



Менейлюк О. І.



Петровський А. Ф.



Борисов О. О.



Бабій І. М.

Менейлюк О. І., д.т.н., проф., професор кафедри Технології будівельного виробництва, Одеська державна академія будівництва і архітектури, 65029 м. Одеса, вул. Дидрихсона, 4, тел: 0487236151, e-mail: pr.mai@mail.ru

Петровський А. Ф., к.т.н., проф., професор кафедри Технології будівельного виробництва, Одеська державна академія будівництва і архітектури, 65029 м. Одеса, вул. Дидрихсона, 4, тел: 0487236151, e-mail: paf2012@ukr.net

Борисов О. О., к.т.н., доц., доцент кафедри Технології будівельного виробництва, Одеська державна академія будівництва і архітектури, 65029 м. Одеса, вул. Дидрихсона, 4, тел: 0487989083, e-mail: etinvest@gmail.com

Бабій І. М., к.т.н., доц., доцент кафедри Технології будівельного виробництва, Одеська державна академія будівництва і архітектури, 65029 м. Одеса, вул. Дидрихсона, 4, тел: 0487716969, e-mail: igor_babiy76@mail.ru

A. Meneyluk, Doctor of Technical sciences, professor, professor of the department of Technology of building production, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, 4, Didrihsona str, Odessa, 65029, tel: 0487236151, e-mail: pr.mai@mail.ru

A. Petrovskiy, Ph.D, Professor of the department of Technology of building production, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, 4, Didrihsona str, Odessa, 65029, tel: 0487236151, e-mail: paf2012@ukr.net

A. Borisov, Ph.D, assistant professor, the department of Technology of building production, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, 4, Didrihsona str, Odessa, 65029, tel: 0487989083, e-mail: etinvest@gmail.com

I. Babiy, Ph.D, assistant professor, the department of Technology of building production, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, 4, Didrihsona str, Odessa, 65029, tel: 0487716969, e-mail: igor_babiy76@mail.ru

ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ ГРУНТОБЕТОНУ ОТРИМАНОГО ЗА ІН'ЄКЦІЙНОЮ ТЕХНОЛОГІЄЮ

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ ГРУНТОБЕТОНА ПОЛУЧЕННОГО ПО ИНЪЕКЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ

STUDY ON STRENGTH OF SOIL-CONCRETE OBTAINED BY INJECTION TECHNOLOGY

Анотація. У статті наведено результати досліджень по вивченню технологічних чинників які впливають на якість одержуваного протифільтраційного екрана. Запропонована технологія полягає в створенні ґрунтобетонних екранів методом ін'єкції із застосуванням обладнання для горизонтально-направленого буріння. Одним з важливих показників ін'єкційних робіт є як гранулометричний склад ґрунтів, так і сам склад ін'єкційного розчину. В силу запропонованої інноваційної технології улаштуванням протифільтраційного екрану, особлива увага приділяється експлуатаційним і фізико-механічними властивостям ґрунтобетону, що отримані в результаті ін'єкції ґрунту. Проведено дослідження такої характеристики як міцність на стиск.

Ключові слова. Захист ґрунту, міцність на стиск, ґрунтобетони, захисний екран.

Анотация. В статье приведены результаты исследований по изучению технологических факторов на качество получаемого противofiltrационного экрана. Предложенная технология заключается в создании ґрунтобетонного экрана методом инъекции с применением оборудования для горизонтально-направленного бурения. Одним из важных показателей инъекционных работ является как гранулометрический состав ґрунтов, так и сам состав инъекционного раствора. В силу предложенной инновационной технологии устройства противofiltrационного экрана, особое внимание уделяется эксплуатационным и физико-механическим свойствам ґрунтобетонов, получаемых в результате инъекции ґрунта. Проведено исследование такой характеристики как прочность на сжатие.

Ключевые слова. Защита ґрунта, прочность на сжатие, ґрунтобетоны, защитный экран.

Annotation. The article represents results of researches of the effect of technological factors on the quality of impervious screen. The proposed technology is to create a soil-concrete screen by injection method using equipment for horizontal directional drilling. One of the most important indicators of the injection works is a particle size distribution of the soil and the composition of injection. In view of the proposed innovative technology of impervious screen special attention is paid on performance and physical and mechanical properties of the soil-concretes resulting in the process of injection. The study of such characteristics as the compressive strength was also performed.

Keywords. Protecting soil compressive strength concrete ground, the shield.

Постановка проблеми.

Важливим показником при плануванні ін'єкційних робіт є як гранулометричний склад ґрунтів, так і сам склад ін'єкційного розчину. Ідеальним випадком ін'єкції є дотримання оптимального співвідношення між розмірами частинок розчину і середовищем. Це співвідношення відповідає повному просочуванню середовища. На сьогоднішній день в області будівельних технологій відомі класичні методи закріплення ґрунтів із застосуванням процесу ін'єкції [1]. Це може бути цементация або силікатизация із застосуванням різних хімічних складів. Проведення робіт за такими технологіями суттєво відрізняється від тієї технології, що розроблено нами. Однак слід зазначити, що

фізико-механічні властивості отриманих ґрунтоцементних або ґрунтосилікатних елементів мають приблизно однакові характеристики. В силу того, що нами запропонована інноваційна технологія влаштування протифільтраційних завіс, особливу увагу необхідно приділити експлуатаційним і фізико-механічними властивостям, що отримані в результаті ін'єкції ґрунту. Це викликано тим, що запропонована технологія передбачає маловивчені технологічні рішення, застосування яких, в кінцевому підсумку, повинно привести до отримання протифільтраційних екранів із заданими властивостями, що відповідають проектним рішенням.

Аналіз досліджень та публікацій.

Багато сховищ відходів в Україні і місця їх розташування не відповідають санітарно-гігієнічним вимогам [2-4]. Досить часто на них відсутні або пошкоджені конструкції, що запобігають фільтрації забруднених стоків в ґрунти і ґрунтові води. Як правило, вони не відповідають вимогам нормативних документів щодо забезпечення їх безпечної експлуатації. Завдання локалізації джерел забруднення ґрунтів, запобігання поширенню техногенних стоків і підтоплення територій і заглиблення споруд сьогодні вирішуються із застосуванням технологій зведення вертикальних протифільтраційних екранів, які, для забезпечення ефективної роботи, повинні бути, як правило, заглиблені в водоутримуючі шари ґрунтів. Вимоги до таких технологій і протифільтраційних екранів досить широко представлені в нормативних документах [5]. У той же час, за відсутності водоупору або його розташуванні на, практично, недосяжній глибині, для запобігання поширенню забруднених стоків потрібне улаштування штучного водоупору (протифільтраційного екрану) в ґрунті під існуючим джерелом забруднення. В даний час конструктивно-технологічні вимоги до технології влаштування протифільтраційних екранів під існуючими спорудами відсутні в нормативних документах і рекомендаціях, а можливість застосування таких технологій не обґрунтована системними дослідженнями [6,7].

Дане дослідження спрямоване на розробку технології влаштування протифільтраційних екранів, у тих випадках, коли відсутній або знаходиться на великій глибині природний шар водоупору. Результати даного дослідження є актуальними, тому вирішують важливу екологічну і соціальну проблему захисту підземного простору і ґрунтових вод від різного роду забруднень.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.

З огляду на те, що технологія ін'єкції ґрунту за запропонованим способом є інноваційною, необхідно вивчити питання пов'язані з якістю одержуваного горизонтального протифільтраційного екрану. Існуючі класичні способи ін'єкції ґрунтів припускають рішення інших цілей, тому відомі значення показників міцності і водопроникності можуть відрізнятися від експериментальних. Для отримання значень показників необхідних для наших цілей були і проведені дані дослідження.

Мета роботи.

Метою даного дослідження є вивчення властивостей отриманого ґрунтобетонного протифільтраційного екрану. Такі конструкції повинні мати ряд заданих фізико-механічних властивостей. У даній роботі було цікавим вивчити міцність на стиск отриманої ґрунтобетонної конструкції. Завдання, які необхідно вирішити для досягнення поставленої мети такі: підбір і визначення рецептурного складу, а також варіювання технологічних режимів ін'єкції.

Основний зміст.

З метою зниження витрат приготування вискодісперсних суспензій ін'єкційних розчинів повинно здійснюватися разом з тонкодисперсними мінеральними добавками і суперпластифікаторами. Застосування останніх дозволяє знизити ефективну в'язкість суспензій ін'єкційних в'язучих і різко знизити седиментацію. Це повинно бути досягнуто за рахунок гомогенізації суміші.

Можливості підвищення міцності ґрунтобетонів, створення більш щільної упаковки зерен, можуть бути здійснені шляхом цілеспрямованого впливу на його структуру технологічних факторів. Такими факторами є

як сам склад ґрунтобетонів, так і технологічні рішення, що застосовуються при його отриманні.

У даній роботі представляло інтерес оптимізувати склади ґрунтобетонів, а також встановити вплив технологічних факторів на їх фізико-механічні характеристики.

Експериментально-статистичне моделювання результатів дослідження відбувалося на основі лабораторних експериментів, які проводилися по 18-ти точковому чотирьохфакторному D-оптимальному плану.

Нормалізація всіх факторів складу бетону виконана за стандартними формулами:

$$x_i = (x_i - x_{0i}) / \Delta x_i \quad (1)$$

де $x_{0i} = 0.5 \cdot (x_{i,max} + x_{i,min})$, $\Delta x_i = 0.5 \cdot (x_{i,max} - x_{i,min})$.

В експерименті варіювалися такі незалежні фактори як:

$x_1 = 450 \pm 100$ – витрата в'язучого в ґрунтобетонних, кг/м^3 ;

$x_2 = 10 \pm 10$ – кількість наповнювача, %;

$x_3 = 3 \pm 2$ – тиск нагнітання розчину, МПа;

$x_4 = 3 \pm 1$ – час нагнітання, хв.

Звертає на себе увагу той факт, що для кубічного метра ґрунтобетонів прийнято досить велику витрату в'язучого (x_1). Це пояснюється тим, що в пробуреній пілотній свердловині знаходиться досить велика кількість бентонітового розчину, частинки якого необхідно зв'язати з ґрунтом в один щільний конгломерат. Таким чином, отриманий в результаті цього композиційний ґрунтобетон повинен характеризуватися необхідними для протифільтраційного екрану властивостями, у тому числі міцністю при стисканні.

В якості наповнювача, був використаний мелений кварцовий пісок (x_2), з питомою поверхнею $S_{\text{пит}} = 300 \text{ м}^2/\text{кг}$. Ця дисперсність наповнювача була зумовлена відносно недорогим помелом.

Вплив вмісту наповнювача на властивості цементного каменю досліджувалися в роботах багатьох авторів. Однак, просте перенесення оптимальних значень ступеню наповнення цементних суспензій на бетони є некоректним, тому що частина в'язучого витрачається на обволікання зерен наповнювача і зчеплення з ними. Виходячи з цих передумов, концентрація меленого кварцового піску у в'язучому знову була прийнята в якості рецептурного фактору. При цьому необхідно врахувати, що портландцемент є одним з найдорожчих в'язучих компонентів.

В якості добавки-пластифікатору бетонної суміші використовувався розріджувач С-3 в кількості 0,8% (в перерахунку на суху речовину) від маси в'язучого. Як зазначалося раніше, застосування даної досить вартісної і ефективної добавки викликано необхідністю отримання ін'єкційного розчину із заданою в'язкістю, за умов збереження або часткового зменшення фізико-механічних властивостей затверділого розчину ґрунтобетону.

В якості модельного складу ґрунту прийнято кварцовий пісок з $M_{\text{кр}} = 2,0$.

Приготування ґрунтобетонних сумішей відбувалося в такій послідовності.

При приготуванні ґрунтобетонних сумішей попередньо отримана суспензія в'язучого, що отримана спільним змішуванням, послідовно введених води з добавкою пластифікатору С-3, портландцементу і меленого кварцового піску в швидкісному змішувачі, нагніталася в ємність, заповнену немолотим кварцовим піском, що попередньо змішувався з глинистим розчином у співвідношенні 70 на 30.

В результаті реалізації експерименту отримана експериментально-статистична модель, яка описує досліджуваний показник якості ґрунтобетонів, а саме вплив

технологічних факторів на експлуатаційні характеристики ґрунтобетонів.

Якість ґрунтобетонів в значній мірі залежить від використання матеріалів. Правильний підбір матеріалів для ін'єкції ґрунту, що враховує як вимоги до ґрунтобетонів, так і властивості самих матеріалів, – важливий етап в проектуванні технологічного процесу. Властивості використовуваних матеріалів повинні задовольняти відповідним державним стандартам і технічним умовам.

Фізико-механічні властивості ґрунтобетону визначаються в основному його структурою і рівномірністю розподілу цементної суспензії в порах піску. Після ін'єкції цементної суспензії в ній починають відбуватися суттєві зміни, які призводять до кінцевих властивостей матеріалу. Ці зміни викликаються як зовнішніми силами, що діють при перемішуванні і ущільненні в поровому просторі, так і внутрішніми фізико-хімічними процесами, в першу чергу гідратацією цементу.

Важливим фактором, що впливає на гідратацію цементу, а, отже, на міцність композиту в цілому є рецептурний склад і режими ін'єкції.

В результаті реалізації експерименту була досліджена кінетика набору міцності при стисненні $f_{sk.cube}$ ґрунтобетонів при різних режимах ін'єкції.



Рис. 1. Вплив часу ін'єкції на $f_{sk.cube}$ (МПа) ґрунтобетону при тиску ін'єкції 0,1 МПа



Рис. 2. Вплив часу ін'єкції на $f_{sk.cube}$ (МПа) ґрунтобетону при тиску ін'єкції 0,5 МПа

Графічне відображення моделі показує вплив рецептурно-технологічних факторів на цей показник, рис. 1. Аналіз моделі показує, що при відносно низькому тиску ін'єкції (0,1 МПа) і при невеликому часі ін'єкції (4 хв.) Можливо, отримувати ґрунтобетони з достатньою міцністю при стисненні від 2,8 до 4,8 МПа і вище, що відповідає вимогам нормативних документів.

У свою чергу максимальних значень міцності при стиску $f_{sk.cube} = 8$ МПа ґрунтобетон досягає при збільшенні тиску до 0,5 МПа і часу ін'єкції 4 хв., рис. 2.

Цікаво відзначити, що збільшення тиску ін'єктування з 0,1 до 0,5 МПа призводить до підвищення міцності з 1,6 до 8 МПа (тобто майже в 5 раз). У той же час при збільшенні тиску з 0,1 до 0,3 МПа, при фіксованих значеннях варійованих факторів, підвищення міцності спостерігається в 2 рази. Подальше підвищення тиску призводить до підвищення міцності вже до 2,5 разів. Це може бути викликано тим, що в першому випадку при низькому тиску цементна суспензія намагається заповнити вільний простір між частинками піску, а у другому випадку – струмінь при високому тиску ін'єкції розсовує частинки піску модельного ґрунту, і, тим самим, в загальному об'ємі переважає більша кількість цементної суспензії.

Висновки.

1. Аналіз моделі показує, що при відносно низькому тиску ін'єкції (0,1 МПа) і при невеликому часі ін'єкції (4 хв.) можливо отримувати ґрунтобетони з достатньою міцністю при стисненні від 2,8 МПа і вище, що відповідає вимогам нормативних документів.
2. Встановлено, що збільшення тиску ін'єкції, а також часу ін'єкції в ґрунт (пісок) призводить до збільшення міцності при стисненні ґрунтобетону, приготовленого на основі модельного піску з $M_{кр} = 2$.

Література:

1. Алимов А. Г. Противофильтрационная защита каналов и водоемов / А. Г. Алимов // Гидротехническое строительство. – 2008. – № 4. – С. 36-42.
2. Вальков В.Ф. Экология почв: Учебное пособие для студентов вузов. Часть 3. Загрязнение почв / В.Ф. Вальков, К.Ш. Казеев, С.И. Колесников – Ростов-на-Дону: УПЛ РГУ, 2004. – 54 с.
3. Завальний А. П. Влияние накопителей промышленных отходов на окружающую среду / А. П. Завальний // Вісник Харківського національного університету імені В. М. Карамзіна. – Х., 2003. – № 604 «Геологія – Географія – Екологія». – С. 217-223
4. Завальний А. П. Мероприятия по охране подземных вод при эксплуатации накопителей промышленных отходов / А. П. Завальний // Вісник Харківського національного університету імені В. М. Карамзіна. – Х., 2013. – № 1084. – С.217-223.
5. Пособие по проектированию полигонов по обезвреживанию и захоронению токсичных промышленных отходов (к СНиП 2.01.28-85). – М.:ЦИТП Госстроя СССР, 1990. – 48 с.
6. Бойко Г.А. Применение тонких противо-фильтрационных диафрагм в условиях Белоруссии. Строительство и архитектура Белоруссии / Г.А. Бойко, Г.Г. Азбель, Г.Н. Никольская. – 1980. – № 4. – С. 31.
7. Бунтман А.Д. Об использовании противофильтрационных завес для защиты котлованов от притока грунтовых вод / А.Д. Бунтман // Энергетическое строительство. – 1978. – № 2. – С. 86-87.