

УТИЛІЗАЦІЯ ВІДХОДІВ ПРОМИСЛОВОСТІ ШЛЯХОМ ВИГОТОВЛЕННЯ НА ЇХ ОСНОВІ СУХИХ БУДІВЕЛЬНИХ СУМІШЕЙ

Бондар А.В., Ковальський В.П., Бурлаков В.П., Матвійчук Є.Р.
Вінницький національний технічний університет
Хмельницьке шосе, 95, 21021, м. Вінниця
alichka.vin@i.ua

Наведено результати розроблення та дослідження складів сухих будівельних сумішей на основі золи виносу теплоелектростанцій та відходів каменерізання й оброблення карбонатних порід. Доведено позитивний вплив введення відходів карбонатних порід та золи виносу теплоелектростанцій на фізико-механічні властивості затверділих розчинів. Наведені залежності зміни реологічних властивостей розчинових сумішей у разі введення відходів виробництва. *Ключові слова:* відходи промисловості, сухі будівельні суміші, зола винос теплоелектростанцій, карбонатні породи, розчин.

Утилизация отходов промышленности путем изготовления на их основе сухих строительных смесей. Бондарь А.В., Ковальский В.П., Бурлаков В.П., Матвийчук Е.Р. Приведены результаты разработки и исследования составов сухих строительных смесей, изготовленных на основе зол уноса теплоэлектростанций и отходов распиливания и обработки карбонатных пород. Доказано положительное влияние введения отходов карбонатных пород и зол уноса теплоэлектростанций на физико-механические свойства затвердевших растворов. Приведены зависимости изменения реологических свойств растворных смесей при введении отходов производства. *Ключевые слова:* отходы промышленности, сухие строительные смеси, зола унос теплоэлектростанций, карбонатные породы, раствор.

Wastes utilization of industry and their making based on their dry building mixtures. Bondar A., Kovalskyi V., Burlakov V., Matviichuk Ye. These are the results of development and researching of syllables of dry building mixtures what are basis on the ash-removal of thermal power plants and masonry waste and processing of carbonate breeds. Demonstrate positive influence of carbonate breeds' waste and ash-removal of thermal power plants' introduction on physical and mechanical properties of hardening solutions. Also there are the dependences of changes in the geological properties of soluble mixtures when introducing waste products are presented. *Key words:* wastes of industry, dry building mixtures, ash-removal of thermal power plants, carbonate breeds, solution.

Постановка проблеми. Екологічна ситуація в Україні потребує перегляду багатьох гострих питань. Серед таких утилізація відходів чи побічних продуктів промисловості, які накопичуються, зберігаються та мало чи зовсім не переробляються, чим сприяють екологічні загрози. Будівельна галузь, зокрема виробництво будівельних матеріалів, є досить матеріало- та енерговитратною і багатовідхідною, що також негативно впливає на екологію. Тому доцільно проводити постійні дослідження з пошуку шляхів утилізації відходів промисловості, наприклад, у виробництві нових ефективних будівельних матеріалів, які широко застосовуватимуться в споживача, а їх виробництво позитивно впливатиме на екологічний стан регіону та країни загалом.

Актуальність дослідження. Сухі будівельні суміші (далі – СБС) – сучасні багатокомпонентні композиційні матеріали, в основі яких оптимальне поєднання властивостей в'язучих, активних заповнювачів та наповнювачів, добавок. Обмеження гранулометрії компонентів робить актуальним питання можливості використання для виробництва СБС відходів промисловості, які часто утворюються у вигляді тонкодисперсного пилу, наприклад, золи

виносу теплоелектростанцій (далі – ТЕС), відходів добування й обробних природних кам'яних матеріалів. Дане питання актуальне також для покращення екологічної ситуації Подільського регіону, зокрема Вінницької області (робота Ладижинської ТЕС, численні кар'єри з видобування мінеральної сировини, заводи з випуску цементних в'язучих).

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Авторське розроблення присвячене вирішенню завдань державної програми з підвищення енергоефективності в будівництві, національної стратегії управління відходами [1], а також розроблення нових будівельних матеріалів є пріоритетним напрямом розвитку науки і техніки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботах [2–5; 9] доведено, що золу виносу ТЕС доцільно використовувати як активний компонент під час розроблення нових та розширення властивостей і номенклатури відомих будівельних матеріалів. Дослідження [5–9] показали, що відходи видобування, оброблення та перероблення вапняків позитивно впливають на фізико-механічні та спеціальні властивості сухих будівельних сумішей,

оскільки активні тонкодисперсні частки карбонатів беруть участь у процесах структуроутворення під час тверднення розчину.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Особлива увага приділяється питанню оптимізації складів мінеральних цементних СБС на основі відходів промисловості з заданими фізико-механічними та спеціальними властивостями поризованих розчинів, отриманих на їх основі.

Мета роботи: підвищення ефективності будівельних розчинів для влаштування елементів підлог із СБС завдяки зниженню щільності, оптимізації складу, введенню мінеральних добавок із відходів промисловості під час застосування енерго- та ресурсозберігаючої технології.

Новизна. Проведені експериментально-теоретичні дослідження дозволили виявити закономірності спільного впливу виду, кількості і гранулометрії мінеральних наповнювачів, витрат портландцементу та відношень водотвердого (далі – В/Т) і цемент / заповнювач (далі – Ц/З) наповнювачів (далі – Н) на значення середньої щільності та міцності отриманих поризованих розчинів на основі СБС.

Методологічне або загальнонаукове значення. Розширено номенклатуру СБС на основі відходів промисловості й область їх застосування. Основні розроблення СБС щільної структури висвітлено в патентах [10–11]. Під час подальшої роботи розроблені рецептури полегшених СБС на цементній основі та розчинів на їх основі зі стабільною пористою структурою, оптимальними фізико-механічними та спеціальними властивостями без зміни технологічної лінії випуску СБС.

Виклад основного матеріалу. Для розроблення складів поризованих сухих будівельних сумішей використовувалися місцеві матеріали Вінницької області: портландцемент (далі – ПЦ або Ц) М400, М500 Кам'янець-Подільського цементного заводу, високопластичні глини (далі – Г) Вендичанського та Браїлівського родовищ, відходи дроблення карбонатних вапняків (далі – В) Джуринського та Сапіжанського родовищ, пісок кварцевий (далі – П) Жеребелівського родовища, зола-винос (далі – ЗВ) Ладжинської ТЕС і поверхнево-активні речовини (далі – ПАР) для формування пористої структури, стабілізуючі полімерні добавки.

Для комплексного дослідження впливу введення відходів промисловості в склад сухих будівельних сумішей, з яких надалі виготовлятимуть розчини пористої структури для підлог цивільних будівель, проведено багатофакторний експеримент, який показав, що залежності значень середньої густини і міцності на стиск у віці 28 діб залежать від таких чинників:

- 1) кількості в'язучого Ц;
- 2) водотвердого відношення;
- 3) концентрації добавки ПАР;
- 4) відношення Ц/З та цемент / наповнювач (далі – Ц/Н);
- 5) співвідношення заповнювач / наповнювач (далі – З/Н);
- 6) гранулометрії компонентів суміші;
- 7) витрат стабілізуючих добавок;
- 8) швидкості і часу обертання міксера;
- 9) спільного подрібнення мінеральних компонентів.

Оптимізація параметрів процесу виготовлення полегшених складів СБС повинна задовольняти умови максимального значення міцності та мінімального значення середньої щільності за мінімальних витрат в'язучого. Витрати в'язучого обмежувалися значенням 10–15% від маси всіх твердих компонентів для щільних сумішей та 25–50% для сумішей пористої структури (для виготовлення пінобетонів витрати цементу становлять 30–70% і більше від маси сухих компонентів).

Експериментальне випробовування проводилося на зразках-балочках розмірами 40x40x160 мм, зразках-кубиках розмірами 100x100x100 мм та зразках-плитах розмірами 300x300 мм товщиною 15, 25, 30, 35, 40 і 50 мм. Дані зразки виготовлялися з розроблених складів СБС [10–11], модифікованих ПАР та полімерними добавками [12], шляхом їх замішування з водою за допомогою лабораторного міксера зі швидкістю 600–3 150 обертів на хвилину.

У попередньо розроблені цементні склади СБС, в які входили кварцевий пісок крупністю до 1,2 мм у ролі заповнювача та високопластичні глини крупністю 0,315–0,63 мм у ролі стабілізуючої та пластифікуючої мінеральної добавки, вводився карбонатний пісок, отриманий після видобування, оброблення та подрібнення вапняків, у кількості 17,5–22,5% від маси сухих компонентів. У таблиці 1 наведені

Таблиця 1

Властивості СБС залежності від ступеня подрібнення відходів карбонатних порід

Гранулометрія відходів вапняку	В/Т	Середня щільність, кг/м ³	Міцність на стиск у віці 28 діб, МПа	Коефіцієнт теплопровідності, λ
> 0,14 мм	0,316	1 030	5,05	0,423
0,14–0,315 мм	0,235	1 053	7,05	0,436
0,315–0,63 мм	0,263	1 235	7,70	0,531
0,63–1,25 мм	0,268	1 043	3,63	0,430
1,25–2,5 мм	0,280	1 000	1,77	0,408

Таблиця 2

Властивості СБС залежно від вмісту золи-виносу

Вміст золи виносу, %	В/Т	Середня щільність, кг/м ³	Міцність на стиск у віці 28 діб, МПа	Коефіцієнт теплопровідності, λ
15	0,170	927	9,46	0,370
20	0,233	860	8,84	0,335
22,5	0,220	1 070	7,38	0,444
25	0,272	1 210	5,53	0,518
30	0,300	1 145	5,16	0,483

Таблиця 3

Властивості СБС після механічної активації мінеральних компонентів суміші

№ складу суміші*	В/Т	Середня щільність, кг/м ³	Міцність на стиск у віці 28 діб, МПа	Коефіцієнт теплопровідності, λ
1	0,263	1070	8,12	0,444
2	0,263	1 110	8,67	0,465
3	0,263	845	7,18	0,330
	0,263	800	7,06	0,305
4	0,316	830	6,91	0,320
5	0,260	1 015	13,43	0,416
6	0,276	910	10,76	0,361
7	0,263	800	7,08	0,305
8	0,260	960	14,05	0,387
9	0,367	770	4,93	0,289
10	0,276	890	5,25	0,351
11	0,263	680	4,86	0,244
Для порівняння				
Пінобетон	0,4–0,45	300–1 200	1,0–5,0	0,070–1,02
СБС «Тепловер» стяжка П-400	0,31	до 450	від 0,5 і вище	0,106

* склади суміші не наведені, оскільки ведеться розроблення патенту.

результати досліджень впливу гранулометрії карбонатних відходів дроблення вапняків на властивості поризованих СБС.

Отже, найоптимальніші властивості будуть мати СБС, в яких використовується наповнювач із карбонатних порід крупністю 0,14–0,315 мм. За такої крупності карбонатний мікронаповнювач здатний найактивніше впливати на процеси структуроутворення цементних композицій у складі поризованих сухих будівельних сумішей [8]. Це пояснюється тим, що за такої дисперсності часток карбонатні відходи, які мають певну хімічну активність, збільшують питому поверхню мінерального в'язучого, у результаті чого утворюються додаткові поверхні розподілу фаз «повітря – водні плівки ПАР – тверді частки суміші», утворюючи одночасно міцні з'єднання.

Для подальших досліджень у суміші на основі відходів оброблення карбонатних вапняків вводили золу виносу ТЕС, яка характеризується розмірами часток до 0,14 мм (таблиця 2).

Спільне механічне подрібнення в бігунах на протязі 5–7 хвилин вапнякових відходів із золою виносом, а потім на протязі 3–5 хвилин – із портландцементом приводить до подвійного покриття

часток вапнякового піску спочатку частками золи виносу, а потім частинками портландцементу [5], що дозволяє збільшити фізико-механічні властивості розчинів, отриманих із СБС на основі відходів промисловості.

Введення сухого піноутворювача та полімерних добавок у СБС відбувається в невеликих кількостях від загальної маси сухих компонентів. Тому перед фасуванням у мішки процес виготовлення СБС потребує ретельного перемішування всіх компонентів для рівномірного розподілу функціональних добавок на частках суміші. Проведено багатоступінчасте спільне механічне подрібнення мінеральних компонентів СБС. Результати досліджень наведені в таблиці 3.

Головні висновки. Результатом проведених експериментів є отримання сухих будівельних сумішей пористої структури на основі відходів промисловості з підвищеною міцністю від 7,05 до 14,05 МПа, які відрізняються зниженням В/Т співвідношення без втрати рухливості розчинної суміші.

Перспективи використання результатів дослідження. Напрямок утилізації відходів промисловості шляхом їх повторного використання для виготов-

лення багатокомпонентних дрібнодисперсних сумішей є досить перспективним з огляду на високу вартість виробництва будівельних матеріалів, а також має великі перспективи щодо покращення екологічної ситуації, знижує в майбутньому екологічні ризики. Подальшого дослідження потребують властивості розроблених СБС, оскільки вони можуть бути альтернативним новим матеріалом для влаштування тепло- та звукоізоляційних основ під підлоги та переkritтя цивільних будівель, де зараз дуже

часто використовуються недовговічні матеріали з низькими механічними властивостями, наприклад, суміші з пористих заповнювачів та спінених полімерних матеріалів. Крім того, виробництво полегшених СБС із відходів промисловості дозволяє економити в'язучі та дорогі функціональні добавки, виробництво яких є енергозатратним процесом із вагомим впливом на екологію навколишнього середовища, не потребує серйозного переобладнання технологічних ліній випуску продукції.

Література

1. Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 р.: розпорядження Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 р. № 820-р. Законодавство України. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80#n8>.
2. Кесова Л.О., Кравчук Г.В. Перспективні заходи утилізації золошламових відходів ТЕС. Проблеми загальної енергетики: науковий збірник. 2018. № 1 (52). С. 59–64.
3. Ковальський В.П., Очеретний В.П., Лемешев М.С., Бондар А.В. Обґрунтування доцільності використання золошламового в'язучого для приготування сухих будівельних сумішей. Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. 2013. Вип. 26. С. 186–193.
4. Ковальський В.П., Сідлак О.С. Використання золи виносу ТЕС у будівельних матеріалах. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. 2014. № 1. С. 35–40.
5. Очеретний В.П., Ковальський В.П., Бондар А.В. Використання відходів вапняку та промислових відходів у виробництві сухих будівельних сумішей. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. 2009. № 6. С. 36–40.
6. Очеретний В.П., Ковальський В.П., Бондар А.В. Вплив мінеральних мікронаповнювачів на властивості поризованих сухих будівельних сумішей. Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Будівництво». 2014. Вип. 10 (18). С. 44–47.
7. Очеретний В.П., Бондар А.В. Перспективні напрями переробки та утилізації відходів карбонатних порід. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXIV Міжнародної науково-практичної конференції, 18–20 травня 2016 р., Харків. Ч. III. Харків: НТУ «ХПІ», 2016. С. 385.
8. Бондарь А.В., Ковальский В.П., Очеретный В.П. Использование карбонатных пород как микронаполнителей в сухих строительных смесях пористой структуры. Актуальные проблемы архитектуры, строительства, энергоэффективности и экологии – 2016: сборник материалов Международной научно-практической конференции (27–29 апреля 2016 г.): в 3-х т. Т. I. Тюмень: РИО ФГБОУ ВО Тюменский индустриальный университет, 2016. С. 207–213.
9. Звукоизоляционные сухие строительные смеси на основании отходов производства. Инновационное развитие территорий: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. (г. Череповец, 26 февраля 2016 г.). Череповец: ЧГУ, 2016. С. 73–78.
10. Суха будівельна суміш: пат. UA 76518 U Україна: МПК C04B 28/02, C04B 14/10; заявл. 30.05.2012; опубл. 10.01.2013. Бюл. № 1. 2 с.
11. Суха будівельна суміш: пат. UA 91008 U Україна: МПК C04B 28/04, C04B 14/10, C04B 14/06, C04B 14/26, C04B 18/10; заявл. 20.05.2013; опубл. 25.06.2014. Бюл. № 12. 4 с.
12. Бондар А.В. Модифікація мінеральних сухих будівельних сумішей полімерними добавками. Матеріали XLVII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ (Вінниця, 14–23 березня 2018 р.). Вінниця, 2018. URL: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/20970/5252.pdf?sequence=3>.