

ПРИСКОРЕНИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ МІЦНОСТІ ЦЕМЕНТОГРУНТУ

METHOD ACCELERATED DETERMINING THE STRENGTH OF CEMENT SOIL

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, м. Луцьк)

Malikov VV, Ph.D., senior lecturer, Panasuk Y.I., Ph.D., senior lecturer, Bojarchuk B.A., Ph.D., senior lecturer (Lutsk National Technical University, Lutsk)

В результаті проведених дослідів були отримані міцнісні залежності ґрунтів укріплених цементом та добавками $\text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_n$, SikaPlast – 520, МТС під впливом температури, завдяки чому можливо пропонувати методіку прискорення проведення дослідів в межах трьох діб. Крім цього така методіка надасть можливість не тільки прискорити час заходження необхідної рецептури цементогрунтових сумішей а при подальшому пошуку розробити технологічні карти для прискореного влаштування шарів дорожнього одягу.

The use possibility of soils strengthened by cement as road-to-road cover IV and V technical categories puts the question input rapid of these transport communications in the work.

Increase in temperature at hardening accelerates chemical reaction of hydration and thus positively affects the growth of concrete strength in early terms without any adverse effects affecting further strength.

To study the properties of fortified soil the standard methods, taken for the study of soils fortified with cement were used.

To strengthen the soil with cement as soil used sand shallow.

For preparation of mixtures on the basis of ground as astringent used Portland cement of the brand 500, as additives were used "MTS", "Sikaplast-520" and the sodium liquid glass meet the requirements.

Production of cylindrical samples with diameter and height of 50 mm performed in laboratory conditions at the temperature of 20 °C.

Samples formed by sealing the mixture by means of hydraulic press at a load of 150 kgf/cm² for 3 minutes. Placed in a hydraulic bath and have been firmer under normal conditions during 7 days. have been placed Thermogender and have been firmer for 3 days, samples were tested after the settlement period.

As a result of the experiments were obtained strong dependence of soils fortified with cement and additives Na₂O (SiO₂) n, Sikaplast-520, MTS under the influence of temperature, so that it is possible to offer a technique of acceleration of experiments within three Days.

In addition, this method will provide an opportunity not only to accelerate the time of the necessary compounding cement-soil mixtures and at the further search to develop the technological cards for accelerated installation of road layers.

Ключові слова: цементогрунт, міцність при стиску, температура, добавка

Keywords: soil reinforcement by cement, compression strength, temperature, additive

Можливість застосування ґрунтів укріплених цементом в якості дорожніх покриттів для автомобільних доріг IV та V технічних категорій ставить питання щодо швидкого вводу цих транспортних комунікацій в роботу. Однак задача автомобільних доріг з покриттям із цементогрунту в експлуатацію є достатньо проблемною, що пов'язано, в тому числі, із значною залежністю часу набору міцності (в основному портландцементи) від коливань температури навколишнього середовища.

При температурах від 0 до 8°C відбувається значне, в 2...3 рази в порівнянні з тужавінням при звичайних температурах, уповільнення цих процесів а при температурі нижче 0°C вони майже повністю припиняються. Підвищення ж температури тужавіння розчинів і бетонів супроводжується значним прискоренням зростання міцності. Воно стає досить помітним вже при температурі бетонних сумішей 30...40°C при їх твердінні в теплі періоди року. У великих же масивах ці температури можуть триматися і в холодну пору.

Підвищення температури при твердінні прискорює хімічні реакції гідратації і таким чином благотворно впливає на зростання міцності бетону в ранні терміни без будь-яких негативних наслідків,

що впливають на подальшу міцність. Однак більш висока температура при укладанні та схоплюванні, хоча і підвищує дуже ранню міцність, але може несприятливо вплинути на міцність у віці від 7 діб і більше. Це пояснюється тим, що при швидкій початковій гідратації утворюються продукти з більш поганою фізичній структурою, можливо більш пористої, тому значна частина пір завжди залишається незаповненою.

Для дослідження властивостей укріпленого ґрунту застосовувались стандартні методи, прийняті для дослідження ґрунтів укріплених цементом, які представлені у нормативних документах [1...4].

В результаті робіт В.М. Безрука, І.Л. Гурячкова, А.Н. Токіна, Л.К. Добринського, Т.Ю. Любимової, А.А. Надежко, Н.М. Соколової, І.А. Плотнікової, А.А. Фрідман, І.П. Гаркавенка, Н.Ф. Сасько, О.В. Тюменцевої, С.Н. Дежиної, Р.А. Агапової [5...14] було показано, що ґрунти, укріплені цементом, представляють собою матеріал зі змішаним типом структур. В результаті гідратаційного тужавіння в'язучого з'являється кристалізаційна структура; між частинками ґрунту є коагуляційні зв'язки; крім того в не зруйнованих агрегатах ґрунту можуть зберігатись конденсаційні зв'язки, які утворилися раніше в природних умовах.

В процесі структуроутворення (гідратації і гідролізу цементу) відбувається перехід в розчин гідрату окису кальцію, перенасичення їм розчину і утворення гідроалюмінатів, гідросилікатів кальцію та інших гідратів. Виниклі кристали починають рости, переплітатися між собою і зрощуватися, формуючи кристаллизаційну структуру.

Мінералогічний і хімічний склади ґрунту істотно впливають на міцність цементоґрунту.

З метою цілеспрямованого регулювання процесів, що визначають формування структури і властивостей цементоґрунту, були проведені дослідження з укріплення ґрунтів портландцементом з водорозчинними стабілізуючими добавками. Використання стабілізуючих добавок при укріпленні ґрунтів портландцементом дозволяє формувати комплексну структуру цементоґрунту – кристалізаційно-коагуляційну, яка характеризується високою міцністю, водо- і морозостійкістю.

За аналогією значної кількості дослідів тужавіння бетонів, для ґрунтів укріплених цементом ставимо завдання дослідів –

визначити вплив температури на набір міцності цементогрунтів із додаванням хімічних добавок та без додатків з метою зменшити час випробувань.

Для укріплення ґрунту цементом в якості ґрунту використовувався пісок мілкий характеристики якого представлені у таблиці 1.

Для приготування сумішей на основі ґрунту в якості в'язучих використовувався портландцемент марки 500, який відповідав вимогам ДСТУ Б В.2.7-46-96 [15], в якості добавок використовувались «МТС», „SikaPlast - 520” та рідке скло натрієве відповідали вимогам [16,17,18]. Вода для приготування сумішей відповідала вимогам ГОСТ 23732 [19].

За даними виробника ТОВ ВЕМАКО це гідрофобна добавка, яка необхідна для гідроізоляції матеріалів на основі цементу, які будуть піддаватись впливу вологи та води. Дана добавка складається з меланінових смол, а також кремнійорганічного полімеру [16]. Скло рідке натрієве «БАРВА» розроблене для укріплення бетонних основ, цементно піщаних стяжок, штукатурок та надання їм кислотостійкості. Виробник ПП Олейников. Морозостійкий продукт [17]. Добавка „SikaPlast - 520” призначена для підвищення міцності, водонепроникненості а тако має властивості уповільнювача часу твердіння.

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, %		7
Максимальна щільність при оптимальній вологості, г/см ³		2,148

В якості ґрунту використовувався пісок мілкий [17], властивості якого наведені в таблиці 1.

При визначенні зміни міцності при стиску в залежності від концентрацій хімічних добавок до цементу та температури навколишнього середовища під час досягання зразків на 3-му та 7-му добу концентрація цементу становила 14 %.

При визначенні межі міцності на стиск концентрація цементу у складі досліджуваних сумішей становила 14% від маси сухого ґрунту. Кількість води становила 10% та 7.5 % від маси сухої цементогрунтової суміші. Для встановлення впливу концентрації добавки рідкого скла на міцність було запропоновано процентний числовий ряд: 2% та 10% від маси цементу. Добавки вводились безпосередньо у воду. Також було виготовлено контрольну серію зразків із цеменогрунту без добавок з марками цементу М 300 та М 500.

В таблиці 2 наведено результати дослідів набору міцності бетонів на основі портландцементу марки М 500 під час їх тужавіння в залежності від температури.

Таблиця 2

Збільшення міцності бетону марки 400 на портландцементі марки 500 (% від R_{28})

Вік бетону, діб.	Температура бетону, °C								
	-3	0	5	10	20	30	40	50	60
1	-	8	12	18	28	40	55	65	70
2	-	16	22	32	50	63	75	85	90
3	10	22	32	45	60	74	85	92	98
5	16	32	45	58	74	85	96	-	-
7	19	40	55	66	82	92	100	-	-
14	25	57	70	80	92	100	-	-	-
28	30	70	90	90	100	-	-	-	-

Набір міцності бетоном (марки 400 на портланд цементі 500) на третю добу з температурою навколишнього середовища $+37^{\circ}\text{C}$ відповідно до графіку на рис 1. та порахований за апроксимованою функцією, складає 83% від марочної R_{28}

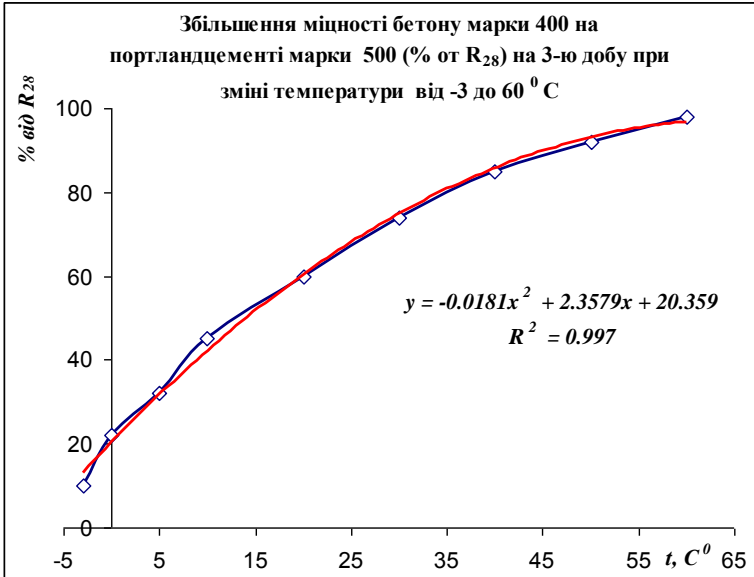


Рис. 1. Збільшення міцності бетону

З метою визначення впливу температури твердіння зразків цементогрунтів було проведено серію дослідів на зразках із додаванням прискорювачів твердіння в нормальних умовах твердіння та в умовах $+ 37^{\circ}\text{C}$. Методика дослідів полягає в наступному: для оцінки фізико-механічних характеристик укріпленого ґрунту готували зразки кожного досліджуваного складу суміші для випробування на міцність при стиску в віці 3 та 7 діб (по 6 зразків на точку на кожен вид випробування).

Приготування сумішей з укріпленого ґрунту виконували в лабораторній мішалці.

При приготуванні цементогрунтових сумішей до ґрунту додавали мінеральне в'язуче, а потім вводили необхідну кількість води та добавок розчинених у воді. Необхідну кількість води визначали згідно [21]. При приготуванні цементогрунтових сумішей з добавками до ґрунту додавали мінеральне в'язуче, далі необхідну кількість води, або води з розчиненими добавками.

Виготовлення циліндричних зразків діаметром та висотою 50 мм виконували в лабораторних умовах при температурі 20 $^{\circ}\text{C}$ згідно [1...4]. Зразки формували шляхом ущільнення суміші за допомогою

гідравлічного пресу при навантаженні 150 кгс/см² протягом 3 хв., після чого вони поміщались в гідравлічну ванну та тужавіли при нормальних умовах протягом 7-ми діб [1], та в термостаті та тужавіли протягом 3-х діб, зразки випробовувались після розрахункового періоду згідно [1....4].

Випробування цементогрунтових зразків проводилося на сухих зразках, заздалегідь витриманих дві доби у приміщенні з умовами температура повітря 25±10 °С, відносна вологість 50±20 %.

Після витримування зразки руйнувалися, результати досліджень наведені в таблицях 3, 4 та 5.

Таблиця 3

Міцність при стиску ґрунту укріпленого цементом та добавкою Na₂O(SiO₂)_n

№	Цемент М 300				Добавка Na ₂ O(SiO ₂) _n 2 %				Добавка Na ₂ O(SiO ₂) _n 10%			
	кгс		МПа		кгс		МПа		кгс		МПа	
	3 доби		7 діб		3 доби		7 діб		3 доби		7 діб	
1.	110	0.55	150	0.75	300	1.50	320	1.60	270	1.35	250	1.25
2.	145	0.72	140	0.70	340	1.70	360	1.80	240	1.20	250	1.25
3.	130	0.65	140	0.70	310	1.55	370	1.85	240	1.20	260	1.30
4.	125	0.62	155	0.77	310	1.55	350	1.75	260	1.30	270	1.35
5.	120	0.60	160	0.80	320	1.60	340	1.70	250	1.25	265	1.32
6.	135	0.67	145	0.72	300	1.50	360	1.80	260	1.30	255	1.27
Сер.знач.	0.64			0.74		1.57		1.75		1.27		1.29

Таблиця 4

Міцність при стиску ґрунту укріпленого цементом та добавкою МТС

№	Цемент М 500				Добавка МТС 1 %				Добавка МТС 3 %			
	кгс		МПа		кгс		МПа		кгс		МПа	
	3 доби		7 діб		3 доби		7 діб		3 доби		7 діб	
1.	235	1.17	310	1.55	495	2.47	640	3.20	1100	5.50	760	3.80
2.	260	1.30	290	1.45	475	2.37	645	3.22	1110	5.55	780	3.90
3.	250	1.25	300	1.50	520	2.60	580	2.90	1160	5.80	680	3.40
4.	225	1.12	275	1.37	578	2.89	670	3.35	1120	5.60	720	3.60
5.	230	1.15	290	1.45	550	2.75	650	3.25	1110	5.55	750	3.75
6.	240	1.20	280	1.40	500	2.50	600	3.00	1000	5.00	770	3.85
Сер.знач.	1.20			1.45		2.60		3.15		5.50		3.71

Таблиця 5

Міцність при стиску ґрунту укріпленого цементом та добавкою Sika

№	Добавка Sika 1%				Добавка Sika 3%			
	кгс	МПа	кгс	МПа	кгс	МПа	кгс	МПа
	3 доби		7 діб		3 доби		7 діб	
1.	220	1.10	720	3.60	20	0.10	640	3.20
2.	140	0.70	660	3.30	30	0.15	560	2.80
3.	230	1.15	710	3.55	50	0.25	540	2.70
4.	145	0.72	650	3.25	40	0.20	620	3.10
5.	200	1.00	700	3.50	50	0.25	610	3.05
6.	170	0.85	690	3.45	55	0.27	600	3.00
Сер.знач.	0.92		3.44		0.20		2.97	

Результати дослідів представлені у вигляді діаграм рис. 2, 3, 4 та 5

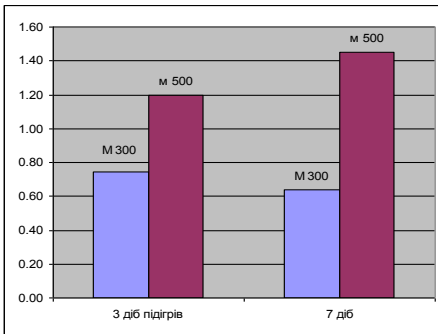


Рис. 2. Збільшення міцності бетону марки 400 на портландцементі марки 500 (% від R_{28})

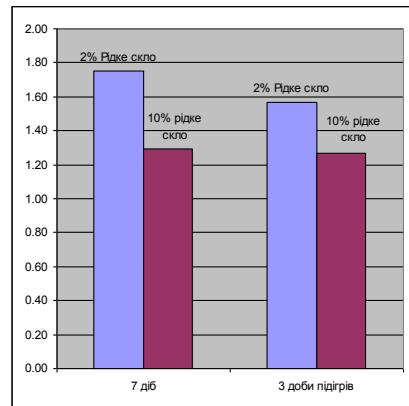


Рис.3 Міцність при стиску ґрунту укріпленого цементом та добавкою $Na_2O(SiO_2)_n$

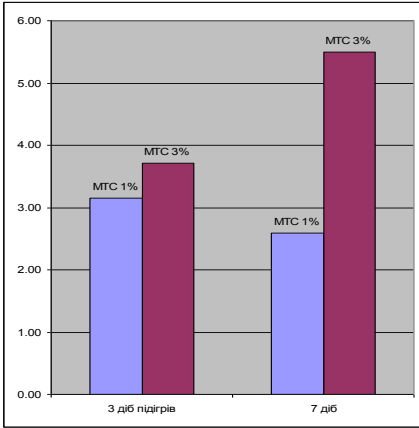


Рис. 4 Міцність при стиску ґрунту укріпленого цементом та добавкою МТС

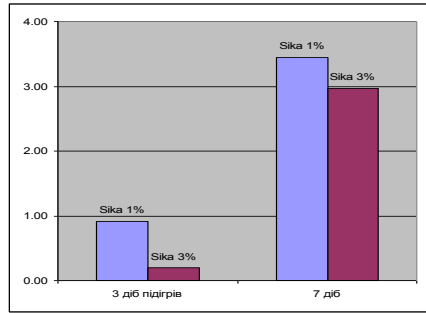


Рис. 5 Міцність при стиску ґрунту укріпленого цементом та добавкою Sika

Результати показують, що розбіжності значень в серіях досліджень в межах 11...17%. Таким чином розбіжності між середніми значеннями межі міцності на стиск коливаються в межах 5...9 %, а процентне значення міцності на стиск складає не менше 82% від R_{28} (за аналогією із бетоном М400 на портландцементі М500), що дозволяє використовувати зразки 3-х добового витримування в якості 7-ми добових. Однак при додаванні МТС в кількості 3% та SikaPlast-520 1%, 3% розбіжності між межами міцності на стиск складає 68% і менше, що говорить про сповільнювальну дію добавки SikaPlast-520.

Такий підхід дає можливість оптимізувати тривалість та кількість дослідів із знаходження рецептури цементогрунтових складів для проектних рішень конструкцій автомобільних доріг.

Крім цього така методика надасть можливість не тільки прискорити час заходження необхідної рецептури цементогрунтових сумішей а при подальшому пошуку розробити технологічні карти для прискореного влаштування шарів дорожнього одягу. Значна кількість тепло ізолюючих рулонних матеріалів на ринку країни дає можливість говорити про можливість зменшення технологічних перерв пов'язаних із набуттям необхідної міцності цементогрунту після вкладання в природних умовах, тобто використовувати тепло екзогенної реакції

гідратації цементу з локалізацією поверхні теплообміну (відомий як метод „термос”, „гарячий термос” для бетонів).

Список використаної літератури

1. 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. – К.: Укравтодор, 1995 – 47 с.

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 / В.М. Безрук, И.Л. Гурычков // Материалы VII Всесоюзного совещания по закреплению и уплотнению ґрунтов “Закрепление ґрунтов 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 цементоґрунт / А.Н. Токин, Л.К. Добринский //Материалы к VI Всесоюзному совещанию по закреплению и уплотнению ґрунтов “ Теория и методы искусственного улучшения ґрунтов различных петрографических типов”. – Издательство Московского университета, 1968. – С. 108-111.

7. Безрук В.М. Теоретические принципы комплексных методов укрепления ґрунтов с введением добавок цемента или извести и поверхностно-активных веществ или хлористых солей / В.М. Безрук // Труды совещания по теоретическим основам технической мелиорации ґрунтов 1-4 февраля 1960г.. – Издательство Московского университета, 1961. – С. 45-53.

8. Любимова Т.Ю. О процессах структурообразования в ґрунтах, укрепленных цементом // Труды совещания по теоретическим основам технической мелиорации ґрунтов : доклады / Т.Ю. Любимова. – М. : МГУ, 1961. – С. 113-122.

9. Надежко А.А. Трещинообразование в цементоґрунтовых покрытиях / А.А. Надежко // Труды СоюздорНИИ. - Балашиха, 1968. – вып. 25. – С. 181-203.

10. Гурячков И.Л. Укрепление грунтов цементом с добавками минерального порошка // Труды СоюздорНИИ: (новое в разработке комплексных методов укрепления грунтов при строительстве автомобильных дорог) : статьи / И.Л. Гурячков, М.Н. Соколова. – М. 1984. – С. 128-130.

11. Плотникова И.А. Исследование процессов формирования структуры и свойств грунтов, укрепленных битумной эмульсией и цементом / И.А. Плотникова, А.А. Фридман // Труды СоюздорНИИ. - Балашиха, 1968. - вып. 25. – С. 81-102.

12. Гаркавенко И.П. Исследование свойств гидрофобизированного цементогрунта / И.П. Гаркавенко, Н.Ф. Сасько // 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. 128-131.

13. Тюменцева О.В. Способы повышения морозоустойчивости и деформативной способности цементогрунтов // Материалы VII Всесоюзного совещания по закреплению и уплотнению грунтов : сообщения / О.В. Тюменцева, Н.С. Дежина. – Ленинград: Энергия, 1971. – С. 152-154.

14. 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.

15. Будівельні матеріали. Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови: ДСТУ Б В.2.7-46-96. – Держкоммістобудування України К.: Держкоммістобудування України, 1996 – 15 с.

16. Вода для бетонов и растворов. Технические условия: ГОСТ 23732-79. – М.: Государственный комитет СССР по делам строительства, 1979 – 12 с.

17. ДСТУ Б В.2.1-2-96 Основи та підвалини будинків і споруд. Грунти. Класифікація. – Київ: Державний комітет України у справах містобудування і архітектури, 1997. – 47 с.

18. ДСТУ Б В.2.1-12:2009 Метод лабораторного визначення максимальної щільності. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. – 26 с.

19. Споруди транспорту. Автомобільні дороги (Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво): ДБН В.2.3-4:2015 – Мінрегіонбуд України. – К.: Мінрегіонбуд України, 2007.