

УДК 666.92:666.96

## ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ ВАПНЯКУ ТА ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ У ВИРОБНИЦТВІ СУХИХ БУДІВЕЛЬНИХ СУМІШЕЙ

В.П. Очеретний, В.П. Ковальський, А.В. Бондар

Відкриття у середині ХХ ст. методу виготовлення порошків, здатних до редиспергації, та впровадження його у промислове виробництво відкрило нові якісні та економічні перспективи розвитку ще однієї галузі виробництва будівельних матеріалів – сухих будівельних сумішей (СБС). Наслідком швидкого становлення виробничої та науково-технічної бази цієї галузі було створення практично необмеженого спектра високоефективних будівельних розчинів – від мурування стін і опорядження будівель до покриття автомагістралей та спорудження промислових об'єктів.

### Сухі будівельні суміші з використанням відходів

Ефективне використання вторинних ресурсів – важливий напрямок ресурсозбереження в будівництві. Широке використання вторинних матеріальних ресурсів, залишків сировини, які втратили споживацькі властивості, промислових відходів і подібних їм матеріалів, дозволяє зменшити потреби у природній сировині, що 10-30% знижує витрати на виробництво будівельних матеріалів та виробів [1]. Тому їх використання дозволяє на 30-50% економити капітальні вкладення у порівнянні з виробництвом з природної сировини.

За останні роки ринок будівельних матеріалів у нашій країні і особливо за кордоном розширився за рахунок масового впровадження в будівництво різноманітних сухих будівельних сумішей для оздоблювальних, а також монтажних робіт всередині будівель та зовні (кладка стін, оздоблення фасадів, облаштування наливних підлог, штукатурка всередині будівель). Використання карбонатних відходів вапняку у виробництві сухих будівельних сумішей обумовлено рядом об'єктивних факторів, головним з яких є достатньо широке поширення природного вапняку, великі запаси некондиційних вапнякових відходів у відвалах, високі технічні та еколого-економічні показники властивостей матеріалів і виробів з нього.

### Методика проведення експерименту та характеристика компонентів

З використання карбонатних (вапнякових) відходів відома технологія отримання пресованого цементно-карбонатного каменя з додаванням і без додавання золи-винесення. У своїй роботі ми вибрали напрямлення з використання відходів вапняку та промислових відходів у виробництві сухих будівельних сумішей. Використовували вапнякові відходи фракції до 1,250 мм, які характеризуються наступним хімічним складом, мас %:  $\text{CaCO}_3$  – 90,7-95,8;  $\text{MgCO}_3$  – 1,4-4,3;  $\text{SiO}_2$  – 0,4-1,15;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 0,08-1,08.

Гідравлічна активність різноманітних металургійних шлаків, золи-винесення залежить від їх хімічного складу та дисперсності. Результати мікроскопічних досліджень свідчать, що мікроструктура низькокальцієвої золи-винесення (70-80%) – скловидна алюмосилікатна фаза у вигляді частинок кулеподібної форми розміром до 100 мкм [2]. Зола-винесення Ладижинської ТЕС мала хімічний склад, мас %:  $\text{SiO}_2$  – 54,43-56,3;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 22,34-26,6;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 7,94-9,2;  $\text{CaO}$  – 1,31-5,96;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 0,64-1,4;  $\text{K}_2\text{O}$  – 2,46-3,84. Активність проміжної речовини скловидної фази визначається співвідношенням глинозему і кремнезему: чим більше співвідношення, тим швидше проходить процес гідратації зольного скла в лужному та сульфатно-лужному середовищі, у нейтральному середовищі воно стійке [3].

Портландцемент М-400 Кам'янець-Подільського цементного заводу мав такі характеристики: а) строки тужавлення – початок 1,5 години, кінець 3,8 годин; б) активність 39,4 МПа; в) насипна щільність 1200 кг/м<sup>3</sup>, істина щільність 3,1 г/см<sup>3</sup>, питома поверхня близько 3500 см<sup>2</sup>/г.

Випробуваннями була встановлена марка вапнякового щебеню фракції 5-10 мм по дробимості М-200, насипна щільність сухого вапнякового піску фракції 0-1,25 мм – 1,35 г/см<sup>3</sup>, істина щільність 2,4 г/см<sup>3</sup>. Зола-винесення має насипну щільність 1100 кг/м<sup>3</sup>, істина щільність – 2,0 г/см<sup>3</sup>, питома поверхня біля 3000 см<sup>2</sup>/г.

Для визначення складу суміші і відношення між золою-винесенням та вапняковим піском, ми використовували формулу Б.Г. Скрамтаєва:

$$П / Щ = V_{\text{п.щ}} \frac{\rho_{\text{нас.п}}}{\rho_{\text{нас.щ}}},$$

де  $П$  – пісок;  
 $Щ$  – щебінь;  
 $V_{\text{п.щ}}$  – об'єм пустот щебеню;  
 $\rho_{\text{нас.п}}$  – насипна щільність піску;  
 $\rho_{\text{нас.щ}}$  – насипна щільність щебеню.

Застосувавши її до золи-винесення та вапнякового піску, отримаємо формулу вигляду:

$$ЗВ / ВП = V_{\text{п.вп}} \frac{\rho_{\text{нас.зв}}}{\rho_{\text{нас.вп}}} \text{ або } \left( 1 - \frac{\rho_{\text{нас.вп}}}{\rho_{\text{вп}}} \right) \times \frac{\rho_{\text{нас.зв}}}{\rho_{\text{нас.вп}}},$$

де  $ЗВ$  – зола-винесення;  
 $ВП$  – вапняковий пісок;  
 $V_{\text{п.вп}}$  – об'єм пустот вапнякового піску;  
 $\rho_{\text{нас.зв}}$  – насипна щільність золи-винесення;  
 $\rho_{\text{нас.вп}}$  – насипна щільність вапнякового піску;  
 $\rho_{\text{вп}}$  – істинна щільність вапнякового піску.

За розрахунком співвідношення  $ЗВ/ВП=0,35$ .

Висушені протягом 4 годин при  $t = 105-110^{\circ}\text{C}$  вапнякові відходи фракції 0-10 мм подрібнювали в бігунах спільно з золою-винесення на протязі 5-7 хвилин, потім додавали портландцемент та подрібнювали суміш ще на протязі 3-5 хвилин.

Відомо, що рН водяної витяжки тонкодисперсної крейди складає приблизно 9, а вимірне лакмусовим папером рН відстоюної водяної суспензії вапнякового піску склало приблизно 8-9, що вказує на лужну буферність вапнякових відходів, їх здатність втримувати лужність рН у розчинах [4].

Процес механічної активації при подрібнюванні матеріалів дозволяє відкрити нові можливості в технологічному процесі переробки сировини. Дослідженнями [5, 6] установлено, що в процесі активації матеріалів відбувається зміна енергетичного стану речовини під дією механічної енергії. Це пов'язано зі зміною кристалічних ґраток речовини, зміною видів хімічного зв'язку на поверхні й у глибинних шарах речовини, електризацією поверхні та інших явищ.

Наповнювач – ультракисла зола-винесення при спільному подрібненні з вапняковими відходами за наявності протилежного знака заряду адсорбується на поверхні частинок вапнякового піску. При спільному подрібненні вапнякових відходів з золою-винесення у бігунах, видно як більш світлі частинки вапняку по мірі подрібнення покриваються темними частинками золи-винесення і подрібнена суміш практично не має світлих включень. Для золи характерний значний вміст часток з мілкими замкнутими порами, що утворилися у результаті вспучення розплавленої мінеральної маси газами, які виділяються при дегідратації глинистих матеріалів дисоціації часток вапняку, гіпсу та органічних речовин, при цьому об'єм пор може досягати 60% об'єму часток золи. Надавлююча, розминаюча та розтираюча дія бігунів руйнує алюмосилікатне скло оболонки часток золи-винесення, при цьому частки шліфують одна одну даючи ультра тонкі утворення здатні до хімічної взаємодії [7].

Додавання до подрібненої вапняково-зольної суміші портландцементу та подальше подрібнення приводить до адсорбції часток портландцементу до часток золи-винесення адсорбованим на поверхні часток вапнякового піску. Таке двохступеневе подрібнення приводить до подвійного покриття часток вапнякового піску спочатку частками золи-винесення, а потім частинками портландцементу.

**Експериментальна частина**

Після подрібнення в бігунах і просівом подрібненої суміші через сито № 1,25 були досліджені чотири склади сухих будівельних сумішей (табл. 1).

Таблиця 1

Склади сухих будівельних сумішей

Номер складу СБС	Склад, %		
	Відходи вапняку до 1,25 мм	Зола-винос	Портландцемент М400
1	73	15	12
2	63	25	12
3	53	35	12
4	43	45	12

Водопотреба сумішей складає 16-25% (розплив за прибором Сутгарда 100-120 мм). Зразки-балочки витримували 3 доби у формі при 96-100% вологості, потім діставали і зберігали у нормальних умовах при температурі  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  і відносній вологості повітря 50-60%. Випробування проводили через 7 та 28 діб з моменту затворення СБС водою, водопоглинання та коефіцієнт розм'якшення визначається через 48 годин витримування зразків у воді. Результати випробувань відображені у таблиці 2.

Таблиця 2

Фізико-механічні властивості СБС

Номер складу СБС	Показники					
	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$R_{зг}$ , МПа	$R_{ст}$ , МПа 7 діб	$R_{ст}$ , МПа 28 діб	водопоглинання, %	$K_p$
1	1,76	3,5	4,69	8,6	13,5	0,6
2	1,79	4,1	5,64	10,3	12	0,67
3	1,8	5,4	10,6	19,4	9	0,78
4	1,83	4,9	8,19	15	7,6	0,76

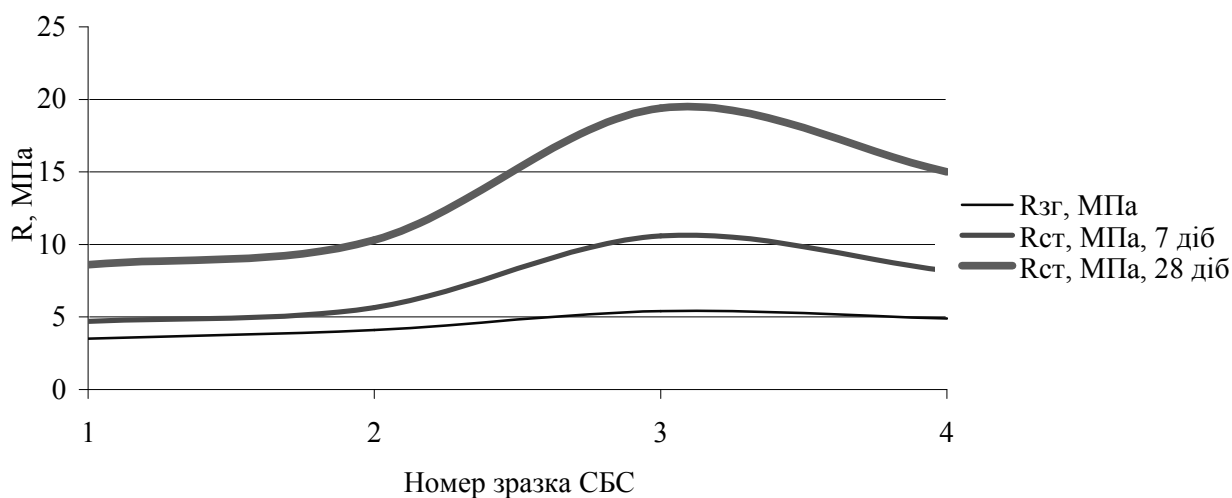


Рис. 1. Зміна фізико-механічних властивостей залежно від складу СБС

Подальше вдосконалення СБС може бути здійснене шляхом зменшення пористості та підвищення коефіцієнта розм'якшення, введенням в суху суміш порошкоподібного суперпластифікатора С-3 і зменшення водопотреби. Варіюючи вміст цементу в сухих будівельних сумішах на основі відходів промисловості від 12 до 20 %, можна отримати суміш від М-100 до М-200, при цьому бажано витримати відношення ЗВ/ВП=0,35.

Технологія виробництва СБС з використання відходів складається з наступних етапів, рис. 2:

- 1) подрібнення вапнякових відходів за допомогою молоткової дробарки з решіткою до 1,25 мм;
- 2) сушка вапнякових відходів до вологості < 0,5 %;
- 3) дозування та спільний помел у бігунах спочатку вапнякових відходів з золю-винесення, а потім і з цементом;
- 4) розсів порошку через сито № 1,25 з поверненням не просіяного залишку на подрібнення у бігуни;
- 5) пакування та відвантаження готової продукції на склад.

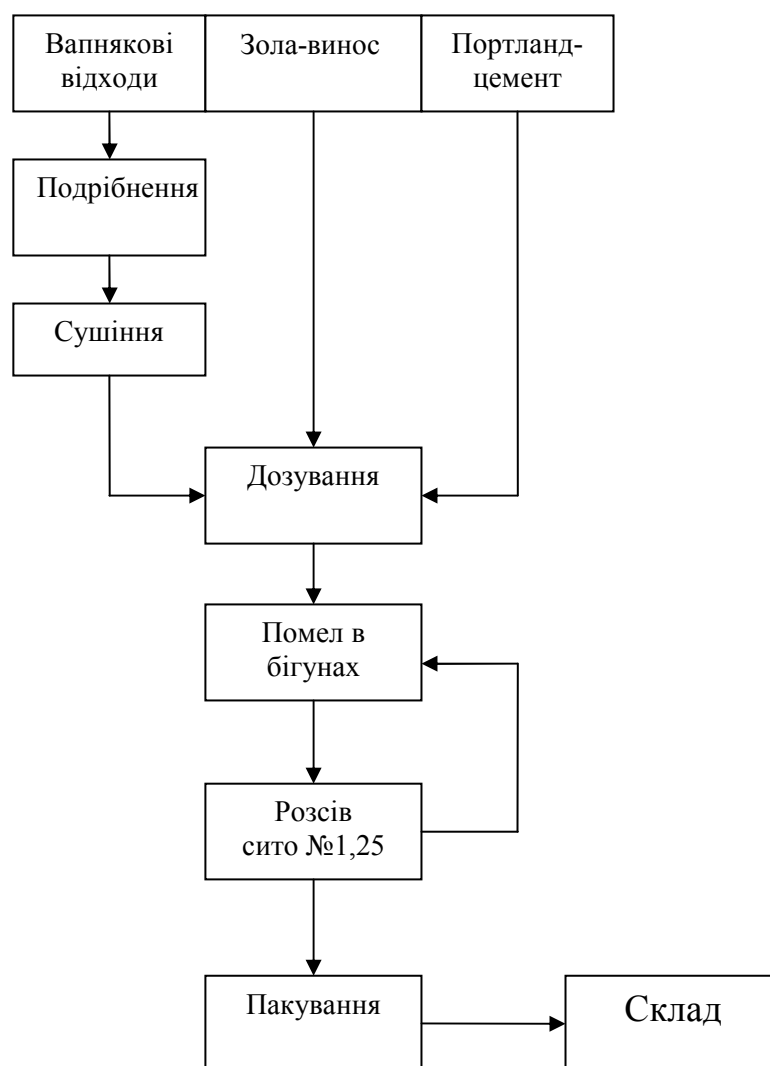


Рис. 2. Технологія виробництва СБС з використання відходів

Виробництво СБС можна організувати на підприємствах по виробництву вапнякової муки.

### Висновки

- Проаналізовані існуючі ресурсозберігаючі технології у виробництві сухих будівельних сумішей, що дало змогу визначити напрямки проведення досліджень. Використання промислових відходів та некондиційних відходів вапняку дає змогу знизити витрати природних сировинних матеріалів до 30% та заощадити матеріальні затрати.
- Розроблена методичні рекомендації проведення досліджень по визначенню складу сухих будівельних сумішей з використання відходів вапняку та золи-винесення, а також визначені характеристики та властивості сировинних матеріалів.
- Проведено моделювання співвідношення складових при підбір складу бетонних сумішей відповідно до складу сухих будівельних сумішей. Встановили оптимальний склад суміші з використання відходів вапняку та золи-винесення і відношення між золою-винесенням та вапняковим піском (ЗВ/ВП=0,35).
- Запропонована удосконалена енерго-ресурсозберігаюча технологія отримання будівельних сумішей з використанням відходів промисловості, отримання будівельних сумішей М-50, М-75, М-100, М-150 та М-200.

### Список літератури

1. Дворкин Леонид Иосифович. Строительные материалы из отходов промышленности: учеб. для студ. вузов / Л. И. Дворкин, И. А. Пашков. – К.: Вища школа, 1989. – 208 с. – ISBN 5-11-001320-9.
2. Montgomery D. C. Adhesion between concrete and treated or untreated flat metal surfaces/ D. C. Montgomery, A Samarin // Bond. Cementious Compos.: Symp., Boston, Mass., Dec/ 2 – 4, 1987. – Pittsbyrgh, 1988. – P. 263–270.
3. Канатько Василий Михайлович. Укрепление дисперсных грунтов путём синтеза неорганических вяжущих: монография / В. М. Канатько. – Ленинград: Издательство ленинградского университета, 1989. – 272 с. – ISBN 5-288-00092-1.
4. Никольский Борис Петрович. Справочник химика. Т. II. / Б.П. Никольский. – Ленинград : «Химия», 1964. – 1169 с.
5. Болдырев Владимир Вячеславович. Экспериментальные методы в механохимии твердых неорганических веществ / В. В. Болдырев. – Новосибирск: Наука, 1983. – 264 с.
6. Стороженко Г. И. Механическая активация сырья как способ повышения эффективности метода полусухого прессования кирпича / Г. И. Стороженко, Г. В. Болдырев, В. А. Кузубов // Строительные материалы. – 1997. – № 8. – С.19–20.
7. Заважин Н.Н. Новое направление развития строительно-отделочных работ с использованием сухих смесей / Н.Н. Заважин, Г.В. Северинова, А.В. Шипко // Промышленное строительство. – 1991. – № 8. – С. 19–21.

**Очеретний Володимир Петрович** – к.т.н., доцент кафедри містобудування та архітектури, Вінницький національний технічний університет.

**Ковальський Віктор Павлович** – к.т.н., старший викладач кафедри містобудування та архітектури, Вінницький національний технічний університет.

**Бондар Альона Василівна** – студентка Вінницького національного технічного університету.