

Екологія і будівництво

УДК 504.064.45:691:54:691.215: 666.965.4

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 розробки та дослідження складів сухих будівельних сумішей на основі золи-винос теплоелектростанцій та відходів каменерізання та обробки карбонатних порід. Доведено позитивний вплив введення відходів карбонатних порід та золи-винос ТЕС на фізико-механічні властивості затверділих розчинів. Наведені залежності зміни реологічних властивостей розчинових сумішей при введенні 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 золы-уноса теплоэлектростанций и отходов распиливания и обработки карбонатных пород. Доказано положительное влияние введения отходов карбонатных пород и золы-уноса ТЭС на физико-механические свойства затвердевших растворов. Приведенные 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., Kowalskiy V., Burlakov V., Matviychuk E. 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. *Keywords:* wastes of industry, dry building mixtures, ash-removal of thermal power plants, carbonate breeds, solution.

Постановка проблеми. Екологічна ситуація в Україні вимагає перегляду багатьох гострих питань. Одним із таких питань є утилізація відходів чи побічних продуктів промисловості, які накопичуються, зберігаються та мало чи зовсім не переробляються, викликаючи виникнення екологічних загроз. Будівельна галузь, зокрема виробництво будівельних матеріалів, є досить матеріало- та енерговитратною і багатовідхідною, що несе свою долю негативного впливу на екологію. Тому доцільно проводити постійні дослідження по пошуку шляхів утилізації відходів промисловості, наприклад, при виробництві нових ефективних будівельних матеріалів, які знайдуть широке застосування у споживача та їх виробництво позитивно впливатиме на екологічний стан регіону та країни вцілому.

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

часто утворюються у вигляді тонкодисперсного пилу, наприклад, золи-виносу ТЕС та відходів добування та обробних природних кам'яних матеріалів. Дане питання є актуальним також для покращення екологічної ситуації Подільського регіону, зокрема Вінницької області (робота Ладижинської ТЕС, численні кар'єри по видобуванню мінеральної сировини, заводи по випуску цементних в'язучих).

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Авторська розробка присвячена вирішенню завдань державної програми по підвищенню енергоефективності у будівництві, національної стратегії управління відходами [1], а також розробка нових будівельних матеріалів є пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботах [2-5, 9] доведено, що золу-винос ТЕС доцільно використовувати як активний компонент при розробці нових та розширенні властивостей і номенклатури відомих будівельних матеріалів. Дослідження [5-9] показали, що відходи видобування, обробки та переробки вапняків позитивно впливають на фізико-механічні та спеціальні властивості сухих будівельних сумішей, оскільки активні тонкодисперсні частки карбонатів приймають участь у процесах структуроутворення при твердненні розчину.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. 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 за рахунок зниження щільності, оптимізації складу, введення мінеральних добавок із відходів промисловості при застосуванні енерго-ресурсозберігаючої технології.

Новизна. Проведені експериментально-теоретичні дослідження дозволили виявити закономірності спільного впливу виду, кількості і гранулометрії

мінеральних наповнювачів, витрат портландцементу та відношень водотвердого (В/Т) і Ц/З (Н – наповнювач) на значення середньої щільності та міцності отриманих поризованих розчинів на основі СБС.

Методологічне або загальнонаукове значення: розширено номенклатуру СБС на основі відходів промисловості та область їх застосування. Основні розробки СБС щільної структури висвітлено у патентах [10-11]. У ході подальшої роботи розроблені рецептури полегшених СБС на цементній основі та розчинів на їх основі з стабільною пористою структурою, оптимальними фізико-механічними та спеціальними властивостями без зміни технологічної лінії випуску СБС.

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

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

- 1) кількості в'язучого (Ц);
- 2) водо-твердого відношення (В/Т);
- 3) концентрації добавки ПАР;
- 4) відношення цемент/наповнювач (Ц/З) та цемент/наповнювач (Ц/Н);
- 5) співвідношення наповнювач/наповнювач (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 при мінімальних витратах в'язучого. Витрати в'язучого обмежувались значенням 10-15% від маси усіх 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 проводилось 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 виготовлялись із розроблених складів СБС [10-11], модифікованих ПАР та полімерними добавками [12], шляхом їх замішування із водою за допомогою міксера лабораторного з швидкістю 600-3150 обертів за хвилину.

У попередньо розроблені цементні склади СБС, у 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, обробки та подрібнення вапняків, у кількості 17,5-22,5% від маси сухих компонентів. У таблиці 1 наведені результати досліджень впливу гранулометрії карбонатних відходів дроблення вапняків на властивості поризованих СБС.

Таблиця 1 – Властивості СБС у 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, Вт/(м×°С)
--------------------------------	-----	--------------------------------------	--------------------------------------	---

>0,14 мм	0,316	1030	5,05	0,423
0,14-0,315 мм	0,235	1053	7,05	0,436
0,315-0,63 мм	0,263	1235	7,70	0,531
0,63-1,25 мм	0,268	1043	3,63	0,430
1,25-2,5 мм	0,280	1000	1,77	0,408

Отже, найоптимальніші властивості будуть мати СБС, у яких використовується наповнювач із карбонатних порід крупністю 0,14-0,315 мм. При такій крупності карбонатний мікронаповнювач здатний найактивніше впливати на процеси структуроутворення цементних композицій в складі поризованих сухих будівельних сумішей [8]. Це пояснюється тим, що при такій 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 обробки карбонатних вапняків вводили золу-винос ТЕС, яка характеризується розмірами часток до 0,14 мм (таблиця 2).

Таблиця 2 – Властивості СБС у залежності від вмісту золи-винос

Вміст золи-винос, %	В/Г	Середня щільність, кг/м ³	Міцність на стиск у віці 28 діб, МПа	Коефіцієнт теплопровідності, λ , Вт/(м×°С)
15	0,170	927	9,46	0,370
20	0,233	860	8,84	0,335
22,5	0,220	1070	7,38	0,444
25	0,272	1210	5,53	0,518
30	0,300	1145	5,16	0,483

Спільне механічне подрібнення у бігунах на протязі 5-7 хвилин вапнякових відходів із золю-винос, а потім на протязі 3-5 хвилин – з портландцементом приводить до подвійного покриття часток вапнякового піску спочатку частками золи-винос, 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 у невеликих кількостях від загальної маси сухих компонентів. Тому перед фасуванням у мішки процес виготовлення СБС вимагає ретельного перемішування усіх компонентів для рівномірного розподілу функціональних добавок на частках суміші. Було проведено багатоступінчасте спільне механічне подрібнення мінеральних компонентів СБС. Результати досліджень приведені у таблиці 3.

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 , Вт/(м×°С)
1	0,263	1070	8,12	0,444
2	0,263	1110	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	1015	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	300-1200	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 приведені, оскільки ведеться розробка патенту.

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 виготовлення багатокомпонентних дрібнодисперсних сумішей є досить перспективним з огляду на високу вартість виробництва будівельних матеріалів, а також має великі перспективи у напрямі покращення екологічної ситуації і знижує у майбутньому екологічні ризики. Подальшого дослідження потребують властивості розроблених СБС, оскільки вони можуть бути альтернативним новим матеріалом для влаштування тепло-звукоізоляційних основ під підлоги та перекриття цивільних будівель, де зараз дуже часто використовуються недовговічні матеріали з низькими механічними властивостями, наприклад, суміші із пористих заповнювачів та спінені полімерні матеріали. 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 року: 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. Кєсова Л.О., Кравчук Г.В. Перспективні заходи утилізації золошламових відходів ТЕС. *Науковий збірник «Проблеми загальної енергетики»*. 2018. № 1(52). С. 59-64.

3. Ковальський В. П. Обґрунтування доцільності використання золошламового в'язучого для приготування сухих будівельних сумішей / В. П. Ковальський, В. П. Очеретний, М. С. Лемешев, А. В. Бондар. – Рівне: Видавництво НУВГіП, 2013. – Випуск 26. – С. 186 – 193.

4. Ковальський, В. П. Використання золи виносу ТЕС у будівельних матеріалах / В. П. Ковальський, О. С. Сідлак // *Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві*. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2014. – № 1 (16). – 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. Випуск 10 (18). С. 44-47.

7. Очеретний В.П., Бондар А.В. Перспективні напрямки переробки та утилізації відходів карбонатних порід. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: Тези доповідей XXIV міжнародної науково-*

практичної конференції, Ч. III (18-20 травня 2016 р., Харків). Харків, НТУ «ХПІ», 2016. С. 385.

8. Бондар А. В. Использование карбонатных пород как микронаполнителей в сухих строительных смесях пористой структуры [Текст] / А. В. Бондар, В. П. Ковальський, В. П. Очеретний // Сборник материалов международной научно-практической конференции "Актуальные проблемы архитектуры, строительства, энергоэффективности и экологии – 2016", Тюмень, 27-29 апреля 2016 г. – Тюмень : РИО ФГБОУ ВО ТИУ, 2016. – Т. I. – С. 207-213.

9. Ковальський В. П. Звукоізоляційні сухі будівельні суміші на основі відходів виробництва [Текст] / В. П. Ковальський, В. П. Очеретний, А. В. Бондарь // Інноваційне розвиток територій: Матеріали IV Міжнарод. науч.-практ. конф., 26 лютого 2016 г. – Череповець, 2016. – С. 73–78.

10. Суха будівельна суміш: пат. UA 76518 U Україна: МПК С04В 28/02, С04В 14/10; заявл. 30.05.2012; опубл. 10.01.2013, Бюл. № 1. 2 с.

11. Суха будівельна суміш: пат. UA 91008 U Україна: МПК С04В 28/04, С04В 14/10, С04В 14/06, С04В 14/26, С04В 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>

Інформація про авторів:

Бондар Альона Василівна (Вінниця) – асистент кафедри Будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет.

Ковальський Віктор Павлович (Вінниця) – кандидат технічних наук, доцент кафедри Будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет.

Бурлаков Віктор Петрович (Вінниця) – аспірант кафедри Будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет.

Матвійчук Єлизавета Русланівна (Вінниця) – студент кафедри Будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет.