

ШВИДКОТВЕРДНУЧІ РЕМОНТНІ СУМІШІ

FAST-SETTING REPAIR MORTAR

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

У статті досліджено можливість отримання швидкотверднучих сухих ремонтних сумішей на основі гіпсоцементношлакового в'язучого з використанням різних марок гіпсу за міцністю. Встановлено вплив факторів складу суміші на кінетику набору набору міцності ремонтних сумішей. За допомогою математичного планування експериментів отримано комплекс поліноміальних моделей властивостей ремонтних сумішей. На основі моделей проведено аналіз впливу факторів складу на основні міцнісні характеристики розчинів.

The article examines the possibility of obtaining fast-hardening dry repair mixtures based on gypsum-cement-slag binder. 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. 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. The development and use of modern dry repair mixtures is an important step towards the effective restoration and modernization of the construction infrastructure of Ukraine. The paper analyzes the use of different grades of gypsum in repair mixtures, the ratio of gypsum-cement-slag binder and aggregate, as well as the water-binding ratio. With the help of mathematical planning of experiments, polynomial models of compressive and bending strength of repair mixtures at the age of 2 hours, 1

day and 28 days were obtained. Based on the obtained models, the influence of composition factors of repair mixtures on the studied properties was analyzed.

Ключові слова: Ремонтні суміші, будівельний гіпс, портландцемент, доменний шлак, гіпсоцементношлакове в'язуче.

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

Вступ. Під час експлуатації практично всі конструкції і споруди (бетонні, залізобетонні, цегляні та ін.) піддаються впливу агресивних середовищ, ударних, сейсмічних та інших руйнівних впливів, а також військові дії на території України зумовлюють пошкодження і руйнування будівельних конструкцій [1]. Необхідність ремонту і захисту бетонних конструкцій визначається умовами експлуатації і термінами служби матеріалів з яких вони виготовлені. Умови для проведення ремонтних робіт і твердіння таких композитів значно складніші, ніж при новому будівництві, тому такі суміші повинні мати хорошу технологічність та зручність нанесення, мінімальну усадку, швидкий набір міцності, високу адгезією до основи, достатні деформаційні характеристиками [1, 2].

Аналіз останніх досліджень. В теперішній час для ремонту і захисту конструкцій знаходять все більшого застосування матеріали на мінеральній основі за рахунок їх переваг перед матеріалами на органічному в'язучому [1, 3]. Серед переваг мінеральних матеріалів слід відзначити високу міцність при стиску та згині, морозостійкість, адгезію, простоту застосування і технологію нанесення. Однак суміші на мінеральній основі мають ряд недоліків: довготривалий догляд за сумішшю, що призводить до надлишкових трудових і енергетичних витрат, складності їх використання при термінових ремонтних роботах.

Найбільш відомим представником швидкотверднучих в'язучих речовин, які наявні в будівельній промисловості є будівельний гіпс. Проте основною проблемою даних в'язучих є низька водостійкість затверділого каменю, також значно знижується морозостійкість і спостерігається висока повзучість виробів. Усі ці явища унеможливають використання гіпсових в'язучих у вологих умовах, роблять їх не досить ефективними, що суттєво обмежує область їх використання [4, 5]. Одним з найбільш ефективних рішень в цьому напрямку можна вважати розробку гіпсоцементношлакових в'язучих (ГЦШВ), що виконана під керівництвом О.В. Волженського [5, 6]. Перевага розробки полягає в отриманні в'язучого, яке поєднує позитивні властивості будівельного гіпсу (здатність до швидкого твердіння та набору міцності) і портландцементу (водостійкість та міцність). Основними перевагами цього в'язучого є: здатність до гідравлічного тверднення в вологому і сухому середовищах; така ж швидкість тужавлення і твердіння як і будівельного гіпсу. На відміну від виробів на основі портландцементу вироби на основі

ГЦШВ часто не потребують тепловологої обробки, оскільки через 2-4 год. після виготовлення набувають до 30-35% кінцевої міцності. Це, безумовно, робить ГЦШПВ 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 [7...9]. Це є досить ефективним, особливо тоді, коли вимоги до міцності не надто високі. Важливою позитивною якістю ГЦШВ є його сульфатостійкість, що визначає можливість використання цього в'язучого в умовах відповідного агресивного середовища.

Дані переваги дозволяють використовувати ГЦШВ як в'язучі для виготовлення швидкотверднучих ремонтних сумішей. Великий комплекс експериментальних досліджень, щодо отримання швидкотверднучих водостійких в'язучих на основі будівельного гіпсу виконано А.В. Ферронською. Вибір компонентів для виготовлення швидкотверднучих сумішей пояснюється необхідністю забезпечення швидкого зростання міцності в початковий період твердіння за рахунок дії гіпсового в'язучого і суперпластифікатора, а в більш пізньому віці - процесів структуроутворення при твердінні портландцементу та шлаку.

Актуальність. Таким чином в умовах післявоєнного та загального відновлення інфраструктури в Україні, використання швидкотверднучих ремонтних сумішей дозволить швидше та ефективніше відновлювати пошкоджені будівлі та споруди використовуючи промислові відходи. Це сприяє пришвидшенню ремонтних робіт та відновленню економіки країни. А розробка і використання сучасних сухих ремонтних сумішей є критично важливим кроком на шляху до ефективного відновлення і модернізації будівельної інфраструктури України, що є актуальним на даний час.

Мета роботи полягала у дослідженні швидкотверднучих сухих будівельних сумішей, які можна використати для ремонту та відновлення будівель і споруд на основі гіпсоцементношлакових в'язучих.

В якості вихідних матеріалів даного дослідження були використані: портландцемент ПЦ-П/А-Ш-500 Р-Н виробництва ПАТ «Волинь-цемент» згідно ДСТУ Б В.2.7-46, гіпс будівельний Г-5 Н-ІІ, Г-10 Н-ІV, Кам'янець Подільського АТ «ГІПСОВИК» та Г-16 Ш ІV ТМ «Feroma Candle» В якості мінеральної добавки використали мелений доменний гранульований шлак Криворізького металургійного комбінату. Як заповнювач використовували кварцовий пісок Нетішинського родовища з $M_{кр}=1,95$ та вмістом пилуватих та глинистих домішок 1,0%. У якості хімічної добавки використано суперпластифікатор полікарбонатного типу MELFLUX 2651 F.

Методика досліджень та отримані результати.

Для дослідження швидкотверднучих ремонтних сухих будівельних сумішей було реалізовано серію експериментів, алгоритмізованих відповідно до трьохфакторного плану експерименту другого порядку (типу B_3) [10] за умов планування наведених в табл. 1.

Таблиця 1.

Умови планування експериментів

№	Фактори		Рівні варіювання			Інтервал варіювання
	Кодований вид	Натуральний вид	-1	0	+1	
1	X ₁	Міцність гіпсу, (R _г) МПа	5	10	16	-
2	X ₂	Відношення в'язучого до заповнювача, (Вжж/Зап)	1:2	1:1	2:1	-
3	X ₃	В/В'ЯЖ	0,6	0,5	0,4	0,1

Матриця планування та отримані результати експериментів наведені в табл. 2.

Таблиця 2.

Результати експериментів

№	Кодовані значення факторів			Міцність при стиску у віці, МПа			Міцність при згині у віці, МПа		
	X ₁	X ₂	X ₃	2год	1доба	28діб	2год	1доба	28діб
1	1	1	1	12,0	22,3	41,1	5,1	6,4	12,8
2	1	1	-1	9,2	19,8	32,3	4,2	5,5	9,3
3	1	-1	1	3,4	9,7	24,9	1,6	2,5	7,5
4	1	-1	-1	1,9	6,8	23,2	0,6	2,3	7,1
5	-1	1	1	3,6	6,2	16,7	1,6	4,1	6,7
6	-1	1	-1	2,6	5,6	15,8	1,2	3,6	6,4
7	-1	-1	1	1,5	3,2	15,5	0,7	2,7	5,9
8	-1	-1	-1	1,4	3,0	13,7	0,6	2,5	5,4
9	1	0	0	10,6	16,5	30,2	4,	5,1	9,2
10	-1	0	0	2,0	4,8	14,7	0,8	3,2	5,9
11	0	1	0	6,7	17,5	38,6	3,2	5,7	11,0
12	0	-1	0	3,1	6,5	19,8	1,4	4,1	6,8
13	0	0	1	4,7	12,3	28,9	3,0	4,7	8,0
14	0	0	-1	3,5	7,7	23,6	1,4	3,3	6,9
15	0	0	0	4,1	10,0	27,8	1,7	3,8	7,9
16	0	0	0	4,4	12,5	28,2	1,8	4,4	8,2
17	0	0	0	4,3	13,5	26,9	1,6	5,1	8,0

В'язуче виготовляли шляхом змішування будівельного гіпсу - 60 %, з міцністю відповідно до матриці планування (табл. 1), портландцементу - 20%, меленого доменного гранульованого шлаку - 20%, з питомою поверхнею 300...320 м²/кг. Для регулювання термінів тужавлення до складу суміші вводили сповільнювач тужавлення – винну кислоту, у кількості 0,2% від маси гіпсу У ході досліджень в кожній точці виготовляли розчини на

основі ГЦШВ з вмістом компонентів згідно умов планування та визначали границю міцності на згин та стиск стандартних зразків балочок згідно ДСТУ Б В.2.7-126-2011 у віці 2 годин та 1 та 28 діб.

Після проведення обробки і статистичного аналізу експериментальних даних були побудовані рівняння регресії досліджуваних параметрів (міцності на стиск та розтяг при згині у віці 2 годин, 1 та 28 діб). Математичні моделі наведені нижче та представлені в кодованому вигляді:

На стиск:

$$f_{cm}^{2r} = 4,8 + 2,6 \cdot X_1 + 2,3 \cdot X_2 + 0,5 \cdot X_3 + 1,1 \cdot X_1^2 - 0,3 \cdot X_2^2 - 1,1 \cdot X_3^2 + 1,6 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,7 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,01 \cdot X_2 \cdot X_3 \quad (1)$$

$$f_{cm}^{1д} = 11,9 + 5,3 \cdot X_1 + 4,2 \cdot X_2 + 0,5 \cdot X_3 - 0,1 \cdot X_1^2 + 0,4 \cdot X_2^2 - 1,6 \cdot X_3^2 + 2,5 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,14 X_1 \cdot X_3 + 0,7 \cdot X_2 \cdot X_3 \quad (2)$$

$$f_{cm}^{28д} = 27,7 + 7,5 \cdot X_1 + 4,7 \cdot X_2 + 2,8 \cdot X_3 - 5,1 \cdot X_1^2 + 1,6 \cdot X_2^2 - 1,3 \cdot X_3^2 + 2,7 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,9 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,7 \cdot X_2 \cdot X_3 \quad (3)$$

На розтяг при згині:

$$f_{c.tf}^{2r} = 2,1 + 1,1 \cdot X_1 + 1,0 \cdot X_2 + 0,3 \cdot X_3 + 0,1 \cdot X_1^2 - 0,06 \cdot X_2^2 - 0,2 \cdot X_3^2 + 0,7 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,3 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,1 \cdot X_2 \cdot X_3 \quad (4)$$

$$f_{c.tf}^{1д} = 4,6 + 0,6 \cdot X_1 + 1,1 \cdot X_2 + 0,3 \cdot X_3 - 0,5 X_1^2 + 0,3 \cdot X_2^2 - 0,6 \cdot X_3^2 + 0,6 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,05 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,1 \cdot X_2 \cdot X_3 \quad (5)$$

$$f_{c.tf}^{28д} = 8,1 + 1,6 \cdot X_1 + 1,3 \cdot X_2 + 0,8 \cdot X_3 - 0,6 X_1^2 + 0,8 \cdot X_2^2 - 0,6 \cdot X_3^2 + 0,7 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,4 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,3 \cdot X_2 \cdot X_3 \quad (6)$$

Аналіз отриманих моделей показує, що у діапазоні варіювання досліджуваних факторів рання міцність розчинів при стиску у віці 2 годин, коливається в досить широких межах від 1,4 МПа до 12,0 МПа, а у віці 28 діб

13,7...41,4 МПа, що відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-126:2011 для ремонтних розчинів. Досліджувані фактори за впливом на величину міцності можна розмістити у наступний спадаючий ряд: $R_r > B/Зап > B/В'яз$. Також слід відмітити суттєвий вплив ефектів взаємодії таких факторів, як міцність гіпсу та відношення в'язучого до заповнювача, міцність гіпсу та водов'язучого відношення. Очевидно, що досягнення високої як ранньої так і марочної міцності розчинів можливе при відповідній оптимізації складів ремонтних розчинів.

Графічні залежності міцності швидкотверднучих ремонтних розчинів з використанням гіпсоцементношлакового в'язучого від факторів складу наведені на рис.1...рис.3.

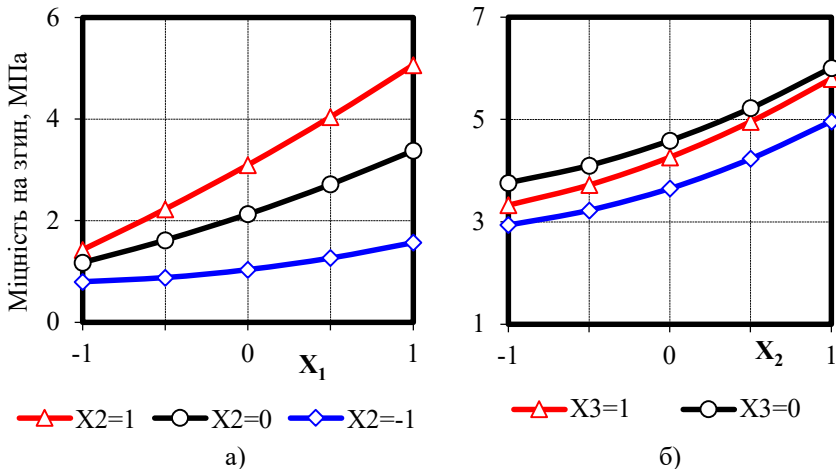


Рис.1. Графічна залежність міцності розчинів на згин у віці 2 годин (а) та 1 доби (б), від досліджуваних факторів (X_1 – міцність гіпсу; X_2 – відношення в'язучого до заповнювача, X_3 – $B/В'яз$).

Згідно рис.1 маємо, що найбільше зростання міцності на розтяг при згині у віці 2 годин та 1 доби спостерігається при взаємодії всіх факторів на верхньому рівні варіювання, зокрема максимальній міцності гіпсу мінімальному $B/В'яз$ та відношенню в'язучого до заповнювача 2:1, що є закономірним. Слід відмітити, що ріст міцності є більш вагомим при збільшенні марки гіпсу та кількості в'язучого в суміші.

Проаналізувавши графіки бачимо, що вплив факторів X_1 та X_2 на міцність при стиску та згині у віці двох годин рис.2 (а) є подібним. Найбільшим вагомим фактором є міцність гіпсу. Збільшення якої до максимального значення, в межах варіювання, дозволяє отримати міцність розчину близько 10 МПа за умови максимального значення відношення в'язучого-заповнювач (2:1) і мінімального водов'язучого відношення (0,4). При використанні гіпсу

однієї міцності, але при зміні фактору X_2 від нижньої до верхньої межі маємо позитивний, але дещо нижчий вплив на міцність.

Згідно рис.2 (б) маємо, що найбільший вплив на міцність при стиску у віці 1 доби чинить також міцність гіпсу при цьому міцність розчину практично відповідає міцності гіпсу, що використовувався. Відношення в'язуче-заповнювач при зміні від -1 до +1 також має позитивну тенденцію, однак вона є вищою при більшій міцності гіпсу. Зменшення В/Вяз також зумовлює збільшення міцності, але менш вагоме у порівнянні з іншими факторами.

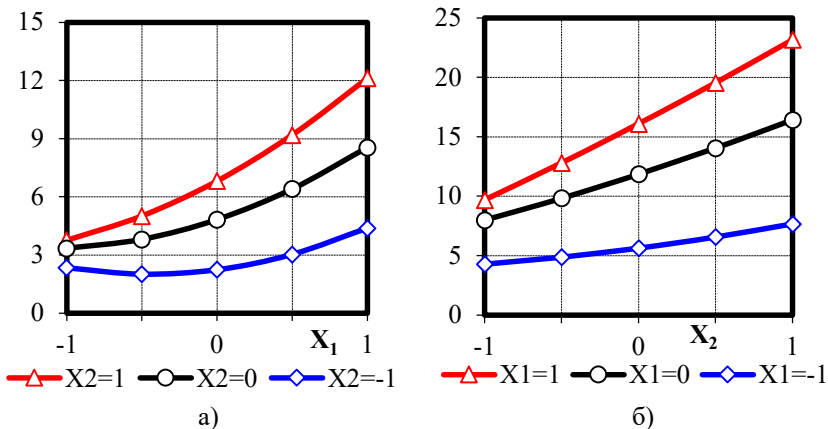


Рис.2. Графічна залежність міцності розчинів на стиск у віці 2 годин (а) та 1 доби (б), від досліджуваних факторів (X_1 – міцність гіпсу; X_2 – відношення в'язучого до заповнювача, X_3 – В/Вяз).

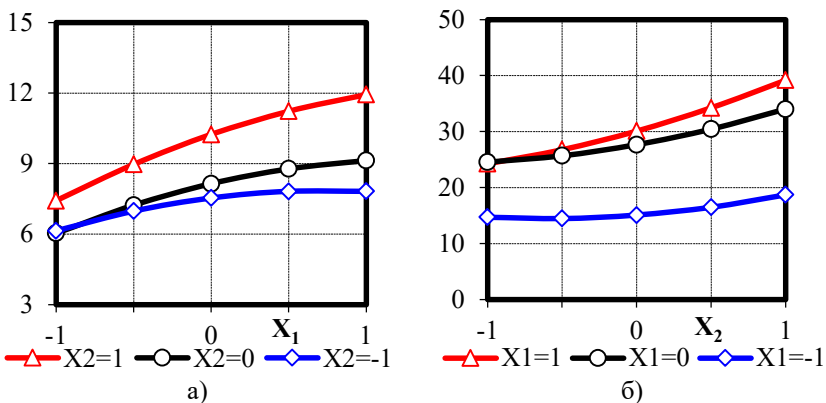


Рис.3. Графічна залежність міцності розчинів на розтяг при згині (а) та стиск (б) у віці 28 діб, від досліджуваних факторів (X_1 – марка гіпсу; X_2 – відношення в'язучого до заповнювача, X_3 – В/Вяз).

Аналіз рис.3 (а) дозволяє зробити висновок, що найбільший вплив на міцність на розтяг при згині у віці 28 діб чинить відношення в'язучого до заповнювача збільшуючи міцність на понад 50% при зміні даного фактору від -1 до +1. Суттєве збільшення міцності також спостерігається при використанні гіпсу Г-16 за умови мінімального В/В'яз та максимальній кількості ГЦШВ у розчині.

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

Таким чином проведені дослідження підтвердили можливість отримання на основі гіпсоцементношлакового в'язучого швидкотверднучих ремонтних сумішей, при замішуванні якої з водою утворюється пластичне тісто, яке добре піддається нанесенню на поверхню, що піддається ремонту.

Висновки.

Доведена можливість отримання швидкотверднучих ремонтних сумішей на основі гіпсоцементношлакових в'язучих.

При використанні ГЦШВ можна отримати міцність на стиск у віці 2 год понад 10 МПа, а у віці 28 діб - 40 МПа.

Ріст міцності є більш вагомим при збільшенні марки гіпсу та кількості в'язучого в суміші.

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

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

Dvorkin L.I. 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. Пашченко О.О., Сербін В.П., Старчевська О.О. В'язучі матеріали. - К.: Вища школа, 1995. - 404 с.

Pashchenko O.O., Serbin V.P., Starchevska O.O. Viazhuchi materialy. - K.: Vyshcha shkola, 1995. - 404 s.

4. Дворкін, Л. Й., Дворкін, О. Л., Мироненко, А. В., Поліщук-Герасимчук, Т. О., Кундос, М. Г. Модифіковані гіпсові і сульфатно-шлакові в'язучі та матеріали на їх основі. НУВГП. Рівне. 2011

Dvorkin, L. Y., Dvorkin, O. L., Myronenko, A. V., Polishchuk-Herasymchuk, T. O., Kundos, M. H. Modyfikovani hipsovi i sulfatno-shlakovi viazhuchi ta materialy na yikh osnovi. NUVHP. Rivne. 2011

5. Ефективні гіпсові матеріали : монографія / [Л. Й. Дворкін, О. М. Гавриш, О. В. Безусяк та ін.]. – К. : „СПД Павленко”, 2013. – 240 с.)

Efektivni hipsovi materialy : monohrafiia / [L. Y. Dvorkin, O. M. Havrysh, O. V. Bezusiak ta in.]. – K. : „SPD Pavlenko”, 2013. – 240 s.)

6. Дворкін, Л., Житковський, В., Степасюк, Ю., & Марчук, В. (2019). Ефективні будівельні розчини для 3d-принтера. Будівельні матеріали та виробы, (1-2(101), 16–21. <https://doi.org/10.48076/2413-9890.2020-101-03>

Dvorkin, L., Zhytkovskyi, V., Stepasiuk, Yu., & Marchuk, V. (2019). Efektyvni budivelni rozchyny dlia 3d-pryntera. Budivelni materialy ta vyroby, (1-2(101), 16–21. <https://doi.org/10.48076/2413-9890.2020-101-03>

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, 103674, <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2020.103674>

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, Pages 750-763, <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.03.016>.

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 9:869875. 2022. DOI:10.3389/fmats.2022.869875

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. Rozv'iazuvannia budivselno-tekhnologichnykh zadach metodamy matematychnoho planuvannia eksperymentu / Dvorkin L.I., Dvorkin O.L., Zhytkovskyi V.V. - Rivne: NUVHP, 2011- 174 s.