

**ПРАКТИЧНИЙ ДОСВІД ЗАСТОСУВАННЯ
ЦЕМЕНТОГРУНТІВ ДЛЯ БУДІВНИЦТВА ДОРОЖНИХ
ПОКРИТТІВ**

**PRACTICAL EXPERIENCE FOR APPLICATION OF CEMENT
BUILT-BASED SOILS FOR ROAD CONSTRUCTION
BUILDINGS**

**Маліков В.В. к.т.н., доц., Панасюк Я.І., к.т.н., доц., Боярчук Б.А.
к.т.н., доц. (Луцький національний технічний університет)**

**Malikov V.V., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Panasiuk
Y.I., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Boyarchuk B.A, Ph.D. in
Engineering, Associate Professor (Lutsk National Technical University)**

Дана стаття написана за результатами досліджень впливу хімічної добавки Master Fix на ґрунт, укріплений цементом, який призначений в якості матеріалу дорожніх покриттів у районах із браком кондиційних кам'яних матеріалів. Наведено практичні приклади влаштування дорожнього покриття в реальних умовах із врахуванням знайдених у лабораторних умовах рецептур.

In the context of political changes in the country and the transition of power to territorial communities, the issue of supporting local infrastructure is addressed by the relevant local authorities. The transport and road network will continue to play an important role in the political and economic life of local associations. Reducing the cost of constructing and rehabilitating roads of local importance through the use of local materials without reducing the regulatory period of operation remains a topical issue.

The aim of the research was to determine the physical and mechanical properties necessary for the use of cement-supported soil for the construction of road layers, cycle tracks and pedestrian paths, and to verify the results obtained by sampling on a test site in real operating conditions.

The main indicator for finding the qualitative characteristics of the soil mixture with reinforced cement is the compressive strength limit.

The soil mixtures of reinforced 14% cement and different concentrations of Master Fix (0.5%, 1%, 3% and 5% of the weight of cement) were proposed and investigated, the amount of water was constant and was 10% of the mass of dry cement mortar.

The compressive strength increases with an increase in the Master Fix additive concentration of 5% by weight of cement, however, the greatest increase in compression strength is imposed in the range of 0% to 1%.

The best values of the tensile strength at bend and elastic modulus were the concentration of the Master Fix additive of 5% of the weight of the cement, but a significant increase in the values could be noted adding even a 1% increase in the growth of the modulus of elasticity from 360 MPa to 456 MPa.

Thus, and in this case, the research has established that the positive effect of increasing the concentration of the supplement Master Fix - the coefficient of frost resistance increases.

After a series of experiments with various chemical additives, it was decided to use Master Fix supplements in the preparation of cement-based mixtures for the purpose of road-dressing, cycle tracks and pedestrian paths. In October 2018, a pilot site was constructed on the basis of the residential complex "CAMEL RESIDENCE", which is being erected by "LDBC" ltd. in Lutsk. The total volume of compacted cement plant and cement plant with the addition of Master Fix is 15.75 m³ or 33.075 tons.

As a result of the introduction of the Master Fix additive with an index of 1% of the weight of cement in a cement-based mixture, it leads to an increase of M 20 to the mark M 40, which positively affects the durability of the construction.

Ключові слова: цементогрунт, хімічні добавки, дослідна ділянка, велодоріжка.

Keywords: cement soil mix, chemical additives, experimental site, bicycle track.

В умовах політичних змін в країні та переходу владних повноважень до територіальних громад ставиться питання підтримки місцевої інфраструктури відповідними місцевими органами. Транспортно-дорожня мережа і надалі відіграватиме важливу роль у політико економічному житті місцевих об'єднань. Зменшення вартості будівництва та реконструкції доріг місцевого

значення за рахунок використання місцевих матеріалів без зниження нормативного терміну експлуатації залишається актуальним питанням. У більшості випадків у сільських районах не існує пішохідних доріжок крім ґрунтових, які як правило, не задовольняють вимогам громадян. У достатньої кількості жителів, які проживають у сільській місцевості, переважним видом транспорту є велосипедний, тому особливої актуальності набуває будівництво велодоріжок. Для цього можливо застосовувати порівняно недорогий матеріал – ґрунт, укріплений цементом, з додаванням різних добавок, які покращують властивості даного матеріалу. Особливої актуальності це питання набуває у регіонах, де немає запасів кондиційних кам'яних матеріалів.

Влаштування конструкцій ґрунтоцементних матеріалів може дати можливість знайти оптимальний шлях у вирішенні питань збереження якості при зменшенні витрат. Постійна пропозиція нових хімічних добавок на вітчизняному ринку для модифікації ґрунтоцементних композицій диктує більш ґрунтовне вивчення їх впливу на фізико-механічні властивості ґрунтових сумішей.

Для дослідження властивостей укріпленого ґрунту застосовувались стандартні методи, прийняті для дослідження ґрунтів, укріплених цементом, які представлені у нормативних документах [1-4]. Дана наукова робота є продовженням робіт В.М. Безрука, І.Л. Гурячкова, А.Н. Токіна, Л.К. Добринського, Т.Ю. Любимової, А.А. Надежко., І.А. Плотнікової, А.А. Фрідман, І.П., Н.Ф. Сасько, О.В. Тюменцевої, Р.А. Агапової [5-9]. У цих роботах було розглянуто укріплення ґрунтів цементом за допомогою різних добавок.

У продовження даного напрямку роботи на базі будівельної лабораторії Луцького НТУ було заплановано та проведено ряд дослідів, які дали відповідь про можливість застосування отриманої рецептури цементоґрунтових компонентів у реальних виробничих умовах. Протягом тривалого терміну на базі будівельної лабораторії Луцького НТУ проводилися дослідження впливу хімічних додатків на ґрунт, укріплений цементом, який міг би слугувати дорожнім покриттям або підстеляючим шаром дорожнього одягу для автомобільних доріг III, IV та V технічних категорій.

Метою досліджень було визначення фізико-механічних властивостей, необхідних для застосування ґрунту, укріпленого цементом, для будівництва шарів дорожнього одягу, велодоріжок

та пішохідних доріжок та перевірка отриманих результатів шляхом відбору проб на дослідній ділянці в реальних експлуатаційних умовах.

Матеріалами для досліджень були:

- в якості ґрунту використовувався пісок мілкий [11], характеристики якого представлені в таблиці 1;
- в якості в'язучого використовувався портландцемент М500 Івано-Франківського цементного заводу [12];
- вода використовувалася згідно [13];
- добавка Master Fix, за даними виробника збільшує швидкість тужавіння, знижує споживання води ґрунтоцементною сумішшю, збільшує водонепроникну здатність та скорочує витрати цементу на 5...10% [10].

Таблиця 1

Гранулометричний склад ґрунту, %

Розмір зерен, мм	5...2	0,15
	2...1	0,38
	1...0,5	13,97
	0,5...0,25	45,03
	0,25...0,1	28,61
	<0,1	12,00
Границя текучості, %		7,5
Оптимальна вологість при максимальній щільності, %		7
Максимальна щільність при оптимальній вологості		2,169

Основним показником для знаходження якісної характеристики ґрунтової суміші, укріпленої цементом, є межа міцності при стиску.

Було запропоновано та досліджено суміші ґрунту, укріпленого 14% цементу та різною концентрацією добавки Master Fix (0,5%; 1%; 2%, 3% та 5% від маси цементу), кількість води була сталою та становила 10 % від маси сухої цементоґрунтової суміші.

Для випробувань межі міцності при стиску були заформовані зразки-циліндри розміром 5x5 см кількістю 6 одиниць на точку.

Зразки руйнували на 7 та 28 добу після твердіння у гідравлічній ванні. Результати представлені на рис.1.

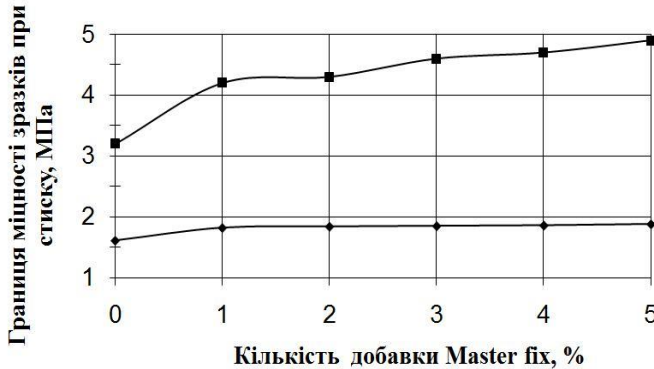


Рис. 1. Залежність границі міцності при стиску ґрунту укріпленого цементу від концентрації добавки Master Fix (◆ – 7 діб; ■ – 28 діб)

Наступними показниками фізико-механічних властивостей, які досліджувалися, були межа міцності на розтяг при згині та модуль пружності, для чого були заформовані зразки-балочки розміром 4x4x16 см по 3 зразки на точку, які тужавили протягом 28 діб в гідравлічній ванні. Результати досліджень показані в таблиці 2.

Таблиця 2

Межа міцності на розтяг при згині та модуль пружності

Вміст матеріалів	Межа міцності на розтяг при згині, МПа	Модуль пружності, МПа
Ґрунт -100%; 16% - цементу від маси ґрунту; 10% - води від маси ґрунту та цементу	0,66	360
Ґрунт -100%; 16% - цементу від маси ґрунту; 9% - води від маси ґрунту та цементу; 1% - добавки Master Fix від маси цементу	0,88	456
Ґрунт -100%; 16% - цементу від маси ґрунту; 9% - води від маси ґрунту та цементу; 3% - добавки Master Fix від маси цементу	0,90	468
Ґрунт -100%; 16% - цементу від маси ґрунту; 8% - води від маси ґрунту та цементу; 5% - добавки Master Fix від маси цементу	0,92	473

Найкращими показниками межі міцності на розтяг при згині та модуля пружності виявилась концентрація добавки Master Fix 5% від маси цементу, але можна відмітити значний приріст показників при додаванні навіть і 1 % добавки ріст модуля пружності з 360 МПа до 456 МПа.

Досліджувався коефіцієнт морозостійкості, для чого формувались зразки-циліндри розміром 5x5 см по чотири зразки на точку. Зразки тужавили протягом 28 діб, після чого водонасичувались 2 доби. Руйнування зразків проводилось після 0; 15 та 25 циклів заморожування-відтавання. Результати випробувань наведені в таблиці 3.

Таблиця 3

Значення коефіцієнту морозостійкості

Вміст матеріалів	Коефіцієнт морозостійкості	
	15 циклів	25 циклів
Ґрунт -100%; 16% - цементу від маси ґрунту; 10% - води від маси ґрунту та цементу	0,76	0,71
Ґрунт -100%; 16% - цементу від маси ґрунту; 9% - води від маси ґрунту та цементу; 1% - добавки Master Fix від маси цементу	0,80	0,74
Ґрунт -100%; 16 % - цементу від маси ґрунту; 3 % - добавки Master Fix від маси цементу	0,84	0,77
Ґрунт -100%; 16% - цементу від маси ґрунту; 8% - води від маси ґрунту та цементу; 5% - добавки Master Fix від маси цементу	0,86	0,83

Таким чином, і в даному випадку дослідженнями встановлено позитивний вплив збільшення концентрації добавки Master Fix - коефіцієнт морозостійкості збільшується.

Після серії дослідів із різними хімічними добавками було прийняте рішення про використання добавки Master Fix у приготуванні цементогрунтових сумішей з метою влаштування дорожнього одягу, велодоріжок і пішохідних доріжок. У жовтні 2018 року було проведено влаштування дослідної ділянки на базі житлового комплексу «CAMEL RESIDENCE», який зводиться

ПрАТ «ЛДБК» у м. Луцьку. Загальний об'єм ущільненого цеменогрунту та цеменогрунту з добавкою Master Fix складає $15,75 \text{ м}^3$, або 33,075 т.

Матеріали для дослідної ділянки були надані спонсором – директором ПрАТ «ЛДБК» у м. Луцьку Вайманом Р.О.

Конструкція дослідної ділянки (рис.2.) проектувалася, виходячи із мінімальних товщин дорожнього одягу як для пішохідних ділянок, так і для руху автомобільного транспорту. Довжина дослідної ділянки – 50м, ширина з огляду вказівок ДБН для велодоріжок – 2м. Ділянка конструктивно розбита на 4 складових із різними товщинами цеменогрунтового покриття, крім того, на одній частині ділянки із товщиною 18см цеменогрунт вкладений у дорожній одяг без добавки для відносного порівняння із іншими частинами. Деформаційні шви було запропоновано не виконувати.

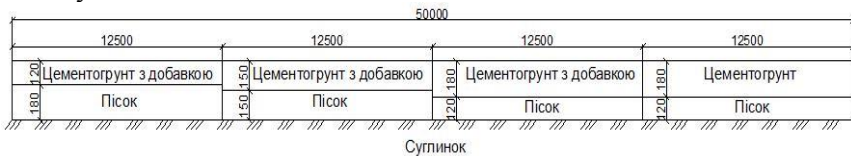


Рис. 2. Конструкція дослідної ділянки

Під час приготування цеменогрунту кількісний склад матеріалів становив: пісок мілкий – 78% (Радошинський піщаний кар'єр, Волинська обл.), цемент марки М500 Івано-Франківського цементного заводу – 13%, вода – 9%.

Ґрунт основи дослідної ділянки був досліджений у лабораторії та його характеристики представлені в таблиці 4. Він виявився суглинком легким пілуватим згідно [11].

При приготуванні цеменогрунту з добавкою Master Fix кількісний склад матеріалів становив: пісок мілкий – 78% (Радошинський піщаний кар'єр, Волинська обл.), цемент марки М500 Івано-Франківського цементного заводу – 13%, вода – 8%, добавкою Master Fix - 1%.

Таблиця 4

Гранулометричний склад ґрунту основи, %

Розмір зерен, мм	5.... 2	0,19
	2.... 1	0,16
	1..... 0,5	0,43
	0,5.... 0,25	6,28
	0,25..... 0,1	8,13
	< 0,1	85,00
Число пластичності		15
Оптимальна вологість при максимальній щільності, %		16
Максимальна щільність при оптимальній вологості, г/см ³		2,25

У технології влаштування дослідної ділянки були виконані ряд операцій: профілювання дорожнього корита виконано екскаватором EO-2021A, ущільнення суглинка легкого пилуватого – віброплитою MSL 90; виконання дозволення на 2% до оптимальної вологості при максимальній щільності; влаштування шарів з піску мілкого товщинами 18см, 15см та 12см фронтальним завантажувачем Bobcat S330 (рис. 3,а) та ущільнення їх віброплитою MSL 90 (рис. 3,б); дозволення на 1% до оптимальній вологості при максимальній щільності.



а



б

Рис. 3. Вкладанні шарів з піску мілкого фронтальним завантажувачем Bobcat S330 (а), та ущільнення за допомогою MSL 90 (б)

Цементоґрунт і цементоґрунт із добавкою Master Fix виготовлявся у двох бетономішалках ємністю 150л. У

бетономішалки завантажували компоненти в такій послідовності: пісок мілкий, цемент марки М500, вода разом з добавкою Master Fix. На місці укладання її розрівнювали вручну та ущільнювали віброплитою MSL 90.

Цементогрунт із додаванням добавки Master Fix був укладений на трьох ділянках довжиною по 12,5м, шириною 2м, різної товщини – 0,12м, 0,15м та 0,18м.

У ході приготування цементогрунту та цементогрунту з додаванням добавки Master Fix у виробничих умовах були відібрані проби сумішей для дослідження у лабораторних умовах. Результати проведених випробувань наведені в таблиці 5.

Таблиця 5

Фізико-механічні властивості цементогрунту

Величина вимірювання	Цементогрунт	
	контрольний	з добавкою Master Fix
R _{ст} , МПа	3,20	4,20
R _{зг} , МПа	0,66	0,88
R _p , МПа	0,35	0,46

Показники міцнісних характеристик зразків цементогрунту з додаванням добавки Master Fix зросли у порівнянні зі зразками цементогрунту без добавки наступним чином:

- міцність при стиску на 31,25%;
- міцність на розтяг при вигині на 33,33%;
- міцність при розколі на 31,43%.

Внаслідок введення добавки Master Fix з показником у межах 1% від маси цементу у цементогрунтову суміш призводить до підвищення з марки М20 до марки М40, що позитивно позначиться на довговічності влаштованої конструкції.

Загальний вигляд влаштованої дослідної ділянки зображено на рис. 4.



Рис. 4. Загальний вигляд влаштованої дослідної ділянки (ділянка зліва від ПАГ)

Результати досліджень показали, що фізико-механічні показники мають найбільший приріст при концентрації добавки Master Fix 1% у цементогрунті, тому збільшення концентрації до 5% для можливого подальшого росту не буде економічно виправданим.

Подальші досліди дадуть відповідь щодо зміни експлуатаційних характеристик даної дослідної ділянки в часі.

Список використаних джерел

1. Шари дорожнього одягу з кам'яних матеріалів, відходів промисловості ґрунтів, укріплених цементом. Проектування та будівництво: ГБН В.2.3-37641918-554:2013. – К.: Укравтодор-2013.
2. Споруди транспорту. Влаштування шарів дорожніх одягів з ґрунтів, укріплених в'язучими матеріалами: ВБН В.2.3-218-541:2010. – К.: Укравтодор, 2010 – 39 с.
3. Смеси щебеночно-гравийно-песчаные и ґрунты, обработанные неорганическими вяжущими материалами, для дорожного и аэродромного строительства. Технические условия: ГОСТ 23558-94. – М., 1994. – 9 с.
4. Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу: ВБН В.2.3-218-186-2004. – К.: Укравтодор, 2004. – 176 с.
5. Безрук В.М. Влияние гранулометрического состава при комплексном укреплении ґрунтов цементом и добавками химических веществ /

- Материалы VII Всесоюзного совещания по закреплению и уплотнению грунтов "Закрепление грунтов в основаниях гидротехнических сооружений, зданий при строительстве дорог и аэродромов, при проходке стволов шахт, туннелей, строительстве оросительных систем и в основаниях сооружений различного назначения". – Ленинградское отделение: Энергия, 1971. - С. 46-49.
6. Токин А.Н. Армированный цементогрунт / А.Н. Токин, Л.К.Добринский // *Материалы к VI Всесоюзному совещанию по закреплению и уплотнению грунтов "Теория и методы искусственного улучшения грунтов различных петрографических типов"*. – Издательство Московского университета, 1968. – С. 108-111.
 7. Маліков В.В., Панасюк Я.І. Вплив водонасичення на міцнісні характеристики комплексно укріплених ґрунтів / *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. Збірник наукових праць*. – Луцьк: Луцький НТУ, 2015. – вип. 4. – С. 107-114.
 8. Агапова Р.А. Исследование прочностных и деформационных свойств цементогрунтов при различных добавках цемента / Р.А. Агапова, Т.Ю. Любимова // *Труды СоюздорНИИ*. – М.,1965. – вып. 5. – С. 144-156.
 9. Ускоритель твердения Master Fix / *Електронний ресурс* [Режим доступу–<http://sandrabud.com/uskoritel-tverdeniya-master-fix-5-1>].
 10. ДСТУ Б В.2.1-2-96 Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Класифікація. – Київ: Державний комітет України у справах містобудування і архітектури, 1997. – 47 с.
 11. Будівельні матеріали. Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови: ДСТУ Б В.2.7-46-96. – Держкоммістобудування України К.: Держкоммістобудування України, 1996 – 15 с.
 12. Будівельні матеріали. Вода для бетонів і розчинів. Технічні умови: ДСТУ Б В.2.7-273:2011 (ГОСТ 23732-79). – [Чинний від 2012-12-01]. – К.: Науково -дослідний інститут будівельних матеріалів і продукції, 2011 –28 с.