

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 624.131.212./34:69.035.4

О. І. МЕНЕЙЛЮК^{1*}, А. Ф. ПЕТРОВСЬКИЙ², О. О. БОРИСОВ³, І. М. БАБІЙ⁴

^{1*} Кафедра технології будівельного виробництва, Одеська державна академія будівництва та архітектури, вул. Дідріхсона, 4, Одеса, Україна, 65029, тел. +38 (048) 723 61 51, ел. пошта pr.mai@mail.ru, ORCID 0000-0002-1007-309X

² Кафедра технології будівельного виробництва, Одеська державна академія будівництва та архітектури, вул. Дідріхсона, 4, Одеса, Україна, 65029, ел. пошта raf2012@ukr.net, ORCID 0000-0001-9548-1959

³ Кафедра технології будівельного виробництва, Одеська державна академія будівництва та архітектури, вул. Дідріхсона, 4, Одеса, Україна, 65029, тел. +38 (094) 949 20 83, ел. пошта etinvest@gmail.com, ORCID 0000-0001-6930-3243

⁴ Кафедра технології будівельного виробництва, Одеська державна академія будівництва та архітектури, вул. Дідріхсона, 4, Одеса, Україна, 65029, тел. +38 (094) 994 09 69, ел. пошта igor_babiy76@mail.ru, ORCID 0000-0001-8650-1751

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО СКЛАДУ РОЗЧИНУ ДЛЯ ІН'ЄКЦІЇ ПІСЧАНОГО ГРУНТУ

Мета. Метою даного дослідження є вивчення властивостей отриманого екрана. У даній роботі представлено інтерес вивчити міцність на стиск отриманих ґрунтобетонів. Завдання, які необхідно вирішити для досягнення поставленої мети такі: підбір і визначення рецептурного складу, а також варіювання технологічних режимів ін'єкції. **Методика.** Створення всередині піщаного масиву міцного горизонтального екрану в умовах, коли змінюються технологічні параметри. Метод проведення технологічних досліджень: аналітично-експериментальний. **Результати.** Аналіз моделі показав, що при відносно низькому тиску ін'єктування (1 МПа) і при невеликому часі ін'єктування (4 хв.) можливо, отримувати ґрунтобетони з достатньою міцністю при стисканні від 3 МПа і вище, що відповідає вимогам нормативних документів. Встановлено, що збільшення тиску ін'єктування, а також часу ін'єкції в ґрунт (пісок) призводить до збільшення міцності при стисненні ґрунтобетонів, приготованих на основі модельного піску з $M_{кр} = 1,8$. **Наукова новизна.** За результатами роботи отримано оптимізовані значення міцності на стиск зразків захисного ґрунтобетонного екрану. **Практична значимість.** Практичною значимістю результатів є визначення оптимальних технологічних параметрів процесу ін'єкції та рецептурного складу розчину. Це дає можливість робити ін'єкцію пісчастих ґрунтів з отриманням ґрунтобетону з зазначеними властивостями.

Ключові слова: захист підземного простору; горизонтально-спрямоване буріння; цемент; водопроникність; експериментально-статистичне моделювання

Вступ

Багато сховищ відходів в Україні і місця їх розміщення, не відповідають санітарно-гігієнічним вимогам [1,2]. 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 заглиблених споруд сьогодні вирішуються із застосуванням технологій зведення вертикальних протифільтраційних екра-

нів, які, для забезпечення ефективної роботи, повинні бути, як правило, заглиблені в водотривкі шари ґрунтів. Вимоги до таких технологій і екранів досить широко представлені в нормативних документах [3]. У той же час, за відсутності водотривкого шару ґрунту або його розташуванні на практично недосяжній глибині, для запобігання поширенню забруднених стоків потрібно влаштування штучного водотривкого шару (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

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

можливість застосування таких технологій не обґрунтована системними дослідженнями [4-7].

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

Мета та завдання дослідження

Метою даного дослідження є вивчення властивостей отриманого ґрунтобетонного протифільтраційного екрана. Такі конструкції повинні володіти рядом заданих фізико-механічних властивостей. У даній роботі представляло інтерес 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'єктування.

Об'єкт і методи досліджень

Створення всередині піщаного масиву міцного горизонтального екрану в умовах, коли змінюються технологічні параметри. Метод проведення технологічних досліджень: аналітично-експериментальний.

Основні результати

З метою зниження витрат приготування високодисперсних суспензій ін'єкційних розчинів повинно здійснюватися спільно з тонкодисперсними мінеральними добавками і суперпластифікаторами [8, 9]. 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 ґрунтобетону, створення більш щільної упаковки зерен, можуть бути здійснені шляхом цілеспрямованого впливу технологічних факторів на його структуру. 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 встанови-

ти вплив технологічних факторів на їх фізико-механічні характеристики.

Дослідження проводилися по 18-ти точковому чотирьохфакторному D-оптимальному плану [10].

Нормалізація усіх факторів складу бетону виконана за стандартними формулами [10]:

$$x_i = (X_i - X_{0i}) / \Delta X_i, \quad (1)$$

де $X_{0i} = 0,5(X_{i,max} + X_{i,min})$,

$\Delta X_i = 0,5(X_{i,max} - X_{i,min})$.

В експерименті варіювалися такі незалежні фактори як:

$X_1 = 450 \pm 100$ – витрата в'язучого в ґрунтобетоні, кг/м³;

$X_2 = 10 \pm 10$ – 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 ґрунтобетону прийнята досить велика кількість в'язучого. Це пояснюється тим, що в пробуреній свердловині знаходиться досить велика кількість бентонітового розчину, частинки якого необхідно пов'язати в один щільний конгломерат. Таким чином, отриманий в результаті цього композитний ґрунтобетон повинен володіти необхідними для протифільтраційного екрана властивостями, а саме міцністю при стисканні.

В якості наповнювача, був використаний мелений кварцовий пісок (X_2), з питомою поверхнею $S_{уд} = 300$ м²/кг. Ця дисперсність наповнювача була зумовлена відносно недорогим помолом.

Вплив вмісту наповнювача на властивості цементного каменю досліджувалися в роботах багатьох авторів [11, 12]. Однак, згідно з [13], просте перенесення оптимальних значень ступеня наповнення цементних суспензій на бетон є некоректним, тому що частина в'язучого витрачається на обволікання зерен наповнювача і зчеплення з ними, то концентрація меленого кварцового піску в в'язкому знову була прийнята в якості рецептурного фактора. При цьому необхідно врахувати, що портландцемент є одним з найдорожчих в'язучих компонентів.

Як добавки пластифікатора в бетонну суміш використовувався розріджувач С-3 в кількості 0,8 % (в перерахунку на суху речовину) від ма-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

си в'язучого. Як зазначалося раніше, застосування даної досить дорогої і ефективної добавки викликано необхідністю отримання ін'екційного розчину із заданою в'язкістю, за умови збереження або часткового зменшення фізико-механічних властивостей затверділого розчину.

Як еталонний склад ґрунтів прийнятий кварцовий пісок з $M_{кр} = 1,8$.

Приготування ґрунтобетонних сумішей відбувалося в такій послідовності.

При приготуванні ґрунтобетонних сумішей попередньо отримана суспензія в'язучого, отримана спільним змішанням, послідовно введені води з добавкою С-3, портландцементу і меленого кварцового піску, в швидкісному змішувачі, нагніталася в ємкість, заповнену немолотим кварцовим піском, змішаним в співвідношенні 70/30 з глинистим розчином.

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

Вплив технологічних факторів на експлуатаційні характеристики ґрунтобетонів.

Якість ґрунтобетонів в великій мірі залежить від використовуваних матеріалів. Правильний підбір матеріалів для ін'ектування 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 ґрунтобетонів визначаються в основному його структурою і рівномірністю розподілу цементної суспензії в порах піску. Після ін'ектування 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 [12].

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

В результаті реалізації експерименту була досліджена кінетика набору міцності при стис-

ненні $f_{ck.cube}$ ґрунтобетонів при різних режимах ін'ектування.

Модель відображає вплив рецептурно-технологічних факторів. Аналіз моделі показує, що при відносно низькому тиску ін'ектування (1 МПа) і при невеликому часу ін'ектування (4 хв.) Можливо, отримувати ґрунтобетони з достатньою міцністю при стисканні від 3 МПа і вище, що відповідає вимогам нормативних документів.

У свою чергу максимальних значень міцності при стисненні $f_{ck.cube} = 7,2$ МПа ґрунтобетон досягає при збільшенні тиску до 5 МПа і часу ін'екції 4 хв.

Цікаво відзначити, що збільшення тиску ін'ектування з 1 до 5 МПа призводить до підвищення міцності з 1,8 до 5,7 МПа (тобто майже в 3,2 рази). У той же час при збільшенні тиску з 1 до 3 МПа, при фіксованих значеннях варійованих факторів, підвищення міцності спостерігається в 2 рази. Подальше підвищення тиску призводить до підвищення міцності вже до 2,5 раз. Це може бути викликано тим, що в першому випадку при низькому тиску цементна суспензія намагається заповнити вільний простір між частинками піску, а по-другому випадку - струмінь при високому тиску ін'екції розсовує частинки піску, і тим самим в загальному обсязі переважає більшу кількість цементної суспензії.

Наукова новизна та практична значимість

За результатами роботи отримано оптимізовані значення міцності на стиск зразків захисного ґрунтобетонного екрану. Також визначені оптимальні технологічні параметри процесу ін'екції та рецептурний склад розчину.

Висновки

1. Проведено дослідження по оптимізації складів ґрунтобетонів, які можливо застосовувати для ін'екційної технології.

2. В результаті реалізації експерименту отримано комплекс експериментально-статистичних моделей, які описують основні показники якості ґрунтобетонів.

3. Аналіз моделі показує, що при відносно низькому тиску ін'екції (1 МПа) і при невеликому часі ін'екції (4 хв.) Можливо, отримувати ґрунтобетон з достатньою міцністю при стис-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

кани від 3 МПа і вище, що відповідає вимогам нормативних документів.

4. Установлено, що збільшення тиску ін'єктування, а також часу ін'єкції в ґрунт (пісок) призводить до збільшення міцності при стисненні ґрунтобетонів, приготованих на основі модельного піску з $M_{кр} = 1,8$.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Вальков, В. Ф. Экология почв: Учебное пособие для студентов вузов. Часть 3. Загрязнение почв [Текст] / В. Ф. Вальков, К. Ш. Казеев, С. И. Колесников. – Ростов-на-Дону : УПЛ РГУ, 2004. – 54 с.
2. Завальный, А. П. Мероприятия по охране подземных вод при эксплуатации накопителей промышленных отходов [Текст] / А. П. Завальный // Вісник Харківського національного університету імені В. М. Карамзіна. – Харків, 2013. – № 1084. – С. 217-223.
3. Пособие по проектированию полигонов по обезвреживанию и захоронению токсичных промышленных отходов (к СНиП 2.01.28–85) [Текст]. – Москва : ЦИТП Госстроя СССР, 1990. – 48 с.
4. Бойко, Г. А. Применение тонких противофильтрационных диафрагм в условиях Белоруссии. Строительство и архитектура Белоруссии [Текст] / Г. А. Бойко, Г. Г. Азбель, Г. Н. Никольская. – 1980. – № 4. – С. 31.
5. Бунтман, А. Д. Об использовании противофильтрационных завес для защиты котлованов от притока грунтовых вод [Текст] / А. Д. Бунтман // Энергетическое строительство. – 1978. – № 2. – С. 86-87.
6. Пат. 2015248 С1 Российская Федерация, МПК5 Е 02 D 3/12. Способ создания противофильтрационной завесы в лессовом грунте [Текст] / В. И. Осипов, С. Д. Филимонов, Б. Н. Мельников, Е. В. Кайль; заявл. 27.12.91 ; опубл. 30.06.94.
7. Пат. 2206663 С1 Российская Федерация, МПК7 Е 02 D 5/56, 5/20, 7/22. Способ возведения ограждающей противофильтрационной инженерно-защитной конструкции (варианты) [Текст] / А. Н. Басиев, М. В. Зелов, А. Г. Икусов; заявл. 21.12.2001 ; опубл. 20.06.2003.
8. Выровой, В. Н. Механизм формирования внутренних поверхностей композиционных материалов [Текст] // Применение цементных и асфальтовых бетонов в Сибири : сб. научн. трудов. – Омск : Сиб. АДИ, 1983. – С. 3-10.
9. Ратинов, В. Б. Добавки в бетон [Текст] / В. Б. Ратинов, Г. И. Розерберг. – Москва : Стройиздат, 1989. – 186 с.
10. Вознесенский, В. А. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ [Текст] / В. А. Вознесенский, Т. В. Ляшенко, Б. Л. Огарков. – Київ : Вища школа, 1989. – 327 с.
11. Дзенис, В. В. О виброобработке песчаного бетона с микронаполнителем [Текст] / В. В. Дзенис // Исследования по бетону и железобетону. – Рига, 1959. – Вып. 4. – С. 59-70.
12. Соломатов, В. И. Бетон как композиционный материал (обзор) [Текст] / В. И. Соломатов, В. Н. Выровой, Н. А. Аббасханов. – Ташкент : УзНИИТИ, 1984. – 31 с.
13. Адылходжаев, А. И. Основы интенсивной раздельной технологии бетона [Текст] / А. И. Адылходжаев, В. И. Соломатов. – Ташкент : Фан, 1983. – 213 с.

А. И. МЕНЕЙЛЮК^{1*}, А. Ф. ПЕТРОВСКИЙ², А. А. БОРИСОВ³, И. Н. БАБИЙ⁴

^{1*} Кафедра технологии строительного производства, Одесская государственная академия строительства и архитектуры, ул. Дидрихсона, 4, Одесса, Украина, 65029, тел. +38 (048) 723 61 51, эл. почта rg.mai@mail.ru, ORCID 0000-0002-1007-309X

² Кафедра технологии строительного производства, Одесская государственная академия строительства и архитектуры, ул. Дидрихсона, 4, Одесса, Украина, 65029, эл. почта raf2012@ukr.net, ORCID 0000-0001-9548-1959

³ Кафедра технологии строительного производства, Одесская государственная академия строительства и архитектуры, ул. Дидрихсона, 4, Одесса, Украина, 65029, тел. +38 (094) 949 20 83, эл. почта etinvest@gmail.com, ORCID 0000-0001-6930-3243

⁴ Кафедра технологии строительного производства, Одесская государственная академия строительства и архитектуры, ул. Дидрихсона, 4, Одесса, Украина, 65029, тел. +38 (094) 994 09 69, эл. почта igor_babiy76@mail.ru, ORCID 0000-0001-8650-1751

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО СОСТАВА РАСТВОРА ДЛЯ ИНЪЕКЦИИ ПЕСЧАНЫХ ГРУНТОВ

Цель. Целью данного исследования является изучение свойств полученного экрана. В данной работе представляло интерес изучить прочность на сжатие полученных ґрунтобетонів. Задачи, которые необходи-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

мо решить для достижения поставленной цели следующие: подбор и определение рецептурного состава, а также варьирование технологических режимов инъекции. **Методика.** Создание внутри песчаного массива прочного горизонтального экрана в условиях, когда меняются технологические параметры. Метод проведения технологических исследований: аналитически-экспериментальный. **Результаты.** Анализ модели показал, что при относительно низком давлении инъекции (1 МПа) и при небольшом времени инъекции (4 мин.) Возможно, получать грунтобетоны с достаточной прочностью при сжатии от 3 МПа и выше, что соответствует требованиям нормативных документов. Установлено, что увеличение давления, а также времени инъекции в грунт (песок) приводит к увеличению прочности при сжатии грунтобетонных, приготовленных на основе модельного песка с $M_{кр} = 1,8$. **Научная новизна.** По результатам работы получены оптимизированные значения прочности на сжатие образцов защитного грунтобетонного экрана. **Практическая значимость.** Практической значимостью результатов является определение оптимальных технологических параметров процесса инъекции и рецептурного состава раствора. Это дает возможность инъецировать песчаные грунты с получением грунтобетона с заданными свойствами.

Ключевые слова: защита подземного пространства; горизонтально-направленное бурение; цемент; водопроницаемость; экспериментально-статистическое моделирование

A. MENEYLYUK^{1*}, A. PETROVSKYI², A. BORISOV³, I. BABIJ⁴

^{1*} Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, 4 Didrihson st., Odessa, Ukraine, 65029, tel. +38 (048) 723 61 51, e-mail pr.mai@mail.ru, ORCID 0000-0002-1007-309X

² Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, 4 Didrihson st., Odessa, Ukraine, 65029, e-mail paf2012@ukr.net, ORCID 0000-0001-9548-1959

³ Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, 4 Didrihson st., Odessa, Ukraine, 65029, tel. +38 (094) 949 20 83, e-mail etinvest@gmail.com, ORCID 0000-0001-6930-3243

⁴ Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, 4 Didrihson st., Odessa, Ukraine, 65029, tel. +38 (094) 997 09 69, e-mail igor_babiy76@mail.ru, ORCID 0000-0001-8650-1751

DETERMINATION OF THE OPTIMAL SOLUTION FOR INJECTION OF SANDY SOIL

Purpose. The aim of this study is to investigate the properties of the resulting screen. In this paper, it was of interest to study the compression strength of derived soil-concrete. The tasks that need to be addressed to achieve the following objectives: the selection and determination of the composition of the prescription, as well as the variation of technological modes of injection. **Methodology.** Establishment of the sand massif lasting horizontal screen in circumstances where process parameters are changed. Method of technological research: analytical and experimental. **Findings.** Analysis of the model showed that at relatively low injection pressure (1 MPa) and at low injection time (4 min.) makes it possible to deliver soil-concrete with sufficient compression strength of 3 MPa or higher that meets regulations. An increase of pressure and the time of injection into the soil (sand) increases the compression strength of soil-prepared based on a model of sand with $M_{кр} = 1,8$. **Originality.** The result of the optimized values obtained compression strength of samples of soil-concrete protective screen. **Practical value.** The practical significance of the results is the definition of optimal technological parameters of the injection process and the prescription of the solution composition. This makes it possible to inject the sandy soil to give soil-concrete with specified properties.

Keywords: protection of underground space; horizontal directional drilling; cement; water permeability; experimental and statistical modeling

REFERENCES

1. Valkov V. F., Kazeev K. Sh., Kolesnikov S. I. *Ekologiya pochv: Uchebnoe posobie dlya studentov vuzov. Chast 3. Zagryaznenie pochv* [Soil Ecology: Textbook for university students. Part 3 Soil pollution]. Rostov-na-Donu, UPL RGU Publ., 2004. 54 p.
2. Zavalniy A. P. *Meropriyatiya po okhrane podzemnykh vod pri ekspluatatsii nakopiteley promyshlennykh otkhodov* [Measures to protect groundwater in the operation of industrial waste storage]. *Visnik Kharkivskogo natsionalnogo universitetu imeni V.M. Karamzina* [Bulletin of Kharkiv National University named V.N. Karamzin], 2013, no. 1084. pp. 217-223.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

3. *Posobie po proektirovaniyu poligonov po obezvrezhivaniyu i zakhoroneniyu toksichnykh promyshlennykh otkhodov (k SNiP 2.01.28–85)* [Manual for the design of landfills for the disposal and dumping of toxic industrial waste (to the SNiP 2.01.28-85)]. Moscow, TsITP Gosstroya USSR Publ., 1990. 48 p.
4. Boyko G. A., Azbel G. G., Nikolskaya G. N. *Primenenie tonkikh protivofiltratsionnykh diafragm v usloviyakh Belorussii* [The use of thin anti-filtration diaphragms in the conditions of Belarus]. *Stroitelstvo i arkhitektura Belorussii – Construction and Architecture of Belarus*, 1980, no. 4, p. 31.
5. Butman A. D. *Ob ispolzovanii protivofiltratsionnykh zaves dlya zashchity kotlovanov ot pritoka gruntovykh vod* [On the use of impervious curtain to protect the pits from groundwater inflow]. *Energeticheskoe stroitelstvo – Power Engineering construction*, 1978. no. 2, pp. 86-87.
6. Osipov V. I., Filimonov S. D., Melnikov B. N., Kayl Ye. V. *Sposob sozdaniya protivofiltratsionnoy zavesy v lessovom grunte* [A method for creating grout curtain in the loess soils]. Patent 2015248 S1 RF, MPK5 E 02 D 3/12
7. Basiev A. N., Zelov M. V., Ikusov A. G. *Sposob vozvedeniya ograzhdayushchey protivofiltratsionnoy inzhenerno-zashchitnoy konstruksii (varianty)* [A method of erecting fencing of an anti-protection engineering design (options)]. Patent 2206663 S1 RF, MPK7 E 02 D 5/56, 5/20, 7/22
8. Vyrovoy V. N. *Mekhanizm formirovaniya vnutrennikh poverkhnostey kompozitsionnykh materialov* [The mechanism of formation of the internal surfaces of composite materials]. *Primenenie tsementnykh i asfaltovykh betonov v Sibiri: Sb-nik nauchn. trudov – The use of cement and asphalt concrete in Siberia: Collection of Scientific Works*, 1983, pp. 3-10.
9. Ratinov V. B., Rozerberg G. I. *Dobavki v beton* [Concrete admixtures]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1989. 186 p.
10. Voznesenskiy V. A., Lyashenko T. V., Ogarkov B. L. *Chislennyye metody resheniya stroitelno-tekhnologicheskikh zadach na EVM* [Numerical methods for solving construction and technological problems on a computer]. Kyjiv, Vyshha shkola Publ., 1989. 327 p.
11. Dzenis V.V. *O vibroobrabotke peschanogo betona s mikronapolnitelem* [About vibroobrabotke sandy concrete microfiller] *Issledovaniya po betonu i zhelezobetonu – Research on concrete and reinforced concrete*, 1959, vol. 4, pp. 59-70.
12. Solomatov V. I., Vyrovoy V. N., Abbaskhanov N. A. *Beton kak kompozitsionnyy material (obzor)* [Concrete as a composite material (review)]. Tashkent, UzNIINTI Publ., 1984. 31 p.
13. Adylkhodzhaev A.I., Solomatov V.I. *Osnovy intensivnoy razdelnoy tekhnologii betona* [Basics Intensive separate concrete technology]. Tashkent, Fan Publ., 1983. 213 p.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н, проф. В. О. Галушко, (Україна), д.т.н., проф. О. Л. Тютькіним (Україна).

Надійшла до редколегії 26.11.2016.

Прийнята до друку 26.12.2016.