Пентозани і пентози - це колоїдні речовини, які при нагріванні у воді стають подібними до клеїв.

В деяких клітинах деревини і кори містяться смоли, які за видом і складом розділяють на три групи: власне смоли в твердому стані, бальзами або рідкі смоли, камеді у вигляді густого соку, в якому є водорозчинні гумоподібні речовини, що утворюють клеєподібні колоїдні розчини.

*Смоли* дуже добре розчинні в спирті, ацетоні та водних розчинах лугів. При нагріванні вони плавляться і перетворюються в пластичну масу, яка при охолодженні затвердіває та набуває міцності. Цю властивість смоли використовують при «гарячому» пресуванні подрібнених відходів деревини без додавання зв'язуючих речовин.

*Дубильні речовини* (таніди) містяться в деревині дуба, в корі сосни і ялини. При нагріванні подрібненої деревини і кори при термопресуванні таніди переходять в *флобабени*, які нерозчинні у воді.

Дубильні речовини, деякі розчинні моноцукри, органічні і мінеральні кислоти, мінеральні солі, жирні і смоляні кислоти є екстрактивними речовинами. Найбільшу загрозу для бетонів із деревними заповнювачами представляють водорозчинні цукри (сахароза, глюкоза, фруктоза тощо), які легко дифундують через стінки клітин деревини і вимиваються водою.

Інтенсивність надходження екстрактивних речовин у цементне тісто значно нижча, ніж сахаридів, тому їхня негативна дія є меншою. Для знешкодження негативної дії водорозчинних речовин деревину обробляють фізичними і хімічними методами. До різних методів відносять дію на деревину кисню, сонячних променів, тепла і води. При витримці деревини на повітрі дубильні речовини, і водорозчинні цукри частково або повністю окислюються і всмоктуються в стінки клітин деревини, в геміцелюлозі зменшується кількість речовин, що легко підлягають гідролізу з утворенням лігніну.

Основний недолік нейтралізації водорозчинних речовин у нормальних умовах - це тривалість процесу у часі. До фізичних методів відноситься також обробка деревини водою в спеціальних басейнах.

Незважаючи на дієвість фізичних способів обробки, здійснення їх в виробничих умовах важко у зв'язку з відсутністю необхідних виробничих площ. В наш час все більше застосовують різні хімічні методи обробки



деревини, інколи в комбінації з фізичними. Так, запропоновано спосіб, який включає кип'ятіння деревини протягом 10 хв. з подальшим промиванням у воді для видалення водорозчинних речовин і повторним кип'ятінням у 20%-ному розчині залізного купоросу для осадження танідів та промивання у воді.

Ефективним заходом є вимочування деревини в рідинному склі протягом 5...24 год з наступним промиванням у воді і сушінням. Можна також застосовувати кип'ятіння деревини в розчині бури з наступним зневодненням у центрифугі та двогодинною обробкою кип'ятінням в розчинні хлориду заліза, а потім в розчині ацетату алюмінію. Всі ці методи складні і не знайшли широкого застосування. В наш час для нейтралізації дії шкідливих речовин використовують звичайне просочування (мінералізацію) деревини будь-яким розчином безпосередньо перед змішуванням частинок деревини з портландцементом. З цією метою можна застосовувати розчин (1..10)% концентрації хлориду кальцію або рідинного скла. Обробка рідинним склом забезпечує швидке твердіння виробів, але їх міцність майже вдвічі менша ніж міцність при обробці хлоридом кальцію. Слід зазначити, що застосування  $\text{CaCl}_2$  дозволяє отримати високоякісні вироби тільки при використанні вистояних хвойних порід деревини, в той же час, як рідинне скло і сульфат алюмінію застосовують для обробки деревини будь-яких порід і незалежно від ступеня їхньої витримки.

Хлорид кальцію, рідинне скло та сульфат алюмінію є також прискорювачами тужавіння і твердіння портландцементу, завдяки чому зменшується період взаємодії водорозчинних речовин деревини з цементним тістом, що також сприяє отриманню якісних будівельних виробів.

### **5.3. МАТЕРІАЛИ НА ОСНОВІ ДЕРЕВНИХ ВІДХОДІВ БЕЗ ЗАСТОСУВАННЯ В'ЯЖУЧИХ РЕЧОВИН**

Будівельні матеріали на основі деяких відходів деревини можуть бути виготовлені без застосування спеціальних в'язучих або з незначним їх додаванням. В таких матеріалах частки деревини зв'язуються в результаті зближення і переплетення волокон, їхньої когезії і фізико-хімічних зв'язків, що виникають при пресуванні, термічній обробці та деяких спеціальних видів обробки, наприклад, п'єзотермічної.

Крім того, з відходів лісопиляння і деревообробки (без застосування спеціальних в'язучих речовин) виготовляють різні столярні вироби для влаштування перегородок і стін у каркасних будинках, накатів перекриттів по балках, а також для влаштування тимчасових виробничих будівель (рейкові плити, щити). З кускових відходів від лісопиляння і деревообробки виготовляють також торцеві щити для влаштування підлог у сільськогосподарських спорудах, складах, майстернях., покрівельну плитку і гонт.

*Рейкові плити* виготовляють зазвичай довжиною 2200 мм, шириною 800 мм і товщиною 57 та 100 мм шляхом пресування відходів деревини і обв'язки



їх оцинкованим дротом.

Плити мають достатню поперечну жорсткість, високі теплоізоляційні властивості та транспортабельність. Їх застосовують для влаштування стін в каркасних будівлях, перегородок, накатів, перекриттів по балках, а також при будівництві тимчасових виробничих будівель.

*Рейкові щити* виготовляють довжиною 600... 1000 мм, шириною 40... 140 мм і товщиною не менше 45 мм. Обрізки спочатку висушують в камерах при температурі 40...90°C протягом 7..8 діб до вологості 8%. Потім їх укладають один до одного так, щоб ширина щита становила 250...270 мм, затискують спеціальними струбцинами. Щити скріплюють дерев'яними нагелями, які забивають в отворах діаметром 12 мм, розташованих рівномірно по довжині щита. Зібраний таким чином щит обробляється на стругальному верстаті до заданої товщини, з торцевих сторін вибираються чверті для кращої стиківки щитів. Готові щити укладають по лагам і кріплять цвяхами.

*Покрівельна дрань* виготовляється на спеціальних верстатах (тріско-скубальних) довжиною від 400 до 1000 мм, шириною від 90 до 130 мм і товщиною 3...5 мм із зволоженої деревини - ялини, сосни, модрина та смереки.

*Штукатурна дрань* може бути пиляною, шпоною, скубаною. Незалежно від виду драні її виготовляють довжиною від 1000 до 2500 мм. Ширина пиляної драні може бути 25...40 мм, шпонової - 14...30 мм і скубаної 12...30 мм, товщина пиляної складає - 5...7 мм, для інших видів - 2...5 мм. Для виготовлення драні використовують дрібнотоварну деревину, а також крупнорозмірні відходи ялини, сосни, осики, кедру, модрина з вологістю не менше 30 мас.%. Для нарізки застосовують спеціальні верстати.

*Покрівельна плитка і гонт.* Ці вироби виготовляють клиноподібної форми, причому для плиток характерно повздовжнє розташування волокон деревини, а для гонту - поперечне. Їх виготовляють із короткорозмірних брусків, цураків, а також відходів комлевої частини дерева.

Технологічний процес виготовлення цих виробів складається із наступних операцій - поперечний і поздовжній розпил на плитку або гонт на верстатах, сушіння готових виробів в камерах або в природних умовах, сортування, просочування, фарбування та пакування.

*Комишитові плити* (комишит) - це спресовані із стебел очерету і прошиті в процесі пресування металевим дротом плити. Залежно від розташування стебел очерету плити випускають двох типів: тип А - з поперечним розташуванням стебел і тип Б - з поздовжнім розташуванням стебел.

Плити випускають наступних розмірів: довжиною 2400, 2600, 2800 мм; шириною 440, 950, 1150 і 1500 мм і товщиною 30, 50 і 100 мм.

Середня густина плит залежно від товщини становить 175...250 кг/м<sup>3</sup>, а коефіцієнт теплопровідності - 0,04...0,08 Вт/(м·°C) відповідно.

Плити типу А виготовляють на механізованих горизонтальних пресах, а типу Б - на вертикальних пресах.



Технологія виготовлення комишитових плит включає наступні операції: закладка стебел очерету в завантажувальний пристрій пресу, пресування, автоматична прошивка відпресованої плити металевим дротом, обрізка кромки плити і розрізка на плити заданих розмірів.

Комишитові плити застосовуються, в основному, при будівництві будівель сільськогосподарського призначення в якості тепло- і звукоізоляції.

**Лігнуглецеві та п'єзотермопластики.** Ці матеріали виготовляють із деревної тирси або іншої рослинної сировини високотемпературною обробкою прес-маси без введення спеціальних зв'язуючих речовин.

Технологічний процес виробництва *лігнуглецевих деревних пластиків* складається з наступних операцій: підготовки, сушіння і дозування деревних частинок; формування килима, холодного його підпресування, гарячого пресування й охолодження без зняття тиску. При підготовці прес-маси деревні частинки сортують, потім фракцію крупністю понад 0,5 мм додатково подрібнюють, кондиційна тирса спрямовується в сушарку. Килим формується на піддонах, покритих шаром тальку або антиадгезійною рідиною. Спочатку готовий килим подається в прес для холодного підпресування, що триває протягом 1,5 хв. при тиску 1...1,5 МПа, після чого направляється на гаряче пресування при тиску 1,5...5 МПа і температурі 160...180°C. Пресування плит товщиною 10 мм продовжується 40 хв.

Під впливом температури відбувається частковий гідроліз полісахаридів деревини й утворення органічних кислот, що є каталізаторами, які сприяють деструкції лігнуглецевого комплексу. Активні продукти, що утворилися (лігнін і вуглеводи), взаємодіють між собою при пресуванні. В результаті утворюється більш щільний і міцний матеріал, ніж деревина.

Заключною технологічною операцією є обрізка крайок плит на форматно-обрізному верстаті.

Фізико-механічні показники лігнуглецевих пластиків наведені в табл.5.2.

Сировину для лігнуглецевого деревного пластику одержують при обробці деревини хвойних і листяних порід. Поряд з тирсою, верстатною стружкою, дрібняком, для одержання пластиків можуть бути використані кора в суміші з деревиною, подрібнені деревні відходи і деякі здеревілі відходи сільськогосподарства. Домішки в сировині частково згнилої деревини поліпшують фізико-механічні властивості лігнуглецевих пластиків.

Лігнуглецеві пластики можна одержувати плоским або об'ємним пресуванням у вигляді плит і виробів різної конфігурації залежно від пресового устаткування, що застосовується, та призначення виробів.

Порівняно з деревностружковими плитами, лігнуглецеві пластики мають ряд переваг: вони не підлягають старінню внаслідок деструкції органічної в'язучої речовини, їхні показники міцності не знижуються з часом; при експлуатації відсутнє виділення токсичних речовин у



**Технічні параметри і властивості лігновуглецевих пластиків**

Деревина	Вихідна вологість тирси, %	Тиск при пресуванні, МПа	Температура плит преса, °C	Середня густина, кг/м <sup>3</sup>	Границя міцності на статичний згин, МПа	Водопоглинання, %	Розбухання, %
Модрина	13	5	170	1370	28,5	12,1	15,3
Сосна	12,5	2,5	170	1270	25...30	10...12	12,1
Береза	18	5	160	1340	26,5	6,8	16

Істотними недоліками виробництва лігновуглецевих пластиків є необхідність використання потужного пресового устаткування і тривалість циклу пресування.

*П'єзотермопластики* можуть бути виготовлені з тирси двома способами: без обробки та із застосуванням попередньої гідротермальної обробки вихідної сировини. При використанні першого способу виробництва п'єзотермопластиків технологія їхнього виготовлення наближається до технології одержання лігновуглецевих пластиків (рис. 5.3).

Висушена тирса надходить на підпресування, де витримується протягом 20...30 с при питомому тиску 2...2,5 МПа, а потім у багатоповерховому гідравлічному пресі протягом 4...7 хв. Вироби отримують шляхом гарячого пресування при тиску 20...30 МПа і температурі 140...225°C.

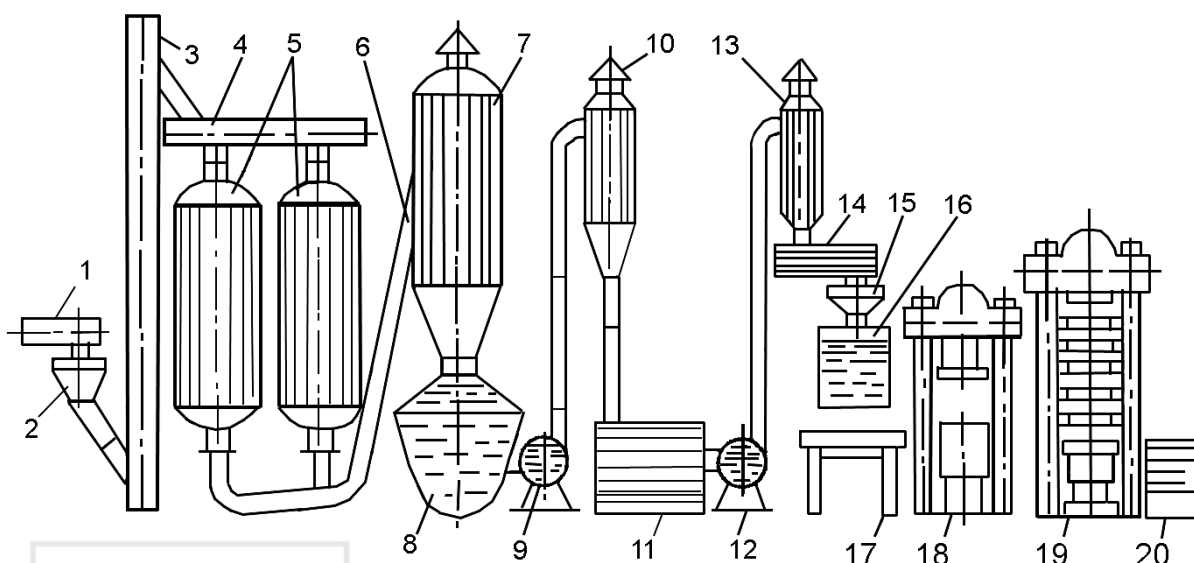
За другим способом кондиційна тирса розміром менше 4 мм обробляється в автоклавах парою протягом 2 год при температурі 170...180°C і тиску 0,8...1 МПа. Гідролізована прес-маса частково висушується і при визначеній вологості послідовно піддається холодному і гарячому пресуванню. Питомий тиск холодного і гарячого пресування — 15 МПа, температура останнього — 160°C.

Вихідною сировиною, поряд з тирсою, можуть бути подрібнена деревина хвойних і листяних порід, лляна та конопельна костриця, очерет, гідролізний лігнін тощо.

П'єзотермопластики поділяють на напівтверді, тверді і надтверді. При середній густині 700...1100 кг/м<sup>3</sup> п'єзотермічні пластики, виготовлені з



березової тирси, мають границю міцності при статичному згині 8...11 МПа. При підвищенні середньої густини до 1350...1430 кг/м<sup>3</sup>, границя міцності зразків при статичному згині досягає 25...40 МПа.



**Рис. 5.3.** Схема технологічного процесу виробництва плиток для підлоги п'єзотермічним способом з попереднім гідролізом тирси:

1 — віброрито; 2, 15 — бункери; 3 — елеватор; 4, 14 — шнеки; 5 — автоклави; 6 — труба; 7, 10, 13 — циклони; 8 — приймач прес-маси; 9, 12 — пневмотранспортні установки; 11 — сушарка; 16 — змішувач; 17 — стіл для виготовлення брикетів; 18 — прес холодного пресування; 19 — прес гарячого пресування; 20 — готові вироби

Високі фізико-механічні властивості п'єзотермопластиків дозволяють застосовувати їх для підлог, дверей, а також як оздоблювальний матеріал.

Різновидом деревних пластиків є *віброліт*, технологічні особливості якого полягають у частковому подрібненні тирси і дрібної стружки на вібротліні, перемішуванні тонко розмеленої маси з водою й одержанні шламу. Із суміші шламу з частинками розміром 0,5...2 мм у відливній машині формується килим, що зневоднюється вакуум-насосом. Отримана прес-маса надходить на пресування. Готові плити транспортують у гартівну камеру, де протягом 3...5 год при температурі 120...160°C вони підлягають термічній обробці, внаслідок чого майже в 3 рази знижується їх водопоглинання і більше ніж в 2 рази зменшується здатність до розбухання.

Віброліт застосовують для влаштування підстилаючого шару підлоги, виготовлення перегородок, облицювання панелей стін у цивільних будівлях, виготовлення вбудованих меблів і щитових дверей.

#### 5.4. МАТЕРІАЛИ НА ОСНОВІ МІНЕРАЛЬНИХ В'ЯЖУЧИХ РЕЧОВИН

Деревні відходи без попередньої переробки (тирса, стружка) або після подрібнення (тріска, дрібняк та інш) можуть бути використані як



заповнювачі в будівельних матеріалах на основі мінеральних в'язучих речовин.

В останні десятиріччя будівельні матеріали з використанням відходів деревини і мінеральних в'язучих речовин (арболіт, фірболіт, цементно-стружкові плити тощо) знаходять все більше застосування в будівництві. Комплексне використання деревини сприяє не тільки вирішенню екологічних проблем, але й забезпечує отримання якісних будівельних матеріалів, які відрізняються невисокою середньою густиною ( $\rho_0 = 300 \dots 800 \text{ кг/м}^3$ ) і досить низьким коефіцієнтом теплопровідності ( $\lambda = 0,093 \dots 0,23 \text{ Вт/м}\cdot^\circ\text{C}$ ), неспалімістю, біостійкістю, легко піддаються різним видам обробки.

Залежно від складу вихідної суміші, ступеня ущільнення, а також від виду і форми заповнювача, можливе отримання будівельних матеріалів конгломератної будови з суттєво відмінними властивостями. Просоченням деревних заповнювачів мінералізаторами і наступним змішуванням їх з мінеральними в'язучими забезпечується біостійкість і важкоспалімість матеріалів на їхній основі. Недоліками матеріалів на деревних заповнювачах є високе водопоглинання та порівняно низька водостійкість.

За призначенням ці матеріали поділяють на теплоізоляційні, конструкційно-теплоізоляційні й конструкційні.

Ступінь придатності основних порід деревини для виготовлення матеріалів із застосуванням портландцементу наведена в табл. 5.3.

Таблиця 5.3

**Придатність деяких порід деревини для отримання будівельних матеріалів конгломератної будови**

Порода деревини	Вміст водорозчинних речовин, %	Ступінь придатності деревини
Ялина	1,12	1
Тополя	1,29. . . 1,45	2
Береза	2,67	3
Сосна	3,16. . . 6,2	4
Дуб	2,55. . . 7,33	5
Ясен	2,24. . . 5,81	6
Модрина	10,6	7

Поряд з деревними заповнювачами для виробництва матеріалів із застосуванням мінеральних в'язучих можуть застосовуватися й інші целюлозомісткі заповнювачі.

У композиції з деревними заповнювачами можуть застосовуватися всі види мінеральних в'язучих речовин, основним серед яких залишається портландцемент.

При застосуванні деревних і інших рослинних заповнювачів ефективно



застосування швидкотверднучого портландцементу з переважанням аліту як основного мінералу цементного клінкера.

Використання швидкотверднучих цементів дозволяє одержати достатню міцність матеріалів до початку активного виділення шкідливих речовин деревини. Поряд із застосуванням високоалітових цементів є позитивний досвід використання швидкотужавіючих білітошламових цементів, що не містять аліт. Основним компонентом цих в'язучих є беліт, який в меншій мірі піддається дії екстрактивних речовин, які містяться в заповнювачі рослинного походження. Це в'язуче одержують шляхом спільного помелу випаленого при 650...700°C т.н. білого шламу – відходу металургійного виробництва і 12...15% гіпсу.

З успіхом можуть бути також використані алінітовий цемент і в'язуче ВНВ (в'язуче низкої водопотреби). Алінітовий цемент одержують на основі алінітового клінкера низкотермального синтезу (випалом до спікання при температурі 1000...1200°C), який містить хлорид кальцію (хлорид магнію) і забезпечує переважний вміст у клінкері високоосновного хлорсилікату кальцію (алініту), а також ортосилікату, хлоралюмінату, хлоралюмофериту і хлорфериту. Алінітовий цемент випускається марок 400, 500 і 550. Його доцільно використовувати для неармованих конструкцій і виробів.

В'язуче низкої водопотреби одержують спільним помелом портландцементного клінкера, піску, шлаку і суперпластифікатору С-3. Питома поверхня в'язучого ВНВ – 4500...5200 см<sup>2</sup>/г. Строки тужавлення його можна регулювати в широкому діапазоні від 30 хв до 24 год при нормальних умовах. Порівняно з портландцементом ВНВ має значно меншу водопотребу (НГ=14...16%) і більшу швидкість набору міцності, що дозволяє покращити структуроутворення в контактній зоні з деревним заповнювачем.

На відміну від цементу високоміцний гіпс забезпечує більш швидке твердіння, а також одержання матеріалів з меншою густиною і більшою міцністю при однаковій витраті в'язучих. Виробництво деревнонаповнених матеріалів на основі високоміцного гіпсу є значно простішим, ніж на основі цементу. У зв'язку з тим, що високоміцний гіпс при взаємодії з водою утворює нейтральне середовище, що на відміну від лужного не викликає виділення з деревини цукрів, які негативно впливають на твердіння цементу, немає необхідності мінералізувати подрібнену деревину.

До числа кращих в'язучих для будівельних виробів на заповнювачах рослинного походження відносяться магнезіальні в'язучі речовини (каустичний магнезит і каустичний доломіт), які заміщуються водними розчинами хлористого магнію та деяких інших солей. Виробництво цих в'язучих, однак, досить обмежене, в основному, у зв'язку з дефіцитом сольових заміщувачів.

Головними представниками групи матеріалів на деревних заповнювачах і мінеральних в'язучих є арболіт, фіброліт та тирсобетони.

*Арболіт* — це легкий бетон на заповнювачах рослинного походження, що



попередньо оброблені розчином мінералізатора. Цей матеріал застосовується в промисловому, цивільному і сільськогосподарському будівництві у вигляді панелей і блоків для зведення стін і перегородок, теплоізоляційних і звукоізоляційних плит тощо. Арболітові конструкції експлуатують при відносній вологості повітря приміщень не більше 60%, при більшій вологості необхідне влаштування пароізоляційного шару.

Небажаними для арболіту є впливи агресивних середовищ та температури понад 50°C та нижче - 40°C.

Залежно від середньої густини у висушеному до постійної маси стані, арболіт поділяється на теплоізоляційний (із середньою густиною до 500 кг/м<sup>3</sup>) та конструкційний (500...850 кг/м<sup>3</sup>) (табл. 5.4).

Таблиця 5.4

### Фізико-технічні властивості арболіту

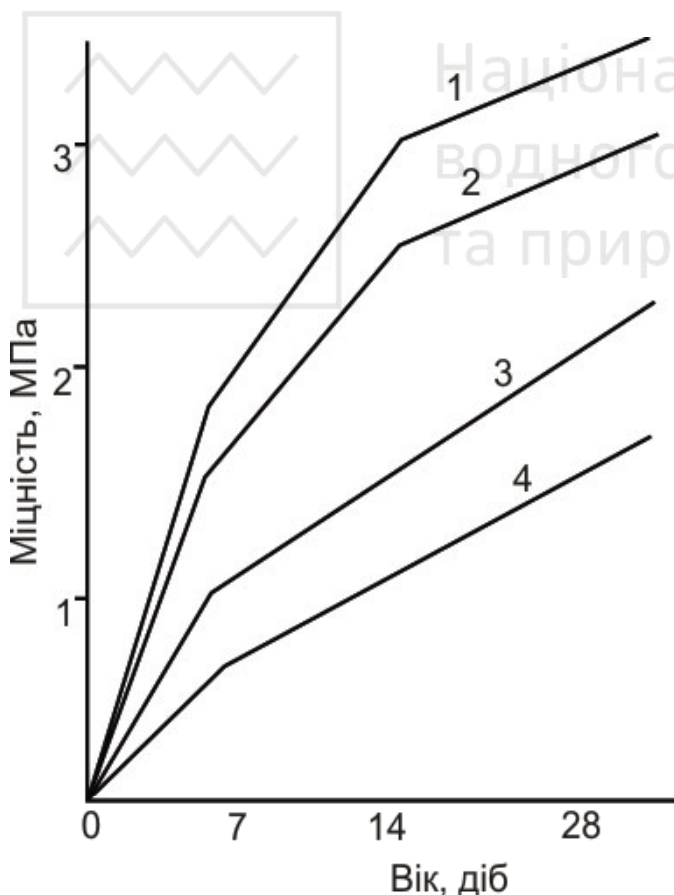
Показники	Заповнювач - дрібняк із відходів:		
	лісопиляння	лісозаготівлі	коноплі й льону
Середня густина, кг/м <sup>3</sup>	400...800	500...750	500...700
Границя міцності при стиску, МПа	0,5...3,5	0,5...3,5	0,5...2,5
Границя міцності при згині, МПа	0,7...1,0	0,7...1,0	0,2... ,0
Модуль пружності, МПа	200...400	200...400	150...300
Морозостійкість, не менше, циклів	25...50	25...50	15...25
Відпускна вологість, не більше,%	25	25	25
Водопоглинання, %	40...85	40...85	30...120
Усадка, %	0,4...0,5	0,4...0,5	0,4...0,5
Сорбційне зволоження (при відносній вологості 40...90%)	4,5...8	4,5...12	6...14
Коефіцієнт теплопровідності (при вологості 12...15%), Вт/(м·°C)	0,081...0,162	0,081...0,2	0,069...0,116
Коефіцієнт паропроникності, кг/(м·с·Па)	0,034...0,14	0,034...0,14	0,034...0,14
Коефіцієнт теплосвоєння, Вт/(м·°C)	3,17...4,52	3,17...4,52	3,17...4,52
Біостійкість	5 група		
Вогнестійкість	Важкоспалими (вогнестійкість – 0,75...1,5 години)		
Коефіцієнт звукопоглинання (при частотах звуку від 125...2000 Гц)	0,17...0,6	0,17...0,6	0,17...0,5

Теплопровідність арболіту залежить від середньої густини та виду

заповнювача. Арболіт, отриманий на основі подрібненої деревини із середньою густиною  $400\text{...}850 \text{ кг/м}^3$ , має коефіцієнт теплопровідності  $0,08\text{...}0,17 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ , а на основі подрібнених стебел бавовнику, рисової соломи, костриці льону та коноплі —  $0,07\text{...}0,12 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ .

Для виготовлення конструкцій із арболіту застосовують наступні матеріали: в'язучі (портландцемент і його різновиди, високоміцний гіпс, гіпсоцементнопоцоланову в'язучу речовину), заповнювачі (відходи деревини або відходи рослинного походження, здубицю), хімічні добавки (хлорид кальцію, рідинне скло, силікат-глибу, оксид кальцію, сульфат алюмінію та інші), сталеву арматуру та матеріали для антикорозійної обробки арматури і закладних деталей.

Заповнювачі отримують подрібненням наступних порід деревини: ялини, сосни, кедру, смереки. Дозволяється застосовувати березу, вільху, липу, тополю, осику та інші породи деревини, а також їхні суміші після відповідних лабораторних випробувань. Можливо додавати також поротвірні добавки, які використовують при виробництві ніздрюватих і поризованих



**Рис. 5.4.** Залежність міцності арболіту від породи деревини для заповнювача з:

- 1 — ялини; 2 — сосни; 3 — берези;
- 4 — осики

легких бетонів та інші комплексні добавки після проведення необхідних досліджень.

Міцність арболіту насамперед визначається якістю деревного заповнювача (рис.5.4). Крім того, на міцність впливають густина, витрата цементу, В/Ц, застосовувані добавки, однорідність структури.

Порівняно невисокі міцнісні характеристики арболіту пояснюються хімічною активністю заповнювача та його схильністю до значних вологісних деформацій. Хімічну активність заповнювача визначає кількість цукрів, які утримуються в екстрактивних речовинах.

Зменшити хімічну і фізичну активність заповнювача можна введенням хімічних і мінеральних добавок, що сприяє





підвищенню його міцнісних характеристик.

Границя міцності арболіту залежить від його вологості, особливо в діапазоні від 0 до 25 %. Максимальну міцність цей матеріал здобуває при вологості 16...17%. Деформація при короткочасному навантаженні (показник стискуваності) в арболіту приблизно в 8...10 разів більша, ніж у легких бетонів на мінеральних пористих заповнювачах.

Арболіт має досить велике водопоглинання. Однак перевагою цього матеріалу є легка віддача поглиненої води, тобто швидке висихання. Морозостійкість арболітових виробів призначається залежно від режиму їхньої експлуатації та кліматичних умов району будівництва; у всіх випадках вона приймається не менш F25.

Міцність зчеплення арболіту зі сталлюю арматурою залежить від його міцності, виду поверхні стрижнів та захисної обмазки і складає 0,1...0,4 МПа, в той же час величина зчеплення фактурного шару із цементно-піщаного розчину складу 1:3 становить – 1,5...1,6 МПа. Деформація арболіту при короткочасному навантаженні приблизно в 8...10 разів більша ніж у бетонів на основі мінеральних заповнювачів. Показник стисливості арболіту становить  $-7,5 \cdot 10^{-3}$ , коефіцієнт Пуасона – 0,15...0,2.

Сорбційне зволоження арболіту залежить від його середньої густини, виду заповнювача, хімічних добавок і при відносній вологості повітря – 40...90% становить 4,0...12%. За біостійкістю арболіт відноситься до 5 групи біостійких матеріалів, при середній густині більше  $400 \text{ кг/м}^3$  він відноситься до категорії важкоспалимих. Довговічність огорожувальних конструкцій із арболіту становить не менше 20 років.

Зовнішня поверхня огорожувальних конструкцій із арболіту незалежно від вологісного режиму експлуатації помешкань повинна мати захисний опоряджувальний шар, а внутрішня поверхня передбачає влаштування фактурного шару цементно-піщаного розчину товщиною до 2 см. Арболіт має більш високі теплозахисні і звукоізоляційні показники порівняно із бетонами, отриманими на основі мінеральних пористих заповнювачів.

Склад арболіту визначають розрахунково-експериментальними методами. Витрата цементу, органічного заповнювача і води залежить від класу арболіту за міцністю на стиск. Для теплоізоляційного арболіту класів В0,35...В1 витрата цементу М400 складає  $250...390 \text{ кг/м}^3$ , а конструкційно-теплоізоляційного класів В2 і В3,5 —  $390...430 \text{ кг/м}^3$ . Мінімальна витрата цементу досягається при використанні дрібняку з відходів лісопиляння і деревообробки хвойних порід, а максимальна — з відходів лісозаготівель змішаних порід і костриці. Витрата хлориду кальцію і рідинного скла не перевищує  $8...9 \text{ кг/м}^3$ , сульфату алюмінію —  $15...20 \text{ кг/м}^3$ .

Згідно вимог технології виготовлення арболіту деревно-цементне відношення в складі суміші (при В/Ц = 0,6...0,7) приймають зазвичай в межах 1,1...1,3. Орієнтовні витрати компонентів на  $1 \text{ м}^3$  арболіту наведені в табл.5.5.



### Орієнтовні склади арболіту

Компонент	Витрати компонентів на 1 м <sup>3</sup> залежно від класу бетону, кг					
	B0,35	B0,75	B1	B2	B2,5	B3,5
Портландцемент М400	<u>250*</u> 300	<u>260</u> 320	<u>270</u> 390	<u>340</u> 390	<u>370</u> 400	<u>400</u> 430
Дрібняк сухий	<u>140</u> 190	<u>170</u> 200	<u>180</u> 210	<u>230</u> 250	<u>250</u> 270	<u>280</u> 310
Дрібняк із рисової соломи	300	340	370	400	-	-
Костриця з коноплі і льону	230	320	360	440	-	-
Хлорид кальцію**	6	7	7,5	8	8,5	9
Вода, л	<u>270</u> 320	<u>280</u> 330	<u>310</u> 360	<u>390</u> 420	<u>410</u> 460	<u>430</u> 490

**Примітки:** \* В чисельнику приведені витрати компонентів для деревини хвойних порід, в знаменнику – для деревини змішаних порід.

\*\* Замість хлориду кальцію можна застосовувати інші види добавок.

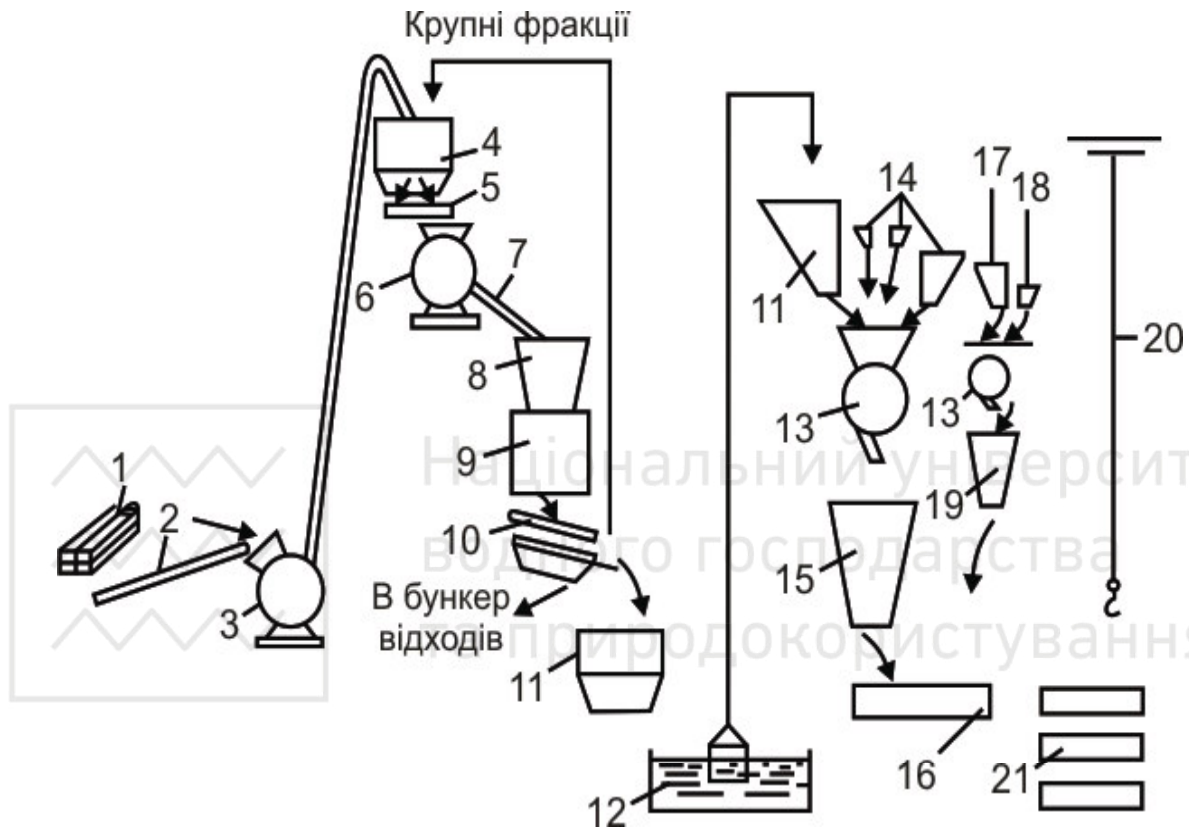
Технологія виготовлення арболіту передбачає тіж самі операції, що і при виготовленні виробів із легкого бетону на пористих заповнювачах. В той же час, використання заповнювачів із деревини, як специфічного матеріалу, вносить певні особливості в технологічний процес. Технологічна схема виготовлення виробів і конструкцій із арболіту (рис. 5.5) включає: подрібнення та підготовку заповнювача за гранулометричним складом, мінералізацію (обробку розчинами мінеральних солей), дозування компонентів бетонної суміші і її перемішування, укладання суміші в форму і ущільнення, теплову обробку та визрівання відформованих виробів, транспортування готових виробів на склад.

Отримують арболітову суміш практично на тому ж обладнанні, що і легкий бетон на пористих мінеральних заповнювачах. Великий вплив на якість суміші мають точність дозування та спосіб введення води й хімічних добавок. Нерівномірна вологість заповнювачів із деревини обумовлює необхідність замочування в холодній (або гарячій) воді, інколи в розчині хімічних добавок протягом 7...10 хвилин перед подаванням у змішувач. При такій технології не вдається точно дозувати воду, рівномірно розподілити її по об'єму суміші, а також повністю нейтралізувати дію екстрактивних речовин. Для усунення цього недоліку запропоновано сумісне введення води і розчинів хімічних добавок безпосередньо до змішувача шляхом дозування через перфоровані трубки – розпилювачі, що дозволяє більш точно дозувати і рівномірно розподіляти воду та добавки по усьому об'єму суміші.

Із-за низьких гравітаційних і пружних властивостей арболітової суміші для неї неефективно застосовувати загальноприйняті види ущільнення, в



тому числі вібраційне формування, як для сумішей на мінеральних заповнювачах. Пресування призводить до розпресовування і порушення цілісності структури бетону. Ці особливості обумовлені властивостями заповнювача, який швидко поглинає воду при перемішуванні і суміш становиться малорухомою, навіть, при значних витратах води. Тому під час виготовлення арболітової суміші необхідно призначати значення В/Ц в межах 1,1...1,3.



**Рис. 5.5.** Схема виробництва виробів з арболіту на деревних відходах:

1 — приймальний майданчик; 2 — конвеєр; 3 — рубильна машина;  
4 — циклон; 5 — стрічковий конвеєр; 6 — молоткова дробарка; 7 — пневмоконвеєр; 8 — циклон; 9 — проміжний бункер; 10 — віброгрохот; 11 — бункер;  
12 — ванна; 13 — розчинозмішувач; 14 — дозатори; 15 — арболітоукладач;  
16 — формувальний пост; 17 — бункер для заповнювача; 18 — дозатор для води; 19 — розчиноукладач; 20 — кран; 21 — пост витримки

Останнім часом були запропоновані різноманітні технології формування арболітових сумішей, що передбачають ущільнення в горизонтальних формах ручними і механічними трамбовками, силовий вібропрокат, вібропрасування, віброформування з привантажувачем, пошарове ущільнення, циклічне пресування тощо. Для покращення реологічних властивостей арболітової суміші можна добавляти технічну піну, що дозволяє формувати вироби на стандартних вібростолах.



Деревина - анізотропний матеріал, тому деревний дрібняк повинен мати голчасту форму з коефіцієнтом форми (відношення найбільшого розміру до найменшого), рівним 5...10, і товщину 3...5 мм. Розміри дрібняка по довжині не повинні перевищувати 25 мм. Така форма частинок приводить до наближення значень вологісних деформацій деревини уздовж і поперек волокон.

При відносній вологості середовища понад 60% арматуру розташовують у захисному шарі бетону. Рекомендується також захищати сталеву арматуру спеціальними покриттями по аналогії ніздрюватого бетону.

Завершальним етапом технологічного процесу є теплова обробка виробів до набору відпускну міцності. Пропарювання арболіту по звичайним для бетонів режимам приводить до втрати міцності, що пояснюється виникненням внутрішніх напружень за рахунок об'ємних деформацій заповнювача, які руйнують структуру цементного каменю, одночасно зростає виділення моносахаридів, що сприяє "отруєнню" цементного каменю. Кращі результати теплової обробки досягаються при м'яких режимах, аналогічним для деревини при її сушінні: температурі 50...60°C та відносній вологості 70...80%. При такому режимі арболіт набуває розпалобочної міцності через 18...20 год. Вона не перевищує 25...40% марочної, а вологість залишається в межах 30...35%. Для подальшого набору міцності й зниження вологості вироби додатково витримують на закритому складі протягом 7 днів при температурі 16...18°C.

Арболіт відноситься до ефективних стінових матеріалів. Завдяки крупнопористій структурі він має цінні властивості – здатність підтримувати осушувальний режим в помешканнях, на його поверхнях не конденсується волога і не підвищується вологовміст в стінах.

Арболітові вироби знайшли широке застосування в будівництві. Це стінові панелі, крупні і дрібні стінові блоки, плити перекриття підсиленні залізобетонними брусками або несучою основою (багатошарові) плити перегородок, тепло- і звукоізоляційні плити, об'ємно просторові конструкції.

Номенклатура стінових панелей із арболіту включає вироби товщиною 200, 250, 300 і 350 мм, довжиною 1500, 1800, 3000, 4500, 6000 мм і висотою – 600, 900, 1200 мм. Панелі одношарові на кімнату випускають розмірами: 478×2520×300 мм; 480×2780×200 мм; 3900×2880×200 мм; 418×2580×200 мм. Панелі мають захисні шари із цементно-піщаного розчину марки 100 товщиною 20 мм.

Необхідно відмітити що найбільше застосування в будівництві отримали дрібнорозмірні і крупні стінові блоки, а найменше - стінові панелі розміром на кімнату.

Крупні стінові блоки мають розміри : 2290×1180× $\alpha$  мм; 2290×580× $\alpha$  мм, де  $\alpha$  – товщина зовнішніх блоків, яка становить 240 і 280 мм, а внутрішніх – 200 мм. Для стінових блоків застосовують арболіт класів В2 і В3,5, вони покриваються з обох сторін цементно-піщаним розчином марки 100 (для



зовнішньої поверхні) і марки 50 (для внутрішньої поверхні) товщиною 10 мм.

Дрібнорозмірні стінові блоки випускають слідуючих розмірів:  $600 \times 300 \times \alpha$  мм;  $600 \times 150 \times \alpha$  мм;  $300 \times 300 \times \alpha$  мм;  $600 \times 100 \times \alpha$  мм;  $600 \times 200 \times \alpha$  мм;  $2290 \times 580 \times \alpha$  мм; де  $\alpha$  – товщина, яка складає 200 і 250 мм. Середня густина арболіту становить –  $600..700 \text{ кг/м}^3$ , коефіцієнт теплопровідності –  $0,15..0,18 \text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)}$ .

При досягненні однакового значення термічного опору огороження, застосування арболіту порівняно з керамзитобетоном сприяє зниженню витрат портландцементу на  $35..55 \text{ кг/м}^2$ .

Ефектність арболіту проявляється в найбільшій мері в тих випадках, коли поряд з теплозахисними властивостями максимально використовуються також його міцнісні властивості, наприклад, в індустріальних безкаркасних стінових конструкціях, де він конкурентоспроможний із сучасними легкими й ніздрюватими бетонами.

Найважливішим фактором, що визначає високу техніко-економічну ефективність застосування арболіту, є значне зменшення капітальних вкладень для створення сировинної бази виробництва конструкцій порівняно з відповідними витратами для виробництва легких бетонів на мінеральному пористому заповнювачі.

Виробничий досвід показує, що при будівництві малоповерхових будинків конструкції й вироби з арболіту ефективно замінюють цеглу, керамзитобетон, ніздрюваті бетони, а по ряду експлуатаційних властивостей перевершують їх.

Порівняльні техніко-економічні показники  $1 \text{ м}^2$  зовнішніх стін з арболіту й інших матеріалів наведені в табл. 5.6.

Таблиця 5.6

**Техніко - економічні показники стін з різних матеріалів**

Показник	Одношарова панель із			Зовнішня стіна із керамічної цегли
	арболіту	керамзи-тобетону	ніздрю-ватого бетону	
Середня густина, $\text{кг/м}^3$	700	900	700	1800
Товщина, см	22	28	24	66
Маса $1 \text{ м}^2$ стіни, кг	154	270	200	1200
Відносні значення: розрахункової вартості, %, питомих капітальних вкладень приведенних витрат	44	64	59	100
	26	8	69	100
	40	67	61	100
Трудомісткість (виробництво й монтаж), людино / годин	2,7	4,0	3,6	8,6

*Фіброліт* – виготовляють із суміші спеціально нарізаної деревної стружки (шерсті) в'язучої речовини, хімічних добавок і води. Його застосовують як





теплоізоляційний, конструкційно-теплоізоляційний і звукопоглинальний матеріал в приміщеннях із відносною вологістю не більше 75%. Фіброліт відноситься до біостійких і важкоспалимих матеріалів.

Залежно від середньої густини його випускають трьох марок: 300, 400, 600.

Фіброліт відрізняється високим звукопоглинанням, обумовленим сполученим характером пор, а також добрими оброблюваністю, пробійністю, зчепленням зі штукатурним шаром і бетоном. Негативними властивостями фіброліту є значна повітропроникність, велике водопоглинання, низька водостійкість, схильність у вологому стані до ураження грибком. Фізико-технічні властивості фіброліту наведені в табл.5.7.

Таблиця 5.7

### Фізико-технічні властивості фіброліту

Показники	Нормовані значення для плит марок:		
	Ф-300	Ф-400	Ф-500
Середня густина в висушеному стані, кг/м <sup>3</sup>	250-350	351-450	451-500
Вологість, %, не більше	20	20	20
Границя міцності при згині, МПа, для плит товщиною, мм :			
30	-	1,1	1,3
50	0,6	0,9	1,2
75	0,4	0,7	1,1
100	0,35	0,6	1
Модуль пружності при згині, МПа, не менше	-	300	500
Коефіцієнт теплопровідності при температурі 20±2°C, Вт/(м·°C)	0,07	0,08	0,09
Водопоглинання, мас. % не більше	35	40	45
Коефіцієнт звукопоглинання при частотах 60...8000Гц, не менше	-	0,08...0,65	0,08...0,65

Фіброліт виготовляють у вигляді плит довжиною – 2400, 3000 мм, шириною 600, 1200 мм і товщиною – 30, 50, 75, 100, 150 мм.

Для виготовлення фіброліту застосовують портландцемент марки не нижче 400, стружку із деревини хвойних порід, а також суміш стружки хвойних і листяних порід.

Технологія виробництва фіброліту включає наступні операції: готування деревної шерсті; обробку її мінералізатором; перемішування із портландцементом обробленої шерсті; укладання в форму, пресування плит та термічну обробку. Пресування фіброліту ведуть пакетним способом: теплоізоляційного — при тиску 0,01...0,1 МПа, конструкційно-теплоізоляційного — при 0,15...0,4 МПа. Плити, твердіють у природних умовах або в спеціальних камерах при температурі 60...70°C і вологості



60...70%. Середні витрати портландцементу марки М400 на 1 м<sup>3</sup> плит залежать від середньої густини і становить 190...270 кг/м<sup>3</sup>. При виробництві 1 м<sup>3</sup> фіброліту витрачається також близько 0,4 м<sup>3</sup> деревини й 7 кг хлориду кальцію.

Для фіброліту, поряд із середньою густиною, вологістю й теплопровідністю, нормується границя міцності при згині, яка залежно від щільності й середньої товщини плит становить 0,4...2 МПа.

Міцність фіброліту так само як і для інших матеріалів на основі відходів деревини залежить від її виду та хімічних добавок-мінералізаторів, що застосовуються (табл. 5.8).

Таблиця 5.8

**Міцність фіброліту після 1 доби твердіння залежно від виду добавки**

Хімічні добавки	Границя міцності при згині, МПа, фіброліту на основі					
	ялини		берези		осики	
	Витри- маной	Свіжо- зрубленої	Витри- маной	Свіжо- зрубленої	Витри- маной	Свіжо- зрубленої
Хлорид кальцію	0,58	0,14	0,28	0,1	0,04	0
Сірчаноокислий алюміній	0,40	0,36	0,41	0,25	0,34	0,32
Рідинне скло	0,51	0,32	0,43	0,23	0,48	0,28

При однаковому термічному опорі конструкцій витрата цементу при застосуванні фібролітових теплоізоляційних плит скорочується приблизно в 2,5 рази порівняно з конструкціями, де утеплювачем є плити з ніздрюватого бетону. Замість цементу для фіброліту (так само, як і арболіту) можуть застосовуватися й інші в'язучі речовини, в тому числі будівельний і високоміцний гіпс.

Фіброліт є достатньо довговічним матеріалом, якщо він конструктивно захищений від прямих кліматичних впливів, для більшості випадків захист виконують нанесенням шару цементної штукатурки або бетонної суміші.

*Цементно-стружкові плити* – композиційний матеріал, який має високу міцність, водо- і біостійкість, відноситься до важкоспалимих, нетоксичних, легкооброблюваних матеріалів.

Сировиною для виробництва плит є тонкомірна деревина хвойних і листяних порід. Плити випускають двох марок: ЦСП-1 і ЦСП-2. Розміри плит, мм: по довжині - 3200, 3600, по ширині - 1200 і 1250 і товщині - 8...40; інші показники наведені в табл. 5.9.

Плити мають високу міцність, атмосферостійкість, не займаються, не руйнуються термітами і дереворуйнівними грибами, добре склеюються з деревиною, пластмасами і металами, легко обробляються, покриваються фарбами. Їх застосовують для зовнішнього обшивання панелей житлових



будинків, для влаштування підлог, виготовлення дверей, а також як опалубку для укладання бетонної суміші.

Таблиця 5.9

**Фізичні та фізико-механічні показники цементно-стружкових плит**

Показники	Марка плит	
	ЦСП-1	ЦСП-2
Середня густина, кг/м <sup>3</sup>	1200	1400
Границя міцності, МПа:		
при згині	15	14
при стиску	15	14
Модуль пружності, МПа:		
при згині	2500	2500
при стиску	2500	2500
Розбухання по товщині після 24 год. витримки у воді, %, не більше	2	2
Водопоглинення за 24 год., %, не більше	16	16
Вологість, %, не більше	9	10
Твердість, МПа, не менше	45	65
Питомий опір висмикуванню шурупів із пласти, Н/м	4...7	4...7
Морозостійкість (зниження міцності при вигині після 50 циклів), %, не більше	10	10
Теплопровідність, Вт/(м °С)	0,33	0,44
Поглинання звуку при товщині 18 мм, дБ	35	35
Паропроникність, мг/(м·год·Па)	0,23	0,23

Дослідження показали можливість часткової заміни спеціально нарізаної стружки м'якими відходами лісопильно-деревообробних підприємств (верстатна стружка, тирса поперечного розпилювання і інші). Тирса м'яких порід деревини в кількості до 30% деревних часток не знижує міцнісні показники і середню густину плит. Істотно підвищити адгезійну міцність деревно-цементного каменю, а також знизити схильність цементно-стружкових плит вологісним деформаціям дозволяють добавки хлоридів кальцію й алюмінію.

Процес виробництва цементно-стружкових плит включає: зберігання деревної сировини на складі, нарізування стружки, фракціонування і гомогенізацію стружки, формування пакетів плит, пресування, твердіння і витримку плит, кондиціонування та кінцеву обробку (обрізку кромки, шліфування поверхні плит і нанесення лакофарбового покриття).

Обкорковану деревину витримують на складі протягом 1,5-2 місяців для вирівнювання вологи по об'єму і зменшення вмісту екстрактивних речовин.



Для отримання стружки довжиною 10...30 мм і товщиною 0,2...0,3 мм застосовують спеціальні станки. Отриману стружку розділяють на дві фракції: одну використовують для формування середнього шару плити, а другу (для зовнішнього шару) - додрібнюють в молотковій дробарці. Дозування окремих компонентів і приготування цементно-стружкової суміші для влаштування зовнішнього і середнього шару плити виконують в окремих змішувачах.

Засипка суміші на піддони відбувається неперервно і після проходу розсіювальної машини вона ущільнюється швидкісним ланцюговим конвеєром. Заготовки плит складаються в пакети і ущільнюються в пресі під тиском 2,5 МПа. Попереднє твердіння плит відбувається в теплових камерах протягом 6...8 годин з подальшою витримкою на складі протягом не менше 18 діб. Обрізки кромek плит подрібнюють і подають у змішувач для повторного перемішування з цементно-стружковою масою для формування середнього шару. З метою зняття внутрішнього напруження і встановлення рівноважної вологості плит та атмосферного середовища виконують кондиціонування в прохідному каналі на віяловому перекладнику.

Конструкції з використанням цементно-стружкових плит рекомендується застосовувати для житлового, промислового і сільськогосподарського будівництва, для зовнішнього і внутрішнього обшивання стінових панелей, каркасних перегородок, підвісних стель, санітарно-технічних кабін, екранів, огорожень, елементів підлог та інше.

При експлуатації конструкцій в приміщеннях з вологим режимом кріпити цементно-стружкові плити до каркасу необхідно з компенсаційним проміжком.

*Тирсобетони* – це матеріали на основі мінеральних в'язучих речовин і деревної тирси. Різновидом тирсобетонів є *деревобетони*, які окрім піску, у своєму складі можуть містити щебінь або гравій фракції 5...10 мм.

Міцність деревобетону, який використовується як заповнювач у каркасних будинках, становить 0,6...0,8 МПа; в несучих і самонесучих конструкціях, в одноповерхових будинках достатня міцність 1,0...1,2 МПа. Деревобетон міцністю 1,5 МПа й вище може бути використаний при будівництві одноповерхових, а також двоповерхових житлових будинків. Товщина стін з деревобетону повинна бути не менше 25...30 см. В окремих випадках, коли потрібна підвищена міцність стін, їхня товщина може досягати 40 см.

Деревобетон має високі тепло- і звукоізоляційні властивості, добре обробляється різальними інструментами, піддається опорядженню фарбами, керамічною плиткою й штукатурним розчином.

Тирсобетони застосовують у монолітному будівництві або для виготовлення дрібних стінових блоків для зовнішніх стін при зведенні малоповерхових будівель, тваринницьких і інших сільськогосподарських споруджень. При виготовленні тирсобетонних сумішей цемент спочатку



змішують з піском, а потім з тирсою, обробленою в розчині мінералізатора, і водою. Масу готують у звичайних розчинозмішувачах. Для одержання  $1 \text{ м}^3$  тирсобетону класів В1...В2 середньою густиною  $1050...1250 \text{ кг/м}^3$  витрата портландцементу марки М400 складає приблизно 130 кг, гашеного вапна — 105, піску — 600, тирси — 200кг.

*Термопласт* - сипкий теплоізоляційний матеріал, одержуваний змішуванням деревної тирси та глиносмоляної пасти. Витрата матеріалів у кг для одержання  $1 \text{ м}^3$  термопласта в насипному стані: глина (природної вологості) 100...150; тирса - 150...200; маслянистий антисептик - 40...50; вода - 100...150. Як антисептики застосовують кам'яновугільну, деревну або торф'яну смолу, креозотові та кам'яновугільні масла. При виготовленні термопласту спочатку шляхом перемішування глинистого компонента і маслянистого антисептика з водою в розчинозмішувачі одержують пасту, яка розбавляється до сметаноподібної консистенції і змішується з тирсою. Термопласт застосовується для монолітної теплоізоляції. Середня густина сухого термопласту в ущільненому стані  $400\text{-}500 \text{ кг/м}^3$ , теплопровідність не більше  $0,12 \text{ Вт/(м}\cdot^{\circ}\text{C)}$ .

*Ксилолітом* називається штучний будівельний матеріал, отриманий у результаті твердіння суміші, що складається з магнезійного в'язучого і деревної тирси, яка замішується розчином хлориду або сульфату магнію. Цей матеріал в основному застосовується для влаштування монолітних або збірних покриттів підлог. Перевагами ксилолітових підлог є їхній невисокий коефіцієнт теплозасвоєння, гігієнічність, достатня твердість, низька стиранність, можливість надання різноманітного забарвлення.

Ксилоліт неспалюваний та малотеплопровідний, досить морозостійкий і водостійкий, не боїться ударів і витримує значні навантаження, має високий показник на стирання.

Завдяки високій міцності і незначному стиранню ксилолітові підлоги з успіхом можуть застосовуватися в промисловому, житловому і культурно-побутовому будівництві. Особливо ефективно застосування ксилолітових підлог у вибухонебезпечних приміщеннях, де необхідно мати підлоги, що не іскрять.

За величиною опору стиранню ксилоліт не поступається таким міцним матеріалам як порфір, базальт, граніт.

Застосування в якості замішувачів магнезійних в'язучих розчинів хлористих солей робить ксилоліт з деревним заповнювачем вогнестійким матеріалом. В цьому відношенні магнезійні в'язучі мають значну перевагу перед іншими мінеральними в'язучими для виробництва матеріалів, де як органічний заповнювач використовується деревна тирса.

Для виробництва ксилоліту використовуються, головним чином, тирса лісопиляння як найбільш однорідна за структурою і крупністю, що не містить домішок кори і тріски. Тирса, що направляється на виробництво ксилоліту, повинна бути просіяна на віброгрохотах через сито з отворами 5 мм.





Як добавки, які поліпшують властивості ксилоліту, застосовуються азбест (підвищує опір покриття ударним навантаженням), трепел (знижує теплопровідність), подрібнений кварцовий пісок (підвищує міцність і опір поверхні до стирання) і тальк (підвищує водостійкість).

Мінеральні пігменти для ксилоліту повинні бути однорідними за складом, без сторонніх включень, стійкими до дії світла, лугів і соляної кислоти.

Рекомендована ксилолітова суміш складається з каустичного магнезиту та тирси у такому співвідношенні за об'ємом: 1:1,5...1:1,4. Витрата каустичного магнезиту на 100 м<sup>2</sup> покриття товщиною 10 мм — 410...620 кг, а кристалічного хлориду магнію — 260...400 кг.

Основні фізико-механічні показники ксилолітових плиток наведені в табл.5.10.

Таблиця 5.10

### Властивості ксилолітових плиток

Показник	Ксилолітові плитки	
	пресовані	трамбовані
Середня густина, кг/м <sup>3</sup> , не більше	1500	1800
Водопоглинання, %	8...12	16...20
Стиранність, г/см <sup>2</sup>	0,1...0,2	0,2...0,3
Границя міцності на згин, МПа	15...20	7,5...10

Для одержання ксилолітової суміші поряд з каустичним магнезитом з вмістом оксиду магнію не менше 75% можна застосовувати каустичний доломіт з вмістом MgO не менше 25%. Вміст в'язучого відповідно зростає (замість 1 кг каустичного магнезиту витрачається приблизно 1,7 кг каустичного доломіту): магнезіальні в'язучі на відміну від портландцементу менше зазнають негативну дію гідролізованих речовин деревного заповнювача.

Найкращими породами деревини для виробництва ксилоліту є ялина, ялиця, осика і тополя. Як добавки, що поліпшують властивості ксилоліту, застосовують азбест (підвищує опір покриття ударним навантаженням), трепел (знижує теплопровідність), подрібнений кварцовий пісок (підвищує міцність і опір стиранню) і тальк (підвищує водостійкість).

Поряд з виробами для підлог організоване виробництво ксилолітових підвіконних дощок.

Розроблена та освоєна промислова технологія *конструкційного бруса* на основі магнезіального в'язучого, деревних відходів і бішофіта - технічного хлориду магнію.

Технологія цього матеріалу зводиться до наступного. Кускові деревні відходи подрібнюються в рубильних машинах, корорубках, дробарках, їх сортують з відділенням кондиційної фракції (сито з розмірами діаметром 6...10 мм). Кондиційна фракція подається в сушильний барабан, якщо її вологість більше 12%. Потім деревні відходи через дозатор подаються в



змішувач. У той же змішувач подається бішофіт, після чого компоненти перемішують. Далі в суміш додають каустичний магнезит і знову перемішують. Співвідношення компонентів у пресмасі: 51,2% деревина, 14,6% бішофіт, 34,2% каустичний магнезит. Брус одержують способом екструзії. Отриманий у процесі пресування брус з поперечним перерізом 150×250 мм розкроюється на заготовки визначеної довжини, які направляються на склад для витримки і зберігання.

Проведені випробування конструкційного бруса показали, що він біостійкий, важкоспалений і має наступні показники:

Густина, кг/м <sup>3</sup>	900...1000
Вологість, %	6...12
Границя міцності перпендикулярно напрямку пресування, МПа, не менше:	
при згині	1,1
при стиску	8
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/м·°С, не більше	0,3

*Ксилобетон* — це різновид легкого бетону, для якого як заповнювач використовують тирсу, а як в'язучу речовину — портландцемент, вапно або гіпс.

Для прискорення твердіння ксилобетону, зменшення його водопоглинання й збільшення водостійкості тирсу піддають мінералізації. Ксилобетонну суміш готують у змішувачах, а потім ущільнюють у формах вібропресуванням або трамбуванням.

Склади ксилобетонів підбирають залежно від їх призначення і наявності матеріалів. Для бетонів, наприклад класу В2 (марки М25) орієнтовні витрати: портландцементу - 200 кг/м<sup>3</sup>; гашеного вапна – 100 кг/м<sup>3</sup> і тирси 200 кг/м<sup>3</sup>. Ксилобетони залежно від об'ємної концентрації тирси виготовляють середньою густиною 950...1250 кг/м<sup>3</sup>, з коефіцієнтом теплопровідності в межах 0,244...0,430 Вт/(м·°С). Їх застосовують для монолітних набивних стін і дрібних стінових блоків.

*Ксилоізол* є різновидом ксилобетону, який включає окрім портландцементу, вапняне тісто й 5%-й розчин кухонної солі. *Терміз* і *термізол* містять окрім вищенаведених компонентів, діатоміт, трепел або золу ТЕС.

*Короліт* — матеріал, який виготовляється на основі мінеральних в'язучих речовин і кори. При застосуванні кори у виробництві короліта її попередньо підсушують, подрібнюють і просіюють для видалення пилу. Як в'язучі речовини застосовують будівельний гіпс або швидкотверднучі цементы.

Приготування суміші й формування короліта здійснюють на устаткуванні, яке використовується для виготовлення арболіта.

Склади сумішей, які рекомендуються для одержання 1 м<sup>3</sup> гіпсового короліта певної густини наведені в табл. 5.11.



Границя міцності при стиску гіпсового короліта зазвичай становить менше 1,7 МПа, теплопровідність лежить в межах 0,14...0,16 Вт/(м·°С).

Таблиця 5.11

### Склади гіпсового короліту

Компоненти	Витрата вихідних компонентів, кг/м <sup>3</sup> для короліту густиною, кг/м <sup>3</sup>		
	до 500	до 600	до 700
Подрібнена кора	150	170	190
Будівельний гіпс	160	200	245
Сповільнювач тужавлення	0,2	0,2	0,3
Антисептик	7	9	10
Вода	180	220	250

**Примітка:** антисептиком є 1...1,5%-й розчин оксидофенолята натрію, а сповільнювачем тужавлення гіпсу - бура або столярний клей.

Вартість 1 м<sup>3</sup> короліту практично вдвічі нижча за вартість фіброліту й арболіту. Застосовують короліт як утеплювач при влаштуванні стін і підлог.

## 5.5 МАТЕРІАЛИ НА ОСНОВІ ОРГАНІЧНИХ В'ЯЖУЧИХ РЕЧОВИН

Застосування органічних в'язучих речовин значно розширює можливості утилізації відходів лісопиляння та деревообробки. Вартість органічних в'язучих складає не менше 50% вартості матеріалів із деревним заповнювачем. Економічно вигідно використовувати найбільш дешеві полімерні в'язучі речовини, що здатні міцно склеювати деревні частинки та відповідати наступним вимогам: бути пожежо- й вибухобезпечними, нетоксичними, мати низьку в'язкість, не втрачати своїх властивостей протягом терміну їхнього перевезення і використання. Цим вимогам відповідають термореактивні поліконденсаційні полімери, які під впливом температури близько 100°С або отверджувачів здатні перетворюватися у тверді, неплавкі і нерозчинні речовини.

Із синтетичних полімерів для склеювання деревини використовують звичайно карбамідні (сечовино-формальдегідні) і фенолформальдегідні смоли. Клеї на основі цих полімерів водо- і теплостійкі, а їхнє термічне розкладання починається при температурі близько 200°С. Сечовино-формальдегідні смоли мають ряд переваг: вони швидко твердіють при нагріванні; характеризуються світлим забарвленням і забезпечують високу міцність при склеюванні деревини. Як отверджувачі цих смол застосовують хлорид або сульфат амонію у кількості 0,5...2% від маси смоли. Фенолформальдегідні смоли при нагріванні твердіють без введення каталізуючих добавок. Порівняно з сечовино-формальдегідними, при використанні цих смол необхідно застосовувати більш високу температуру і довшу витримку під час пресування.



**Клеєна деревина.** Цей вид матеріалів відноситься до найбільш ефективних. Клеєна деревина може бути шарувата та отримана із шпона (наприклад, фанера, деревно-шаруваті пластики), масивна із кускових відходів лісопиляння і деревообробки (панелі, щити, бруси, дошки) і комбінована (столярні плити).

Клеєні вироби класифікують за видом застосовуваного клею, характером обробки поверхні і конструктивними особливостями. Міцність склеювання деревини залежить від пористості, співвідношення ранньої і пізньої деревини в річних шарах, її вологості, хімічного складу, кута нахилу волокон. Встановлено, що міцність склеювання лінійно пов'язана з пористістю, вона росте також в міру збільшення вмісту целюлози.

Для склеювання по довжині коротких дошок і обрізків з боку їх склейки обрізають торці, вирізують зубцюваті шипи, потім торці просочують клеєм і стиковані дошки вкладають у прес, де витримують до повного тверднення клею, що складає 6...18 год. Перед механічною обробкою їх витримують при нормальній температурі ще 6...12 год. Кускові відходи по товщині (ширині) склеюють протягом декількох хвилин на напівавтоматичних установках із прогрівом клейових з'єднань струмами високої частоти.

Кускові відходи деревини, які за кількістю займають одно з перших місць, можуть бути використані для виробництва різних виробів, отриманих як із застосуванням клеїв, так і без них. На основі цих відходів можна виготовляти клеєні панелі і щити, рейкові плити, щитовий паркет, дверні коробки, торцеві щити, покрівельну і штукатурну дрань, покрівельну плитку та гонт.

Перевагами клеєної деревини є її низька середня густина, водостійкість, можливість одержання з маломірного матеріалу виробів складної форми або великих конструкцій. В клеєних конструкціях послаблюється вплив анізотропії деревини, вони характеризуються підвищеною гниlostійкістю і низкою займистістю, не піддаються усушці і коробленню. Враховуючи тривалість монтажу та трудозатрати при зведенні будівель, а також стійкість під впливом агресивного середовища, клеєні дерев'яні конструкції успішно конкурують зі сталевими та залізобетонними конструкціями. Їхнє застосування ефективно при зведенні сільськогосподарських і промислових підприємств, виставкових і торгівельних павільйонів, спортивних комплексів, будинків і споруд збірно-розбірного типу.

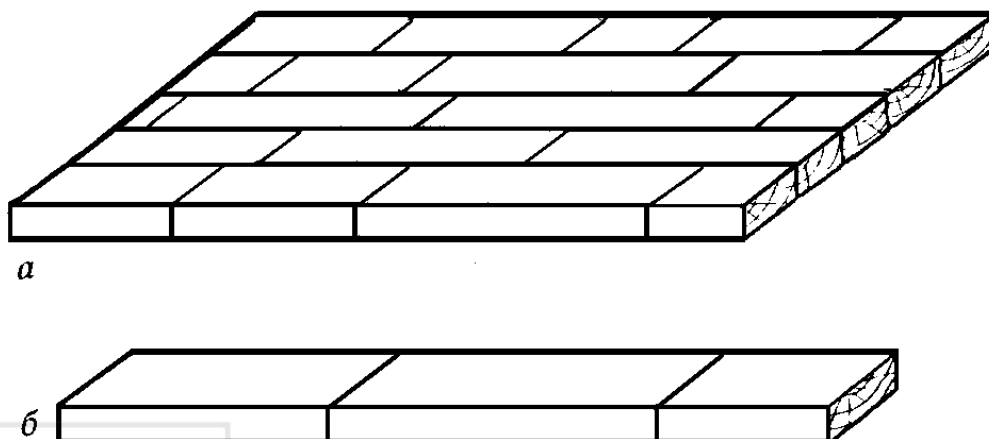
Клеєні дерев'яні конструкції, як і залізобетонні, можна випускати попередньо напруженими, армуючи їх сталевими стрижнями. В армованих конструкціях у вигляді суцільних або пустотілих балок несуча здатність майже в 2 рази вища, ніж у суцільно-дерев'яних.

*Клеєні панелі* представляють собою деревні щити, що склеєні із відрізків дошок (рис. 5.6). Панелі класифікують за видом застосованого клею, характером обробки поверхні та конструктивними особливостями.

Панелі випускають наступних розмірів мм: довжиною 2500, шириною



300, 600 і товщиною 10, 13, 16, а також довжиною 2500 і 5000, шириною 300, 900, 1200 і товщиною 19, 25, 32 і 44. З метою підвищення міцності і покращення зовнішнього вигляду панелей необхідно в процесі обробки усувати дефекти деревини (гнилизну, сучки тощо).



**Рис. 5.6.** Конструкція клеєної панелі:

а – загальний вигляд; б – елемент панелі

Границя міцності панелей при сколюванні уздовж волокон по склеєному шві в сухому стані повинна становитиме не менше 6 МПа, а при статичному згині зубчато-шипового з'єднання міцність повинна бути не менше 35% міцності цільної деревини.

Панелі застосовують для настилання підлог, для перегородок, покрівлі, облицьовки каркасних будівель, будівельного риштування тощо. Панелі, облицьовані шпоном, папером або плівками, можуть бути використанні як конструкційно-оздоблювальний матеріал.

*Клеєні щити* виготовляють із відходів лісопиляння різної товщини, довжиною від 375 мм і більше. Ці відходи розпилюють по ширині 40...44 мм, а потім обточують по довжині, кратній 750 мм. Короткі бруски обточують на довжину 375 мм і перед формуванням щитів склеюють. Бруски висушують до 12% вологості. При їх укладанні необхідно звернути увагу на те, щоб зовнішня поверхня щита була без дефектів.

При склеюванні бруски обжимають струбцинами і витримують протягом 12...24 год залежно від температури повітря. Якщо щити піддаються сушінню при температурі не більше 60°C, то строки витримки не перевищують 2... 4 год.

Після затвердіння клею, щити розпресовують і укладають на прокладки в штабелі для витримки й охолодження. Потім виробі стругають до заданої товщини, обрізують по довжині і ширині, а далі вибирають шпунт або гребінь залежно від способу з'єднання щитів.





З короткомірних і низькосортних пиломатеріалів і відходів виготовляють *плити* довжиною 2500...5000 мм, шириною 1200 мм і товщиною 19 або 22 мм. Сировину розкроюють на заготовки довжиною 2...2,5 м, які обрізають по ширині, сортують по довжині і висушують в сушильних камерах. Висушені заготовки стругають, вирізують виявлені пороки деревини. Потім за допомогою спеціальних шипорізних верстатів на них вибирають зубцюваті шипи, на які наносять клей. Заготовки збирають на верстатах і розкроюють на обрізки заданої довжини. На одну з крайок заготовок наносять клей і набирають на ланцюговому конвеєрі килим плити, що подається у високочастотний прес. Застосування клеєних плит дозволяє на 20% знизити собівартість підлог порівняно з дощатими за рахунок зниження вартості матеріалів і трудовитрат.

*Щитовий паркет* складається із нижнього щита - основи і верхнього покриття, яке наклеєне на основу. Нижній щит виготовляють із хвойних порід деревини, він має каркасну конструкцію з рейковим заповненням. Для отримання верхнього покриття використовують більш тверді породи деревини (дуб, бук тощо).

Бруски рамки основи з'єднує між собою прямими наскрізними шипами на клею, а рейки закріплюються торцевими фальцями в повздовжніх пазах брусків обв'язки. Лицьове покриття складається із секцій, які збираються із паркетних планок з прямими ребрами однакового розміру і форми.

Відходи деревини для виготовлення паркету спочатку висушують до вологості 8 мас. %, а потім розрізують по довжині і ширині. Оброблені заготовки основи склеюють синтетичними смолами, після повного твердіння смоли щити обробляються на стругальних верстатах з двох сторін до товщини 20 мм. Після цього наноситься шар смоли на верхню поверхню щита, на яку укладають попередньо підібрані планки. Набрані щити склеюють на гідравлічних пресах гарячого формування. Пресування відбувається при питомому тиску 0,5 МПа і температурі 110... 130°C. Після пресування щити обрізують по периметру, лицьове покриття шпаклюють і після необхідної витримки шліфують. Далі по кромці щита вибирають шпунт глибиною 14 мм, який необхідний для з'єднання щитів між собою.

*Торцеві щити* виготовляють з кускових відходів у вигляді брусків довжиною від 200 до 600 мм і товщиною не менше 40 мм. Заготівля шашки починається з сортування, коли відбраковують шашку неправильної форми і уражену деревину (гнилизною, трухлявиною, сучками тощо), а потім її висушують в камерних сушарках до вологості 8 мас. %. Кондиційна шашка поступає для виготовлення щитів розмірами 500×500 або 1000×1000 мм, які збирають на спеціальних верстатах. Попередньо шашку обробляють гарячим бітумом в спеціальній ванні і після цього укладають сухими гранями окремими рядами на поверхню верстату з перев'язкою швів. Поверхню щиту вирівнюють таким чином, щоб торець кожної шашки торкався робочої поверхні верстату. Після обтискання і охолодження бітуму щити знімають і



укладають на рівний настил лицевою стороною вниз. Коли бітум повністю охолоне, щити встановлюють на ребро. Готові щити поступають на склад, де їх укладають в штабелі висотою до 1,5 м, причому поверхні, оброблені бітумом, посипають негашеним вапном.

Торцеві щити застосовують для укладання підлог виробничих і сільськогосподарських будівель, складів, майстерень та інших споруд. На бетонну основу спочатку укладають рейки-маяки товщиною 20...25 мм і шириною 100...120 мм, а потім об'єм між рейками засипають піском і укладають торцеві щити.

*Дверні коробки* виготовляють з дошок обаболу або кускових відходів (замість цільних пиломатеріалів), які після відповідної обробки склеюють в бруски. Заготовки повинні бути висушеними до вологості 15 %, а потім оброблені на верстатах до однакової товщини, оскільки склеювання деталей різної товщини буде призводити до перекосів і недопресування виробів по довжині. Після цього по всій площині наносять шар синтетичного клею. Через 3...5 хв. деталі без перекосів укладаються в пакети. Зверху пакет прижимають бруском. Процес пресування триває 3 год., після чого пакети виймають із пресу, укладають на прокладки і витримують не менше однієї доби.

Можна також виготовляти двері та коробки із коротких брусків, які склеюють до необхідної довжини зубчатими шипами. Скріплення брусків включає наступні операції - торцювання заготовок, розкроювання їх по ширині, нарізку щитів, нанесення синтетичного клею по поверхні, пресування та витримування протягом 12...18 год. при температурі повітря +17...20°C з наступною обробкою за звичайною технологією.

Як різновид клеєної деревини можна розглядати *деревно-шаруваті пластики (ДШП)* – матеріали із листів шпону, подрібненої деревини або тирси, просочених полімерами резольного типу та склеєних у процесі термічної обробки під тиском.

Деревно-шаруваті пластики виробляють у вигляді листів і плит прямокутної форми марок ДШП-А, ДШП-Б, ДШП-В, ДШП-Г. Літери А, Б, В, Г вказують порядок укладання шпону в пластині:

ДШП-А – волокна деревини у всіх шарах мають паралельний напрямок або кожен чотири шари з паралельним напрямком чергуються з одним шаром, що має напрямок волокон під кутом 20...25° до суміжних шарів;

ДШП-Б – кожен 5...20 шарів з паралельним напрямком волокон чергуються з перпендикулярним напрямком волокон суміжних шарів;

ДШП-В – напрямок волокон у всіх суміжних шарах взаємно перпендикулярний;

ДШП-Г – напрямок волокон суміжних шарів послідовно зміщений на 30...45°.

Деревно-шаруваті пластики виготовляють двох типів: суцільні (склеєні з цільних листів шпону) і складені (склеєні з декількох листів шпону за довжиною, покладених внапуск або у стик).



### Фізико-механічні показники листів і плит ДШП:

Середня густина, кг/м <sup>3</sup>	1230...1300
Границя міцності при розтягу вздовж волокон, МПа, не менше:	
для плит	108...265
для листів	137...157
Границя міцності листів при розтягу поперек волокон, МПа, не менше	108...132
Границя міцності плит при стиску вздовж волокон, МПа, не менше	98...176
Твердість торцевої поверхні, МПа	196
Водопоглинання за 24 год, %, не більше:	
для плит товщиною 25...50 мм	2...3
для листів	5...15
Вологість, %, не більше:	
для плит	6...10
для листів	3...8

Шпон просочують у 28...30%-му розчині смоли при температурі 15...25°C або у 50...55%-му розчині смоли, підігрітої до температури 60...65°C.

Деревно-шаруваті пластики використовують як конструкційний матеріал; для облицювання внутрішніх приміщень громадських і адміністративних будинків, які потребують високоякісної обробки; для виготовлення багатьох будівельних конструкцій в якості допоміжних кріпильних та монтажних елементів – прокладок, вкладишів, нагелів, стрижнів, болтів, а також для конструкцій, до яких висувають вимоги підвищеної хімічної стійкості, високого опору до стирання та стійкості до дії електромагнітного поля.

*Арктиліт* – армований пластик, який виготовляють з березового шпону, шари якого чередуються з шарами тканини та металевої сітки. Листи арктиліту мають товщину 7,5...15 мм. Для їх склеювання застосовують спиртовий розчин фенолформальдегідної смоли. Пресують плити під високим тиском і при високій температурі.

Плити арктиліту застосовують в суднобудівництві як конструкційний і обшивочний матеріал палубних настилів корпусів і кают.

*Деревно-стружкові плити (ДСП)* отримують шляхом гарячого пресування стружки зі зв'язуючою речовиною. За способом виготовлення розрізняють плити плоского пресування й екструзійні. Внаслідок різних способів виготовлення структура плит неоднакова. Для виготовлення плит плоского пресування використовують гідравлічні преси з нагрітими до температури 140...150°C сталевими плитами. Преси періодично завантажують стружкою, укладають її на піддони з попереднім ущільненням, а потім з них виймають готові плити. Такій спосіб виготовлення плит називають періодичним. Плити плоского пресування мають однакову міцність у поздовжньому й поперечному напрямках по всій площині плити. Виготовляють також плити, розташування стружки в яких є орієнтованим. Для таких плит міцність у



поздовжньому напрямку вища, ніж у поперечному по площині пресування.

Екструзійні плити виготовляють шляхом видавлювання стружкової маси через нагрітий сталевий мундштук з наступною обрізкою видавленої смуги на частини заданих розмірів. Внаслідок поперечного розташування стружок екструзійні плити мають низьку міцність уздовж площини плити й трохи вищу поперек площини. Для запобігання руйнуванню при дії транспортних і інших навантажень екструзійні плити облицьовують шпоном. В результаті міцність плит збільшується в 15...20 разів.

За конструкцією деревно-стружкові плити поділяють на одношарові, тришарові й багатшарові. В одношарових плитах розміри деревних частинок і вміст зв'язуючої речовини однаковий по всій товщині плити. У тришарових плитах зовнішні шари виготовляють із більш тонкої деревної стружки і з більшим вмістом зв'язуючої речовини, ніж у внутрішньому. У багатшарових плитах розмір заповнювача пошарово зростає від поверхні до середини плити.

Таблиця 5.12

**Фізико-технічні показники деревно-стружкових плит**

Показник	Марка плити			
	П-1	П-2		П-3
		Група А	Група Б	
Середня густина, кг/м <sup>3</sup>	650...800	-	550...750	750...850
Вологість, %	8±2	8±2	8±2	8±2
Водопоглинання, %, не більше	-	-	-	15
Розбухання по товщині після 24 год. витримання у воді, %, не більше:				
для звичайних плит	20	20	30	-
для плит підвищеної вологостійкості	-	15	20	5
Границя міцності при згині, МПа, не менше для плит товщиною				
10...14 мм	-	19,61	15,69	-
15...19 мм	-	17,65	14,71	24,51
20 і більше	-	16,67	13,37	24,51
Твердість, МПа, не менше	-	-	-	30

За видом подрібненої деревини розрізняють плити зі спеціально виготовлених стружок, верстатних стружок, дрібняку і тирси. Деревно-стружкові плити мають середню густина 550...850 кг/м<sup>3</sup>; їхня водостійкість залежить від виду полімеру і заповнювача. Поширені плити, що виготовлені

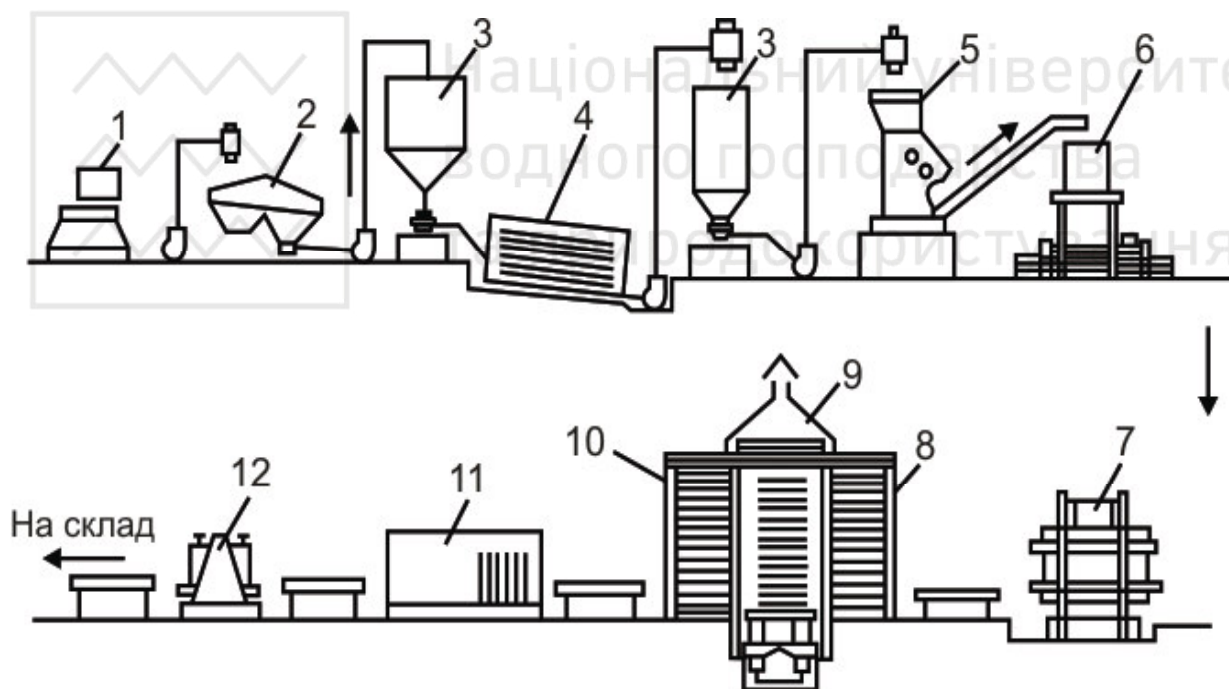
на основі фенолформальдегідних смол. Вони мають високу водостійкість, а також стійкість до дії атмосферних факторів, агресивних середовищ і можуть з успіхом використовуватися для отримання опалубки.

За видом обробки плити поділяють на шліфовані і нешліфовані, за здатністю до розбухання – на плити з нормальною й зниженою стабільністю, за видом обробки поверхні – на необлицьовані й облицьовані (шпоном, папером, пластиком).

Облицьовальні плити випускають довжиною - 2440, 2750, 3500, 3660 і 5500 мм; шириною – 1220, 1500, 1750, 1830, 2440; товщина нешліфованих плит становить – 16...26 мм, шліфованих – 10...26 мм.

Фізико-технічні показники плит наведенні в табл. 5.12.

Технологічний процес виробництва плит (рис. 5.7) складається з наступних операцій: сортування деревини, ошкурення, зволоження та розрізання її на заготовки, переробка в стружку, сушіння, перемішування з в'язучою речовиною, укладання маси, формування килиму, пресування і обробка плит.



**Рис. 5.7.** Технологічна схема виробництва одношарових деревно-стружкових плит:

1— рубальна машина; 2 — вібраційне сито; 3 — бункер; 4 — сушарка; 5 — змішувач; 6 — настільова машина; 7 — "холодний" прес; 8 — завантажувач; 9 — прес гарячого пресування; 10 — розвантажувач; 11—камера для витримки плит; 12 — верстат для обрізки кромки плит

Витрата в'язучої речовини залежить від типу плит, розташування шару і породи деревини. Застосування листяних порід деревини, здубиці збільшує витрати в'язучої речовини на 10...20%. Витрата в'язучої речовини для одношарових пресованих плит становить 10...12%, для екструзійних - 5...8%;





для зовнішніх шарів багатошарових плит - 12...14%, а внутрішнього шару – 8...10%.

Перемішування подрібненої деревини з полімерною в'язучою речовиною відбувається в спеціальному змішувачі, з якого маса передається стрічковим конвеєром до формувальної машини для формування килиму. Підпресовка килиму відбувається при звичайній температурі, а після цього килим ущільнюється гарячим пресуванням при температурі 150°C.

Спочатку плити пресують при тиску 3,0 МПа, а потім тиск зменшують до 0,6...0,3 МПа.

Деревно-стружкові плити в будівництві застосовують для опорядження приміщень, влаштування огорожень, підстилаючих шарів підлог та для звукоізоляції. Коефіцієнт звукопоглинання екструзійних плит, які мають середню густину 350...500 кг/м<sup>3</sup> при діапазоні частот 600...900 Гц становить 0,5...0,7. В приміщеннях з підвищеною вологістю застосовувати такі плити не рекомендується.

Плити можна покривати прозорою або напівпрозорою кольоровою полівінілхлоридною плівкою, а також лаками (*ламіновані плити*).

Плити використовують як теплоізоляційний матеріал для тришарових панелей. Такі конструкції мають високу міцність і теплозвукоізоляційні властивості, тому їх застосовують при будівництві малоповерхових будівель, а також для влаштування суцільних основ покрівлі із рулонних гідроізоляційних матеріалів.

*Деревно-волокнисті плити (ДВП)* – отримують шляхом гарячого пресування деревної волокнистої маси, наповнювачів, синтетичної зв'язуючої речовини та спеціальних добавок. Сировинною для виготовлення волокнистої маси є тріски і дрібняк, а також стебла соняшнику, костриця та інші матеріали рослинного походження. Залежно від середньої густини і питомого тиску при пресуванні отримують надтверді (СТ), тверді (Т), напівтверді (ПТ), та м'які (М) плити.

При виготовленні ДВП мокрим способом (рис. 5.8) відходи деревини на рубальних машинах перетворюють на тріски, які потім проварюють в 1...2%-му розчині їдкою натрію. Проварені та промиті гарячою водою тріски розмелюють в спеціальних машинах (дефібраторах) до волокнистого стану, які перемішують з водою. В суміш добавляють парафінову емульсію, антисептики і антипірени, а також фенолформальдигідні смоли.

Підготовлена суміш надходить для зневоднення на сітчастий конвеєр, формування килиму заданої товщини та розрізування на листи. Листи спрямовують або в роликову тунельну сушарку для виготовлення ізоляційних плит або в прес гарячого пресування для виготовлення твердих і надтвердих плит. Пресування відбувається при температурі 150...165°C і тиску 1...1,5 МПа.

Залежно від призначення плити поділяють на м'які та тверді. М'які плити залежно від середньої густини випускають марок: М-1; М-2; М-3. Тверді



плити за міцністю та видом лицьової поверхні поділяють на марки: Т-тверді плити без лицьової поверхні; ТС – з лицьовим шаром із тонкодисперсної деревної маси; ТП – з пофарбованим шаром; СТ – підвищеної міцності без лицьового шару; СТ-С – підвищеної міцності з лицьовим шаром із тонкодисперсної деревної маси. Розміри деревно-волокнистих плит становлять: по довжині 1220...3660 мм; по ширині 610...2140 мм і товщині 8...16 мм.

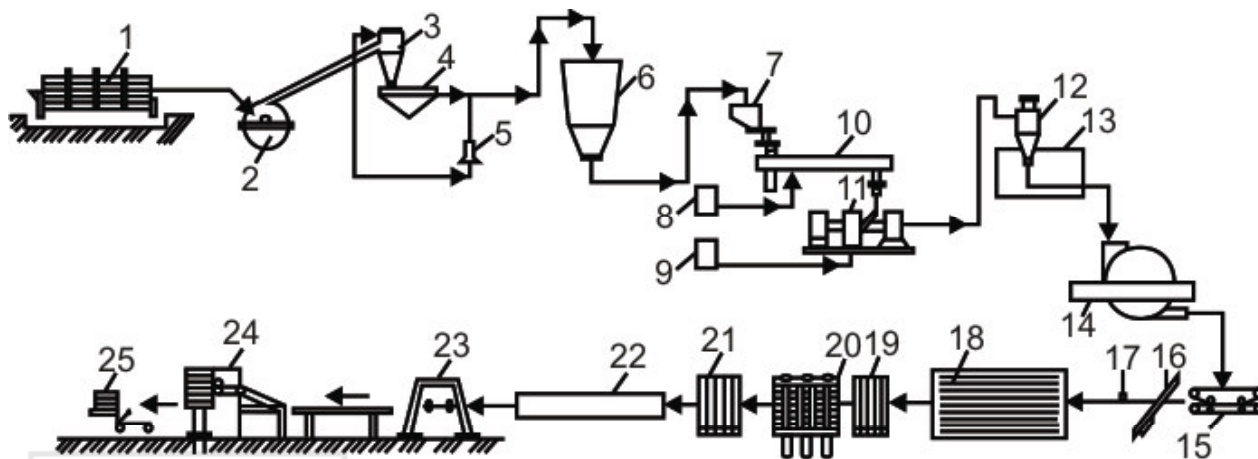


Рис. 5.8. Технологічна схема виробництва деревно-волокнистих плит:

1 - обкоркувальний барабан; 2 - рубальна машина; 3 - циклон; 4 - віброгрохот; 5 - дезінтегратор; 6 - бункер тріски; 7- витратний бункер тріски; 8, 9 - витратні бункери хімічних добавок; 10 - пропарювальний котел; 11 – дефібратор (подрібнювальна машина); 12 - циклон; 13 - басейн; 14 - круглосітчаста формувальна машина; 15 - ланцюговий прес; 16, 17 - станки для різки; 18 - багатоярусна сушарка; 19 - завантажувальні етажерки; 20 - прес; 21 - вивантажувальна етажерка; 22 - камера кондиціонування; 23 - станок для розрізання плит; 24 - накопичувач плит; 25 - навантажувач

Плити застосовують при влаштуванні перегородок, облицюванні стін, для обшивки стель, настилення підлог, а також при виготовленні дверних полотниць та вбудованих меблів.

Облицьовані ДВП випускають наступних типів: тип А – з матовою лицьовою поверхнею, яку пофарбовано водоемульсійною полівінілацетатною фарбою; тип Б – з дзеркально глясуютою лицьовою поверхнею або напівматовою, яку пофарбовано синтетичними емаллями.

Плити типу А застосовують для облицювання стін і стель в будівлях з нормально-вологісним режимом експлуатації; плити типу В – для облицювання стін кухонь, санітарних вузлів житлових будинків та в приміщеннях з особливим режимом – в медичних, торгівельних закладах.

Фізико-технічні властивості деревно-волокнистих плит наведені в табл.5.13.

До деревно-волокнистих плит близькі за своїми властивостями *деревно-шерстні плити*, що виготовляються із подрібнених кускових відходів листяних і хвойних порід за напівсухою технологією контактним способом (рис. 5.9). Відходи подрібнюють на рубильній машині в тріску, а потім переробляють на дефібраторі в деревну шерсть. Деревна маса вологістю

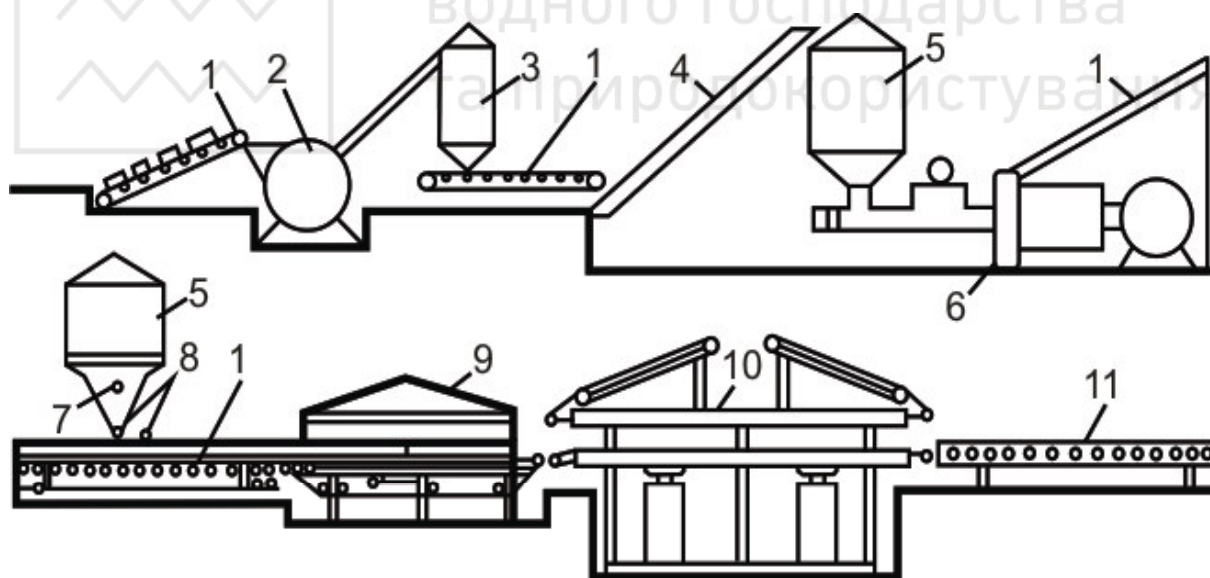
30...40 % піддається гідротермальній обробці, а потім – гарячому пресуванню.

Таблиця 5.13

**Властивості деревно-волокнистих плит**

Показник	Група				
	А		Б		
	Норма для плит марок				
	СТ, СТ-С	Т, Т-П, Т-С	М-1	М-2	М-3
Середня густина, кг/м <sup>3</sup>	950...1100	850...1000 800...950	200...400	200...300	100...200
Границя міцності при згині, МПа:	50	40...35	2,0	1,2	0,5
Розбухання по товщині, %, через 24 год	13	20...23	—	—	—
Вологість, %	3...7	5...10	до 12	до 12	до 12

За середньою густиною і міцністю деревно-шерстні плити поділяють на ізоляційні, ізоляційно-оздоблювальні, конструкційно-ізоляційні і конструкційні.



**Рис. 5.9.** Схема виробництва деревно-шерстних плит:

1 — конвеєр; 2 — рубильна машина; 3 — циклон; 4 — елеватор; 5 — бункер; 6 — дозатор; 7 — килимоукладальник; 8 — дозуючі валики; 9 — гідротермопідпресувальник; 10 — прес гідравлічний; 11 — рольганг

Середня густина ізоляційних і ізоляційно-оздоблювальних плит 250...500 кг/м<sup>3</sup>, конструкційно-ізоляційних – 500...700кг/м<sup>3</sup>, конструкційних – 700...1000 кг/м<sup>3</sup>; мінімальна границя міцності їх при статичному згині відповідно дорівнює 5, 10 та 13 МПа.

Розроблено технологію *волокнисто-стружкових плит*, що так само, як і



деревно-волокнисті, можуть бути напівтвердими, твердими і надтвердими із границею міцності при згині не нижче відповідно 10, 20 і 40 МПа.

Технологічний процес їх виробництва включає наступні операції: підготовку тріски; розмел тріски і сортування деревно-волокнистої маси; підготовку стружок; виготовлення суміші волокна і стружок; проклейку маси; формування плит на відливній машині; пресування; термічну обробку й обрізку.

На відміну від деревно-волокнистих плит, волокнисто-стружкові менше піддаються коробленню.

*Страміт* – теплоізоляційний матеріал, що виготовляється у виді плит шляхом пресування соломи пшениці, рису, ячменя і жита з одночасним електропідігріванням і обклеюванням спресованої маси картоном або щільним папером. В якості клею використовують рідинне натрієве скло із густиною 1,4...1,6.

Основні показники плит страміту:

Розміри плит, мм	довжина 2400...3600; ширина 1220; товщина 50
Середня густина, кг/м <sup>3</sup>	240...360
Міцність при згині, МПа:	
вздовж плити	0,8
поперек	0,4
Теплопровідність, Вт/(м <sup>о</sup> ·С)	0,08...0,11
Вологість, %	12

Плити страміту відносяться до важкоспалимих, небіостійких матеріалів.

*Деревно-мінеральні плити (ДМП)* – виготовляють із стружки або тирси м'яких порід деревини, дрібних фракцій, мінеральних заповнювачів (спученого перліту, керамзитового піску, вермикуліту та інш.), сечовиноформальдегідної (карбамідної) зв'язки, отверджувача (алюмохромфосфатного). Фізико-технічні властивості плит наведені в табл.5.14.

Отримання ДМП базується на методі утворення структури, яка формується за рахунок зв'язування різнорідних заповнювачів, що дозволяє значно збільшити пористість матеріалу, а також підвищити міцність, вогнестійкість та знизити теплопровідність.

Найбільш енергоємним процесом виготовлення ДМП є спосіб пресування і термообробки. Було запропоновано два способи: перший – гаряче пресування, попередньо відформованих плит в ярусних пресах; другий – пресування в термокамерах з просмокуванням теплоносія через відформовані вироби. Встановлено, що декоративно-ізоляційні плити товщиною 20...30 мм краще ущільнювати на гарячих пресах, а теплоізоляційні плити товщиною 50...100 мм доцільно виготовляти пресуванням в термокамерах.

Деревно-мінеральні плити знаходять широке застосування в сучасному будівництві, що дозволяє підвищити індустріальність, зменшити об'єм



мокрих штукатурних і малярних робіт, а також знизити масу конструкцій та витрати на опалення будівель.

Таблиця 5.14

**Фізико-технічні властивості деревно-мінеральних плит**

Показник	Марка плит по середній густині, кг/м <sup>3</sup>			
	200	250	300	350
Границя міцності, МПа: при згині	0,2	0,3	0,7	1,3
при стиску	0,6	0,8	1,4	3,0
Водопоглинання через 24 год., %, не більше	68	60	40	34
Розбухання по товщині, %, через 24 год	20,5	19	16,8	14
Вологість відпускна, %, не більше	8,0	8,0	8,0	8,0
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·°С)	0,05	0,054	0,06	0,064
Коефіцієнт поглинання звуку при частоті 1000 Гц плити товщиною 25 мм	0,6	0,55	0,5	0,4

*Деревно-тирсові плити* виготовляють із суміші тирси, полімеру, гідрофобізатора й антисептика. Вони можуть бути одно- та багатошаровими, суцільними та ніздрюватими. Середня густина суцільних деревно-тирсових плит складає 800 кг/м<sup>3</sup>, а ніздрюватих – 500, границя міцності досягає 20 МПа. Водопоглинання таких плит за 24 год. – близько 10%, лінійне розбухання по товщині – 12, довжині і ширині – 0,5%. Товщина деревно-тирсових плит повинна бути не менше 19...24 мм.

Плити застосовують для підлог та опорядження. Опоряджувальні деревно-тирсові плити мають з однієї сторони ніздрювату поверхню, з іншої – гладку.

При виробництві плит для підлог витрата сечовиноформальдегідної смоли складає для зовнішніх шарів 18% від маси сухої тирси, внутрішнього шару – 10%. Витрата смоли при виготовленні опоряджувальних плит складає близько 8%.

Гідрофобізатори (петролатум або парафін) вводять у кількості 1...3, а антисептики 1...1,5% від маси сухої тирси.

Плити пресують при температурі 40...45°С і тиску 1...1,5 МПа протягом 10...25 хв. Для поліпшення їх зовнішнього вигляду і підвищення довговічності проводиться обробка шпоном.

До числа місцевих теплоізоляційних матеріалів відноситься *костроемульбіт*, одержуваний на основі заповнювача – костриці льону і в'язучого – бітумної емульсії. Емульгатором бітумної емульсії й одночасно





вогнезахисним компонентом служить технічний лігносульфонат (ЛСТ). Костроемульбіт призначений для теплоізоляції покрівель по неспалимих основах, а також як середній шар стінових панелей в будівлях сільськогосподарського призначення.

Бітумну емульсію готують у лопатевих мішалках з частотою обертання вала до 90...110 об/хв, гомогенізаторах, акустичних диспергаторах. У мішалку завантажують розчин ЛСТ густиною  $1,25 \text{ г/м}^3$  в кількості 6...12 % від загальної маси бітумної емульсії. При працюючому змішувачі вводять розплавлений бітум, а через 3...4 хв – підігріту до 60...90 °С воду, що розбавляє суміш бітуму з емульгатором до необхідної консистенції.

Костроемульбіт одержують циклічним способом, коли змішування костриці льону з бітумною емульсією проводиться в стандартних бетонозмішувачах примусового перемішування, або потоковим — при використанні змішувачів безперервної дії.

Додатково для збільшення теплостійкості вводять перлітовий або керамзитовий пісок з розрахунку 30 кг на  $1 \text{ м}^3$  утеплювача.

Витрата матеріалів, кг, для одержання  $1 \text{ м}^3$  костроемульбіту (середня густина  $300 \text{ кг/м}^3$ ) складає: костриці льону – 195; бітуму – 75; ЛСТ – 18 (в перерахунку на суху речовину); добавки (рідинне скло) – 12.

Плити формують в інвентарних формах-рамках на ґратчастих піддонах і ущільнюють на пресах. Потім форми-рамки знімають і виріб направляють у камеру-сушарку або на склад готової продукції.

Костроемульбіт, виготовлений у вигляді плит розміром  $600 \times 600 \times 100 \text{ мм}$  і висушений до постійної маси, характеризується наступними фізико-механічними показниками:

Середня густина при вологості 10 %, $\text{кг/м}^3$	380...400
Теплопровідність при 20 °С, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{°С})$	0,067
Міцність при згині, МПа	0,11
Водопоглинання, % за масою, за 24 год	53
Об'ємне набрякання, %, за 24 год	6
Гігроскопічність, %	8

Технологія одержання *ортенкса* включає змішування органічного заповнювача зі зв'язуючим, яке вводять розпиленням з наступним укладанням проклеєної маси у форму й пресуванням при просмоктуванні через виріб гарячого повітря. Весь процес формовання й теплової обробки виробів триває 20...25 хв. Середня густина плит з ортенкса становить  $175 \dots 300 \text{ кг/м}^3$ , міцність при згині — 0,5 МПа, теплопровідність  $0,21 \dots 0,24 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ .

*Тирсоліт* — листовий матеріал товщиною 1,5...8 мм. При його виготовленні синтетичні полімери вводять у кількості 4...8% від маси сухої тирси. Технологічний процес виробництва включає: сепарування деревної сировини, її сушіння, змішування тирси з клеєм, формування килима, пресування, витримку й обрізку матеріалу.

*Паркеліт* — матеріал, який виготовляють у вигляді плиток товщиною 18 мм і розмірами  $300 \times 300$ ,  $333 \times 333$  і  $400 \times 400 \text{ мм}$ . При виготовленні паркеліта



масу з тирси й стружок змішують зі зв'язуючим і пресують при тиску 8 МПа й температурі 140...160°C. Відпресовані плитки після витримки шліфують, обробляють, вибираючи пази, і облицьовують струганим шпоном.

Собівартість виготовлення паркеліту приблизно вдвічі нижче собівартості паркетної дошки.

В *королітових плитах* як заповнювачі застосовують подрібнену кору дерев хвойних і листяних порід. Роль органічних в'язучих речовин можуть виконувати не тільки термореактивні полімери, але й концентрати лігносульфонатів (ЛСТ). При застосуванні органічних в'язучих речовин у масу крім добавок гідрофобізаторів, додатково вводять антипірени зазвичай у вигляді насиченого водного розчину сульфату амонію.

Витрата полімерної зв'язуючої речовини для королітових плит становить близько 12% їхньої маси. Середня густина плит — 450... 800 кг/м<sup>3</sup>, границя міцності при стиску — 0,5...3,5 МПа. Недоліком цього матеріалу є його високе водопоглинання, що через 24 год. (залежно від густини) досягає 70...115%. Основне призначення королітових плит - теплоізоляція огороджуваних конструкцій.

*Рипліт* — теплоізоляційний матеріал на основі рисової соломи й спіненої полімерної зв'язуючої речовини. Він не горить, не піддається впливу цвілі й мікроорганізмів. Рипліт випускають за середньою густиною чотирьох марок: 75, 100, 150 і 200; границя міцності при стиску 0,05...0,18 МПа, при згині - 0,08...0,6 МПа; водопоглинання через 24 год - 13...20% (за об'ємом), коефіцієнт теплопровідності - 0,14...0,19 Вт/(м·°С). Так само, як і пінопласти, рипліт застосовують як заливальну масу для заповнення тришарових панелей. Плитний рипліт можна використовувати як утеплювач під рулонну покрівлю. Для виготовлення рипліту потрібно в 1,5...2 рази менше полімерної зв'язуючої речовини, ніж для одержання пінопласту.

В композиціях з деревним заповнювачем і відходами переробки сільськогосподарських культур поряд з термореактивними можна застосовувати й термопластичні полімери.

**Термопластичні композиції.** З порошкоподібних або гранульованих термопластичних деревинно-полімерних композицій методами безперервного або періодичного пресування можна виготовляти ефективні будівельні вироби: плінтуси, розкладки, штапики, рейки зі шпунтом і гребенем для покриття підлог, профільовані дошки типу вагонки для обшивання стін малоповерхових будівель, рейки для обшивання вхідних дверей, плитки й панелі для облицьовування стін, покрівельні плитки й інш. Будівельні вироби з деревинно-полімерних композицій можуть успішно використовуватись як у малоповерховому, так і в багатоповерховому житловому й цивільному будівництві.

Основні фізико-механічні властивості будівельних виробів з термопластичних деревинно-полімерних композицій наведені в табл. 5.15.



**Фізико-механічні властивості матеріалів  
з термопластичних деревно-полімерних композицій**

Показник	Значення
Середня густина, кг/м <sup>3</sup>	1050-1100
Границя міцності при статичному згині, МПа	не менше 3
Границя міцності при стиску, МПа	не менше 15
Питома ударна в'язкість, кДж/м <sup>2</sup>	не менше 3
Відносне видовження при розтягу, %	не більше 5
Температура розм'якшення, °С	не менше 70
Зміна лінійних розмірів при 70°С та витримці протягом 5 год., %	не більше 0,1
Абсолютна деформація при вдавненні сталеві кульки діаметром 5 мм та навантаженні 100 Н	не більше 0,05
Опір видавлюванню цвяхів і шурупів, МПа	не менше 0,5
Шорсткість лицьових поверхонь, мкм	не більше 500
Водопоглинання, %	не більше 5
Розбухання по товщині при вимочуванні зразків протягом 24 год., %	не більше 1
Вологовбирання при витримці зразків у насиченому вологому середовищі протягом 7 діб, %	не більше 3

До основних переваг будівельних виробів з термопластичних деревинно-полімерних композицій порівняно з традиційними виробами з деревини можна віднести наступні:

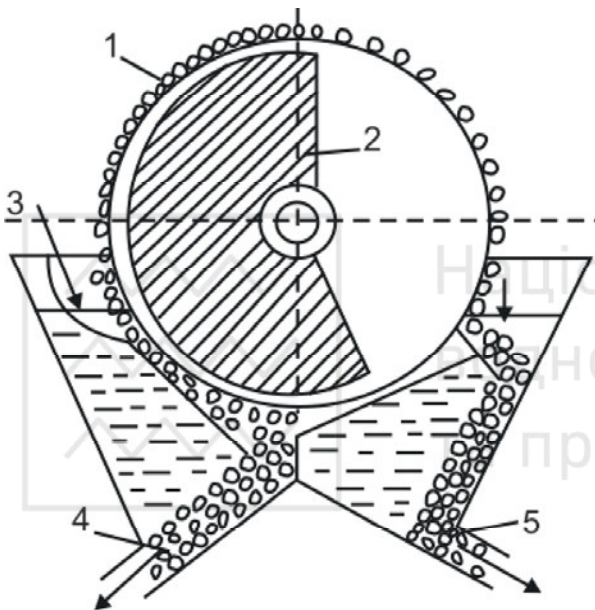
1. Вироби мають гладкі й щільні поверхні, у процесі пресування можуть бути оформлені пази, гребені й інші типи профілів.
2. Щільна й однорідна структура по всьому поперечному перерізу виробів.
3. Не потрібна додаткова обробка поверхні виробів механізованим інструментом.
4. Відсутні дефекти й вади, характерні для аналогічних будівельних виробів, виготовлених з деревини (сучки, косошар, гнилини й інш.).
5. Вироби мають досить високі фізико-механічні й експлуатаційні характеристики, не схильні до гниття, мають низькі показники розбухання при дії води й вологи, не вимагають природного або штучного сушіння, неспалімі (самозагасають при видаленні джерела горіння), гігієнічні й екологічно безпечні, можуть мати будь-яку довжину, добре пробиваються, а також добре втримують цвяхи й шурупи, допускають обробку (сверління, пиляння й інш.) традиційним механізованим інструментом, що використовується у деревообробній промисловості.
6. Застосування термопластичних полімерізаційних синтетичних полімерів як зв'язуючих в деревинно-полімерних композиціях дозволяє організувати практично безвідходне виробництво виробів.
7. При використанні формуючих шаблонів при нагріванні готових виробів до певної температури вони можуть приймати будь-яку геометричну форму й зберігати її при наступному охолодженні, що становить інтерес при вирішенні деяких архітектурно-будівельних задач.



## 6. МАТЕРІАЛИ ІЗ ВІДХОДІВ ГІРНИЧОРУДНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ І ПРОМИСЛОВОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

### 6.1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВІДХОДІВ

В процесі добування і переробки залізних руд, руд кольорових металів, хімічної сировини, нерудних матеріалів отримують побічні продукти двох типів: у вигляді розкривних та інших пустих порід і відходів гірничозбагачувальних комбінатів. Найбільша кількість порід, що попутно добувається, і відходів збагачення пов'язана з добуванням і переробкою



**Рис. 6.1.** Схема обертового магнітного сепаратора:

- 1 – обертовий барабан;
- 2 – електромагніт; 3 – подрібнена сировина у вигляді пульпи;
- 4 – немагнітні шматки нерудної (пустої) породи; 5 – магнітні шматки породи

відсіву при виробництві будівельного щебеню із вивержених, метаморфічних і осадових порід; попутні породи, що добуваються, і відходи збагачення при виробництві азбесту й інші.

При добуванні залізних руд бурій залізняк, який містить 35-55 % заліза зазвичай у вигляді лимоніту  $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , збагачують промиванням водою. Дрібні частинки піску видаляють за допомогою спеціальних барабанів і осаджувальних машин.

залізних руд. Лише в Криворізькому басейні щорічний вихід порід, що попутно добувається, складає близько 50 млн. м<sup>3</sup>.

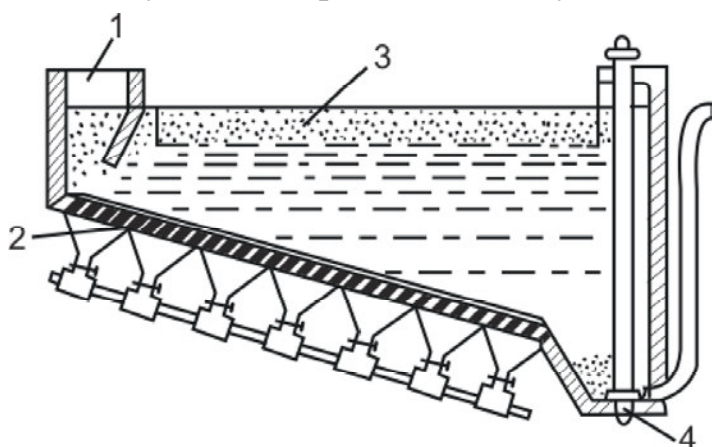
Рациональна область застосування попутних продуктів гірничовидобувних підприємств – це промисловість нерудних будівельних матеріалів. Економічний ефект, що досягається, зумовлений економією капітальних вкладень на виробництво нерудних матеріалів, зменшенням об'ємів відвалів та затрат на транспортування відходів, ліквідацією втрат в народному господарстві, пов'язаних з відчуженням земельних угідь під відвали і подальшою їх рекультивацією.

Для виробництва нерудних будівельних матеріалів придатні: попутно добувні породи; сухі і мокрі відходи збагачення при добуванні і переробці залізних руд, флюсів, вогнетривів, кольорових металів;





Магнітний залізняк містить 50-72,5 % заліза у вигляді магнетиту  $Fe_3O_4$ . Його збагачують методами мокрої (рис.6.1) і сухої магнітної сепарації, флотаційним збагаченням (рис.6.2.). Якщо руда містить включення магнетиту, то її подрібнюють до кусків діаметром 25...30 мм і піддають сухій магнітній сепарації у спеціальних обертових барабанах з електромагнітами. Магнітний залізняк з дрібними включеннями подрібнюють до частинок діаметром близько 3 мм і направляють на мокру магнітну сепарацію, де "пуста" порода виноситься струменем води.



**Рис. 6.2.** Схема флотаційної машини:  
1 – пристрій подачі подрібненої руди з водою і флоатагентом; 2 – пористе дно машини для продування повітрям пульпи; 3 – шар змоченої флоатагентом руди, що виноситься на поверхню бульбашками повітря; 4 – випускний пристрій для пустої породи

Побічними продуктами добування залізних руд є кварцитові і близькі до них породи, наявність яких в загальному об'ємі розробок корисних копалин досягає 50 %.

Залізисті кварцити переважно складаються з оксидів заліза і кремнезему. Непридатні для збагачення залізисті кварцити та інші скельні породи вивозяться у відвали. Однак з них можна виготовляти крупний заповнювач для особливо важкого бетону, а також баластний матеріал для залізничного будівництва.

Гранулометричний склад відвальних залізистих кварцитів та інших скельних порід коливається в широких межах. Їхня істина густина зазвичай складає 2,8...4,6 г/см<sup>3</sup>, середня густина 2600...4100 кг/м<sup>3</sup>, водопоглинання 0,2...8 %, морозостійкість досягає 200 циклів.

За хімічним складом відходи гірничо-збагачувальних комбінатів можна розділити на три групи, %: кварцові ( $SiO_2 > 65$ ), силікатні ( $SiO_2 < 65$ ,  $Fe < 15$ ) та залізисті ( $Fe > 15$ ). Відходи останньої групи отримують при збагаченні залізистих кварцитів низького ступеня метаморфізму. Через високу дисперсність і густину, їх не рекомендують використовувати як заповнювач бетону. Кварцові відходи утворюються при збагаченні залізистих кварцитів середнього ступеня метаморфізму, а силікатні – високого. Відходи цих груп практично не містять глинистих мінералів і мають форму зерен, відмінну від кулькоподібної з шорсткою поверхнею. Збагачені кварцові "хвости" мають середню густину 1550...1900 кг/м<sup>3</sup>, модуль крупності їх зазвичай дорівнює 1,5...2.





Значна частина переробленої гірської породи направляється у відвали у вигляді кварцево-залізистих шламів. Ці відходи представляють собою тонкодисперсний порошок, який містить 10...30 % фракцій крупніше 0,14 мм. До складу шламових відходів підприємств, наприклад Криворізького басейну, входить 60...80 % кварцу і 13-18 % заліза. В невеликій кількості входять оксиди алюмінію, кальцію, лужних металів, марганцю та ін. За гранулометричним складом шлами близькі до дніпровського річкового піску, але відмінні від нього дещо більш високими значеннями пористості, істинної та середньої густини.

Для використання шламів в бетонах ефективним є їх фракціонування, що здійснюється за допомогою гідравлічних класифікаторів. Робота таких класифікаторів заснована на різноманітній швидкості осідання частинок різної маси у висхідному потоці води.

Попутними продуктами добування і переробки багатьох корисних копалин є породи, що складаються в основному із силікатів магнею. До них відносяться різновиди серпентинітів – антигорити, хризотили і ін.

Найбільш значний вихід силікатів магнею у вигляді відходів характерний для азбестових збагачувальних фабрик. При збагаченні *азбестомістких порід* добувається лише біля 8 % сортового азбесту, а решта 92 % є відходами. Найбільший інтерес силікатно-магнеєва сировина представляє для виробництва автоклавних матеріалів.

Для виробництва будівельних матеріалів з розкривних порід особливо цінною є *карбонатна і глиниста сировина*. При відкритій розробці залізородних родовищ карбонатна сировина найчастіше представлена маломергелістими карбонатними породами із вмістом 90...99 %  $\text{CaCO}_3$  і мергелістими породами, що містять 64...85 %  $\text{CaCO}_3$ . Ці породи можна використовувати у виробництві вапна, цементу, мінеральної вати.

Галузі застосування глинистих розкривних порід різноманітні. Залежно від фізичних властивостей, хіміко-мінералогічного та речовинного складу глиниста сировина придатна для виробництва керамічних виробів, аглопориту, керамзиту, цементного клінкеру.

В табл. 6.1 наведені можливі напрямки утилізації розкривних порід гірничо-збагачувальних комбінатів України.

На рудниках і кар'єрах, де добуваються нерудні і неметалорудні матеріали, сировина для цементної і вапняної промисловості є значний обсяг гірничих робіт. Частка, що належить промисловості нерудних будівельних матеріалів в загальному обсязі відходів гірничо-видобувних галузей складає 12...15 %.

При добуванні облицювального каменю, переробки на щебінь гірських порід, виробництві вапна накопичуються відходи у вигляді відсівів, кам'яної муки тощо. Різноманітність видів гірських порід, їх складу, технологічних особливостей отримання основних продуктів обумовлює і різноманітність якісних характеристик відходів нерудних будівельних матеріалів.



Найбільш масовими відходами є *відсів* (*висівки*), що утворюються при виробництві будівельного щебеню і представляють собою піщано-щебеневу суміш з максимальною крупністю щебеню 10 мм і вмістом домішок до 10...25%. При виробництві щебеню з вивержених порід обсяг відсівів досягає 25 %, а з осадових – 45 % від об'єму гірської маси, що перероблюється.

Таблиця 6.1

### Розкривні породи ГЗК і шляхи їхньої утилізації

Гірничо-збагачувальний комбінат	Розкривні породи	Галузі використання
Південний	Сланці, безрудні кварцити	Дорожньо-будівельні матеріали
	Суглинки, червоно-бурі глини	Виробництво цегли, рекультивація земель
Новокриворізький	Сланці, безрудні кварцити	Дорожньо-будівельні матеріали
	Лесовидні суглинки, червоно-бурі і бентонітоподібні глини	Формувальні землі, бурові розчини, виробництво цегли, рекультивація земель
Центральний	Сланці, безрудні кварцити	Щебінь
	Спучувальні сланці	Керамзит
	Лесовидні суглинки, червоно-бурі глини	Рекультивація земель, будівництво дамб, гребель, виробництво глинистої цегли
Полтавський	Амфіболіти, плагіограніти, кристалічні сланці, безрудні кварцити	Дорожньо-будівельні матеріали
	Суглинки, спондилові мергельні глини	Цегляна і цементна сировина
	Амфіболіти	Кам'яне литво

В Україні є великі запаси природних пористих гірських порід (туф, вапняк-черепашник тощо). Суцільні масивні гірські породи використовуються для виробництва пиляного каменю чи облицювальних плит. При сучасному рівні їх виробництва відходи від їх добування дозволяють отримувати щорічно до 60 млн. м<sup>3</sup> пористого щебеню і піску.

При видобуванні пиляного каменю технологічними відходами є кам'яна мука фракцією 0...5 мм, уламки різної величини і негабаритний камінь. Кількість відходів може перевищувати 50 % об'єму пласту, що розробляється.

Різноманітні види відходів утворюються при виробництві різних штучних будівельних матеріалів в процесі технологічної переробки сировини. Багато з цих відходів при неможливості їх повернення в основне виробництво можуть бути використанні для отримання будівельних матеріалів.



*Цементний пил* у виробництві цементу утворюється в результаті переробки тонкодисперсних мінеральних матеріалів. Загальна кількість уловленого пилу на цементних заводах складає до 30 % всього об'єму виготовленої продукції. До 80 % всієї кількості пилу викидається з газами з клінкеровипалювальних печей. Пил, що виноситься з печей, є полідисперсним порошком, містить при мокрому способі виробництва 40...70, при сухому – до 80 % фракцій розміром менше 20 мкм. Мінералогічними дослідженнями визначено, що в складі пилу міститься до 20 % клінкерних мінералів; з них двокальцієвого силікату  $\beta$ - і  $\gamma$ -модифікацій – 8...10, двокальцієвого фериту і чотирикальцієвого алюмофериту – 10...12, вільного оксиду кальцію – 2...14, лугів – 1...8 %. Основна маса пилу складається із суміші випаленої глини і вапняку, який не розклався. Склад пилу суттєво залежить від типу печей, виду і властивостей сировини, що використовується, а також способу уловлення.

Найбільш дисперсний і високолузний пил осаджується в електрофільтрах. Питома поверхня пилу в електрофільтрах досягає 5000...8000 см<sup>2</sup>/г, а пилу в осаджувальних камерах – 1000...4000 см<sup>2</sup>/г, що залежить від природи випаленої сировини і режиму випалювання, в тому числі температури і швидкості газового потоку. Вміст лужних оксидів пилу, уловленого електрофільтрами, коливається від 3 до 25 %.

Різноманітні види пилу, що представляють інтерес для використання, утворюються при виробництві різних матеріалів: вапна, керамзиту тощо.

Відходи, що утворюються при виробництві азбестоцементних виробів (*азбестоцементні відходи*) поділяються на сухі і мокрі: до перших відносяться бій азбестоцементних виробів, обрізки листів і труб, стружка від механічної обробки труб; до других – осад у водоочисних апаратах.

Склад сухих відходів такий же, як у азбестоцементних виробів. Мокрі відходи в основному складаються із гідратованих і карбонізованих зерен цементу з домішками дрібних волокон азбесту. При великому водовмісті вони набувають властивостей пульпи, а при розтиранні і перемішуванні утворюють пластичне тісто. Середня густина цього виду відходу у висушеному стані 250...300 кг/м<sup>3</sup>, теплопровідність – 0,052...0,064 Вт/(м<sup>0</sup>С).

Значна кількість відходів у вигляді *керамічного і скляного бою* утворюються на керамічних підприємствах та будівельних майданчиках. На керамічних підприємствах, що використовують тверде паливо, у вигляді відходів (до 10 м<sup>3</sup> на кожні 100 тис. шт. цегли) утворюються також пічні залишки, які складаються із суміші паливної золи з невеликим вмістом невипаленого вугілля і керамічного дрібняку.

## 6.2. ЗАПОВНЮВАЧІ НА ОСНОВІ ЗАЛІЗИСТИХ КВАРЦИТІВ

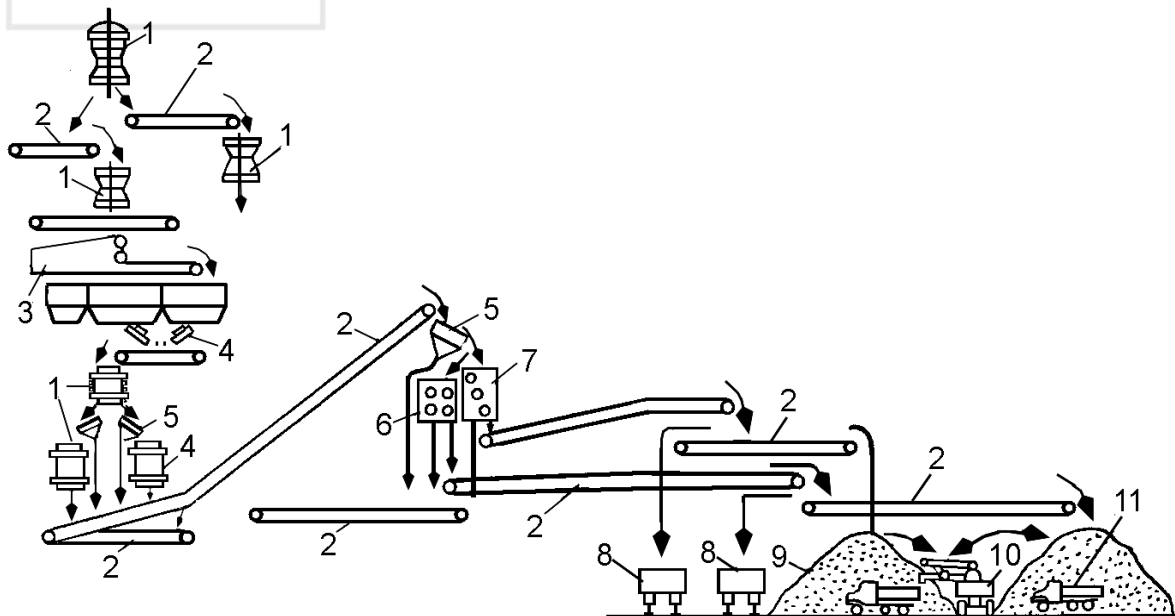
Різноманітний хімічний склад, фізичні параметри і властивості відходів, що утворюються при добуванні і збагаченні руд, обумовлюють і різноманітність отриманих на їх основі будівельних матеріалів. Основним



напрямок утилізації цієї групи відходів є виробництво нерудних матеріалів, перш за все заповнювачів бетонів і розчинів, дорожньо-будівельних матеріалів, бутового каменю й ін.

**Щебінь.** Залізисто-кварцитовий щебінь використовують для влаштування підстилаючих шарів і дорожньої основи, а також в якості крупного заповнювача цементних і асфальтових дорожніх бетонів. За своїми фізико-механічними властивостями залізисто-кварцитовий щебінь задовольняє вимогам до матеріалу для баластного шару залізничних шляхів. Якщо шляхи обладнанні системою сигналізації, централізації і блокування, то застосування залізисто-кварцитового щебеню можливе лише після дослідження його магнітних властивостей та електропровідності. Подібні дослідження також необхідні при використанні щебеню із залізистих кварцитів в гідротехнічному бетоні підвищеної морозостійкості.

Щебінь із попутних порід при видобуванні залізної руди отримують на дробильно-сортувальних установках, а також за допомогою сухої магнітної сепарації. Дробильно-сортувальна установка для одержання щебеню із залізистих кварцитів (рис.6.3) діє за наступною схемою. Ступінчасте подрібнення некондиційної руди здійснюється на конусних дробарках з послідовним розділенням за фракціями 0...20 і 20...40 мм. Із першої фракції відділяють фракцію 0...5 мм, яку відправляють на збагачувальну фабрику для переробки на концентрат, а фракції 5...20, 20...40 мм пропускають через магнітний сепаратор, де від щебеню відокремлюється руда.



**Рис. 6.3.** Схема виробництва будівельного щебеню із відходів гірничо-збагачувальних комбінатів:

- 1 – конусна дробарка; 2 – пластинчастий живильник; 3 – стрічковий конвеєр; 4 – електровіброживильник; 5 – грохот; 6 – сепаратор; 7 – трибарабанный сепаратор; 8 – залізничний вагон; 9 – склад щебеню; 10 – екскаватор; 11 – автосамоскид



Із залізистих безрудних кварцитів можна отримати щебінь з марками за міцністю 1100...1200. При середній густині кварцитів близько  $3100 \text{ кг/м}^3$ , насипна густина щебеню різноманітна і залежить від зернового складу і вмісту залізистих мінералів. Для фракції 5...20 мм вона складає 1450...1700; для фракції 20...40 мм –  $1400...1600 \text{ кг/м}^3$ . Залізисто-кварцитовий щебінь за вмістом пилевидних і глинистих частинок, пластинчастих та голчастих зерен, водопоглинанням не відрізняється від гранітного.

Його морозостійкість складає 150...300 циклів поперемінного заморожування та відтавання.

Бетони на залізисто-кварцитовому і гранітному щебеню близькі за своїми властивостями, але бетонам на залізисто-кварцитовому щебені властива більш низька стиранисть.

Використання в будівництві щебеню із відходів добування і збагачення руд дає значний техніко-економічний ефект. Собівартість  $1 \text{ м}^3$  щебеню з попутних порід приблизно на 40 % нижче собівартості гранітного, що забезпечується зниженням трудових і матеріальних витрат, необхідних на будівництво і освоєння спеціальних кар'єрів, виконання буровибухових розкривних і видобувальних робіт, навантаження і транспортування сировини, переробку і подрібнення гірської маси, використанням існуючих в основному виробництві транспортних комунікацій, мереж електрозабезпечення.

**Пісок.** Майже половина загальної маси залізної руди при збагаченні утворює відходи ("хвости"), що представляють собою *кварцево-залізистий пісок*, який складається із частинок розміром 0,14...0,63 мм. Наявність в складі цих відходів великої кількості сполук заліза зумовлює їх більш високу густину, ніж природного піску.

Експериментально розроблена технологія збагачення шламових відходів ГЗК, що дозволяє отримувати штучні піски, однорідні за хіміко-мінералогічним складом і якістю. Збагачені і фракціоновані відходи отримують відділенням глинистих і пилевидних частинок і зерен крупністю менше 0,14 мм і розділенням на фракції (рис. 6.4). Вони повинні містити не менше 55 % кремнезему і не більше 15 % сполук заліза.

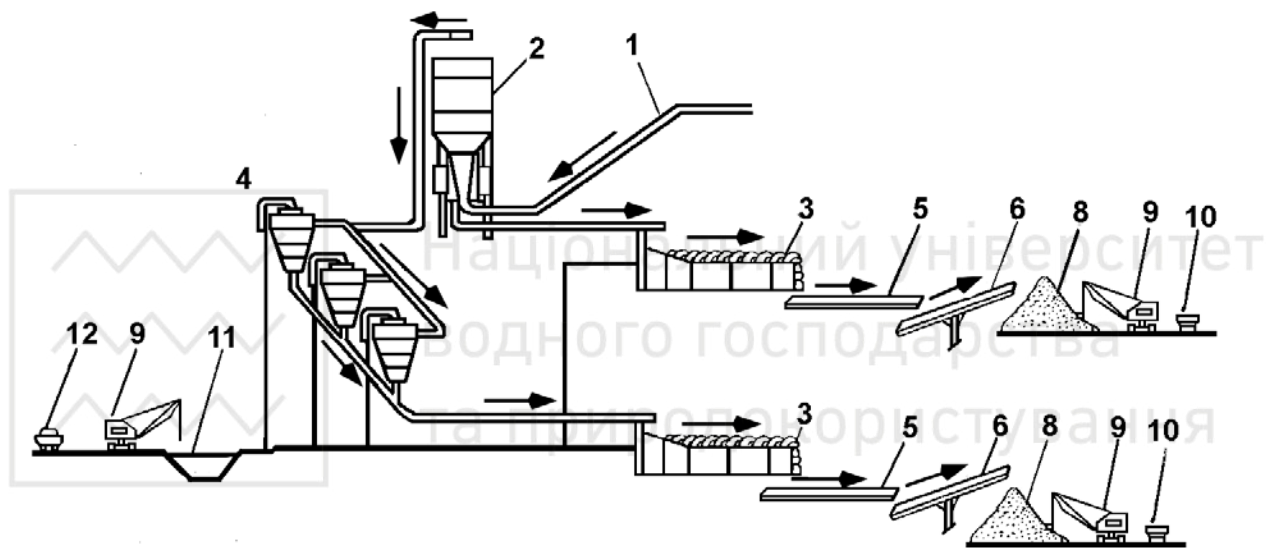
Магнетит  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  і гематит  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , що містяться в залізистих кварцитах, відносяться до потенціально реакційноздатних. Тому можливість використання в якості заповнювачів матеріалів, що містять такі мінерали повинна бути встановлена спеціальними дослідженнями. Досліди показали, що аморфний гідроксид заліза, який утворюється в процесі твердіння бетону, екранує розміщені на поверхні заповнювачів залізомісткі мінерали, практично виключаючи їх участь в подальшому синтезі новоутворень. Про це свідчить і відсутність корозійних явищ в конструкціях з бетону на заповнювачах із залізної руди.

Основним критерієм при оцінюванні якості дрібного заповнювача є його вплив на водопотребу суміші і міцність бетону. При однаковому





гранулометричному складі водопотреба піску з відходів збагачення залізних руд дещо більше, ніж природного, що пояснюється підвищеною шорсткістю поверхні його зерен. Чим крупніше породоутворюючі зерна, тобто вища ступінь метаморфізму породи, тим більша шорсткість і водопотреба крупних зерен піску. Однак із зменшенням розмірів зерен кварцево-залізістих пісків заповнювачі набувають в основному мономінеральний склад, гладку поверхню, і їх водопотреба стає практично аналогічною зернам природного піску. Із зменшенням модуля крупності природного піску і збільшенням вмісту в ньому глинистих та мулистих домішок можлива його заміна на штучний аналогічного гранулометричного складу.



**Рис. 6.4.** Схема фракціонування відходів збагачення гірничо-збагачувальних комбінатів:

- 1 – пульпопровід; 2 – гідрокласифікатор; 3 – спіральний класифікатор;  
4 - центробіжний класифікатор; 5 – стрічковий конвеєр; 6 – поворотно-консольний конвеєр; 7 – фракції відповідно 0,6...5 мм і 0,14...0,6 мм;  
9 – екскаватор; 10 – склад; 11 – шламосховище; 12- автомашини

Доцільне використання дрібнозернистих відходів в якості заповнювачів дрібнозернистого бетону, через те що границя міцності при стиску, модуль пружності, зчеплення з арматурою, водонепроникність і морозостійкість такого бетону вище, ніж бетону на природному піску. Використання кварцево-залізістих пісків в якості дрібного заповнювача підвищує середню густину піщаного бетону на  $100...250 \text{ кг/м}^3$ , а звичайного – на  $50...100 \text{ кг/м}^3$ .

Залізісті мінерали покращують при нормальному твердінні адгезійні властивості поверхні заповнювачів, тому кварцево-залізісті піски ефективніше використовувати в бетонах, які твердіють у звичайних умовах. В бетонах з крупним заповнювачем адгезійні властивості дрібного заповнювача мало впливають на міцність бетону. Однак зі збільшенням його питомої поверхні підвищується водопотреба бетонної суміші і погіршується



зчеплення розчину з крупним заповнювачем. У зв'язку з цим заміна в крупнозернистих бетонах місцевого природного піску штучним можлива лише при меншій водопотребі останнього чи при відповідному економічному обґрунтуванні.

При однакових вихідних умовах введення пластифікуючих добавок продуктивніше в дрібнозернисту бетонну суміш на штучному піску, ніж на природному, так як при цьому більш суттєво покращуються її легкоукладальність. Однак при цьому зменшується міцність бетону, що пояснюється погіршенням адгезійної здатності залізомістких мінералів. Більш ефективними є добавки суперпластифікатори.

В якості будівельного піску використовують також відсів, які отримують при подрібненні на щебінь кварцитових порід.

Відходами гірничо-збагачувальних комбінатів можна повністю замінити звичайні кондиційні заповнювачі у важкому бетоні і забезпечити досягнення його проектних властивостей без перевитрати цементу. Негативні особливості бетонних сумішей на дрібному заповнювачі із відходів збагачення руд, наприклад знижену пластичність і водоутримуючу здатність, можна усунути введенням добавок ПАР, що регулюють відповідні властивості.

Гострокутна форма і рельєфна поверхня зерен забезпечують більш високе зчеплення штучних пісків, ніж річкових, що позитивно впливає на міцність бетону. Так, дослідженнями встановлено, що міцність бетонів при незмінних складах на дрібних заповнювачах з відходів збагачення Криворізьких гірничо-збагачувальних комбінатів на 20 % вище міцності бетону, виготовленого на дніпровському піску. Збільшення міцності компенсує можливе збільшення витрат цементу при заміні кварцового піску відходами збагачення в результаті зростання водопотреби бетонних сумішей. Вартість заповнювачів з відходів збагачення, як правило, суттєво нижче, ніж природних. В умовах Криворізького басейну фракціоновані відходи гірничо-збагачувальних комбінатів в декілька разів дешевше привезеного піску.

Відходи, що отримують при збагаченні руд, можуть повністю замінити також кварцовий пісок в будівельних розчинах. Вони особливо ефективні в штукатурних розчинах, де небажана наявність частинок заповнювача крупніше 2,5 мм. Висока середня густина деяких складів таких розчинів дозволяє застосовувати їх в рентгенозахисних штукатурках. Середня густина розчинів на заповнювачах із шламів збагачення приблизно на 22 % більше середньої густини розчинів на кварцовому піску.

### **6.3. ЗАПОВНЮВАЧІ ТА БЕТОННІ ВИРОБИ НА ОСНОВІ ВІДХОДІВ ПРОМИСЛОВОСТІ НЕРУДНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Застосування відходів виробництва нерудних матеріалів зумовлено їх фізико-механічними властивостями, складом, особливостями основного технологічного процесу і техніко-економічними факторами.

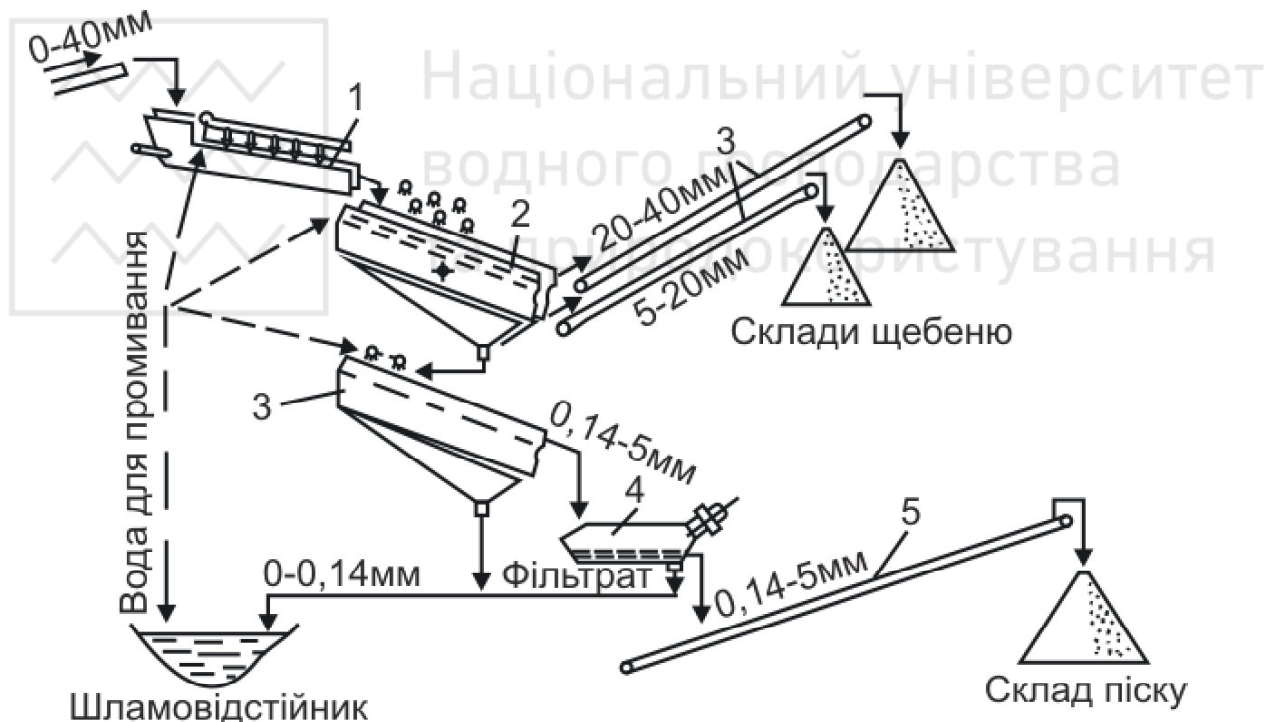


**Заповнювачі із відсівів каменеподрібнення.** Основна маса відходів нерудних матеріалів придатна для переробки на щебінь, пісок та кам'яну муку. Експлуатаційні витрати на отримання заповнювачів з відходів, наприклад щебеню, в 2...2,5 рази нижче, ніж в спеціалізованих кар'єрах.

При розробці сучасної технологічної схеми виробництва заповнювачів бетонів і розчинів передбачається ряд додаткових операцій по сортуванню, очищенню і, при необхідності, подрібненню відходів.

Відходи очищуються сухими чи мокрими способами. Сухі способи ґрунтовані на подрібненні домішок ударом чи стиранням в середовищі холодних чи гарячих газів і послідуєчим їх відділенням від кам'яного матеріалу грохоченням, пневматичними методами і т. д.

Мокрі способи (рис. 6.5) передбачають відділення домішок мокрим грохоченням на кінцевих стадіях виробництва. Мокре просіювання раціональне для видалення домішок, що легко відділяються. При цьому за допомогою спеціальних класифікаторів з відходів можна виділяти чисті фракції піску.



**Рис. 6.5.** Схема переробки відсівів подрібнення:

1 – машина для промивання; 2,3 – грохоти; 4 – вібровакуумознезводнювач;  
5 - конвеєри

Промивання відходів подрібнення із забрудненням вище 10 % в звичайних промивних пристроях коритного типу є малоефективним. Ефективним методом промивання є віброакустичний метод, що базується на максимальній концентрації енергії для дезінтеграції глинистих порід при суміщенні низькочастотного вібраційного і акустичного впливу. В якості джерела віброакустичного впливу використовують низькочастотні гідроакустичні пристрої. Наприклад, при середній забрудненості вихідної



сировини 12,45 % віброакустична установка зменшує забрудненість продукції до 0,6 %. В той же час при забрудненні сировини 2,7 % коритна мийка дозволяє зменшувати забрудненість продукції лише до 0,76 %. Використання віброакустичних установок дає можливість перероблювати відходи із забрудненістю до 40 % і більше.

Розроблені і успішно апробовані в промисловості промивні машини струменевого типу і вібровакуумзневоднюючі пристрої. Останні за рахунок вакуум-відсоса, який доповнює звичайне віброзбезводнення, знижують кінцеву вологість продукту до 11...13%, що дозволяє його транспортування конвеєрним транспортом.

Основними споживачами відсівів подрібнення на даний час є дорожньо-будівельні організації, які використовують відсів в асфальтобетонних сумішах в якості дрібного заповнювача. Пиловидна складова відсівів з основних вивержених порід дозволяє частково замінити мінеральний порошок з карбонатних порід.

Оскільки велика частина відсівів має модуль крупності 3,2...3,6, вони використовуються як «укрупнююча» добавка до дрібних пісків в цементних бетонах різноманітного призначення. Використовуючи відсів, вдається підбирати оптимальні склади бетонів і розчинів, які забезпечують задані будівельно-технічні властивості при мінімальній вартості.

Відсів подрібнення значно відрізняються за формою і характером поверхні зерен, мінеральному і зерновому складах (порівняно з природними пісками) і мають більш високі значення водопотреби і пустотності, що часто ускладнює їх використання в бетонах.

В будівельній індустрії використовують, найчастіше природній пісок, для виробництва бетонів і розчинів, асфальтобетонів тощо. Обсяги споживання піску складають майже 45% від обсягів спожитого щебеню. Піщані кар'єри негативно впливають на природне середовище, і, в першу чергу, на водоймища – плавні рік, озера.

Альтернативою природнім піскам є штучні піски із відсівів подрібнення, збагачені мокрим способом на спіральних класифікаторах. Недоліками технологій збагачення відсівів, які використовуються на більшості кар'єрів є сезонність робіт, висока енерго- і водопотреба, необхідність шламосховищ і пластинчаста форма частинок піску.

Реалізована на практиці технологія сухої повітряної класифікації відсівів з використанням каскадно-гравітаційних класифікаторів. В них використаний спосіб розділення в повітряному потоці дрібнозернистих і піщаних матеріалів за крупністю і густиною частинок за рахунок взаємодії двох протилежно спрямованих сил: гравітації, діючої на частинки вихідного матеріалу, і висхідного повітряного потоку. На таких апаратах можна класифікувати сипучі матеріали максимальною крупністю до 10 мм і вологістю до 6 % з розділенням на 2-3 класи, тобто з отриманням 2-3 продуктів.





Водопотреба піску із відсівів змінюється в межах 9...18 % і залежить від зернового складу, форми зерен, вмісту пиловидних і глинистих частинок.

Пустотність відсівів подрібнення, що складаються переважно із крупних фракцій, змінюється в межах 40...50 %, тобто значно перевищує пустотність природних пісків (35...40 %). Зниження пустотності відсівів може бути досягнуто при сумісному використанні в якості дрібного заповнювача бетону відсівів і дрібних (чи дуже дрібних) природних пісків.

Порівняльні випробування бетонів на міцність при згині і розтягу, водонепроникність і морозостійкість показали, що властивості бетонів з використанням збагачених відсівів подрібнення вивержених порід практично ті ж самі, що і в бетонах на природних пісках. Перспективно використовувати деякі фракції піску з відсівів в ніздрюватих бетонах.

Відсів переробки вивержених і метаморфічних порід нерідко мають декоративні властивості. Такі матеріали використовують для отримання декоративних розчинів і бетонів.

Перспективним напрямком використання відсівів подрібнення є сухі будівельні суміші. При виготовленні будівельних сумішей найбільша потреба є у фракціях 0,63...1,25 мм, 0,315...0,63 мм, 0,16...0,315 мм. Введення таких наповнювачів покращує ряд показників сухих сумішей. Встановлено, що 18...25 % відсівів подрібнення вивержених порід складають фракції менше 0,16 мм з високою питомою поверхнею, які не потребують додаткового помелу.

Відсів подрібнення можуть знайти застосування як компоненти шихти також при виробництві будівельної кераміки і вогнетривів.

Продукти переробки відсівів вузьких класів крупності використовують для заповнення водоочисних фільтрів, при виготовленні електрокерамічних виробів й ін.

**Використання відходів обробки пористих та щільних гірських порід.** Напрями використання відходів, що отримують при видобуванні й обробці облицювального матеріалу з природного каменю, залежать від їх крупності, фізико-механічних і технологічних властивостей.

Відходи виробництва кам'яних виробів з пористих гірських порід використовують в якості *природних пористих заповнювачів*. Заповнювачі з вапняку-черепашника, туфу й пемзи використовуються в бетонних і залізобетонних виробках для цивільного і промислового будівництва. Заміна в бетонах кварцового або подрібненого керамзитового піску пористим піском з відходів каменепиляння знижує вартість бетону, а в ряді випадків і його витрату.

При подрібненні відходів каменепиляння руйнування відбувається по найбільш слабким зернам, крупним порам і мікротріщинам, що змінює мікро- і макроструктуру та покращує властивості заповнювачів, так як збільшує їх щільність, міцність і зменшує неоднорідність порівняно з вихідною гірською породою. Щебінь і пісок, що отримують подрібненням





пористих порід, мають кутасту форму, шорстку і розвинену поверхню, що забезпечує їх міцне зчеплення з цементним каменем.

Гранулометрія пористих заповнювачів з відходів пиляння каменю залежить від властивостей вихідної породи, виду подрібнюючого обладнання, розмірів отворів сит. Наявність у пористих пісках до 25 % фракцій менше 0,16 мм сприяє покращенню легкоукладальності, підвищенню міцності бетону. Однак збільшення кількості таких фракцій більше 25 % є небажаним, так як призводить до підвищення водопотреби легких бетонів і зниження їх міцності. Особливістю заповнювачів з відходів каменепиляння карбонатних гірських порід є їх активна хімічна взаємодія з цементом.

Відходи, що утворюються при добуванні блоків з граніту та інших високоміцних порід, використовують для отримання *декоративного щебеню і піску*. Для переробки відходів в нерудні матеріали можна використовувати пересувні дробильно-сортувальні установки, що випускаються промисловістю.

Встановлена ефективність випуску *мозаїчних плит* на основі відходів каменеобробки. Плити виготовляють в металевих формах з дрібних уламків каменю на цементному розчині. При досягненні 50...70 % марочної міцності їх шліфують і полірують.

Реалізована промислова технологія виготовлення *штучних блоків* на основі кам'яної крихти з наступним їх розпилюванням на окремі плити товщиною 20...30 мм. Декоративний ефект досягається використанням в якості в'язучого білого портландцементу з наповнювачем із кам'яної муки. Бетонна суміш заливається у блок-форми й ущільнюється на вібромайданчику. Для прискорення процесу твердіння блоки пропарюють за звичайними режимами до досягнення ними 70...80 % марочної міцності. Після цього їх розпилюють на плити і піддають механічній обробці (шліфовці). Якість мозаїчних плит залежить від гранулометричного складу заповнювача.

Досвід підприємств Криму, що розробляють вапняк-черепашник для отримання стінового штучного каменю, показує ефективність виготовлення з відходів каменепиляння *бетонних блоків з вапняку-черепашника*. Блоки формуються в горизонтальних металевих формах з відкидними бортами. Дно форми покривається розчином з вапняком-черепашником товщиною 12...15 мм для створення внутрішнього фактурного шару. Форма заповнюється крупнопористим або дрібнозернистим бетоном з вапняком-черепашником. Фактура зовнішньої поверхні блоків утворюється за допомогою спеціального розчину. Отримані бетонні блоки використовують для мурування фундаментів і стін при будівництві промислових і житлових будівель.

Освоєна технологія отримання із відходів виготовлення пиляних вапняків ефективного стінового матеріалу – *цементно-карбонатного каменю*. За фізико-технічними і архітектурними показниками такий камінь не поступається природному: границя міцності при стиску – 5...7,5 МПа;



середня густина –  $1800 \text{ кг/м}^3$ ; розміри –  $190 \times 190 \times 188$  мм. Оптимальний склад бетону, %: цемент М 500 – 5, карбонатні відходи каменепиляння – 85; вода – 10. Знизити витрату цементу на 20...45 % можна шляхом введення в склад заповнювача поряд з відходами каменепиляння 20...30 % золи.

Цементно-карбонатний камінь виготовляють напівсухим пресуванням. В якості основного обладнання використовують прес-напівавтомат, продуктивність якого 600...700 шт. в годину ( $8,5 \dots 10 \text{ м}^3/\text{год}$ ). Карбонатні відходи завантажують у вібросито, звідки фракція менше 30 мм через дозатор потрапляє в змішувач. Туди ж подають також в'язучу речовину та воду. Готова суміш потрапляє у накопичувальний бункер преса. Тиск пресування – 10...15 МПа, час – 6...7 с, вологість формувальної суміші – 7...8 %. Готові камені потрапляють на склад, де протягом 7 діб при позитивній температурі і достатній вологості повітряного середовища відбувається твердіння бетону.

З карбонатних відходів кар'єрів по видобуванню вапняків отримують також вапно або використовують їх як добавку для підвищення якості автоклавних силікатних виробів. Дрібні фракції ряду гірських порід можна використовувати для виробництва плавлених матеріалів або як спіснювальну добавку до керамічних мас.

Відходи виробництва каменедробильних заводів, що перероблюють базальти і інші вилиті гірські породи, можна використовувати для отримання глазурі та інших плавлених матеріалів. З використанням склокристалічних базальтових відходів розроблена технологія виробництва глазурі для фасадної будівельної кераміки, кислотостійких керамічних виробів і електрофарфору. Базальтові глазурі можуть замінити глазурі на основі багатокомпонентних шихт, що включають ряд дефіцитних матеріалів: польові шпати, каолін, буру, соду, барієві, стронцієві, цирконієві сполуки.

#### **6.4. В'ЯЖУЧІ ТА АВТОКЛАВНІ МАТЕРІАЛИ НА ОСНОВІ ВІДХОДІВ ПОДРІБНЕННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД**

**В'язучі матеріали.** При визначеному хіміко-мінералогічному складі відходи подрібнення гірських порід можуть бути використані для отримання різноманітних в'язучих матеріалів. Карбонатні і мергелісті відходи є сировиною для виробництва повітряного і гідравлічного вапна, романцементу, композиційних в'язучих. Алюмосилікатні матеріали в композиції з карбонатами можуть входити до складу сировинних сумішей для отримання портландцементного клінкеру. При цьому у ряді випадків вони мають певні переваги перед традиційними сировинними матеріалами.

Відходи збагачення магнетитових руд дозволяють виключити із сировинної суміші піритні недогарки, частково чи повністю замінити глину. Введення до сировинної суміші техногенного компонента сприяє зниженню температури декарбонізації, прискоренню синтезу аліту, покращенню здатності клінкеру до розмелювання, отриманню інтенсивно твердіючого цементу.



Встановлено, що під дією деяких водорозчинних добавок відходи збагачення магнетитових руд твердіють. Залежно від виду і концентрації замішувача показники міцності матеріалу досягають 0,1...3,5 МПа. Найбільшу активність відходи проявляють при використанні розчинів гідроксиду, хлориду і сульфату натрію, рідинного скла. Вплив солевих і лужних замішувачів на в'язучі властивості відходів збагачення магнетитових руд суттєво підсилюється в присутності мінеральних компонентів, що активно взаємодіють з розчиненими у воді добавками. При використанні лужного замішувача такими мінеральними компонентами можуть бути шлаки, техногенні стекла й ін. Композиції з відходів збагачення руд, мінерального активізатора і лужного замішувача інтенсивно твердіють при тепловій обробці (пропарювання, сушіння). Міцність при стиску пропарених зразків досягає 40...70 МПа.

На основі дрібних фракцій шлаків збагачення залізної руди разом з меленим гранульованим шлаком отримують *безклінкерні шлакошлямові в'язучі*. Оптимальний вміст меленого гранульованого шлаку в ньому складає 40...60 % і залежить від мінералогічного складу кварцитових відходів і шлаку. Активність шлакошлямового в'язучого при нормальному твердінні через 28 діб досягає 10 МПа і більше. З нього можна виготовлювати будівельні розчини для закладення гірських виробіток при видобуванні руди. Ці в'язучі речовини можна використовувати в дорожньому будівництві.

Відсів базальтів, що отримують при виробництві щебеню, можна використовувати як залізомістку коригуючу добавку при випалюванні клінкеру. Вміст оксидів заліза в базальтах складає 15...17 %. Тому його кількість, що вводиться у сировинну суміш, в 2-3 рази більше ніж піритних недогарків. При цьому в шихті зменшується значна кількість глинистого компонента, що сприятливо впливає на енергоємність технологічного процесу, так як при сухому способі не потрібна висока тонкість помелу сировинної суміші, а при мокрому – на 1,5...2,5 % зменшується вологість шламу.

Введення базальту в обортову піч можливе у вигляді крупки при одночасній подачі меленої сировинної суміші з підвищеним коефіцієнтом насичення, а також у складі двокомпонентної немеленої суміші взаємні частини меленої сировини, що дозволяє підвищити продуктивність печі на 29...30 %. Можливість випалювання немелених дво – і трикомпонентних сировинних сумішей з базальтом доведена дослідженнями, які проводилися на Дніпродзержинському і Здолбунівському цементних заводах.

Температура випалювання клінкеру при заміні глинистого компонента базальтової породи знижується приблизно на 70 °С, відповідно на 10 % зменшується витрата палива. Клінкер з базальтомісткої сировинної суміші характеризується високим вмістом алюмоферитів кальцію, що надає цементам ряд цінних властивостей, таких як підвищена розмелюваність,



стійкість проти сульфатної агресії, знижене тепловиділення і підвищена міцність при згині.

Випробування досліджуваних цементів показало, що вони задовольняють вимогам до тампонажних цементів як для гарячих, так і для холодних свердловин. Для них характерні незначні деформації усадки і набухання, стійкість до впливу поперемінного зволоження і висихання.

Із сировинних сумішей з базальтом можна отримати і білітові цементи, що відрізняються пониженою температурою випалювання (1250...1300 °С). Додаткова активація таких в'язучих відбувається при введенні у сировинну суміш фосфогіпсу. При цьому усувається основний недолік білітових в'язучих – низька міцність у ранні строки твердіння. Низьковипалювальні *сульфобілітові цементи* набувають марочну міцність до 50 МПа.

До *в'язучих контактного твердіння*, для отримання яких можуть бути використані відходи гірничо-видобувної галузі промисловості, відносяться в'язучі контактнo-конденсаційного твердіння, петроцементи, геополімери. Всі ці в'язучі матеріали поки не знайшли широкого застосування, але є перспективними, оскільки їх технологія характеризується невисокими енергетичними витратами, досить проста і передбачає здатність твердіти і утворювати штучний камінь значної кількості дисперсних мінеральних матеріалів.

*В'язучі контактнo-конденсаційного твердіння*, запропоновані в Київському національному університеті будівництва і архітектури. Їх твердіння розглядається з позицій теорії конденсації, в основу якої покладена ідея про те, що дисперсні речовини внаслідок своєї енергетичної нестабільності мають конденсаційну властивість, яка зменшується по мірі зменшення вільної енергії цих речовин. Контактнo-конденсаційне твердіння як виявлення переходу дисперсної системи в каменеподібний стан характеризується рядом особливостей. Воно реалізується тільки у тих випадках, коли структура речовини є нестабільною і вона знаходиться в аморфному або субмікрокристалічному стані. Необхідною умовою контактного твердіння є достатня ступінь зближення мікрочастинок, що досягається пресуванням. Характерною ознакою контактів між дисперсними мікрочастинками є їх водостійкість і відновлюваність після руйнування при повторному зближенні.

Здатністю до контактнo-конденсаційного твердіння відрізняється велика група силікатних і алюмосилікатних речовин як природного, так і штучного походження, продукти їх гідратації і дегідратації, взаємодії гідроксидів лужних і лужноземельних металів з гранітом, базальтом, перлітом і ін. Тиск пресування при контактнo-конденсаційному твердінні може змінюватися в широких межах – від 20 до 1000 МПа і більше. Міцнісні характеристики контактнo-конденсаційних в'язучих знаходяться в діапазоні 40...60 МПа, а при великих значеннях тиску пресування можуть бути і більш високими.





З використанням мінеральних відходів розроблені технології виробництва цегли, плиток, елементів дорожнього покриття і інших виробів.

Низка тонкомелених гірських порід здатна твердіти у пресованому стані, особливо при введенні добавок-активаторів (лугів, шлаків, сульфатів й ін), такі композиції називають *петроцементами* або *геоцементами*.

В дослідях В.М.Юнга була показана можливість твердіння попередньо зволжених порошків таких гірських порід як серпентиніт, магнетит, кварцит, рогова обманка і ін. Порооди подрібнювали практично до повного проходження крізь сито 4900 отв./см<sup>2</sup>. У віці 28 діб зразки мали міцність біля 10 МПа, а при використанні добавок вапна і гіпсу – до 15 МПа. Твердіння дисперсних силікатних порід в тому числі і з добавками В.М.Юнг пояснював їх здатністю до утворення тонких поверхневих плівок гелеподібної гідратованої маси. На здатність до твердіння подрібнених мінеральних матеріалів позитивно впливають процеси механоактивації, що викликають збільшення значення поверхневої енергії за рахунок розриву міжатомних зв'язків і утворення нових поверхонь.

В табл. 6.2 наведені дані, отримані в Національному університеті водного господарства і природокористування при дослідженні міцності сульфато-активованих пресованих порошків граніту.

Таблиця 6.2  
**Залежність міцності сульфато-активованих гранітних порошків від вмісту добавки гіпсу**

Вміст добавки, %	Границя міцності при стиску, МПа							
	Вид добавки							
	Фосфогіпс				Гіпсовий камінь			
	2 години	1 доба	7 діб	28 діб	2 години	1 доба	7 діб	28 діб
0	3,4	4,6	5,9	6,2	-	-	-	-
2,5	8,7	12,2	15,5	15,8	8,2	13,8	15,8	15,7
5	11,2	16,3	26,0	26,5	11,3	16,9	26,4	26,5
10	13,8	22,1	32,5	34,9	13,2	22,0	29,7	32,0
20	14,6	22,9	38,0	40,7	13,7	24,3	37,1	38,2
30	16,3	23,8	40,3	41,5	16,0	25,0	39,1	39,3

**Примітка:** тиск пресування – 100 МПа.

В НДІ в'яжучих матеріалів Київського національного університету будівництва і архітектури розроблено ряд в'яжучих (геоцементів) і композиційних матеріалів на основі глинистих порід і метакаоліну з введенням лужних добавок. В Пензенському університеті будівництва і архітектури розроблено низьколужні (2...3 % лугів) змішані глиношлакові,





карбонатно-шлакові і опоко-шлакові в'язучі. Порівняно з шлаколужними вони дозволяють скоротити витрати шлаку в 1,5...2 рази і лужних активаторів в 2...3 рази.

Мелені гірські породи (кремнеземисті і глауконітові піщаники, чисті кварцові піски, халцедони, опали і ін.), що не твердіють з лужними добавками, при додатковому введенні до 25 % шлаку за нормальних умов досягають міцності при стиску в пресованих зразках 25...50 МПа. При нагріванні зразків до 200...250 °С їх міцність значно підвищується.

Можливість контактної і контактно-конденсаційної твердіння диспергованої мінеральної сировини відкриває перспективи отримання нових будівельних матеріалів за енергозберігаючими технологіями.

В цьому плані певний інтерес представляють будівельні матеріали на основі *кремнеземистих в'язучих суспензій* (КВС). Такі суспензії це висококонцентровані гідродисперсії кремнезему, які отримують мокрим диспергуванням кварцових пісків в типових кульових млинах за спеціальними технологічними режимами. Твердіння КВС відбувається за контактно-поліконденсаційним механізмом в процесі їх послідовного висушування при 100...120 °С.

На основі кремнеземистих в'язучих і вогнетривкого заповнювача розроблено новий клас безвипалювальних матеріалів – *керамобетони*.

Запропоновано промислове виробництво стінових виробів (цегли і каменів) на основі кремнеземистих в'язучих з добавкою 0,6...0,7 % рідинного скла. Вироби мають міцність при твердінні 10...15 МПа, морозостійкість 15...50 циклів.

**Автоклавні матеріали.** Гірські породи, які утворюються як побочні продукти і відходи збагачення гірничорудної і інших галузей промисловості, можуть бути широко використані у виробництві автоклавних будівельних матеріалів. Дослідження, проведені в останні роки, показали, що для виробництва автоклавних будівельних матеріалів доцільно використовувати не тільки кварцові піски, але й пісковики, суглинки, леси, деякі види глин, польовошпатові і глинисті піски, ряд інших гірських порід.

Перспективним джерелом сировини для підприємств по виробництву автоклавних будівельних матеріалів є відходи збагачення залізних й інших руд. Хоча ці породи мають, як правило, менший вміст кремнезему, ніж природні кварцові піски через наявність глинистих частинок і слюди, вони можуть бути придатними для отримання силікатної цегли, ніздрюватих бетонів й інших автоклавних матеріалів.

За попередніми оцінками відходи збагачення руд можна вважати придатними в якості активного заповнювача силікатної цегли при вмісті SiO<sub>2</sub> не менше 50 %. Для виготовлення ніздрюватих бетонів в якості кремнеземистого компоненту використовують тонкодисперсні відходи збагачення руд, що містять не менше 60 % SiO<sub>2</sub>, залізистих мінералів – не більше 20 %, сірчанних сполук в перерахунку на SO<sub>3</sub> – не більше 2 %,



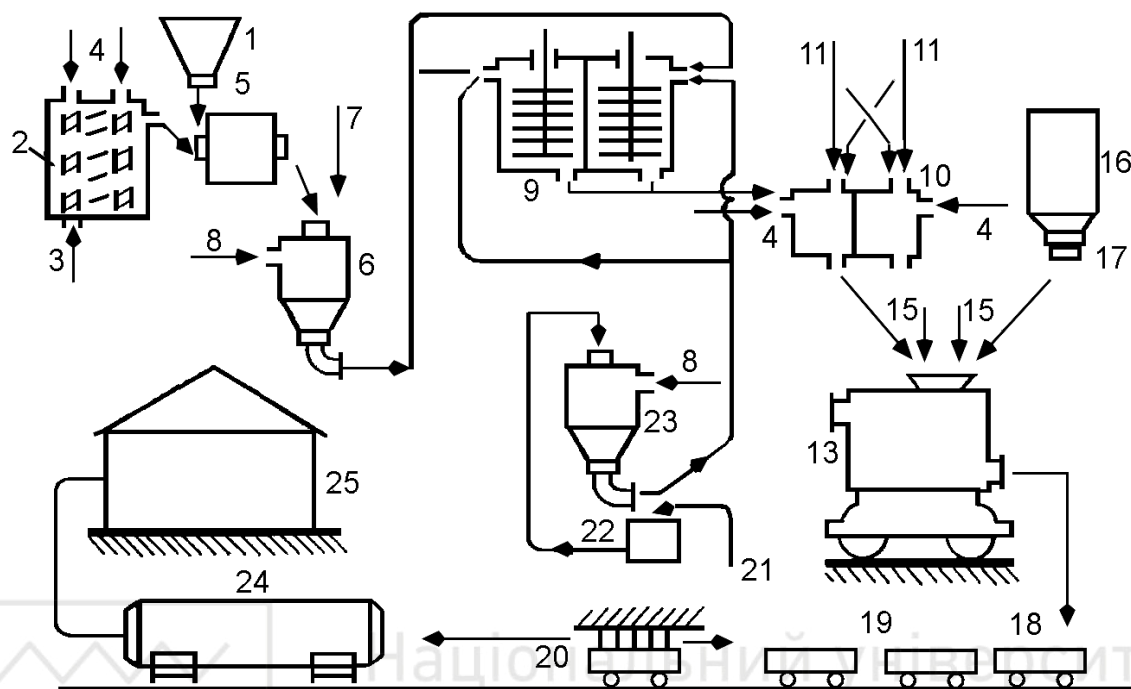
пиловидних глинистих частинок – не більше 3 %, слюди – не більше 0,5 %. Питома поверхня відходів збагачення руд в шламi для нiздрюватоґо бетону повинна бути 1500...2000; 2000...2300; 2300...2700 i 2700...3000 см<sup>2</sup>/г при середнiй густинi бетону вiдповiдно 800, 700, 600 i 500 кг/м<sup>3</sup>.

Встановлено, що залежнiсть мiцностi при стиску нiздрюватих бетонiв вiд концентрацiї вiдходiв збагачення залiзистих кварцитiв проходить через максимум при заміні 50...60 % пiску. Це дозволяє знизити середню густину нiздрюватоґо бетону, наприклад, з 700 до 600 кг/м<sup>3</sup> при збереженнi класу за мiцнiстю. При збiльшеннi вiмсту вiдходiв збагачення в кремнеземистому компонентi бiльше 60 %, спостерiгається зниження мiцностi нiздрюватоґо бетону i збiльшення густини незалежно вiд кiлькостi газотворювача.

Значно зменшити витрати на помел, спростити технологiю виробництва виробiв i зменшити їх вартiсть дозволяє використання вiдходiв збагачення, видалених iз збагачувальних фабрик у виглядi тонкодисперсних шламiв (рис.6.6). Так, при застосуваннi такого шламу комбiнатом "Кривбасбуд" виготовлялися панелi з *автоклавного газошламосилiкату* з границею мiцностi при стиску до 7 МПа при середнiй густинi 900 кг/м<sup>3</sup>. Нiздрювату сумiш виготовляли в пересувному самохiдному газобетонозмiшувачi. В якостi в'язучого використовували мелене негашене вапно з додавкою портландцементу. В газобетонозмiшувачi послiдовно перемiшували вiддозованi кiлькостi шламу, води, вапна i цементу. Алюмiнiєву пудру попередньо перемiшували з поверхнево-активними речовинами в пропелерному змiшувачi i подавали в газобетонозмiшувач у виглядi суспензiї.

Спучення сумiшi продовжувалось близько 30 хв. Пiсля 2-х годинного витримування форми переносили на машину для зрiзання "окрайця", потiм на вагонетки за допомогою електропередаточного мосту завантажували в автоклав. Пiсля автоклавної обробки виконували розвантаження автоклаву i розпалубку виробiв.

Для виробництва будiвельних матерiалiв можливо використання вiдходiв видобування i збагачення не тiльки залiзних, але й iнших руд. В Санкт-Петербурзькому будiвельному унiверситетi розроблена технологiя виготовлення рiзноманiтних будiвельних *матерiалiв на основi титаномагнетитових порiд*. В тонкомеленому виглядi цi породи надiленi слабкою гiдравлiчною активнiстю, а пiсля автоклавної обробки з них можна отримати вироби високої мiцностi. На основi вiдходiв збагачення титаномагнетитових руд в композицiї з вапном отриманi в'язучi з мiцнiстю при стиску при зберiганнi в нормальних умовах 7...10 МПа, а пiсля запарювання – 30...35 МПа, i на їх основi автоклавний газобетон з середньою густиною 600...1000 кг/м<sup>3</sup> i мiцнiстю 6,5...10,5 МПа.



**Рис. 6.6.** Схема виробництва ніздрюватих виробів з відвальних відходів:

1- бункер піску ("хвостів"); 2 – бак для підігріву води; 3 – подача холодної води; 4- подача пари; 5 – кульовий млин; 6 – збірник шламу; 7 – подача немелених "хвостів"; 8 – подача стисненого повітря; 9 – шлам-басейни; 10 – об'ємні дозатори шламу; 11 – подача гарячої води; 12 – подача "хвостової" пульпи; 13 – пересувний газобетонозмішувач; 14 – відстійники для пульпи; 15 – подача алюмінієвої пудри; 16 – бункер цементу; 17 – ваговий дозатор; 18 – вагон з формами; 19 – витримування виробів у формах; 20 – зрізання "окрайця"; 21 – подача відходів від зрізання; 22 – змішувач для відходів; 23 – збірник для відходів; 24 – автоклав; 25 – склад готової продукції

Встановлена також можливість використання для виробництва багатьох видів місцевих будівельних матеріалів відходів, що утворюються при флотації *алунітових руд*. Їх доцільно використовувати в якості дрібнозернистої добавки до шихти при виробництві силікатної цегли, а також деяких інших будівельних матеріалів.

Розроблена технологія отримання автоклавних матеріалів типу *азбестоцементу* з *азбестових відходів*. Термічно оброблені при 700...900 °С відходи азбестових збагачувальних фабрик частково чи повністю замінюють в таких матеріалах портландцемент. Для отримання виробів азбестові відходи після випалювання і помелу до залишку на ситі № 008 не більше 10 % змішують з попередньо розпушеним азбестом і водою. З отриманої пульпи формують і викроюють листи, які після цього направляють на автоклавну обробку. Міцність при згині пресованих виробів через добу досягає 23 МПа,



а через рік – 31 МПа при середній густині 1600...1800 кг/м<sup>3</sup> і водопоглинанні 16...24 %. Особливостями матеріалу з азбестових відходів є висока корозійна стійкість і жаростійкість.

## 6.5. ЗАСТОСУВАННЯ ВІДХОДІВ ВИРОБНИЦТВА БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

**Утилізація цементного пилу.** Основним напрямком утилізації пилу, що утворюється при випалюванні цементного клінкеру в обертових печах, є використання його в самому процесі виробництва цементу. Пил з пилоосаджуючих камер повертається в обортову піч разом зі шламом. Основна ж кількість пилу уловлюється в електрофільтрах. Цей пил має високу дисперсність і містить підвищену кількість вільного оксиду кальцію, лугів і сірчаного ангідриду. Додаток 5...15 % пилу до сировинного шламу викликає його коагуляцію і зменшення текучості. При підвищеному вмісту в ньому лужних оксидів знижується якість клінкеру.

Зараз на цементних заводах з мокрим способом виробництва використовуються різноманітні способи повернення пилу в піч. Для запобігання заростанню труб, замазуванню ланцюгів і утворенню шламових кілець пил можна вводити у вигляді пульпи. Вологість шламу ефективно знижується за рахунок розріджувачів.

В гранульованому і негранульованому вигляді пил вводять за ланцюгову завісу печі (рис. 6.7), усуваючи його негативну дію на шлам. При використанні беззолного палива і відносно невеликій кількості пилу (8...10 %) його можна повертати до печі вдуванням в зону спікання з "гарячого" кінця печі. На крупних заводах є доцільним випалювання всього уловленого пилу в окремій обертовій печі.

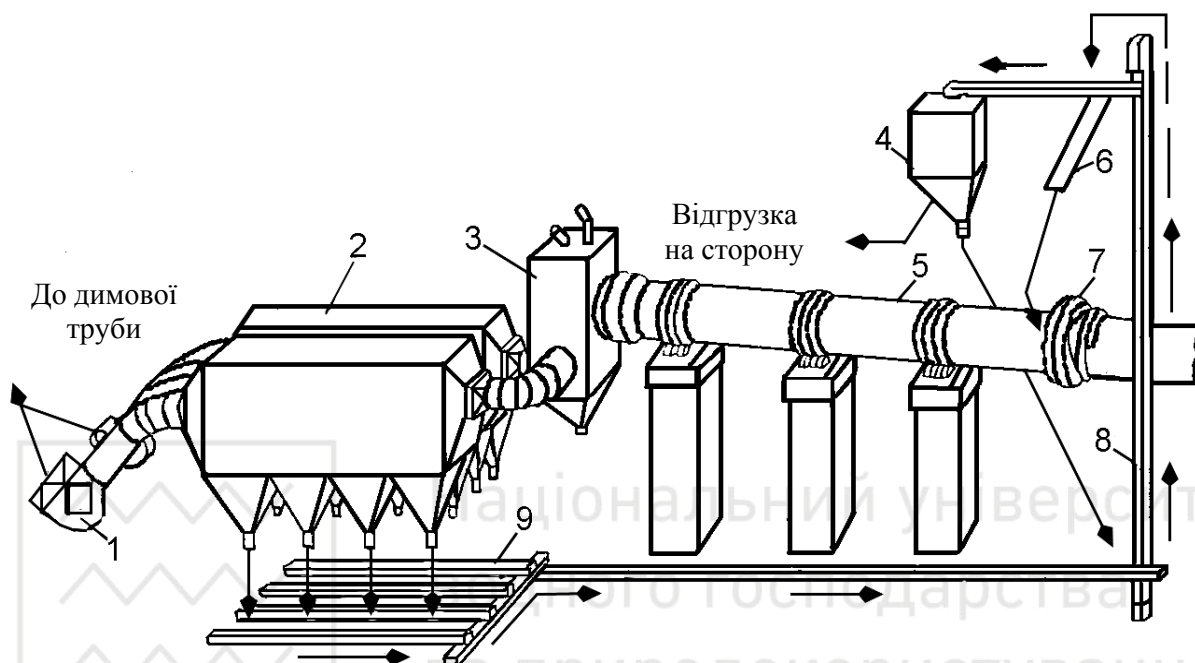
Пил, уловлений електрофільтрами обертових печей, може бути основним компонентом різноманітних змішаних в'язучих. Його активізують добавками портландцементного клінкеру, гіпсу і доменних гранульованих шлаків. Для активного проявлення в'язучих властивостей в композиціях пилу з гіпсом, шлаком і іншими добавками, він повинен містити достатню кількість вільного оксиду кальцію і клінкерних мінералів.

Компоненти, що входять до складу цементного пилу, в умовах автоклавної обробки реагують з кремнеземом, утворюючи гідросилікати і гідроалюмосилікати. Це дозволяє частково або повністю замінити вапно у виробництві силікатної цегли і бетонів, що значно підвищує їх міцність. Використання цементного пилу ефективно і при виготовленні ніздрюватих силікатних бетонів. Для запобігання нерівномірності зміни об'єму силікатні матеріали з сумішшю, що містять цементний пил, виробляють за гідратною схемою з примусовим гашенням чи з тривалим вилежуванням пилу до повної гідrataції оксиду кальцію.

Кількість лужних оксидів в пилу для виробництва в'язучих вапняно-шлакового і вапняно-пуцоланового типу повинна складати не більше 2...4 %.



Високолушний пиломатеріал можна використовувати як калійне добриво і як добавку у виробництві електротехнічного фарфору. Одним з найбільш раціональних напрямів використання високолушного пиломатеріалу є виготовлення на його основі шлаколушних (*пилошлакових*) в'язучих.



**Рис. 6.7.** Схема подавання цементного пиломатеріалу до печі в негранульованому вигляді:

- 1 – димосос; 2 – електрофільтр; 3 – пилоосаджувальна камера;  
4 – бункер для пиломатеріалу; 5 – обертова піч; 6 – живильний шнек; 7 – кільцевий живильник; 8 – елеватор; 9 – шнеки транспорту пиломатеріалу

Вміст лужних оксидів в пиломатеріалі різних заводів не однаковий. Вони зв'язані у вигляді лужних сульфатів, хлоридів, карбонатів. Кількість лужних сполук збільшується зі зростанням дисперсності пиломатеріалу. Найбільш високі показники міцності мають шлаколушні в'язучі при співвідношенні основного доменного гранульованого шлаку і лужного пиломатеріалу 3:1. При цьому питома поверхня шлаку повинна складати біля 3000, пиломатеріалу – до 9000 см<sup>2</sup>/г. Найбільшою активізуючою дією наділені лужні карбонати, найменшою – сульфати. Вплив лужних карбонатів зменшується із зростанням вмісту в пиломатеріалі сульфату кальцію.

Пилошлакові в'язучі характеризуються наступними особливостями: ріст їх активності прямопропорційний концентрації лугів; вони мають високу міцність на згин і низьку водопотребу. На основі цих в'язучих можна отримати бетони з широким діапазоном марок за міцністю, морозостійкістю і водонепроникністю, що мають високе зчеплення з арматурою і надійно захищають її від корозії. В бетонах на пилошлакових в'язучих можуть використовуватися як звичайні, так і дисперсні заповнювачі.





Висока дисперсність пилу дозволяє використовувати його в якості порошкоподібного *наповнювача асфальтових бетонів*. Мінеральний порошок сумісно з бітумом утворює асфальтову в'язучу речовину, яка в значній мірі обумовлює міцність асфальтових бетонів, їх щільність і теплостійкість. Якість пилу, як мінерального порошку, знижується зі збільшенням вмісту в ньому водорозчинних сполук. Слід враховувати також високу внутрішню пористість цементного пилу, що викликає прискорення старіння асфальтових сумішей і погіршення їхньої деформативної здатності внаслідок вибіркової адсорбції масел і смол на внутрішній поверхні пор.

**Матеріали із азбестоцементних відходів.** При виробництві азбестоцементних виробів утворюються відходи у вигляді вологої суміші азбесту і цементу, яка осідає у відстійниках при очищенні води, а також браку виробів, обрізків і стружки, що отримуються при їх механічній обробці.

Кількість сухих відходів складає 2,6...4 % маси виробів, що виготовляються. Об'єм вологих відходів у перерахунку на суху речовину досягає 1,5-2 % маси сировини.

Найбільш доцільно повертати відходи в основне виробництво. Вологі азбестоцементні відходи з великим вмістом води (до 300 % за масою) необхідно повертати в технологічний процес якомога швидше після завершення фільтрації, щоб ефективніше використовувати негідратовану частину цементу.

Сухі азбестоцементні відходи можна вводити в азбестоцементну суспензію лише після подрібнення і помелу. Через відсутність спеціального обладнання, енерго- і трудомісткість помелу відходів така технологія в азбестоцементному виробництві використовується рідко. Властивості матеріалів на основі азбестоцементних відходів в значній мірі залежать від їх підготовки до введення в технологічний процес.

Вологі і мелені сухі азбестоцементні відходи мають високу питому поверхню, що є причиною підвищення водопотреби матеріалів, отриманих на їх основі. Тому для виготовлення будівельних матеріалів з необхідними фізико-механічними характеристиками доводиться використовувати жорсткі суміші і вдаватися до інтенсивних методів ущільнення, в тому числі пресування. Тиск пресування має бути в межах 30-50 МПа. Однак таким чином доцільно виготовляти лише невеликі за розмірами вироби – плити, цеглу, стінові камені й ін.

Азбестоцементні відходи містять велику кількість гідратованих цементних мінералів і азбесту. При випалюванні вони набувають в'язучих властивостей в результаті зневоднення гідратних складових цементу і азбесту. Оптимальна температура випалювання 600...700 °С. В цьому температурному діапазоні завершується дегідратація гідросилікатів, розкладається азбест і утворюється ряд мінералів, які здатні до гідравлічного твердіння.



В'яжучі з вираженою активністю можна отримати змішуванням термічно оброблених азбестоцементних відходів з металургійним шлаком і гіпсом при вмісті азбестоцементних відходів 40...50 %, 50...60% шлаку і 5 % гіпсу. Активність в'яжучої речовини після 28-днів водного твердіння досягає 20...25 МПа. Значне підвищення міцності матеріалів спостерігається при введенні добавок інших кремнеземистих компонентів в результаті реакції пуцоланізації. Відомо, що така реакція найбільш інтенсивно протікає при температурі 174...200 °С і тиску насиченої пари 0,8...1,5 МПа.

З азбестових відходів виготовляють *облицювальні плитки і плитки для підлоги*. Тверді сухі відходи подрібнюють і піддають помелу, а потім змішують з портландцементом (15...20 %) і зволожують до 10...12 %. Фактурний шар виготовляють у вигляді азбестоцементної пасти на основі білого або кольорового портландцементу. Плитки розміром 150×150 та 600×300 мм і товщиною 8 мм формують у прес-формах з підкладками із плексигласу або хромованої сталі. Вироби з напівсухої маси формують при питомому тиску 1,5...2,5 МПа. Затверділі плитки мають міцність на згин не менше 10 МПа і водопоглинання не більше 22 %.

Масу для формування плиток можна отримати також змішуванням мокрих (70 %) та мелених сухих (20 %) азбестоцементних відходів з добавкою 10 % портландцементу. Розроблена технологія формування плит із маси, що містить 60...80 % мокрих азбестоцементних відходів, 20...30 % глини і 15...20 % бітуму, шляхом пресування їх під тиском 1,5...2 МПа. Такі вироби мають середню густину 350...410 кг/м<sup>3</sup>, міцність при згині 0,06...0,15 МПа та при стиску 0,12...0,32 МПа.

Облицювальні плитки середньою густиною 500...600 кг/м<sup>3</sup> і міцністю на згин 5 МПа і більше отримують пресуванням азбестоцементних відходів з добавкою полімерів резольного типу (фенолформальдегідних, сечовиноформальдегідних).

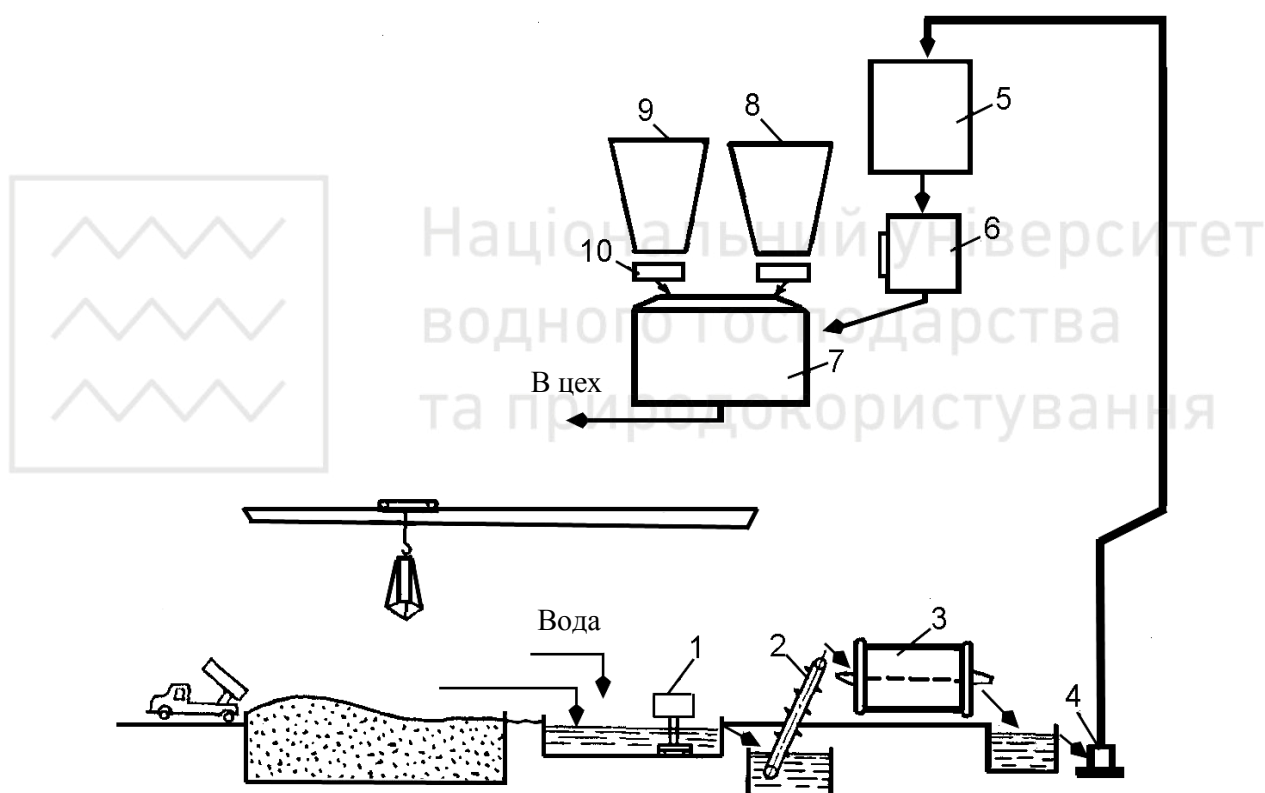
Облицювальні плитки можуть бути отримані на основі суміші висушених та подрібнених азбестоцементних відходів (70...74 %) і розчину рідинного скла густиною 1,1...1,15 г/см<sup>3</sup> шляхом пресування маси при тиску 4...5 МПа. В сухому стані ці плитки мають середню густину 1380...1410 кг/м<sup>3</sup>, міцність при згині 6,5...7 МПа, при стиску – 12...16 МПа, коефіцієнт розм'якшення – 0,8, сорбційну вологість – 3,9...5 %.

За однією з технологій, відходи підсушують і подрібнюють до отримання фракції не більше 20 мм. Потім їх змішують з водою і в'яжучим в бетонозмішувачі примусової дії. Отриману масу вкладають у форми і ущільнюють методом вібрації. Теплова обробка відформованих плит відбувається протягом 18...20 год при температурі, яка підбирається дослідним шляхом залежно від виду в'яжучого, що використовується. Вироби набирають необхідну міцність при обмеженій вологості (не більше 10 %) при твердінні в природних умовах або при сушінні в сушарках. Теплова обробка плит здійснюється в кільцевих індукційних



електросушарках на вагонетках. Середня густина плит в сухому стані складає  $500 \text{ кг/м}^3$ , міцність при стиску - не менше  $0,6 \text{ МПа}$ , коефіцієнт теплопровідності - не більше  $0,0897 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{C}$ .

Розроблені композиції на основі азбестоцементних відходів і легких органічних матеріалів – костриці льону і тирси. Експериментально встановлено, що суміш вологих відходів із меленою кострицею добре формується різноманітними способами (пресуванням, трамбуванням, вібруванням), відформовані зразки мають міцність, достатню для швидкого звільнення з форм. Крім того, матеріал твердіє самостійно і не потребує введення спеціальної в'язучої речовини.



**Рис. 6.8.** Схема виробництва легкого дрібнозернистого бетону з використанням "мокрих" відходів виробництва азбестоцементних виробів:

- 1 – змішувач; 2 – елеватор; 3 – млин; 4 – насос для розчину;  
5 – проміжний бункер; 6 – дозатор; 7 – бетонозмішувач; 8 – бункер з піском; 9 – бункер з цементом; 10 - дозатор

З відходів азбестоцементного виробництва виготовляють теплоізоляційні матеріали. Вироби у вигляді плит, сегментів і шкаралуп отримують з подрібнених відходів з додавкою вапна, гіпсу і піску. Теплоізоляційні матеріали можна отримувати також із сумішей азбестоцементних відходів, цементу, рідинного скла і інших в'язучих при введенні в суміші газо- і



піноутворювачів. Так, газобетон на основі в'язучих з азбестоцементних відходів має міцність при стиску 1,9...2,4 МПа і середню густину 370...420 кг/м<sup>3</sup>.

Азбестоцементні відходи можна використовувати як наповнювачі теплих штукатурок і асфальтових бетонів з високою ударною в'язкістю.

Запропоновано використовувати "мокрі" відходи виробництва азбестоцементних виробів в легких дрібнозернистих бетонах для підлог житлових, громадських і інших будівель замість легких поризованих дрібнозернистих бетонів. Технологічна схема виробництва легкого дрібнозернистого бетону з використанням "мокрих" відходів наведена на рис.6.8. Відходи, що постачаються з відвалів, подають за допомогою грейфера в шламбасейн, де пересувним змішувачем їх перемішують з водою. Для отримання однорідної маси здійснюють мокрий помел відходів протягом 5...6 хв. Після помелу відходи у вигляді пульпи мають середню густину 1075...1080 кг/м<sup>3</sup>. Пульпа насосом для розчину через дозатор подається у змішувач, куди дозуються також цемент і пісок. Готову бетонну суміш транспортують до місця укладання таким же чином, як і звичайні будівельні розчини.

Склади легких дрібнозернистих бетонів наведені в табл.6.3.

Таблиця 6.3  
**Склади легких бетонів отриманих з використанням азбестоцементних відходів**

Склад бетону	Марка легкого бетону за середньою густиною, кг/м <sup>3</sup>			
	800	1200	1400	1500
Портландцемент М500, кг/м <sup>3</sup>	400	420	450	480
Кварцовий пісок, кг/м <sup>3</sup>	800	570	760	820
"Мокрі" відходи, л/м <sup>3</sup>	-	410	330	280
Вода, л/м <sup>3</sup>	700	560	480	440

Показники основних фізико-механічних властивостей легких дрібнозернистих бетонів залежно від їх марок за густиною наведені в табл.6.4.

Для запобігання виникнення усадочних тріщин на поверхні основи підлоги, витрата води повинна бути такою, щоб рухливість дрібнозернистої бетонної суміші була не більше 12 см за стандартним конусом.

Роботами, які виконані у Київському національному університеті будівництва і архітектури, встановлено, що дисперсні азбестоцементні відходи, що містять продукти гідратації портландцементу, здатні конденсуватися в каменеподібний міцний стан при зближенні частинок до



відстані, на який діють сили взаємного тяжіння. Це явище отримало назву "ефект впорядкування структури силікатних речовин" і реалізовано при створенні ряду матеріалів контактного твердіння. Оскільки основний компонент азбестоцементних відходів представлений продуктами гідратації портландцементу, які мають контактено-конденсаційні властивості, це відкриває можливість їх використання для отримання матеріалів різноманітного призначення. Наявність тонкодисперсного азбесту має позитивний вплив на фізико-механічні характеристики конденсованого каменю.

Таблиця 6.4

#### Властивості легких бетонів з використанням азбестоцементних відходів

Показники	Марка легкого бетону за середньою густиною, кг/м <sup>3</sup>			
	800	1200	1400	1500
Границя міцності при стиску у віці 28 діб, МПа	1	5	8	11
Теплопровідність, Вт/(м °С)	0,11	0,34	0,44	0,5

Азбестоцементні відходи у поєднанні з вапном і кремнеземистим компонентом, можуть бути сировиною для отримання теплоізоляційних автоклавних матеріалів. Використання їх можливе також в якості емульгатора і наповнювача холодних асфальтових мастик. Рациональний склад мастики, кг/т: бітум – 350, вода – 450, азбестоцементні відходи – 200. Отримання мастик і нанесення їх на поверхню може здійснюватися у змішувачах і агрегатах, що застосовуються для виготовлення, транспортування і нанесення штукатурних розчинів.

Із сумішею азбестоцементних відходів і різноманітних в'язучих речовин можливе виготовлення легких облицювальних виробів.

Мелені відходи затверділого азбестоцементу можуть використовуватися як кристалізаційні добавки, особливо в умовах автоклавного твердіння виробів. При введенні їх до складу бетонних сумішей в кількості 6...8 % від маси цементу міцність автоклавних матеріалів на стиск і згин підвищується на 22...40 %.

Новий напрямок утилізації азбестоцементних відходів – це їх застосування при виготовленні екструзійних погонажних виробів.

Відходом азбестоцементного виробництва є також паперові мішки з-під азбесту, маса яких складає біля 0,8 % від його кількості, що споживається. Освоєна технологія переробки мішків і введення отриманого вторинного целюлозно-паперового волокна (3...5 % маси азбесту) в сировинну суміш для отримання волокнистих покрівельних листів. При цьому на 10...15 % збільшується їх ударна в'язкість.

Паперові мішки розмелюють протягом 15...20 хв у гідророзбивачі, куди їх завантажують у співвідношенні 60...75 кг на 2,5 м<sup>3</sup> води. Отриману пульпу з





концентрацією 2,5...3 % через буферний бункер і об'ємний дозатор насосом подають в турбозмішувач для змішування з азбестовою суспензією до завантаження цементу. Далі технологічний процес практично не відрізняється від звичайного процесу виробництва азбестоцементних виробів.

**Матеріали зі скляних, мінераловатних і керамічних відходів.** Основним напрямком утилізації *скляного бою* є повернення його в технологічний процес виробництва скла.

Перед подачею до скловарної печі склобій звільняється від металічних включень, оброблюється у мийному барабані і сортується. Собівартість скломаси зі склобою значно менше, ніж при використанні кварцового піску.

Склобій може використовуватися з метою економії сировинних матеріалів шихти при виробництві штапельного тепло- і звукоізоляційного скловолокна. Використання 1 тис.т. склобою у виробництві скловиробів дозволяє економити 1,25 тис.т. кондиційної сировини.

З відходів листового віконного скла отримують *скляну емальовану плитку*. При цьому скло ріжуть на плитки розміром 150×150 або 150×75 мм, покривають емаллю і направляють у піч. Емаль виготовлюють з титанових руд з добавкою керамічних фарб. При температурі 750...800 °С емаль розплавляється і спікається з поверхнею скла.

З порошку склобою з добавками газоутворювачів шляхом спікання при 800...900 °С отримують один з найбільш ефективних теплоізоляційних матеріалів – *газоскло (піноскло, вспінене скло, ніздрювате скло)*. Плити і блоки з газоскла мають середню густину 100...300 кг/м<sup>3</sup>, теплопровідність – 0,09...0,1 Вт/(м<sup>0</sup>С) і границю міцності при стиску – 0,5...3 МПа. При однаковій середній густині газоскло майже в 3 рази міцніше ніздрюватого бетону. Воно добре пилиться, свердлиться і шліфується, має високу водо- і морозостійкість. Для газоскла звичайного складу температуростійкість складає 300...400 °С, а для безлужного – 800...1000 °С. Цей матеріал можна використовувати як теплоізоляційний для теплових мереж при їх безканалному прокладенні, в конструкціях холодильників, судах-рефрижераторах, хімічних фільтрах.

На основі бою тарного і будівельного скла розроблено новий вид пористого заповнювача – *гранульоване газоскло*. Витрати умовного палива на виробництво 1 м<sup>3</sup> цього матеріалу складають приблизно 60 кг, що майже в 2 рази менше, ніж на виробництво керамзиту. Технологічний процес виробництва гранульованого газоскла полягає в наступному. Склобій промивають, видаляють з нього металічні включення, подрібнюють до частинок не більше 25 мм, а потім направляють на сумісний помел і перемішування з газоутворювачем і карбоксиметилцелюлозою. Помел відбувається до питомої поверхні 5000 см<sup>2</sup>/г. Тонкомелену сировинну суміш зволожують в двовальному лопатевому змішувачі до вологості 10...12 % і гранулюють на тарілчастому грануляторі, куди додатково подають воду.



Кінцева вологість суміші, що гранулюється, 23...25 %. Після грануляції суміш потрапляє на вібросито, де відбувається відділення гранул розміром більше 15 і менше 5 мм. Нестандартні гранули по конвеєру повертаються у двовальний лопатевий змішувач. Сирі сирцеві гранули розміром 5...15 мм стрічковим живильником подаються у короткий обертовий барабан для покриття вогнетривким порошком. і на конвеєрну стрічкову сушку, де відбувається їх сушіння і зміцнення. Температура в конвеєрній стрічковій сушарці повинна бути 150 °С. Висушені сирцеві гранули за допомогою тарілчастого живильника подаються до обертової печі для спінювання і випалювання. Випалювання відбувається при температурі 750...800 °С і тривалості перебування гранул у печі 7...9 хв. Випалені гранули направляються у піч для відпалювання і охолодження. При необхідності здійснюється фракціонування гранул на віброситі.

Основні властивості гранульованого газоскла: насипна густина 150...220 кг/м<sup>3</sup>; границя міцності при стиску у циліндрі 0,6...1,1 МПа; мінімальний розмір гранул 10 мм, максимальний – 30 мм; водопоглинання через 24 год – 5 %; теплопровідність в насипному стані 0,067...0,072 Вт/(м<sup>0</sup>С). Газоскло морозо-, водо- і біостійке, не піддається силікатному, залістому і вапняному розпадам. Воно може бути використане замість керамзитового гравію для виробництва теплоізоляційних плит, які використовують для покриття виробничих будівель, овочесховищ і інших приміщень. Гранульоване газоскло може бути використане також як наповнювач пінопластів.

Деякими підприємствами освоєне виробництво декоративних матеріалів типу *склокремнезиту*, що отримують на основі використання практично усіх видів склобою і кремнеземистих відходів виробництва.

В табл. 6.5 наведені властивості склокремнезиту та деяких інших склокристалічних опоряджувальних матеріалів.

Склокремнезит це тришаровий плитковий матеріал, нижній шар якого складається з омоноліченого кварцового піску з розвиненою шорсткою поверхнею; середній – із суміші кварцового піску і склобою, який при термообробці перетворюється в частково закристалізований склоподібний матеріал; верхній лицьовий шар, який піддають вогневій поліровці, отримують з кольорового склобою з різноманітними добавками – оксидами металів.

Поряд з кварцовим піском і склобоем до складу суміші для середнього шару можуть бути введенні інші кремнеземисті відходи промисловості (золи, шлаки і ін.).

На основі склобою розроблена технологія безцементного *склобетону*, що відрізняється високою стійкістю до дії кислот і лугів. Технологія його отримання включає помел сировини, виготовлення сировинної суміші, формування і автоклавну обробку.



**Фізико-механічні властивості склокремнезиту  
і інших склокристалічних матеріалів**

Найменування показників	Склокремнезит	Склокристалічний мармур	Шлакоситал
Міцність, МПа			
при стиску	26...30	200...300	500...650
при згині	10...20	40...60	65...90
Водопоглинання, %	0,8...1,5	0	0
Опір стиранню, г/см <sup>2</sup>	0,02...0,09	0,02...0,08	0,02
Ударна в'язкість, кДж/кг	1,2...1,5	2,5...4	-
Температурний коефіцієнт лінійного термічного розширення, °С <sup>-1</sup>	85...100	60...75	72...75
Морозостійкість, цикли, більше	150	100	150
Середня густина, кг/м <sup>3</sup>	2200	2500	2600...2750
Міцність на відрив, МПа	0,9...1,0	0,6...0,7	-

В процесі автоклавної обробки таких бетонів утворюється цементуюча зв'язка, що містить низькоосновні лужні гідросилікати,  $\beta$ -кварц і кристобаліт. Активність скляного в'язучого автоклавного твердіння суттєво зростає при зменшенні водов'язучого відношення і збільшенні питомої поверхні. Найбільш раціональним є помел склобою до питомої поверхні 4000...4500 см<sup>2</sup>/г. В табл. 6.6 наведені показники основних фізико-механічних властивостей різноманітних видів бетону на основі склобою.

В суміші з пластичними глинами скляний бій може бути основним компонентом керамічних мас. Вироби з таких мас виготовляють за напівсухою технологією, їх відрізняє висока механічна міцність. Введення скляного бою у керамічну масу знижує температуру випалювання і підвищує продуктивність печей.

Виготовляють *склокерамічні плитки* з шихти, що містить 10...70 % бою скла, подрібненого у кульовому млині. Масу зволожують до 5...7 %. Плитки пресують, сушать і випалюють при 750...1000 °С. Водопоглинання плиток складає не більше 6 %, морозостійкість – більше 50 циклів.

Бите скло використовують також як декоративний матеріал в кольорових штукатурках, а мелені скляні відходи можна використовувати як присипку по



масляній фарбі, абразив – для виготовлення наждачного паперу і як компонент глазури.

Таблиця 6.6

**Основні фізико-механічні характеристики бетонів на основі склобою**

Найменування показників	Дрібнозернистий склобетон (заповнювач кварцовий пісок)	Опоряджувальний склобетон	Легкий склобетон (заповнювач керамзит)	Безцементний склогазобетон
Середня густина, кг/м <sup>3</sup>	1900...2100	2000...2100	1100...1300	700...800
Міцність, МПа при стиску	40...45	40...50	15...20	5...7
при згині	7,5...9,0	7,0...9,0	-	-
Водопоглинання, % за масою	3...5	4...6	6...8	-
Стираність, г/см <sup>2</sup>	0,4	-	-	-
Морозостійкість, цикли, більше	250	200	150	50
Лугостійкість, %	-	0,96	-	-
Кислотостійкість, %	-	0,94	-	-

У керамічному виробництві відходи виникають на різноманітних стадіях технологічного процесу. Сушильний брак після помелу може бути добавкою для зниження вологості вихідної шихти. Бій глиняної цегли використовується після подрібнення як щебінь в загальнобудівельних роботах і при виготовленні бетону.

*Цегляний щебінь* має насипну густину 800...900 кг/м<sup>3</sup>, при його використанні можна отримати бетони з середньою густиною 1800...2000 кг/м<sup>3</sup>, тобто на 20 % легше, ніж на звичайних важких заповнювачах. Використання цегляного щебеню ефективно для виготовлення крупнопористих бетонних блоків з середньою густиною до 1400 кг/м<sup>3</sup>.

У виробництві фасадної кераміки, облицювальних фаянсових, санітарно-будівельних виробів бій використовують у складі керамічних шихт як шамот для збагачення мас і покращення властивостей готової продукції.



Значна кількість відходів у вигляді недопалу утворюється при отриманні аглопориту. Недопал повертають на випалювальні машини, що сприяє підвищенню газопроникності шихти, а також покращенню процесу агломерації структури аглопориту і його якості.

Відходи у вигляді пилу утворюються при випалюванні керамзитового гравію. Цей пил може використовуватися як спіснювальний компонент керамічних мас. При замішуванні керамзитового пилу лужними розчинами, він як і інші алюмосилікатні матеріали, набуває здатності твердіти і утворювати штучний камінь, що може бути використане при отриманні будівельних виробів.

В промисловості мінераловатного виробництва утворюється значна кількість відходів у вигляді "корольків" і некондиційного мінерального волокна. Ці відходи в значній мірі утилізуються поверненням їх у піч для отримання мінерального розплаву, що дозволяє знизити питому витрату сировини на 15...20 %. Значна частина відходів направляється у відвали.

*Відходи мінераловатного виробництва* мають хімічний склад, % мас.: SiO<sub>2</sub> - 42...45, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 12,5...14, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 10...13, CaO - 22...25, TiO<sub>2</sub> - 0,8...0,9, MgO - 3,5...3,9, Na<sub>2</sub>O - 1,8...2,0, K<sub>2</sub>O - 1,2...1,3.

Цей вид відходів можна використовувати для отримання стінових блоків. Стосовно бетонів на відходах виробництва базальтової вати, експериментально встановлено, що найбільш ефективно використовувати гіпсовміщуючі в'язучі. Це обумовлено їхньою здатністю забезпечувати щільні контактні структури зі скловидним заповнювачем. Скловидна структура поверхні "королька" є причиною низької міцності бетонів на цементному в'язучому.

З метою підвищення міцності бетону досліджено дію наповнення бетонної суміші дрібнодисперсними компонентами. В якості наповнювача використовувалися базальтовий пил-виносу – відходи подрібнення базальтової породи і цементний пил. В бетонах на відходах мінераловатного виробництва введення наповнювача не лише покращує мікроструктуру цементного каменю за рахунок розсунення зерен цементу, але й підвищує зчеплення новоутворень із заповнювачем. Базальтовий пил-виносу, маючи хімічну подібність із заповнювачем, забезпечує адгезію цементного в'язучого до склофази, зменшує об'ємну деформацію і напруження на границі поверхні заповнювача і цементного каменю. Цементний пил печей містить розчинні луги, які хімічно взаємодіють з поверхнею склофази заповнювача з утворенням сполук, що сприяють зчепленню з цементним каменем в ранні і пізні строки твердіння бетону.

Скловидні відходи мінераловатного виробництва після подрібнення мають здатність твердіти при замішуванні лужним розчином. На основі таких в'язучих і різноманітних заповнювачів, в тому числі отриманих з відходів мінераловатного виробництва, можна також виготовляти стінові, теплоізоляційні і інші вироби.





## 7. МАТЕРІАЛИ З ВІДХОДІВ СПОЖИВАННЯ ТА МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

### 7.1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВІДХОДІВ

До відходів споживання та міського господарства відносяться тверді побутові відходи, відходи від руйнування старих будинків, споруд і дорожніх покриттів, будівельне сміття, зношені шини, макулатура, ганчір'я, склобій. Зростання обсягу твердих побутових відходів у різних країнах становить від 3 до 10% у рік.

Тверді побутові відходи в середньому містять до 40% макулатури, 3...5% чорних металів, 25...40% харчових відходів, 1...2% пластмас, 4...6% текстилю, до 4% скла.

*Будівельні відходи* складаються з важкого і легкого бетону та залізобетону, цегли, кам'яних матеріалів, утеплювачів, гіпсобетону, деревини, картону, паперу, полімерних матеріалів, будівельних розчинів, бітуму, асфальту, засміченого ґрунту і т.п. Щорічні відходи тільки від розбирання фасадів, балконів, карнизів, рулонної покрівлі, доріг, мостів та інших споруд і конструкцій досягають 10% обсягу всіх побутових відходів.

В останні роки стала актуальною проблема вторинного використання бетонних і залізобетонних конструкцій будівель та споруд, що зносяться або реконструюються. Виконані дослідження і практичний досвід показали, що подрібнений бетон некондиційних виробів і неминучі відходи на будівельному майданчику з успіхом можуть бути застосовані як заповнювачі.

Раціональному використанню ресурсів, необхідних для будівництва і ремонту доріг у містах та інших населених пунктах, сприяє регенерування і повторне застосування асфальтового бетону.

*Макулатура* представлена використаною картонно-паперовою продукцією – пакувальними матеріалами, папером промислового призначення, поліграфічним і гігієнічним папером.

*Відходи полімерних матеріалів* можна розділити на три групи: технологічні, виробничого та побутового використання пластмас.

Технологічні відходи утворюються при синтезі полімерів та переробці пластмас. Їх частка становить до 35 % усієї полімерної сировини, що переробляється. За своїми властивостями вони не відрізняються від вихідних полімерних матеріалів і використовуються, як правило, на тих же підприємствах, де й утворюються.

Відходи виробничого та побутового використання пластмас накопичуються при виході з експлуатації полімерних матеріалів. До групи відходів виробничого використання належать амортизовані шини і технічні гумові вироби, тара й упакування, деталі машин, відходи сільськогосподарської плівки, мішки з-під добрив і т.п. Значна частка цих відходів може бути використана в якості вторинної полімерної сировини.



Відходи побутового використання пластмас включають зношені вироби домашнього побуту, тару харчових продуктів, що звільнилася на підприємствах суспільного харчування і т.п. Вони складають більш ніж 50 % усієї маси пластмасових відходів і зосереджуються в кінцевому рахунку на міських смітниках. Частка їх у твердих побутових відходах досягає 5 % і більше. Відходи побутового використання пластмас є змішаними, для їхньої переробки і застосування потрібний поділ різних полімерних матеріалів за групами з урахуванням видів використаних полімерів.

Витрати на знищення пластмасових відходів у 6...8 разів перевищують витрати на обробку і знищення інших промислових відходів.

*Відходи скла* накопичуються у вигляді битого посуду, віконного й іншого видів будівельного скла. Скляний бій, так само як і полімерні відходи, утворюється при використанні, або при виробництві скла і скловиробів. Основні напрямки застосування відходів виробництва і використання скла розглянуті в попередньому розділі книги.

## 7.2 МАТЕРІАЛИ З МАКУЛАТУРИ І ТЕКСТИЛЬНИХ ВІДХОДІВ

З однієї тонни макулатури можна виготовити близько 750 кг паперу. Вона широко використовується також для виробництва картону. Використання однієї тонни макулатури у виробництві паперу і картону дозволяє заощадити до 4 м<sup>3</sup> деревини. Однак не всі сорти паперу і картону можуть бути використані в паперовій промисловості. Великий відсоток паперово-картонної продукції технічного призначення виготовляють із застосуванням пластмас і різних покриттів, фарбують, проклеюють і т.п. Перш ніж направити ці види паперу і картону на переробку, від них відокремлюють сторонні домішки. Як макулатуру в промисловості широко використовують старі гофровані ящики, що були тарою для упакування виробів виробничого і побутового призначення. Другим за масштабом джерелом макулатури є старі газети.

Понад 70 % макулатури, що збирається, використовують при виробництві багат шарового картону. Великотонажним споживачем картону є покрівельні матеріали, велику частину яких складає руберойд.

Технологія виготовлення картону складається з попередньої обробки сировини, її подрібнення на окремі волокна й одержання необхідної волокнистої маси. Волокнисту сировину сортують і очищують від сторонніх включень, потім подрібнюють в апаратах, робочим органом яких є обертовий барабан з ножами, встановлений у ванні з водою. Волокниста маса визначеного складу надходить на спеціальну машину, де рівномірно розподіляється по нескінченній сітці, що рухається, на якій переплітаються волокна і формується полотно, що для додаткового зневоднювання пресується і висушується, а потім розрізається і намотується в рулони.

Відлив картону і його зневоднювання здійснюється на безупиннодіючій машині для виготовлення картону. Вода з волокнистої маси віддаляється



спочатку вільно, а потім під вакуумом на сітці. Після попереднього зневоднювання полотнище пресується та висушується.

З підвищенням вмісту ганчір'я (бавовняного, лляного, прядив'яного, вовняного) поліпшуються якісні характеристики картону. У складі покрівельного картону високої якості повинно утримуватися не менше 50% ганчіркового волокна, у тому числі 5...10 % вовняних волокон. Покрівельний картон випускають у рулонах із шириною полотна 1000, 1025 і 1050 мм та масою 250...600 г/м<sup>2</sup>. Залежно від маси 1 м<sup>2</sup> картону і міцності на розрив покрівельний картон підрозділяють на марки А-500, А-420, А-350, А-300, Б-500, Б-420, Б-350, Б-300. Цифра при позначенні марки вказує масу 1 м<sup>2</sup> картону, буква - групу, що характеризується певними значеннями міцності на розрив, водопоглинання і швидкості просочення. Марці А відповідає картон з водопоглинанням не менше 145 % і часом просочення не більше 45 с, марці Б — відповідно 135 % і 55 с. Вологість картону повинна бути не більше 6%, зі збільшенням вологості зменшується його міцність. Міцність картону істотно зростає при використанні як добавки відходів хімічних волокон.

Макулатура знаходить також застосування у виробництві гіпсоволокнистих плит, що мають високу ударну міцність, добру пробійність і підвищену вологостійкість. Для виробництва ряду матеріалів і зокрема руберойду паперова макулатура ефективно може використовуватися разом з ганчір'ям. З 1 млн.т. цих відходів виробляється майже 2 млрд. м<sup>2</sup> м'якої покрівлі.

При одержанні *гіпсоволокнистих плит* паперову макулатуру розпушують у гідророзпушувачі і змішують з гіпсом. Плити формують на плоскіткової машині з гіпсоволокнистої пульпи. Під час проходження конвеєра над вакуумними камерами пульпа зневоднюється, а потім на форматному барабані розрізаються плити, які знімаються й укладаються в штабель для попереднього твердіння. Необхідні властивості гіпсоволокнисті плити отримують після сушіння.

Поряд з мокрим способом, розроблено сухий спосіб одержання гіпсоволокнистих плит. За цим способом передбачається сухе розпушування макулатури та її змішування з гіпсовим в'язучим.

Гіпсоволокнисті плити використовують аналогічно гіпсокартонним. Основна їх перевага полягає у більшому руйнівному навантаженні порівняно з гіпсокартонними. Їх легко шпунтувати, пиляти і різати. Вони мають рівномірну еластичну структуру, добре утримують цвяхи, забезпечують добрий мікроклімат.

Технологія виробництва *легкого гравію* на основі паперової макулатури включає подрібнення вторинної сировини, грануляцію отриманої маси з в'язучими компонентами (гіпс, магнезіальні в'язучі, рідке скло). Теплоізоляційні плити на основі легкого гравію виготовляють методом підпресування, або з використанням спеціальних в'язучих без підпресування. Вироби для теплоізоляції за даною технологією мають наступні



характеристики: середня густина  $90...450 \text{ кг/м}^3$ , теплопровідність  $0,05...0,14 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ , міцність при стиску  $0,12...5,3 \text{ МПа}$ . Теплоізоляційні розчини з використанням макулатури можуть використовуватися в малоповерховому будівництві для заливної теплоізоляції.

Основним напрямком використання текстильних відходів є виробництво різних нетканих матеріалів, у тому числі покриттів для підлог. На основі використання відходів синтетичного волокна розроблена технологія нетканої основи для теплозвукоізоляційного лінолеуму. Волокнисте полотно може бути скріпленим голкопробивним, в'язально-прошивним, клейовим і термічним способами.

Волокнисті відходи – стружка, кордове волокно, різаний папір можуть бути використані як наповнювачі *аерованих легких бетонів*. При отриманні таких бетонів доцільно вводити повітрявтягуючі добавки та застосовувати турбулентні аерозмішувачі, що забезпечують рівномірний розподіл всіх компонентів, зниження витрати портландцементу й одержання виробів з дрібнопористою структурою. Відмінною особливістю бетонних сумішей на волокнистому наповнювачі є їх підвищена в'язкість порівняно з аерованими сумішами на зернистих пористих заповнювачах – перліті, вермикуліті й ін. Так, при однаковому водовмісті і зануренні конуса в суміш на пористих заповнювачах  $8...10 \text{ см}$ , суміш на різаному паперовому наповнювачі характеризується зануренням конуса  $4..5 \text{ см}$ . При введенні наповнювача в кількості більш ніж  $12\%$  має місце комкування суміші та значне погіршення її формувальності.

Нижче наведені властивості аерованого легкого бетону оптимального складу (портландцемент –  $400 \text{ кг/м}^3$ , паперовий наповнювач –  $120 \text{ кг/м}^3$ , вода –  $580 \text{ кг/м}^3$ ): середня густина  $1100...1200 \text{ кг/м}^3$ , границя міцності при стиску  $3,5...5$ , згині  $2,6...3 \text{ МПа}$ , теплопровідність  $0,26...0,3 \text{ Вт/м}\cdot\text{°C}$ , водопоглинання  $23...25\%$ , коефіцієнт розм'якшення - не менше  $0,8$ , морозостійкість –  $25$  циклів. Підвищена границя міцності при згині свідчить про значний армуючий ефект, що створюється відрізками наповнювача. За теплотехнічними властивостями стіна з каміння на аерованому легкому бетоні з паперовим наповнювачем товщиною  $39 \text{ см}$  еквівалентна цегельній кладці товщиною  $64 \text{ см}$ .

### **7.3 МАТЕРІАЛИ З ГУМОВИХ ТА КАУЧУКОВИХ ВІДХОДІВ**

До великотонажних відходів належать відпрацьовані гумові вироби, такі як конвеєрні стрічки, шланги, зношені автомобільні, тракторні, авіаційні шини.

При комплексному використанні гумових, каучукових матеріалів, металу, що містяться в зношених шинах, з  $1 \text{ т}$  цих відходів можна виділити для повторного використання близько  $700...750 \text{ кг}$  гуми,  $130...150 \text{ кг}$  хімічних волокон і  $30...40 \text{ кг}$  сталі.





Зношені шини частково застосовують для огорожень на дорогах, захисту узбережжя рік і морів від руйнування, запобігання від ударів судів.

Основним способом переробки амортизованих шин і інших відходів гуми є регенерація. Застосування 1 т регенерату заощаджує близько 500 кг синтетичного каучуку. Регенерат одержують очищенням гумових зношених виробів за допомогою кислот і лугів, нагрівання і введення добавок розм'якшувачів. Стару гуму зазвичай подрібнюють на крихту з частинками до 1,5 мм або дрібніше.

Гумову крихту і тонкомелені гумові порошки можна застосовувати як інгредієнти гумових сумішей. При цьому одержують гуму, яка за рядом технічних властивостей є кращою ніж матеріали, що не містять регенератів.

На основі гумовокордних відходів розроблені технології рулонних і плиткових матеріалів. Матеріали випускаються у вигляді полотнин товщиною до 10 мм, шириною до 1,2 м і довжиною більше ніж 10 м і плиток розміром 600×600 мм і товщиною близько 8 мм, що використовуються в якості теплоізоляційних, вібро-, шумопоглинальних, декоративних покриттів і покриттів для підлоги. Залежно від вимог споживача вони можуть мати наступні фізико-механічні показники: середня густина 500...1000 кг/м<sup>3</sup>; твердість 30...90 ум.од. за ТМ-2; міцність 2...6 МПа; водопоглинання 3...7 %; коефіцієнт віброізоляції 0,1...0,12; звукопоглинання до 30 дБ і температура спалаху 250...300°C.

Сутність процесу виробництва рулонних *матеріалів на основі гумовокордних відходів* полягає в класифікації гумовокордних відходів для відділення гумової крихти; обробці відходів на роторному подрібнювачі з одночасною модифікацією і введенням зв'язуючого для гомогенізації і розпушування; формуванні на вулканізаторі стрічки з можливим нанесенням на неї декоративного гумового покриття. При одержанні плитки здійснюють розкрій рулонного матеріалу з наступної довулканізацією у гідравлічних пресах для одержання плиток.

Підлоги, що опоряджені рулонними і плитковими матеріалами на основі гумовокордних відходів, порівняно з іншими покриттями мають знижену гігроскопічність і підвищені тепло-, вібро-, звукоізоляційні властивості, Вони характеризуються поліпшеними санітарно-гігієнічними показниками, легко миються й очищаються, досить еластичні, а в їхньому складі при температурах експлуатації від -50 до +40°C не утворюються токсичні і небезпечні для здоров'я компоненти.

Відпрацьовану гуму застосовують також у виробництві гідроізоляційних будівельних матеріалів, клеїв, мастик і герметиків.

Ефективним напрямком є переведення гуми у розчинний стан та застосування як в'язучого для виробництва ущільнюючих, гідроізоляційних і покрівельних мастик та дорожніх сумішей.

За допомогою термомеханічної обробки в присутності пластифікуючих матеріалів зношена гума може бути девулканізована. Як пластифікуючі





матеріали використовуються нафтові гудрони або малов'язкі бітуми, важкі екстракти селективного очищення масляних фракцій, кам'яновугільні важкі масла, смоли, дорожні дьогті.

При оптимальних технологічних параметрах на основі зношеної гуми одержують *гумово-бітумні* і *гумово-дьюгтеві в'язучі* високої якості. Технологічні параметри одержання в'язучих залежать від типу каучуку, що входить до складу гуми, і виду пластифікатора. При спільній обробці подрібнена гума набухає в масляних фракціях бітуму (гудрону або дьюгтю), що послаблює характерні для неї міжмолекулярні зв'язки; в умовах тривалого підведення тепла і механічних впливів відбувається розрив по цих послаблених зв'язках, тобто здійснюється девулканізація гуми з утворенням каучукової речовини, що структурує органічні в'язучі.

Процес пластифікації гумової крихти відбувається шляхом пропущення набряклої в нафтовому бітумі (гудроні або дьюгті) гуми через апарат-пластифікатор, об'єднаний із шестерним насосом, при температурі 225...235°C. Набрякла гума поступово пластифікується і органічні компоненти переходять у розчин. Тривалість термомеханічної обробки складає від 30 хв до декількох годин залежно від виду каучуку і розчинника. Зниження температури і скорочення часу пластифікації погіршує властивості готового продукту. Термопластифікація гуми може бути здійснена в лопатевому або роторному змішувачі. При термомеханічній пластифікації гуми рекомендується використовувати поверхнево-активні речовини, наприклад, технічні лігносульфонати.

Від вихідних бітумів гумово-бітумні (бітумно-гумові) в'язучі відрізняються підвищеною еластичністю, температурою розм'якшення, міцністю та довговічністю. При співвідношенні гуми і бітуму 1:1 відносне подовження збільшується більш ніж на 200%, еластичність — майже в 3 рази, границя міцності на розрив зростає до 0,8 МПа, температура розм'якшення — до 120°C, а температура крихкості знижується до -20°C. Ефект від введення гуми в бітум пояснюється, в першу чергу, зв'язуванням масляних частинок у бітумах гумою, що запобігає їх випаровуванню і швидкому старінню. При збільшенні вмісту гумової крихти гумово-бітумні суміші все більше наближаються за фізико-механічними властивостями до каучукових матеріалів.

На основі гумово-бітумних в'язучих при введенні наповнювачів одержують *мастики* для заповнення швів бетонних покриттів. При використанні пластифікаторів (нафтових масел, поліолефінів, бутилкаучуку і ін.) виготовляють мастичні матеріали з температурою крихкості до -35°C, які можна застосовувати у суворих кліматичних умовах. Ці мастики успішно застосовують в аеродромному будівництві.

Для заповнення швів при влаштуванні і ремонті цементобетонних покриттів автомобільних доріг рекомендовані мастики з гумово-бітумних в'язучих, при виробництві яких гумову крихту піддають спочатку



термопластифікації важким (антраценовим) кам'яновугільним маслом при  $160^{\circ}\text{C}$  на протязі 4 год у герметично закритому змішувачі, а потім вводять бітум і мінеральні наповнювачі. Гумову крихту вводять порціями в попередньо нагріте до  $60\text{...}70^{\circ}\text{C}$  кам'яновугільне масло. Склад мастики для заповнення швів наступний: бітум БН-70/30 -  $60\text{...}70\%$ , кам'яновугільне масло -  $8\text{...}10\%$ , гумова крихта -  $8\text{...}10\%$ , азбестовий порошок -  $5\text{...}10\%$ , вапняковий порошок -  $5\text{...}10\%$ .

Мастики для заповнення швів одержують також шляхом швидкого перемішування бітуму з гумовою крихтою при температурі  $200^{\circ}\text{C}$  в присутності агентів вулканізації каучуку, які вводяться в кількості  $0,1\text{...}5,0\%$  від маси гуми. В якості наповнювача застосовують азбестове волокно.

Гумово-бітумні в'язучі використовують для ремонту покриттів, що мають густу сітку тріщин. Розплавлене гумове-бітумне в'язуче розливають на ушкоджене покриття з витратою  $1,6\text{...}3,2\text{ л/м}^2$ . Після застигання утворюється шар товщиною  $5\text{...}6,5\text{ мм}$ , на який рекомендується розсипати дрібний щебінь або пісок. Відкривати рух можна через 45 хв.

Гумово-бітумні в'язучі рекомендують також для заповнення тріщин на асфальтобетонних покриттях. Витрата матеріалу  $2,25\text{...}2,5\text{ л/м}^2$  або  $0,25\text{ л}$  на  $1\text{ м}$  тріщин.

Гумово-бітумні в'язучі дозволяють одержувати *асфальтобетони* з високими експлуатаційними властивостями, підвищеної зносо- і теплостійкістю, стійкістю до старіння. Асфальтобетон, виготовлений на гумово-бітумному в'язучому, відрізняється також меншим водонасиченням і набряканням. Для нього характерна менша жорсткість при низьких температурах.

До складу асфальтобетонних сумішей ефективним є введення гумової крихти в кількості  $1,5\text{...}3\%$  від маси мінеральної частини. Крихта повинна мати не менш  $80\%$  зерен розміром дрібніше  $0,63\text{ мм}$ . Ущільнення асфальтобетонних сумішей, що містять гумову крихту, рекомендується проводити при більш низькій температурі. Асфальтобетон з гумовою крихтою має підвищену морозостійкість і деформативність, а також підвищений коефіцієнт зчеплення коліс автомобіля з дорожнім покриттям.

Ефективними рулонними гідроізоляційними матеріалами на основі гумово-бітумних в'язучих є ізол та брізол.

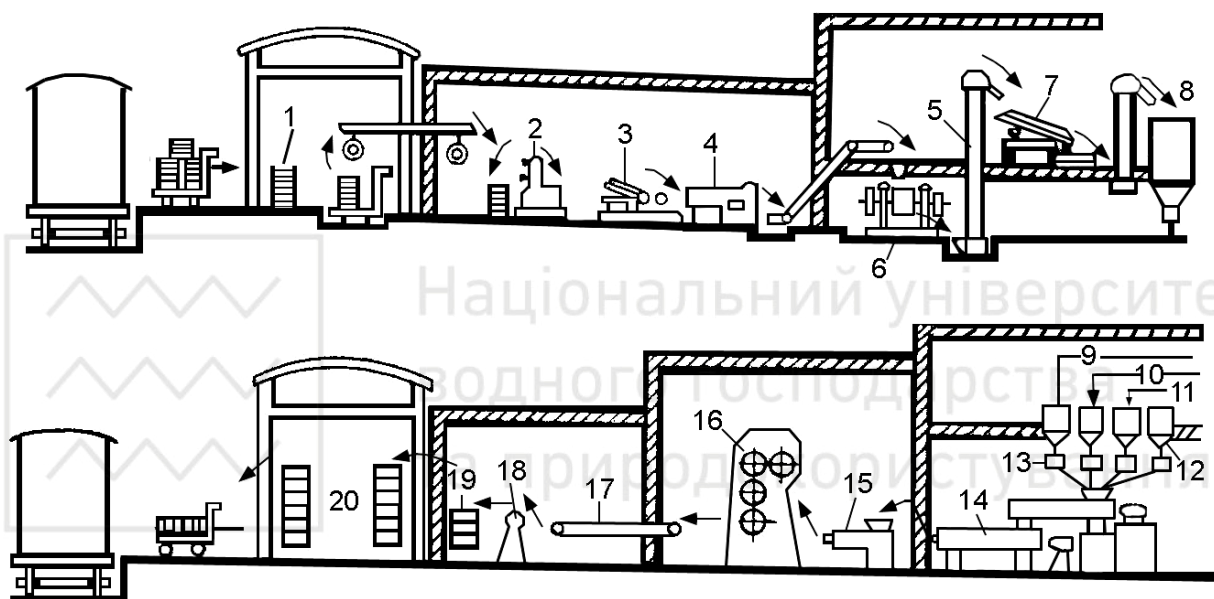
Виробничий процес одержання *ізолу* полягає в подрібненні зношеної гуми на машинах для різки шин і молоткових дробарках до утворення частинок розміром не більше  $1\text{ мм}$ , регенерації (девулканізації) гуми в змішувачі, сплавленні її з бітумом при температурі  $170\text{...}180^{\circ}\text{C}$  и обробці гумово-бітумної суміші на вальцях до одержання однорідної та пластичної маси. Оптимальна концентрація гуми зростає в міру зниження в'язкості бітуму.

Змінюючи склад гумово-бітумного в'язучого, вид наповнювачів і спосіб обробки, ізол можна виготовлювати у вигляді рулонного матеріалу або гідроізоляційної мастики.



*Рулонний ізол* — безосновний матеріал, що має високі водостійкість, стійкість до гниття, а також деформативну здатність. З листа ізола вирубують покрівельні плити. Більш високий вміст наповнювачів додає плиткам високу щільність і твердість.

Близьким до ізола по рецептурі і властивостям є *брізол*. Його виготовляють вальцюванням і наступним каландруванням суміші нафтового бітуму, подрібненої гумової крихти, азбестового волокна і пластифікатора (рис.7.1). Брізол поділяють на дві марки: середньої (Бр-С) і підвищеної міцності (Бр-П). Перший застосовують при робочій температурі 5...30°C, а другий — при 20...25°C.



**Рис. 7.1.** Схема виробництва брізолу:

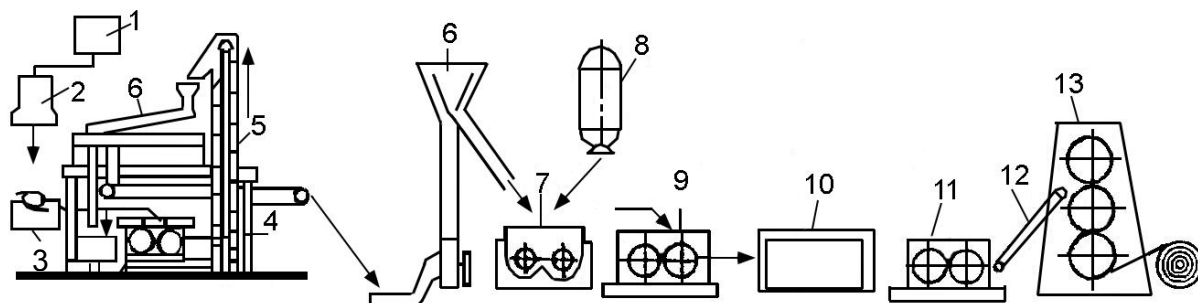
1 — склад і розвантажування старих покрішок; 2 — дробарка; 3 — механічні ножиці; 4 — шинорізка; 5 — елеватор; 6 — дробильні вальці; 7 — віброгрохот; 8 — бункер запасу подрібненої гумової крихти; 9 — бак для попереднього плавлення бітуму; 10 — бак для плавлення озокеріту; 11 — бункер для азбесту; 12 — те ж, для подрібненої гуми; 13 — мірники; 14 — шнековий змішувач для варіння і змішування бітумно-гумової суміші; 15 — шприць-машина; 16 — каландр; 17 — конвеєр; 18 — стійка; 19 — проміжний склад рулонів брізолу; 20 — склад готової продукції

Ізол і брізол застосовують для гідроізоляції підвальних поверхів будинків, підземних трубопроводів та інших споруд, басейнів, антикорозійного захисту і влаштування покрівлі. Поряд з перевагами ці матеріали мають і деякі недоліки: значні усадочні деформації, повзучість, зниження їх міцності при контакті з гарячими мастиками.

Гумово-бітумні матеріали випускають також у вигляді пористих джгутів і стрічок (*пороізол*) для герметизації стиків конструкцій, а також як приклеювальні та ізоляційні мастики.



Гумова-бітумна маса використовується для виготовлення нижнього шару гумового лінолеуму — *реліну* (рис.7.2). Верхній та нижній шар реліну виготовляють окремо, а потім з'єднують (дублюють) одночасно з вулканізацією. Матеріалом верхнього шару лінолеуму є кольорова гума на синтетичних каучуках з наповнювачами.



**Рис. 7.2.** Схема виробництва реліну (нижній шар):

1 — борторізка; 2 — механічні ножиці; 3 — шинорізка; 4 — дробильні вальці; 5 — елеватор; 6 — сито; 7 — горизонтальний змішувач; 8 — котел; 9 — змішувальні вальці; 10 — ванна; 11 — підігрівальні вальці; 12 — конвеєр; 13 — каландр

Розроблено технологію волокнистих *гумово-бітумних плит (рекобіт)*, застосовуваних для підлог. Сировиною для виготовлення плит є некондиційне замаслене ганчір'я, регенований шинний корд, відходи гумових виробів та бітум.

З регенованого шинного корду можна також виготовляти пресований *кордний брус*, який використовується для паркетних підлог замість лагів і деревноволокнистих плит.

На основі гумового порошку, який одержують з відпрацьованих автомобільних шин, отримані нові *покрівельні матеріали*, високі експлуатаційні властивості яких забезпечуються спеціальними добавками.

Покрівельні матеріали на основі шинного гумового порошку відносно дешеві, технологія їх виробництва може бути високопродуктивною. Вони не піддаються обростанню грибками і мохом, не екранують електромагнітні випромінювання, не шумлять при дії дощу і вітрових навантажень, технологічні у роботі і мають малу густину, що дозволяє різко знизити навантаження на кроквяні системи.

Характеристика основних матеріалів цієї групи приведена в табл.7.1.

Виробництво покрівельних матеріалів включає змішування компонентів у змішувачі, що обігрівається, подачу суміші на систему вальців і каландр. Після виходу з каландра матеріал змотується в рулони і ріжеться на листи.

Близькими за властивостями до гумово-бітумних є *каучуко-бітумні в'язучі*. Синтетичні каучуки збільшують розтяжність бітумів, їх ударну міцність, знижують температуру крихкості, підвищуючи теплостійкість. Розроблено три способи введення каучуку в бітум: 1) змішування бітуму з невеликими (2...5%) добавками каучуку при температурі 130...200<sup>0</sup>С і



енергійному перемішуванні; 2) попереднє розчинення каучуку й об'єднання цього розчину з бітумом; 3) введення каучуку в бітум.

Таблиця 7.1

### Характеристика покрівельних матеріалів на основі шинного гумового порошку

Показник	Вироби		
	Рулонний матеріал однотонний або з піщаним малюнком	Плоска фігурна плитка, пофарбована в масі або по поверхні	Об'ємно-формований під черепицю пофарбований листовий матеріал
Товщина, мм	0,6...1	1,5...2	3,2...3,8
Маса, кг/м <sup>2</sup>	0,15...0,3	0,35...0,6	1,2...1,4
Площа, що перекривається одним листом, м <sup>2</sup>	0,15...0,17		
Міцність, МПа у подовжньому напрямку	8		
у поперечному напрямку	5,3		
Твердість, ум. од.	90		
Теплова усадка, % при 70°C за 6 год	0		
при 100°C за 6 год	3,1		
Водопоглинання, %	0,48		
Гнучкість при -25°C	Відсутність тріщин		
Питомий поверхневий опір, Ом	Не більше $5 \times 10^8$		

При введенні каучуку в бітум необхідно чітко витримувати температурний режим. Занадто висока температура перемішування негативно впливає на властивості як бітуму, так і каучуку. При інтенсивному перемішуванні бітуму з каучуком під дією підвищених температур відбувається розрив молекул каучуку, причому знижується ефективність впливу каучуку на властивості бітуму. Щоб уникнути цього, тривалість і температура перемішування бітуму з каучуком повинні бути обмежені. При температурі 130°C каучуко-бітумні суміші можна витримувати не більше 72 год, при 160°C – не більше 12 год, а при 200°C – не більше 1 год.

Добавки каучуку в кількості 2...3% рекомендуються для влаштування покриттів доріг з помірним рухом, 5...7% – для доріг з важким інтенсивним рухом. Термін служби покриттів з використанням каучуко-бітумних в'язучих зростає приблизно на 50%.

Ряд композиційних матеріалів може бути отриманий із застосуванням відходів виробництва латексів і каучуків. Ці відходи видаляють з латексних стічних вод після усереднення їхнього складу у накопичувальних бункерах з наступною переробкою на шнекових машинах. Їх можна використовувати





для одержання покрівельно-гідроізоляційних матеріалів і герметиків, а також матеріалів, призначених для покриття підлог промислових і сільськогосподарських приміщень.

Для одержання *гідроізоляційних плівкових матеріалів* використовують вальцево-каландровий спосіб із попередньою пластифікацією латексно-каучукових відходів на вальцях при температурі 120...130°C на протязі 10 хв. Плівки містять до 45 % відходів латексів, 15%-поліпропілену, 10%-поліізобутилену і до 30 % бітуму, що одночасно є стабілізатором латексів. Міцність плівок при подовжньому розтягу 3...7 МПа, поперечному 0,6...1,5 МПа, відносне подовження відповідно 27...45 і 300...700 %, морозостійкість - 45...- 60°C.

При виготовленні *герметиків* типу "герлен" дефіцитну і дорогу сировину — бутадієновий термоеластоласт — можна цілком замінити відходами латексу. Повна заміна кондиційних каучуків відходами можлива і при виготовленні матеріалів для покриття підлог методом вулканізації. Одержані полімерні композиції добре переробляються за звичайною технологією на існуючому обладнанні.

На основі бітумів, модифікованих полімерною крихтою латексів, розроблена технологія покривного шару *еластичного руберойду*. Вона включає одержання грануляту перемішуванням при 120...130°C пластифікованої крихти і бітуму з наступним його розчиненням разом з наповнювачем у бітумі та виготовлення однорідної маси з температурою 200°C, що направляється у ванну для нанесення на руберойд. При введенні полімерів у бітум відбувається його структування і збільшення вмісту твердих, не розчинних у бензолі, продуктів.

На основі полімерних композицій із застосуванням відходів виробництва латексів можливо також одержання *листових покрівельних матеріалів* з поліпшеними властивостями:

міцність при розриві, МПа, у напрямку:

подовжньому 1,2...1,8

поперечному 7...11

відносне подовження, %, у напрямку:

подовжньому 100...150

поперечному 200...300

морозостійкість, °C -20...-30

Суміш виготовляють у гумозмішувачі при 160...180°C, а потім на вальцях одержують листи покрівельного матеріалу.

## 7.4 МАТЕРІАЛИ З ПЛАСТМАСОВИХ ВІДХОДІВ

При утилізації пластмас, що були у використанні, найбільші складності виникають при організації їхнього збору, транспортування і виділення з загальної маси відходів. Оскільки вміст у побутових відходах пластмас порівняно невеликий, трудомісткість виділення останніх не завжди



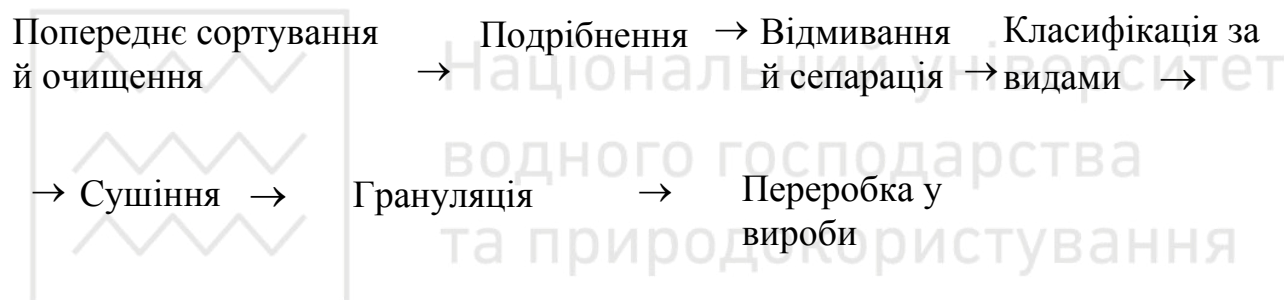
окупається. Розроблено пластмаси, які після закінчення терміну експлуатації здатні розкладатися до низькомолекулярних сполук в результаті фото- і біопроеесів, поглинатися мікроорганізмами ґрунту і, таким чином, включатися в замкнутий біологічний цикл, не наносячи негативного впливу на навколишнє середовище.

Можна виділити наступні основні напрямки утилізації полімерних відходів:

- 1) повторна переробка або використання в різних композиціях;
- 2) термічне розкладання з одержанням цільових продуктів;
- 3) термічне знешкодження з регенерацією утвореної теплоти;
- 4) термічна переробка на газоподібне та рідинне паливо.

Вибір напрямку визначається економічними міркуваннями, сировинними проблемами, екологічними задачами й ін.

При всьому різноманітті способів утилізації відходів пластмас та застосовуваного при цьому устаткування загальна схема процесу може бути представлена наступним чином:



Перша стадія звичайно включає сортування відходів за зовнішнім виглядом, відокремлення непластмасових компонентів, таких, як ганчір'я, залишки паперової або дерев'яної тари, металевих предметів і т.п.

Друга стадія – одна з найбільш відповідальних. Після одно- або двохстадійного подрібнення матеріал досягає розмірів, достатніх для того, щоб можна було здійснювати його подальшу переробку.

На наступному етапі подрібнений матеріал відмивають від забруднень органічного і неорганічного характеру різними розчинниками, миючими засобами і водою, а також відокремлюють від неметалевих домішок.

Четверта стадія залежить від обраної технології переробки відходів. У тому випадку, якщо віддається перевага мокрому способу, спочатку здійснюють поділ, а потім сушіння. При використанні сухих способів спочатку подрібнені відходи сушать, а вже потім класифікують. Після цих операцій висушені подрібнені відходи змішують при необхідності зі стабілізаторами, барвниками, наповнювачами й іншими інгредієнтами і гранулюють. Часто на цій стадії відходи змішують з товарним продуктом.

Заключною стадією процесу використання відходів є переробка грануляту у вироби. Ця стадія практично мало чим відрізняється від процесів переробки



товарного продукту з погляду обладнання, що використовується, але часто вимагає специфічного підходу до вибору режимів переробки.

Розвиваються дві тенденції у використанні відходів пластмас. Одна з них полягає в прагненні виділити із суміші відходів пластмаси визначеного типу, інша зводиться до розробки технології переробки суміші відходів без їхнього попереднього поділу. В останньому випадку процес утилізації більш дешевий, однак, фізико-механічні властивості виробів звичайно більш низькі.

Більшість способів утилізації відходів пластмас засновано на переробці в розплаві. Для одержання виробів використовують пресування, каландрування, екструзію, лиття й ін.

Найбільш великотонажними полімерними матеріалами є *поліолефіни* — високомолекулярні сполуки на основі вуглеводнів. Основний представник цієї групи — поліетилен низького і високого тиску. Практичне значення мають також поліпропілен і поліізобутилен.

Перспективним способом утилізації відходів поліолефінів, як і інших термопластів, є їхня повторна переробка. Відходи попередньо сортують та очищають від сторонніх включень, а потім піддають подрібненню, агломерації і грануляції. З грануляту одержують різні вироби, у тому числі і будівельного призначення. Вторинну сировину доцільно вводити в полімерні композиції в кількості до 40...50% разом із пластифікаторами, наповнювачами і стабілізаторами.

Для одержання високоякісних полімерних матеріалів із вторинних поліолефінів ефективна їх модифікація — екранування функціональних груп і активних центрів хімічними або фізико-хімічними способами (наприклад, введенням різних добавок, обробкою кремнійорганічними рідинами й ін.).

Пакувальна та пляшкова полімерна тара може бути перероблена в *опоряджувальні плитки* й інші вироби. Полімерною основою зазначених видів відходів є поліетилен і поліетилентерефталат. Обидва полімери належать до термопластів з температурою плавлення відповідно 130 і 265°C. Це створює можливість виготовлення виробів із композицій на основі таких відходів методом гарячого пресування. Полімерні відходи піддають спочатку грубому, а потім тонкому подрібненню, змішують з наповнювачами та пресують.

У більшості асфальтових дорожніх покриттів основним зв'язуючим компонентом є бітуми. Маючи низку цінних властивостей і порівняно невисоку вартість, бітуми, до складу яких входять полярні сполуки, відрізняються недостатньою стійкістю. Їх показники міцності також порівняно невисокі. Усе це в значній мірі погіршує властивості асфальтових покриттів і скорочує терміни їх експлуатації. Використання відходів поліолефінів у композиції з бітумом є одним з напрямків, що дозволяє модифікувати властивості асфальтових покриттів.

Композиції, як правило, одержують шляхом змішування бітуму з відходами поліолефінів при температурах 80...100°C і наступним



вивантаження суміші, що утворюється, у спеціальні форми, у яких відбувається охолодження до кімнатної температури. При додаванні відходів поліолефінів спостерігається значне зростання показників міцності бітумних композицій і зниження деформацій. Особливо помітний цей вплив при температурах 20 і 40°C, що відповідають температурам експлуатації дорожніх покриттів у літню пору. При 0°C ефект від використання поліолефінових відходів є менш помітним.

Оптимальна кількість поліолефінових відходів для бітумно-полімерних покриттів складає 7...12% (табл.7.2).

Таблиця 7.2

### Властивості композицій на основі бітуму і поліетилену

Склад композиції, %		Розтяжність, см, при		Температура крихкості, °C	Температура розм'якшення, °C
бітум	поліетилен	25°C	0°C		
100	–	5	1,1	–8	72
93	7	1,6	3,2	–15	107
88	12	1,7	3,4	–14	106

Атактичний поліпропілен у зв'язку зі своєю крихкістю при 0°C і високою здатністю до окислення може бути рекомендований для застосування в дорожніх покриттях тільки у визначених кліматичних зонах та при відповідній додатковій стабілізації.

Відходи полістирольних пластиків, що додаються в бітумні композиції в невеликих кількостях, також впливають на їх властивості. Якщо порівняти властивості таких композицій із властивостями стандартних бітумно-мінеральних сумішей (табл.7.3), то неважко помітити, що добавка полістирольних відходів призводить до істотного збільшення показників міцності при температурах випробувань 0, 20 і 50°C, термостабільності та водостійкості.

Таблиця 7.3

### Властивості асфальто-полістирольних композицій

Склад композиції, % (мас.)			Руйнівне напруження при розтягу $\sigma$ , МПа			Термо-стабільність, $(\sigma_{50}/\sigma_0) \cdot 100\%$	Водостійкість, % (об.)
бітум	відходи полістиролу	мінеральний матеріал	при 50°C ( $\sigma_{50}$ )	при 20°C ( $\sigma_{20}$ )	при 0°C ( $\sigma_0$ )		
7	1	92	2,7	3,7	9,1	33,2	0,95
7	4	89	7,1	9,2	12,8	65,1	1,00
4	8	88	11,6	11,7	23,0	50,4	1,00
8	0	92	1,6	2,3	11,1	14,5	0,80



З вторинної поліетиленової і полістирольної сировини в суміші з піском можна одержувати *прес-композиції* із заданими властивостями. Високі показники міцності таких матеріалів у поєднанні з високою водостійкістю дозволили, наприклад, в Японії використовувати плити з них для вистилання морського дна з метою створення станцій по розведенню риби.

Один з методів одержання будівельних плит полягає в пресуванні суміші пластмасових відходів і піску, взятих у співвідношенні 1:1. Пісок просівають, нагрівають до 500°C, додають до суміші відходи поліетилену і полістиролу, змішують при 150°C на протязі 25 хв, потім отриману масу пресують. Такі матеріали мають високі показники міцності в поєднанні з високою водостійкістю.

За аналогічною технологією одержують матеріали з пластмасових відходів у суміші з крейдою, скловолокном, азбестом та іншими мінеральними наповнювачами. Всі компоненти протягом 2 год підсушують при 120°C, потім їх перемішують у змішувачі при 250...300°C на протязі 15 хв, вивантажують при 180 °C в форму і пресують. Отримані композиції мають високі показники міцності і стійкість до стирання, що дозволяє використовувати їх при виготовленні плит для підлог. Для покращення зовнішнього вигляду виробів при змішуванні додають такі пігменти, як оксиди заліза і хрому, діоксид титану.

Поряд із пресуванням будівельні матеріали одержують розплавленням термопластичних полімерів з наступним їх змішуванням з цементом, розливанням у форми й охолодженням. Ці вироби мають високу міцність і стійкість проти горіння.

Висока водостійкість більшості полімерів, у першу чергу поліолефінових, дозволяє широко використовувати відходи у різних матеріалах, застосовуваних для герметизації швів між панелями будинків, а також для покриття частин споруд, що працюють під водою або в умовах підвищеної вологості.

Композицію з використанням побічного продукту синтезу поліпропілену — атактичного поліпропілену — у кількості 60...95% разом з добавкою термічної сажі застосовують для одержання *герметизуючих стрічок* шляхом екструзії. Висока водостійкість атактичного поліпропілену дозволяє також використовувати його в композиціях, на основі яких одержують покрівельний руберойд.

На підприємствах по виготовленню пінополістирольних виробів утворюються відходи, що, в основному, представляють обрізки і не повертаються повторно в основний технологічний процес. Обрізки пінопласту пропускають через молоткову дробарку й одержують заповнювач фракцій 0...5 і 5...10 мм. На такому заповнювачі виготовляють конструкційно-теплоізоляційні *полістиролбетони* густиною 600...800кг/м<sup>3</sup>, міцністю 2,5...5 МПа і теплоізоляційні бетони густиною 350...500кг/м<sup>3</sup> і міцністю 0,9...1,5МПа. Для одержання теплоізоляційного полістиролбетону в





бетонну суміш доцільно додавати до 0,2% від маси цементу повітрявтягуючої добавки.

Витрати матеріалів для одержання полістиролбетонів наведені у табл. 7.4.

Таблиця 7.4

### Виробничі склади полістиролбетону

Густина, кг/м <sup>3</sup>	Границя міцності при стиску, МПа	Тепло- провід- ність, Вт/(м·°С)	Витрата матеріалів на 1 м <sup>3</sup> бетона			
			портланд- цемент марки М500, кг	подрібнен- ний піно- пласт, м <sup>3</sup>	кварцо- вий пісок, кг	вода, л
350	0,9	0,093	250	1,2	-	120
400	1,1	0,099	280	1,2	-	120
500	1,5	0,128	320	1,1	40	160
600	2,5	0,174	425	1,1	85	204
700	3,5	0,208	440	1,08	140	204
800	5	0,232	465	1,08	190	208

З теплоізоляційного бетону на подрібненому пінопласті виготовляють плити утеплювача. Його також можна використовувати як монолітну теплоізоляцію в покритті, для середнього шару тришарових стінових панелей, теплоізоляції підлог, а також для замонолічування стиків між конструкціями.

Полістиролбетон середньою густиною до 700 кг/м<sup>3</sup> належить до важкоспалюваних матеріалів, а більш важкий до неспалюваних.

Розроблено методи одержання будівельних виробів, які передбачають введення полімерних відходів у розчиненому стані. Так, відходи удароміцного полістиролу розчиняють в органічному розчиннику у співвідношенні 1:1,5 та розливають у форми. Полімеризація здійснюється при 20°С в присутності добавки каталізатору. Одержуваний матеріал має границю міцності при розтягу 31...36 МПа, ударну в'язкість 21...27 кДж/м<sup>2</sup>, теплостійкість за Мартенсом 42°С та водопоглинання за 24 год — 0,07%.

Все ширше впроваджуються композиції на основі двох груп відходів: полістирольних пластиків та відходів деревообробної промисловості. Такі композиції, що містять до 40 % полістирольних відходів, за фізико-механічними показниками перевершують традиційні матеріали, у яких зв'язуючим є синтетичні смоли.

Один з напрямків використання полімерних відходів полягає в застосуванні їх у пластмасових композиціях як модифікуючих добавок. Так, відходи поліетилену можуть бути використані в композиціях з полістирольними пластиками, при цьому зростають такі показники останніх, як ударна в'язкість і відносне видовження при розриві. Введення поліетиленових відходів значно поліпшує литтєві властивості матеріалу при одночасному зниженні теплостійкості композиції і міцності.



Вторинна полівінілхлоридна (ПВХ) сировина у будівництві знаходить застосування, головним чином, для одержання лінолеумної плитки.

Значна кількість відходів застосовується при одержанні спінених виробів звичайними методами: в автоклаві, екструзією або литтям під тиском. Відомий спосіб використання відходів пластмас без їх поділу й очищення для одержання пористої керамічної цегли. Він заснований на високій теплотворній здатності пластмас та їх здатності розкладатися при температурах  $500^{\circ}\text{C}$  і більше.

На відміну від відходів термопластів відходи реактопластів не плавляться, не розчиняються, містять велику кількість наповнювачів. У подрібненому вигляді вони можуть бути використані як добавки до стандартних прес-композицій і вводитися в заливальні суміші, де в якості зв'язуючого використовуються синтетичні полімери, бітум, цемент і т.д.

*Органомінеральні порошки*, отримані подрібненням відходів виробництва склопластиків мають на поверхні реакційноздатні функціональні групи, що дозволяє їх використовувати в якості хімічно активних наповнювачів різних полімерних матеріалів.

Для лакофарбових покриттів та прес-композицій потрібні високодисперсні порошки (від 5 до 100 мкм), для дорожніх покриттів або спінених матеріалів розмір частинок подрібненого склопластику може досягати 1000 мкм, в останньому випадку наповнювач здійснює армуючу дію.

Відходи склопластиків можуть використовуватися при виготовленні полімерних бетонів. У порівнянні з полімербетонами на мінеральних наповнювачах полімербетон на основі відходів склопластиків має підвищену деформативність при від'ємних температурах і скорочений час твердіння.

Із застосуванням відходів скловолосна виготовляються *холстопрошивні полотна*, призначені для ізоляції трубопроводів, теплових і холодильних агрегатів. Зміцнення холстопрошивного матеріалу здійснюється скляною або капроною прошивною ниткою. Зусилля, що досягається при цьому, на розрив смуги армованого матеріалу дорівнює 20 Н. В якості полімерних зв'язуючих використовуються смоли фенольного типу.

На основі холстопрошивного полотна виготовляються листові склопластики шляхом його просочення і сушіння в шахті вертикальної просочувальної машини. Просочене і висушене полотно нарізають і пакують спеціальними механізмами, що працюють разом із вертикальною просочувальною установкою. Підготовлені пакети пресують при тиску 1,4 МПа й обрізають на гільйотинних ножицях.

Властивості листового склопластику, отриманого на основі армуючого матеріалу з відходів скловолосна і водорозчинного фенольного зв'язуючого СФ-511, наведені в табл.7.5.



### Фізико-механічні властивості склопластиків

Склопластик	Густина, г/см <sup>3</sup>	Руйнівне напруження при статичному згині, МПа	Ударна в'язкість, кДж/м <sup>2</sup>	Водопогли- нання, %
Листовий	1,4	85	11	7,8
На основі полотен і композиції смол	1...1,9	65	Не нормується	8,5

Листовий склопластик має більш високі показники фізико-механічних властивостей порівняно зі звичайним склопластиком на основі склополотна.

## 7.5 ВТОРИННЕ ВИКОРИСТАННЯ ЦЕМЕНТНОГО ТА АСФАЛЬТОВОГО БЕТОНІВ

**Заповнювачі з подрібненого бетону.** У результаті розбирання будинків і споруд, а також нагромадження некондиційної продукції на підприємствах збірного залізобетону утворюється значна кількість так званого *бетонного брухту*. Переробка бетонного брухту спрямована в даний час в основному на одержання *вторинних заповнювачів* і вивільнення арматурної сталі.

Широке поширення одержала технологія, коли обладнання для отримання заповнювача з бетонного брухту встановлюють на місці демонтажних робіт, а отриманий заповнювач використовується, в основному, для влаштування щебеневої підготовки дорожніх покриттів та основ. Ефективною є технологія, що передбачає отримання фракціонованого щебеню і використання його при заводському виробництві бетону і залізобетонних конструкцій.

Технологічна лінія по утилізації залізобетонних конструкцій включає їх руйнування, витягування арматури, подрібнення бетону, фракціонування подрібненого заповнювача, активацію заповнювача.

Для руйнування некондиційних будівельних конструкцій найбільш широко застосовують ударні методи, розколювання, різання, подрібнення і суміші, що розширюються.

З установок, що здійснюють руйнування ударними методами поширені установки, оснащені гідравлічними і пневматичними молотами. Вони мають високу продуктивність, є мобільними, дозволяють точно передавати енергію удару. Гідравлічні молоти в порівнянні з пневматичними мають менший рівень шуму, вібрації і пилоутворення. Молоти встановлюють на екскаватори або інші пересувні пристрої. Їх застосовують при енергії удару від 700 до 800 Дж - для руйнування бетонних плит невеликої товщини й асфальтових покриттів, від 800 до 1400 Дж - для руйнування бетону більшості залізобетонних конструкцій, від 1500 до 2000 Дж – для руйнування бетону в масивних бетонних і залізобетонних конструкціях. Збільшення потужності і

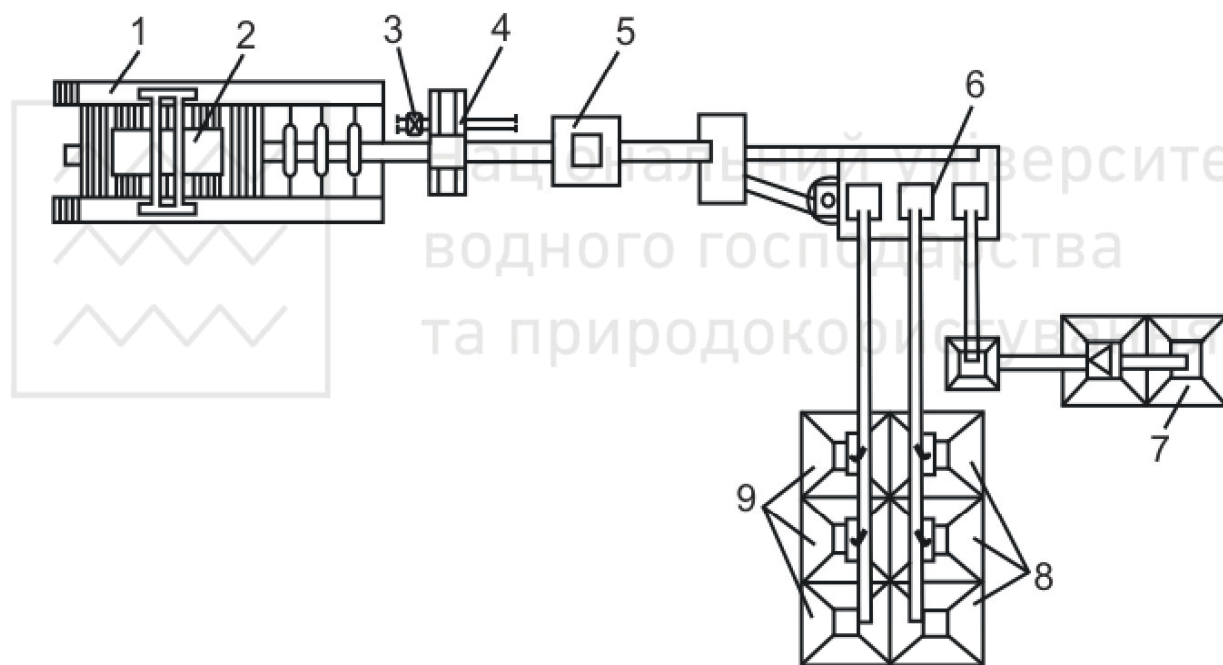


продуктивності молотів приводить до істотного підвищення рівня шуму і вібрації, що обмежує їх застосування.

Руйнування бетонних і залізобетонних конструкцій розколюванням здійснюється за допомогою гідроклинів. Така технологія не зв'язана зі шкідливими впливами вібрацій і значним пилоутворенням. Для установки гідроклинів у конструкціях за допомогою свердлильних верстатів влаштовуються гнізда глибиною 250...300 мм. Робота гідроклинів полягає в створенні розклинювачого тиску від компресорної станції на гідроциліндр.

Руйнування конструкцій різанням на окремі елементи здійснюється з використанням алмазних дисків і термічних способів.

Технологія руйнування подрібненням полягає у використанні зубцюватого механізму (бетонолому), що підвішується на екскаваторі замість ковша. Арматурні стрижні можуть розрізатися ножами, що знаходяться всередині зубців.



**Рис.7.3.** Технологічна лінія з виробництва фракціонованого вторинного заповнювача:

1 – установка первинного подрібнення; 2 – некондиційний залізобетонний виріб, що руйнується; 3 – магнітний відокремлювач арматури; 4 – візок для вивезення арматури; 5 – установка вторинного подрібнення; 6 – агрегат тонкого подрібнення і сортування; 7 – бункерний склад для фракції 0...5 мм; 8 – те ж для фракції 5...20 мм; 9 – те ж для фракції 20...40 мм

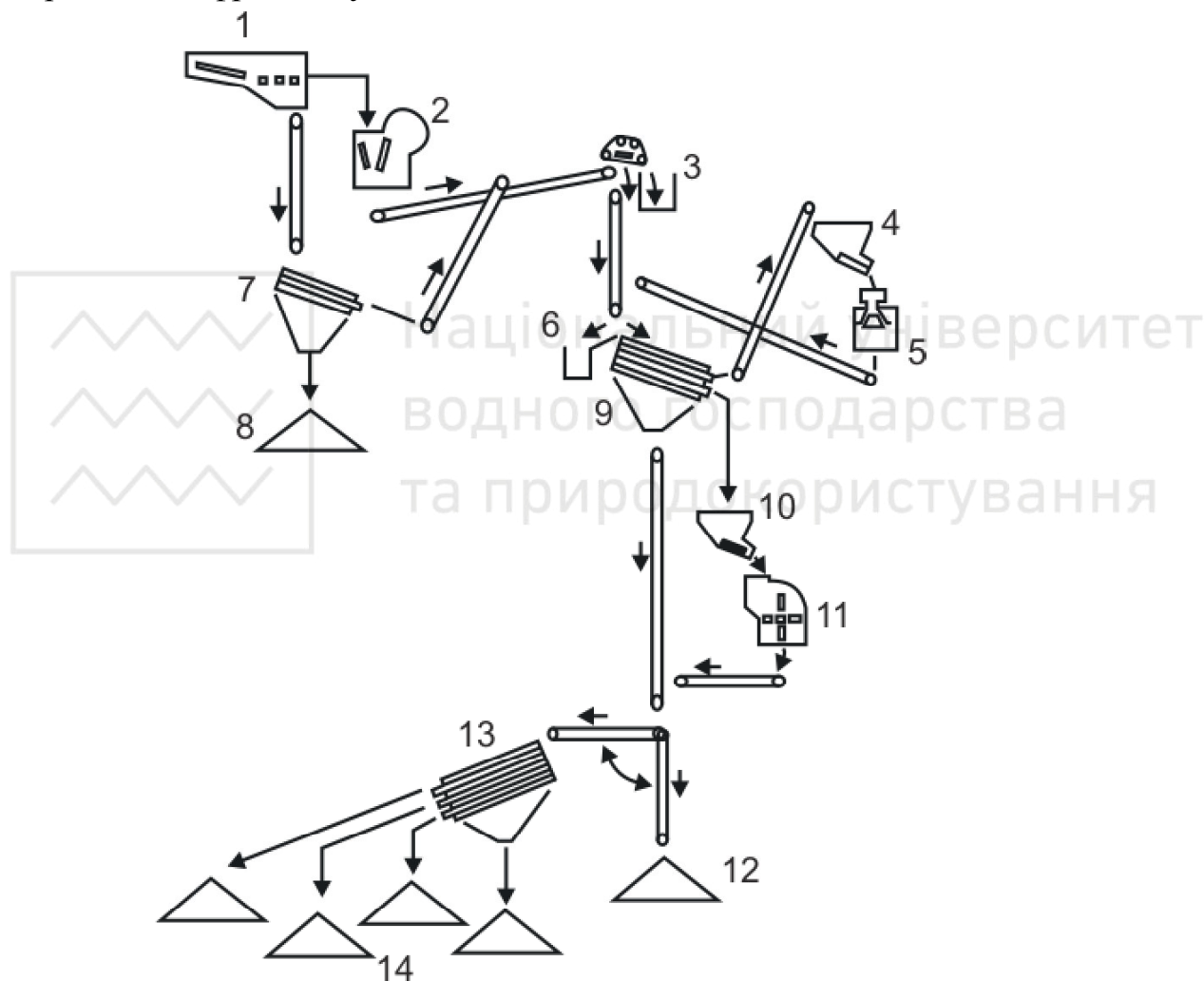
При необхідності зносу і руйнування великогабаритних конструкцій застосовують технологію спрямованого вибуху за допомогою вибухових речовин і детонаційних пристроїв різних типів, що дозволяють обмежити вібрації, які виникають при вибуху, і кількість матеріалу, що викидається. Більш безпечні технології з використанням вуглекислого газу, а також інших



хімічних речовин для статичного розширення. Основним компонентом невибухових засобів, що розширюються (НРЗ), зазвичай є негашене вапно.

Руйнування бетонних і залізобетонних виробів може здійснюватися за допомогою електрогідравлічного ефекту, при якому в результаті електричного пробоя системи при високій напрузі відбувається швидке виділення енергії зв'язане з утворенням ударної або вибухової хвилі.

Технологічні лінії переробки некондиційного бетону і залізобетону, а також будівельних відходів (рис.7.3, 7.4) зазвичай включають установки первинного подрібнення (руйнування), устаткування для вторинного подрібнення і фракціонування.



**Рис.7.4.** Технологічна схема переробки відходів будівництва:

1 - вібруючий подаючий конвейєр; 2 - первинна щекова дробарка; 3 – магнітний відокремлювач металу; 4 – віброворонка; 5 – вторинна конусна дробарка; 6 – магнітний барабан; 7 – грохот для відділення сміття; 8 – сміття; 9 – попередній грохот; 10 – вібралоток; 11 – ударна дробарка; 12 – нефракціонований продукт переробки; 13 – грохот; 14 – пофракційне зберігання продукту

Найбільш розповсюджені установки первинного подрібнення включають гідравлічний прес, колосниковий стіл, напрямну раму і компресорну станцію,





що розвиває тиск до 20 МПа. На колосниковий стіл краном укладаються бетонні відходи або некондиційні залізобетонні вироби. За допомогою ножа гідравлічного пресу відбувається руйнування бетону, матеріал провалюється через колосникові ґрати столу на стрічковий конвеєр і переноситься на установку вторинного подрібнення.

Арматурна сталь видаляється з маси бетону на стадії первинного подрібнення магнітними віддільниками. Вторинне подрібнення та фракціонування заповнювачів із подрібненого бетону здійснюють за технологіями аналогічним застосуванням при переробці природного каменю в кар'єрах.

Крупний заповнювач з бетонного брухту застосовують при влаштуванні основ під підлоги і фундаменти будинків, під асфальтобетонні покриття доріг, для виготовлення бетонів як самостійно, так і в суміші з природним щебенем. Особливістю заповнювача з подрібненого бетону є підвищений вміст на зернах розчину, що збільшує його водопоглинання і дробимість, зменшує морозостійкість. Для поліпшення якості вторинних заповнювачів рекомендується їх обробка з використанням механічних, електроімпульсних і хімічних методів.

Дрібна фракція подрібненого бетону може бути використана як дрібний заповнювач цементних бетонів і при одержанні автоклавних бетонів, де вона дозволяє скоротити тривалість гідротермального твердіння й істотно збільшити міцність виробів.

Встановлено, що застосування крупних заповнювачів із подрібненого бетону класів В20...В40 дозволяє одержувати бетон тієї ж або незначно (на 5...10%) нижче міцності бетону на природних заповнювачах. Зі зменшенням крупності вторинного заповнювача (до 3...10мм) за інших рівних умов міцність істотно знижується. Найбільше зниження міцності характерно для бетону на вторинному вапняковому заповнювачі (близько 20%) і приблизно вдвічі менше - на гранітному.

При заміні дрібного природного заповнювача (із кварцового піску середньої крупності) заповнювачем із подрібненого бетону (фракції менше 3 мм) при В/Ц=0,65 міцність знижується в середньому на 20 % для бетону на вторинному гранітному і на 25 % для бетону на вторинному вапняковому заповнювачах. При цьому істотно погіршується легкоукладальність бетонних сумішей.

Використання вторинних заповнювачів збільшує деформативність бетону; вона тим більше, чим менше крупність заповнювача і міцність бетону, що піддається подрібненню. Модуль пружності бетону на вторинних заповнювачах знижується на 7...18 % порівняно з бетоном на природних



заповнювачах. Погіршення показників міцності бетонів на заповнювачах із дробленого бетону і зростання їх деформативності під навантаженням можуть бути компенсовані введенням у суміш добавок суперпластифікаторів.

Позитивний ефект досягається при використанні крупного заповнювача із подрібненого бетону у поєднанні з природним кварцовим піском.

Застосування крупного заповнювача із подрібненого бетону не зменшує, а в деяких випадках збільшує морозостійкість. Це обумовлено високою міцністю зчеплення зерен цього заповнювача і цементного каменю. Застосування дрібного заповнювача із подрібненого бетону може призводити до зниження морозостійкості через його високе водопоглинення і, як наслідок, підвищеної капілярної пористості бетону.

Підвищення якості заповнювачів із подрібненого бетону досягається їх активацією. Ефект активації заповнювачів складається з руйнування слабких зерен щебеню або видалення залишків цементного каменю, утворення свіжих відколів, що приводить до підвищення технічних характеристик бетонів за рахунок поліпшення якості контактної зони.

З методів активації можна відзначити механічні, хімічні й ін. При механічних методах активації подрібненого бетону передбачається самоздрібнювання при перемішуванні щебеню в змішувальних пристроях або його обробці в кульових млинах з металевими кулями. Ефективним є помел подрібненого бетону у млинах зі сталевими кулями після попереднього низькотемпературного випалу. У цьому випадку отримують щебінь, практично вільний від розчинового компонента, а його властивості – дробимість, водопоглинання та насипна густина близькі до аналогічних показників вихідного щебеню.

**Регенерація асфальтобетону.** Реконструкція автомобільних доріг, будівництво в містах магістральних доріг щорічно приводить до збільшення кількості старого асфальтобетону, що може бути регенований і використаний повторно. Повторне використання старого асфальтобетону дозволяє істотно скоротити витрату нафтового бітуму при виконанні ремонтно-відновлюваних робіт.

Руйнування асфальтобетонних покриттів відбувається внаслідок впливу кліматичних умов і механічних перевантажень від автотранспортних засобів, що рухаються. При цьому бітум старіє — стає більш жорстким, підвищується його температура розм'якшення та крихкості, збільшується в'язкість, зменшується розтяжність, зростає вміст асфальтенів.

Мінеральні частинки в асфальтобетоні внаслідок механічних впливів піддаються дезинтеграції, змінюється їх гранулометричний склад.



Для розрахунку складу асфальтобетону, одержаного зі старого матеріалу з додаванням нового бітуму і мінеральних складових, необхідно визначити гранулометричний склад і густину мінеральної частини старого асфальтобетону після екстрагування з нього бітуму, в'язкість або температуру розм'якшення і глибину проникання виділеного бітуму і його кількісний вміст. Потім розраховують необхідну кількість мінеральних складових і бітуму, що знову додаються. Регенерація на асфальтобетонному заводі дає економію засобів і матеріалів на 15...20%, регенерація на місці - приблизно 30% (у порівнянні з укладанням нового шару товщиною 4 см), холодна регенерація – 30...40%.

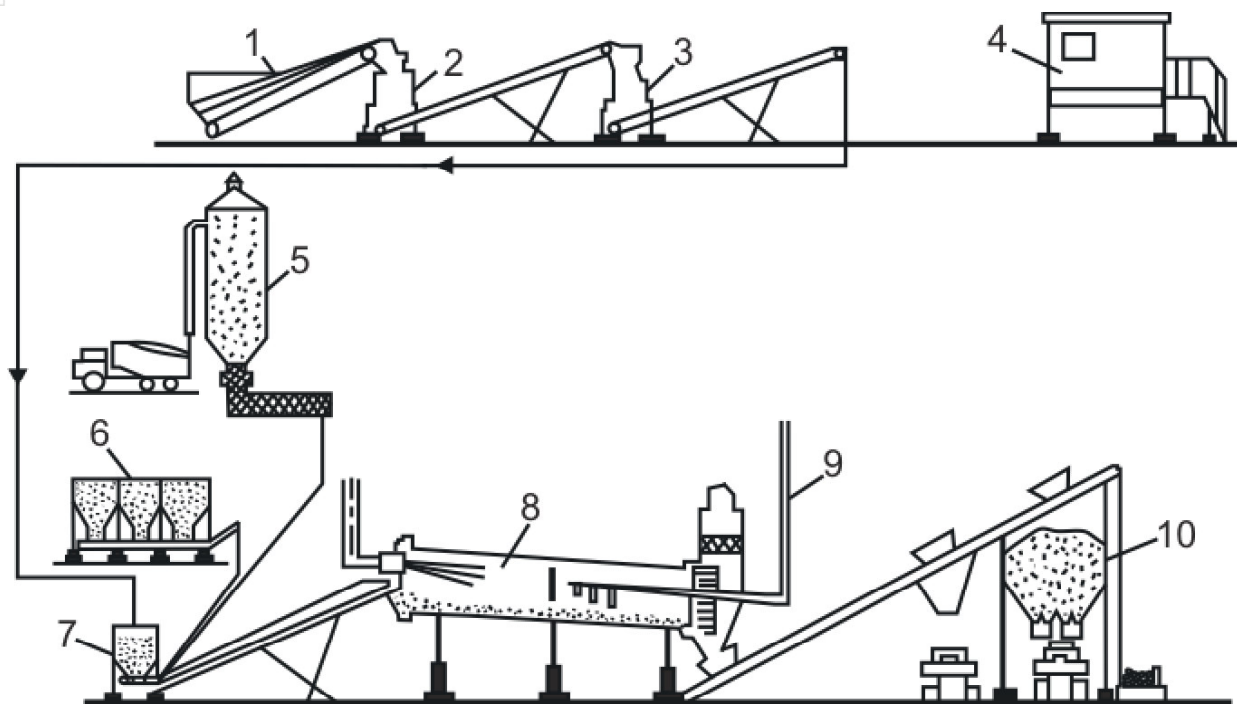
Для відновлення властивостей бітуму необхідна його пластифікація шляхом додавання менш в'язкого бітуму, гудрону або високоароматизованих важких нафтових фракцій (наприклад, екстрактів селективного очищення масел). Кількість пластифікуючих добавок, що вводяться у старий бітум складає 8...12% від маси бітуму, що міститься в старому асфальтобетоні.

У зв'язку зі зміною гранулометричного складу старого асфальтобетону при його регенерації вводять свіжі кам'яні матеріали в кількості 10...20% за масою.

На підставі накопиченого досвіду для використання старих асфальтобетонних матеріалів застосовують, в основному, два способи:

- 1) попереднє нагрівання асфальтобетонних покриттів, що вийшли з використання, їх розпушування на глибину 4...5 см, додавання нових кам'яних матеріалів і бітуму (або готової суміші), розрівнювання й ущільнення. Всі операції виконують на ділянці автомобільної дороги, що ремонтується. Бітум може бути введений у вигляді емульсії. Можна додавати гудрон або важкий екстракт селективного очищення нафтових масел для пластифікації старого бітуму з покриття;
- 2) зняття старого асфальтобетону, його транспортування до змішувальної установки, подрібнення до розмірів не крупніше 50 мм, завантаження у змішувач примусової дії з одночасним додаванням нових кам'яних матеріалів і в'язучого, доставка отриманої асфальтобетонної суміші до місця відновлювальних робіт, її укладання й ущільнення. Суміш може містити до 80% старого асфальтобетону.

Технологічна схема регенераційної асфальтозмішувальної установки наведена на рис. 7.5.



**Рис. 7.5.** Технологічна схема регенераційної асфальтозмішувальної установки:

1 - живильник; 2 - шокова дробарка; 3 - молоткова дробарка; 4 - кабіна керування; 5 - силосна банка мінерального порошку; 6 – витратні бункери; 7 - бункер з дозатором; 8 - сушильно-змішувальний агрегат; 9 – живильник для подачі бітуму; 10 - бункер готової суміші

Старий асфальтобетон у вигляді грудок розміром до 60 см із прийомного бункера подається живильником у шокову дробарку, звідки стрічковим конвеєром — на молоткову дробарку, де подрібнюється до частинок дрібніше 40 мм на грануляту, і безперервним дозатором подається в сушильно-змішувальний агрегат. Необхідна кількість додаткового щебеню, піску і мінерального порошку (звичайно 20...40 %) з агрегатів живлення і силосної банки безперервними дозаторами також подається в сушильно-змішувальний агрегат. Додаткова кількість бітуму (звичайно 2...4 % маси матеріалу) подається в середню частину барабана. У барабанному змішувачі відбувається плавлення грануляту, нагрів мінеральної частини і вприскування бітуму. Готова суміш вивантажується в ківш скіпового підйомника і направляється в бункер готової продукції, а потім в автомобіль-самоскид.



## НОРМАТИВНІ ДОКУМЕНТИ

1. ДСТУ Б В.2.7-24-95. Будівельні матеріали. В'язуче шлаколужне. Технічні умови.
2. ДСТУ Б В.2.7-25-95. Будівельні матеріали. Бетони важкі шлаколужні. Технічні умови.
3. ДСТУ Б В.2.7-35-95 Будівельні матеріали. Щебінь, пісок та щебенево-піщана суміш із доменних та сталеплавильних шлаків для загальнобудівельних робіт. Загальні технічні умови.
4. ДСТУ Б В.2.7-39-95. Будівельні матеріали. Щебінь і пісок із шлаків чорної та кольорової металургії для бетонів. Технічні умови.
5. ДСТУ 3910-99 (ГОСТ 17.9.11.1-1999). Охорона природи. Поводження з відходами. Класифікація відходів. Порядок найменування відходів за генетичним принципом і віднесення їх до класифікаційних категорій.
6. ДСТУ ДК 005-96. Класифікатор відходів.
7. ГОСТ 18866-93. Щебень из доменного шлака для производства минеральной ваты. Технические условия.
8. ДСТУ Б В.2.7-17-95 Будівельні матеріали. Гравій, щебінь, пісок штучні пористі. Технічні умови.
9. ДСТУ Б В.2.7-29-95 Будівельні матеріали. Дрібні заповнювачі природні, із відходів промисловості, штучні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій та робіт. Класифікація.
10. ДСТУ Б В.2.7-71-98 (ГОСТ 8269.0) Будівельні матеріали. Щебінь і гравій із щільних гірських порід і відходів промислового виробництва для будівельних робіт. Методи фізико-механічних випробувань.
11. ДСТУ Б В. 2.7-74-98 Будівельні матеріали. Крупні заповнювачі природні, із відходів промисловості, штучні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Класифікація.
12. ГОСТ 26644-85 Щебень и песок из шлаков тепловых электростанций для бетонов.
13. ДСТУ Б В. 2.7-22-95 Будівельні матеріали. В'язучі композиційні низькоактивні безклінкерні. Загальні технічні умови.
14. ДСТУ Б В. 2.7-46-96 Будівельні матеріали. Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови.
15. ГОСТ 25592-91 Смеси золошлаковые электростанций для бетонов. Технические условия
16. ГОСТ 25818-91 Зола-уноса тепловых электростанций для бетона. Технические условия
17. ГОСТ 3344-83 Щебень и песок шлаковые для дорожного строительства
18. ГОСТ 3476-74 Шлаки доменные и электротермофосфорные гранулированные для производства цементов
19. EN-450 Fly Ash for Concrete. Conformity evaluation.





## РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Алехин Ю.А., Люсов А.М. Экономическая эффективность использования вторичных ресурсов в производстве строительных материалов. – М.: Стройиздат, 1988. – 344 с.
2. Бабачев Г. Золы и шлаки в производстве строительных материалов. – К.: Будивэльник, 1987. – 136 с.
3. Баженов Ю.М. Дворкин Л.И. Ресурсосбережение в строительстве за счет применения побочных промышленных продуктов. – М.: ЦМИПКС, 1986. – 66 с.
4. Бобович Б.Б. Переработка промышленных отходов: Учебник для вузов. - М.: Интермет Инжиниринг, 1999. - 445 с.
5. Бобович Б.Б., Девяткин В.В. Переработка отходов производства и потребления. - Интермет инжиниринг, 2000. - 495 с.
6. Боженов П.И. Комплексное использование минерального сырья и экология. Учеб. Пособие. – М.: Изд-во АСИ, 1994. – 264 с.
7. Большаков В.И., Дворкин Л.И. Строительное материаловедение. – Днепропетровск: РВА "Дніпро-VAL", 2004. – 677 с.
8. Будівельне матеріалознавство: Підручник /П.В. Кривенко, К.К.Пушкарьова, В.Б. Барановський та ін.. – К.: ТОВ УВПК «Ексоб», 2004. – 704 с.
9. Быстров Г.А., Гальперин В.М., Титов Б.П. Обезвреживание и утилизация отходов в производстве пластмасс. – Л.: Химия, 1982. – 264 с.
10. Волженский А.В. Иванов И.А., Виноградов Б.Н. Применение зол и шлаков в производстве строительных материалов. – М. Стройиздат, 1984. – 216 с.
11. Гиндис Я.П. Технология переработки шлаков. – М.: Стройиздат.- 1991. – 280 с.
12. Гладких К.В. Изделия из ячеистых бетонов на основе шлаков и зол. – М.: Стройиздат, 1976. – 256 с.
13. Гордон Л.М. Металлургия без отходов. – М.: Московский рабочий, 1986. – 141 с.
14. Горшков В.С., Александров С.Е., Иващенко С.И., Горшкова И.В. Комплексная переработка и использование металлургических шлаков. – М.: Стройиздат, 1985. – 322 с.
15. Гринин А.С., Новиков В.Н. Промышленные и бытовые отходы. Хранение, утилизация, переработка. – "Фаир-Пресс". - 2002. 336 с.
16. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Основы бетонознатства. – К.: "Основа", 2007. -616 с.
17. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Строительные материалы из отходов промышленности. – Ростов-на-Дону: Феникс - 2007. – 369 с.
18. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л., Корнейчук Ю.А. Эффективные цементно-золевые бетоны.-Ровно.- Изд-во "Эден",1999.- 195с.



19. Дворкин Л.И., Пашков И.А. Строительные материалы из отходов промышленности. – К.: Вища шк. - 1989. – 208 с.
20. Дворкин Л.И., Соломатов В.И., Выровой В.Н., Чудновский С.. Цементные бетоны с минеральными наполнителями.- Київ.- Будівельник, 1991.- 137 с.
21. Дворкин Л.И., Шестаков В.Л., Пашков И.А., Дымчук А.П. Отходы химической промышленности в производстве строительных материалов. – К.: Будівельник, 1986. – 128 с.
22. Долгарев А.В. Вторичные сырьевые ресурсы в производстве строительных материалов: Физико-химический анализ: Справ. Пособие.- М.: Стройиздат, 1990.- 456 с
23. Екотехнологія в будівництві: Навчальний посібник/За ред.. Р.А.Кизими.- Харків: Бурун Книга,2007.- 234с.
24. Иванов И.А. Легкие бетоны с применением зол электростанций. – М.: Стройиздат, 1986 – 136 с.
25. Иваницкий В.В., Классен П.В., Новиков А.А. и др. Фосфогипс и его использование. – М.: Химия, 1990. – 224 с.
26. Кривенко П.В. Специальные шлакощелочные цементы. – К.: Будівельник, 1992. – 192 с.
27. Кривенко П.В., Пушкарева Е.К. Долговечность шлакощелочного бетона. – К.: Будівельник, 1993. – 223 с.
28. Кривенко П.В., Пушкарьова К.К., Кочевих М.О. Заповнювачі для бетону. Підручник. – К.: ФАДА ЛТД, 2001. - 399 с.
29. Кудея А.Д. Комплексное использование минеральных ресурсов железорудных горно-обогатительных комбинатов УССР. – К.: Наукова думка, 1984. – 495 с.
30. Ласкорин Б.Н., Барский Л.А., Персиц В.З. Безотходная технология переработки минерального сырья. – М.: Недра, 1984. – 334 с.
31. Ласкорин Б.Н., Громов Б.В., Цыганков А.П., Сенин В.И. Проблемы развития безотходных производств.- М.: Стройиздат, 1981.- 207 с.
32. Лобачева Г.К., Желтобрюхов В.Ф., Прокопов И.И., Форменко А.П. Состояние вопроса об отходах и современных способах их переработки: Учебное пособие.– Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2005.–176 с.
33. Мелешкин Н.Г., Степанов В.Н. Промышленные отходы и окружающая среда. – К.: Наукова думка, 1980. – 179 с.
34. Мещеряков Ю.Г. Гипсовые попутные промышленные продукты и их применение в производстве строительных материалов. – Л.:Стройиздат, 1982. - 134 с.
35. Наназшвили И.Х. Строительные материалы из древесно-цементной композиции. – Л.: Стройиздат, 1990. – 415 с.
36. Наркевич И.П., Печковский В.В. Утилизация и ликвидация отходов в технологии неорганических веществ. – М.: Химия, 1984. – 240 с.



37. Основы экологии: Підручник /Г.О Білявський. , Р.С. Фурдуй, І.Ю.Костіков.- К.: Либідь,2004.- 408с.
38. Пальгунов П.П., Сумароков М.В. Утилизация промышленных отходов. – М.:Стройиздат, 1990. – 348 с.
39. Педан М.П., Мищенко В.С. Комплексное использование минеральных ресурсов. – К.: Наукова думка, 1981. – 272 с.
40. Равич Б.М., Окладников В.П., Лыгоч В.Н. и др. Комплексное использование сырья и отходов. – М.: Химия, 1988. – 288 с.
41. Сергеев А.М. Использование в строительстве отходов энергетической промышленности. – К.: Будівельник, 1984. – 120 с.
42. Состав и свойства золы и шлака ГЭС /Справочное пособие / Под ред. В.А.Мелентьева – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 285 с.
43. Состояние вопроса об отходах и современных способах их переработки: Учебное пособие / Г.К. Лобачева, В.Ф. Желтобрюхов, И.И. Прокопов, А.П. Форменко.– Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2005.–176 с.
44. Техноекологія: Навч. Посіб. Для студ. вищ. навч. зал. /В.М. Удод, В.В.Трофімович, О.С.Волошкіна, О.М. Трофимчук. КНУБА, Ін-т телекомунікацій і глобального інформ. простору.- К., 2007.- 195с.
45. Черепанов К.А., Черныш Г.И., Динельт В.М., Сухарев Ю.И. Утилизация вторичных материальных ресурсов в металлургии. – М.: Металлургия, 1994.– 224 с.
46. Чистяков Б.З., Ляликов А.Н. Использование минеральных отходов промышленности. – Л.: Стройиздат, 1984. – 152 с.
47. Шевченко А.Т. Строительные материалы из вторичных ресурсов промышленности. – К.: Будивэльник, 1990. – 121 с.
48. Shi C., Krivenko P.V., Roy D. Alkali-Activated Cements and Concretes. - London, N.Y.: Taylor and Francis Group, 2006. - 376 p.



## ЗМІСТ

<b>ПЕРЕДМОВА</b>	<b>3</b>
<b>ВСТУП</b>	<b>4</b>
<b>1. ПРОБЛЕМА ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ ТА ЇХ КЛАСИФІКАЦІЯ</b>	<b>8</b>
1.1. РОЗВИТОК ПРОМИСЛОВОСТІ ТА НАКОПИЧЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ	8
1.2. КЛАСИФІКАЦІЯ ВІДХОДІВ	12
1.3. ВИРОБНИЦТВО БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА УТИЛІЗАЦІЯ ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ	18
1.4 ВИБІР НАПРЯМКУ УТИЛІЗАЦІЇ ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ	22
<b>2. БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ З ВІДХОДІВ МЕТАЛУРГІЇ</b>	<b>29</b>
2.1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВІДХОДІВ	29
2.2 В'ЯЖУЧІ РЕЧОВИНИ НА ОСНОВІ МЕТАЛУРГІЙНИХ ШЛАКІВ	39
2.3 ЗАПОВНЮВАЧІ З МЕТАЛУРГІЙНИХ ШЛАКІВ	61
2.4. БЕТОНИ НА ОСНОВІ МЕТАЛУРГІЙНИХ ШЛАКІВ	77
2.5. МАТЕРІАЛИ З ШЛАКОВИХ РОЗПЛАВІВ	87
2.6. МАТЕРІАЛИ НА ОСНОВІ МЕТАЛУРГІЙНИХ ШЛАМІВ	92
<b>3. МАТЕРІАЛИ ІЗ ВІДХОДІВ ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ</b>	<b>95</b>
3.1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВІДХОДІВ	95
3.2. ЗАПОВНЮВАЧІ ІЗ ПАЛИВНИХ ЗОЛ ТА ШЛАКІВ	104
3.3. В'ЯЖУЧІ МАТЕРІАЛИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ЗОЛОШЛАКОВИХ ВІДХОДІВ	124
3.4. БУДІВЕЛЬНІ РОЗЧИНИ ТА БЕТОНИ З ВИКОРИСТАННЯМ ЗОЛОШЛАКОВИХ ВІДХОДІВ	136
3.5. АВТОКЛАВНІ, КЕРАМІЧНІ ТА СКЛОКРИСТАЛІЧНІ ВИРОБИ НА ОСНОВІ ЗОЛ ТА ШЛАКІВ ТЕС	148
3.6. ДОРОЖНЬО-БУДІВЕЛЬНІ ТА ІЗОЛЯЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ НА ОСНОВІ ЗОЛИ ТА ПАЛИВНИХ ШЛАКІВ	155
3.7. ВИКОРИСТАННЯ ГОРІЛИХ ПОРІД, ВІДХОДІВ ДОБУВАННЯ ТА ЗБАГАЧЕННЯ ВУГІЛЛЯ	160



<b>4. МАТЕРІАЛИ З ЗАСТОСУВАННЯМ ВІДХОДІВ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ</b>	<b>170</b>
4.1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВІДХОДІВ	170
4.2. МАТЕРІАЛИ З ЗАСТОСУВАННЯМ ФОСФОРНИХ ШЛАКІВ	175
4.3. МАТЕРІАЛИ НА ОСНОВІ ГПСО-І ВАПНОМІСТКИХ ВІДХОДІВ	178
4.4. МАТЕРІАЛИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ЗАЛІЗИСТИХ, СІРКОВМІСНИХ І СИЛІКАТНИХ ВІДХОДІВ	200
4.5. МАТЕРІАЛИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ГІДРОЛІЗНОГО ЛІГНІНУ І ВІДХОДІВ ЦЕЛЮЛОЗНО-ПАПЕРОВОГО ВИРОБНИЦТВА	208
4.6. ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНІ РЕЧОВИНИ (ПАР) І ДОБАВКИ ЕЛЕКТРОЛІТІВ НА ОСНОВІ ВІДХОДІВ ХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ	216
4.7. ЗАСТОСУВАННЯ ВІДХОДІВ КОКСО– І НАФТОХІМІЧНОГО ВИРОБНИЦТВ	225
4.8. УТИЛІЗАЦІЯ РОЗЧИНІВ І ШЛАМІВ	229
<b>5. МАТЕРІАЛИ І ВИРОБИ З ВІДХОДІВ ПЕРЕРОБКИ ДЕРЕВИНИ ТА ІНШОЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ</b>	<b>232</b>
5.1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВІДХОДІВ	232
5.2. ХІМІЧНІ ТА ФІЗИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ДЕРЕВИНИ	238
5.3. МАТЕРІАЛИ НА ОСНОВІ ДЕРЕВНИХ ВІДХОДІВ БЕЗ ЗАСТОСУВАННЯ В'ЯЖУЧИХ РЕЧОВИН	240
5.4. МАТЕРІАЛИ НА ОСНОВІ МІНЕРАЛЬНИХ В'ЯЖУЧИХ РЕЧОВИН	244
5.5. МАТЕРІАЛИ НА ОСНОВІ ОРГАНІЧНИХ В'ЯЖУЧИХ РЕЧОВИН	261
<b>6. МАТЕРІАЛИ ІЗ ВІДХОДІВ ГІРНИЧОРУДНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ І ПРОМИСЛОВОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ</b>	<b>277</b>
6.1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВІДХОДІВ	277
6.2. ЗАПОВНЮВАЧІ НА ОСНОВІ ЗАЛІЗИСТИХ КВАРЦИТІВ	281
6.3. ЗАПОВНЮВАЧІ ТА БЕТОННІ ВИРОБИ НА ОСНОВІ ВІДХОДІВ ПРОМИСЛОВОСТІ НЕРУДНИХ МАТЕРІАЛІВ	285
6.4. В'ЯЖУЧІ ТА АВТОКЛАВНІ МАТЕРІАЛИ НА ОСНОВІ ВІДХОДІВ ПОДРІБНЕННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД	290
6.5. ЗАСТОСУВАННЯ ВІДХОДІВ ВИРОБНИЦТВА БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ	297





<b>7. МАТЕРІАЛИ З ВІДХОДІВ СПОЖИВАННЯ ТА МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА</b>	<b>309</b>
7.1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВІДХОДІВ	309
7.2 МАТЕРІАЛИ З МАКУЛАТУРИ І ТЕКСТИЛЬНИХ ВІДХОДІВ	310
7.3 МАТЕРІАЛИ З ГУМОВИХ ТА КАУЧУКОВИХ ВІДХОДІВ	312
7.4 МАТЕРІАЛИ З ПЛАСТМАСОВИХ ВІДХОДІВ	319
7.5 ВТОРИННЕ ВИКОРИСТАННЯ ЦЕМЕНТНОГО ТА АСФАЛЬТОВОГО БЕТОНІВ	326
<b>НОРМАТИВНІ ДОКУМЕНТИ</b>	<b>333</b>
<b>РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА</b>	<b>334</b>
<b>ЗМІСТ</b>	<b>337</b>





*Дворкін Леонід Йосипович,  
Пушкарьова Катерина Костянтинівна,  
Дворкін Олег Леонідович,  
Кочевих Марина Олександрівна,  
Мохорт Микола Аркадійович,  
Безсмертний Микола Петрович*

## **ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОГЕННИХ ПРОДУКТІВ У БУДІВНИЦТВІ**

*Навчальний посібник*

Підписано до друку 26.12.2008 р. Формат 60×84 1/16  
Папір друкарський №1. Гарнітура Times. Друк різнографічний.  
Ум.-друк. арк. 19,7. Обл.-вид. арк. 20,7  
Тираж 280 прим. Зам. № 1095

*Редакційно-видавничий центр  
Національного університету  
водного господарства та природокористування  
33028, Рівне, вул.Соборна, 11.*

*Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру  
видавців, виробників і розповсюджувачів видавничої  
продукції РВ від 26.04.2005 р.*