

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет водного господарства  
та природокористування

Л. Й. Дворкін, А. В. Мироненко

# **БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ТА ВИРОБИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ**

Навчальний посібник

Рівне – 2019

УДК 691(075.8)

Д24

**Рецензенти:**

**Саницький М. А.**, доктор технічних наук, професор, Національний університет «Львівська політехніка»;

**Кузю М. Т.**, доктор технічних наук, професор, Національний університет водного господарства та природокористування.

*Рекомендовано вченою радою Національного університету  
водного господарства та природокористування.  
Протокол № 1 від 25 січня 2019 р.*

**Л. Й. Дворкін, А. В. Мироненко**

**Д24** Будівельні матеріали та вироби із застосуванням промислових відходів: навч. посіб. – Рівне : НУВГП, 2019. – 298 с.

**ISBN 978-966-327-425-6**

В даному посібнику розглянуто основні напрямки застосування промислових відходів у виробництві будівельних матеріалів та виробів. Наведені основні технологічні параметри виробництва, властивості матеріалів, техніко-економічні дані. Показані можливості зниження витрат матеріальних та енергетичних ресурсів при використанні промислових відходів.

Книга призначена для студентів і аспірантів будівельних університетів і факультетів.

**УДК 691(075.8)**

**ISBN 978-966-327-425-6**

© Л. Й. Дворкін,  
А.В. Мироненко, 2019  
© Національний університет  
водного господарства та  
природокористування, 2019

## ЗМІСТ

	Стор.
Передмова .....	5
1. Шляхи ресурсозбереження у виробництві будівельних матеріалів .....	6
1.1. Втрати основних матеріальних ресурсів у виробництві будівельних матеріалів .....	7
1.2. Втрати палива та енергії .....	10
1.3. Енерго- та ресурсозберігаючі технології у виробництві будівельних матеріалів .....	12
2. Проблема використання промислових відходів ...	20
2.1. Розвиток промисловості та накопичення промислових відходів .....	20
2.2. Класифікація відходів .....	25
2.3. Вибір напрямку утилізації промислових відходів	33
3. В'язучі речовини на основі промислових відходів .....	40
3.1. Гіпсові в'язучі .....	40
3.2. Гідравлічні в'язучі речовини .....	57
3.3. Безклінкерні в'язучі речовини .....	78
4. Заповнювачі для бетонів .....	99
4.1. Заповнювачі на основі металургійних шлаків .....	99
4.2. Заповнювачі з паливних шлаків .....	116
4.3. Заповнювачі на основі золи ТЕС .....	121
4.4. Заповнювачі на основі відходів переробки гірських порід і бетонного брухту .....	140
5. Бетони і розчини з застосуванням шлакових і зольних в'язучих та заповнювачів .....	156
5.1. Бетони на основі шлакових в'язучих та заповнювачів .....	156
5.2. Бетони з добавкою золи-винесення .....	168
5.3. Ніздрюваті зола шлакобетони .....	176
5.4. Будівельні розчини на основі золошлакових відходів .....	180
6. Плавлені та керамічні матеріали на основі шлаків та зол .....	183

6.1.	Матеріали зі шлакових розплавів .....	183
6.2.	Матеріали з фосфорно-шлакових розплавів .....	189
6.3.	Керамічні та плавлені матеріали з паливних шлаків та зол .....	191
7.	Матеріали з відходів переробки деревини та іншої рослинної сировини .....	197
7.1.	Загальна характеристика відходів .....	197
7.2.	Матеріали на основі деревних відходів без застосування в'язучих речовин .....	207
7.3.	Матеріали на основі деревних відходів та мінеральних в'язучих .....	212
7.4.	Матеріали на основі органічних в'язучих речовин .....	234
7.5.	Матеріали на основі лігніну і відходів целюлозно-паперового виробництва .....	255
8.	Матеріали на основі макулатури та полімерних відходів .....	265
8.1.	Матеріали з макулатури і текстильних відходів ...	266
8.2.	Матеріали з гумових та каучукових відходів .....	269
8.3.	Матеріали з полімерних відходів .....	279
	Нормативні документи .....	292
	Рекомендована література .....	294

## ПЕРЕДМОВА

Однією з найбільш актуальних проблем будівельної галузі є зниження споживання матеріальних та енергетичних ресурсів у виробництві будівельних матеріалів та виробів. Ця проблема вирішується комплексом заходів, серед яких важливе місце займає широке застосування промислових відходів в якості техногенної сировини. Поряд з економією природної сировини промислові відходи, які пройшли попередню обробку (подрібнення, випал) дозволяють суттєво економити енергетичні витрати. Важливе значення має також екологічний ефект застосування відходів – зменшення забруднення оточуючого середовища, ліквідація звалищ, вивільнення додаткових сільськогосподарських угідь.

В даному посібнику розглянуто основні напрямки застосування промислових та побутових відходів у виробництві будівельних матеріалів та виробів. Наведені основні технологічні параметри виробництва, властивості матеріалів, техніко-економічні дані.

В посібнику особлива увага відведена практичним рішенням по застосуванню промислових відходів, отриманим в результаті досліджень наукових установ та вищих навчальних закладів України в т.ч. виконаних авторами в Національному університеті водного господарства та природокористування.

Посібник поповнює літературу по даній проблемі, яка була видана раніше і в створенні якої приймали також участь автори.

Автори вдячні рецензентам посібника, зауваження яких були враховані при підготовці посібника. Автори також вдячний інженерам Л.І. Ніхаєвій, Л.А. Мацько за технічну допомогу при підготовці книги до видання.

## Розділ 1. Шляхи ресурсозбереження у виробництві будівельних матеріалів

Виробництво будівельних матеріалів є однією з найбільш енерго- та матеріалоемних галузей промисловості. Промисловість будівельних матеріалів України щорічно переробляє сотні тисяч тон кам'яних матеріалів, сировину для виробництва будівельної кераміки, скла, в'язучих матеріалів та ін. Про масштаби енергоспоживання промисловістю будівельних матеріалів свідчать дані про витрати умовного палива на виробництво основних видів будівельних матеріалів та виробів, що наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Витрата умовного палива на виробництво основних видів будівельних матеріалів та виробів

Види матеріалів та виробів	Витрати палива в кг на одну тонну продукції
Керамічні камені та глиняна цегла	50-80
Вапно, цемент	115-240
Керамічні плити для підлог	200-610
Облицювальні глазуровані плити	360-1058
Скло листове	510-590
Санітарно-будівельний фаянс	500-800
Керамзит	200-270

Близько 40% паливно-енергетичних ресурсів, що використовує промисловість будівельних матеріалів, витрачається на виробництво цементу та збірного залізобетону. Великі витрати палива та енергії характерні також для виробництва металів, пористих заповнювачів, кераміки, плавлених виробів, скла.

Виробництво будівельних матеріалів передбачає використання високих температур для отримання необхідного мінералогічного складу та структури матеріалу з високими фізико-технічними властивостями. Наприклад, при варінні скла

температура досягає  $1500^{\circ}\text{C}$  та вище, при випалі цементного клінкеру –  $1450^{\circ}\text{C}$ , вапна –  $1100\text{...}1200^{\circ}\text{C}$ , керамічної цегли –  $1000\text{...}1100^{\circ}\text{C}$  та ін. Крім того, для ефективного проведення технологічного процесу та здійснення фізико-хімічних реакцій необхідне попереднє високодисперсне подрібнення компонентів сировинних сумішей, що пов'язане з великими витратами електроенергії. Це є об'єктивна реальність. При урахуванні багатотоннажних мас матеріалів, що переробляється у виробництві будівельних матеріалів, стає зрозумілою велика потреба будівельної індустрії в енергоресурсах, та вплив долі енергоресурсів, на собівартість продукції.

Втрати матеріалів та енергії у виробництві будівельних матеріалів відбуваються в результаті недосконалості технології, використання технічно несправного обладнання, підвищеної вологості сировини, при їх транспортуванні, перевантаженні та складуванні. Нижче наведені деякі характерні джерела втрат основних будівельних матеріалів та енергоресурсів у будівельній індустрії.

### **1.1. Втрати основних матеріальних ресурсів у виробництві будівельних матеріалів**

**Втрати металу.** Арматурна сталь різних класів та видів в певних межах є взаємозамінною. Використання арматури низьких класів, наприклад А240С, А300С замість високоміцних А800 чи А1000 призводить до перевитрати сталі на 30...40%. Ще більші втрати металу можливі при використанні стержньової арматури замість високоміцного холодно тягнутого дроту та канатів.

Значні втрати металу можливі при нераціональному проектуванні залізобетонних конструкцій без точного урахування дійсної роботи під навантаженням, а також при використанні для залізобетону бетонів низьких марок. Втрати металу спостерігаються також на стадії виготовлення арматурних каркасів при використанні застарілих технологій, при нераціональному проектуванні та застосуванні металоформ

для збірного залізобетону, зокрема недостатній оборотності металоформ.

При виготовленні металоконструкцій втрати металу можливі при використанні нераціональних профілів металопрокату а також нелегованих та низьколегованих сталей замість високолегованих.

**Втрати цементу.** Основним джерелом втрат цементу при його виробництві є поставка гарячого цементу з ознаками несправжнього тужавлення а також цементів з високою водопотребою (табл. 2). Певна частина цементу втрачається в результаті недосконалості пиловловлюючих пристроїв помольних агрегатів цементної промисловості.

Таблиця 2

Вплив нормальної густини цементу на його витрату для виготовлення бетонів

Нормальна густина цементу	Відносна витрата цементу, %, для бетонів марок		
	200-300	400	500
24	98	98	98
25	100	100	100
28	104	109	111
30	107	118	129

До значних втрат цементу відносяться втрати, що викликані незадовільною організацією транспортних та складських операцій. Зокрема, втрати цементу при транспортуванні у цементовозах, з урахуванням втрат при навантажувальних та розвантажувальних роботах, приблизно у 10 разів менші, ніж при транспортуванні у критих вагонах, і в 40 раз менші, ніж у відкритому рухомому транспорті (табл. 3).

Таблиця 3

Втрати цементу при навантажувальних та розвантажувальних роботах

Вид рухомого транспорту	Втрати цементу, %, при			
	наванта-женні	транспор-туванні	розвантаженні	
механізованому			ручному	
Цементовози	0,1	-	0,3	-
Криті вагони	0,4	2	0,5	2,5
Відкритий рухомий транспорт	4	6	-	5



Неритмічність постачання цементу, відсутність достатніх емностей на заводах ЗБВ призводять до того, що значна частина цементів різних марок змішується, а потім використовується за витратними нормами найгіршого зі змішаних цементів. Перевитрата цементу при цьому складає 12...14%. Проведені перевірки показали, що в середньому, змішуються до 15% цементів, а на деяких підприємствах до 100%, втрати при цьому складають близько 1,5% цементу, що використовується у будівництві.

Кількість митих кондиційних заповнювачів для бетонів не перевищує 35% від загальної кількості, а постачання збагачених і фракціонованих пісків складає не більше 4...5% загального об'єму. В той же час, кожен відсоток забрудненості щебеню рівнозначний додатковій витраті близько 1% цементу. Низька якість заповнювачів призводить до перевитрати, в середньому, 10% цементу. Навіть низька якість лабораторних металоформ для виготовлення контрольних зразків-кубів бетону є причиною завищення понад необхідну міцності бетону і як наслідок – до перевитрати 5...10% цементу.

Доведено, що відбуваються також втрати цементу внаслідок недосконалості формувального обладнання та завищення товщини виробів, недосконалості дозаторів та прискорення режимів пропарювання, недосконалості і зношеності обладнання для випробування зразків, браку продукції та ін.

На багатьох підприємствах цемент марок 500 і 400 використовують для виготовлення бетонів марок 100 і 150, а також цементних розчинів марок 50 і 75. Перевитрата цементу внаслідок нераціонального використання його активності складає близько 5%.

**Втрати інших матеріалів.** Значні втрати при виготовленні ряду матеріалів і виробів відбуваються в наслідок виробничого браку продукції: керамічної і силікатної цегли, керамічних плиток, скловиробів, рулонних гідроізоляційних та опоряджувальних матеріалів, виробів з деревини, пластмас, органічних та неорганічних теплоізоляційних матеріалів та виробів та ін. Загальна кількість виробничого браку коливається

в широких межах: 0,5...10% продукції і залежить від виробничої культури, організації виробництва та оснащення підприємств. Для подолання проблеми виробничого браку необхідно здійснювати подальшу оптимізацію технологічного процесу, впровадження нових технологій та обладнання, підвищення кваліфікації персоналу підприємств.

## 1.2. Втрати палива та енергії

Одним з найбільших споживачів палива та енергії у виробництві будівельних матеріалів є *виробництво збірних залізобетонних виробів*. В середньому на 1 м<sup>3</sup> збірного залізобетону витрачається 1950 тис. кДж, або понад 90 кг умовного палива, що майже в двічі перевищує розрахункові енерговитрати. На долю теплової енергії припадає близько 90%, а електричної – 10% всіх енергоресурсів, що використовуються. Відносні витрати енергоресурсів на заводах ЗБВ розподіляються наступним чином, %: основне виробництво зі складом готової продукції – 68,2...72,5; бетонозмішувальний цех зі складами заповнювачів, цементу та добавок – 0,47...0,62; арматурний цех зі складом металу – 1,35...3,9; ремонтна служба зі всіма підрозділами – 2,3...3,1; загальнозаводські служби (опалення, вентиляція, гаряче водопостачання, компресорна та ін.) – 19,88...26,68.

В теплоенергетичному балансі заводів збірного залізобетону до 70% теплоти використовується на теплову обробку виробів, що складає близько 1373 тис. кДж на 1 м<sup>3</sup> залізобетону. При цьому, згідно з теоретичними розрахунками, з урахуванням неминучих втрат і додаткових витрат на підігрів заповнювачів, на теплову обробку залізобетону повинно витрачатись всього близько 840 тис. кДж/м<sup>3</sup>. На даний час до 84% річного випуску збірного залізобетону виготовляють з використанням пропарювальних камер ямного типу, для яких коефіцієнт корисного використання теплової енергії складає всього 28%.

Основною причиною значної перевитрати теплоти є незадовільний технічний стан пропарювальних камер, теплових

мереж, запірної арматури і засобів контролю витрати пару. В результаті мають місце значні витоки пари, теплота втрачається також в наслідок відсутності ізоляції гарячих поверхонь, необґрунтованого збільшення тривалості теплової обробки і температури пропарювання.

Найбільша доля непродуктивних теплових втрат в ямних камерах припадає на остигання бетонного корпусу під час перерв в процесі теплової обробки, у щілинних камерах – на теплопередачу між огорожами у процесі теплової обробки. В результаті суттєвих коливань теплопровідності важкого бетону в залежності від властивостей крупного заповнювача, непродуктивні втрати теплоти часто у 1,5 рази перевищують розрахункові.

Втрати тепла при *виробництві цементу* спостерігаються на всіх основних стадіях технологічного процесу: подрібненні та сушці сировини, випалу та помелу. Втрати тепла при випалі цементного клінкеру відбуваються:

- на випаровування води із сировинної суміші;
- з пічними газами, що відходять;
- крізь корпус обертової печі;
- з гарячим клінкером.

Найбільша втрата тепла відбувається при випаровуванні води за мокрим способом виробництва.

Зниження втрат палива досягається шляхом використання пічних газів та іншого вищевказаного тепла для сушки сировини, переходу на сухий спосіб виробництва клінкеру, удосконалення технологічних агрегатів та організації виробництва.

Подібні проблеми зі втратами тепла виникають і при виробництві будівельного вапна. Середньорічна кар'єрна вологість крейди – основної сировини для виробництва вапна складає близько 25%.

Найбільш енергоємним процесом у *виробництві скла* є його варка, на яку витрачається до 80% всіх енерговитрат. В процесі варіння скла 53...60% цієї енергії втрачається крізь поверхню печі і 20...22% – з газами, що відходять. Проблеми тепловтрат вирішуються шляхом використання відповідної

теплоізоляції та раціонального використання тепла газів, що відходять.

Характер втрат тепла в процесі *випалу кераміки* в цілому подібний до втрат при варінні скла – крізь поверхню печі і з газами, що відходять. Високі витрати тепла також ідуть на сушку сирцю перед випалом. Найменше енергетичних витрат має технологія напівсухого пресування цегли, яка широко використовується у розвинутих країнах світу

Найбільш енергоємними процесами в *технології ніздрюватих бетонів* є автоклавна обробка і підготовка (помел) сировинних матеріалів. Скорочення енерговитрат досягається шляхом оптимізації процесу підготовки сировинних матеріалів, зменшення тривалості автоклавної обробки та оптимізації її параметрів, зокрема зменшення вологості сирцю та об'єму конденсату, а також утилізації тепла.

### **1.3. Енерго- та ресурсозберігаючі технології у виробництві будівельних матеріалів**

Економія палива досягається за рахунок інтенсифікації теплових процесів та удосконалення теплових агрегатів, зниженням вологості сировинних матеріалів, використанням вторинної сировини, промислових відходів та інших технологічних прийомів.

Будівельна індустрія є одним з найбільших споживачів металів. При *виробництві сталі* найбільш ефективною у тепловому відношенні є киснево-конверторна плавка, що заснована на продуванні рідкого чавуну киснем. Коефіцієнт використання тепла у кисневих конверторах досягає 70%, що набагато вище, ніж у інших сталеплавильних агрегатах.

Використання кисню дозволяє на 5...10% зменшити витрату палива також і при мартенівському способі. В більшій мірі теплота відхідних газів використовується у двованних мартенівських печах. Прогресивним способом є отримання сталі шляхом прямого відновлення з руди, минаючі доменний процес. При такому способі відпадають витрати на коксохімічне виробництво, що є необхідним при доменному процесі.

*Виготовлення вапна* теж є одним з найбільш енергоємних процесів. З метою зменшення витрат палива розроблена технологія виробництва вапна з використанням апаратів швидкісної термообробки. Для виробництва вапна використовується сировина (крейда) природної (кар'єрної) вологості. Сушку і помел ефективно суміщати в одному агрегаті – сушарці-дробарці.

Мінімальна кількість вологи, що випаровується, низька температура газів, що відходять, низькі втрати тепла у навколишнє середовище в наслідок герметичності і надійної теплоізоляції нерухомих теплообмінників та реактора, дозволяють знизити витрату умовного палива до 200 кг/т вапна, замість 320...340 кг за традиційною технологією.

У *цементній промисловості* зниження витрат палива досягається випалом клінкеру за сухим способом, виробництвом багатокомпонентних цементів, використанням мінералізаторів при випалі клінкеру а також різних типів теплообмінних пристроїв, зневодненням шламу, низькотемпературною технологією, повною або частковою заміною глини такими промисловими відходами, як золи, шлаки та ін.

Одним з головних резервів зниження витрати палива у виробництві цементу – це зменшення вологості шламу. Кожен відсоток зниження вологості шламу дозволяє зменшити питому витрату палива на випал клінкеру у середньому на 117...146 кДж/кг, тобто на 1,7...2%. Питома витрата теплоти на випал при сухому способі складає 2900...3750 кДж/кг клінкеру, а при мокрому в 2...3 рази більше.

При введенні у сировинний шлам доменних шлаків або зол ТЕС витрата палива зменшується на 15...18%. При виготовленні шлакопортландцементу економія палива додатково складає у середньому 30...40% у порівнянні з чистоклінкерним цементом.

Низькотемпературна технологія синтезу клінкеру, згідно з якою в якості каталітичного середовища використовується хлористий кальцій, забезпечує зниження витрат теплоти на випал та помел клінкеру на 35...40% і таке ж збільшення продуктивності печей.

Витрати палива суттєво скорочуються при зниженні витрат цементу на виготовлення бетону та виробів і конструкцій на його основі. Витрати цементу можна значно скоротити (і при цьому підвищити якість і довговічність конструкцій), якщо виготовляти бетони на чистих та фракціонованих заповнювачах. Організація виробництва таких заповнювачів потребує значних коштів, але для народного господарства це значно вигідніше у порівнянні з витратами на ремонті і заміну залізобетонних конструкцій, які часто виходять з ладу значно раніше нормативних строків експлуатації. В передових країнах не виготовляють, як правило, бетон на заповнювачах лише однієї фракції 5-20 мм. Наприклад у Фінляндії його виготовляють на 4-х фракціях крупного і 2-х – дрібного заповнювача.

Потужним засобом економії цементу є хімічні добавки, зокрема суперпластифікатори. Наприклад суперпластифікатор С-3 за своєю ефективністю не поступається відомим зарубіжним добавкам, типу Melment, але вартість його у 5...6 разів нижча. Використання С-3 дозволяє на 15...20% знизити витрату цементу для приготування бетону, або суттєво (до 25%) збільшити його міцність. Ще більший ефект може бути отриманий за рахунок використання суперпластифікаторів нового покоління – поліакрилатного або полікарбоксилатного складів. Але їх використання стримується високою вартістю цих добавок.

Ефективність цементів може бути підвищена шляхом збільшення тонкості його помелу. При цьому зростає також швидкість набору міцності бетоном. Економія цементу можлива також шляхом спільного помелу його з наповнювачами (пісок, вапняк та ін.). Марка такого цементу зменшується, але для бетонів низьких марок (до М200) можна заощадити до 50% цементу.

Певні резерви для зниження витрати цементу є у роздільній технології приготування бетонної суміші. Цей метод давно відомий, але не отримав поки поширення.

У виробництві збірного залізобетону поряд зі зниженням тепловтрат важливе значення набуває розвиток енергозберігаючих технологій: використання високоміцних і

швидкотвердіючих цементів, введення хімічних добавок, зниження температури і тривалості нагріву, електророзігрів бетону, теплова обробка в середовищі продуктів згоряння природного газу, використання безпрогрівної технології.

Прискорювання пропарювання повинно здійснюватись методами, що не ведуть до перевитрати цементу – введенням прискорювачів твердіння, формуванням з гарячих сумішей, двох стадійною тепловою обробкою, використанням теплоти гідратації цементу та ін. Використання гарячих сумішей з температурою 65...70° С дозволяє при виготовленні масивних виробів досягти прискорення теплової обробки на 2,5...3,5 год.

З використанням електророзігріву бетонна суміш протягом декількох хвилин нагрівається до потрібної температури і вкладається у форми. Тривалість часу між закінченням електророзігріву суміші і вкладанням для запобігання втрати її пластичності повинна бути не більше 10...15 хв. Можливим є також скорочення тривалості теплової обробки на термін понад 3 год. у касетах, з урахуванням подальшого дозрівання. Позитивно впливає при цьому уповільнене охолодження виробів у штабелях.

Можливість суттєвого скорочення тривалості теплової обробки виробів і покращення їх якості доведена при суміщенні інтенсивних механічних і теплових впливів на бетон (динамотермічна обробка). При такому способі теплової обробки деструктивні явища, що розвиваються при швидкому розігріві бетонної суміші, значною мірою усуваються механічним ущільнюючим впливом, відпадає необхідність у попередньому витримуванні.

Прикладання у певний період механічної дії сприяє спрямованому структуроутворенню в бетоні і покращенню його властивостей. Механічний тиск на твердіючу бетонну суміш може створюватись спеціальним привантаженням, або жорсткою кришкою форми, пакетуванням форм, надлишковим тиском пари у пропарювальній камері. Інтенсивність привантаження рекомендується приймати від 10 до 70 г/см<sup>2</sup>. При форсованому режимі теплової обробки під навантаженням відпускну міцність у 70% проектної марки можна отримати на

3...6 год швидше, або у 1,5...2 рази скоротити цикл теплової обробки, і у стільки ж раз збільшити оборотність форм. Створення надлишкового тиску у камерах до 0,06 МПа дозволяє досягти необхідної температури за 1 год, а загальну тривалість пропарювання скоротити до 5 год.

Прискорення теплової обробки можливе і при використанні більш жорстких бетонних сумішей, інтенсивного тверднення і підвищеної щільності бетону. Так, формування вібро-протягуванням, замість ущільнення на вібромайданчику в результаті використання сумішей із жорсткістю 50...80 с, при незмінній витраті цементу, дозволяє прискорити теплову обробку до 9 год замість 12...13 год. При безвібраційному роликовому формуванні тротуарних плит із піщаного бетону тривалість пропарювання складає всього 4...5 год.

Прискорення теплової обробки без додаткових мір досягається при виготовленні конструкцій з високоміцних бетонів. Тривалість теплової обробки бетонів марок 600...800 можна зменшити з 13 до 9 год без перевитрат цементу. При пропарюванні протягом 9 год оборотність ямних камер збільшується на 35...45%. При виготовленні колон з високоміцних бетонів на стендах можна скоротити тривалість пропарювання з 15 до 7 год і довести оборотність стендів до 1,5 за добу.

Заходи з прискорення теплової обробки дають найбільший ефект при тризмінній роботі формувальних ліній, як правило, в умовах конвеєрного виробництва.

Перспективним напрямком зниження енергоємності збірного залізобетону є використання низькотемпературних режимів теплової обробки з урахуванням теплоти гідратації цементу в процесі нагрівання бетону. Теплота, яку виділяє цемент за перші 3...4 год теплової обробки, складає близько 20% всієї теплоти, що використовується на нагрівання виробів. Тепловиділення бетону залежить від хіміко-мінералогічного складу цементу, тонкості його помелу, водоцементного відношення, температури бетону і тривалості його теплової обробки. При традиційних режимах теплової обробки роль тепловиділення незначна, тому що основна доля теплоти



гідратації проявляється на стадії ізотермічної витримки. Екзотермію бетону доцільно враховувати при м'яких режимах прогріву, коли створюються умови для інтенсивної гідратації цементу при зростанні власного енергетичного потенціалу бетону. При цьому в період найбільш енергоємної стадії теплової обробки можна на 40...60% скоротити витрату енергоресурсів. В багатьох випадках можна обмежитись розігрівом бетону до 60...70° С з подальшим термосним охолодженням і отримати при цьому необхідну відпускну міцність без подавання пари.

Ефективною технологією прискореного твердіння, наприклад плоских плит, є безкамерний спосіб, що заснований на створенні штучного масиву бетону пакетуванням. Цей спосіб у поєднанні з електрообігрівом низькотемпературними нагрівачами дозволяє збільшити продуктивність лінії і значно зменшити непродуктивні витрати тепла. Розроблена технологія виготовлення тонкостінних плит у гріючих пакетах, впровадження якої дозволяє знизити витрати енергії на теплову обробку у 2,6 рази. За цією технологією на одному піддоні виготовляється декілька плит, що розділені між собою тонкими металевими прокладками, до яких прикріплені плоскі сіткові нагрівачі.

Створення штучного масиву зумовлює максимальне використання теплоти гідратації цементу на нагрів бетону і прискорення його твердіння. При контактній теплопередачі майже вся теплова енергія від електронагрівачів використовується на нагрів бетону. Подібний ефект отриманий також при використанні електронагрівачів з вуглеграфітової тканини при виготовленні панелей в касетних установках, де витрата енергії скорочується у 5 разів у порівнянні із існуючими нормами.

В даний час насичена водяна пара є основним видом теплоносія для теплової обробки бетону. Головний його недолік – низький ККД (5...0,2) у теплових установках. Тому в роботах останніх років підкреслюється ефективність безпарових методів теплової обробки.

При тепловій обробці бетону в умовах кондуктивного прогрівання, що здійснюється в касетах та термоформах із закритими поверхнями, можна використовувати будь-які теплоносії, що забезпечують отримання необхідної температури. Ефективним є використання продуктів згоряння природного газу, високотемпературних органічних теплоносіїв, електроенергії. Наприклад, на  $1 \text{ м}^3$  бетону необхідно  $10...20 \text{ м}^3$ , а насиченої пари –  $70...102 \text{ м}^3$ .

В якості високотемпературних органічних теплоносіїв використовують мінеральні масла та інші органічні речовини, що не викликають корозію метала форм і які мають високу температуру спалаху.

Використання електроенергії в якості теплоносія дозволяє скоротити режими теплової обробки, збільшити ККД теплових установок, автоматизувати технологічний процес, а також покращити санітарно-гігієнічні умови праці робітників. Витрата електроенергії при звичайному електропрігріві не перевищує  $80...100 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^3$ , а при форсованому –  $40...50 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^3$ .

Розроблені різноманітні методи прогрівання з використанням електроенергії. Найбільш поширені електронагрівачі із чорних металів: кутникові та трубчато-стерженьові, а також неметалеві тканинні нагрівачі..

Перспективною є тепла обробка бетону в електромагнітному полі а також використання інфрачервоних промінів. Інфрачервоні проміні з довжиною хвиль  $0,75...100 \text{ мкм}$  при проходженні крізь шар повітря практично не втрачають теплоти, при цьому на  $1 \text{ м}^3$  виробів витрачається близько  $100 \text{ кВт}$  електроенергії або  $34 \text{ кг}$  умовного палива.

У кліматичних умовах України, що відрізняються інтенсивною сонячною радіацією, питомі витрати енергії на прискорення твердіння бетону можна суттєво скоротити шляхом використання сонячної енергії. При цьому можливі наступні методи використання сонячної енергії: прямий нагрів сонячною радіацією під покриттями з полімерних плівок, перетворення сонячної енергії у теплову в геліотехнічних установках, акумулювання сонячної енергії в різних енергоємних матеріалах, комбінований тепловий вплив на бетон, наприклад

після попереднього паро- або електророзігріву. Для районів із сухим та жарким кліматом питома витрата електроенергії може бути знижена до  $630 \text{ кДж/м}^3$ , тобто майже втричі.

Паливноенергетичні витрати у виробництво залізобетону можна також зменшувати шляхом економії цементу, на виробництво якого витрачається понад 200 кг умовного палива.

У *виробництві керамічних матеріалів* ефективним шляхом економії кондиційного палива є використання паливомістких відходів промисловості. Так використання в якості компонента шихти відходів вуглезбагачення дозволяє при отриманні стінових керамічних виробів заощаджувати до 30% палива, відпадає необхідність введення у шихту вугілля.

Значна економія палива і сировини при виробництві цегли (до 40%), досягається при переході на виробництво пустотілих багатопорожнинних стінових каменів. Велика економія палива досягається також шляхом реконструкції тунельних печей з метою досягнення їх газонепроникності.

Ефективним шляхом енергозбереження у *виробництві скла* є модернізація печей для варіння скла, що включає змінення конструктивних елементів печей, встановлення пристроїв для інтенсифікації технологічних процесів, теплової ізоляцію кладки стін печей з використанням вогнетривких теплоізоляційних матеріалів. За рахунок теплової ізоляції сумарні втрати тепла крізь огорожуючі поверхні зменшуються у середньому у 2,5...3 рази, тепловий ККД печей для варіння скла збільшується на 30...40%. Це дає можливість скоротити витрати палива на 15...20%.

Зменшення витрат палива та енергії у *виробництві ніздрюватих бетонів* досягається, переважно, за рахунок зниження у 1,5 рази сумарних витрат на помел сировини та автоклавну обробку. Помел здійснюється мокрим способом з використанням ПАР, при цьому знижується також знос мелючих тіл та футерівки млинів. Зменшення витрат пари на автоклавну обробку здійснюється шляхом оптимізації передавтоклавної вологості суміші і температури сирцю, скорочення тривалості запарювання, зменшення об'єму конденсату.

## **Розділ 2. Проблема використання промислових відходів**

### **2.1. Розвиток промисловості та накопичення промислових відходів**

Використання вторинної сировини та промислових відходів є одним з найбільш ефективних напрямків ресурсозбереження у виробництві будівельних матеріалів.

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. Близько 70% витрат у промисловості України припадає на сировину, матеріали, паливо та енергію. У 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 у США – 3,5 млрд. тонн, тобто приблизно 50 кг на душу населення.

Найбільш інтенсивно зростає споживання енергетичних ресурсів. 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, пари 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. 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 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.

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 не вигідно 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, шлаків 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 переробних 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.) встановлені виробничі фактори, які впливають на їхні властивості та визначають напрямки, де вони можуть бути застосовані з найбільшою користю. Підприємства – постачальники шлаків, які забезпечують їхню відповідну якість, отримують спеціальний сертифікат, що вказується в документах на відвантаження.

## 2.2. Класифікація відходів

У нормативній та науковій літературі поки що відсутнє єдине визначення понять "відходи", "вторинні ресурси", "попутні та побічні продукти", "утиль-сировина".

*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 багатокомпонентної 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. 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.

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, дисперговоною, механічно або хімічно активованою і т.д.).



Рис. 1. Класифікація відходів

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.

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).

*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 переробними 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 *А*. 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 та 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 В* утворюються внаслідок фізико-хімічних процесів, що відбуваються у відвалах (самозаймання, розпад шлаків та утворення порошку і т.д.). Типовими представниками сировинних матеріалів цього класу є горілі алюмосилікатні породи, що утворюються при самозайманні 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 магнієві. 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 магнію. 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 CaO та Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> такі матеріали

твердіють в нормальних умовах або при тепловологісній 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 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 за небезпечністю (табл. 4).

Таблиця 4

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 небезпечності деяких хімічних речовин, що визначається розрахунковим методом:

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

- наявність у відходах хлориду міді, нікелю, оксиду сурми, нітрату свинцю та інших, менш токсичних речовин дає можливість віднести ці відходи до другого класу небезпечності;

- 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  $\alpha$ -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, у фосфогіпсах ряду країн концентрація радіонуклідів по радію-226 знаходиться в межах 600...1500 Бк/кг, торію-232 – 5...7 Бк/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.

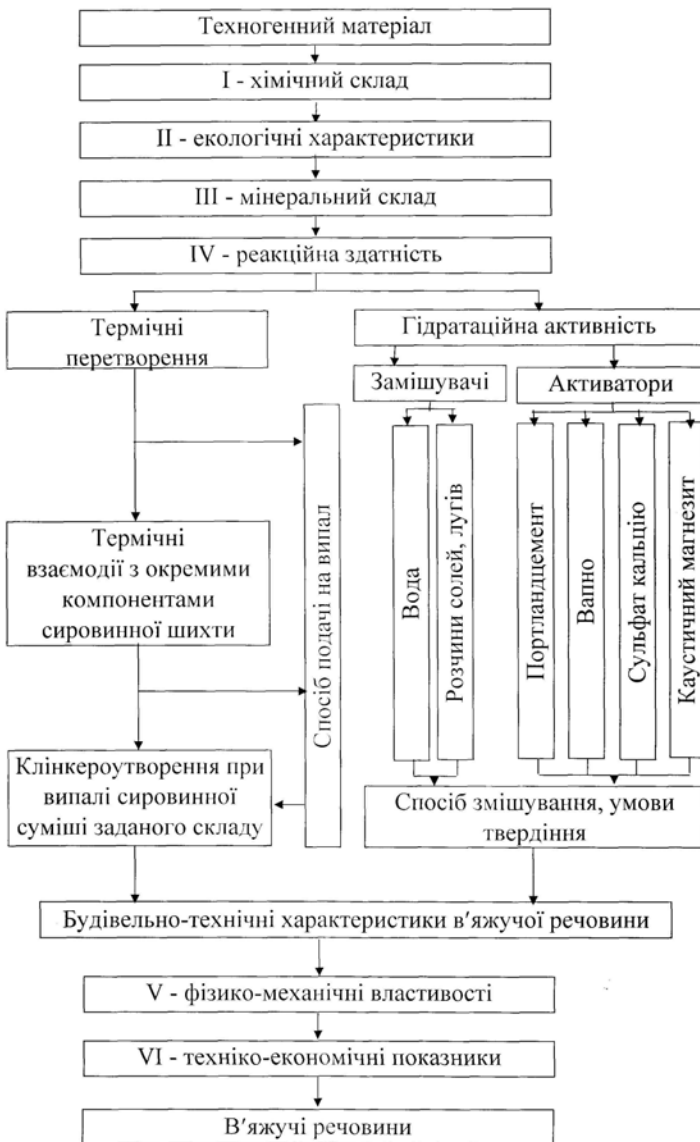
5. *Відходи гірничо-рудної промисловості*: вскришні породи та породи, що попутньо розробляються.

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).

### **2.3. Вибір напрямку утилізації промислових відходів**

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. 2.



**Рис. 2.** Схема оцінки якості техногенних матеріалів для використання їх у виробництві в'язучих речовин

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):

$$E_{\text{пит}} = (n_1/a) (C_1 + n_2C_2 - C_3) + E_n(K_1 + n_2K_2 - K_3), \quad (1)$$

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.

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

$$\beta = \frac{\Pi - C}{K}, \quad (2)$$

де  $\beta$  – коефіцієнт загальної економічної ефективності використання вторинних матеріальних ресурсів (по прибутку);

$\Pi$  – вартість річного випуску продукції з відходів в оптових цінах підприємства (без податку з обігу), грн.;

$C$  – собівартість річного випуску продукції з відходів, грн.

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

$$\Delta P_0 = \sum_{i=1}^n [\Pi_{0i} - (C_{0i} + D_i)] A_{0i}, \quad (3)$$

де  $\Pi_{0i}$  – 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 продукції.

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:

$$M_c = \frac{\sum_{i=1}^n M_{zi}}{\sum_{i=1}^n C_{T(нч)_i} \cdot (A_{0i} + A_0)}, \quad (4)$$

де  $M_{zi}$  – матеріальні витрати (тис. грн.) на ресурси  $i$ -го виду;

$C_{T(нч)_i}$  – 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;

$A_{0i}$ ,  $A_i$  – 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 (I)*, що може бути представлений у вигляді відношення:

$$I = \frac{Q_d}{Q_o}, \quad (5)$$

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 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) матеріалоємності продукції, іншими виробничими показниками, на які мають вплив заходи щодо комплексного використання відходів. До них відносяться:

приріст обсягів продукції, що випускається; зростання фондівддачі; 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  $\Delta Y_{\text{в}}$ , а також скорочуються викиди в повітряний та водний басейни  $\Delta Y_{\text{б}}$ :

$$\Delta Y = \Delta Y_{\text{в}} + \Delta Y_{\text{б}}. \quad (6)$$

Перший доданок у формулі (6) визначається за формулою:

$$\Delta Y_{\text{в}} = \text{Ц} S_{\text{в}} / T_{\text{в}}, \quad (7)$$

де  $\text{Ц}$  – ціна 1 га землі, грн.;

$S_{\text{в}}$  – територія, що вивільняється з-під відходів, га;

$T_{\text{в}}$  – час, протягом якого розробляються відвали, років.

Другий доданок  $\Delta Y_{\text{б}}$  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.

### Розділ 3. В'яжучі речовини на основі промислових відходів

#### 3.1. Гіпсові в'яжучі

Гіпсовими в'яжучими називають речовини, які складаються з напівводного гіпсу  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$  або ангідриду  $\text{CaSO}_4$ , здатні при взаємодії з водою твердіти в повітряному середовищі. Їх отримують при тепловій обробці і подрібненні сировинних матеріалів, які складаються в основному з двоводного ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) або безводного гіпсу. Найбільш широко застосовують природний гіпс - гіпсовий камінь, який містить 70...95%  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Можуть застосовуватись в якості сировини також глинисто-гіпсові породи та сульфатні відходи хімічної промисловості.

Обсяг гіпсомістких відходів промисловості-побічних продуктів перевищує обсяг гіпсового каменю, що спеціально добувається для виробництва будівельних матеріалів. Основним видом гіпсомістких відходів є *фосфогіпс*, який отримують як побічний продукт у виробництві фосфорних добрив з природної сировини – апатитів та фосфоритів.

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'яжучі, 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'яжучого без додаткової обробки потрібно 90...120% води.



Негативний вплив на будівельні властивості фосфогіпсових в'язучих домішок, що містяться в фосфогіпсі, можна дещо знизити його помелом 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 стає незначною.

Домішки у фосфогіпсі вільних фосфорної і сульфатної 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.

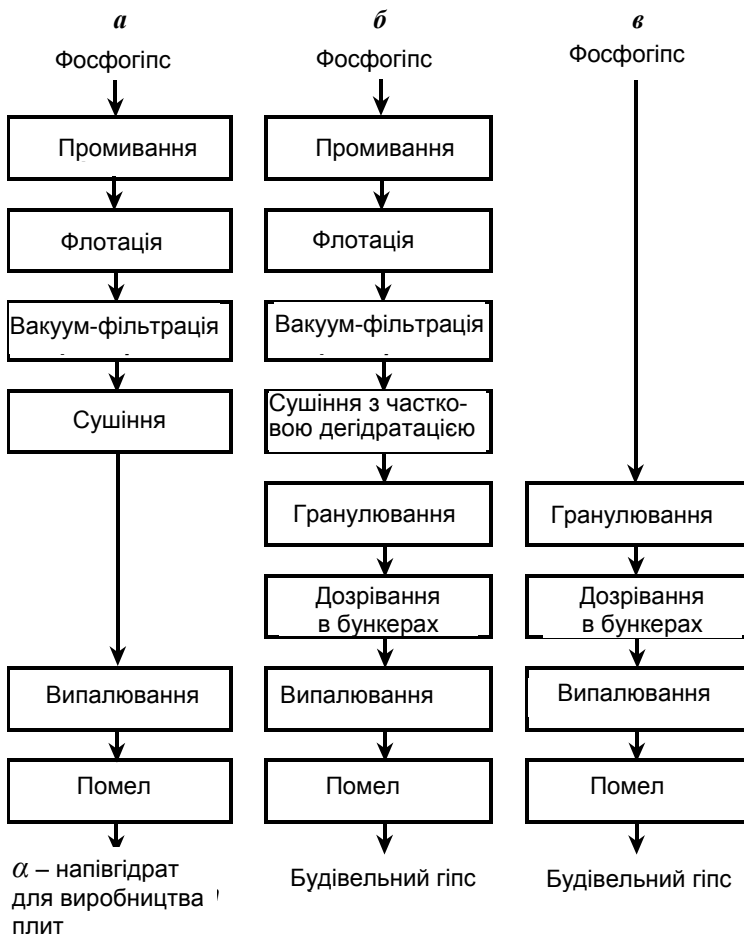
Основні методи підготовки фосфогіпсу у виробництві гіпсових в'язучих можна розділити на 4 групи:

- 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 ангідриду 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 Knauf пропонує три варіанти виробництва в'язучих з фосфогіпсу в залежності від області їх подальшого використання. Принципова схема цих трьох варіантів представлена на рис. 3. 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.



**Рис. 3.** Принципові схеми процесів отримання гіпсових в'язучих методами фірми Knauf

За II варіантом (б) 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. Одна з технологій одержання *високоміцного фосфогіпсового в'язучого* реалізована на Воскресенському 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 пек знову розбавляють водою до концентрації близько 700 г/л і отриману суспензію перекачують в автоклави. Утворену в автоклавах суспензію □-напів-гідрату охолоджують і зневоднюють у вакуум-фільтрах. Відфільтрований і промитий гарячою водою продукт з вологістю близько 12...15% висушують у прямооточних трубах-сушарках до 4,5% вмісту кристалізаційної води. Висушений □-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 □-модифікації. На вакуум-фільтрі тверда фаза суспензії відокремлюється і надходить послідовно на сушіння, помел і склад готової продукції. При використанні вказаної 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 тепловологісної 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.

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 наведені в табл. 5.

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.

Таблиця 5

Фізико-механічні показники в'язучого, отриманого з фосфонапівгідрату

Показники	Значення
Насипна густина, кг/м <sup>3</sup>	1190...1270
Водопотреба, %	32...38
Строки 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

*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 запроєктовано цех по виробництву високоміцного гіпсового в'язучого підвищеної водостійкості на Уваровському хімічному заводі (Росія) потужністю 400 тис. т у рік.

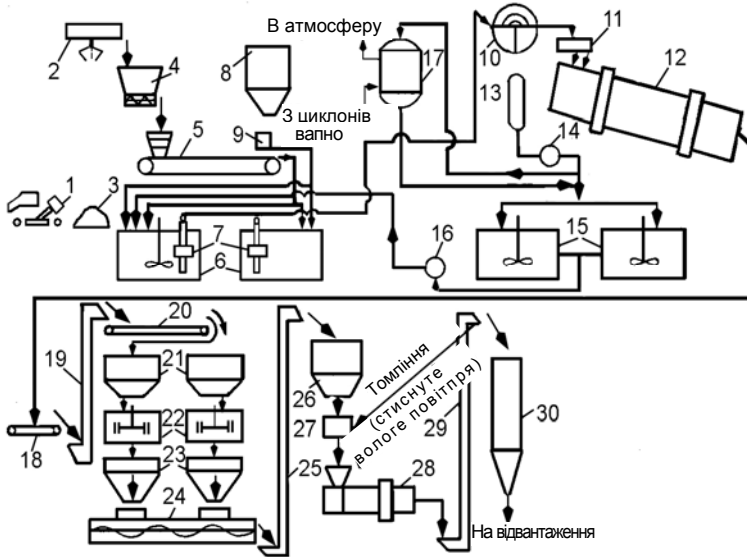
На відміну від високоміцного, *будівельний гіпс* одержують в апаратах, що передбачають з'єднання з атмосферою. При цьому вихідний дигідрат сульфату кальцію переходить у □-напівгидрат.

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.). Після повної нейтралізації фосфогіпс фільтрується до вологості 20...30%, висушується в сушильному барабані і надходить у варильний котел, де відбувається процес дегідратації.

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° 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.



**Рис. 4.** 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 – барабанний вакуум-фільтр; 11 – живильник; 12 – барабан для сушіння; 13 – ресивер; 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

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 основу вкладається у вигляді сухих сумішей з мінеральним матеріалом, попередньо ущільнюється до густини  $1,8...2 \text{ г/см}^3$ , 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  $600...1000^\circ \text{C}$  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 домолу 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  $20...25 \text{ МПа}$ .

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 сирого фосфогіпсу, мelenого 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, гіпсопщану 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.

Рациональним 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 *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.

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° С 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.

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.

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.

Запропоновано технологію одержання високоміцних гіпсових в'язучих обробкою вихідного фосфогіпсу в розчинах кислот або солей, що мають температуру кипіння 105...120° С, з промиванням і висушуванням готового продукту.

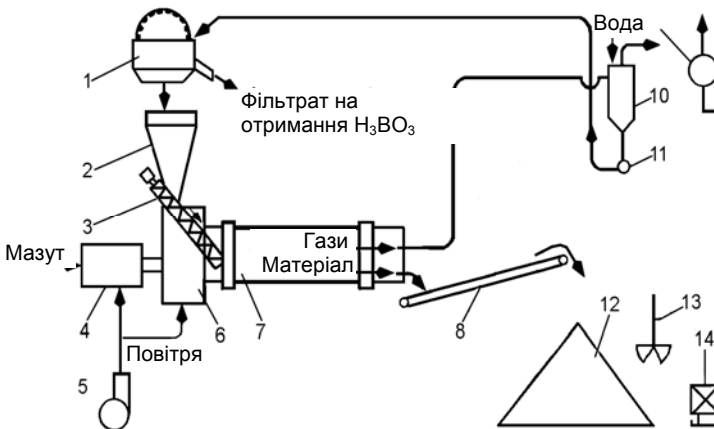
У НУВГП (Дворкін Л.Й., Мироненко А.В., Поліщук-Герасимчук Т.О.) розроблена технологія виготовлення високоміцного фосфогіпсового в'язучого, що включає попередню нейтралізацію фосфогіпсу меленим вапном у кількості близько до 3% від маси в'язучого, сушку та випал при температурі 140...160° С, і помел з додаванням добавок суперпластифіка-торів поліакрилатного або полікарбоксилатного складу у кількості до 0,3%. а також з метою їх економії – до 0,2% ЛСТ від маси в'язучого. Використання такого в'язучого потребує "силового" перемішування протягом 2...3 хв з використанням лопатевих або шнекових змішувачів. Отримане в'язуче характеризується марками за міцністю Г-10...Г18 і водопотребою 0,3...0,34. На основі високоміцного фосфогіпсового в'язучого можна виготовляти різноманітні сухі будівельні суміші, гіпсокартонні листи та штучні вироби.

При додаванні до складу високоміцного фосфогіпсового в'язучого добавок портландцементу та золи-виносу або метакаоліну у кількості 5...10% можна отримати водостійке в'язуче з коефіцієнтом розм'якшення до 0,85.

Для виготовлення в'яжучих 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. 5) і застосування його як регулятора строків тужавлення портландцементу замість природного гіпсу.



**Рис. 5.** 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 конвеєр; 9 – димосос; 10 – скруббер; 11 – насос; 12 – склад;  
 13 – рейферний кран; 14 – залізничні вагони

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.

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.

*Фторангідрит* одержують як побічний продукт на заводах хімічної промисловості, що виробляють фтористоводневу кислоту, безводний фтористий водень і фтористі солі, зокрема кріоліт.

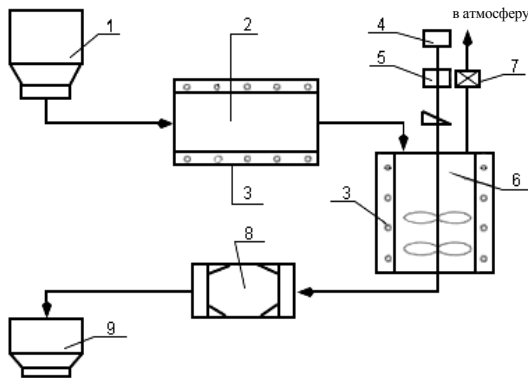
Вміст основних компонентів у складі фторангідриту наступний (у %):  $\text{CaSO}_4$  – 80...95...95;  $\text{CaF}_2$  – 0,5...5;  $\text{SiO}_2$  – 1,5...4;  $\text{SO}_3$  – 0,5...1,5;  $\text{MgO}$ ,  $\text{R}_2\text{O}$  та ін. < 1.

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 невідому 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

оберткових печей цементного заводу або саморозсипний металургійний шлак.

На багатьох підприємствах хімічної промисловості при сірчаноокислотному 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 не розклався.

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 суттєво зростають водонепроникність і морозостійкість, 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°С.



**Рис. 6.** 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



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 см<sup>2</sup>/г і загальним вологовмістом 28...30%, вміст у сульфогіпсі дигідрату сульфату кальцію (CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O) складає 93...95%, що відповідає вимогам, які висуваються до гіпсової сировини 1-го сорту. Домішки в сульфогіпсі представлені у вигляді карбонату кальцію 1,6...1,7%, флюориту (CaF<sub>2</sub>) 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 кг/м<sup>3</sup>, істинна густина – 2,35... 2,37 г/см<sup>3</sup>.

Із сульфогіпсу за спрощеною технологічною схемою (рис. 6), що включає термічну обробку вихідного продукту і наступний помел, можна одержувати будівельний гіпс марок Г2...Г4.

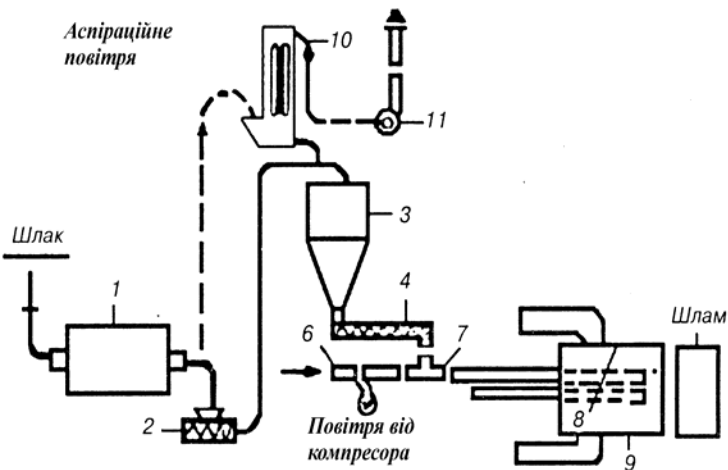
### 3.2. Гідравлічні в'язучі речовини

Основним видом гідравлічних в'язучих матеріалів є портландцемент.З промислових відходів найбільш широко застосовують при виробництві цементу як сировину для одержання клінкеру і як активну мінеральну добавку *доменні шлаки*.

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%.

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.



**Рис. 7.** 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

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. 7), 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%.

Практичний інтерес становлять способи виготовлення портландцементного клінкеру 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 електropечач, 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. 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.

Доменні гранульовані шлаки широко використовують для викобництва шлакопортландцементу. *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...95%). За Державним стандартом передбачено випуск трьох типів шлакопортландцементу: ШПЦ Ш/А, ШПЦ Ш/Б та ШПЦ Ш-В, які містять гранульованого доменного шлаку 36...65%, 66...80% та 80-95% відповідно. Гранульовані доменні шлаки у виробництві шлакопортландцементу застосовують як сировинний компонент цементного клінкеру, і як активну мінеральну добавку. Цей компонент взаємодіє з гідроксидом кальцію, утворюючи низькоосновні гідросилікати CSH(I) та гідроалюмінати кальцію. Незначний вміст у цементному камені  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  підвищує стійкість шлакопортландцементу в м'якій і сульфатній воді порівняно зі звичайним портландцементом. Штучний камінь на основі шлакопортландцементу характеризується не тільки меншим вмістом  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , 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 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 тепловологісній обробці.

Замість доменних шлаків при виготовленні шлакопортландцементу можна застосовувати електротермофосфорні шлаки.

Шлакопортландцемент є одним з найбільш ефективних видів в'язучих 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  $\square$ -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 склофази, 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. 6).

Таблиця 6

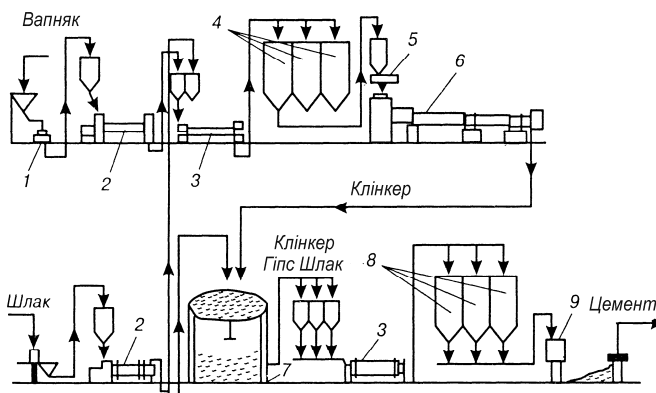
## Параметри якості доменних шлаків

Показник	Сорт		
	1	2	3
Коефіцієнт якості, не менше	1,65	1,45	1,2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %, не менше	8	7,5	не нормується
MgO, %, не менше	15	15	15
TiO <sub>2</sub> , %, 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<sub>2</sub> має перевищувати 1,0.

Британські норми BS 146:1991 і BS 4246:1991 класифікують шлакові цементи 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).



**Рис. 8.** Схема виробництва шлакопортландцементу:

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

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

Технологічна схема виробництва шлакопортландцементу (рис. 8) передбачає сушку гранульованих шлаків до залишкової вологості 1...2% і спільне подрібнення його з 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.

Цементна промисловість випускає звичайний, швидкотвердіючий та сульфатостійкий шлакопортландцементи.

Будівельно-технічні властивості шлакопортландцементу характеризуються рядом особливостей порівняно з портландцементом: більш низькою густиною ( $2,8...3,0 \text{ г/см}^3$ ); 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 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* 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.

*Швидкотверднучий шлакопортландцемент* відрізняється від звичайного шлакопортландцементу підвищеним вмістом у клінкері  $C_3S$  і  $C_3A$ , кількістю шлаку (36...50%) і підвищеною

тонкістю помелу (3500...4500 см<sup>2</sup>/г). 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 швидкотверднучого шлакопортландцементу раціонально використовувати двостадійний помел, тобто попереднє подрібнення клінкеру з наступним спільним помелом клінкеру і шлаків до питомої поверхні не менше 400 м<sup>2</sup>/кг. 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 м<sup>3</sup> 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 бетони, виготовлені на основі швидкотверднучого шлакопортландцементу, продовжують інтенсивно набирати міцність.

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 хіміко-мінералогічним складом, що представлений в основному глиноземом (70-80%), магнезійною шпінеллю (3-10%) і сполуками титану, хрому та бору, залежно від різновиду шлаків.

Перспективним видом сировини для виробництва 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 розширних цементів.

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

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° С, тому короткочасне пропарювання (при відносно низьких температурах) прискорює твердіння цементу.

Штучний 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.

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 стійких 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 замішування 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 вилугованням 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° 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° 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 клінкеру 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.

*Золомісткі цементи.* Використання золошлакових відходів у виробництві клінкеру. *Паливні золи та шлаки* використовують в складі сировинної суміші при виробництві портландцементного клінкеру 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 клінкеру 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 паливних шлаків як сировинних компонентів клінкера обмежено внаслідок нестабільності їх складу та суттєвого вмісту сульфатів і лугів.

При виробництві клінкеру 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.

Виробництво інших клінкерномістких гідравлічних в'язучих.

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. Золиннесення вводять у портландцемент до 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 пуцоланових 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 алюмініатів.

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 0,2%.

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 та добавок-суперпластифікаторів. У такий спосіб одержують в'язучі речовини низької водопотреби (ВНВ), які при високій дисперсності (питома поверхня 4000...5000 см<sup>2</sup>/г) характеризуються низькою нормальною густиною (16...20%) та 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 см<sup>2</sup>/г транспортується стисненим повітрям разом з подрібненим цементом безпосередньо у цементні силоси.

Як *мінералізатор* – добавку для зниження температури при випалюванні клінкеру і як добавку для регулювання тужавлення цементу замість природного гіпсу застосовують фосфогіпс. 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<sub>3</sub> при температурах нижче 1400° С, що викликає зниження в'язкості розплаву,

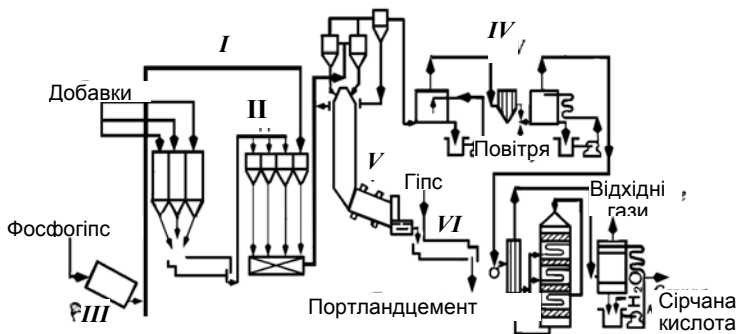
збільшення його кількості й утворення проміжних сполук, що зв'язують СаО. Певний позитивний вплив мають домішки фосфорного ангідриду і фтору.

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. Добавка фосфогіпсу 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° С 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.

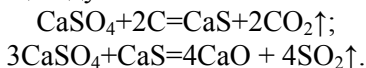
Запропоновано й інші методи гранулювання фосфогіпсу: пресування на торфобрикетних і інших пресах, при якому в умовах динамічного стиску досягається "холодне" спікання кристалів дигідрату сульфату кальцію; введення зміцнюючих добавок, наприклад піритних недогарків і ін.

Фосфогіпс може бути й основним сировинним компонентом у виробництві цементу, що забезпечує ефективний процес комплексного одержання цементного клінкера і сірчаної кислоти (рис. 9), сутність якого полягає в термохімічному розкладанні сульфату кальцію у відновлювальному середовищі.



**Рис. 9.** Схема комплексного виробництва сірчаної кислоти і портландцементу на основі фосфогіпсу: I — помел фосфогіпсу і добавок; II — підготовка сировинного борошна; III — сушка фосфогіпсу; IV — отримання сірчаної кислоти; V — термічна обробка; VI — помел цементу

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  $50\text{...}70^\circ \text{C}$  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 фосфоангідриту. 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.

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  $200...250^\circ \text{C}$  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 малозалізованих видів сировини

можуть бути отримані білий, а при введенні барвників – кольорові сульфовміщуючі цементи. Особливості твердіння сульфовміщуючих мінералів дозволили розробити надшвидкотверднучий цемент – *бесалит*: 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° С.

### 3.3. Безклінкерні в'язучі речовини

Доменні шлаки у виробництві цементів на основі клінкера застосовують як компонент сировинної суміші як клінкерних так і безклінкерних в'язучих речовин (рис. 10).



**Рис. 10.** Загальна класифікація шлакомістких в'язучих речовин

*Безклінкерні шлакові в'язучі 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,  $\square$ -двокальцієвого 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 в'язучих властивостей шлакового скла. Розрізняють *лужну, лужноземельну, сульфатну та 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 склофаз. 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 склофаз. 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 в'язучі речовини), або замішують з водними розчинами (переважна більшість шлаколужних в'язучих речовин).

*Сульфатно-шлакові цементи* – це гідравлічні в'язучі 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).

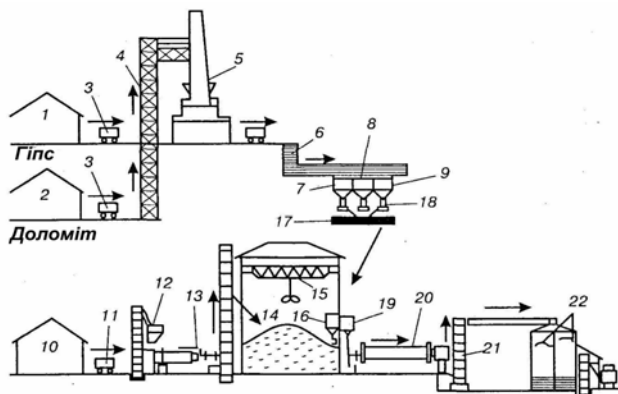
Найбільш поширеним з групи сульфатно-шлакових в'язучих речовин є *гіпсошлаковий цемент*, який містить 75...85% шлаків, 10...15% двоводного гіпсу або ангідриту, до 2% оксиду кальцію або до 5% портландцементного клінкеру. Високий ступінь активації забезпечується при використанні ангідриту, випаленого при температурі близько 700° С, і високоглиноземистих основних шлаків. При зменшенні основності шлаків доцільно збільшення концентрації вапна (від 0,2 г/л СаО 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 та 5...8% випаленого доломіту. Ступінь випалювання доломіту залежить від основності шлаків. При використанні основних шлаків, випалювання доломіту проводять при температурі 800...900° С до часткового розкладання  $\text{CaCO}_3$ , а при використанні кислих – при температурі 1000...1100° С до повного розкладання  $\text{CaCO}_3$  (рис. 11). Активність сульфатно-шлакових цементів істотно залежить від тонини помелу. Висока питома поверхня таких в'язучих речовин (4000...5000  $\text{cm}^2/\text{г}$ ) 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 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.

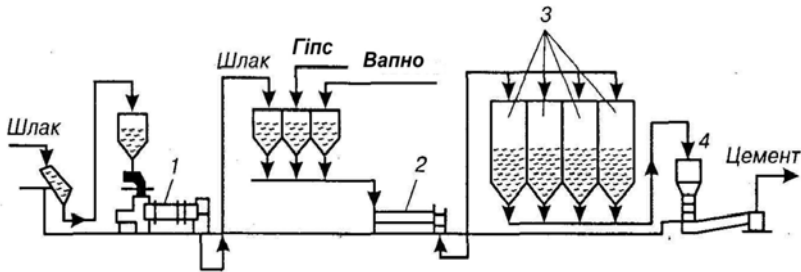
Для виготовлення сульфатно-шлакових в'язучих речовин доцільно застосовувати основні доменні шлаки з підвищеним (10...20%) вмістом глинозему. Для кислих шлаків бажано, щоб модуль основності був не меншим за 0,8, а модуль активності був не нижчим за 0,45. Арматура в бетонах на сульфатно-шлакових цементах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



**Рис. 11.** 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

*Вапняно-шлакові цементи* — це гідралічні в'язучі речовини, які виготовляють спільним помелом доменного гранульованого шлаку і вапна (рис. 12). 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%.



**Рис. 12.** Схема виробництва вапняно-шлакового цементу:

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

Вапняно-шлакові цементи за міцністю поступаються сульфатно-шлаковим. Їх виготовляють 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  $10^{\circ}\text{C}$ , 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  $170\text{...}200^{\circ}\text{C}$ . Міцність при стиску зразків після автоклавування 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%.

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° С. 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 автоклавування змінюється від 12 до 36 МПа.

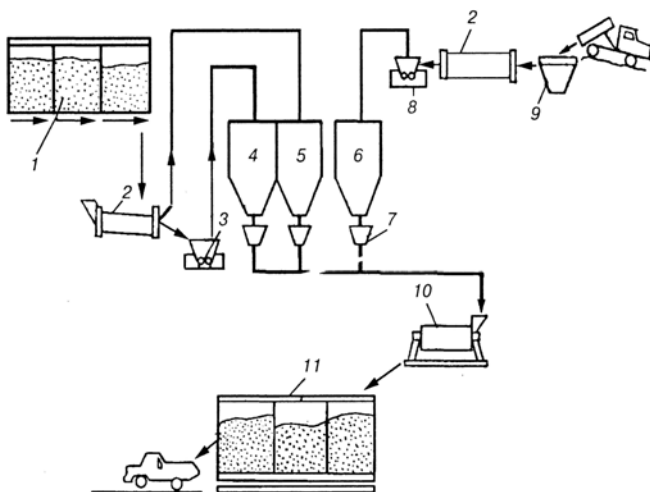
В умовах автоклавної обробки набувають здатності твердіти також немелені шлаки, які саморозсипаються в результаті переходу мінералу  $\beta\text{-}2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  в  $\gamma\text{-}2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ .

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.

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.

Створенню лужних цементів сприяло відкриття професором В.Д. Глуховським у 1957 р. в'язучих властивостей у сполук I групи II підгрупи періодичної системи елементів. 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.





**Рис. 14.** 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

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 шлаколувних 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 луги (гідроксиди натрію та калію);

II група – несилікатні 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 шлаколужного цементу можна використовувати луговмістні побічні продукти і відходи виробництва після випробовування їх.

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

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 CO<sub>2</sub>) 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 шлаколужного цементу становить 2,6...3,2 г/см<sup>3</sup>, тонкість помелу – не менше 300 м<sup>2</sup>/кг. Густина розчину лужного компонента вибирається залежно від потрібної активності в'язучої речовини і може бути в межах 1100...1300 кг/м<sup>3</sup>.

При питомій поверхні шлаку 300...350 м<sup>2</sup>/кг водопотреба шлаколужної в'язучої речовини становить 25...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 раніше як через 20 хв, на основі шлаків кольорової металургії – не раніше як через 45 хв, а для решти видів лужних компонентів – не раніш як через 30 хв. Кінець тужавлення – не пізніше ніж через 10 год.

За міцністю при стиску шлаколузні в'язучі речовини поділяють на марки від М300 до М1000. 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 суттєво 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).

Лужні компоненти виконують роль противоморозних добавок, шлаколузні в'язучі інтенсивно твердіють при від'ємних температурах.

До переваг шлаколузних цементів відноситься висока стійкість в агресивних середовищах: у розчинах лужних і органічних сполук, у тому числі в жирних кислотах, у розчинах цукру, мінеральних кислот з рН=3 та багатьох електролітів (NaCl, KCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, MgCl<sub>2</sub>, MgSO<sub>4</sub>, CaSO<sub>4</sub>), 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 обумовлюють можливість отримання на основі шлаколузних в'язучих



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 шлаколужних цементів спеціального призначення.

Ряд *безклінкерних в'язучих* виготовляють на основі паливних зол і шлаків. Здатність твердіти без добавок-активізаторів, як видно з табл. 7, в умовах пропарювання при атмосферному тиску мають лише висококальцієві вугільні сульфатомісткі золи. В умовах автоклавної обробки (запарювання) та при наявності добавок-активізаторів цю здатність здобувають низькокальцієві паливні шлаки та золи. При запарюванні активність шлаків та зол за поглинанням CaO і міцність, що вони досягають, суттєво зростають.

Таблиця 7

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		
	пропарювання при 90°С	запарювання при 175°С	нормальне тверднення при 20°С	пропарювання при 90°С	запарювання при 175°С	нормальне тверднення при 20°С	пропарювання при 90°С	запарювання при 175°С
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 золи CaO>20%	5...7	8...10	4	6	10	-	-	-

продовження табл. 7

Вид сировини	Міцність при стиску, МПа		Об'ємні зміни на приладі Ле-Шательє, мм			Поглинання СаО в мг/г		
	пропарювання при 90°С	запарювання при 175°С	нормальне тверднення при 20°С	пропарювання при 90°С	запарювання при 175°С	нормальне тверднення при 20°С	пропарювання при 90°С	запарювання при 175°С
Вугільні сульфатомісткі золи	2,5... 3,5	3,5... 5,6	2	5	12	-	-	-
Низькокальцієві пилоподібні золи СаО<20%	-	-	-	-	-	30... 50	100... 150	200

Оптимальний спосіб активації залежить від виду золошлакових матеріалів (табл. 8).

Таблиця 8

Види активації різновидів паливних шлаків і зол

Вид шлаків і зол	Різновиди шлаків і зол	Головна характеристика за хімічним складом	Джерело одержання	Вид активації
Висококальцієві шлаки і пилоподібні золи	низькосульфатні шлаки і золи	СаО>20% SO <sub>3</sub> <5%	спалювання кускового і пилоподібного палива (вугілля та торфу)	лужна, сульфатно-лужна
	сульфатні шлаки і золи	СаО>20% SO <sub>3</sub> >5%	спалювання кускового і пилоподібного сланцю	лужна залежно від кількості СаО
Низькокальцієві шлаки і пилоподібні золи	кислі та надкислі шлаки і золи	СаО<20%	спалювання кускового і пилоподібного палива (вугілля і торфу)	сульфатно-лужна

продовження табл. 8

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 СаО. У табл. 9 наведені оптимальні склади безклінкерних золошлакових в'язучих речовин. Їхнє виробництво включає процеси сушіння шлаків або зол, подрібнення, дозування всіх компонентів та їхній спільний помел у кульових млинах. Спільний помел паливних зол і шлаків з добавками-активізаторами та їх тепловологісна обробка суттєво підвищує активність в'язучих речовин та збільшує міцність виробів. Пропарювання розчинів і бетонів на основі зольних і шлакових в'язучих рекомендується здійснювати при 90...95° 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.

Таблиця 9

Оптимальні склади безклінкерних золошлакових  
в'язучих речовин

Види шлаків і зол	Орієнтований вміст за масою, %			Марка в'язучих речовин	
	шлак, зола	вапно- негаше- не	дво- водний гіпс	при пропарюванні або електро- прогріві (температура 95...98° С)	при запарюванні і (температур а 175° 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
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

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 півтора рази і більше. При грубому 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.

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  $SO_3$  не повинен перевищувати 3%,  $CaO$  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 та активних мінералів.

Різновидами вапняно-зольних в'язучих речовин 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: вигоряння 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 застосування вапняно-зольних в'язучих речовин є мурувальні та штукатурні розчини, а також вироби автоклавного тверднення.

Збільшення міцності вапняно-зольних в'язучих може досягатися:

- зниженням водопотреби за допомогою пластифікуючих добавок та створенням, таким чином, більш сприятливих умов гідратації і структуроутворення;

- за допомогою хімічних добавок – прискорювачів тверднення.

Як пластифікуючі добавки можуть бути використані добавки типу ЛСТ, С-3 та ін. 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 зі 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  $\text{CaCl}_2:\text{NaCl}=2:1$ . 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.

Встановлено принципову можливість та розроблено технологію одержання малоклінкерних гідравлічних композиційних в'язучих речовин, які вміщують до 80...90% відходів, нездатних до самостійного тверднення. До таких в'язучих відноситься *золосульфатна в'язуча 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'язучих, 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'язучих як у початковий, так і в наступні періоди тверднення, є алюмомалістий модуль  $K$ , що представляє собою відношення

сумарного вмісту оксидів алюмінію та заліза до вмісту оксиду силіцію:

$$K = \frac{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2}. \quad (8)$$

Для виготовлення золосульфатних в'язучих найбільш доцільно використовувати кислі золи, що мають коефіцієнт  $K$  від 0,6 до 0,8.

Золосульфатні в'язучі речовини 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'язучих* 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 CaO підвищення активності й усунення нерівномірності зміни об'єму можна досягти введенням у золу до 20% кислих гідравлічних добавок.

На основі лужних компонентів – їдких натру та калію та кам'яновугільної золи-винесення отримані *зололужні в'язучі* активністю до 40 МПа.

Для одержання зололужних в'язучих на більш доступних лужних компонентах (сода, содовий плав, рідке 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.

Результати визначення активності зололужних в'язучих наведені у табл. 10.

Таблиця 10

Склад та характеристики зололужних в'язучих

Витрати компонентів				Активність в'язучих, МПа	
Лужний компонент		Добавка		Після пропарювання	Після 28 діб нормального тверднення
Вид	Витрата л/м <sup>3</sup>	Вид	Витрата кг/м <sup>3</sup>		
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
Содосульфат-на суміш	150	вапно	100	19,7	10,1

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 компоненту і підвищення активності в'язучого у деякі його склади додавали добавки вапна і цементного клінкеру.

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.

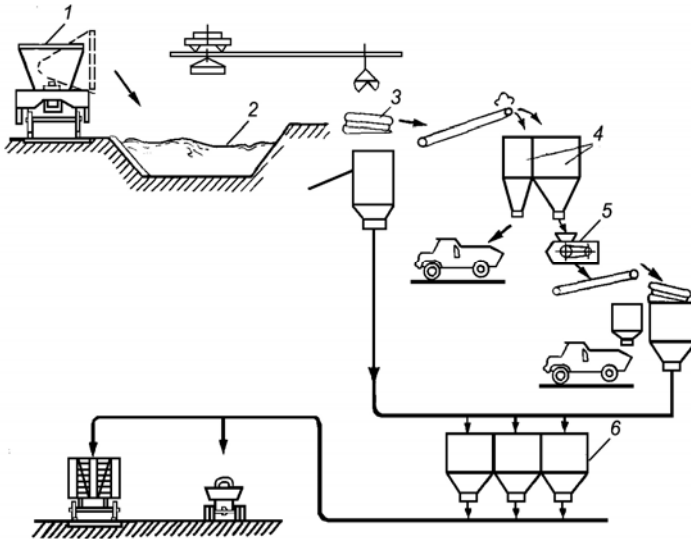
Раціональна галузь застосування безклінкерних зололужних в'язучих, які тверднуть при пропарюванні та в умовах автоклавної обробки. Із таких бетонів можна виготовляти стінові, фундаментні блоки, конструкції для різних елементів будинків і споруд. Їх можна застосовувати також при зведенні підземних та підводних споруд, що піддаються впливу прісних та сульфатних вод.

## Розділ 4. Заповнювачі для бетонів

### 4.1. Заповнювачі на основі металургійних шлаків

Значним резервом забезпечення будівельної промисловості заповнювачами для бетонів є металургійні шлаки. 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* ( $\rho_0 \leq 2000 \text{ кг/м}^3$ ).

*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.



**Рис. 15.** 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)

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. 15).

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

Фізико-механічні властивості литого шлакового щебеню:

Середня густина кусків, кг/м <sup>3</sup>	2200...2800
Істинна густина, кг/м <sup>3</sup>	2900...3000
Границя міцності при стиску, МПа	60...100
Водопоглинання, % мас.	1...5
Насипна густина щебеню, кг/м <sup>3</sup>	1200...1500

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

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.

Несортований матеріал використовується у виробництві мінеральної вати, а відсів може служити заповнювачем для жаростійких бетонів і частково замінити гранульовані шлаки у виробництві шлакопортландцементу.

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  $\square$ - $C_2S$  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 залістий 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 щєбінь 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 світінням, а стійкі – фіолетовим різних відтінків.

Стійкість проти залістого розпаду встановлюється витриманням шлакового щєбеню 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:

$$\text{CaO} = 0,92\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + 0,2\text{MgO}.$$

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 пустотності штучного каменю. Мінімальна насипна густина щебеню кожної із фракцій становить 1000 кг/м<sup>3</sup>. Вміст зерен пластинчастої (лещадної) і голчастої форми, %, повинен бути для щебеню: кубовидного – не більше 15; поліпшеного – 25; звичайного – 35. Довжина таких зерен у три і більше разів перевищує їх товщину або ширину.

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

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

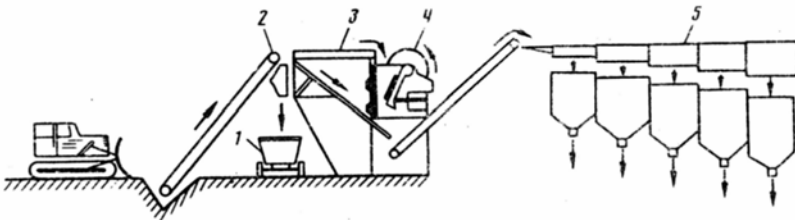
Щебінь марки М1200 може бути використаний при виготовленні бетонів марки М400 і вище, М1000 – марки М300, М800- марки М200 і М600 – нижче М200. Щебінь низьких марок застосовується також при виготовленні бетонів більш високої міцності, але після відповідної перевірки і техніко-економічного обґрунтування.

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

Вміст у шлаковому щебені відмулюваних пилоподібних і глинистих частинок повинен бути не більше 3%. Неприпустимий вміст у щебені домішок паливних шлаків, золи, колошникового пилю.

У металургійних шлаках є сірка, що викликає корозію арматурної сталі. У щебені 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 щебеню повинна бути обґрунтована спеціальними дослідженнями.

На сьогодні в Україні велику кількість щільного шлакового щебеню 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. Якщо шлак містить куски розміром більше 120 мм, і їх кількість перевищує 20%, то в процес його переробки включають також стадію подрібнення (рис. 16). 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.

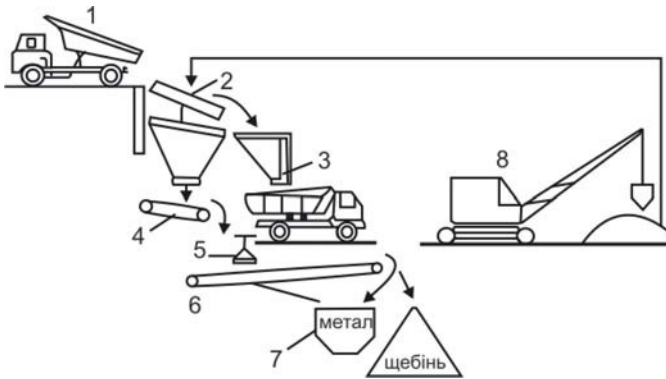


**Рис. 16.** Схема установки з переробки металургійних шлаків на щебінь:

- 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

Фракційований щебінь придатний для виробництва бетонів, основ фундаментів та покриттів доріг, а піщано-щебенева суміш – для відсіпання територій, виробництва бетонів низьких класів та основ фундаментів.

Зазвичай щебінь для бетону отримують з доменних шлаків поточного виходу, інколи – подрібненням та сортуванням шлаків із старих відвалів. *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° С 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. 17).



**Рис. 17.** 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 – вантажо-підйомний електромагніт;
- 6 – транспортер з електромагнітним ковшем; 7 – бункер для металу; 8 – екскаватор з копром



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.

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 стиранням	І	ІІ	ІІІ	ІV
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 І:

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

Дорожнє будівництво є найбільш матеріаломісткою галуззю застосування шлакового щебеню. Вимоги, що висуваються до шлакового щебеню, залежать від шару дорожнього покриття, де він використовується. 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 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 зі 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.

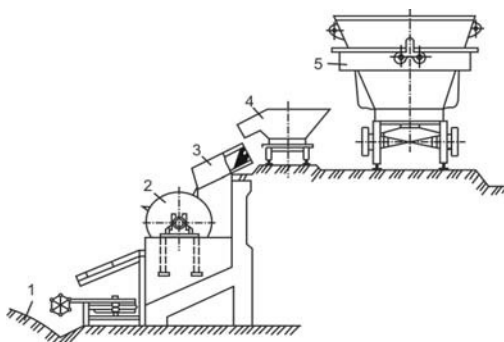
Недоліком шлакових асфальтобетонних сумішей є їх висока середня густина, що на 15...25% перевищує густину сумішей із природних матеріалів.

Матеріали на основі шлаків можуть бути застосовані також як *пористі заповнювачі*. Зокрема роль дрібного заповнювача легких бетонів застосовують *гранульований пористий шлак*. 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.

Пісок з доменного шлаку повинен мати марки за насипною густиною від 700 до 1000.

Грануляція шлаку відбувається під час миттєвого охолодження шлакового розплаву водою, паром або повітрям. Основними способами грануляції шлаків є мокрий, напівсухий та сухий. Найбільш ефективним способом грануляції можна вважати напівсухий, схема якого представлена на рис. 18.

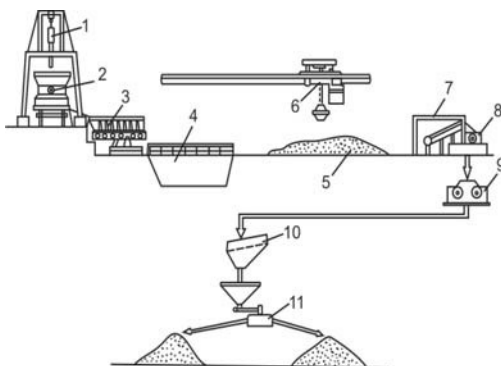


**Рис. 18.** Схема напівсухого способу грануляції доменного шлаку:  
1 – гранульований шлак; 2 – обертовий барабан;  
3 – жолоб; 4 – приймальний бункер; 5 – шлаковозний ківш

*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, гідроекранним та вододуттєвим.



**Рис. 19.** Технологічна схема виробництва шлакової пемзи в перекидному басейні:

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

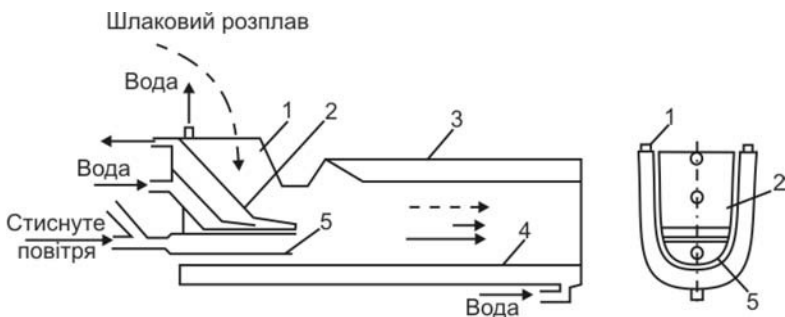
При басейновому способі одночасно оброблюється великий об'єм розплаву, при цьому в басейні проходить процес виробництва шлакової пемзи: спучування, кристалізація і

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. 19) передбачає виконання таких етапів. Шлаковий розплав виливають шлаковозним ковшем до перекидного басейну для спучування.

Перекидний басейн складається з металевої чаші з перфорованим дном з такою місткістю, що дає змогу відразу прийняти весь розплав із шлаковозного ковша. 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. 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 зі спеціальних 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...8 мм, насипна густина – від 700 до 900 кг/м<sup>3</sup>, міцність при стискуванні у циліндрі – 2...3,5 МПа.

*Вододуттєвий спосіб* передбачає поризацію розплаву за допомогою спеціальної конструкції струминних апаратів, що складаються з приймальної камери, робочого сопла, направляючого лотка і камери змішування (рис. 20).

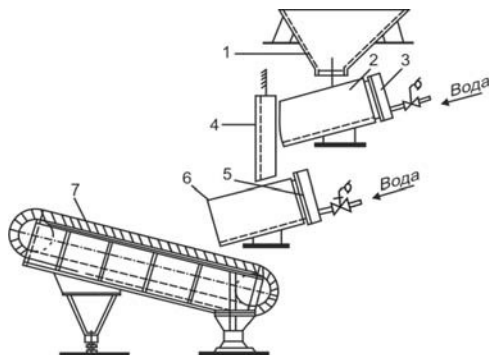


**Рис. 20.** Схема струминного вододуттвального апарата:  
 1 – стінка приймальної камери; 2 – направляючий лоток;  
 3 – водяна сорочка; 4 – камера змішування; 5 – робоче сегментне сопло

Шлаковий розплав за допомогою жолоба попадає на лоток і розбивається на окремі краплі сильним струменем стиснутого повітря з розпиленою в ньому водою, потім 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 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. 21).



**Рис. 21.** 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. Розплав при змішуванні з водою частково охолоджується 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 подається на жолобчасту стрічку конвеєра-перевантажувача, яка безперервно рухається. На перевантажувачі маса продовжує охолоджуватися і твердіти. Брили охолодженої пемзи завантажують у приймальні бункери дробильно-сортувального комплексу, в якому їх подрібнюють у дві стадії: перша відбувається у шоковій дробарці, друга – у конусній. Подрібнений продукт розсіюють на вібраційних грохотах на три фракції: 0...5, 5...10 та 10...20 мм. Фракційоновану 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 вододуттьовий способи дають змогу отримувати шлакову пемзу у вигляді пористого щебеню та піску. Шлакопемзовий щебінь має зерна гострокутної форми з відкритими порами, відрізняється великою міжзерною пустотністю.

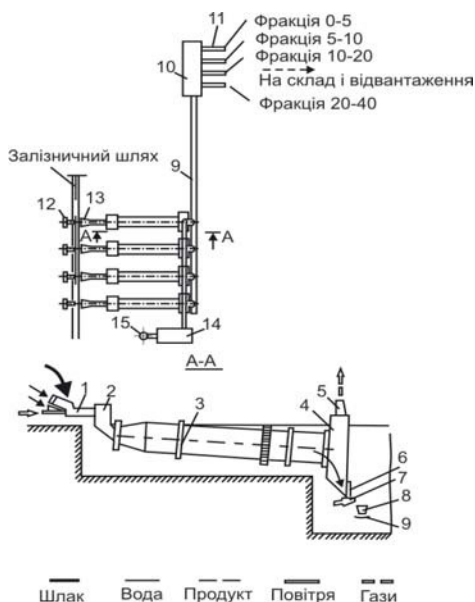
Найбільш перспективною можна вважати технологію одержання шлакової пемзи у вигляді гравію із закритими порами. Для спучування і диспергації розплаву використовують вдосконалений вододуттьовий апарат (водоповітряний гранулятор), в якому контакт з водою і спучування розплаву починається у прийальному жолобі.

Технологія одержання *гравієподібної шлакової пемзи* передбачає такі етапи (рис. 22): дисперговані частинки розплаву з повітряного гранулятора направляють на екран, де спучена піропластична маса розплаву з'єднується в крупні куски, а потім 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%.

Загальними властивостями, що визначають якість шлакової пемзи, є насипна густина, міцність та



теплопровідність, а також морозостійкість. Вони визначаються комплексом факторів, найважливішими з яких є характер пористої структури, ступінь закристалізованості, мінералогічний склад.



**Рис. 22.** Технологічна схема установки для виробництва гравісподібної шлакової пемзи:

- 1 – водоповітряний гранулятор; 2 – приймальна камера;
- 3 – барабанний холодильник; 4 – розвантажувальна камера;
- 5 – парогазоповітропровід; 6 – затвор; 7 – вібровивильник;
- 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

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.

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 коливаються від П15 до П50, що відповідають міцності при стискуванні у циліндрі від 0,5 до 1,5 МПа. Марку щебеню із шлакової пемзи за морозостійкістю визначають кількістю циклів попереминого заморожування та відтавання, при чому втрати маси не повинні перевищувати 8%. Морозостійкість щебеню повинна становити не менше 15 циклів. Пісок зі шлакової пемзи має 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 з 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 попередньо напружених конструкцій, особливо з дротяною арматурою, стійкість останньої повинна бути перевірена спеціальними дослідженнями.

Тонкомелені шлаки, які мають високу гідравлічну активність, тобто здатність хімічно зв'язувати Ca(OH)<sub>2</sub>, вже при

нормальній температурі є ефективними *наповнювачами (мікро-наповнювачами)* 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 менше 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. Надлишок високодисперсного наповнювача 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 крупними 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.

## 4.2. Заповнювачі з паливних 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, щєбінь і пісок із паливних шлаків, аглопорит на основі золи ТЕС, зольний випалювальний і безвипалювальний гравій, глинозольний керамзит.

Властивості *паливних 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 гранулометрического 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% CaO 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 витримуванням у дистильованій воді. Втрата маси випробовуваних проб не повинна перевищувати 5%. Для запобігання розпаду паливні шлаки рекомендується застосовувати після тривалого (3...6 місяців) витримування у відвалах, внаслідок чого у них гаситься вільний оксид кальцію, частково вилугуюються розчинні солі й окислюються 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 лещадних 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. 11).

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  $Fe^{3+}$  відновлюється до  $Fe^{2+}$  внаслідок безпосередньої взаємодії  $Fe_2O_3$  з вуглицем.

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.

Таблиця 11

Фізико – механічні властивості бетонів на паливних шлаках

Вид бетону	Клас бетону	Відношення міцності призм і кубів	Границя міцності при згині, 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

Для більшості ТЕС характерні надкислі гранульовані шлаки з модулем основності □

$$M_o = \frac{CaO + MgO}{SiO_2 + Al_2O_3} \approx 0,05...0,07 \cdot \quad (9)$$

Вміст кислих оксидів ( $SiO_2 + Al_2O_3$ ) 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 паливних 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 залізистоалюмосилікатним склом. Розплави такого складу важко кристалізуються, і шлаки, навіть при відносно повільному охолодженні, містять 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; підвищена макро- і мікропористість; розвинута поверхня зерен і, внаслідок цього, підвищена водопотреба; відсутність глинистих, мулистих та інших шкідливих домішок.

Механічні характеристики паливних гранульованих шлаків дозволяють одержувати бетон класів до С40.

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 № 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 розчиною 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 (низкоосновні 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.

### **4.3. Заповнювачі на основі золи 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 поперемінному 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%). На властивості *золобетону* у значній мірі впливає гранулометричний склад 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 вводитьься 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 1м<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 ( $\rho_0 < 1000$  кг/м<sup>3</sup>) до важких ( $\rho_0 = 1800...2000$  кг/м<sup>3</sup>). 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. 12.

Таблица 12

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.

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.

Застосовуються золошлакові 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 1м<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 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%.

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 г/см<sup>3</sup>) та ті, що містять пористий шлак (утворюється в топках з твердим шлаковидаленням, середня густина зерен менше 2,0 г/см<sup>3</sup>).

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 C8/10 до C50/60, насипна густина суміші повинна збільшуватись відповідно від 1300 до 1600 кг/м<sup>3</sup> 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 кг/м<sup>3</sup>.

До золошлакових сумішей висувають вимоги щодо вмісту невивалених 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%, сірчаніх сполук – до 3%, лужних оксидів натрію і калію в перерахунку на Na<sub>2</sub>O не повинен перевищувати 3%.

До ефективних пористих заповнювачів *відноситься зольний гравій*, який поділяють на невивалений і випалений. *Невивалений 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 невиваленого зольного гравію використовують золи ТЕС сухого відбору (електрофільтрів та циклонів), а також попередньо висушені відвальні золи та золошлакові суміші гідровидалення.

Вміст залишкового вуглецю для золи від спалювання кам'яного вугілля та антрациту повинен бути не більше 25%, для золи від спалювання бурого вугілля – не більше 5%. Вказаний вміст залишкового вуглецю істотно більший, ніж для

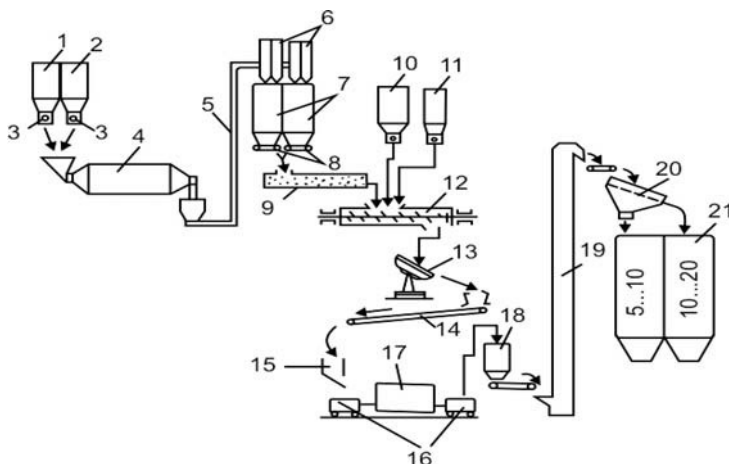
виробництва випалених заповнювачів, що дає можливість збільшити використання золи. Вміст вільного оксиду кальцію має бути не більше 10%; сульфідної сірки – не більше 1%, загальний вміст сірки в перерахунку на  $\text{SO}_3$  – не більше 5%. Вологість золи або золошлакової суміші, що подається з відвалів на склад, не повинна перевищувати 3%, а питома поверхня золи повинна бути не менше  $2500 \text{ см}^2/\text{г}$ . 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  $90...95^\circ \text{C}$ . 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 - сульфат натрію  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , 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. 23) складається з наступних етапів: підготовка та помел сировинної суміші, приготування розчинів добавок-прискорювачів твердіння, зволоження сировинної суміші, грануляція, тепловологісна обробка, класифікація гранул за фракціями.



**Рис. 23.** Технологічна схема виготовлення невідпалюваного зольного гравію:

- 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 пропарувальна; 18 – бункер приймальний; 19 – елеватор; 20 – грохот; 21 – силоси

Насипна густина гравію становить  $700 \dots 950 \text{ кг/м}^3$ , міцність при стискуванні у циліндрі –  $0,6 \dots 0,8 \text{ МПа}$ , що забезпечує можливість транспортування та складування готового продукту. Міцність заповнювача продовжує зростати при витримуванні досягає  $5 \dots 6 \text{ МПа}$  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 невипалений 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 невипаленого 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 порожот – 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%.

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 гравію при стискуванні у циліндрі становить 0,7...1,5 МПа, після 3 діб – 2,3...3,0 МПа.

Насипна густина невипаленого 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 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 витратами умовного палива у 2...3 рази нижчими, ніж при виробництві випалених штучних заповнювачів.

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

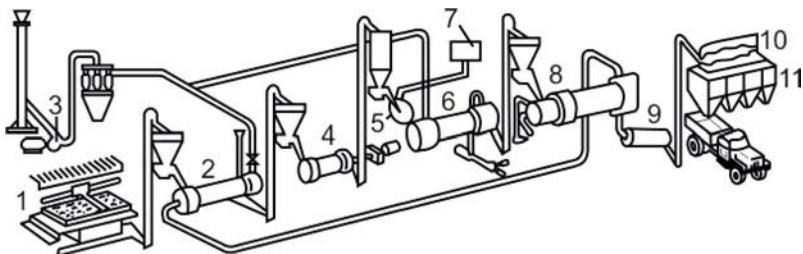
Сировиною для виробництва *випаленого зольного гравію* є золи теплоелектростанцій, в тому числі і з відвалів після їх

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  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – не більше 65%; вміст  $(\text{CaO} + \text{MgO})$  – 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), повинна мати: вогнетривкість не більше  $1320^\circ\text{C}$ ; відношення  $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) / (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{RO} + \text{R}_2\text{O})$  – 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  $1200^\circ\text{C}$ ). Для підвищення пористості гравію до золи можна додавати деревну тирсу. Схему виготовлення зольного гравію наведено на рис. 24.



**Рис. 24.** Технологічна схема виготовлення випалюваного зольного гравію:

- 1 – ящик з живильником (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 – гравієсортувалка; 11 – бункери готової продукції

Зольний гравій представлений гранулами кулькоподібної форми розміром від 5 до 40 мм. Поверхня гранул звичайно оплавлена, 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%.

Головне застосування зольний гравій знаходить при виготовленні конструкційно-теплоізоляційних бетонів. На основі зольного гравію можуть виготовлятися також конструкційні легкі бетони. Склади бетонів на зольному гравії та їх основні властивості наведені в табл. 13 і 14.

Таблиця 13

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 14

Властивості легких бетонів на зольному гравії

Клас бетону	Середня густина, кг/м <sup>3</sup>	Тепло-провідність, Вт/(м□□С)	Морозостійкість, цикли	Призмочна 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

*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.

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; С – не більше 10.

Для виробництва глинозольного гравію використовують золу, переважно 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 гравію 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%, сірчаніх і сірчаноокислих сполук – не більше 5%. 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  $500 \text{ кг}/\text{м}^3$ ) 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%.

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.

Для виготовлення глинозольного гравію (рис. 25) 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° С, а інтервал спучування повинен становити більше 50 градусів.

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 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.



**Рис. 25.** Технологічна схема виготовлення глинозольного гравію

Насипна густина глинозольного гравію становить 400...700 кг/м<sup>3</sup>, міцність при стискуванні в циліндрі – 2,3...4,8 МПа, водо-поглинання – 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* 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.

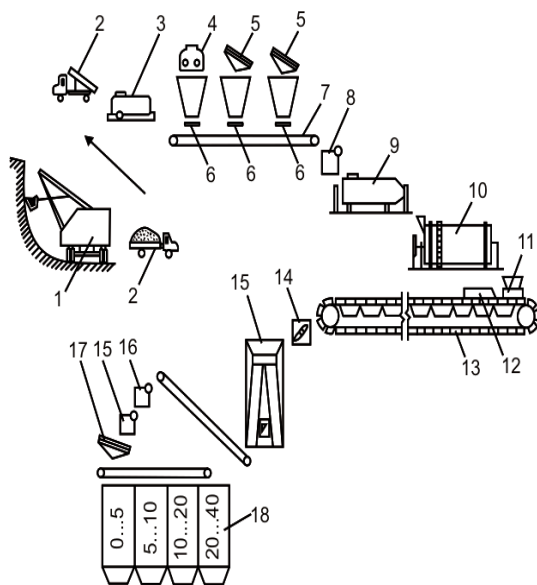
Золи ТЕС можуть бути використані і як паливні добавки при виробництві аглопориту із глинистих порід. До складу шихти для виробництва аглопориту необхідно вводити до 8% висококалорійного палива. Введення добавки золи сприяє скороченню витрат палива і зменшенню собівартості аглопориту. Золу використовують 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° С. Питома

поверхня золи ТЕС повинна становити не менше ніж  $2000 \text{ см}^2/\text{г}$ . 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  $1250^\circ \text{C}$ .

Традиційна технологія виробництва аглопоритових щебеню 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  $1200 \dots 1300^\circ \text{C}$ ; подрібнення та розсів готового спеченого продукту (рис. 26).

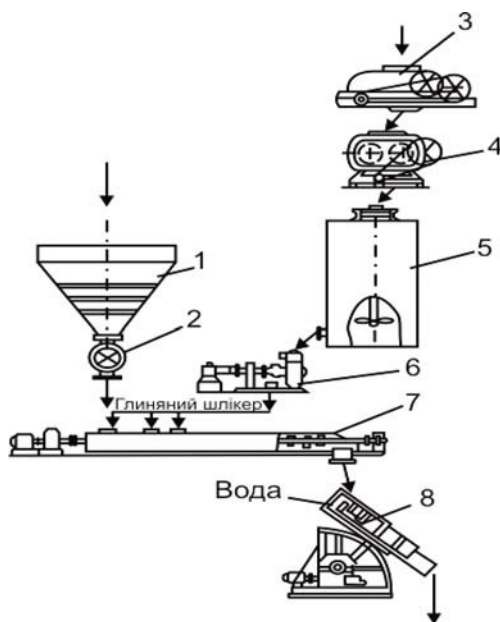


**Рис. 26.** Технологічна схема виробництва аглопоритового щебеню та піску:

- 1 – екскаватор; 2 – автотранспорт; 3 – ящичковий 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 – гравіесортувалка; 18 – склад готової продукції



У випадку використання золи як компонента сировинної суміші її звожують спеціальною зв'язуючою добавкою у вигляді глиняного шлікера або розчину технічного лігносульфонату (рис. 27).



**Рис. 27.** 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

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.

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'як-шеної 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 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° С 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 газу, 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 пористість щебеню складає 50...60%, густина зерен приблизно в 2 рази перевищує насипну густину 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 розпаді, 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  $\text{SO}_3$  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  $\text{кг}/\text{м}^3$  при витраті цементу 200...400  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Заповнювачі з відходів гірничо-рудної промисловості. Застосування відходів виробництва нерудних матеріалів зумовлено їх фізико-механічними властивостями, складом, особливостями основного технологічного процесу і техніко-економічними факторами.

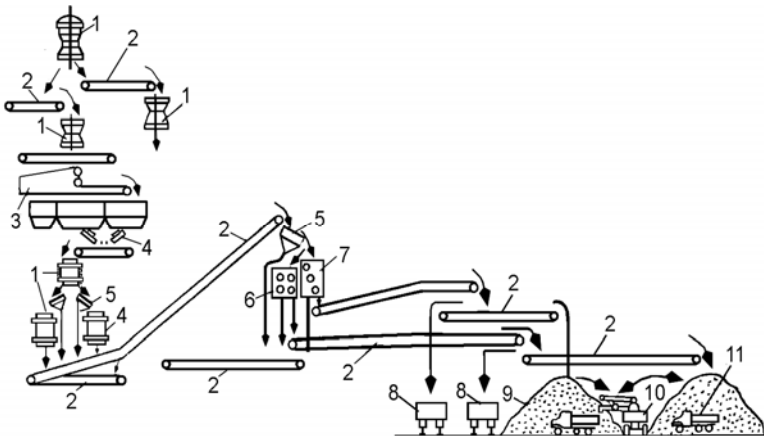
#### **4.4. Заповнювачі на основі відходів переробки гірських порід і бетонного брухту**

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 напрямком утилізації цієї групи відходів є виробництво нерудних матеріалів, перш за все заповнювачів бетонів і розчинів, дорожньо-будівельних матеріалів, бутового каменю й ін.

*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 залістих 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 залістих кварцитів (рис. 28) 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. 28.** 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 попереминого заморожування та відтавання.

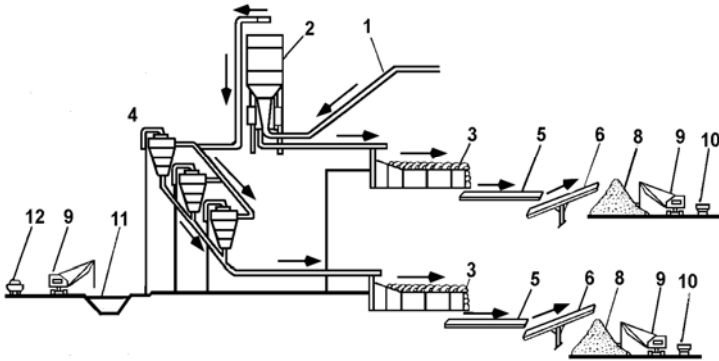
Бетони на гранітному і залізисто-кварцитовому щебеню близькі за своїми властивостями, але останнім властива більш низька стиранність.

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.

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.

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. 29). Вони повинні містити не менше 55% кремнезему і не більше 15 % сполук заліза.



**Рис. 29.** 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

Магнетит  $Fe_3O_4$  і гематит  $Fe_2O_3$ , 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-залістистих 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.

Доцільне використання дрібнозернистих відходів в якості заповнювачів піщаного 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-залістистих пісків в якості дрібного заповнювача підвищує середню густину піщаного бетону на 100...250 кг/м<sup>3</sup>, а звичайного – на 50...100 кг/м<sup>3</sup>.

Залістисті мінерали покращують при нормальному твердінні адгезійні властивості поверхні заповнювачів, тому кварцево-залістисті 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 покращується її легкоукладальність.

В якості будівельного піску використовують також *відсів*, які отримують при подрібненні на щебінь гірських порід.

Відходи, що отримують при збагаченні руд, можуть повністю замінити 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.

Основна маса відходів нерудних матеріалів придатна для переробки на щебінь, пісок та кам'яну муку.

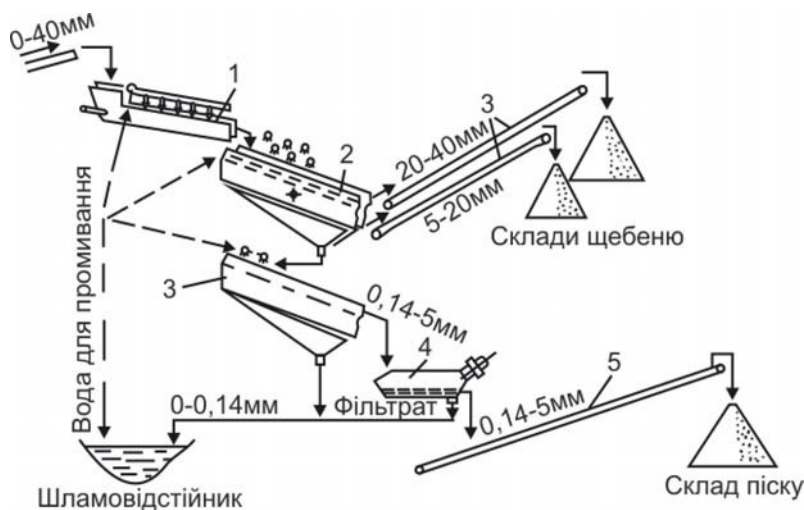
При розробці сучасної технологічної схеми виробництва заповнювачів бетонів і розчинів з відсівів передбачається ряд додаткових операцій по сортуванню, очищенню і, при необхідності, подрібненню відходів.

Відходи очищуються сухими чи мокрими способами. Сухі способи ґрунтовані на подрібненні домішок ударом чи стиранням в середовищі холодних чи гарячих газів і послідовним їх відділенням від кам'яного матеріалу грохоченням, пневматичними методами і т. д.

Мокрі способи (рис. 30) 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.

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.



**Рис. 30.** Схема переробки відсівів подрібнення:

- 1 – машина для промивання; 2,3 – грохоти;
- 4 – вібровакуумозневоднювач; 5 – конвеєри

Розроблені і успішно апробовані в промисловості промивні машини струменевого типу і вібровакуумозневоднючі пристрої. Останні за рахунок вакуум-відсоса, який доповнює звичайне віброзневоднення, знижують кінцеву вологість продукту до 11...13%, що дозволяє його транспортування конвеєрним транспортом.

Реалізована на практиці технологія сухої повітряної класифікації відсівів з використанням каскадно-гравітаційних класифікаторів. В них використаний спосіб розділення в повітряному потоці різних фракцій 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.

Основними споживачами відсівів подрібнення на даний час є дорожньо-будівельні організації, які використовують відсіву 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 відсіву, вдається підбирати оптимальні склади бетонів і розчинів, які забезпечують задані будівельно-технічні властивості при мінімальній вартості.

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.

Відсіву 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.

Продукти переробки відсівів вузьких класів крупності використовують для заповнення водоочисних фільтрів, при виготовленні електрокерамічних виробів та 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 виготовлюють 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 кг/м<sup>3</sup>; розміри – 190×190×188 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.

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 (рис. 31) 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 вібрації і значним пилоутворенням. Для установки гідроклинів у конструкціях за допомогою свердильних верстатів влаштовуються гнізда глибиною 250...300 мм. Робота гідроклинів полягає в створенні розклинюючого тиску від компресорної станції на гідроциліндр.

Руйнування конструкцій різанням на окремі елементи здійснюється з використанням алмазних дисків і термічних способів.

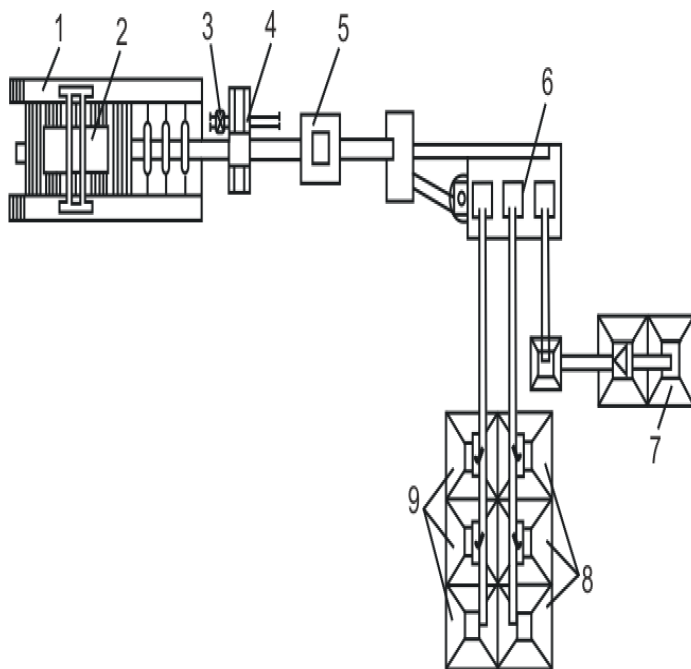
Технологія руйнування подрібненням полягає у використанні зубцюватого механізму (бетонолому), що підвішується на екскаваторі замість ковша. Арматурні стрижні можуть розрізатися ножами, що знаходяться всередині зубців.

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 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 пробую системи при високій напрузі відбувається швидке виділення енергії зв'язане з утворенням ударної або вибухової хвилі.

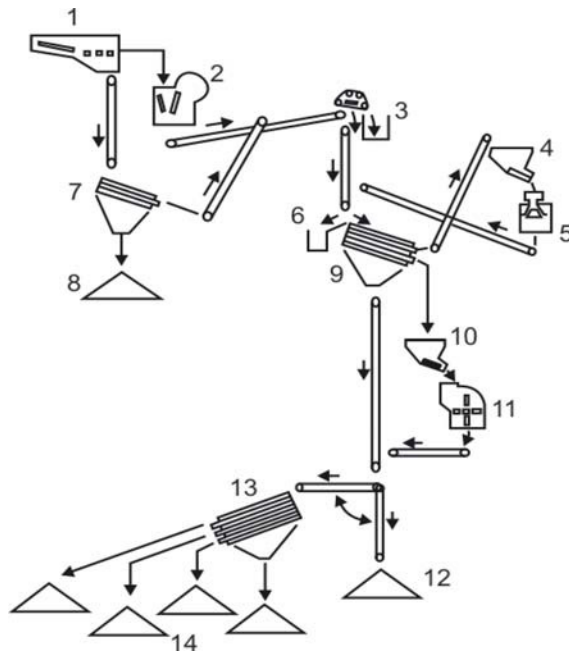
Технологічні лінії переробки некондиційного бетону і залізобетону, а також будівельних відходів (рис. 31, 32) зазвичай включають установки первинного подрібнення (руйнування), устаткування для вторинного подрібнення і фракціонування.



**Рис. 31.** Технологічна лінія з виробництва фракціонованого вторинного заповнювача при утилізації залізобетонних конструкцій

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





**Рис. 32.** Технологічна схема переробки некондиційного бетону та залізобетону:

- 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 – вібротокот;
- 11 – ударна дробарка; 12 – нефракціонований продукт переробки; 13 – грохот; 14 – пофракційне зберігання продукту

Найбільш розповсюджені установки первинного подрібнення включають гідравлічний прес, колосниковий стіл 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 пристроями. Вторинне подрібнення та фракціонування заповнювачів із подрібненого бетону здійснюють за технологіями аналогічним застосовуваним 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%) нижчою міцністю ніж бетон на природних заповнювачах. Зі зменшенням крупності вторинного заповнювача (до 3...10 мм) 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.

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.

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.

## Розділ 5. Бетони і розчини з застосуванням шлакових і зольних в'язучих та заповнювачів

### 5.1. Бетони на основі шлакових в'язучих та заповнювачів

У будівництві знайшли застосування різноманітні види бетонів на основі в'язучих речовин та заповнювачів, отриманих з використанням металургійних шлаків.

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 шлаколужних 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 щебінь; *легкі* ( $\rho = 500 \dots 2000$  кг/м<sup>3</sup>) на основі шлакової пемзи та пористого 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.

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 замінятися шлаком, можна одержати важкі бетони майже всіх класів за міцністю при стиску. Заміна у складі важких бетонів крупного заповнювача із щільних гірських порід шлаковим щебенем, отриманим подрібненням щільних металургійних шлаків, практично не знижує, а іноді 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 іншим заповнювачем (кварцовим піском, гранітними відсівами та ін.).

*Використання як в'язучої речовини шлакопортландцементу* дозволяє отримати важкий гідротехнічний бетон для конструкцій підводних зон, який характеризується класами за міцністю при стиску B7,5...B40, 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.

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>.

Оптимальний зерновий склад шлаків для дрібнозернистих шлакових бетонів визначається за формулою:

$$J = 100\sqrt{d_x / (D - 5) + 3(n - 1)}, \quad (10)$$

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,  $n=2...6$ .

На основі шлакомістких в'язучих та легких заповнювачів виготовляють легкі бетони із середньою густиною 1200...1600 кг/м<sup>3</sup> і міцністю при стиску 5...25 МПа. Легкими заповнювачами для шлакових бетонів є шлакова пемза з насипною густиною  $\rho_o=500...800$  кг/м<sup>3</sup>, гранульовані доменні шлаки ( $\rho_o=700...1000$ ), доменні поризовані відвальні шлаки ( $\rho_o=800...1000$ ). 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...50 циклів, та середньою густиною 1500...1700 кг/м<sup>3</sup>. 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. Підвищенню морозостійкості шлакопемзобетона сприяють також деформативність заповнювача, що гасить значну частину виникаючих внутрішніх напружень, і міцна контактна зона шлакопемзового щебеню з розчиноювою частиною.

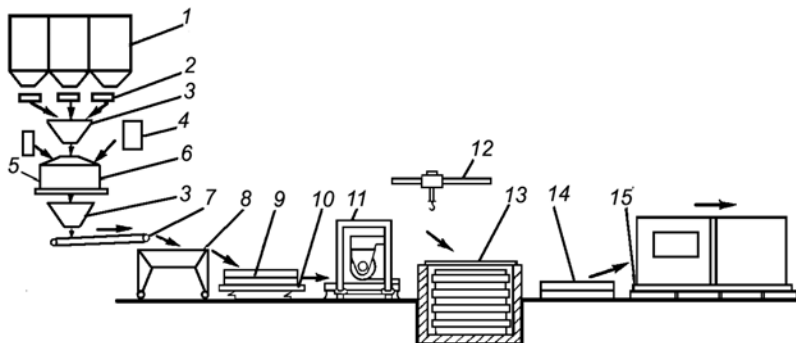
Щільний і поризований шлакобетони застосовують при виробництві стінових панелей (рис. 33), а також інших огороджувальних і несучих конструкцій.

Шлакопортландцемент ефективно застосовувати для виробництва ніздрюватих бетонів. 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.

*Бетони на основі сульфатно-шлакових цементів*, в тому числі гіпсошлакового і шлакового безклінкерного, 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: порівняно високою міцністю на осьовий розтяг ( $0,09...0,12 R_{ct}$ ) та згин ( $0,15...0,3R_{ct}$ ); більшою деформативністю, ніж у звичайних важких бетонів.



**Рис. 33.** Схема виробництва стінових панелей із пористого шлакопемзобетона:

- 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

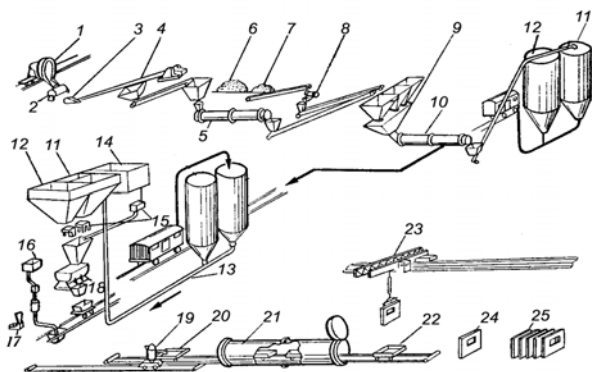
Міцність при стиску дрібнозернистих бетонів на безклінкерних шлакових в'язучих становить  $10...40$  МПа і вище. Міцність бетонів зростає при збільшенні ступеня подрібнення в'язучих речовин, а також при використанні інтенсивних способів ущільнення суміші, наприклад пресування, вібрування з привантаженням 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  $CaO$  – не менше 10%.

Міцність *ніздрюватих бетонів* на шлакових матеріалах змінюється залежно від середньої густини. Так, теплоізоляційний газошлакобетон ( $\rho_0=400\text{...}500 \text{ кг/м}^3$ ) 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 газошлакобетону наведено на рис. 34.



**Рис. 34.** Схема виробництва стінових панелей із автоклавного газошлакобетону:

- 1 – шлаковозний ківш; 2 – грануляційний барабан;
- 3 – скреперна установка; 4 – бункер з 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 – пневмотрубопровід; 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 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 огорожувальних 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 шлаколужних 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 шлаколужних важких бетонів становить, %: мелені гранульовані шлаки – 15...30; лужний компонент – 0,5...1,5; заповнювачі – 70...85.

Поряд з традиційними заповнювачами для важких бетонів на основі шлаколужних в'язучих 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 шлаколужних

бетонів в якості заповнювачів із промислових відходів можна застосовувати різні шлаки, золи і золошлакові суміші, горілі породи, відходи каменеподрібнення і каменепилення, у тому числі вапнякові, дисперсні органічні відходи рослинного походження і ін.

Важкі шлаколужні бетони характеризуються міцністю при стиску до 100 МПа і вище, 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 шлаколужних бетонів становить 0,9...1,0, а іноді перевищує 1,0. Стираність шлаколужних 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 шлаколужних бетонів характерна підвищена корозійна стійкість за рахунок відсутності в продуктах твердіння високоосновних гідроалюмінатів кальцію, що викликають сульфатну корозію цементів, а також вільного вапна, вилугування якого приводить до руйнування цементного каменю в м'яких водах. Внаслідок цього за стійкістю в середовищі з низькою гідрокарбонатною жорсткістю, мінералізованих сульфатних і магнезійних водах шлаколужні бетони переважають бетони не тільки на портландцементі, але і на сульфатостійкому цементі. Крім того, вони є біостійкими, стійкими проти дії бензину і інших нафтопродуктів, концентрованого аміаку, розчинів цукру і слабких розчинів органічних кислот.

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

Міцність при стиску дрібнозернистих бетонів становить 60...120 МПа; морозостійкість F500...F800; водонепроникність – W6...W12; початковий модуль пружності – (3,5...4,2)  $\cdot 10^4$  МПа, деформація усадки – (34...38)  $\cdot 10^{-5}$  мм/м.

Шлаколужні 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.

Шлаколужні 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 шлаколужних бетонів, які виготовляють повністю з відходів промисловості, має велике природоохоронне значення.

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, золою-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.

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. Вони 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 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° С є можливим при застосуванні доменних шлаків з підвищеним ступенем кристалізації. Як тонкомелену добавку застосовують феромолібденовий шлак.

Жаростійкі бетони з підвищеною температурою використання 800...1700° С можна отримати при використанні

в□язучих речовин і заповнювачів, що містять шлаки сталеплавильного і феросплавного виробництва.

Легкі жаростійкі бетони густиною 1440...1600 кг/м<sup>3</sup> з максимальною температурою експлуатації 800...1000° С можна отримати при застосуванні глиноземистого цементу і заповнювача у вигляді шлакової пемзи.

На основі рідинного скла з добавками техногенної сировини, що містить силікати або алюмінати кальцію, в тому числі сталеплавильних шлаків та шлаків алюмінотермічного виробництва, розроблені *дужні жаростійкі бетони* з температурою застосування до 1600° С 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 пиловловлювачах мідеплавильного виробництва з трикратною зміною температури за добу від 200 до 800° С, з досить високим терміном придатності матеріалу (експлуатація без ремонту протягом 15 років), для футерування вагонеток тунельних печей. Термостійкість бетону у 2 рази перевищує термостійкість вогнетривкої шамотної цегли.

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 застосовують системи сухого та мокрого пиловловлення.

На цей час у виробництві металів використовується більша частина колошнікового пилу, шлаків фабрик грудкування, агломераційних фабрик і частина пилу і шлаків систем газоочищення доменних і сталеплавильних цехів. Більша частина шлаків 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 різновид мікрокремнезему - високоактивної кремнеземистої добавки 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. Після феросплавних печей у кількості 10...20% від маси цементу підвищує

міцність бетонів при стиску із рухомих бетонних сумішей з добавкою суперпластифікатора в 1,5...2 рази при незмінному водоцементному відношенні.

## 5.2. 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.

Зола 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 золи 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%, сірчаніх 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. Гідравлічна активність золи, як і інших речовин пуцоланового типу, значною мірою обумовлена хімічною взаємодією алюмосилікатної складової золи з гидроксидом 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 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.

Для забезпечення якості виробів на основі золомістких бетонів, 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  $20\%$  цементу.

Існує значний практичний досвід застосування золи-винесення в складі гідротехнічних бетонів. 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  $40\text{...}50\%$  від маси цементу.

Зола сприяє підвищенню сульфатостійкості цементних бетонів. 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 низьким 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 магнезійальних агресивних середовищ.

У сучасному будівництві зола-винесення широко застосовується у виробництві збірних залізобетонних конструкцій. 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 ( $K_e$ ):

$$K_e = R_{ct} / Ц, \quad (11)$$

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 –

$$Ц = R_{ct} / K_e,$$

золи-винесення –

$$З = (Ц m_3) / (100 - m_3),$$

де  $m_3$  – масова частка золи-винесення у змішаному в'язучому.

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"  $(C/V)_{\text{пр}}$  за формулою:

$$(C/V)_{\text{пр}} = \frac{C + K_{\text{ц.е}} D_3}{V}, \quad (12)$$

де  $C$  – витрата цементу у золомісткому бетоні,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ,

$V$  – витрата води,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ,

$D_3$  – витрата золи,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

"Цементуюча ефективність" золи-винесення характеризує кількість цементу у  $\text{кг}$ , що замінюється без зниження міцності бетону одним  $\text{кг}$  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  $C/V$ ".

Після визначення показника  $(C/V)_{\text{пр}}$  та оптимального вмісту золи із відомим значенням  $K_{\text{ц.е}}$ , можна знайти необхідне  $C/V$  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 15...25%, а на 28 добу – на 10...15%.

При використанні золи разом із реакційноздатними заповнювачами, що містять опал, халцедон, кремністі 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.

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° С 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.

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.

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 кг на  $1\text{м}^3$  бетонної суміші);

- високоміцні (з високим модулем пружності), границя міцності при стиску яких на 3 добу становить 10...15 МПа, а на 28-40 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 МПа; міцність на стиск після 28 діб – 49...51 МПа; марку за водонепроникністю W2...W4; модуль пружності на стиск та розтяг  $(37,5...43,4) \cdot 10^3$  МПа. Використання до 40...55% золи в складі пуцоланових в'язучих, модифікованих суперпластифікаторами, дозволяє отримувати бетони з поліпшеними експлуатаційними властивостями, які можуть бути широко використані у будівництві. Використання пуцоланових зольних цементів забезпечує пасивацію металевої арматури у бетоні як у проектному віці, так і після 5 місяців експлуатації.

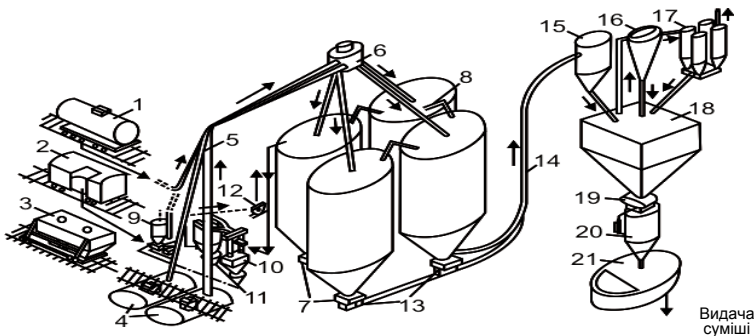
Ефективні золонаповнені бетони також можуть бути отримані на основі золоцементних композицій, модифікованих сульфатними добавками. Сумісне використання хімічної та механічної активації разом з додаванням пластифікуючих добавок дозволяє ефективно застосовувати як кислі золи-винесення, так і золи гідровидалення, 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  $K_c=1,22...2,29$  суттєво перевищують показники корозійної стійкості бетонів на основі сульфатостійких портландцементів ( $K_c=0,78...1,22$ ) та бетонів на основі шлаколузних в'язучих речовин ( $K_c=0,91...1,4$ ).

Розроблені бетони класів В35 і вище з використанням зололужних 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 – 60%, 90 діб – 55%. Отримані бетони є корозійностійкими в середовищах морської води та сульфату натрію.

Типова технологічна лінія виробництва бетонної суміші з добавкою золи-винесення (рис. 35) включає приймальний пристрій, склад, витратний бункер і дозатор. Золю доставляють залізничним транспортом у вагонах типу "Хоппер". Можлива її доставка і іншими спеціальними транспортними засобами.



**Рис. 35.** 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 – невморозвантажувач; 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

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 стиснутого повітря на вході до трубопроводу пневмосистеми залежить від кількості золи-винесення і відстані подачі.

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 пілозбірники. 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 показчика 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.

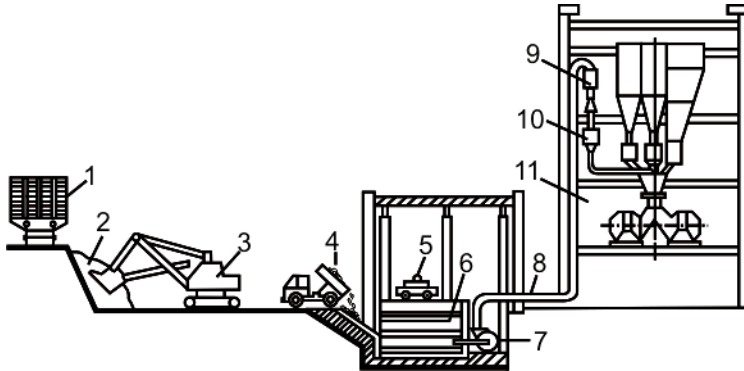
### **5.3. Ніздрюваті золошлакобетони**

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.

Ряд з автоклавною технологією при застосуванні золошлакових в'язучих можливе 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. 36).



**Рис. 36.** 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 шламовмішувач; 6 – басейн для приготування шламу; 7 – шламо-насос; 8 – шламопровід до бункера бетонозмішувального відділення; 9 – бункер для шламу; 10 – дозатор; 11 – бетонозмішувальне відділення

На основі безклінкерних і малоклінкерних вяжучих 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.

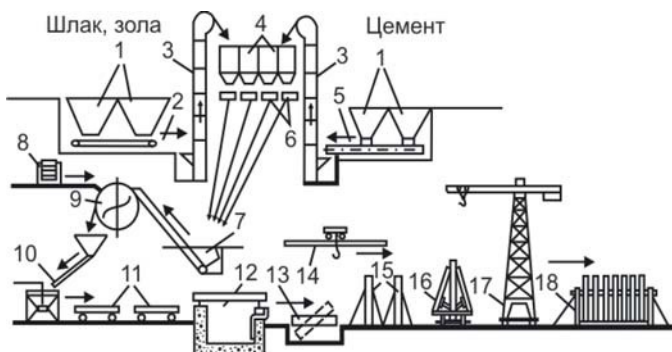
Для виробництва безавтоклавних газозолошлакових бетонів бажано застосувати цемент із підвищеним вмістом високоосновних мінералів – аліту і трикальцієвого алюмінату. При виготовленні автоклавних ніздрюватих бетонів можливе застосування цементів із низькою активністю зокрема шлакопортландцементу і пуцоланового портландцементу.

Порівняно зі звичайним кремнеземистим компонентом – меленим кварцовим піском, що використовується для лтримання ніздрюватих бетонів – зола характеризується підвищеною реакційною здатністю, вимагає значно менших (а при достатній дисперсності взагалі 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  $\text{SiO}_2$ ; наявність невипаленого 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%, невипалених частинок бурого вугілля – не більше 3%, кам'яногає – не більше 5%; питома поверхня 3000...5000  $\text{см}^2/\text{г}$ ; набухання у воді не повинне перевищувати 5%.

Із застосуванням золи випускають газозолобетони з середньою густиною 400...1200  $\text{кг}/\text{м}^3$  у вигляді теплоізоляційних виробів, панелей, блоків і плит для зовнішніх стін, покриттів, міжповерхових перекриттів і внутрішніх перегородок (рис. 37).

Найпоширенішим способом формування ніздрюватих золобетонів є литьовий з використанням бетонної суміші з вмістом 50...60% води. Основними недоліками литьового формування є недостатня газотримуюча здатність суміші; неоднорідна щільність виробів за висотою; повільне твердіння; підвищена вологість виробів після теплової обробки і велика усадка.



**Рис. 37.** 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 – формо-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 литвовим 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.

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 вироби 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. Пороутворювачем для ніздрюватих бетонів слугує водна суспензія алюмінієвої пудри. Для емульгування алюмінієвої пудри застосовують сульфанол, господарське мило. Швидкість спучування суміші регулюють шляхом додавання їдкого натру, а час тужавлення – добавкою вапна. Вироби із ніздрюватого бетону підлягають сушінню при температурі 60..80° 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.

#### **5.4. Будівельні розчини на основі золошлакових відходів**

Сучасний етап розвитку будівництва характеризується широким застосуванням робіт тонкошарових технологій з використанням *сухих будівельних сумішей (СБС)*, які дозволили підняти на принципово новий рівень одночасно і якість і темпи виконання робіт. Виробництво СБС передбачає сушку, точне дозування компонентів та ретельне їх перемішування. До мінімуму зведені непродуктивні втрати матеріалів при їх

виготовленні та відходи розчинових сумішей на будівельному майданчику. Для виробництва СБС широко використовується техногенна сировина – золи, шлаки, гіпсо- та вапновміщуючі відходи, відходи каменеподрібнення та ін.

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 сірчаных 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.

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).

## Розділ 6. Плавлені та керамічні матеріали на основі шлаків та зол

### 6.1. Матеріали зі 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.

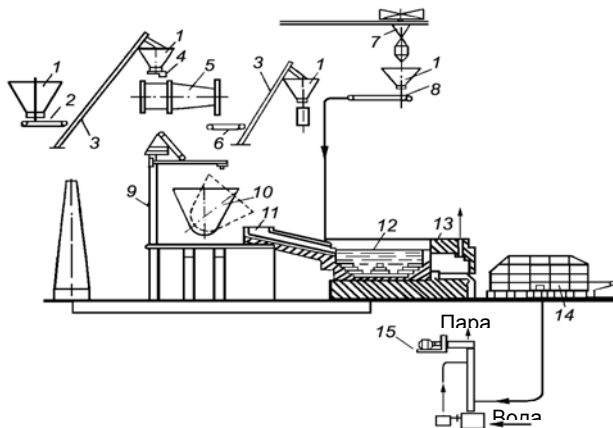
Основним критерієм якості шлаків, як сировини для виробництва *шлакової вати*, є значення модуля кислотності  $M_k$  – величини, зворотної модулю основності відношення кислотних оксидів до основних. Мінеральна вата марки 100 за середньою густиною має  $M_k \geq 1,4$ , а марки 75 –  $M_k \geq 1,5$ .

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, додатковою якісною характеристикою є коефіцієнт насичення, що представляє собою відношення сумарної кількості оксидів  $SiO_2 + Al_2O_3$  до сумарної кількості інших оксидів. Цей коефіцієнт повинен становити 1,5...2.

Технологічний процес виробництва шлакової вати (рис. 38), 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.

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.



**Рис. 38.** 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 (дутьєвий спосіб) або відцентровою силою (відцентровий спосіб). Дутьєвий 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 0,045-0,050 Вт/(м $\cdot$ К), вологість – 1-2%.

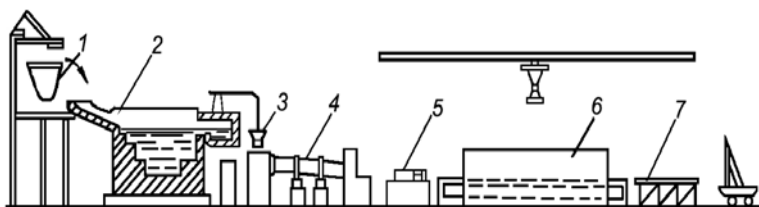
На основі шлакової вати виготовляють вироби різної форми з використанням у якості в'язучих речовин синтетичних полімерів, бітумів, емульсій і паст. Основними видами виробів є м'які, напівжорсткі і жорсткі плити, циліндри, напівциліндри. Основна маса виробів застосовується для теплової ізоляції огорожуючих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

Шлакове лиття. Вогненно-рідкі шлаки металургійної промисловості є сировиною для одержання *шлакового лиття* – 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, тюбінги, 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 кг/м $^3$ , міцність при стиску – до 500 МПа.

За зносостійкістю, жаростійкістю та рядом інших власти-

востей 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 сталеві футеровки. Не менш ефективна лита брущатка для доріг і підлог промислових будинків. Термін служби автомобільних доріг зі шлаколитотою 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.



**Рис. 39.** Схема виробництва литих труб відцентровим способом:

- 1 – шлаковізний ківш; 2 – ванна піч; 3 – дозатор;
- 4 – відцентрова машина; 5 – гідравлічний штовхач; 6 – піч відпалу; 7 – стэнд контролю

У виробництві литих виробів (рис. 39) 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.

При охолодженні та твердінні і кристалізації відливок усадка шлаків становить 7% об'єму, що викликано зміною температури і фазовими перетвореннями. Нерівномірний розподіл температур, коливання хімічного складу шлаків приводять до виникнення напружень які можуть перевищувати міцність лиття на розтяг і приводити до утворення тріщин.

Термічні напруження у виробках 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 виробках 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. Армований шлаколиті вироби можна застосовувати замість збірних залізобетонних, вони переважають останні за міцністними 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.

Металургійні шлаки застосовують як основну сировину при одержанні *шлакового скла*, а також як добавки, що інтенсифікують процеси скловаріння. Відзначено сприятливий вплив добавок на освітлення 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, мармур), 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>),

зносо- і хімічну стійкість (стираність  $0,01 \text{ г/см}^2$ ), низьким водопоглинанням, температуростійкістю до  $200^\circ \text{C}$ , 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, луговмісних 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 різними способами 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 якісним теплоізоляційним матеріалом.

## **6.2. Матеріали з фосфорно-шлакових розплавів**

Із фосфорно-шлакових розплавів можна одержувати шлакову пемзу, вату та литі вироби. *Шлакову пемзу* одержують

за звичайною технологією без зміни складу фосфорних шлаків. Вона має насипну густину 600...800 кг/м<sup>3</sup> і склоподібну дрібнопористу структуру. *Фосфорно-шлакова вата* характеризується довгими тонкими волокнами і середньою густиною 80...200 кг/м<sup>3</sup>.

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 кантувальними механізмами і пристроями для поливу водою, екскаваторів для розробки застиглого шлаку, механізмів для подрібнення, фракціонування, складування і транспортування щебеню споживачеві. Оптимальна товщина шару шлаку в траншей 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 скломаси, 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 псевдолостоніту, 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 загущення шлікерів. Наявність у складі шлаків сполук фосфору і сірки може стати причиною підвищеної загазованості і вимагає використання відповідних вентиляційних систем.

### **6.3. Керамічні та плавлені матеріали з паливних шлаків та золи**

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 золи-винесення до глинистих порід дозволяють ефективно використовувати її як опіснювальний та паливний компоненти шихти при виготовленні цегли та керамічного каміння. Доведено, що золи характеризуються низькою гідрофільністю, внаслідок чого при їх використанні збільшується вологопровідність глин 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 направленій 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 *опіснювальні добавки* використовують золи, які мають мінімальний вміст залишків палива (золи від спалювання бурого вугілля), а як *вигорячі* – паливомісткі золи (золи від спалювання антрациту та кам'яного вугілля). Інколи золи можна використовувати як добавки, що мають комбіновану дію. Зазвичай золи та шлаки, що містять до 10% палива, використовують як опіснювальні, а золи, що містять більше 10% палива – як паливомісткі добавки. Як опіснювальна 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. У 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, мало пластичних – 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% рідкого 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 та 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  $Al_2O_3$  та  $SiO_2$  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° С, середня швидкість нагрівання – 50...60° С/год, тривалість витримки 3...4 год. Випалювання рекомендовано вести в першій половині зони випалювання печі (800...1000° С) в окислювальному газовому середовищі, у другій (1000...1100° С) – 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° С) 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 стиранистю. 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 силікаатутворення, 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 *марблiт* 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...65·10<sup>-7</sup> 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° С або при використанні керамічної зв'язки для ізоляції поверхонь з температурою до 1150° С. 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°С
Термостійкість	250°С
Хімічна стійкість:	
у воді	99,96%

у HCl	99,89%
у NaOH	97,65%

## **Розділ 7. Матеріали з відходів переробки деревини та іншої рослинної сировини**

Як сировину для виготовлення різноманітних будівельних матеріалів широко застосовують відходи механічної та хімічної переробки, а також відходи переробки іншої рослинної сировини.

### **7.1. 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 ін.

Номенклатура та кількість відходів (мас. %), які отримують в процесі лісозаготівлі і деревообробки наведені на рис. 40. Аналіз показує, що використання деревини за прямим призначенням складає біля 10% від загального об'єму.

Основною сировинною базою відходів для виробництва будівельних матеріалів і виробів є лісопилно-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.

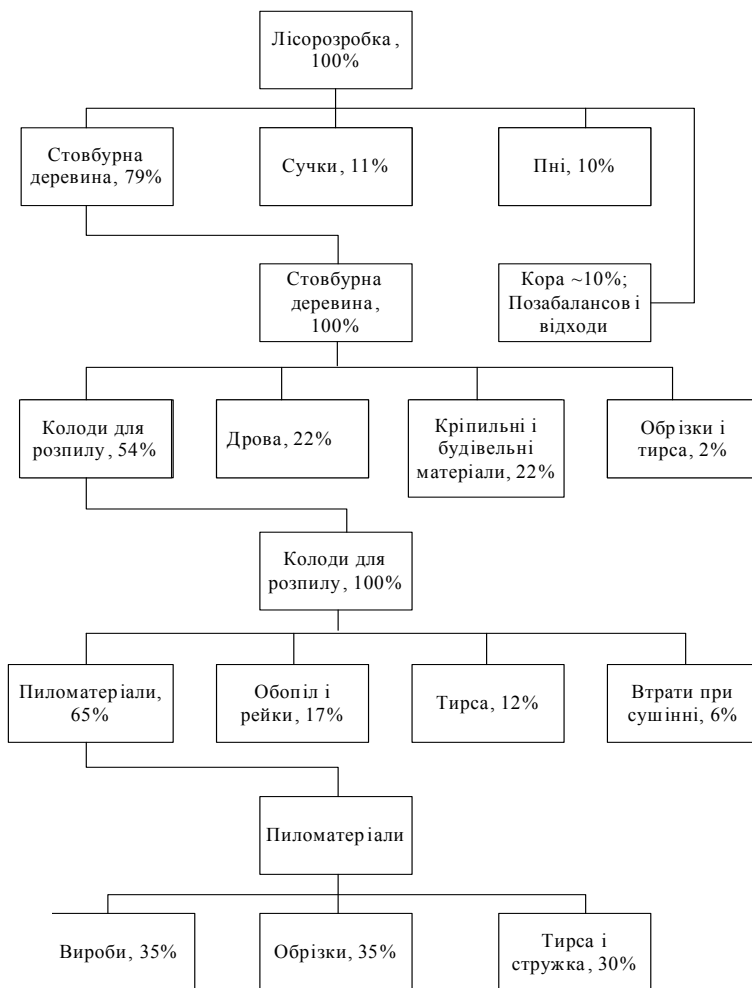
За першою ознакою відходи деревини класифікують наступним чином: *тверді* (або кускові), *м'які* (тирса, стружка тощо) та *кора* (в тому числі луб, деревна зелень й деревна лапка).

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.



**Рис. 40.** Види основних відходів деревини

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. 15).

Таблиця 15

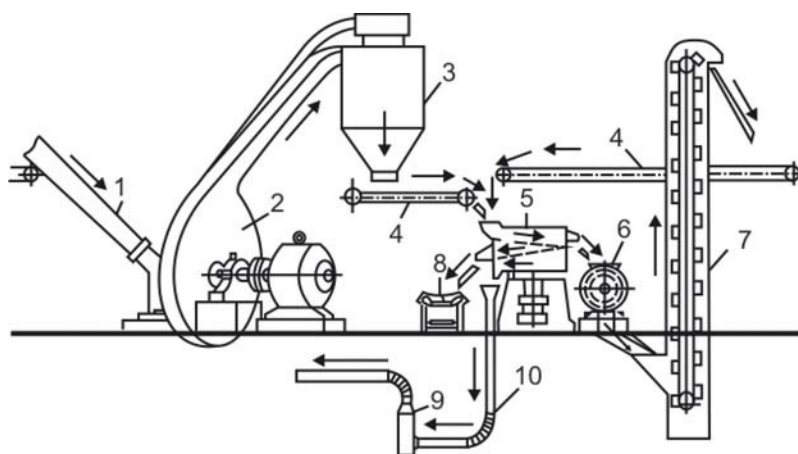
Властивості деревної тирси в залежності від фракційного складу

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

*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. 41.

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. 41.** 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 та 10...20 мм, для середніх шарів – 0,4 та 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° С. 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.

Тепломеханічна 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 та 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 алюмінію, рідким 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.

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 зривуванню 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 – лущиння насіння соняшника, проса, гречки тощо.

*Костриця* – відхід первинної переробки стебел коноплі і льону після їх обробки в 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.

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° С не призводить до її розкладання. Процес розкладання починається при температурі 275° С. 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 гідролізуються 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 та

пентози - це колоїдні речовини, які при нагріванні у воді стають подібними до клеїв.

*Смоли* 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 нерозчинні у воді речовини.

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.

Для знешкодження негативної дії водорозчинних речовин деревину обробляють фізичними і хімічними методами. Для нейтралізації дії шкідливих речовин найбільш широко використовують просочування (мінералізацію) деревини суцільними розчинами безпосередньо перед її змішуванням частинок з портландцементом. З цією метою можна застосовувати розчини хлориду кальцію, сульфату алюмінію та рідинного скла. Обробка рідким склом забезпечує швидке твердіння виробів, але їх міцність 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 час, як рідке скло і сульфат алюмінію застосовують для обробки деревини будь-яких порід і незалежно від ступеня їхньої витримки.

Хлорид кальцію, рідке 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.

## **7.2. Матеріали на основі деревних відходів без застосування в'язучих речовин**

Будівельні матеріали на основі деяких відходів деревини можуть бути виготовлені без застосування спеціальних в'язучих або з незначним їх додаванням. В таких матеріалах деревина зв'язується в результаті зближення і переплетення її волокон, їхньої когезії та 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 об'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 у камерах при температурі 40...90° С 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 стиковки 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 великорозмірні 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 характерне поздовжнє розташування волокон деревини, а для гонту – поперечне. Їх виготовляють із короткорозмірних брусків, 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 та 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 та 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·°С) 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 кромek плити та розрізка на плити заданих розмірів.

Комишитові плити застосовуються, в основному, при будівництві будівель сільськогосподарського призначення як тепло- і звукоізоляція.

*Лігновуглецеві та н'езотермопластики* виготовляють із деревної тирси або іншої рослинної сировини високотемпературною обробкою прес-маси без введення спеціальних зв'язуючих речовин.

Технологічний процес виробництва лігновуглецевих 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° С. 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 лігновуглецевого 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 лігновуглецевих пластиків наведені в табл. 16.

Таблиця 16

Технічні параметри і властивості лігновуглецевих пластиків

Деревина	Вихідна вологість тирси, %	Тиск при пресуванні, МПа	Температура плит преса, °С	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

Сировину для лігновуглецевих пластиків 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 та деякі здеревілі відходи сільського господарства. Домішки в сировині частково згнилої деревини поліпшують фізико-механічні властивості лігновуглецевих пластиків.

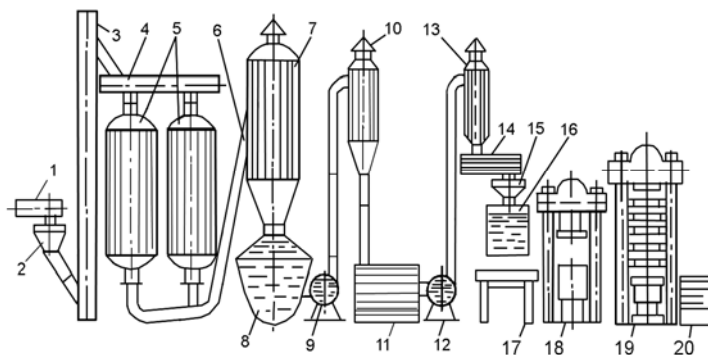
Лігновуглецеві пластики можна одержувати плоским або об'ємним пресуванням у вигляді плит і виробів різної конфігурації залежно від пресового устаткування, що застосовується, та призначення виробів.

Порівняно з деревностружковими плитами, лігновуглецеві 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 навколишнє середовище.

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 лігнуглецевих пластиків (рис. 42).



**Рис. 42.** 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

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° С.

За другим способом кондиційна тирса розміром менше 4мм обробляється в автоклавах парою протягом 2 год при температурі 170...180° С 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° С.

Вихідною сировиною, як і тирса, можуть бути подрібнена деревина хвойних і листяних порід, лляна та конопельна костриця, очерет, гідролізний лігнін тощо.

П'езотермопластики поділяють на напівтверді, тверді та надтверді. При середній густині 700...1100 кг/м<sup>3</sup> п'езотермічні 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.

Високі фізико-механічні властивості п'езотермопластиків 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 вібротоліні, 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° С вони підлягають термічній обробці, внаслідок чого майже в 3 рази знижується їх водопоглинання та більше ніж у 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.

### **7.3. Матеріали на основі деревних відходів та мінеральних в'язучих**

Деревні відходи без попередньої переробки (тирса, стружка) або після подрібнення (тріска, дрібняк та ін.) можуть

бути використані як заповнювачі в будівельних матеріалах на основі мінеральних в'язучих речовин.

Останніми десятиліттями будівельні матеріали з використанням відходів деревини та 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 ( $\rho_0=300\text{...}800 \text{ кг/м}^3$ ) та досить низьким коефіцієнтом теплопровідності ( $\lambda=0,093\text{...}0,23 \text{ Вт/м}\cdot\text{°C}$ ), неспалимістю, 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 важкоспалимість 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. 17.

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.

Таблиця 17

Придатність деяких порід деревини для отримання будівельних матеріалів конгломератної будови

Порода деревини	Вміст водорозчинних речовин, %	Показник 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

\*При збільшенні показника ступінь придатності порід зменшується

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 білітошлямових цементів, що не містять аліт. Основним компонентом цих в'язучих є біліт, 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° С т.зв. білого шламу – відходу металургійного виробництва та 12...15% гіпсу.

З успіхом можуть бути також використані алінітовий цемент і в'язуче ВНВ (в'язуче низької водопотреби). Алінітовий цемент одержують на основі алінітового клінкера низькотермального синтезу (випалом до спікання при температурі 1000...1200° С), 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'яжуче низької водопотреби одержують спільним помелом портландцементного клінкеру, піску, шлаку і суперпластифікатора. Питома поверхня в'яжучого ВНВ – 4500...5200 см<sup>2</sup>/г. Строки тужавлення його можна регулювати в широкому діапазоні від 30 хв до 24 год за нормальних умов. Порівняно з портландцементом ВНВ має значно меншу водопотребу 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'яжучих. При взаємодії з водою гіпс 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'яжучих для будівельних виробів на заповнювачах рослинного походження відносяться магнезіальні в'яжучі речовини (каустичний магнезит і каустичний доломіт), які замішуються водними розчинами хлористого магнію та деяких інших солей. Виробництво цих в'яжучих, однак, досить обмежене, в основному, у зв'язку з дефіцитом сольових замішувачів.

Головними представниками групи матеріалів на деревних заповнювачах і мінеральних в'яжучих 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° С та нижче – 40° С.

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. 18).

Таблиця 18

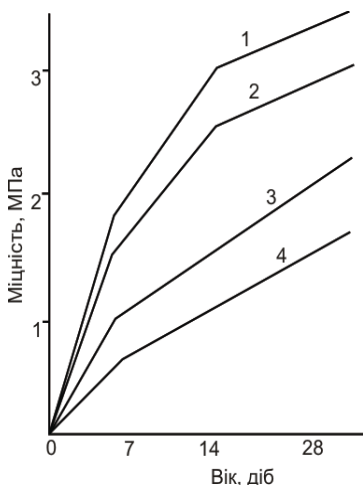
Фізико-технічні властивості арболіту

Показники	Заповнювач-дрібняк із відходів:		
	лісопи- ляння	лісозаго- тівлі	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 теплопровід- ності (при вологості 12...15%), Вт/(м·°C)	0,081...0,162	0,081...0,2	0,069...0,12
Коефіцієнт паропроникності, кг/(м·с·Па)	0,034...0,14	0,034...0,1	0,034...0,14
Коефіцієнт теплотасвоєння, Вт/(м·°C)	3,17...4,52	3,17...4,52	3,17...4,52
Вогнестійкість	Важкоспалими (вогнестійкість – 0,75...1,5 години)		
Коефіцієнт вукопоглинання (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...850 кг/м<sup>3</sup>, має коефіцієнт теплопровідності 0,08...0,17 Вт/(м·°C), а на основі подрібнених стебел бавовнику, рисової соломи, костриці льону та коноплі – 0,07...0,12Вт/(м·°C).

Для виготовлення конструкцій із арболіту застосовують наступні матеріали: в'язучі (портландцемент і його різновиди, високоміцний гіпс, гіпсоцементнопуцоланову в'язучу речовину), заповнювачі (відходи деревини або відходи рослинного походження), хімічні добавки (хлорид кальцію, рідке скло, силікат-глибу, оксид кальцію, сульфат алюмінію та інші), сталюну арматуру та матеріали для антикорозійної обробки арматури та закладних деталей.



**Рис. 43.** Залежність міцності арболіту від породи деревини: 1 – ялина; 2 – сосна; 3 – береза; 4 – осика

насамперед визначається якістю деревного заповнювача (рис. 43). 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

Заповнювачі отримують зазвичай подрібненням таких порід деревини як: ялина, сосна, кедр, смерека. Дозволяється застосовувати березу, вільху, липу, тополю, осика та інші породи деревини, а також їхні суміші після відповідних лабораторних випробувань. Можливим є додавання поротвірних добавок, які використовують при виробництві ніздрюватих і поризованих легких бетонів та інші комплексні добавки після проведення необхідних досліджень.

Міцність арболіту

схильністю до значних вологісних деформацій Хімічну активність заповнювача визначає кількість цукрів, які утримуються в екстрактивних речовинах.

Зменшити хімічну та фізичну активність заповнювача можна введенням хімічних та мінеральних добавок, що сприяє підвищенню його міцнісних характеристик арболіту.

Границя міцності арболіту залежить від його вологості, особливо в діапазоні від 0 до 25%. Максимальну міцність цей матеріал здобуває при вологості 16...17%. Деформація арболіту при короткочасному навантаженні (показник стискуваності) приблизно у 8...10 разів більша, ніж у легких бетонів на мінеральних пористих заповнювачах.

Арболіт має досить велике водопоглинання. Однак перевагою цього матеріалу є легка віддача поглинутої води, тобто швидке висихання. Морозостійкість арболітових виробів призначається залежно від режиму їхньої експлуатації та кліматичних умов району будівництва; у всіх випадках вона приймається не менше F25.

Міцність зчеплення арболіту зі сталлюю арматурою залежить від його міцності, виду поверхні стрижнів та захисної обмазки і складає 0,1...0,4 МПа, у 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 у 8...10 разів більша ніж у бетонів на основі мінеральних заповнювачів. Показник стискуваності 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 кг/м<sup>3</sup>, а конструкційно-теплоізоляційного класів В2 і В3,5 – 390...430 кг/м<sup>3</sup>. 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 кг/м<sup>3</sup>, сульфату алюмінію – 15...20 кг/м<sup>3</sup>.

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 м<sup>3</sup> арболіту наведені в табл. 19.

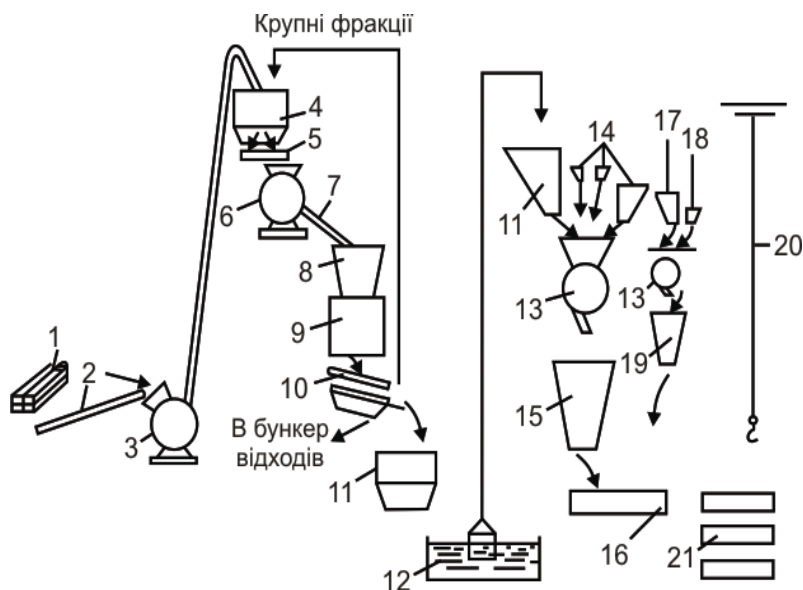
Таблиця 19

Орієнтовні склади арболіту

Компонент	Витрати компонентів на 1 м <sup>3</sup> залежно від класу бетону, кг					
	В0,35	В0,75	В1	В2	В2,5	В3,5
Портландцемент М400	$\frac{250^*}{300}$	$\frac{260}{320}$	$\frac{270}{390}$	$\frac{340}{390}$	$\frac{370}{400}$	$\frac{400}{430}$
Дрібняк сухий	$\frac{140}{190}$	$\frac{170}{200}$	$\frac{180}{210}$	$\frac{230}{250}$	$\frac{250}{270}$	$\frac{280}{310}$
Дрібняк із рисової соломи	300	340	370	400	-	-
Костриця з коноплі та льону	230	320	360	440	-	-
Хлорид кальцію**	6	7	7,5	8	8,5	9
Вода, л	$\frac{270}{320}$	$\frac{280}{330}$	$\frac{310}{360}$	$\frac{390}{420}$	$\frac{410}{460}$	$\frac{430}{490}$

**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 ті ж 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. 44) 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.



**Рис. 44.** 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

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 її замочування у 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.

Для арболітової суміші 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.

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, дрібняк повинен мати коефіцієнт 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 відпускної 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, аналогічних для деревини при її сушінні: температурі 50...60° С та відносній вологості 70...80%. При такому режимі арболіт набуває розпалубочної міцності через 18...20 год. Вона не перевищує 25...40% марочної, а вологість залишається в межах 30...35%. Для подальшого набору міцності та зниження вологості вироби додатково витримують на закритому складі протягом 7 днів при температурі 16...18° С.

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 у стінах.

Арболітові вироби знайшли широке застосування у будівництві. Це стінові панелі, крупні і дрібні стінові блоки, плити перекриття, підсилені залізобетонними брусками або несучою основою (багат шарові), 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 у будівництві отримали дрібнорозмірні та крупні стінові блоки, а найменше – стінові панелі розміром на кімнату.

Крупні стінові блоки мають розміри:  $2290 \times 1180 \times \square$  мм;  $2290 \times 580 \times \square$  мм, де  $\square$  – 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 наступних розмірів:  $600 \times 300 \times \square$  мм;  $600 \times 150 \times \square$  мм;  $300 \times 300 \times \square$  мм;  $600 \times 100 \times \square$  мм;  $600 \times 200 \times \square$  мм;  $2290 \times 580 \times \square$  мм; де  $\square$  – товщина, яка складає 200 і 250 мм. Середня густина арболіту становить – 600..700 кг/м<sup>3</sup>, коефіцієнт теплопровідності – 0,15..0,18 Вт/(м·°С).

При досягненні однакового значення термічного опору огороження, застосування арболіту порівняно з керамзитобетоном сприяє зниженню витрат портландцементу на 35...55 кг/м<sup>2</sup>.

Найбільш ефективним арболіт виявляється 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 та вироби з арболіту ефективно замінюють цеглу, керамзитобетон, ніздрюваті бетони, а за деякими експлуатаційними властивостями перевершують їх.

Порівняльні техніко-економічні показники 1 м<sup>2</sup> зовнішніх стін з арболіту та інших матеріалів наведені в табл. 20.

Таблиця 20

Техніко-економічні показники стін з різних матеріалів

Показник	Одношарова панель із			Зовнішня стіна із керамічної цегли
	арболіту	керамзитобетону	ніздрюватого бетону	
Середня густина, кг/м <sup>3</sup>	700	900	700	1800
Товщина, см	22	28	24	66
Маса 1м <sup>2</sup> стіни, кг	154	270	200	1200
Відносні значення: розрахункової вартості, %	44	64	59	100
питомих капітальних вкладень	26	8	69	100
приведених витрат	40	67	61	100
Трудомісткість (виробництво та 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, 500.

Фіброліт відрізняється високим звукопоглинанням, обумовленим 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 грибок. Фізико-технічні властивості фіброліту наведені в табл. 21.

Фіброліт виготовляють у вигляді плит довжиною – 2400, 3000 мм, шириною 600, 1200 мм і товщиною – 30, 50, 75, 100, 150 мм.



Таблиця 21

## Фізико-технічні властивості фіброліту

Показники	Нормовані значення для плит марок:		
	Ф-300	Ф-400	Ф-500
Середня густина у 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° С, Вт/(м·°С)	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

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° С і вологості 60...70%. Середні витрати портландцементу марки М400 на 1 м<sup>3</sup> плит залежать від

середньої густини і становлять 190...270 кг/м<sup>3</sup>. При виробництві 1 м<sup>3</sup> фіброліту витрачається також 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 густини 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. 22).

Таблиця 22

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- зрубле ної	витри- маной	свіжо- зрубле ної	витри- маной	свіжо- зрубле ної
Хлорид кальцію	0,58	0,14	0,28	0,1	0,04	0
Сірчанокисл ий алюміній	0,40	0,36	0,41	0,25	0,34	0,32
Рідке 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 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 тонкомірною 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. 23.

Таблиця 23

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 пластів, Н/м	4...7	4...7
Морозостійкість (зниження міцності при згині 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

Плити мають високу міцність, атмосферостійкість, не займаються, не руйнуються термітами та 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.

Дослідження показали можливість часткової заміни спеціально нарізаної стружки м'якими відходами лісопилно-деревно-обробних 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 до вологісних деформацій 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 (обрізки кромки, шліфування поверхні плит і нанесення лакофарбового покриття).

Обкорковану деревину витримують на складі протягом 1,5-2 місяців для вирівнювання вологи за об'ємом 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), яку додрібнюють у молотковій дробарці. Дозування окремих компонентів і приготування цементно-стружкової суміші для влаштування зовнішнього та середнього шару плит виконують в окремих змішувачах.

Засипка суміші на піддони відбувається безперервно після проходження розсіювальної машини вона ущільнюється швидкісним ланцюговим конвеєром. Заготовки плит складаються в пакети та 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 кромки 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 їх кондиціонування.

Конструкції з використанням цементно-стружкових плит рекомендується застосовувати для житлового, промислового та сільськогосподарського будівництва, для зовнішнього та внутрішнього обшивання стінових панелей, каркасних перегородок, підвісних стель, санітарно-технічних кабін, екранів, огорожень, елементів підлог та інше.

При експлуатації конструкцій у 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; у 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 м<sup>3</sup> тирсобетону класів В1...В2 середньою густиною 1050...1250 кг/м<sup>3</sup>

витрата портландцементу марки М400 складає приблизно 130 кг, гашеного вапна – 105, піску – 600, тирси – 200 кг.

*Термопласт* – сипкий теплоізоляційний матеріал, який одержують 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 у 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  $0,12\text{ Вт/(м}\cdot\text{°С)}$ .

*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 теплосвоєння, гігієнічність, достатня твердість, низька стираність, можливість надання різноманітного забарвлення.

Ксилоліт неспалимий 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 та 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 міцним гірським породам.

Застосування як замішувачів магнезійних в'язучих розчинів хлористих солей робить ксилоліт з деревним

заповнювачем вогнестійким матеріалом. У цьому відношенні магнезіальні в'язучі мають значну перевагу перед іншими мінеральними в'язучими для виробництва матеріалів, де як органічний заповнювач використовується деревна тирса.

Для виробництва ксилоліту використовується, головним чином, тирса лісопиляння як найбільш однорідна за структурою та крупністю, що не містить домішок кори та 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 магнею – 260...400 кг.

Основні фізико-механічні показники ксилолітових плиток наведені в табл. 24.

Таблиця 24

Властивості ксилолітових плиток

Показник	Ксилолітові плитки	
	пресовані	трамбовані
Середня густина, кг/м <sup>3</sup> , не більше	1500	1800
Водопоглинання, %	8...12	16...20
Стираність, 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 магнею 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 у 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 розкрюється на заготовки визначеної довжини, які направляються на склад для витримки і зберігання.

Проведені випробування конструкційного бруса показали, що він біостійкий, важкоспалимий 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<sup>□</sup>°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 цементу: – 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<sup>°</sup> 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 цементи.

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. 25.

Границя міцності при стиску гіпсового короліта зазвичай становить менше 1,7 МПа, теплопровідність лежить в межах 0,14...0,16 Вт/(м<sup>□</sup> С).

## 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.

#### 7.4. Матеріали на основі органічних в'язучих 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 сечовиноформальдегідними при використанні цих смол необхідно застосовувати більш високу температуру і довшу витримку під час пресування.

*Клеєна деревина* відноситься до найбільш ефективних матеріалів на основі деревини. Клеєна деревина може бути шарувата та отримана зі шпона (наприклад, фанера, деревношаруваті пластики), масивна із кускових відходів лісопилення і деревообробки (панелі, щити, бруси, дошки) і комбінована (столярні плити).

Клеєні вироби класифікують за видом клею, що застосовується, 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 зі збільшенням вмісту целюлози.

Для склеювання по довжині коротких дощок 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.

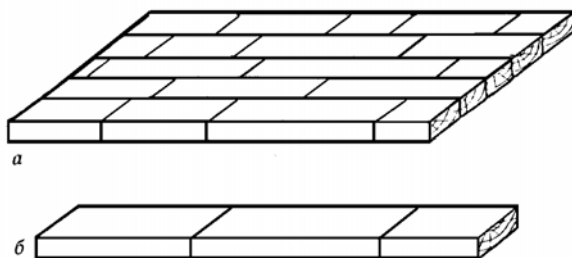
Кускові відходи деревини, які за кількістю займають одне з перших місць, можуть бути використані для виробництва різних виробів, отриманих як із застосуванням клеїв, так і без них. На основі цих відходів можна виготовляти клеєні панелі і

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 виробу складної форми або великих конструкцій. У клеєних конструкціях послаблюється вплив анізотропії деревини, вони характеризуються підвищеною гниlostійкістю та низькою займистістю, не піддаються усушці та коробленню. Враховуючи тривалість монтажу та трудовитрати при зведенні будівель, а також стійкість під впливом агресивного середовища, клеєні дерев'яні конструкції успішно конкурують зі сталевими та залізобетонними конструкціями. Їхнє застосування ефективне 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 дощок (рис. 45). Панелі класифікують за видом застосованого клею, характером обробки поверхні та конструктивними особливостями.



**Рис. 45.** Конструкція клеєної панелі:  
а – загальний вигляд; б – елемент панелі

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 та покращення зовнішнього вигляду панелей необхідно в процесі обробки усувати дефекти деревини (гнилизну, сучки тощо).

Границя міцності панелей при сколюванні уздовж волокон по клеєному 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 настилення підлог, для перегородок, покрівлі, обшивки каркасних будівель, будівельного риштування тощо. Панелі, облицьовані шпоном, папером або плівками, можуть бути використанні як конструкційно-оздоблювального матеріалу. *Клеєні щити* виготовляють із відходів лісопиляння різної товщини, довжиною від 375 мм і більше. Ці відходи розпилюють, а потім обточують по довжині, кратній 750 мм. Короткі бруски перед формуванням щитів клеюють. Бруски висушують до 12% вологості. При їх укладанні необхідно звернути увагу на те, щоб зовнішня поверхня щита була без дефектів.

При клеюванні бруски обжимають струбцинами і витримують протягом 12...24 год. залежно від температури повітря. Якщо щити піддаються сушінню при температурі не більше 60°С, то строки витримки не перевищують 2...4 год.

Після затвердіння клею, щити розпресовують і укладають на прокладки в штабелі для витримки та охолодження. Потім вироби 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 розкрояють 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, розкрояють на обрізки заданої довжини, наносять клей і набирають на ланцюговому конвеєрі килим плити, що подаються у високочастотний прес. Застосування клеєних плит дозволяє 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'єднують між собою прямими наскрізними шипами на клею, а рейки закріплюються торцевими фальцями у повздовжніх пазах брусків обв'язки. Лицьове покриття складається із секцій, які збираються з 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° С. 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 напівфабрикатів для виготовлення щитів (шашки) починається з сортування, коли відбраковують бруски

неправильної форми і уражену деревину (гнилизною, трухлявиною, сучками тощо), а потім їх висушують в камерних сушарках до вологості 8 мас.%. Кондиційні бруски поступають для виготовлення щитів розмірами 500×500 або 1000×1000 мм, які збирають на спеціальних верстатах. Попередньо їх 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, 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 дощок обополу або кускових відходів (замість цільних пиломатеріалів), які після відповідної обробки склеюють у 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 притискають бруском. Процес пресування триває 3 год, після чого пакети виймають з пресу, укладають на прокладки та витримують не менше однієї доби.

Можна також виготовляти двері та коробки з коротких брусків, які склеюють до необхідної довжини зубчатими шипами. Скріплення брусків включає: торцювання заготівок, розкрюювання їх по ширині, нарізку щитів, нанесення

синтетичного клею на поверхню, пресування та витримування протягом 12...18 год при температурі повітря +17...20° С 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 у пластині:

ДШП-А – волокна деревини у всіх шарах мають паралельний напрямок або кожні чотири шари з паралельним напрямком чергуються з одним шаром, що має напрямок волокон під кутом 20...25° С до суміжних шарів;

ДШП-Б – кожні 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° С.

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° С або у 50...55%-му розчині смоли, підігрітої до температури 60...65° С.

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 чергуються з шарами тканини та металеві 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 у 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 та екструзійні. Внаслідок різних способів виготовлення структура плит неоднакова. Для виготовлення плит плоского пресування використовують гідравлічні преси з нагрітими до температури 140...150° С сталевими плитами. Преси періодично завантажують стружкою, укладають її на піддони з попереднім

ущільненням. Такий спосіб виготовлення плит називають періодичним. Плити плоского пресування мають однакову міцність у поздовжньому та 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 мунштук 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 та 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.

За видом подрібненої деревини розрізняють плити зі спеціально виготовлених стружок, верстатних стружок, дрібняку і тирси. Деревно-стружкові плити мають середню густину 550...850 кг/м<sup>3</sup>; їхня водостійкість залежить від виду полімеру і заповнювача. Поширені плити, що виготовлені на основі фенол-формальдегідних 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 та зниженою стабільністю, за видом обробки

поверхні – на необлицьовані та 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 наведені в табл. 26.

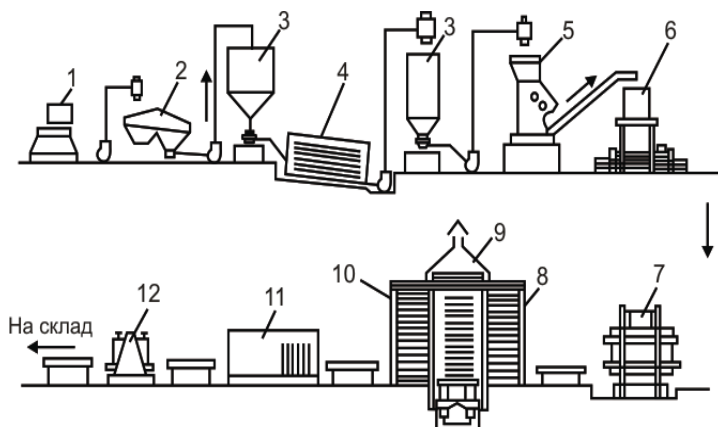
Таблиця 26

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

Технологічний процес виробництва плит (рис. 46) складається з наступних операцій: сортування деревини, ошкурення, зволоження та розрізання її на заготовки, переробки

в стружку, сушіння, перемішування з в'язучою речовиною, укладання маси, формування килиму, пресування і обробки.



**Рис. 46.** Технологічна схема виробництва одношарових деревно-стружкових плит:

- 1 – рубальна машина; 2 – вібраційне сито; 3 – бункер;  
 4 – сушарка; 5 – змішувач; 6 – настільювальна 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 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 багатшарових 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° С.

Спочатку плити пресують при тиску 3,0 МПа, а потім тиск зменшують до 0,6...0,3 МПа.

Деревно-стружкові плити у 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. У приміщеннях з підвищеною вологістю застосовувати такі плити не рекомендується.

Плити можна покривати прозорою або напівпрозорою кольоровою полівінілхлоридною плівкою, а також лаками (*ламіновані плити*).

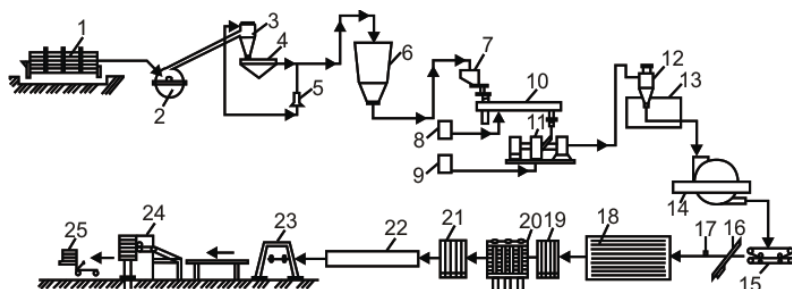
Плити використовують як теплоізоляційний матеріал для тришарових панелей. Такі конструкції мають високу міцність і теплозвукоізоляційні властивості, тому їх застосовують при будівництві малоповерхових будівель, а також для влаштування суцільних основ покрівлі із рулонних гідроізоляційних матеріалів.

При виготовленні ДВП мокрим способом (рис. 47) відходи деревини на рубальних машинах перетворюють на тріски, які потім проварюють в 1...2%-му розчині їдкого натрію. Проварені і промиті гарячою водою тріски розмелюють в спеціальних машинах (дефібраторах) до волокнистого стану та перемішують з водою. У суміш додають парафінову емульсію, антисептики та антипірени, а також полімерні зв'язуючі.

Підготовлена суміш надходить для зневоднення на сітчастий конвеєр, формування килиму заданої товщини та розрізування на листи. Листи спрямовують або у роликову тунельну сушарку для виготовлення ізоляційних плит або у прес гарячого пресування для виготовлення твердих і надтвердих плит. Пресування відбувається при температурі 150...165° С 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 деревноволокнистих плит становлять: по довжині 1220...3660 мм; по ширині 610...2140 мм і товщині 8...16 мм.



**Рис. 47.** Технологічна схема виробництва деревноволокнистих 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, настилання 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 глянцевою 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 – у медичних, торгівельних закладах.

Фізико-технічні властивості деревно-волокнистих плит наведені в табл. 27

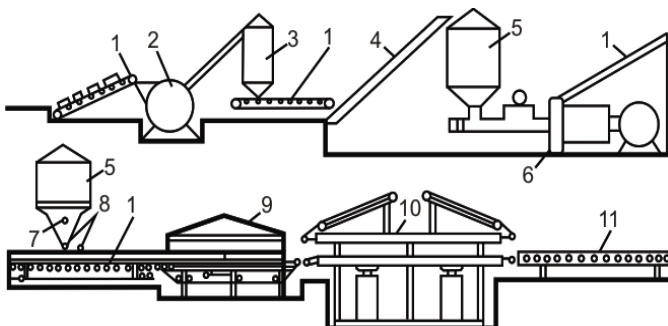
Таблиця 27

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	–	–	–

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. 48) Відходи подрібнюють на рубильній машині в тріску, а потім перероблюють на дефібраторі в деревну шерсть. Деревна маса вологістю 30...40% піддається гідротермальній обробці, а потім – гарячому пресуванню.

За середньою густиною та міцністю деревно-шерстні плити поділяють на ізоляційні, ізоляційно-оздоблювальні, конструкційно-ізоляційні і конструкційні.



**Рис. 48.** Схема виробництва деревно-шерстних плит:  
 1 – конвеєр; 2 – рубильна машина; 3 – циклон; 4 – елеватор;  
 5 – бункер; 6 – дозатор; 7 – килимоукладальник; 8 – дозуючі  
 злики; 9 – гідротермопідпресувальник; 10 – прес гідравлічний;  
 11 – рольганг

Середня густина ізоляційних і ізоляційно-оздоблювальних плит  $250...500 \text{ кг/м}^3$ , конструкційно-ізоляційних –  $500...700 \text{ кг/м}^3$ , конструкційних –  $700...1000 \text{ кг/м}^3$ ; мінімальна границя міцності їх при статичному згині відповідно дорівнює 5, 10 та 13 МПа.

Розроблено технологію *волокнисто-стружкових плит*, які так само, як і деревно-волокнисті, можуть бути напівтвердими, твердими і надтвердими із границею міцності при згині не нижче відповідно 10, 20 та 40 МПа.

Технологічний процес їх виробництва включає 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 та 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. Як клей використовують рідке натрієве скло з 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 належать 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 ін.), сечовиноформальдегідної (карбамідної) зв'язки, отверджувача (алюмохромфосфатного). Фізико-технічні властивості плит наведені в табл. 28.

Таблиця 28

Фізико-технічні властивості деревно-мінеральних плит

Показник	Марка плит за середньою густиною, кг/м <sup>3</sup>			
	200	250	300	350
Границя міцності, МПа: при згині при стиску	0,2 0,6	0,3 0,8	0,7 1,4	1,3 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

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 енергоємними процесами виготовлення ДМП є пресування і термообробка. Було запропоновано два способи: перший – гаряче пресування, попередньо відформованих плит в ярусних пресах; другий – пресування в термокамерах з просмоктуванням 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 у сучасному будівництві, що дозволяє підвищити індустріальність, зменшити об'єм мокрих штукатурних і малярних робіт, а також знизити масу конструкцій та витрати на опалення будівель.

*Деревно-тирсові плити* виготовляють із суміші тирси, полімеру, гідрофобізатора та антисептика. Вони можуть бути одно- та багатошаровими, суцільними та ніздрюватими. Середня густина суцільних деревно-тирсових плит складає 800, а ніздрюватих – 500 кг/м<sup>3</sup>, 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 використовують 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 належить *костроемульбіт*, який одержують на основі заповнювача – костриці льону і в'язучого – бітумної емульсії. Емульгатором бітумної емульсії та одночасно вогнезахисним компонентом служить технічний лігносульфонат (ЛСТ). Костроемульбіт призначений для теплоізоляції покривель по неспалимих основах, а також як середній шар стінових панелей у 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 г/м<sup>3</sup> 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, якою розбавляють 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 м<sup>3</sup> утеплювача.

Витрата матеріалів, кг, для одержання 1 м<sup>3</sup> костроемульбіту (середня густина 300 кг/м<sup>3</sup>) складає: костриці льону – 195; бітуму – 75; ЛСТ – 18 (в перерахунку на суху речовину); добавки (рідке скло) – 12.

Плити формують в інвентарних формах-рамках на ґратчастих піддонах і ущільнюють на пресах. Вироби направляють у камеру-сушарку або на склад готової продукції.

Костроемульбіт, виготовлений у вигляді плит розміром 600×600×100 мм і висушений до постійної маси, характеризується наступними фізико-механічними показниками:

Середня густина при вологості 10 %, кг/м <sup>3</sup>	380...400
Теплопровідність при 20° С, Вт/(м□° 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

*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□300, 333□333 і 400□400 мм. При виготовленні паркеліта масу з тирси й стружок змішують зі зв'язуючим і пресують при тиску 8 МПа та температурі 140...160° С. Відпресовані плитки після витримки шліфують, обробляють, вибираючи пази, і облицьовують струганим шпоном.

Собівартість виготовлення паркеліту приблизно вдвічі нижча собівартості паркетної дошки.

У *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, окрім 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 огороджуючих конструкцій.

*Рипліт* – теплоізоляційний матеріал на основі рисової соломи та спіненої полімерної зв'язуючої речовини. Він не горить, не піддається впливу цвілі та 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). 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.

У композиціях з деревним заповнювачем і відходами переробки сільськогосподарських культур поряд з термореактивними можна застосовувати і термопластичні полімери.

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 облицювання стін, покрівельні плитки й ін. Будівельні вироби з деревно-полімерних композицій можуть успішно використовуватись як у малоповерховому, так і в багатоповерховому житловому й цивільному будівництві.

Основні фізико-механічні властивості будівельних виробів з термопластичних деревно-полімерних композицій наведені в табл. 29.

Таблиця 29

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 деревно-полімерних композицій порівняно з традиційними виробами з деревини можна віднести:

гладкі й щільні поверхні;  
щільну й однорідну структуру по всьому поперечному перерізу виробів;

відсутність дефектів та вад, характерні для аналогічних будівельних виробів, виготовлених з деревини (сучки, косшар, гнилини та ін.).

## 7.5. Матеріали на основі лігніну і відходів целюлозно-паперового виробництва

Підприємства будівельних матеріалів, розташовані поблизу гідролітичних заводів, можуть утилізувати *лігнін* — один з найбільших відходів лісохімії.

Гідролітичний лігнін одержують при переробці деревини хвойних і листяних порід способом гідролізу розведеної сірчаної кислотою. Вихід лігніну залежно від виду деревини складає 17...32%.

Гідролітичний 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 °С 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 гідролітичного 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 °С, 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 замкнутих 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.

Доведено можливість застосування лігніну як наповнювача для ксилолітових плит і інших виробів.

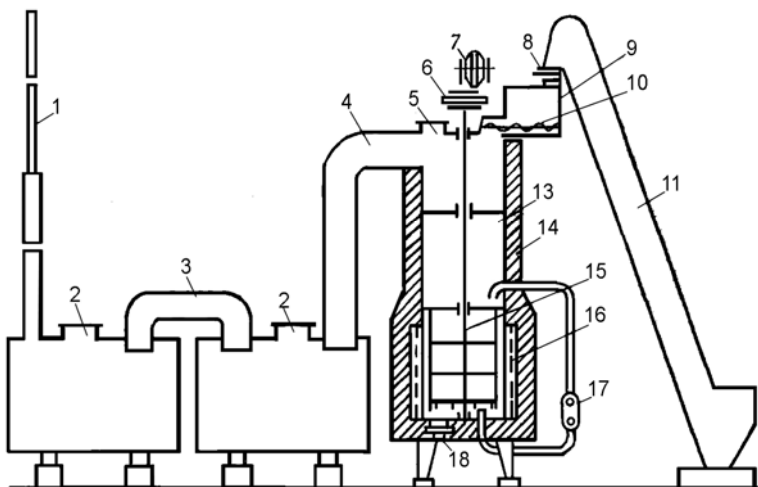
Гідролізний лігнін може бути використаний у дорожньому будівництві в якості наповнювача асфальтових бетонів і сировини для виробництва лігнінових в'язучих. Асфальтовий бетон, наповнений лігніном, за основними показниками не поступається бетону, наповненому вапняковим порошком.

*Лігнінові в'язучі* складаються з двох компонентів: рідкої вуглеводневої фракції і продукту крекінгу в ній – гідролізного лігніну. Термічний розпад лігніну (рис. 49) відбувається при температурі 300...310° С. 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° С; подачу смоли в реактор і розігрівання її до 300...310° С; завантаження лігніну в реактор і нагрівання суміші до 310° С при перемішуванні; крекінг лігніну при



310...320° С; диспергування продукту крекінгу шляхом перекачування насосом; подачу в реактор частини кам'яновугільної смоли, що залишилася, розігрітої до 90...110° С і змішування її з продуктом крекінгу; перекачування в'язучого у котел і перемішування його з конденсатом, зібраним при розігріві смоли і крекінгу лігніну.



**Рис. 49.** 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

Для виробництва дорожніх в'язучих запропоновано нагрівати гідролізний лігнін у розчиннику при температурі 310...320° С протягом 50...60 хв при ретельному перемішуванні. Як розчинники для цього процесу можуть бути використані

кам'яновугільні дорожні малов'язкі дьогті, 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 °С.

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. 30). При використанні однакових кам'яних матеріалів бетон на лігніновому в'язучому має підвищену водостійкість, менші значення показника міцності при 0° С, високі адгезійні властивості.

Таблиця 30

Властивості бетонів на лігнінових в'язучих

Властивості в'язучої 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> , °С	П <sub>25</sub>		50°С	20°С	0°С					
<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

Властивості в'язучої речовини		Виграва 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	П <sub>25</sub>		50°С	20°С	0°С					
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	2,3	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; П<sub>25</sub> – глибина проникнення голки при 25°С.

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 сульфітного варіння целюлози, у вигляді водного розчину лігносульфонової кислоти і їхніх солей з домішкою золи і редукуючих 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° С. Для поліпшення адгезії до наповнювача до складу зв'язуючого доцільно вводити поверхнево-активні речовини (ГКР-10, ГКР-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 КБР, ортофосфорної кислоти, фенолоспиртів, сечовино-формальдегідної смоли МФ-17, етилсиліконату натрію (ГКР-10). Отвердження композиції лігносульфонатів з ортофосфорною кислотою і сечовино-формальдегідною смолою проводилося при 80° С. Як наповнювач використовували неспучений перлітовий пісок. У складі в'язучої речовини оптимальна кількість добавок становить: ГКР-10 – 3...5%, олігомерів синтетичних смол – 2...15, ортофосфорної кислоти – 15...20. Вироби формують 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 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·° С). Залежно від вмісту зв'язуючого лігноперліт відноситься до груп неспалимих і важкоспалимих матеріалів. Вміст зв'язуючого у формувальній масі 5...20%. На 1м<sup>3</sup> теплоізоляційного матеріалу витрачається в

середньому, кг: лігносульфонатів – 14, фенолоспиртів – 2, ГКР-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.

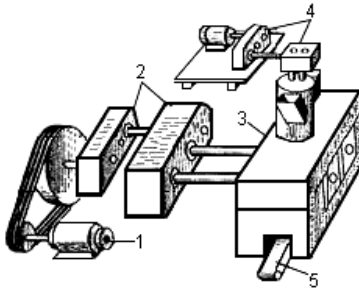
Практичний інтерес представляє використання лігніну замість формальдегіду при одержанні полімерів фенол-альдегідного типу. Поліконденсацію фенолу з лігніном виконують при нагріванні в присутності сірчаної кислоти. За основними властивостями *феноллігнінові полімери*, що виготовляються у вигляді рідких резольних і твердих новолачних смол, близькі до фенолформальдегідних. 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%. Розріджувальна 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.

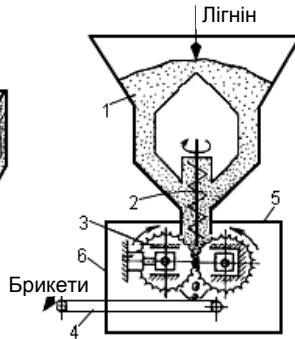
Гідролізний лігнін може бути використаний як наповнювач пластмас, гумовотехнічних виробів, лінолеуму та ін.

Рациональному використанню лігніну та інших дрібнозернистих і слабоструктурованих матеріалів сприяє їхнє

брикетування при тиску пресування від 15 до 150 МПа. Для брикетування лігніну і подібних йому матеріалів ефективно застосування валкових пресів високого тиску (рис. 50, 51).



**Рис.50.** 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.51.** Схема валкового пресу високого тиску:  
 1 – бункер лігніна;  
 2 – шнек-підпресувальник;  
 3 – пресуючі валки;  
 4 – транспортер;  
 5 – корпус пресу;  
 6 – гідронасос

До відходів целюлозно-паперового виробництва відносяться відходи, що одержують 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. 31). 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.

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.

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:	0,18	0,17
при силікатному розпаді	0,27	0
при залістому розпаді	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) та 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 та формаліну. 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 та 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: 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 або на конвеєрі з вологістю 90%; їхнє сушіння в тунельних сушарках при температурі 150...230° С 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).



## **Розділ 8. Матеріали на основі макулатури та полімерних відходів**

До відходів споживання та міського господарства належать 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.

*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 і

упакування, деталі машин, відходи сільськогосподарської плівки, мішки з-під добрив і т.п. Значна частка цих відходів може бути використана як вторинна полімерна сировина.

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.

*Відходи скла* накопичуються у вигляді битого посуду, віконного та іншого видів будівельного скла. Скляний бій, так само як і полімерні відходи, утворюється при використанні або при виробництві скла і скловиробів.

### **8.1. 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 коробки, 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 *багатошарового картону*. Великотоннажним

споживачем картону є покрівельні матеріали, велику частину яких складає руберойд.

Технологія виготовлення картону складається з попередньої обробки сировини, її подрібнення на окремі волокна та 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 машині для виготовлення картону. Вода з волокнистої маси видаляється спочатку вільно, а потім під вакуумом на сітці. Після попереднього зневоднювання полотно 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% волокна з ганчір'я, 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 поділяють 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, 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 плососітковій машині з гіпсоволокнистої пульпи. Під час проходження конвеєра над вакуумними камерами пульпа зневоднюється, а потім на форматному барабані розрізається на плити, які знімаються та 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 гарний мікроклімат.

Технологія виробництва *легкого гравію* на основі паперової макулатури включає подрібнення вторинної сировини, грануляцію отриманої маси з в'язучими компонентами (гіпс, магнезійні 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 кг/м<sup>3</sup>, теплопровідність 0,05...0,14 Вт/(м□° С), міцність при стиску 0,12...5,3 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 скріплене 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 та ін. Так, при однаковому водовмісті і зануренні конуса в суміш на пористих заповнювачах 8...10 см, суміш на різаному паперовому наповнювачі характеризується зануренням конуса 4..5 см. При введенні наповнювача більше 12% має місце комкування суміші та значне погіршення її формувальності.

Нижче наведені властивості аерованого легкого бетону оптимального складу (портландцемент – 400 кг/м<sup>3</sup>, паперовий наповнювач – 120 кг/м<sup>3</sup>, вода – 580 кг/м<sup>3</sup>): середня густина 1100...1200 кг/м<sup>3</sup>, границя міцності при стиску – 3,5...5, згині – 2,6...3 МПа, теплопровідність – 0,26...0,3 Вт/м·° С, 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 см еквівалентна цегельній кладці товщиною 64 см.

## **8.2. Матеріали з гумових та каучукових відходів**

До великотоннажних відходів належать відпрацьовані гумові вироби, такі як конвеєрні стрічки, шланги, зношені автомобільні, тракторні, авіаційні шини.

При комплексній переробці 1 т зношених шин можна виділити для повторного використання близько 700...750 кг гуми, 130...150 кг хімічних волокон і 30...40 кг сталі.

Зношені шини частково застосовують для огорожень на дорогах, захисту узбережжя річок і морів від руйнування, запобігання від ударів суден.

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 та тонкомелені гумові порошки можна застосовувати як інградієнти гумових сумішей. При цьому одержують гуму, яка за рядом технічних властивостей є кращою за матеріали, що не містять регенератів.

На основі гумовокордових відходів розроблені технології *рулонних і плиточних матеріалів*. Матеріали випускаються у вигляді полотнин товщиною до 10 мм, шириною до 1,2 м і довжиною більше 10 м і плиток розміром 600×600 мм і товщиною близько 8 мм, що використовуються як теплоізоляційні, вібро-, шумопоглинаючі, декоративні покриття і покриття 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 займання – 250... 300° С.

Сутність процесу виробництва рулонних матеріалів на основі гумовокордових відходів полягає в класифікації гумовокордових 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

наступною довулканізацією у гідравлічних пресах для одержання плиток.

Підлоги, що опоряджені рулонними і плитковими матеріалами на основі гумовокордових відходів, порівняно з іншими покриттями мають знижену гігроскопічність і підвищені тепло-, вібро-, звукоізоляційні властивості, Вони характеризуються поліпшеними санітарно-гігієнічними показниками, легко миються та очищуються, досить еластичні, а в їхньому складі при температурах експлуатації від -50 до +40° С не утворюються токсичні та небезпечні для здоров'я компоненти.

Відпрацьовану гуму застосовують також у виробництві гідроізоляційних будівельних матеріалів, клеїв, мастик та герметиків.

Ефективним напрямком є переведення гуми у розчинний стан та застосування як в'язучого для виробництва ущільнюючих, гідроізоляційних та покрівельних мастик та дорожніх сумішей.

За допомогою термомеханічної обробки з пластифікуючими матеріалами зношена гума може бути девулканізована. Як пластифікуючі матеріали використовуються нафтові гудрони або малов'язні 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* та *гумово-дьогтеві 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 дьогтю), 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 дьогті)

гуми через апарат-пластифікатор при температурі 225...235° С. 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. При пластифікації гуми рекомендується використовувати поверхнево-активні речовини, наприклад, технічні лігносульфонати.

Від бітумів гумово-бітумні (бітумно-гумові) в'язучі відрізняються підвищеною еластичністю, температурою розм'якшення, міцністю та довговічністю. При співвідношенні гуми і бітуму 1:1 відносно подовження збільшується більш ніж на 200%, еластичність – майже у 3 рази, границя міцності на розрив зростає до 0,8 МПа, температура розм'якшення – до 120° С, а температура крихкості знижується до -20° С. 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 та ін.) виготовляють мастичні матеріали з температурою крихкості до -35° С, 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° С протягом 4 год у герметично закритому змішувачі, а потім вводять бітум і мінеральні наповнювачі. Гумову крихту вводять порціями у попередньо нагріте до 60...70° С кам'яновугільне масло. Склад мастики для заповнення швів наступний: бітум БН-70/30 – 60...70%, кам'яновугільне масло – 8...10%, гумова крихта –



8...10%, азбестовий порошок – 5...10%, вапняковий порошок – 5...10%.

Мастики для заповнення швів одержують також шляхом швидкого перемішування бітуму з гумовою крихтою за температури 200° С в присутності агентів вулканізації каучуку, які вводяться в кількості 0,1...5,0% від маси гуми. Як наповнювач застосовують азбестове волокно.

Гумово-бітумні в'язучі використовують для ремонту покриттів, що мають густу сітку тріщин. Розплавлене гумово-бітумне в'язуче розливають на ушкоджене покриття з витратою 1,6...3,2 л/м<sup>2</sup>. Після застигання утворюється шар товщиною 5...6,5 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...2,5 л/м<sup>2</sup> або 0,25 л на 1 м тріщин.

Гумово-бітумні в'язучі дозволяють одержувати *асфальтобетони* з високими експлуатаційними властивостями, підвищеною 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 1,5...3% від маси мінеральної частини. Крихта повинна мати не менш 80% зерен розміром дрібніше 0,63 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.

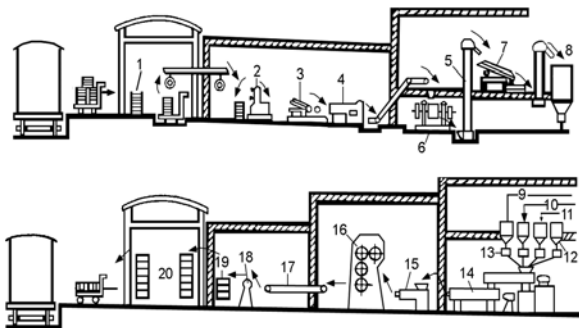
Виробничий процес одержання *ізолу* полягає у подрібненні зношеної гуми на машинах для різання шин і молоткових дробарках до утворення частинок розміром не більше 1 мм, регенерації (девулканізації) гуми в змішувачі,

сплавленні її з бітумом при температурі 170...180° С та обробці гумово-бітумної суміші на вальцях до одержання однорідної та пластичної маси. Оптимальна концентрація гуми зростає при зниженні в'язкості бітуму.

Змінюючи склад гумово-бітумного в'язучого, вид наповнювачів і спосіб обробки, ізол можна виготовляти у вигляді рулонного матеріалу або гідроізоляційної мастики.

*Рулонний ізол* — безосновний матеріал, що має високі водостійкість, стійкість до гниття, а також деформативну здатність. З листа ізолу вирубують покрівельні плити. Більш високий вміст наповнювачів додає плиткам щільність і твердість.

Близьким до ізолу за рецептурою і властивостями є *брізол*. Його виготовляють вальцуванням з наступним каландруванням суміші нафтового бітуму, подрібненої гумової крихти, азбестового волокна та пластифікатора (рис. 52). Брізол поділяють на дві марки: середньої (Бр-С) та підвищеної міцності (Бр-П). Перший застосовують при робочій температурі 5...30° С, а другий – при 20...25° С.



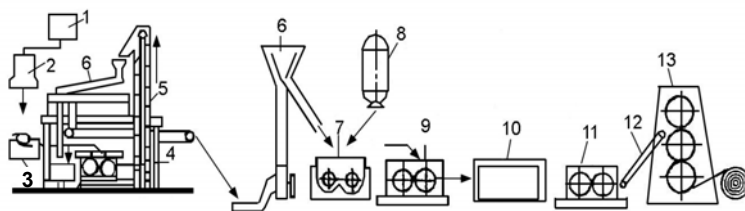
**Рис. 52.** Схема виробництва брізолу:

- 1 – склад і розвантажування старих покришок; 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 озокериту;
- 11 – бункер для азбесту; 12 – те ж, для подрібненої гуми;
- 13 – мірники; 14 – шнековий змішувач для варіння і змішування бітумно-гумової суміші; 15 – шприц-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 та влаштування покрівлі. Поряд з перевагами ці матеріали мають і деякі недоліки: значні усадочні деформації, повзучість, зниження 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 клеючі та ізоляційні мастики.

Гумово-бітумна маса використовується для виготовлення нижнього шару гумового лінолеуму – *реліну* (рис. 53). Верхній та нижній шар реліну виготовляють окремо, а потім їх з'єднують (дублюють) одночасно з вулканізацією. Матеріалом верхнього шару лінолеуму є кольорова гума на синтетичних каучуках з наповнювачами.



**Рис. 53.** 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)*, які застосовують 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 *кордовий 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 наведена в табл. 32

Таблиця 32

Характеристика покрівельних матеріалів на основі шинного гумового порошку

Показник	Вироби		
	Рулонний матеріал	Плоска фігурна плитка	Об'ємно-формовані під черепицю
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° С за 6 год	0		
при 100° С за 6 год	3,1		
Водопоглинання, %	0,48		
Гнучкість при -25° С	Відсутність тріщин		
Питомий поверхневий опір, Ом	Не більше 5×10 <sup>8</sup>		

Виробництво покрівельних матеріалів включає змішування компонентів у змішувачі, що обігривається, подачу суміші на систему вальців і каландр. Після виходу з каландра матеріал змотується в рулони та 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° С і енергійному перемішуванні; 2) попереднє розчинення каучуку та з'єднання цього розчину з бітумом; 3) введення каучуку в бітум.

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° С каучуко-бітумні суміші можна витримувати не більше 72 год., при 160° С – не більше 12 год., а при 200° С – 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° С протягом 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° С.

При виготовленні *герметиків* типу "герлен" дефіцитну і дорогу сировину – бутадієновий термоеластопласт – 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° С пластифікованої крихти та бітуму з наступним його розчиненням разом з наповнювачем у бітумі та виготовлення однорідної маси при температурі 200° С, що направляється у ванну для нанесення на руберойд. При введенні полімерів у бітум відбувається його структурування та збільшення вмісту твердих, нерозчинних 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, °С –	-20...-30

Суміш виготовляють у гумозмішувачі при 160...180° С, а потім на вальцях одержують листи покровельного матеріалу.

### 8.3. Матеріали з полімерних відходів

Основними компонентами пластичних мас є органічні зв'язуючі (полімери) та наповнювачі. За потреби вводять також різноманітні добавки – пластифікатори, стабілізатори тощо.

Органічні зв'язуючі можна отримувати з дешевої техногенної сировини. 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, вони є гідрофобними. Вартість покриттів, у порівнянні з існуючими (наприклад, на основі кам'яновугільного пеку), менша 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...68, згині – 19...21, розтягу – 7...7,5; 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 сірчаноокислотному 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%, бензолних 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 кислій 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% кислій смолки у глиняну масу дозволяє одержати керамзитовий гравій насипною густиною 250...450 кг/м<sup>3</sup> (табл. 33). Можливо використовувати кислу смолку замість солярного масла.



Властивості керамзитового гравію з добавкою кислій смолки

Добавка, %	Коефіцієнт сплучування	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° С – 1,5...1,6 МПа, 20° С – 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 та ін. 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° С, в'язкістю 0,5...2 Па·с при 20° С. Ці смоли містять до 95% ароматичних вуглеводнів, у тому числі стирол, інден і інш.

Деяку частину смол піролізу перероблюють разом с нафтою для збільшення виходу бензину, частину використовують для виробництва інденкумаронових 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° С, густину 0,86...0,90 г/см<sup>3</sup> при 20° С 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 *полімербетонів*. З цією метою пластифікатор нагрівають до температури 70...80° С і завантажують у підготовчий котел, куди подають нафтополімерну смолу. Для повного розчинення смоли температуру в котлі підтримують у межах 120...130° С 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° С. Після ущільнення матеріал має наступні характеристики: границя міцності при стиску 2,5...4 МПа при 20° С, 0,85...1,5 МПа при 50° С и 6,0...8,0 МПа при 0° С, 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<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 49...60% органічної маси та 2...8% води. При очищенні парафінів сірчаною кислотою в кислих гудронах переважає H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (78...85%), вміст органічної маси не перевищує 8...16%. Такі гудрони води практично не містять.

Основний спосіб утилізації кислого гудрону полягає в нейтралізації сірчаної кислоти вапном з наступним видаленням води. Його використовують як компонент дорожнього бітуму. 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 кг/м<sup>3</sup>.

*Залишки від регенерації відпрацьованих мастил* можуть бути використані в дорожньому будівництві як розріджувача 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 та інші нафтовідходи використовують як добавки, що сприяють спучуванню глин при випалюванні керамзиту та як мастило для змащення форм у виробництві залізобетонних виробів і ін.

При утилізації пластмас, що були у використанні, найбільші складності виникають при організації їхнього збору, транспортування і виділення з загальної маси відходів. Розроблено пластмаси, які після закінчення терміну експлуатації здатні розкладатися до низькомолекулярних сполук в результаті фото- і біопроесів, 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 та ін.

При всьому різноманітті способів утилізації відходів пластмас та застосовуваного при цьому устаткування загальна схема процесу може бути представлена наступним чином:

Перша стадія 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 – подрібнення є однією з найбільш відповідальних. Після одно- або двостадійного подрібнення матеріал досягає розмірів, достатніх для того, щоб можна було здійснювати його подальшу переробку.

На наступному етапі подрібнений матеріал відмивають від забруднень органічного та неорганічного характеру різними розчинниками, миючими засобами та водою, а також відокремлюють від неметалевих домішок.

Висушені подрібнені відходи змішують при необхідності зі стабілізаторами, барвниками, наповнювачами й іншими інгредієнтами і гранулюють.

Заключною стадією процесу використання відходів є переробка грануляту у виробу.

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 більш низькі.

Найбільш великотонажними полімерними матеріалами є *поліолефіни* — високомолекулярні сполуки на основі

вуглеводнів. Основні представники цієї групи – поліетилен низького та високого тиску. Практичне значення мають також поліпропілен і поліізобутилен.

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 та ін.).

Пакувальна та пляшкова полімерна тара може бути перероблена в *опоряджувальні плитки* та інші вироби. Полімерною основою зазначених видів відходів є поліетилен і поліетилентерефталат. Обидва полімери належать до термопластів з температурою плавлення відповідно 130 і 265 °С. 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 відрізняються недостатньою стійкістю. Їх показники міцності також порівняно невисокі. Усе це значною мірою 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 температурі 80...100 °С і наступним вивантаженням 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 (табл. 34). Особливо помітний цей вплив при температурах 20 і 40 °С, що відповідають температурам експлуатації дорожніх покриттів у літню пору. При 0 °С ефект від використання поліолефінових відходів є менш помітним.

Таблиця 34

## Властивості композицій на основі бітуму і поліетилену

Склад композиції, %		Розтяжність, см, при		Температура а крихкості, °С	Температура розм'якшення, °С
бітум	поліетилен	25°С	0°С		
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° С 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. 35), то неважко помітити, що добавка полістирольних відходів призводить до істотного збільшення показників міцності при температурах випробувань 0, 20 і 50° С, термостабільності та водостійкості.

Таблиця 35

## Властивості асфальто-полістирольних композицій

Склад композиції, % (мас.)			Руйнівне напруження при розтягу $\sigma$ , МПа			Термостабільність, ( $\sigma_{50}/\sigma_0$ ) $\sigma$ 100%	Водостійкість, % (об.)
бітум	відходи полістиролу	мінеральний матеріал	при 50°С ( $\sigma_{50}$ )	при 20°С ( $\sigma_{20}$ )	при 0°С ( $\sigma_0$ )		
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 з розведення 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° С, додають відходи поліетилену і полістиролу, змішують при 150° С протягом 25 хв, потім отриману масу пресують. Такі матеріали мають високі показники міцності у 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° С, потім їх перемішують у змішувачі при 250...300° С, вивантажують при 180° С у 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 і охолодженням. Ці вироби мають високу міцність і стійкість до горіння.

Висока водостійкість більшості полімерів, у першу чергу поліолефінових, дозволяє широко використовувати відходи у різних матеріалах, які застосовують 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 з виготовлення пінополістирольних виробів утворюються відходи, що, в основному, представляють обрізки, які 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...800 кг/м<sup>3</sup>, міцністю 2,5...5 МПа і теплоізоляційні бетони густиною 350...500 кг/м<sup>3</sup> і міцністю 0,9...1,5МПа. Для одержання теплоізоляційного полістиролбетону у бетонну суміш доцільно додавати до 0,2% від маси цементу повітрявтягуючої добавки.

Витрати матеріалів для одержання полістиролбетонів наведені у табл. 36.

Таблиця 36

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	подріб- нений пінопла- ст, 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 важкоспалимих матеріалів, а більш важкий до неспалимих.

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 з додавкою каталізатора. Матеріал, який отримують, 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, в 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° С 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 вводиться в заливальні суміші, де як зв'язуюче використовуються синтетичні полімери, бітум, цемент і т.д.

*Органомінеральні порошки*, отримані подрібненням відходів виробництва склопластиків мають реакційноздатні функціональні групи, що дозволяє їх використовувати як хімічно активні наповнювачі 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 термін твердіння.

Із застосуванням відходів скловолкна виготовляються *прошивні полотна*, призначені для ізоляції трубопроводів, теплових і холодильних агрегатів. Зміцнення матеріалу прошивного полотна здійснюється скляною або капроновою прошивною ниткою. Зусилля на розрив смуги армованого матеріалу, що досягається при цьому, дорівнює 20 Н. Як полімерні зв'язуючі використовуються смоли фенольного типу.

На основі прошивного 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 та обрізають на гільйотинних ножицях.

Властивості листового склопластику, отриманого на основі армуючого матеріалу з відходів скловолкна і

водорозчинного фенольного зв'язуючого СФ-511, наведені в табл. 37.

Таблиця 37

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>	Водопогл инання, %
Листовий	1,4	85	11	7,8
На основі полотен і композиції смола	1...1,9	65	Не нормується	8,5

Листовий склопластик має більш високі показники фізико-механічних властивостей порівняно зі звичайним склопластиком на основі склополотна.

## 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. 2.7-46:2010 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. Зола и шлаки в производстве строительных материалов. К. : Будівельник, 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. М. : Интермет Инжиниринг, 2000. 495 с.
6. Боженков П. И. Комплексное использование минерального сырья и экология : учеб. пособие. М. : Издательство АСИ, 1994. 264 с.
7. Большаков В. И., Дворкин Л. И. Строительное материаловедение. Днепропетровск : РВА "Дніпро-VAL", 2004. 677 с.
8. Кривенко П. В., Пушкарьова К. К., Барановський В. Б. Будівельне матеріалознавство. 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. Комплексная переработка и использование металлургических шлаков / Горшков В. С., Александров С. Е., Иващенко С. И. и др. 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. Грюнштам В. А., Горячкин П. В. Материальные ресурсы в строительстве. Санкт-Петербург, 2008. 524 с.
17. Дворкін Л. Й., Дворкін О. Л. Основи бетонознавства. К. : "Основа", 2007. 616 с.
18. Дворкин Л. И., Дворкин О. Л. Строительные материалы из отходов промышленности. Ростов-на-Дону : Феникс, 2007. 369 с.
19. Використання техногенних продуктів у будівництві / Дворкін Л. Й., Дворкін О. Л., Пушкарьова К. К. та ін. Рівне : НУВГП, 2009. 339 с.
20. Дворкин Л. И., Дворкин О. Л., Корнейчук Ю. А. Эффективные цементно-зольные бетоны. Ровно : Изд-во "Эден", 1999. 195 с.
21. Дворкин Л. И., Пашков И. А. Строительные материалы из отходов промышленности. К. : Выша школа, 1989. 208 с.
22. Дворкин Л. И. Цементные бетоны с минеральными наполнителями / под ред. Л. И. Дворкина. К. : Будівельник, 1991. 137 с.
23. Отходы химической промышленности в производстве строительных материалов / Дворкин Л. И., Шестаков В. Л., Пашков И. А. и др. К. : Будівельник, 1986. 128 с.
24. Долгарев А. В. Вторичные сырьевые ресурсы в производстве строительных материалов. Физико-химический анализ : справ. пособие. М. : Стройиздат, 1990. 456 с.
25. Екотехнологія в будівництві : навчальний посібник / за ред. Р. А. Кизими. Харків : Бурун Книга, 2007. 234 с.

26. Иванов И. А. Легкие бетоны с применением зол электростанций. М. : Стройиздат, 1986 136 с.
27. Фосфогипс и его использование / Иваницкий В. В., Классен П. В., Новиков А. А. и др. М. : Химия, 1990. 224 с.
28. Кривенко П. В. Специальные шлакощелочные цементы. К. : Будівельник, 1992. 192 с.
29. Кривенко П. В., Пушкарева Е. К. Долговечность шлакощелочного бетона. К. : Будівельник, 1993. 223 с.
30. Кривенко П. В., Пушкарьова К. К., Кочевих М. О. Заповнювачі для бетону: підручник. К. : ФАДА ЛТД, 2001. 399 с.
31. Куделя А. Д. Комплексное использование минеральных ресурсов железорудных горно-обогатительных комбинатов УССР. К. : Наукова думка, 1984. 495 с.
32. Ласкорин Б. Н., Барский Л. А., Периц В. З. Безотходная технология переработки минерального сырья. М. : Недра, 1984. 334 с.
33. Ласкорин Б. Н., Громов Б. В., Цыганков А. П. Проблемы развития безотходных производств. М. : Стройиздат, 1981. 207 с.
34. Лобачева Г. К., Желтобрюхов В. Ф., Прокопов И. И. Состояние вопроса об отходах и современных способах их переработки : учебное пособие. Волгоград : Изд-во ВолГУ, 2005. 176 с.
35. Мелешкин Н. Г., Степанов В. Н. Промышленные отходы и окружающая среда. К. : Наукова думка, 1980. 179 с.
36. Мещеряков Ю. Г. Гипсовые попутные промышленные продукты и их применение в производстве строительных материалов. Л. : Стройиздат, 1982. 134 с.
37. Наназашвили И. Х. Строительные материалы из древесно-цементной композиции. Л.: Стройиздат, 1990. 415 с.
38. Наркевич И. П., Печковский В. В. Утилизация и ликвидация отходов в технологии неорганических веществ. М. : Химия, 1984. 240 с.
39. Білявський Г. О., Фурдуй Р. С., Костіков І. Ю. Основи екології. К. : Либідь, 2004. 408 с.



40. Пальгунов П. П., Сумароков М. В. Утилизация промышленных отходов. М. : Стройиздат, 1990. 348 с.
41. Педан М. П., Мищенко В. С. Комплексное использование минеральных ресурсов. К. : Наукова думка, 1981. 272 с.
42. Комплексное использование сырья и отходов / Равич Б. М., Окладников В. П., Лыгоч В. Н. и др. М. : Химия, 1988. 288 с.
43. Сергеев А. М. Использование в строительстве отходов энергетической промышленности. К. : Будівельник, 1984. 120 с.
44. Состав и свойства золы и шлака ГЭС : справочное пособие / под ред. В. А. Мелентьева. Л. : Энергоатомиздат, 1985. 285 с.
45. Состояние вопроса об отходах и современных способах их переработки: учебное пособие / Лобачева Г. К., Желтобрюхов В. Ф., Прокопов И. И. и др. Волгоград : Изд-во ВолГУ, 2005. 176 с.
46. Удод В. М., Трофімович В. В., Волошкіна О. С. Техноекологія : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. К. : КНУБА, Ін-т телекомунікацій і глобального інформ. простору, 2007. 195 с.
47. Утилизация вторичных материальных ресурсов в металлургии / Черепанов К. А., Черныш Г. И., Динельт В. М. и др. М. : Металлургия, 1994. 224 с.
48. Чистяков Б. З., Ляликов А. Н. Использование минеральных отходов промышленности. Л. : Стройиздат, 1984. 152 с.
49. Шевченко А. Т. Строительные материалы из вторичных ресурсов промышленности. К. : Будивельник, 1990. 121 с.
50. Shi C., Krivenko P. V., Roy D. Alkali-Activated Cements and Concretes. London, N. Y. : Taylor and Francis Group, 2006. 376 p.
50. Dvorkin L., Dvorkin O., Y. Ribakov Construction materials Based on Industrial Waste Products. Nova science publishers, 2016. 242 p.
51. Dvorkin L. Zhitkovsky V., Ribakov Y. Concrete and Mortar Production Using Stone Sifting. CRC Press Taylor and Francis group, 2018. 158 p.

Навчальне видання

*Дворкін Леонід Йосипович*

*Мироненко Анатолій Васильович*

**БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ТА ВИРОБИ ІЗ  
ЗАСТОСУВАННЯМ ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ**

Навчальний посібник

*Технічний редактор*

*Г.Ф. Сімчук*

Підписано до друку 15.03.2019 р. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Ум.-друк. арк. 17,3. Обл.-вид. арк. 18,2.

Тираж 100 прим. Зам. № 5421.

*Видавець і виготовлювач*

*Національний університет*

*водного господарства та природокористування,*

*вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028.*

*Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції РВ № 31 від 26.04.2005 р.*