

Проблеми розвитку міського середовища. Вип.2 (16) 2016

Keywords: wastewater, water supply, specific water consumption, sewage system, water protection, drinking water quality.

Аннотація

Рассмотрены уровень водоснабжения и санитарии в сельских районах Украины. Проведен анализ зарубежного опыта канализации. Приведенные схемы оптимизации системы водоснабжения и канализации.

Ключевые слова: сточные воды, водоснабжение, удельный расход воды, канализационные системы.

Стаття надійшла до редакції у березні 2016р.

УДК 625.7/8

Маліков В.В.⁸, *к.т.н., доц.*

Боярчук Б.А., *к.т.н., доц.*

Панасюк Я.І., *к.т.н., старший викладач*

Луцький НТУ, м. Луцьк, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГРУНТІВ УКРІПЛЕНИХ ЦЕМЕНТОМ З ДОДАВАННЯМ ХІМІЧНИХ ДОБАВОК

Описано залежності міцності від процентного вмісту цементу, добавок «БЕТО-ЩЕЛЬ», «Coral MasterFix», «ВСЕСЕЗОН-УНІВЕРСАЛ» при укріпленні ґрунту та кількості циклів заморожування-відтавання із застосуванням математичного планування. Проведено дослідження фізико-механічних властивостей ґрунтів укріплених цементом з додаванням пігментів. У статті подано залежності зміни міцності при стиску та стираності від зміни кількості цементу при укріпленні ґрунту. Встановлено зміну маси зразків укріплених цементом після проходження дистанції різної довжини при стиранні.

Ключові слова: цементоґрунт, міцність при стиску, стирання, покриття, морозостійкість, «БЕТО-ЩЕЛЬ», «Coral MasterFix», «ВСЕСЕЗОН-УНІВЕРСАЛ», математичне планування.

⁸ Маліков В.В., Боярчук Б.А., Панасюк Я.І.

Удосконалення рецептур цементогрунтових матеріалів для конструкцій автомобільних доріг може надати можливість знайти оптимальний шлях у вирішенні питань збереження якості при зменшенні витрат. Поява нових хімічних добавок для модифікації цементних композицій потребує всебічного вивчення їх впливу на фізико-механічні властивості ґрунтових сумішей.

Метою досліджень було визначення фізико-механічних властивостей необхідних для застосування цементогрунтових сумішей в якості шарів автомобільних.

З метою апробувати цеменоґрунтові суміші на базі будівельної лабораторії Луцького НТУ було заплановано проведення ряду дослідів, які б змогли відповісти на питання, як впливають добавки на фізико-механічні властивості матеріалу та знайти оптимальні співвідношення для них.

Для приготування сумішей на основі ґрунту в якості в'язучого використовувався портландцемент марки М 500, який відповідав вимогам [1], в якості добавок використовувалися «БЕТО-ЩЕЛЬ», «Coral MasterFix» та «ВСЕСЕЗОН-УНІВЕРСАЛ» відповідав вимогам [2, 3, 4]. Вода для приготування сумішей відповідала вимогам [5].

На першій стадії досліджень досліджувалися міцнісні властивості цеменоґрунту. Концентрація цементу у складі досліджуваних сумішей становила 6 %, 10%, 14%, 17 % та 20 % від маси сухого ґрунту.

Для визначення кількості води проводилось дослідження визначення оптимальної вологості при максимальній щільності [7]. Дослідженнями встановлено наступні оптимальні показники для досліджуваних укріплених ґрунтів представлені в табл.2.

В якості ґрунту використовувався пісок мілкий [6], властивості якого наведені в таблиці 1.

Для досліджень властивостей укріпленого ґрунту застосовувались методи, які викладені в нормативних документах [8, 9, 10].

Проблеми розвитку міського середовища. Вип.2 (16) 2016

Для визначення фізичних властивостей укріпленого ґрунту були заформовані серії зразків-циліндрів 50x50 мм (по 6 зразків на точку).

Таблиця 1
Властивості прийнятого для досліджень ґрунту

Гранулометричний склад, %		
Розмір зерен, мм	2-1	0,4
	1-0,5	1,6
	0,5-0,25	32,8
	0,25-0,071	60,2
	<0,071	5
Границя текучості, %		7,5
Оптимальна вологість при максимальній щільності, %		8
Максимальна щільність при оптимальній вологості, г/см ³		2,148

Зразки формувалися при навантаженні 150 кгс/см². Після витримування виготовлених зразків на протязі 7 та 28 діб в ванні з гідравлічним затвором були проведені дослідні із визначення границі міцності при стиску.

Таблиця 2
Оптимальні параметри щільності при встановленій вологості

№ з.п.	Назва складу	Вологість, %	Щільність, г/см ³
1.	Ґрунт, 6 % цементу	7%	2,152
2.	Ґрунт, 10 % цементу	8%	2,160
3.	Ґрунт, 14 % цементу	8%	2,169
4.	Ґрунт, 17 % цементу	9%	2,177
5.	Ґрунт, 20 % цементу	9%	2,184

Наведені на рис.1 результати визначення границі міцності при стиску показують, що збільшення концентрації цементу від 6 % до 20 % призводить до зростання цього показника як на 7, так і

Проблеми розвитку міського середовища. Вип.2 (16) 2016

на 28 добу набору міцності. Так при додаванні 6 % цементу на 7 добу границя міцності при стиску становить 0,67 МПа, 10 % цементу 1,23 МПа, 14% – 2,38 МПа, 17% – 3,51МПа, а 20 % – 3,88 МПа. Інтенсивність зростання границі міцності при стиску цементогрунту на 28 добу при додаванні 10 % цементу збільшилась в 1,68 рази порівняно з цементогрунтом з додаванням 6 % цементу, при додаванні 14 % цементу в 3,22 рази, при додаванні 17 % цементу в 4,88 рази, а при додаванні 20 % цементу в 5,95 рази.

За величиною границі міцності при стиску на 28 добу цементогрунт з вмістом 6 % цементу можливо віднести до марки М 10, з 10 % цементу – до М 20, 14 % – до М 40, 17 % – до М 60, 20 % – до М 75.

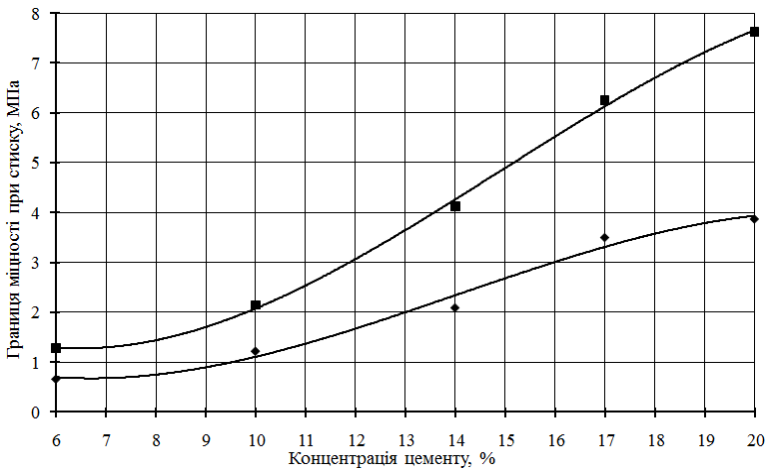


рис. 1. Залежність границі міцності при стиску від концентрації цементу в цементогрунтовій суміші (♦ – 7 доба твердіння, ■ – 28 доба твердіння)

Для тривалого збереження шорсткості матеріал покриття повинен бути стійким до стирання [11]. З метою перевірки цементогрунтових сумішей в якості матеріалу покриття автомобільних доріг, були проведено їх дослідження на стираність у відповідності до [12].

Проблеми розвитку міського середовища. Вип.2 (16) 2016

На другій стадії досліджень було проведено досліди із визначення стираності цементогрунтових зразків. Випробування цементогрунтових зразків на крузі стирання ЛКИ-3 (рис. 2) проводилося на сухих зразках, заздалегідь витриманих дві доби у приміщенні з умовами температура повітря 25 ± 10 °С, відносна вологість 50 ± 20 %.

Стиранню підлягала нижня грань зразка. Перед випробуванням зразки зважили і виміряли площу стираної грані згідно з [12]. Відхилення від площинності поверхні стираної грані зразків не повинно перевищувати 0,05 мм на 100 мм довжини. Визначення відхилення від площинності поверхні проводили відповідно до [12].

Бічні грані зразків-циліндрів, перпендикулярні до стираної грані, перед випробуванням розмічали та нумерували цифрами 1, 2, 3, 4 і в цій послідовності зразки повертали для проведення випробувань.

До кожного зразка (по центру) було прикладене зосереджене, вертикальне навантаження величиною (300 ± 5) Н, що відповідає тиску (60 ± 1) кПа.

На диск стирання рівномірним шаром насипали першу порцію (20 ± 1) г піску стандартного для випробувань (на перші 30 м шляху стирання кожного зразка).



рис. 2. Визначення стираності на приладі ЛКИ-3

Проблеми розвитку міського середовища. Вип.2 (16) 2016

Одночасно на крузі стирання ЛКИ-3 випробовували по два зразки. Після установки зразків і нанесення на стиральний диск абразиву проводили стирання.

Через кожних 30 м шляху стирання, пройденого зразками – 28 кругів диск, що стирає, його зупиняли та видаляли залишки абразивного матеріалу і розтертого на порошок цементогрунту, насипали нову порцію абразиву і знову включали привід стираного круга. Таку операцію повторювали п'ять разів, що склало один цикл випробувань (150 м шляху випробування). Після кожного циклу випробувань зразки виймалися із гнізда, поверталися на 90° в горизонтальній площині (до вертикальної осі) і проводили наступні цикли випробувань. Всього проводили чотири цикли випробувань для кожного зразка (загальний шлях стирання - 600 м).

Для приготування сумішей на основі ґрунту в якості в'язучого використовувався портландцемент марки 500 (8; 10; 12; 14; 16; 18; 20 % від маси ґрунту). В якості ґрунту використовувався пісок мілкий [6]. Вода для приготування сумішей відповідала вимогам [5]. Для визначення міцності при стиску формували зразки-циліндри розміром 5x5 см в кількості 6 зразків на точку для даного виду випробування, а для визначення стираності формували зразки-циліндри розміром 7x7 см в кількості 3 зразки на точку. При формуванні зразків витримувалось навантаження протягом 3 хв, яке становило 150 кг/см². Зразки-циліндри перед випробуванням тверділи у ванні з гідравлічним затвором терміном 28 діб та висушувались протягом 2 діб.

Залежності міцності при стиску та стираності від кількості цементу при укріпленні ґрунту наведено на рис. 3. Результати експериментальних досліджень свідчать, що для ґрунтів з різним вмістом цементу спостерігається зростання показників абсолютних значень міцності при стиску на 28 добу твердіння при збільшенні концентрації цементу, а при визначенні стираності навпаки при збільшенні кількості цементу спостерігається її зниження.

Проблеми розвитку міського середовища. Вип.2 (16) 2016

Наприклад, якщо для цементогрунтових зразків з концентрацією 8 % від маси сухого ґрунту міцність при стиску становить 1,39 МПа, то при концентрації цементу 20 % міцність при стиску збільшилась та становила 6,58 МПа. При визначенні стираності цементогрунтових зразків для концентрації цементу 8 % стираність становила 2,42 г/см², а для концентрації 20 % цементу 0,86 г/см². Як і очікувалось міцність при стиску виявилась найбільшою для найвищої концентрації цементу, а стираність найменшою.

На рис. 3 наведена залежність ваги цементогрунтових зразків від довжини проходження на приладі ЛКИ-3. З залежностей видно, що початкова вага зразків з меншою концентрацією цементу дещо вища ніж з більшою після твердіння в ванні з гідравлічним затвором протягом 28 діб та висушування терміном 2 доби.

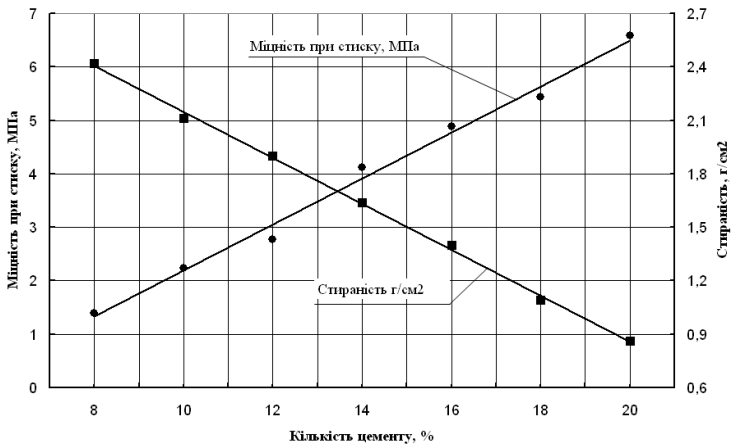


рис. 3. Залежності міцності при стиску та стираності від кількості цементу при укріпленні ґрунту

Після проведення дослідів, тобто проходження зразками дистанції у 600 м спостерігається прямопропорційна залежність чим більша концентрація цементу, тим більша кінцева вага цементогрунтових зразків. Так для цементогрунтових зразків з концентрацією цементу 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20 % початкова вага

становила 540, 538, 536, 530, 528, 522 та 519 г, а після проходження дистанції стирання довжиною 600 м – 447, 457, 463, 467, 474, 480 та 486 г. (рис. 4.). Отже чим більша концентрація цементу в цементогрунті, тим менше втрачається ваги при стиранні.

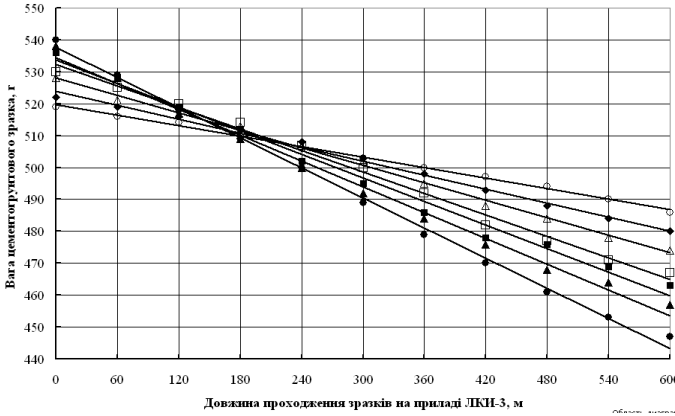


рис. 4. Залежності ваги цементогрунтових зразків від довжини проходження на приладі ЛКІ-3 (● 8 % цементу; ▲ – 10 % цементу; ■ – 12 % цементу; □ – 14 % цементу; △ – 16 % цементу; ◆ - 18 % цементу; ○ – 20 % цементу).

На третій стадії вишукувань були проведені досліді із визначення морозостійкості кольорових цементогрунтових матеріалів.

За даними виробника «БЕТО-ЩЕЛЬ» це гідроізоляційна добавка, яка необхідна для гідроізоляції матеріалів на основі цементу, які будуть піддаватись впливу вологи та води. Дана добавка складається з набору натуральних жирних кислот, а також водного розчину силкату натрію (рідке/розчинне скло) [2]. Пластифікатор, прискорювач твердіння «Coral MasterFix». Пластифікатор розроблений для застосування в умовах термовологісної обробки матеріалів на основі цементу. Склад пластифікатора адаптований до вітчизняних заповнювачів і цементів, в тому числі і шлаколузних, з вмістом шлаків до 80% [3]. «ВСЕСЕЗОН-УНІВЕРСАЛ» – пластифікатор карбоксилатного

Проблеми розвитку міського середовища. Вип.2 (16) 2016

типу матеріалів на основі цементу при добових різких перепадах температури весною та восени від позитивної вдень (від $+10^{\circ}\text{C}$ до $+20^{\circ}\text{C}$) до негативної вночі (від -1°C до -8°C) [4].

З метою встановлення залежностей морозостійкості від зміни концентрацій цементу, добавок та вмісту кількості води було запропоновано виконати експеримент на підґрунті методів математичного планування.

Матриця експерименту при зміні трьох факторів для добавки-прискорювача «Coral MasterFix» представлена в таблиці 3

*Таблиця 3
Матриця експерименту при зміні трьох факторів
для добавки-прискорювача «Coral MasterFix»*

«Coral Master-Fix»	x0	x1	x2	x3	C	doд	H ₂ O	Цем.	Дод.	H ₂ O
					%	%	%	г.	г.	г.
1	1	1	1	1	18	2.50	10	432.00	10.80	227.42
2	1	-1	1	-1	10	2.50	6	240.00	6.00	211.68
3	1	1	-1	-1	18	0.50	6	432.00	2.16	226.73
4	1	-1	-1	1	10	0.50	10	240.00	1.20	211.30

Параметри кроків змінних встановлені за попередніми результатами досліджень та закодовані відповідно таблиці 4.

*Таблиця 4
Закодовані параметри кроків змінних встановлені за попередніми
результатами досліджень*

Змінні	Фактори		i	+1	-1	0
% C	x1	X1	4	18	10	14
% doд	x2	X2	1	2.5	0.5	1.5
% H ₂ O	x3	X3	2	10	6	8

Проблеми розвитку міського середовища. Вип.2 (16) 2016

Після обрахунку коефіцієнтів в поліноміальному рівнянні отримуємо узагальнену залежність:

$$y = -2,716 + 0,270x_1 + 0,328x_2 + 0,152x_3$$

Матриця експерименту при зміні трьох факторів для добавки «БЕТО-ЩЕЛЬ» представлена в таблиці 5.

Таблиця 5

Матриця експерименту при зміні трьох факторів для добавки «БЕТО-ЩЕЛЬ»

Бето-щель	x0	x1	x2	x3	C	dod	H ₂ O	Цем.	Дод.	H ₂ O
					%	%	%	г.	г.	г.
1	1	1	1	1	18	2.50	10	432.00	10.80	227.42
2	1	-1	1	-1	10	2.50	6	240.00	6.00	211.68
3	1	1	-1	-1	18	0.50	6	432.00	2.16	226.73
4	1	-1	-1	1	10	0.50	10	240.00	1.20	211.30

Параметри кроків змінних встановлені за попередніми результатами досліджень та закодовані відповідно таблиці 6.

Таблиця 6

Закодовані параметри кроків змінних встановлені за попередніми результатами досліджень

Змінні	Фактори		i	+1	-1	0
% C	x1	X1	4	18	10	14
% dod	x2	X2	2	5.0	1.0	3.0
% H ₂ O	x3	X3	2	10	6	8

Після обрахунку коефіцієнтів відповідне рівняння має наступний вигляд:

$$y = -0,237 + 0,109x_1 - 0,223x_2 - 0,250x_3$$

Матриця експерименту при зміні трьох факторів для добавки „ВСЕСЕЗОН-УНІВЕРСАЛ” представлена в таблиці 7.

Проблеми розвитку міського середовища. Вип.2 (16) 2016

Таблиця 7

Матриця експерименту при зміні трьох факторів для добавки «ВСЕСЕЗОН-УНІВЕРСАЛ»

Всесезон-універсал	x0	x1	x2	x3	C	dod	H ₂ O	Цем.	Дод.	H ₂ O
					%	%	%	г.	г.	г.
1	1	1	1	1	18	2.50	10	432.00	10.80	227.42
2	1	-1	1	-1	10	2.50	6	240.00	6.00	211.68
3	1	1	-1	-1	18	0.50	6	432.00	2.16	226.73
4	1	-1	-1	1	10	0.50	10	240.00	1.20	211.30

Параметри кроків змінних встановлені за попередніми результатами досліджень та закодовані відповідно таблиці 8.

Таблиця 8

Закодовані параметри кроків змінних встановлені за попередніми результатами досліджень

Змінні	Фактори		i	+1	-1	0
% C	x1	X1	4	18	10	14
% dod	x2	X2	2	5.0	1.0	3.0
% dH ₂ O	x3	X3	2	10	6	8

Після обрахунку коефіцієнтів відповідне рівняння має наступний вигляд: $y = - 2,459 + 0,255x_1 + 0,089x_2 + 0,093x_3$

За результатами досліджень побудовані залежності міцності від процентного вмісту добавок в цементогрунті та кількості циклів заморожування-відтавання. Отримані залежності відображують декілька важливих питань, а саме:

- концентрація цементу в складах грає основну роль, всі серії із 10%-ною концентрацією не пройшли випробування до кінця;

- збільшення концентрації прискорювача «Coral MasterFix» - 2,5% (рис. 5) позитивно відображається на марочній міцності (збільшення 1,7...2,8 рази), коефіцієнт морозостійкості $K_{мрз} = 0,94$;

- зменшення концентрації добавки «БЕТО-ЩЕЛЬ» – 0,5% дало змогу витримати, всім зразкам серії, 50 циклів однак коефіцієнт морозостійкості $K_{\text{мрз}} = 0,69$ (рис.6);

- позитивно показала себе добавка «ВСЕСЕЗОН-УНІВЕРСАЛ» – 2,5% в суміші з $K_{\text{мрз}} = 0,64$, та зменшення концентрації – 0,5% в суміші показало зростання $K_{\text{мрз}} = 1,02$ (рис. 7).

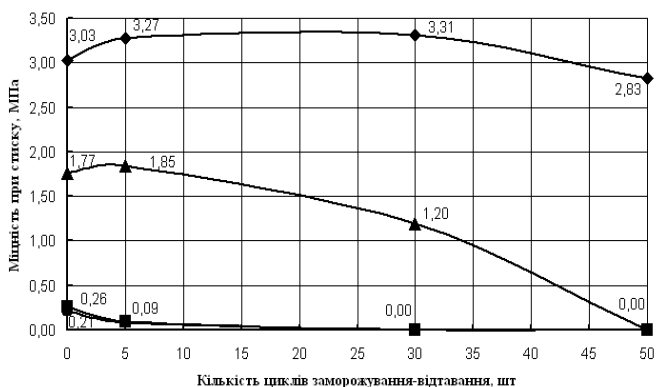


рис. 5. Залежності міцності від процентного вмісту добавки «Coral MasterFix» в цементогрунті та кількості циклів заморозування-відтавання (♦ – 18 % цементу, 2,5 % добавки, 10 % води; ▲ – 18 % цементу, 0,5 % добавки, 6 % води; ■ – 10 % цементу, 2,5 % добавки, 6 % води; ● – 10 % цементу, 0,5 % добавки, 10 % води;)

Висновки. Досліджено концентрації цементу для укріплення ґрунту за критерієм міцності при стиску, що відповідають маркам М 10, М 20, М 40, М 60 та М 75. Отримані залежності дозволяють прогнозувати рівень стійкості та міцності при стиску в залежності від кількості цементу при укріпленні ґрунту для можливого будівництва покриттів автомобільних доріг.

В результаті проведених дослідів визначення морозостійкості були отримані залежності та виявлений вплив зміни складових цементогрунтових сумішей на міцність при стиску, однак для знаходження оптимальних концентрацій складових необхідно зменшення параметрів кроків добавок та

зміщення центра постановки експерименту, особливо для добавки «БЕТО-ЩЕЛЬ», в наступних вишукуваннях.

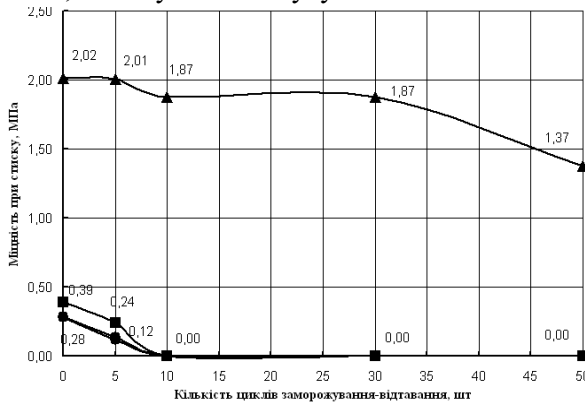


рис. 6. Залежності міцності від процентного вмісту добавки «БЕТО-ЩЕЛЬ» в цементогрунті та кількості циклів заморозування-відтавання (◆ – 18 % цементу, 2,5 % добавки, 10 % води; ▲ – 18 % цементу, 0,5 % добавки, 6 % води; ■ – 10 % цементу, 2,5 % добавки, 6 % води; ● – 10 % цементу, 0,5 % добавки, 10 % води;)

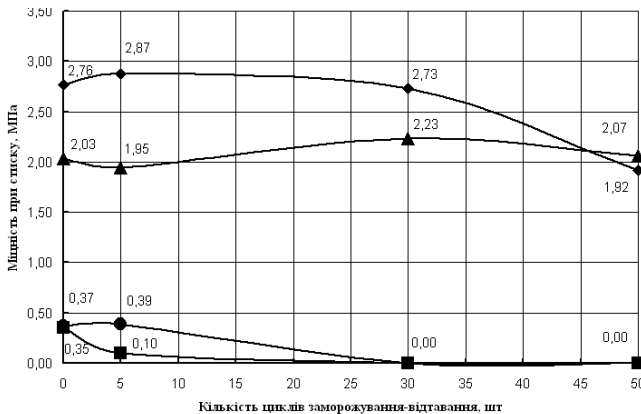


рис. 7. Залежності міцності від процентного вмісту добавки «ВСЕСЕЗОН-УНІВЕРСАЛ» в цементогрунті та кількості циклів заморозування-відтавання (◆ – 18 % цементу, 2,5 % добавки, 10 % води; ▲ – 18 % цементу, 0,5 % добавки, 6 % води; ■ – 10 % цементу, 2,5 % добавки, 6 % води; ● – 10 % цементу, 0,5 % добавки, 10 % води;)

Використана література

1. Будівельні матеріали. Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови: ДСТУ Б В.2.7-46-96. – [Чинний від 1996-10-03] – Держкоммістобудування України. – К.: Держкоммістобудування України, 1996.

2. БЕТО-ЩЕЛЬ® — гидроизолирующая добавка в бетон. – Режим доступу до каталогу: <http://plastificator.com.ua>

3. Пластификатор - ускоритель твердения Coral MasterFix. – Режим доступу до каталогу: <http://www.coral.ua/products/master/masterfix>.

4. Пластификатор Всесезон-Универсал – Режим доступу до каталогу: http://www.nl.ua/ru/otdelochnye_materialy/smesi/protivomoroznye_dobavki/plastifikator_vsesезон_universal_6_kg.html.

5. 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.

6. ДСТУ Б В.2.1-2-96 (ГОСТ 25100-95) Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Класифікація. Державний комітет України містобудування і архітектури, Київ – 1997.

7. ДСТУ Б В.2.1-12:2009 Метод лабораторного визначення максимальної щільності, Мінрегіонбуд України, Київ – 2010.

8. ВБН В.2.3-218-541:2010. Споруди транспорту. Влаштування шарів дорожніх одягів з ґрунтів, укріплених в'язучими матеріалами. Дордерж НДІ, Київ – 2010.

9. Проектування і будівництво основ та покриттів автомобільних доріг із кам'яних матеріалів, промислових відходів і ґрунтів, укріплених цементом: ВБН В.2.3-218-002-95. – [Чинний від 1995-12-11]. – К.: Укравтодор, 1995.

10. Смеси щебеночно-гравийно-песчаные и ґрунты, обработанные неорганическими вяжущими материалами, для дорожного и аэродромного строительства. Технические условия: ГОСТ 23558-94. – [Чинний від 1995-01-01]. – М., 1994.

11. Споруди транспорту. Автомобільні дороги (Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво): ДБН В.2.3-4:2007. –

[Чинний від 2008-03-01] – Мінрегіонбуд України. – К.: Мінрегіонбуд України, 2007.

12. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення стираності: ДСТУ Б В.2.7-212:2009. – [Чинний від 2009-12-22] – Мінрегіонбуд України. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010.

Abstract

Described strength depending on the percentage of cement additives «BETO-SCHEL», «Coral MasterFix», «MULTIGRADE-UNIVERSAL» in strengthening the soil and the number of freeze-thaw cycles using mathematical planning. A study of the physical and mechanical properties of soil cement. The article changes depending compressive strength and abrasion of the cement changes at strengthening soil. The changes of weight samples fortified with cement after passing distances of different lengths for removal.

Keywords: soil reinforcement by cement, compressive strength, abrasion coating frost, «BETO-SCHEL», «Coral MasterFix», «MULTIGRADE-UNIVERSAL», mathematical planning.

Аннотация

Описаны зависимости прочности от процентного содержания цемента, добавок «БЕТО-ЩЕЛЬ», «Coral MasterFix», «всесезонное-УНИВЕРСАЛ» при укреплении грунта и количества циклов замораживания-оттаивания с применением математического планирования. Проведено исследование физико-механических свойств грунтов укрепленных цементом. В статье представлены зависимости изменения прочности при сжатии и истираемости от изменения количества цемента при укреплении грунта. Установлено изменение массы образцов укрепленных цементом после прохождения дистанции разной длины при стирании.

Ключевые слова: цементогрунт, прочность при сжатии, истиранию, покрытия, морозостойкость, "БЕТО-ЩЕЛЬ», «Coral MasterFix», «всесезонное-УНИВЕРСАЛ», математическое планирование.

Стаття надійшла до редакції у березні 2016р.