

УДК 666.97.035

ВАКУУМНІ БЕТОНИ ТА РОЗЧИНИ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОГЕННОЇ СИРОВИНИ

Дехта Т. М.¹, к. т. н., доц., Бондаренко С. В.², к. т. н., доц., Василенко С. В.³, ас.

Придніпровська державна академія будівництва та архітектури

[1 dehta.tatyana75@pdaba.edu.ua](mailto:dehta.tatyana75@pdaba.edu.ua); [2 bondarenko.serhii@pdaba.edu.ua](mailto:bondarenko.serhii@pdaba.edu.ua);

[3 vasylenko.svitlana@pdaba.edu.ua](mailto:vasylenko.svitlana@pdaba.edu.ua)

Постановка проблеми. У звалищах та відвалах накопичена велика кількість золошлакових сумішей теплових електростанцій (ТЕС), які є цінною техногенною сировиною.

Проведені теоретичні та експериментальні дослідження показали, що технологія вібраційного вакуумування є ефективним методом ущільнення золошлакових бетонів у порівнянні з традиційним методом вібраційного ущільнення. Ущільнення бетонних сумішей за допомогою вібраційного вакууму надає можливість значно збільшити щільність, міцність, морозостійкість та інші властивості бетону. У бетонів з однаковою міцністю можливо зменшити витрати цементу, провести негайну розпалубку, значно скоротити тривалість термічної обробки. Запропонований метод формування не вимагає значних капітальних витрат на впровадження, тому що застосовується стандартне обладнання, яке використовують при виробництві залізобетону. Актуальністю роботи є розробка і дослідження технології вібраційно вакуумної обробки бетонних сумішей на основі вторинних мінеральних ресурсів, яка дозволяє отримувати бетони з підвищеними властивостями. Запропоновано спосіб поліпшення якості золошлакового вакуумованого бетону за рахунок добавки невеликої кількості електроліту в бетонну суміш при її приготуванні. Досліджено основні властивості вібраційно ущільнених і вібраційно вакуумованих бетонів на основі техногенної сировини, проведена порівняльна оцінка цих властивостей, яка показала переваги вакуумованих бетонів.

Найбільш об'єктивну оцінку міцності та іншим фізико-механічним властивостям бетону з використанням техногенної сировини, ущільнених вібраційним вакуумом, можливо отримати у виробничих умовах на підприємствах по виробництву залізобетону.

Мета роботи. Удосконалення технології виробництва вакуумованих бетонів на основі техногенної сировини - золошлакових сумішей теплових електростанцій (ЗШС).

Основна частина. Приклад використання вакуумної технології ущільнення бетону наведено в роботі [2]. Однак при використанні легких бетонів, вони мають тенденцію до руйнування через високий тиск при вакуумуванні. Подальші дослідження використання техногенної сировини базувались на отриманні важких бетонів.

Перші результати наукових досліджень і виробничого досвіду використання золошлакових відходів ТЕС проведені в 30-ті роки минулого сторіччя. Була доведена висока ефективність використання золошлакових відходів ТЕС при виробництві пуцоланових цементів, виготовленні стінових каменів, виробництві легких заповнювачів, приготуванні легких бетонів. Була введена класифікація відходів ТЕС від спалювання вугілля, де їх розділення на шлаки (частково розплавлені і спечені частки) і золи (дрібні не спечені частки). У свою чергу, шлаки, в залежності від виду палива, що спалюється, поділялися на: антрацитові, кам'яновугільні, буровугільні, торф'яні, горючі сланці [3]. Це визначає необхідність комплексних досліджень складу та властивостей мінеральної частини різного вугілля, яке спалюють на електростанціях. Основною причиною недостатнього використання золи та шлаків є незадовільний стан

вивчення якості сировини. Без ретельного вивчення таких відходів і їх вплив на гідратацію, твердіння, експлуатаційні властивості золобетонів їх виробництво неможливе [4].

Запропоновано класифікацію техногенної сировини, в основу якої покладено такі ознаки, як вид палива, що спалюється, спосіб спалювання, хімічний і мінералогічний склад палива, структура і зовнішні ознаки шлаків. Відзначено, що для характеристики технічних властивостей паливних шлаків набагато більше значення мають зовнішні морфологічні ознаки, такі як структура, ступінь оклінкерованості, гранулометрія і колір, а не вихідний вид палива. Основна увага була приділена паливним шлакам, а склад і властивості золи-виносу практично не розглядалися [5]. При високому рівні заміщення природного піску в бетонах та будівельних розчинах шлаком, бетон показав меншу міцність, ніж у стандартній суміші, ущільненій вібраційним способом [6].

Незначні обсяги і низька ефективність використання золи на будівельних підприємствах, малі обсяги використання техногенної сировини не дозволяють проектувати на теплових електростанціях маловідходні і безвідходні технології. Недоліки зола шлакових сумішей менше проявляються при використанні їх в гідротехнічному будівництві, де клас бетону визначається у віці 180 діб. На більшості підприємств будівельної індустрії при приготуванні бетонів для громадського, промислового і сільськогосподарського будівництва цей напрям виявився малоефективним, і зола-виносу практичного застосування не знайшла [7]. Неоднорідний склад золи ТЕС є одним з найбільших недоліків, які скорочують її використання. При високому вмісті крупних частинок золи-виносу (більш 0,045 мм), а також при збільшенні вмісту незгорілих частинок вугілля потреба в воді зростає. Це призводить до розшарування бетонної суміші при ущільненні. А також до зменшення фізико-механічних властивостей зола бетонів, зниженню довговічності виробу та конструкцій [8].

Оскільки зола шлакові суміші становлять основну частину відвалів більшості теплових електростанцій, що спалюють пиловидне паливо, вони представляють особливий інтерес для підприємств будівельної індустрії, в якості заповнювача для бетону. Постійно зростаючі запаси цієї сировини можуть значно знизити існуючий дефіцит наповнювачів бетону [9].

Введення золи в якості традиційного заповнювача бетону і використання вібраційної вакуумної обробки дозволили оптимізувати склад бетону. Для досягнення мети були поставлені наступні завдання:

- підібрати раціональні склади бетонних сумішей для вакуумної обробки;
- дослідити основні фізико-механічних властивості вібраційно вакуумованих бетонів на основі техногенної сировини;
- розробити технологію вібраційно вакуумованих бетонних виробів на основі техногенної сировини.

Золошлакові суміші теплових електростанцій, щодня накопичуються на звалищах, завдаючи значної шкоди навколишньому середовищу.

Зерна пиловидної золи – це крихітні частинки розміром від декількох мікрон до 0,14 мм. Велика частина зерен ошлакована і округла. Частина зерен відшліфована лише зовні – під склоподібною оболонкою знаходяться мінерали, які не встигли розплавитися під час згорання пилоподібного вугілля в печі. Структура самого зерна обумовлена його скороченим перебуванням у зоні високих температур. В результаті швидкого підвищення температури майже одночасно відбувається вигорання органічних речовин, що містяться у вугіллі, і спікання мінеральної частини. Газ, що виділяється під час цього процесу, спучує розплав. Різке охолодження зерен стабілізує

склоподібну фазу. В результаті частинки пилоподібної золи є розплавленими зернами, багато з яких мають крихітні, переважно закриті пори.

Шлаки представляють собою склоподібні зерна розміром 0,3...20 мм неправильної форми з гострими кутами. Значна частина зерен має пори різних розмірів, які утворилися під дією пари при попаданні вогненно-рідкого шлаку до води. Іноді зустрічаються включення шлаку розміром до 40 мм. Хімічний склад золошлакових сумішей наведено в таблиці.

Таблиця

Хімічний склад зола шлакових сумішей ТЕС

Вид відходів	Склад оксидів, %							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO+Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	SO ₃	В.п.п.
Зола	41...53	15...22	5...9	0,5	3...4	1...1,6	0,4...0,8	10...14
Шлак	48...56	20...28	9...13	0,5	4,5...5	1...1,6	0,5...0,6	0...1

Для приготування бетонних сумішей використовували наступні матеріали:

- шлакопортландцемент М400 (м. Кривий Ріг) (ДСТУ Б В.2.7-46-2010);
- зола-виносу Придніпровської ТЕС (ДСТУ Б В.2.7-205:2009);
- вода водопровідна (ДСТУ Б В. 2.7.-273:2011);
- електроліт - CaCl₂ (ДСТУ Б В.2.7-175:2008. ДСТУ Б В.2.7-69-98).

Бетонні суміші готували з однаковою рухливістю, яка характеризується осіданням стандартного конуса ОК = 5...6 см.

Результати досліджень [15] вказують на високу потребу у воді зола бетонних сумішей. Це, на наш погляд, є основною причиною низької міцності зольного бетону при помірних витратах цементу.

Спочатку визначали ефективність вібраційно вакуумної обробки звичайних зола бетонних сумішей (без додавання електроліту). В цих дослідженнях використовували бетонну суміш із витратою цементу 280 кг/м³. Зразки 15×15×7 см формували за допомогою вібраційного вакуумування (з метою зменшення впливу масштабного фактору). Попереднє ущільнення бетонної суміші у формах проводили вібраційним методом протягом 7...10 с. Потім ці зразки піддавали вакуумуванню до припинення видалення надлишків води для замішування. Величина вакууму становила 0,7 (загальний вакуум приймався за одиницю). Під час вакуумування проводили періодичну вібрацію тривалістю 8...10 с кожні 1,5...2 хвилини (виконували два прийоми вібрації) [16].

Додавання електроліту у кількості 0,2...0,7 % від витрати цементу може суттєво збільшити кількість вилученої надлишкової води, зменшуючи при цьому тривалість вакуумування. При всіх прийнятих витратах цементу раціональне додавання електроліту становило 0,4...0,5 %. Завдяки цьому додаванню було отримано найбільшу кількість вилученої надлишкової води замішування (110 л/м³ або 37 %). А тривалість вакуумної обробки зменшена з 6 хвилин до 4...4,5 хвилин, що дуже важливо в умовах виробництва [16].

Ці закономірності підтверджуються і результатами аналізу міцності вакуумних бетонів на основі зола шлакових сумішей ТЕС (рис.).

Вакуумовані бетони, отримані з бетонних сумішей з додаванням електроліту, мають більшу міцність порівняно з міцністю вакуумованих бетонів з сумішей без добавки. При раціональній витраті електроліту було досягнуто збільшення міцності – на 17...22 % (порівняно з міцністю вакуумованих бетонів із бетонних сумішей без додавання електроліту). Отримані результати переконливо пояснюються за допомогою

теорії коагуляції електролітами.

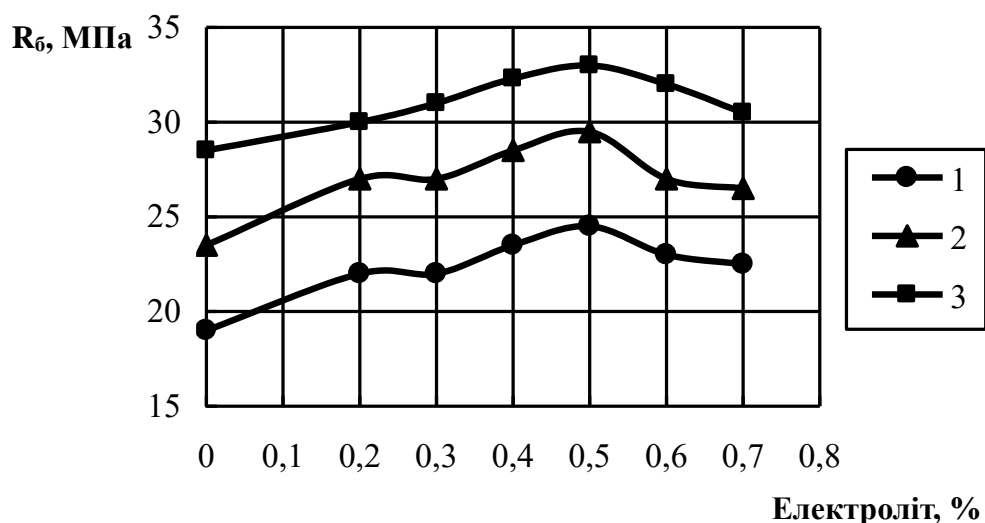


Рис. Межа міцності золошлакового вакуумбетону залежно від витрати електроліту: 1 – за витрат цементу 280 кг/м^3 ; 2 – теж, за 350 кг/м^3 ; 3 – теж, за 400 кг/м^3

У цьому випадку раціональна тривалість вакуумування становила 6 хвилин (виходячи зі швидкості видалення надлишку води змішування).

Широке використання в будівництві бетонів на основі відходів ТЕС дає можливість вирішити проблему місцевих заповнювачів, і сприяє охороні навколишнього середовища [17–18].

Висновки.

1. При підборі раціональних складів бетонних сумішей для вакуумної обробки визначена оптимальна рухливість вихідної бетонної суміші, яка обумовлює найбільш компактне розміщення складових в процесі вакуумування (найбільшу щільність). Така рухливість суміші зростає при зниженні витрати цементу (з ОК = 1...2 см до 5...7 см).

2. Результати досліджень основних властивостей вібраційно вакуумованих золошлакових бетонів підтвердили що, міцність золошлакового вакуумованого бетону в середньому вище міцності вібраційно ущільненого бетону з рухомих сумішей на 6...10 МПа або на 60...100 % (в залежності від витрати цементу).

4. Завдяки розробці технології вібраційно вакуумованих виробів на основі техногенної сировини надається можливість використовувати існуюче технологічне обладнання без принципових конструктивних змін, здійснювати негайне розпалублення відформованих виробів, що суттєво зменшує металоємність виробництва.

Список використаних джерел

1. Mariusz Holtzer, Rafał Dańko, Angelika Kmita, Dariusz Drożyński, Michał Kubecki, Mateusz Skrzyński, Agnieszka Roczniak. Environmental Impact of the Reclaimed Sand Addition to Molding Sand with Furan and Phenol-Formaldehyde Resin-A Comparison. *Materials*. 2020. Vol. 13. P. 4395. URL: <https://www.mdpi.com/1996-1944/13/19/4395>
2. Sang-Yeop Chung, Pawel Sikora, Dietmar Stephan, Mohamed Abd Elrahman. The Effect of Lightweight Concrete Cores on the Thermal Performance of Vacuum Insulation Panels. *Materials*. 2020. Vol. 13. P. 2632. URL: <https://www.mdpi.com/1996-1944/13/11/2632>
3. Xiaohui Zhu. Properties of Alkali Activated Slag Concrete. *Chemical Engineering*

Transactions Journal. 2017. Vol. 62. Pp. 1009–1014. URL: <https://doaj.org/article/4d39fc854a7e44749abd80068fa052c2>

4. Rimma K. Niyazbekova, Muratbek T. Userbaev, Gulnara A. Kokayeva, Lazzat S. Shansharova, Marat D. Konkanov, Saule A. Abdulina. Ash Deposits CHP – as an Additional Source of Raw Material for Construction Production. *Chemical Engineering Transactions Journal*. 2018. Vol. 70. Pp. 649–654. URL: <https://doaj.org/article/56ad70ca5c6f438ab01cc7ac39af3b30>

5. Madhura Sridharan. Ch. Madhavi. Investigating the influence of copper slag on the mechanical behaviour of concrete. *Materials today : Proceedings*, 2020. 2020. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785320388039>

6. Thuy Bich Thi Nguyen, Rachot Chatchawan, Warangkana Saengsoy, Somnuk Tangtermsirikul, Takafumi Sugiyama. Influences of different types of fly ash and confinement on performances of expansive mortars and concretes. 2019. Vol. 209. Pp. 176–186. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061819305124>

7. Savić Aleksandar, Vlahović Milica, Martinović Sanja, Đorđević Nataša, Broćeta Gordana, Volkov-Husović Tatjana. Valorization of fly ash from a thermal power plant for producing high-performance self-compacting concrete. 2020. Vol. 52, issue 3. Pp. 307–327. URL: <https://doaj.org/article/5e528041df1344bf9e3adea1ad3a8558>

8. M. Rafieizonooz, M. R. Salim, M. H. Hussin, J. Mirza, S. M. Yunus, E. Khankhaje. Workability, Compressive Strength and Leachability of Coal Ash. *Chemical Engineering Transactions Journal*. 2017. Vol. 56. Pp. 439–444. URL: <https://doaj.org/article/baced1e274354d52ba08ecd05644c32d>

9. Guo Yin-Le, Liu Xue-Ying, Hu Yue-Ping. Study on the influence of fly ash and silica fume with different dosage on concrete strength. *Internatio Symposium on Architecture Research Frontiers and Ecological Environment*. 2021. Vol. 237. URL: <https://doaj.org/article/a83ba35c625b4bce9d74f05ea549ec21>

10. Bavita Bhardwaj, Pardeep Kumar. Waste foundry sand in concrete : a review. *Construction and Building Materials*. 2017. Vol. 156. Pp. 661–674. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061817318111>

11. Rafat Siddique, Gurpreet Singh. Utilization of waste foundry sand (WFS) in concrete manufacturing. *Resources, Conservation and Recycling*. 2011. Vol. 55. Pp. 885–892. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344911000802>

12. Сторожук Н. А., Павленко Т. М., Аббасова А. Р. Незаслуженно забытый способ уплотнения бетонных смесей. *Технологии бетонов*. 2018. № 1-2. С. 27–31.

13. Савицкий Н. В., Павленко Т. М., Аббасова А. Р. Рациональное использование золошлаковых смесей, зол и шлаков ТЭС в технологии бетонов. *Бетон и железобетон*. 2014. № 3. С. 28–31.

14. Сторожук Н. А., Павленко Т. М., Аббасова А. Р. Основы теории формирования структурной прочности вакуумбетона при уплотнении бетонных смесей. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2020. № 81. С. 139–148.

15. Сторожук Н. А., Павленко Т. М., Аббасова А. Р. Эффективный способ использования золы тепловых электростанций в технологии бетонов. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія : Технічні науки*. Т. 29 (68), № 5. 2018. С. 98–104.

16. Tatyana Dekhta, Pavlo Pshinko, Olena Hromova, Oksana Steinbrech. Experimental Investigation and Theoretical Background of the Optimal Control of the Concrete Mixture Forming. *Komunikácie – vedecké listy Žilinskej univerzity v Žiline. Communications – Scientific Letters of the University of Žilina*. Slovakia. № 2. 2023. Pp. D39–D42. DOI: 10.26552/com.C.2023.034. URL: <https://komunikacie.uniza.sk/contents/csl/2023/02.pdf>

17. Дехта Т. М., Шпирько М. В., Бондаренко С. В., Василенко С. В. Будівельне матеріалознавство : навч. посіб. Дніпро : ДВНЗ «ПДАБА», 2022. 115 с. ISBN 978-966-323-229-4.

18. Дехта Т. М., Штайнбреш О. В. Системний аналіз в технології будівельних матеріалів. Проблеми математичного моделювання : матер. Всеукр. наук.-метод. конфії. Кам'янське, 27–28 травня 2020 р. ДДТУ, 2020. С. 97–98. URL: https://docs.google.com/document/d/1Ju4wT6k4xtkU0sR2-bS-VGfLWi_F3Wamf6Xd_KYfngd0/edit

УДК 625.7.2:004.9

ВІДНОВЛЕННЯ АВТОДОРОГ В УКРАЇНІ: ОСНОВНІ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ ЗАВДАННЯ

Євсєєв В. О^{1.}, аспірант, Трегуб О. В^{2.}, к. т. н., доц.

Придніпровська державна академія будівництва та архітектури

¹ vsevolod012@gmail.com; ² tregub.olexandr@pdaba.edu.ua

Постановка проблеми. Повоєнне відновлення та розбудова мережі автомобільних доріг – важливої складової транспортної інфраструктури країни, є необхідною умовою для функціонування і розвитку галузей економіки та інтеграції України до Європейського Союзу. Відбудова інфраструктури України є складним процесом, що вимагає залучення кращого світового досвіду та міжнародних інвестицій. Вивчення досвіду повоєнної відбудови європейських країн допоможе у плануванні цих заходів.

Метою дослідження є огляд проблеми повоєнної відбудови автомобільних доріг та пошук ефективних методів проєктування з урахуванням енергоефективних технологій.

Виклад основного матеріалу. Національний план відновлення [4], який представив Уряд України на конференції в Лугано 4–5 липня 2022 року, можна охарактеризувати як всеохоплюючий документ, що відображає основні напрями повоєнного відновлення економіки, надає комплекс ініціатив і заходів, включаючи зміни у законодавстві. План відновлення України складається з 15 національних програм, які відповідають основним потребам країни як у воєнний, так і післявоєнний періоди. Національні програми порівнюються з відповідними програмами відбудови Боснії та Герцеговини (1997 р.). Серед інших, відповідно до програми, план повоєнної реконструкції транспортних шляхів міжнародного та національного значення є пріоритетним завданням для України.

Відповідно до Постанови кабінету міністрів України [5] протяжність автомобільних доріг України міжнародного значення (індекс М) складає 1 436,2 км, національних доріг (індекс Н) – 7 177 км, регіональних – 9 046,9 км, територіальних (індекс Т) – 21 178,4 км. Загальна протяжність автомобільних доріг державного значення в Україні становить 46 733,4 км. План відновлення [4] є частиною Національної програми відбудови України. Орієнтовна протяжність пошкоджених автомобільних доріг у результаті бойових дій наведена на мапі руйнування України [6].

За даними [6] понад 36 тис. км мережі автомобільних доріг потребують відбудови, що дозволить прискорити відновлення цивільних та промислових об'єктів, інженерної інфраструктури, забезпечити сполучення населених пунктів з районними та обласними центрами, доставку гуманітарної допомоги та інших вантажів. Відновлення та розвиток мережі автомобільних доріг необхідно реалізовувати з урахуванням пріоритетів держави щодо забезпечення її обороноздатності та розвитку регіонів, зростання інтенсивності транспортного руху та інтеграцію української мережі автомобільних