

## ПРОЕКТУВАННЯ СКЛАДІВ СУХИХ БУДІВЕЛЬНИХ СУМІШЕЙ З МІНЕРАЛЬНИМИ ДОБАВКАМИ

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

*Проаналізовані методи підбору складу сухих будівельних сумішей (СБС). Розроблений оптимальний склад СБС зі сталим вмістом цементу з використанням карбонатного заповнювача і мінерального мікронаповнювача. Досліджено фізико-механічні властивості будівельної суміші, приготованої на основі запроєктованого складу СБС, вплив на них різного кількісного та гранулометричного складу компонентів.*

*Проанализированы методы подбора состава сухих строительных смесей (ССС). Разработан оптимальный состав СССР с постоянным содержанием цемента с использованием карбонатного заполнителя и минерального микрозаполнителя. Исследованы физико-механические свойства строительной смеси, приготовленной на основе запроектированного состава СССР, влияние на них различного количественного и гранулометрического состава компонентов.*

*The methods of selecting dry building mixtures (DBM) have been analyzed. The optimal content of DBM with constant content of cement with carbon aggregate and mineral micro aggregate have been worked out. The physical and mechanical properties of building mixture, based on designed DBM content, being influenced by quantitative and metrical component content have been studied.*

В умовах зростання обсягів будівництва однією із головних задач, які поставлені перед українськими будівельними підприємствами, є створення великої кількості будівельних матеріалів, поліпшення їхньої якості та розширення номенклатури.

Зростаючий інтерес до готових розчинів потребує вирішення проблеми отримання сухих будівельних сумішей (СБС) та виробів на їхній основі із заданими властивостями.

Підвищення якості СБС та забезпечення її стабільності під час експлуатації призводить до потреби вдосконалення методів прогнозування та пошуку оптимальних складів якісно нової продукції. Сьогодні СБС повинна забезпечувати комплекс заданих властивостей безпосередньо сухої суміші, технологічні властивості розчинової суміші, будівельно-технічні властивості затверділого розчину. Тому актуальним є створення нових СБС із заданими показниками якості та мінімальними витратами, починаючи з вибору сировинних компонентів до підтвердження необхідних показників затверділого розчину.

Всебічний аналіз сировинної бази України свідчить про достатню наявність мінеральних в'язучих (портландцемент, вапно, гіпс), інертних заповнювачів (піски, карбонатні відходи та відходи промисловості), а також компонентів хімічних добавок для організації виробництва сухих сумішей широкою номенклатури.

### Основні методи проектування складів будівельних сумішей

Основним способом підбору складів будівельних сумішей залишається підбір співвідношення між в'язучим і заповнювачем за заданими фізико-механічними, технологічними та експлуатаційними властивостями. При цьому випробовуються зразки з різним співвідношенням в'язуче-заповнювач.

Підібравши в'язуче, проектують склад розчинової суміші. Під цим розуміється встановлення оптимального кількісного співвідношення складових суміші, що забезпечують задану надійність матеріалу в процесі експлуатації та економічну доцільність з урахуванням його призначення.

Існують два основних методи проектування складів розчинових сумішей: експериментальний (метод підбору рецептів) та розрахунково-аналітичний.

При експериментальному методі проектується ряд складів, в яких варіюється вміст компонентів. Після чого їх піддають лабораторним випробувань. При цьому склад, який задовольняє задані вимоги, вважається оптимальним. Оптимальний склад зумовлюється заданою

структурою, характеризується рівномірним розподілом заповнювача за обсягом, наявністю безперервної фази в'язучого.

В основі розрахунково-експериментального методу лежать теоретичні закономірності, які дозволяють проводити розрахунки за складом компонентів сумішей. Для визначення відповідності суміші пропонованим вимогам готуються кілька зразків: один – за розрахунковими формулами і три-чотири – з різними співвідношеннями в'язуче/заповнювач/вода. Зразки випробовують, отримані результати аналізують та роблять висновок про відповідність розчинової суміші пропонованим вимогам.

Проектування складів розчинових будівельних сумішей здійснюється в декілька стадій:

– вибір показників властивостей композиційних матеріалів, що визначаються умовами експлуатації матеріалу в споруді;

– визначення властивостей вихідних компонентів (заповнювачів, в'язучих, добавок) відповідно до існуючих ДСТУ;

– вибір виду в'язучого і добавок; виготовлення сумішей і зразків на основі заповнювачів, в'язучих і добавок та їх зберігання в необхідних умовах;

– випробування зразків відповідно до існуючих методик.

Склад розчинів встановлюють за емпіричними формулами на 1 м<sup>3</sup> заповнювача, а після експериментального уточнення перераховують на 1 м<sup>3</sup> розчину. До розрахунків необхідно випробувати вихідні матеріали і визначити активність в'язучого, його насипну густину, крупність заповнювача, середню густину неорганічної добавки-пластифікатора.

Для визначення складу будівельних розчинів застосовують емпіричну формулу міцності розчину у віці 28 діб тверднення у стандартних умовах [1], запропоновану М.А. Поповим:

$$R_p = \frac{R_b Q_b}{1000} (763 + 2,4 R_b Q_b - 0,002 R_b^2 Q_b^2), \quad (1)$$

де  $R_b$  – активність в'язучого, кгс/см<sup>2</sup>;

$Q_b$  – витрата в'язучого на 1 м<sup>3</sup> заповнювача, кг.

Кількість неорганічних пластифікаторів (вапняного чи глиняного тіста) на 1 м<sup>3</sup> піску визначають за формулою, м<sup>3</sup> [1]:

$$V_q = 0,17(1 - 0,0026Q_b), \quad (2)$$

де  $Q_b$  – витрата в'язучого на 1 м<sup>3</sup> заповнювача, кг.

Для розрахунку складу розчину складають пропорцію об'ємних частин, тобто відношення між об'ємами в'язучого, пластифікуючої добавки і заповнювача, при цьому об'єм в'язучого приймають за одиницю [1]:

$$1 : \frac{V_q}{V_b} : \frac{1}{V_b}. \quad (3)$$

Витрату в'язучого за об'ємом знаходять за формулою [2]:

$$V_b = \frac{Q_b}{\rho_b^{нас}}, \quad (4)$$

де  $Q_b$  – витрата в'язучого на 1 м<sup>3</sup> заповнювача, кг;

$\rho_b^{нас}$  – насипна густина в'язучого у насипному стані, кг/м<sup>3</sup>.

Витрата води на 1,0 м<sup>3</sup> заповнювача для одержання розчинної суміші заданої рухливості визначається за формулою [1]:

$$B = 0,5(Q_b + Q_d), \quad (5)$$

де  $Q_v$  – витрата в'язучого на  $1 \text{ м}^3$  заповнювача, кг;  
 $Q_d$  – витратанеорганічного пластифікатора на  $1 \text{ м}^3$  заповнювача, кг.  
 Фактичну витрату води уточнюють на пробних замісах при отриманні розчинової суміші необхідної рухомості.

### Експериментально-теоретична апробація фізико-механічних властивостей розчинових сумішей з мінеральними добавками

Метою експериментальної частини був підбір оптимального складу сухої будівельної суміші за сталого вмісту цементу (10 % від загальної маси) та дослідження властивостей будівельних сумішей, приготованих на основі карбонатного заповнювача (вапняковий порошок – ВП) і цементу з додаванням активних мінеральних пластифікуючих мікронаповнювачів (осадових гірських порід) у вигляді дисперсних порошків.

Тонкодисперсні мінеральні добавки вводять у розчинову суміш у кількості 5...30 % від маси цементу. Вони призначені для економії цементу і для підвищення щільності розчину при малій витраті цементу.

Добавки-наповнювачі у вигляді мінеральних порошків змелені до тонкості помолу цементу, при введенні в розчинову суміш підвищують її пластичність, зв'язаність, а в затверділому стані ущільнюють структуру цементного каменю, дозволяють зменшити витрату цементу.

Оптимальна концентрація і гранулометричний склад наповнювача забезпечує досягнення мінімальної усадки при твердненні за рахунок організації структури композита, що впливає на зниження росту тріщин в тверднучих дисперсних системах.

Дослідження показали, що найкращим наповнювачем до цементу є відсів подрібнення вапняку [3].

Була проведена серія експериментів з різними складами і вмістом компонентів, а саме: тонкістю помелу компонентів, їх кількісне співвідношення, умови та терміни зберігання та треднення.

До складу сухих сумішей на основі портландцементу і ВП додавалося різне процентне відношення мінерального мікронаповнювача, в якості якого використовувалась пластифікуюча добавка – глиняний порошок (ГП).

ГП вводився у склад сухих сумішей починаючи з 10 % відношення, вміст цементу і водоцементне В/Ц відношення залишалися сталими.

### Характеристика сировинних матеріалів, що використовувались

**Глини.** Головні хімічні компоненти глини:  $\text{SiO}_2$  (30-70 %),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (10-40 %),  $\text{H}_2\text{O}$  (5-10 %), крім того присутні  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (FeO),  $\text{TiO}_2$ , CaO, MgO,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ .

Фізичні властивості глин [4]:

1. Пластичність – здатність твердих тіл змінювати форму і розміри під дією зовнішніх сил без розривів суцільності і зберігати залишкову деформацію після зняття сил.

Пластичність характеризується числом пластичності [5]:

$$P = W_v - W_n, \quad (6)$$

де  $W_v$  – вологість на верхній межі, коли глина переходить з пластичного стану в рідкий, %;  
 $W_n$  – вологість на нижній межі, коли глина втрачає пластичність, %.

2. Властивості, що визначають гідростійкість глин: розмокання та набухання.

Розмокання оцінюється часом повного руйнування зразка глини у воді  $t_p$  при  $d_m/d_r=0$ .

Питоме набухання (Н) характеризує зміну висоти зразка відносно його первинного значення, в %:

$$H = 100 (h_1 - h_0) / h_0 = 100 * \Delta h / h_0, \quad (7)$$

де  $h_1$  – кінцева висота зразка;  
 $h_0$  – початкова висота зразка.

Глина була висушена в сушильній шафі до сталої маси, подрібнена механічним способом за допомогою бігунів, просіяна через сита № 1,25, № 0,63 та № 0,315.

**Вапняк та відходи виробництва вапняку.** Фізико-механічні властивості вапняку дуже неоднорідні, але мають пряму залежність від його структури і текстури. Істинна густина – 2,4-2,8 г/см<sup>3</sup>. Межа міцності при стиску коливається в межах 0,4-30 МПа [5]. Морозостійкість досягає 100-200 циклів.

Вапняк-черепашик мав насипну густину 800-1400 кг/м<sup>3</sup>, міцність при стиску 0,4-15 МПа.

Використання карбонатних відходів вапняку у виробництві сухих будівельних сумішей є достатньо широким у зв'язку з поширенням природного вапняку, наявністю великих запасів некондиційних вапнякових відходів у відвалах, високими технічними та еколого-економічними показниками властивостей матеріалів і виробів з нього.

У даній роботі був вибраний напрям по використанню відходів вапняку у виробництві сухих будівельних сумішей. Використовувались вапнякові відходи фракції до 5 мм, які характеризуються таким хімічним складом, мас %: CaCO<sub>3</sub> – 90,7-95,8; MgCO<sub>3</sub> – 1,4-4,3; SiO<sub>2</sub> – 0,4-1,15; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0,08-1,08.

Випробуваннями була встановлена марка вапнякового щебеню фракції 5-10 мм за дробимістю М-200, насипна щільність сухого вапнякового піску фракції 0-1,25 мм – 1350 кг/м<sup>3</sup>, істинна щільність 2,4 г/см<sup>3</sup>.

Вапняк подрібнювався в бігунах протягом 30-40 хв. і просіювався через сита з відбором фракцій 0,63; 1,25; 2,5; 5.

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

#### Підбір та проектування складу СБС з додаванням мінерального мікронаповнювача

Оскільки розрахувати оптимальний склад сухої будівельної суміші досить важко, то для досліджень був вибраний експериментальний метод проектування складів будівельних сумішей.

Досліди проводились з різними серіями складів за процентним вмістом компонентів і їх гранулометричним складом. Були визначені та досліджені три склади сухих будівельних сумішей за процентним вмістом компонентів (таблиця 1). Склади сумішей за тонкістю помелу компонентів наведені в таблиці 2.

Таблиця 1

Склади сухих будівельних сумішей за % вмістом компонентів

Номер складу СБС	Склад, %		
	Вапняковий	Глиняний	Портландцемент
1	80	10	10
2	70	20	10
3	60	30	10

Таблиця 2

Склади сухих будівельних сумішей за тонкістю помелу

Номер складу СБС	Склад, № сита	
	Вапняковий порошок (ВП)	Глиняний порошок (ГП)
1	1,25	1,25
2	0,63	0,63
3	0,315	0,315
4	1,25	0,63
5	1,25	0,315
6	0,63	0,315
7	5	0,315
8	2,5	0,315
9	5	0,63
10	2,5	0,63

У ході досліджень кількість складів було зменшено до 20, оскільки деякі склади не дали потрібних результатів і подальша варіація з кількісним вмістом компонентів була недоцільна.

**Результати експериментальних випробувань та визначення оптимального складу СБС**

Водоцементне відношення сумішей складає 0,35-0,45. Зразки-балочки витримували 7 діб у формі при нормальних умовах (температура 20±2 °С і відносна вологість повітря 50-60 %). Потім діставали і зберігали при 96-100 % вологості. Випробування проводили через 14 та 28 діб з моменту виготовлення. Результати випробувань відображені у таблиці 3. Кінцевою метою було отримання марки розчину М 50 за сталого вмісту цементу (10 % від загальної маси компонентів), незмінному В/Ц відношенні, максимального вмісту мінерального наповнювача (60 % глиняного порошку). Із 20 серій досліджуваних складів оптимальними виявились склади 9-11.

Таблиця 3

**Фізико-механічні властивості оптимальних складів СБС**

Номер складу СБС	Показники				
	$\rho_m$ , кг/м <sup>3</sup>	$R_{зг}$ , МПа у віці 14 діб	$R_{зг}$ , МПа у віці 28 діб	$R_{ст}$ , МПа у віці 14 діб	$R_{ст}$ , МПа у віці 28 діб
9	1809	1,80	2,10	3,00	6,98
10	1800	1,90	2,10	3,64	7,03
11	1810	1,90	2,10	4,03	7,08

Характеристику матеріалу визначали за міцністю на стиск і згин.

Залежність фізико-механічних властивостей складів СБС гранулометрії та від процентного вмісту компонентів показана на рис. 1-3.

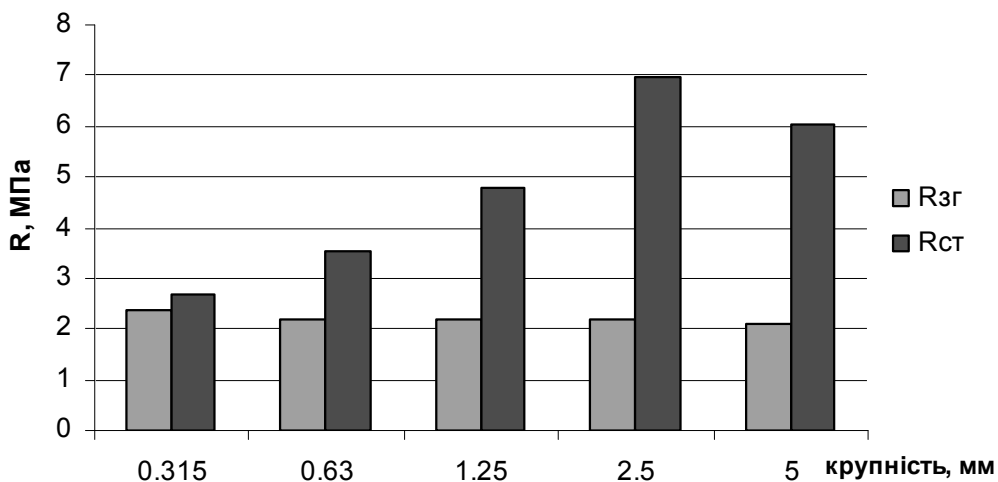


Рис. 1. Зміна міцнісних характеристик складів СБС у залежності від крупності ВП

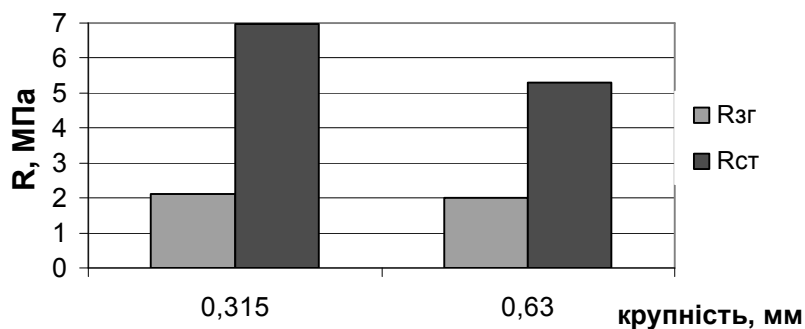


Рис. 2. Зміна міцнісних характеристик складів СБС у залежності від крупності ГП

При збільшенні крупності вапнякового порошку до 2,5 мм міцність зразків на стиск зростає; при збільшенні крупності глиняного порошку до 0,63 мм міцність зразків на стиск спадає. Міцність на згин найбільша при крупності компонентів суміші 0,315 мм.

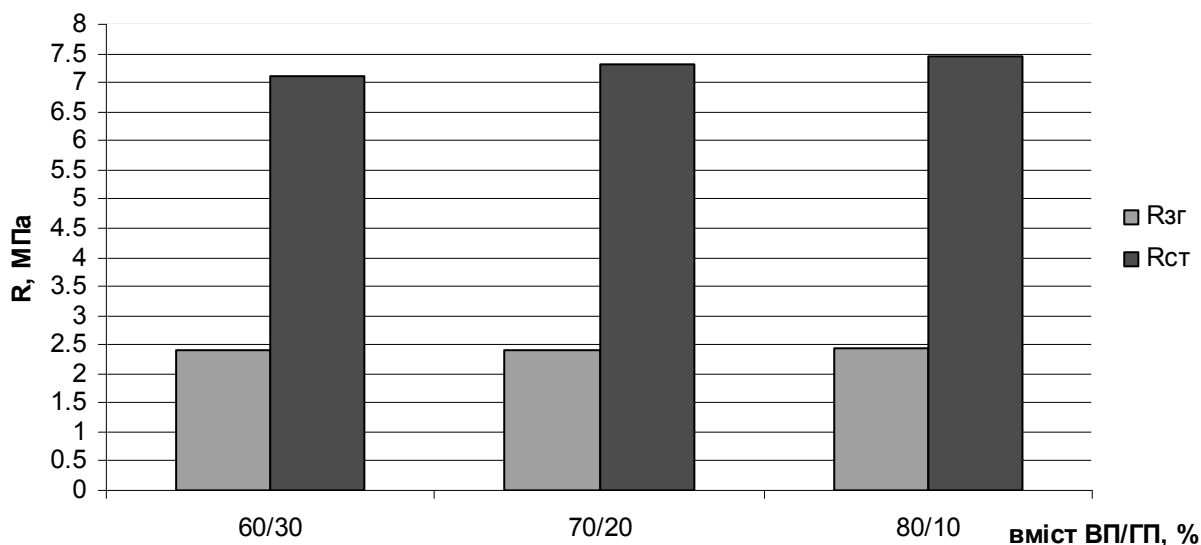


Рис. 3. Зміна фізико-механічних властивостей залежно від кількісного вмісту компонентів СБС

Із збільшенням кількісного вмісту вапнякового порошку до 30 % міцність зразків на стиск збільшується. Це пояснюється відносною інертністю глини в хімічних реакціях. Мінеральні добавки прискорюють тверднення на ранніх етапах набору міцності. У віці 28 днів міцність зразків на стиск практично однакова. Збільшення вмісту мікронаповнювача знижує міцність, але на незначну величину. Це дозволяє економити в'язуче і заповнювач. Висока міцність на згин свідчить про позитивний вплив пластичних властивостей глини на розчинові суміші.

### Висновки

- Проаналізовано методи підбору складу СБС, з яких для проведення досліджень застосували розрахунково-експериментальний. Встановлено оптимальне кількісне співвідношення компонентів проектованої СБС.
- Визначено основні серії складів СБС на основі карбонатного заповнювача та мінерального мікронаповнювача (глиняний порошок) за процентним вмістом компонентів і їх гранулометричним складом. Досліджено вплив кількісного співвідношення компонентів та їх гранулометрії на фізико-механічні властивості розчину, приготованого на основі запроєктованої сухої суміші. Встановлено, що зі збільшенням вмісту глиняного порошку міцність на стиск падає, але зростає міцність на згин, а зі збільшенням крупності заповнювача починає зростати міцність на стиск, міцність на згин починає зменшуватись.
- Встановлено, що при використанні складу із більшою крупністю заповнювача і меншою наповнювача міцність зростає. Експериментально визначено, що склади із крупністю заповнювачів 0,315 мм і 0,63 мм не дають зразкам потрібної міцності. Склади із крупністю заповнювача 1,25 мм не дають потрібної міцності, але наближаються до неї. Це дає можливість використати ці склади, модифікувавши їх добавкою, для отримання марки розчину М 50. Поєднання крупності карбонатного заповнювача 2,5 мм і мінерального наповнювача 0,315 мм дає міцність на стиск у віці 28 діб вищу, ніж 5 МПа. Міцність на згин залишається сталою. Отже, даний склад можна використовувати в подальшому для отримання розчинів з маркою вищою, ніж М 50 при модифікації їх добавками.
- Розроблений оптимальний склад СБС зі сталим вмістом цементу з використанням карбонатного заповнювача і мінерального мікронаповнювача (глиняний порошок), що дає можливість отримати будівельні суміші М 50 і вище. Оптимальні склади: ВП – 2,5 мм, ГП – 0,315 мм та ВП – 5 мм, ГП – 0,315 мм.
- Досліджено фізико-механічні властивості будівельної суміші, приготованої на основі

визначеного оптимального складу СБС. У віці 28 діб міцність складає:  $R_{ct}=7,08$  МПа,  $R_{зг}=2,1$  МПа. Середня густина суміші  $\rho_m=1810$  кг/м<sup>3</sup> при В/Ц=0,35. Встановлено, що при збереженні середньої густини і сталого водоцементного відношення для оптимального складу СБС, міцність підвищується.

#### Використана література

1. Гоц В. І. Бетони і будівельні розчини [Підруч. для студ. спец. «Технологія будівельних конструкцій, виробів і матеріалів» вищих навч. закл.] / Володимир Іванович Гоц. – К.: КНУБА, 2003. – 472 с.: іл., табл. – Бібліогр.: с. 464-466. – ISBN 966-7769-22-4, ISBN 966-627-069-2.
2. Попов Л. Н. Строительные материалы и изделия: Учебник. / Попов Л. Н., Попов Н. Л. – Гос. предпр. – Центр проектной продукции массового применения, 2009. – 348 с. – ISBN: 978-5-88111-219-6.
3. Дергунов С. А. Проектирование составов сухих строительных смесей общестроительного назначения / Дергунов С. А. // Строительные материалы. – 2007. – № 10. – С. 9-12.
4. Самилін В. Спеціальні методи збагачення корисних копалин / Валерій Самилін, Володимир Білецький. – Донецьк: Східний видавничий дім, 2003. – 116 с. – ISBN 966-7804-58-5.
2. Мала гірнича енциклопедія: в 3-х т. / за ред. В. С. Білецького. – Донецьк: «Донбас», 2004. – ISBN 966-7804-14-3.
3. Дворкін Л. Й. Бетони і будівельні розчини: Підручник / Дворкін Л. Й., Дворкін О. Л. – К.: Основа, 2008. – 448 с.: іл. – ISBN 978-966-699-413-7.
4. Сухие смеси в современном строительстве / [В. А. Безбородов, В. И. Белан, П. И. Мешков, Е. Г. Нерадовский, С. А. Петухов.; под редакцией д.т.н. профессора В.И. Белана]. – Новосибирск, 1998. – 304 с.
5. Корнеев В. И. Словарь «Что» есть «что» в сухих строительных смесях: Терминологический словарь / Корнеев В.И., Зозуля П.В. – СПб.: НП «Союз производителей сухих строительных смесей», 2004. – 312 с.: ил. – ISBN 5-9900235-1-0.
6. Гонтарь Ю. В. Модифицированные сухие смеси для отделочных работ / Гонтарь Ю.В. // Строит. материалы. – 2001. – № 4. – С. 8-10.
7. Дергунов С. А. Проектирование составов сухих строительных смесей / С. А. Дергунов, В. Н. Рубцова // Известия вузов. Строительство. – 2005. – № 11-12. – С. 34-36.

**Очеретний Володимир Петрович** – к.т.н., доцент кафедри містобудування та архітектури Вінницького національного технічного університету.

**Смоляк Володимир Вікторович** – кандидат архітектури, старший викладач кафедри містобудування та архітектури Вінницького національного технічного університету.

**Ковальський Віктор Павлович** – к.т.н., старший викладач кафедри містобудування та архітектури Вінницького національного технічного університету.

**Бондар Альона Василівна** – магістрант кафедри містобудування і архітектури Вінницького національного технічного університету.