

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ГРАНІТНОГО АСПІРАЦІЙНОГО ПИЛУ В СУХИХ БУДІВЕЛЬНИХ РЕМОНТНИХ СУМІШАХ**

**INCREASING THE EFFICIENCY OF THE USE OF GRANITE ASPIRATION DUST IN DRY CONSTRUCTION REPAIR MIXTURES**

**Сятковський О.А., старший викладач кафедри ТБВМ, ORCID: 0009-0000-1945-1838., (Національний університет водного господарства та природокористування, м.Рівне)**

**Syatkovskiy O.A., senior lecturer of the Department of BPTMS, ORCID: 0009-0000-1945-1838, (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)**

Досліджено вплив мінеральних добавок на властивості сухої будівельної ремонтної суміші. Експериментально доведено, що при введенні в ремонтну суміш гранітного аспіраційного пилу, як структуропосилюючої добавки, та активних мінеральних добавок, таких як метакаолін та мікрокремнезем спостерігається покращення адгезійних властивостей та капілярного водопоглинання у поєднанні зі стійким структуроутворенням за рахунок зменшення розшарованості. Результати дослідження підтверджують значущість та перспективність напрямів використання техногенних відходів та покращення основних властивостей будівельних сумішей.

The influence of mineral additives on the properties of dry building repair mixtures was investigated. It was experimentally proven that when granite aspiration dust as a structural-reinforcing additive and active mineral additives such as metakaolin and microsilica are introduced into the repair mixture, there is an improvement in adhesive properties and capillary water absorption in combination with stable structure formation due to reduced delamination. Metakaolin and microsilica are well-studied and researched additives, as well as available in the market for their use. The results of the study confirm the significance and prospects of the directions of using technogenic waste and improving the basic properties of building mixtures. It is also important to understand that both microsilica and metakaolin are the most effective mineral additives that allow for high-strength compositions to be obtained when used. However, there are not many studies specifically on the content of these active mineral additives in dry building mix compositions. Therefore, the results of the study also reflect the novelty of experimental research.

**Ключові слова:** активна мінеральна добавка, ефективність, гранітний пил, метакалін, мікрокремнезем.  
active mineral additive, efficiency, granite dust, metakaolin, microsilica.

**Вступ.** Широке застосування сухих будівельних сумішей (СБС) є принципово важливим в умовах збільшення обсягів будівництва, а також ремонту та реконструкції. Актуальним є практика використання відходів промисловості (зокрема гранітний аспіраційний пил) у поєднанні з різними мінеральними добавками при формуванні складів цих сумішей. Визначальним фактором є обґрунтоване розуміння вибору оптимальних складів для забезпечення високих показників якості сумішей [1, 2].

**Стан питання.** Максимальний рівень ефективності застосування сухих будівельних сумішей досягається при поєднанні високих показників основних фізико-механічних властивостей та експлуатаційних характеристик. Забезпечення належного рівня ефективності є складовою процесу підбирання складів цих сумішей [1]. Поряд з традиційними в'язучими матеріалами, наповнювачами та полімерними добавками широку актуальність набув процес використання відходів промисловості. Серед поширених матеріалів які активно застосовуються при виробництві це золи виносу, мелені шлаки, аспіраційний гранітний пил та інші.

Проблеми застосування відходів промисловості тісно пов'язані з питаннями ресурсоефективності та екологічних чинників [2]. Промислове виробництво з року в рік зростає, що супроводжує накопичення та зростання кількості відходів. При цьому зростають також енерговитрати. Питання використання та зберігання відходів стають гострими [2, 3].

Використання відходів дає змогу зменшити їх накопичення та знизити об'єми добування природніх матеріалів [2]. Також використання відходів дає змогу отримати склади сухих сумішей з оптимальними властивостями та належними рівнями таких показників як адгезійна міцність та капілярне водопоглинання [1, 6]. Серед відомих праць особливу увагу посідають роботи Л. Дворкіна, О. Дворкіна, М. Саницького, В. Очеретного, Р. Рунової. В працях цих вчених приділена особлива увага основним властивостям сухих сумішей, бетонів та розчинів з використанням відходів промисловості. Зокрема відмічено що додавання аспіраційного гранітного пилу зменшує пористість та посилює структуроутворення [11].

Втім є потреба в додаткових дослідженнях впливу аспіраційного гранітного пилу в поєднання з активними мінеральними добавками що модифікують властивості.

**Актуальність.** Сучасні вимоги до сухих будівельних сумішей ґрунтуються на принципах енергоефективності, екологічності та високих рівнях основних властивостей. Практика застосування відходів промисловості забезпечує ці принципи. Втім, процеси формування складів що містять відходи вимагають глибших аналізів та досліджень

**Мета роботи** є експериментально підтвердити ефективність та дослідити вплив відходів промисловості, а саме аспіраційного гранітного пилу у поєднанні з активними мінеральними добавками (метакаоліну та мікрокремнезему) на показники адгезійної міцності та капілярного водопоглинання сухої будівельної ремонтної суміші.

**Сировина. Методи випробування. Обладнання.** При виробництві сухих будівельних сумішей, а зокрема в ремонтних сумішах, а саме ці суміші досліджувалися, враховують вимоги чинного в Україні стандарту ДСТУ EN 1504-3:2022 «Вироби і системи для захисту й ремонту бетонних конструкцій. Визначення, вимоги, контроль якості та оцінювання відповідності. Частина 3. Ремонт несівних та ненесівних конструкцій» (EN 1504-3:2005, IDT). Зокрема, в п. 5.2 наводиться таблиця з основними показниками та вимогами які наведені в таблиці 1[4, 5].

Таблиця 1.

Вимоги до деяких експлуатаційних характеристик матеріалів для ремонту конструкційних та неконструкційних об'єктів згідно ДСТУ EN 1504-3:2022

| №<br>п/п | Назва показника              | Метод<br>випробуван<br>ня | Вимоги                                     |                  |                                                     |                  |
|----------|------------------------------|---------------------------|--------------------------------------------|------------------|-----------------------------------------------------|------------------|
|          |                              |                           | Структурні<br>об'єкти                      |                  | Неструктурні<br>об'єкти                             |                  |
|          |                              |                           | Клас<br>R4                                 | Клас<br>R3       | Клас<br>R2                                          | Клас<br>R1       |
| 1        | Міцність на стиск            | ДСТУ EN 12190:2022        | $\geq 45$<br>МПа                           | $\geq 25$<br>МПа | $\geq 15$<br>МПа                                    | $\geq 10$<br>МПа |
| 2        | Міцність зчеплення (адгезія) | ДСТУ EN 1542:2022         | $> 2,0$<br>МПа                             | $> 1,5$<br>МПа   | $\geq 0,8$ Мпа                                      |                  |
| 3        | Капілярне водопоглинання     | ДСТУ EN 13057:2022        | $< 0,5$ кг м <sup>2</sup> h <sup>0,5</sup> |                  | $\leq 0,5$<br>кг м <sup>2</sup><br>h <sup>0,5</sup> | -                |

З врахуванням вимог стандарту було обрано для дослідження такі важливі показники, як, міцність зчеплення з основою, міцність на стиск та водопоглинання. Звичайно, інші показники теж враховують особливості тої чи іншої суміші.

Склад сухої ремонтної будівельної суміші підбирався з врахуванням вимог чинних НД в Україні (ДСТУ Б В.2.7-126, ДСТУ EN 1504-3) [4, 5]. Це обумовило принцип співвідношення компонентів та необхідної вихідної міцності.

Основні складові досліджуваних сумішей:

- портландцемент ПЦ-1-500 (Волинь-Цемент);
- пісок кварцевий модуль крупності  $M_{кр} = 1,5$ ;

- гранітний аспіраційний пил (Клесівський кар'єр нерудних матеріалів «Технобуд»), дійсна густина якого – 2,82 г/см<sup>3</sup>, дисперсність – 500м<sup>2</sup>/кг;
- метакаолін (Чернівецьке родовище) дійсна густина якого – 2,6 г/см<sup>3</sup>, дисперсність – 1500м<sup>2</sup>/кг;
- мікрокремнезем (Італія) дійсна густина якого – 2,2 г/см<sup>3</sup>, дисперсність – 2500м<sup>2</sup>/кг;
- як додаткові матеріали використовували суперпластифікатор (СП), ефір целюлози (ЕЦ) та редиспергований полімерний порошок (РПП).

За основу випробувань було взято 4 склади сумішей: відповідно контрольний (склад 1), суміш+гранітний пил (склад 2), суміш+метакаолін (склад 3), суміш + мікрокремнезем (склад 4). Склади сумішей наведені в таблиці 2.

Таблиця 2.

Компонентний склад суміші

| п / п | Компоненти суміші          | Склад 1 |      |      | Склад 2 |      |      | Склад 3 |      |      | Склад 4 |      |      |
|-------|----------------------------|---------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|
|       |                            | 1       | 2    | 3    | 1       | 2    | 3    | 1       | 2    | 3    | 1       | 2    | 3    |
| 1     | Цемент, %                  | 38,0    | 38,0 | 38,0 | 38,0    | 38,0 | 38,0 | 38,0    | 38,0 | 38,0 | 38,0    | 38,0 | 38,0 |
| 2     | Пісок, (2-х фракційний), % | 58,5    | 58,5 | 58,5 | 44,9    | 44,9 | 44,9 | 44,9    | 44,9 | 44,9 | 44,9    | 44,9 | 44,9 |
| 3     | Пил гранітний, %           | -       | -    | -    | 14,0    | 14,0 | 14,0 | 14,0    | 14,0 | 14,0 | 14,0    | 14,0 | 14,0 |
| 4     | Метакаолін, %              | -       | -    | -    | -       | -    | -    | 4,0     | 4,0  | 4,0  | -       | -    | -    |
| 5     | Мікрокремнезем, %          | -       | -    | -    | -       | -    | -    | -       | -    | -    | 4,0     | 4,0  | 4,0  |

| Продовження табл.2. |                                                 |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------------|-------------------------------------------------|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 6                   | ЕЦ, %                                           | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  |
| 7                   | Пласти<br>фікатор<br>порошк<br>оподібн<br>ий, % | -   | -   | -   | 1,14 | 1,14 | 1,14 | 1,14 | 1,14 | 1,14 | 1,14 | 1,14 | 1,14 |
| 8                   | РПП, %                                          | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6  | 1,6  | 1,6  | 1,6  | 1,6  | 1,6  | 1,6  | 1,6  | 1,6  |

Процентне відношення складників є результатом багаторічної емпіричної роботи встановлення оптимальних складів для забезпечення високих рівнів експлуатаційних показників [2, 3, 6].

**Методи досліджень.** Для проведення випробувань були опрацьовані чинні в Україні стандарти.



Рис. 1 Прилад визначення адгезії

Визначення показника міцності зчеплення з основою (адгезійна міцність) проводили по методиці що зазначена в ДСТУ EN 1542:2022 «Вироби та системи для захисту та ремонту бетонних конструкцій. Методи випробувань. Вимірювання міцності з'єднання відриванням» (EN 1542:1999, IDT) [7], шляхом визначення міцності при відриві стандартного відривача круглої форми ( $S_{\text{від}} = 1962.5 \text{ мм}^2$ ) в адгезиметрі електронно-механічної дії. Суміш що випробовується нанесена на відповідним чином підготовлену бетону поверхню (плита 300x300x100мм) (Рис. 1). Кожного складу суміші та зразків готували по 3 комплекти. Міцність на стиск проводили керуючись методикою ДСТУ EN 12190:2022 «Вироби та системи для захисту та ремонту бетонних конструкцій. Методи випробувань. Визначення міцності ремонтного розчину на стиск» (EN 12190:1998, IDT) [8], шляхом проведення випробувань стандартних балочок (160x40x40мм) на максимальне зусилля стиску між двома випробувальними пластинами на випробувальному пресі гідроелектричної дії. Визначення капілярного водопоглинання проводили згідно методики ДСТУ EN 13057:2022 «Вироби та системи для захисту та ремонту бетонних конструкцій. Методи випробувань. Визначення опору капілярному поглинанню» (EN 13057:2002, IDT) [9] шляхом визначення кількості води поглинутої зразком ремонтної суміші круглого перерізу ( $D = 100 \text{ мм}$ ,  $h = 30 \text{ мм}$ ) який розміщений в ємності з водою та занурений на глибину 2мм на встановлений лабораторний термін випробування (28 діб). Результат опрацьовується зважуванням та розрахунком. Також для дослідження важливим є показник розтічності суміші на струшуючому столику. Даний показник визначали за методикою що зазначена ДСТУ Б В.2.7-187:2009 «Будівельні матеріали. Цементи. Методи визначення міцності на згин і стиск» [10].

Результати проведення випробувань наведені у таблиці 3

Таблиця 3.

Основні властивості сумішей.

| п / п | Склад   | В/В  | Крупність заповнювача, мм | Середня густина, $\text{кг/м}^3$ | Водоутримуюча здатність, % | Розплив конуса, мм (при в/п=0,6) | Міцність зчеплення з бетоном | Міцність на стиск, МПа (випробуваль) | Капілярне водопоглинання, $\text{кг*м}^2$ |
|-------|---------|------|---------------------------|----------------------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------|
| 1     | Склад 1 | 0,68 | 0,63                      | 2220                             | 93,0                       | 170,0                            | 1,35                         | 28,2                                 | 0,38                                      |
| 2     | Склад 2 | 0,7  | 0,63                      | 2090                             | 94,2                       | 168,0                            | 1,38                         | 28,0                                 | 0,37                                      |
| 3     | Склад 3 | 0,73 | 0,63                      | 2100                             | 93,2                       | 165,0                            | 1,48                         | 29,2                                 | 0,31                                      |
| 4     | Склад 4 | 0,74 | 0,63                      | 2100                             | 95,2                       | 165,0                            | 1,51                         | 30,1                                 | 0,29                                      |

На рис. 1 зображена графічна залежність капілярного водопоглинання від вмісту метакаоліну. Слід відмітити що покращення показника капілярного водопоглинання пов'язане зі здатністю метакаоліну як добавки активної до створення внутрішньо стійких структурних перетворень. Не менш значущим є і створення додаткових продуктів гідратації що демонструється в результатах таблиці по показнику міцності на стиск. Причому ця особливість більш наглядно спостерігається у складі з вмістом мікрокремнезему. Результати також показують відповідність показників чинним стандартам. На рис. 2 наглядно зображено залежність капілярного водопоглинання від рівня вмісту мікрокремнезему у складі 4.

Зміна адгезійних властивостей (рис.3, рис. 4) являє собою створення більш міцних зв'язків між поверхнями що контактують. В даному випадку введення в склад 4 мікрокремнезему довело позитивну зміну складу за рахунок цього, а також підтвердило теорію утворення додаткових продуктів гідратації [6]. При проведенні дослідження також піддавалося зміні водов'язуче відношення.

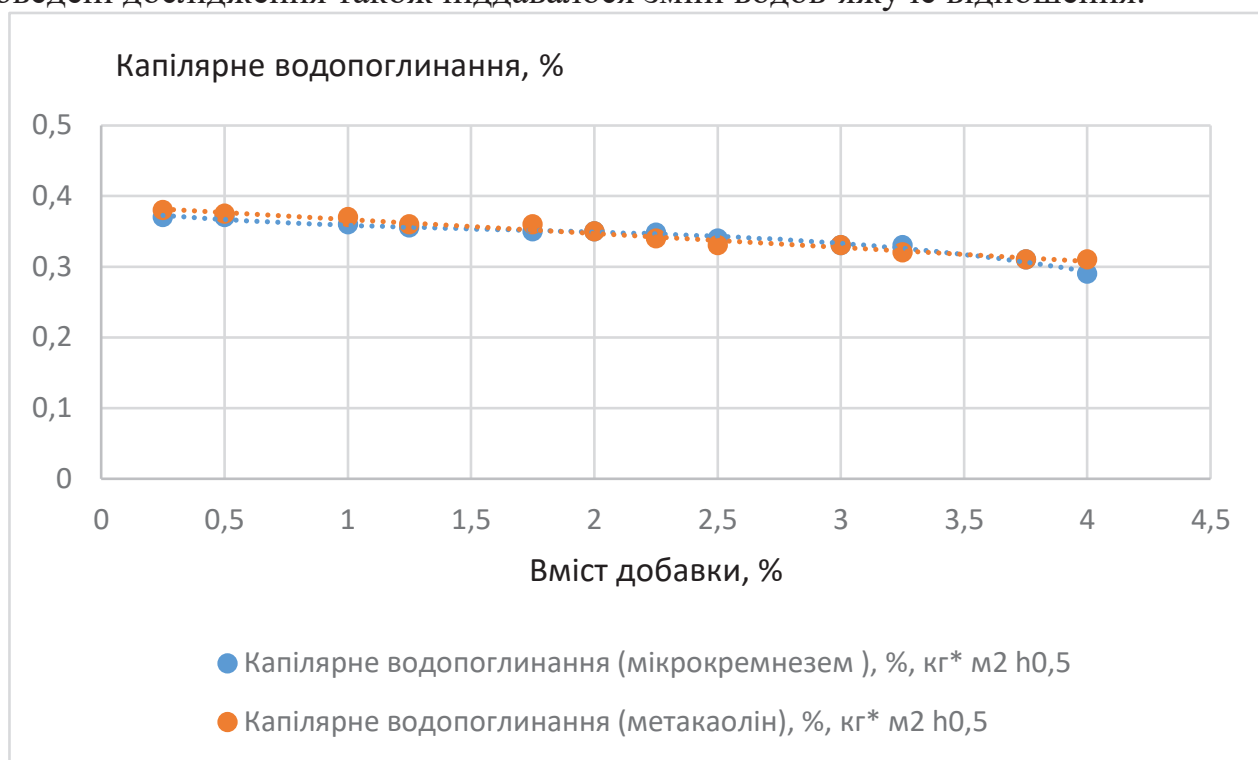


Рис. 2 Зміна рівня капілярного водопоглинання

На рис. 2 зображено залежність показника капілярного водопоглинання від вмісту активної мінеральної добавки. В двох варіантах (з вмістом метакаоліну та вмістом мікрокремнезему) досліджених складів спостерігається криволінійний характер залежності міцності від дозування добавки. Збільшення міцності відбувається до певної оптимальної концентрації добавки, після чого фіксується спад.

На рис. 3 представлена залежність адгезії (міцності зчеплення з основою) від вмісту активної добавки у діапазоні від 0,25 % до 4 %. В усіх досліджених варіантах показник адгезії з активною добавкою перевищує показники

контрольних зразків або досягає їхнього рівня, що підтверджує можливість повноцінного використання добавки. Максимальне значення адгезії фіксується у діапазоні концентрації добавки 4% . У цьому діапазоні добавка не лише збільшує об'єм гідратаційних продуктів, але й, завдяки своїй високій дисперсності, ефективно заповнює міжцементні пори та покращує ущільнення структури в контактній зоні "розчин-основа" що і є важливим фактором адгезійних процесів.

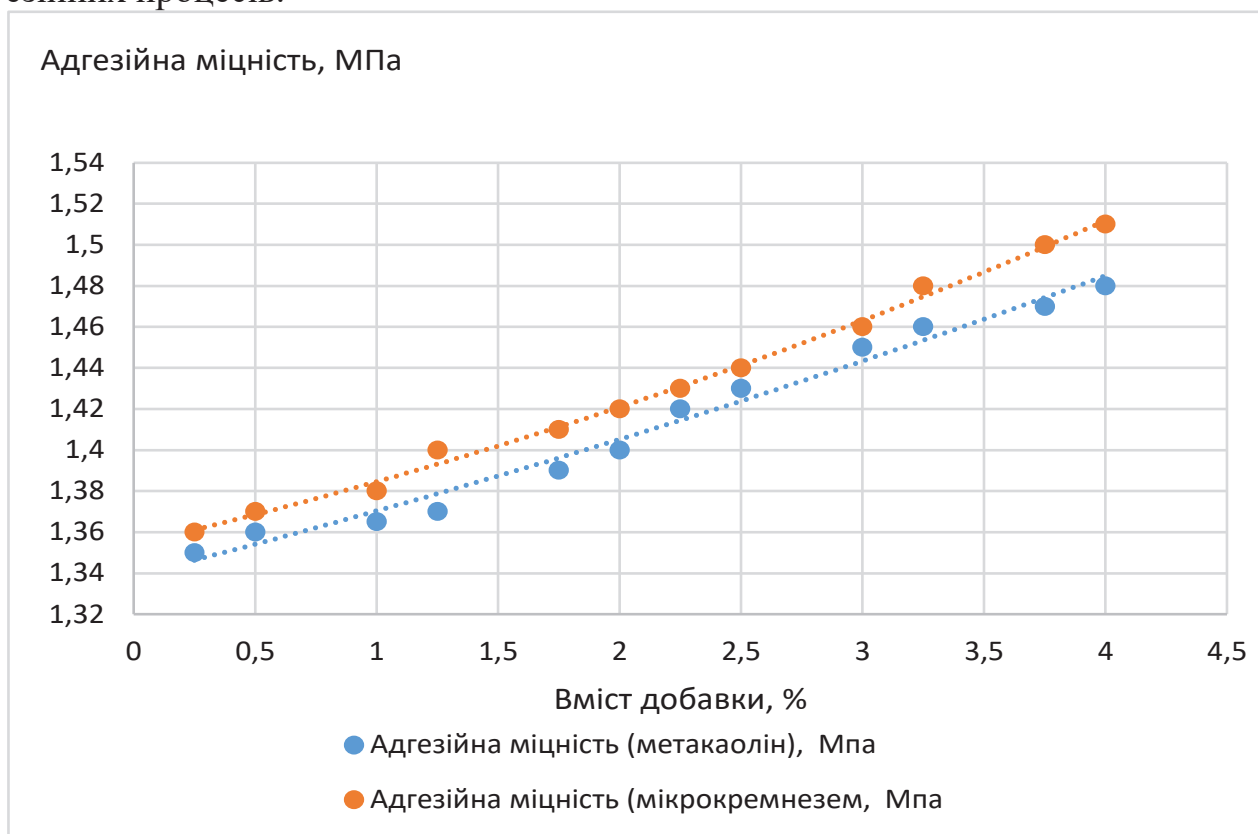


Рис. 3. Зміна значення адгезійної міцності

**Висновки.** Дослідження доводять та підтверджують ефективність комплексного застосування відходів промисловості (аспіраційного гранітного пилу) у поєднанні з активними мінеральними добавками (метакполін, мікрокремнезем) з отриманням стійких показників адгезії та водопоглинання. Зокрема при рівнях введення в склад суміші від 2 до 4 % активних добавок спостерігається підвищення міцності адгезії сухої будівельної ремонтної суміші на 15-25% (до показників 1,3 – 1,6 МПа) в порівнянні з контрольним складом, а також суттєве зниження, на рівні до 30% капілярного водопоглинання.

1. Рунова Р. Ф., Носовський Ю. Л. Технологія модифікованих будівельних розчинів. Київ: КНУБіА, 2007. 256 с.

Runova R. F., Nosovskyi Yu. L. Tekhnolohiia modyfikovanykh budivelnykh rozchyniv. Kyiv: KNUBiA, 2007. 256 s.

2. Дворкін Л. Й., Дворкін О. Л., Пушкарьова К. К., Кочевих М. О., Мохорт М. А. Використання техногенних продуктів у будівництві. Рівне: НУВГП, 2009. 340 с.

Dvorkin L. Y., Dvorkin O. L., Pushkarova K. K., Kochevykh M. O., Mokhort M. A. Vykorystannia tekhnohennykh produktiv u budivnytstvi. Rivne: NUVHP, 2009. 340 s.

3. Дворкін Л.Й., Житковський В.В., Марчук В.В. Ефективні сухі будівельні суміші та розчини на їх основі: монографія. Київ: Каравела, 2024. 348с.

Dvorkin L.I., Zhytkovskyi V.V., Marchuk V.V. Efektyvni sukhi budivelni sumishi ta rozchyny na yikh osnovi: monohrafiia. Kyiv: Karavela, 2024. 348s.

4. Дворкін Л. Й. Бетони нового покоління / Л. Й. Дворкін, В. В. Житковський, О. М. Бордюженко, В. В. Марчук, Ю. О. Рубцова. НУБГП. 2021. 317 с.

Dvorkin L. Y. Betony novoho pokolinnia / L. Y. Dvorkin, V. V. Zhytkovskyi, O. M. Bordiuzhenko, V. V. Marchuk, Yu. O. Rubtsova. NUVHP. 2021. 317 s.

5. ДСТУ EN 1504-3:2022 «Вироби і системи для захисту й ремонту бетонних конструкцій. Визначення, вимоги, контроль якості та оцінювання відповідності. Частина 3. Ремонт несівних та ненесівних конструкцій» (EN 1504-3:2005, IDT).

DSTU EN 1504-3:2022 «Vyroby i systemy dlia zakhystu y remontu betonnykh konstruksii. Vyznachennia, vymohy, kontrol yakosti ta otsiniuvannia vidpovidnosti. Chastyna 3. Remont nesivnykh ta nenesivnykh konstruksii» (EN 1504-3:2005, IDT).

6. ДСТУ Б В.2.7-126:2011 «Будівельні матеріали. Суміші будівельні сухі модифіковані. Загальні технічні умови».

DSTU B V.2.7-126:2011 «Budivelni materialy. Sumishi budivelni sukhi modyfikovani. Zahalni tekhnichni umovy».

7. Дворкін Л.Й. Добавки у бетонах та розчинах: навчальний посібник. Київ: Каравела, 2025. 205с.

Dvorkin L.I. Dobavky u betonakh ta rozchynakh: navchalnyi posibnyk. Kyiv: Karavela, 2025. 205s.

8. ДСТУ EN 1542:2022 «Вироби та системи для захисту та ремонту бетонних конструкцій. Методи випробувань. Вимірювання міцності з'єднання відриванням» (EN 1542:1999, IDT).

DSTU EN 1542:2022 «Vyroby ta systemy dlia zakhystu ta remontu betonnykh konstruksii. Metody vyprobuvan. Vymiriuvannia mitsnosti ziednannia vidryvanniam» (EN 1542:1999, IDT).

9. ДСТУ EN 12190:2022 «Вироби та системи для захисту та ремонту бетонних конструкцій. Методи випробувань. Визначення міцності ремонтного розчину на стиск» (EN 12190:1998, IDT).

DSTU EN 12190:2022 «Vyroby ta systemy dlia zakhystu ta remontu betonnykh konstruksii. Metody vyprobuvan. Vyznachennia mitsnosti remontnoho rozchynu na stysk» (EN 12190:1998, IDT).

10. ДСТУ EN 13057:2022 «Вироби та системи для захисту та ремонту бетонних конструкцій. Методи випробувань. Визначення опору капілярному поглинанню» (EN 13057:2002, IDT).

DSTU EN 13057:2022 «Vyroby ta systemy dlia zakhystu ta remontu betonnykh konstruksii. Metody vyprobuvan. Vyznachennia oporu kapiliarnomu pohlynanniu» (EN 13057:2002, IDT).

11. ДСТУ Б В.2.7-187:2009 «Будівельні матеріали. Цементи. Методи визначення міцності на згин і стиск».

DSTU B V.2.7-187:2009 «Budivelni materialy. Tsementy. Metody vyznachennia mitsnosti na zghyn i stysk».

12. Гоц В. І. Бетони і будівельні розчини : підручник. К. : ТОВ УВПК «ЕксОб», К. : КНУБА, 2003. 472 с.

Hots V. I. Betony i budivelni rozchyny : pidruchnyk. K. : TOV UVPK «EksOb», K. : KNUBA, 2003. 472 s.