

**ПІДВИЩЕННЯ АДГЕЗІЙНОЇ МІЦНОСТІ РЕМОНТНИХ СУМІШЕЙ
НА ОСНОВІ ГІПСОЦЕМЕНТНОШЛАКОВОГО В'ЯЖУЧОГО**

**INCREASING THE ADHESION STRENGTH OF REPAIR MIXTURES
BASED ON GYPSUM-CEMENT-SLAG BINDING AGENT**

Дворкін Л.Й., д.т.н., професор, ORCID: 0000-0001-8759-6318, Марчук В.В., к.т.н., доцент, ORCID: 0000-0003-0999-0402, Левчик О.О., аспірант, (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

Dvorkin L.J., doctor of technical sciences, professor, ORCID: 0000-0001-8759-6318, Marchuk V.V., candidate of technical sciences, associate professor, ORCID: 0000-0003-0999-0402, Levchyk O.O., graduate student, (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

У статті досліджено можливість підвищення адгезійної міцності швидкоотверднучих ремонтних сумішей отримання на основі основі гіпсоцементношлакового в'язучого з використанням різних марок гіпсу за міцністю. Встановлено вплив факторів складу суміші на міцність зчеплення з двома основами, щільною бетонною та пористою керамічною. За допомогою математичного планування експериментів отримано комплекс поліноміальних моделей міцності зчеплення з досліджуваними основами. На основі побудованих моделей проведено аналіз впливу факторів складу на адгезійну міцність.

The article examines the possibility of obtaining fast-hardening dry repair mixtures based on gypsum-cement-slag binder. It also explores the possibility of increasing the adhesive strength of fast-hardening repair mortars based on these binders using gypsum of varying strengths.. During its lifecycle, almost all concrete and reinforced concrete structures and are exposed to aggressive environments, seismic, shock and other destructive effects that can cause damage and destruction of building structures, which leads to high demand of methods and materials for their restoration and protection from aggressive environments. This article examines the influence of mixture composition factors on the adhesion strength to two substrates—dense concrete and porous ceramic—is determined. Using mathematical design of experiments, a set of polynomial models of adhesion strength to the substrates under study is developed. Based on the resulting models, an analysis of the influence of compositional factors on adhesion strength is conducted. In the conditions of post-war reconstruction and restoration of the general infrastructure in

Ukraine, the use of fast-setting dry repair mixtures allows faster and more efficient restoration of damaged buildings and structures. This contributes to the improvement of living conditions and the recovery of the country's economy.

Ключові слова:

Ремонтні суміші, будівельний гіпс, портландцемент, доменний шлак, гіпсоцементношлакове в'язуче, адгезія.

Repair mixtures, fast curing, building plaster, Portland cement, blast furnace slag, gypsum-cement-slag binder, adhesion.

Вступ. Експлуатація будівель і споруд передбачає вплив руйнівних факторів, зокрема дію агресивного середовища, ударних, сейсмічних та інших впливів. А також військові дії на території України призвели до пошкодження та руйнування будівельних конструкцій. Необхідність у ремонті та захисті бетонних, залізобетонних та цегляних конструкцій визначається умовами їх експлуатації та строком служби матеріалів, з яких вони виготовлені. Технологічно проведення ремонтних робіт і твердіння ремонтних композитів є значно складнішим процесом, ніж під час нового будівництва. Тому такі суміші повинні характеризуватися високою технологічністю, зручністю нанесення, мінімальною усадкою, швидким набором міцності, високими адгезійними та міцнісними показниками [1, 2].

Аналіз останніх досліджень. Важливою задачею при модифікуванні будівельних розчинів є покращення їх адгезійної здатності. Існує ряд способів підвищення адгезійної міцності та відповідно клеючої здатності розчинових сумішей. Один з них ґрунтується на концепції збільшення дисперсності в'язучого, забезпечуючи більш повну його гідратацію [4]. Адгезійна міцність ремонтних розчинів знаходиться в складній залежності від багатьох факторів, в тому числі і від їх міцності при стиску. Підвищення міцності розчинів зазвичай досягають підвищенням активності в'язучого за рахунок домелу і зменшенням водо-в'язучого відношення.

В даний час для ремонту і захисту конструкцій знаходять все більшого застосування матеріали на мінеральній основі. Одним з найбільш відомих представників швидкотверднучих в'язучих речовин є будівельний гіпс [5]. Однак він має суттєвий недолік - низьку водостійкість затверділого каменю, також значно знижується морозостійкість і спостерігається висока повзучість виробів. Усі ці негативні властивості унеможливають використання гіпсових в'язучих у вологих умовах, роблять їх не досить ефективними, що суттєво обмежує область їх використання [6]. Ефективним рішенням даних недоліків є використання гіпсоцементношлакових в'язучих (ГЦШВ) [7 8]. Перевагами даного в'язучого є здатність до швидкого твердіння та набору міцності (через 2-4 години після виготовлення вони набувають до 35% марочної міцності) і водостійкість при достатній міцності при стиску (понад 20 МПа), що робить

ГЦШВ досить ефективним. Суміші на основі такого в'язучого мають такі ж пружно-пластичні властивості, що і бетони на основі портландцементу та можуть використовуватись в несучих конструкціях [8, 9]. Завдяки своїм перевагам ГЦШВ можуть використовуватися як основа для створення швидкотверднучих ремонтних сумішей. Підбір компонентів для таких сумішей зумовлений необхідністю забезпечення швидкого набору міцності на початкових етапах твердіння завдяки дії гіпсового в'язучого та суперпластифікатора, а також подальшого зміцнення структури внаслідок процесів твердіння портландцементу та шлаку на пізніших стадіях.

Таким чином в умовах післявоєнної відбудови та відновлення інфраструктури в Україні, використання швидкотверднучих ремонтних сумішей з підвищеною адгезійною міцністю до основи дасть змогу швидше та ефективніше відновлювати пошкоджені будівлі та споруди, що сприятиме покращенню якісних та кількісних показників виконання ремонтних робіт та пришвидшить відновлення країни. А розробка та використання швидкотверднучих сухих ремонтних сумішей з підвищеною адгезійною міцністю є актуальною на даний час.

Мета роботи полягала у дослідженні адгезійної здатності (міцності) швидкотверднучих сухих будівельних сумішей на основі ГЦШВ, що використовуються для ремонту будівель і споруд.

В якості вихідних матеріалів в даній роботі були використані: портландцемент ПЦ-П/А-Ш-500 Р-Н (ДСТУ Б В.2.7-46:2010) ПАТ «Віпцемент»; гіпс будівельний Г-5 Н-П, Г-10 Н-IV (ДСТУ Б В.2.7-82:2010), Кам'янець Подільського АТ «ГПКСОВИК»; мелений доменний гранульований шлак (ДГШ) (ДСТУ EN 934-2:2019) Криворізького комбінату, питома поверхня меленого шлаку - 320...350 м²/ кг; заповнювач – кварцовий пісок Нетішинського родовища з Мкр=1,95 та вмістом пилюватих та глинистих домішок 1,0%; суперпластифікатор полікарбоксилатного типу MELFLUX 2651 F.

Методика досліджень. Для проведення досліджень були використані методи математичного планування експериментів. Для цього були виконані алгоритмізовані експерименти відповідно до трирівневого трьохфакторного плану другого порядку В₃, а отримані результати дослідів оброблялися за допомогою методів математичної статистики [10]

Для дослідження адгезійної міцності згідно ДСТУ Б В.2.7-126-2011, було обрано дві різні основи бетонна - щільна та керамічна - пориста. У якості бетонної поверхні використали стандартні зразки куби розмірами 10х10х10 см з бетону класу В20. Як керамічну основу використали керамічну цеглу рядову повнотілу М100. Для дослідження адгезійної міцності на бетонну та керамічну поверхню було нанесено шар суміші розмірами 50х50 мм, товщиною 5 мм. Зразки зберігали в нормальних умовах, після цього на них приклеювали металеві відривачі. Випробування проводилися шляхом відриву в напрямку перпендикулярно до поверхні у віці 1 доби та 28 діб.

Отримані результати та обговорення. Для дослідження ремонтних сумішей було реалізовано серію експериментів відповідно до плану В₃ [10] за умов планування наведених в табл. 1.

Таблиця 1.

Умови планування експериментів

№	Фактори		Рівні варіювання			Інтервал
	Кодований вид	Натуральний вид	-1	0	+1	
1	X ₁	Міцність гіпсу, (R _r) МПа	5	10	15	5
2	X ₂	Відношення в'язучого до заповнювача, (Вяз/Зап)	0,33	0,5	0,67	0,17
3	X ₃	В/В'ЯЖ	0,6	0,5	0,4	0,1

В'язуче виготовляли шляхом змішування будівельного гіпсу - 60 %, з міцністю відповідно до матриці планування (табл. 1), портландцементу - 20%, меленого доменного гранульованого шлаку - 20%. Для регулювання термінів тужавлення до складу суміші вводили сповільнювач тужавлення – винну кислоту, у кількості 0,2% від маси гіпсу. Для забезпечення необхідного водов'язучого та однакової рухомості в розчинової суміші вводили СП.

У ході досліджень в кожній точці виготовляли розчини на основі ГЦШВ з вмістом компонентів згідно умов планування та визначали адгезійну міцність.

Після обробки та статистичного аналізу отриманих даних були побудовані математичні моделі міцності зчеплення з основою у віці 1 доби та 28 діб, які представлені в кодованому вигляді та наведені нижче.

З бетонною основою:

$$f_{adh.}^{1\text{ con}} = 0,4 + 0,133 \cdot X_1 + 0,045 \cdot X_2 + 0,098 \cdot X_3 - 0,068 \cdot X_1^2 + 0,018 \cdot X_2^2 - 0,056 \cdot X_3^2 + 0,01 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,015 X_1 \cdot X_3 + 0,005 \cdot X_2 \cdot X_3 \quad (2)$$

$$f_{adh.}^{28\text{ con}} = 1,03 + 0,274 \cdot X_1 + 0,137 \cdot X_2 + 0,12 \cdot X_3 - 0,005 \cdot X_1^2 + 0,02 \cdot X_2^2 - 0,034 \cdot X_3^2 + 0,095 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,325 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,05 \cdot X_2 \cdot X_3 \quad (3)$$

З керамічною основою:

$$f_{adh.}^{1\text{ cer}} = 0,61 + 0,193 \cdot X_1 + 0,118 \cdot X_2 + 0,109 \cdot X_3 - 0,07 X_1^2 + 0,025 \cdot X_2^2 - 0,059 \cdot X_3^2 + 0,073 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,013 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,008 \cdot X_2 \cdot X_3 \quad (4)$$

$$f_{adh.}^{28}_{cer} = 1,7 + 0,399 \cdot X_1 + 0,192 \cdot X_2 + 0,091 \cdot X_3 - 0,113 X_1^2 + 0,031 \cdot X_2^2 -$$

$$(5)$$

$$- 0,043 \cdot X_3^2 + 0,158 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,033 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,023 \cdot X_2 \cdot X_3$$

Аналіз отриманих моделей показує, що у діапазоні варіювання досліджуваних факторів міцність зчеплення розчину з цегляною основою у віці 28 діб, коливається в досить широких межах від 1,05 МПа до 2,51 МПа, а бетонною - 0,61...1,72 МПа, що відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-126:2011 для ремонтних розчинів і виготовлених на основі мінеральних в'язучих (РМЗ) окрім точок 6, 7, 8 для зразків, які були приклеєні до бетоної основи. За впливом на величину адгезійної міцності варійовані фактори можна розмістити у наступний спадаючий ряд: $R_r > B/Зап > B/В'яз$. Слід відмітити значний вплив ефектів взаємодії досліджуваних факторів, як міцність гіпсу та відношення в'язучого до заповнювача, міцність гіпсу та водов'язучого відношення. Очевидно, що досягнення високої як ранньої так і у віці 28 діб міцності зчеплення розчинів з основою можливе при відповідній оптимізації складів ремонтних сумішей. Графічні залежності адгезійної міцності до бетонної та керамічної основи швидкотверднучих ремонтних розчинів на основі гіпсоцементношлакового в'язучого від факторів складу у віці 1 наведені на рис.1, а 28 діб на рис.2. Міцність зчеплення розчину з керамічною основою у порівнянні з бетонною є більшою на 35-40%. Це пояснюється тим, що зчеплення краще за рахунок наявності відкритих пор на поверхні цегли та кращій змочуваності поверхні.

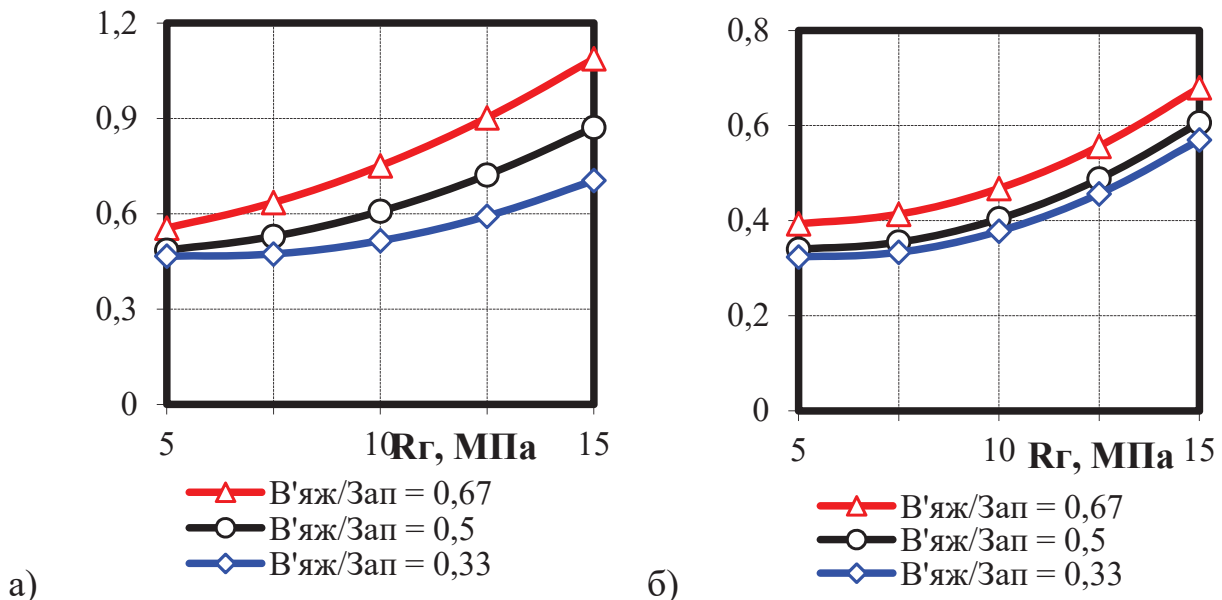


Рис.1. Графічна залежність міцності зчеплення розчинів з керамічною (а) та бетонною (б) основами у віці 1 доби, від досліджуваних факторів (X_1 – марка гіпсу; X_2 – відношення в'язучого до заповнювача, X_3 – $B/В'яз$).

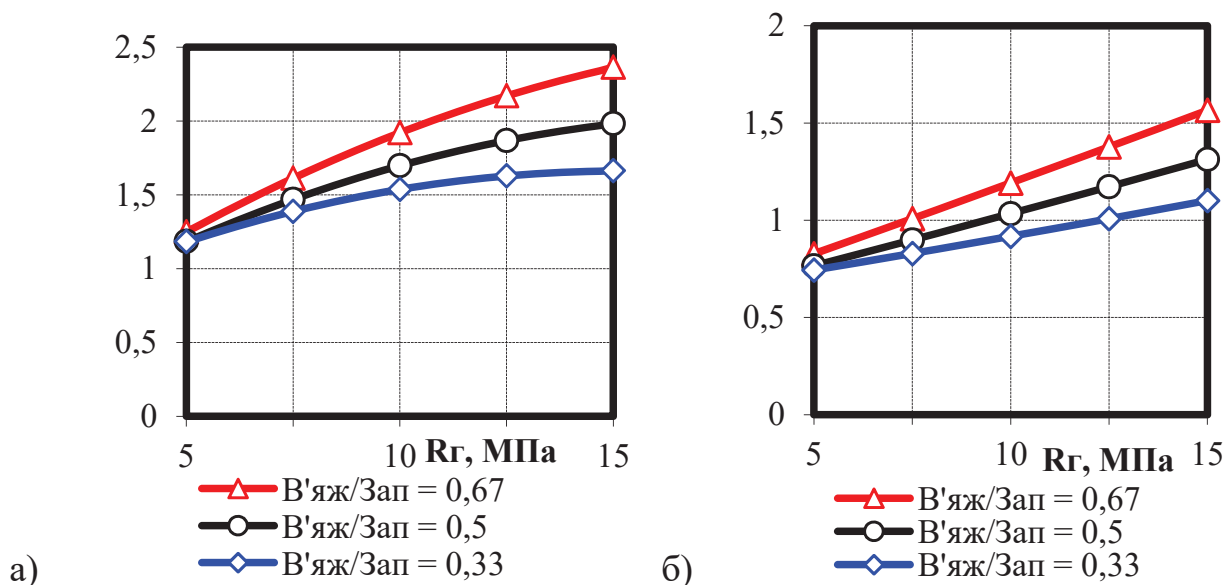


Рис.2. Графічна залежність міцності зчеплення розчинів з з керамічною (а) та бетонною (б) основами у віці 28діб, від досліджуваних факторів.

Таким чином проведені дослідження підтвердили можливість отримання на основі ГЦШВ ремонтних сумішей, при замішуванні з водою утворюється пластичне тісто, яке добре піддається нанесенню на поверхню, що ремонтується. Слід відмітити, що суміші на основі ГЦШВ в яких було використано гіпс з міцністю 15 МПа, що отримували домелом будівельного гіпсу Г10 має підвищену міцність зчеплення розчину з основою.

При використанні ГЦШВ можна отримати адгезійну міцність у віці 28 діб понад 1,3 МПа для бетонної основи та понад 2,0 МПа для керамічної.

Суміші на основі ГЦШВ в яких було використано гіпс з міцністю 15 МПа, що отримували домелом будівельного гіпсу Г10 має підвищену міцність зчеплення розчину з основою.

Висновки.

Доведена можливість отримання швидкотверднучих ремонтних сумішей на основі ГЦШВ з підвищеною міцності зчеплення розчинів з основами.

Суміші на основі ГЦШВ в яких було використано гіпс з міцністю 15 МПа, що отримували домелом будівельного гіпсу Г10 має підвищену міцність зчеплення розчину з основою.

В/В'яз стає більш вагомив у віці 28 діб, що пов'язано з активізацією процесів структуроутворення при твердінні портландцементу та шлаку

1. Дворкін ЛІ. Бетони нового покоління / Л.І. Дворкін, В.В. Житковський, О.М. Бордюженко, В.В. Марчук, Ю.О. Рубцова. НУВГП. 2021. 317 с.

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

2. ДСТУ Б В.2.7.126:2011 Суміші будівельні сухі модифіковані. Загальні технічні умови.

DSTU B V.2.7.126:2011 Sumishi budivelni sukhi modyfikovani. Zahalni tekhnichni umovy.

3. Дворкін, Л. Й. Адгезійна здатність будівельних розчинів з пиловидним гранітним наповнювачем / Л.Й. Дворкін, Л. В.В. Житковський, В. В. Марчук, С.С. Стрихарчук // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. 2015 (4(72)). pp. 345-352.

Dvorkin, L. Y. Adheziina zdatnist budivelnnykh rozchyniv z pylovydnyim hranitnym napovniuvachem / L.I. Dvorkin, L. V.V. Zhytkovskyi, V. V. Marchuk, S.S. Strykharchuk // Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia. 2015 (4(72)). pp. 345-352.

4. Саницький М.А. Модифіковані композиційні цементи: навч. посібник/М.А. Саницький, Х.С. Соболю, Т.С. Марків//Львів: Видавництво ЛПІ, 2010. -132 с.

Sanytskyi M.A. Modyfikovani kompozytsiini tsementy: navch. posibnyk/M.A. Sanytskyi, Kh.S. Sobol, T.S. Markiv//Lviv: Vydavnytstvo LP, 2010. -132 s.

5. Kersh V.Ya, Adhesive ability of gypsum-containing plaster compositions / V. Ya. Kersh, D.V. Levytskyi, S.A. Tihoniuk, A.V. // Foshch Modern construction and architecture, 2024, №. 9, p. 55-61.

6. Дворкін, Л., Житковський, В., Степасюк, Ю., Марчук, В.В. Ефективні будівельні розчини для 3d-принтера. Будівельні матеріали та вироби, (1-2(101), 16–21.

Dvorkin, L., Zhytkovskyi, V., Stepasiuk, Yu., Marchuk, V.V. Efektyvni budivelni rozchyny dlia 3d-pryntera. Budivelni materialy ta vyroby, (1-2(101), 16–21.

7. Huaqiang Sun, Jueshi Qian, Yalun Yang, Chuanhe Fan, Yanfei Yue, Optimization of gypsum and slag contents in blended cement containing slag, Cement and Concrete Composites, Volume 112, 2020.

8. Caijun Shi, A. Fernández Jiménez, Angel Palomo, New cements for the 21st century: The pursuit of an alternative to Portland cement, Cement and Concrete Research, Volume 41, Issue 7, 2011, p. 750-763.

9. Xiaobing Yang, Zepeng Yan, Weiguang Li, Leiming Wang, Shenghua Yin. Effect of Slag Gypsum Binder as a Substitute to Cement on the Stability of Backfill Mining. Frontiers in Materials. 9. 2022.

10. Дворкін Л.Й. Розв'язування будівельно-технологічних задач методами математичного планування експерименту/Дворкін Л.Й., Дворкін О.Л., Житковський В.В. - Рівне: НУВГП, 2011- 174 с.

Dvorkin L.I. Rozviazuvannia budivelno-tekhnologichnykh zadach metodamy matematychnoho planuvannia eksperymentu/Dvorkin L.I., Dvorkin O.L., Zhytkovskyi V.V. - Rivne: NUVHP, 2011- 174 s.