

УДК 69.001.5; 624.1

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ЭКРАНА СОЗДАННОГО ПО ИНЪЕКЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ НА ОСНОВЕ ЦЕМЕНТНОГО ВЯЖУЩЕГО

МЕНЕЙЛЮК А. И.<sup>1</sup>, д. т. н., проф.,

ПЕТРОВСКИЙ А. Ф.<sup>2</sup>, к. т. н., проф.,

БОРИСОВ А. А.<sup>3</sup>, к. т. н., доц.,

БАБИЙ И. Н.<sup>4</sup>, к. т. н., доц.

<sup>1</sup>Одесская государственная академия строительства и архитектуры, ул. Дидрихсона, 4, 65029, Одесса, Украина, тел. +380487236151, e-mail: pr.mai@mail.ru, ORCID ID: э0000-0002-1007-309X

<sup>2</sup>Одесская государственная академия строительства и архитектуры, ул. Дидрихсона, 4, 65029, Одесса, Украина, тел. +380487236151, e-mail: paf2012@ukr.net, ORCID ID: э0000-0001-8232-1245

<sup>3</sup>Одесская государственная академия строительства и архитектуры, ул. Дидрихсона, 4, 65029, Одесса, Украина, тел. +380487989083, e-mail: etinvest@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-6930-3243

<sup>4</sup>Одесская государственная академия строительства и архитектуры, ул. Дидрихсона, 4, 65029, Одесса, Украина, тел. +380487716969, e-mail: igor\_babiy76@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-8650-1751

**Аннотация. Постановка проблемы.** Важным показателем при планировании инъекционных работ является как гранулометрический состав грунтов, так и сам состав инъекционного раствора. Идеальным случаем инъекции является соблюдение оптимального соотношения между размерами частиц раствора и инъектируемой среды. Это соотношение соответствует полному пропитыванию среды. На сегодняшний день в области строительных технологий известны классические методы закрепления грунтов с применением процесса инъекции [9]. Это может быть цементация либо силикатизация с применением различных химических составов. В силу того, что нами предложена инновационная технология устройства противодиффузионных экранов, особое внимание необходимо уделить эксплуатационным и физико-механическим свойствам получаемых в результате инъекции грунтобетонных конструкций. Это вызвано тем, что предложенная технология предусматривает малоизученные технологические решения, применение которых в конечном итоге должны привести к получению противодиффузионных экранов с заданными свойствами. **Цель исследования** - изучение свойств полученного грунтобетонного противодиффузионного экрана. Такие конструкции должны обладать рядом заданных физико-механических свойств. В данной работе представляло интерес изучить прочность на сжатие полученной грунтобетонной конструкции. **Вывод.** В результате экспериментов получен комплекс экспериментально-статистических моделей, которые описывают основные показатели качества грунтобетонных конструкций. На основании полученных данных возможен оптимальный подбор рецептурно-технологического состава для песчаных грунтов с различными модулями крупности его частиц.

**Ключевые слова:** горизонтальный противодиффузионный экран, грунтобетон, прочность на сжатие, цемент, экспериментально-статистическое моделирование

## ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ЕКРАНА, СТВОРЕНОГО ЗА ІН'ЄКЦІЙНОЮ ТЕХНОЛОГІЄЮ НА ОСНОВІ ЦЕМЕНТНОГО В'ЯЖУЧОГО

МЕНЕЙЛЮК О. І.<sup>1</sup>, д. т. н., проф.,

ПЕТРОВСЬКИЙ А. Ф.<sup>2</sup>, к. т. н., проф.,

БОРИСОВ О. О.<sup>3</sup>, к. т. н., доц.,

БАБИЙ І. М.<sup>4</sup>, к. т. н., доц.

<sup>1</sup>Одеська державна академія будівництва та архітектури, вул. Дідріхсона, 4, 65029, Одеса, Україна, тел. +380487236151, E-mail: pr.mai@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-1007-309X

<sup>2</sup>Одеська державна академія будівництва та архітектури, вул. Дідріхсона, 4, 65029, Одеса, Україна, тел. +380487236151, E-mail: paf2012@ukr.net, ORCID ID: э0000-0001-8232-1245

<sup>3</sup>Одеська державна академія будівництва та архітектури, вул. Дідріхсона, 4, 65029, Одеса, Україна, тел. +380487989083, E-mail: etinvest@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-6930-3243

<sup>4</sup>Одеська державна академія будівництва та архітектури, вул. Дідріхсона, 4, 65029, Одеса, Україна, тел. +380487716969, E-mail: igor\_babiy76@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-8650-1751

**Анотація. Постановка проблеми.** Важливий показник під час планування ін'єкційних робіт - як гранулометричний склад ґрунтів, так і сам склад ін'єкційного розчину. Ідеальний випадок ін'єкції - це дотримання оптимального співвідношення між розмірами частинок розчину й ін'єкційованого середовища. Це співвідношення відповідає повному просочуванню середовища. На сьогоднішній день у галузі будівельних

технологій відомі класичні методи закріплення ґрунтів із застосуванням процесу ін'єкції [9]. Це може бути цементация або силікатизация різними хімічними складами. Ми запропонуємо інноваційну технологію влаштування протифільтраційного екрана, тож особливу увагу необхідно приділити експлуатаційним і фізико-механічним властивостям одержуваних у результаті ін'єкції ґрунтобетонів. Запропонована технологія передбачає маловивчені технологічні рішення, застосування яких у кінцевому підсумку повинно привести до отримання протифільтраційних екранів із заданими властивостями. **Мета дослідження** - вивчення властивостей отриманого ґрунтобетону протифільтраційного екрана. Такі конструкції повинні володіти низкою заданих фізико-механічних властивостей. Досліджено міцність на стиск отриманої ґрунтобетонної конструкції. **Висновок.** У результаті експериментів отримано комплекс експериментально-статистичних моделей, які описують основні показники якості ґрунтобетонів. На підставі отриманих даних можливий оптимальний підбір рецептурно-технологічного складу для піщаних ґрунтів із різними модулями крупності його частинок.

**Ключові слова:** горизонтальний протифільтраційний екран, ґрунтобетон, міцність на стиск, цемент, експериментально-статистичне моделювання

## STUDY OF HORIZONTAL SCREEN STRENGTH CREATED BY INJECTION TECHNOLOGY CEMENT BINDER BASED

MENEYLYUK A. I.<sup>1</sup>, *DoTS, prof.*,

PETROVSKY A. F.<sup>2</sup>, *PhD, prof.*,

BORISOV A. A.<sup>3</sup>, *PhD, assist. prof.*,

BABIJ I. N.<sup>4</sup>, *PhD, assist. prof.*

<sup>1</sup>Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Didrihsona str., 4, 65029, Odessa, Ukraine, tel. +38(048)7236151, E-mail: pr.mai@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-1007-309X

<sup>2</sup>Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Didrihsona str., 4, 65029, Odessa, Ukraine, tel. +38(048)7236151, E-mail: paf2012@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-8232-1245

<sup>3</sup>Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Didrihsona str., 4, 65029, Odessa, Ukraine, tel. +38(048)7989083, E-mail: etinvest@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-6930-3243

<sup>4</sup>Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Didrihsona str., 4, 65029, Odessa, Ukraine, tel. +38(048)7716969, E-mail: igor\_babiy76@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-8650-1751

**Annotation. Formulation of the problem.** An important indicator in the planning of injection works is a particle size distribution of the soil and the very composition of injection. The ideal case is to comply with the injection optimum ratio between the size of particles in solution and injectable medium. This ratio corresponds to complete impregnation of the environment. Today in the field of building technologies known classical methods of grouting with the injection process [9]. This may be a cementation or silicification with different chemical compositions. Due to the fact that we have proposed an innovative technology of impervious curtain device, special attention should be paid to the performance and physical and mechanical properties of the resulting soil-injection. This is due to the fact that the proposed technology provides for lesser known technical solutions, the use of which should ultimately result in impervious screens with desired properties. **Goal.** The aim of this study is to investigate the properties of the resulting soil-concrete impervious screen. Such structures should have defined a number of physical and mechanical properties. In this paper, it was of interest to study the compressive strength of the resulting soil-concrete structure. **Conclusion.** As a result of experimentation and implementation of complex obtained experimentally-statistical models that describe the main soil-quality indicators. Based on these data is possible optimal selection of formulation and technological structure for sandy soils with different modules size of its particles.

**Keywords:** horizontal impervious screen, soil-concrete, compressive strength, cement, experimental and statistical modeling

**Постановка проблеми.** Задачі локалізації джерел забруднення ґрунтів, запобігання поширенню техногенних стоків і підтоплення територій і заглублених споруд сьогодні вирішуються з використанням технологій устрою вертикальних протифільтраційних екранів, які, для забезпечення ефективного функціонування, повинні мати, як правило, заглублені в водоупорні шари ґрунтів. В той же час,

при відсутності водоупору або його розташуванні на практично недосягаємій глибині, для запобігання поширенню забруднених стоків вимагається устрою штучного водоупору (протифільтраційного екрана) в ґрунті під дією існуючого джерела забруднення. Таким чином, робота присвячена вивченню проблеми дослідження стійкості горизонтального екрана,

созданного по инъекционной технологии на основе цементного вяжущего.

Данное исследование направлено на разработку технологии устройства противofильтрационных экранов с заданной прочностью, в тех случаях, когда отсутствует или находится на большой глубине естественный слой водоупора. Результаты данного исследования являются актуальными, т. к. решают важную экологическую и социальную проблему защиты подземного пространства и грунтовых вод от различного рода загрязнений.

**Анализ публикаций.** Важным показателем при планировании инъекционных работ является как гранулометрический состав грунтов, так и сам состав инъекционного раствора [1; 2]. Идеальный случай инъекции – соблюдение оптимального соотношения между размерами частиц раствора и инъектируемой средой. Это соотношение соответствует полному пропитыванию среды. На сегодняшний день в области строительных технологий известны классические методы закрепления грунтов с применением процесса инъекции [5–9]. Это может быть цементация либо силикатизация с применением различных химических составов. Производство работ по таким технологиям отличается от технологии, разработанной нами. Однако следует отметить, что физико-механические свойства полученных грунтоцементных или грунтосиликатных элементов имеют примерно одинаковые прочностные характеристики [3; 4]. В силу того, что нами предложена инновационная технология устройства противofильтрационных завес, особое внимание необходимо уделить эксплуатационным и физико-механическим свойствам полученных в результате инъекции грунтобетонов. Это вызвано тем, что предложенная технология предусматривает малоизученные технологические решения, применение которых в конечном итоге должно привести к получению противofильтрационных экранов с заданными свойствами.

**Целью** данного исследования является изучение свойств полученного грунтобетонного противofильтрационного экрана. Такие конструкции должны обладать рядом заданных физико-механических свойств. В данной работе представляло интерес изучить прочность на сжатие полученной грунтобетонной конструкции.

**Изложение материала.** В данном исследовании изучались свойства полученного грунтобетонного противofильтрационного экрана. Такие конструкции должны обладать рядом заданных физико-механических свойств. Представляло интерес изучить прочность на сжатие полученной грунтобетонной конструкции. Задачи, которые необходимо решить для достижения поставленной цели, следующие: подбор и определение рецептурного состава, а также варьирование технологических режимов инъектирования.

В целях снижения затрат, приготовление высокодисперсных суспензий инъекционных растворов должно осуществляться совместно с химическими, а также тонкодисперсными минеральными добавками и суперпластификаторами [10; 11]. Применение последних позволяет снизить эффективную вязкость суспензий инъекционных вяжущих и резко снизить седиментацию. Это должно быть достигнуто за счет гомогенизации смеси.

Повысить прочность грунтобетона, создать более плотную упаковку зерен возможно путем целенаправленного влияния на его структуру технологических факторов. Такими факторами являются как сам состав грунтобетона, так и технологические решения, применяемые при его получении.

В данной работе представляло интерес оптимизировать составы грунтобетонов, а также установить влияние технологических факторов на их физико-механические характеристики.

Исследования проводились по 18 точечному четырехфакторному D-оптимальному плану [12].

Нормализация всех факторов состава бетона выполнена по стандартным

формулам:

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

где  $X_{0i} = 0,5 \cdot (X_{i,max} + X_{i,min}), \quad \Delta X_i = 0,5 (X_{i,max} + X_{i,min})$ .

В эксперименте варьировались такие независимые факторы как:

$X_1 = 450 \pm 100$  – расход вяжущего в грунтобетоне, кг/м<sup>3</sup>;

$X_2 = 50 \pm 25$  – количество гидросиликата натрия;

$X_3 = 0,3 \pm 0,2$  – давление нагнетания раствора, МПа;

$X_4 = 3 \pm 1$  – время нагнетания, мин.

Обращает на себя внимание тот факт, что для кубического метра грунтобетона принято достаточно большое количество вяжущего. Это объясняется тем, что в пробуренной скважине находится достаточно большое количество бентонитового раствора, частички которого необходимо связать в один плотный конгломерат. Таким образом, полученный в результате этого композитный грунтобетон должен обладать одним из необходимых для противофильтрационных экранов свойств, а именно прочностью при сжатии.

В качестве химической добавки был использован гидросиликат натрия (жидкое стекло) ( $X_2$ ). Эта добавка позволяет сцеплять частички цемента и грунта в один композит.

Влияние содержания добавки гидросиликата натрия на свойства цементного камня исследовались в работах многих авторов [10; 12]. Однако, согласно [3], простой перенос оптимальных значений количества добавки в суспензиях на грунтобетоны является некорректным, т. к. часть вяжущего расходуется на обволакивание зерен грунта и сцепление с ними. При этом необходимо учесть, что портландцемент является одним из самых дорогих вяжущих компонентов.

В качестве добавки пластификатора в грунтобетонную смесь использовался разжижитель С-3 в количестве 0,8 % (в пересчете на сухое вещество) от массы вяжущего. Как указывалось ранее, применение данной, достаточно дорогой и эффективной, добавки вызвано необходимостью получения инъекционного

раствора с заданной вязкостью, при условии сохранения или частичного уменьшения физико-механических свойств затвердевшего раствора.

В качестве эталонных составов грунтов приняты кварцевые пески с  $M_{кр} = 1,5, 2,0, 2,5$ .

Приготовление грунтобетонных смесей происходило в такой последовательности: предварительно полученная суспензия вяжущего, полученная совместным смешением последовательно введенных воды с добавкой С-3, портландцемента и гидросиликата натрия в скоростном смесителе, нагнеталась в лабораторный стенд, заполненный немолотым кварцевым песком, перемешанным в соотношении 70/30 с глинистым раствором.

В результате реализации эксперимента получены экспериментально-статистические модели, которые описывают исследуемый показатель качества грунтобетонов.

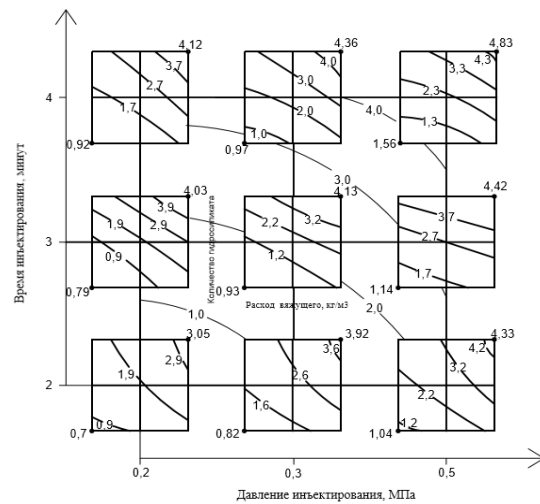


Рис. 1. Влияние технологических и рецептурных факторов на прочность при сжатии грунтобетонов на песках с  $M_{кр} = 1,5$

Качество грунтобетона в большой степени зависит от используемых материалов. Правильный подбор материалов для инъектирования грунта, учитывающий как требования к грунтобетону, так и свойства самих материалов, – важный этап в проектировании технологического процесса. Свойства используемых материалов должны удовлетворять соответствующим государственным стандартам и техническим условиям.

Физико-механические свойства грунтобетона определяются в основном его структурой и равномерностью распределения модифицированной цементной суспензии в порах песка. После инъектирования цементной суспензии в ней начинают происходить существенные изменения, которые приводят к получению

конечных свойств материала. Эти изменения вызываются как внешними силами, действующими при перемешивании и уплотнении в поровом пространстве, так и внутренними физико-химическими процессами, в первую очередь, гидратацией цемента [1].

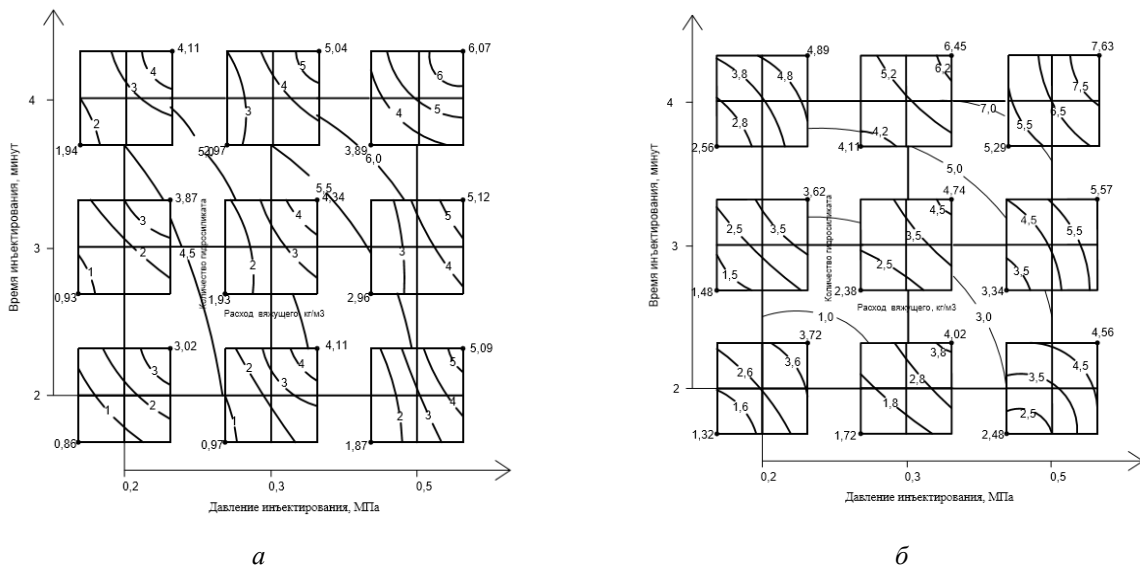


Рис. 2. Влияние технологических и рецептурных факторов на прочность при сжатии грунтобетоннов: а – на песках с  $M_{кр}=2.0$  и б – на песках с  $M_{кр}=2.5$

Немаловажным фактором, влияющим на гидратацию цемента, а, следовательно, на прочность композита в целом является рецептурный состав и режимы инъектирования.

В результате реализации эксперимента была исследована кинетика набора прочности при сжатии  $f_{ck.cube}$  грунтобетоннов при различных режимах инъектирования и при различном модуле крупности инъектируемого модельного песка.

Графическое представление модели, отображающей влияние рецептурно-технологических факторов при использовании модельного песка с модулем крупности  $M_{кр} = 1,5$ , показано на рисунке 1.

$$R_{b[1,5]} = 2,7 + 0,33x_1 \pm 0x_{12} \pm 0x_{1x_2} - 0,19x_1x_3 \pm 0x_{1x_4} \pm 0x_2 - 0,44x_2^2 + 0,38x_2x_3 - 0,19x_2x_4 + 0,69x_3 \pm 0x_3^2 - 0,37x_3x_4 + 0,6x_4 - 1,07x_4^2$$

Анализ рисунка 1 показывает, что при относительно низком давлении инъектирования (0,1 МПа) и при небольшом времени инъектирования (4 мин.) возможно

получать грунтобетоны с достаточной прочностью при сжатии от 3 МПа и выше, что соответствует требованиям нормативных документов.

В свою очередь максимальных значений прочности при сжатии  $f_{ck.cube} = 4,83$  МПа грунтобетон достигает при увеличении давления до 0,5 МПа и времени инъекции 4 минуты.

Интересно отметить, что увеличение давления инъектирования с 0,1 до 0,5 МПа приводит к повышению прочности с 1,8 до 4,83 МПа (т. е. почти в 3,2 раза). В то же время при увеличении давления с 0,1 до 0,3 МПа, при фиксированных значениях варьируемых факторов, повышение прочности наблюдается в 2 раза. Дальнейшее повышение давления приводит к повышению прочности уже до 2,5 раза. Это может быть вызвано тем, что в первом случае при низком давлении цементная суспензия пытается заполнить свободное пространство между частичками песка, а во втором случае – струя при высоком

давлении инъекции раздвигает частички песка, и тем самым в общем объеме преобладает большее количество модифицированной цементной суспензии.

Практически аналогичная картина увеличения прочности при увеличении давления и времени инъектирования наблюдалась и при исследовании песков с  $M_{кр} = 2$ , и  $2,5$ , их графическое отображение на рисунке 2 а и 2 б, соответственно. Причем максимальную прочность при сжатии получили на модельных грунтах с

$M_{кр} = 2,5$ . Это объясняется большей проницаемостью грунтов и меньшим коэффициентом смачивания песка.

**Выводы.** Варьируя рецептурно-технологическими факторами, возможно в широких пределах (от 0,7 до 4,83 МПа для песка с  $M_{кр} = 1,5$  и от 5 до 7 МПа для песка с  $M_{кр} = 2,5$ ) регулировать прочность при сжатии грунтобетон. Максимальная прочность при сжатии достигается при давлении инъектирования 0,5 МПа и времени инъектирования 4 минуты.

### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Аскалов В. В. Классификация химических способов закрепления грунтов в основании зданий и сооружений / В. В. Аскалов // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1966. – № 6. – С. 24–25.
2. Бабаскин Ю. Г. Укрепление грунтов инъектированием при ремонте автомобильных дорог : монография / Ю. Г. Бабаскин ; [под ред. И. И. Леоновича]. – Минск : Технопринт, 2002. – 177 с.
3. Баженов М. И. Композиции на основе тонкодисперсных вяжущих для инъекционного закрепления грунтов и подземных частей здания : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / М. И. Баженов ; Моск. гос. строит. ун-т. – Москва, 2012. – 24 с.
4. Богов С. Г. Исследование свойств инъекционных растворов на основе цемента для качественного закрепления грунтов / С. Г. Богов, И. А. Запелов // Реконструкция городов и геотехническое строительство. – 2000. – № 2. – С. 229–235. – Режим доступа: <http://georeconstruction.net/journals/02/8/8.pdf>.
5. Головкин С. И. Анализ составов инъекционных растворов для закрепления грунтов методом цементации / С. И. Головкин, Н. Е. Шехоркина, К. О. Михалева // Збірник наукових праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво / Полтав. нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. – Полтава, 2013. – Вип. 3. – С. 107–111.
6. Головкин С. И. Исследование стабильности инъекционных растворов на основе цемента / С. И. Головкин, Н. Е. Шехоркина // Наука сегодня. Предложения = Nauka dzisiaj. Oferty : сб. науч. докл., Щецин, 29-30 ноября 2014 г. / Diamond trading tour, Вестник. Наука и практика, Південноукр. Нац. пед. ун-т ім. К.Д. Ушинського. – Warszawa, 2014. – Ч. 1. – Р. 16–21.
7. Головкин С. И. Усовершенствование методики определения радиуса инъектирования при усилении основания методом высоконапорной цементации / С. И. Головкин, Н. Е. Шехоркина // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. / Приднпр. гос. акад. стр-ва и архитектуры. – Днепропетровск, 2013. – Вып. 67 : Стародубовские чтения. – С. 183–187.
8. Марголин В. М. Метод определения основных технологических параметров инъекции вязких растворов в песчаные грунты / В. М. Марголин // Промышленное и гражданское строительство. – 2013. – № 5. – С. 52–53.
9. Камбефор А. Инъекция грунтов. Принципы и методы / А. Камбефор ; [пер. с фр. Р. В. Казаковой, В. Б. Хейфица]. – Москва : Энергия, 1971. – 333 с.
10. Соколович В. Е. Химическое закрепление грунтов / В. Е. Соколович. – Москва : Стройиздат, 1980. – 119 с.
11. Харченко И. Я. Применение микроцементов при строительстве объектов транспортной инфраструктуры / И. Я. Харченко, А. А. Долов, С. В. Алексеев // Дороги. – 2013. – №11. – С. 62–64.
12. Яковлева И. И. Цементно-коллоидные растворы в гидротехническом строительстве / И. И. Яковлева // Закрепление и укрепление грунтов в строительстве : (тез. докл. на IX всесоюз. науч.-техн. совещ.) / Госстрой СССР. – Москва, 1978. – С. 251–254.

### REFERENCES

1. Askalov V.V. *Klassifikatsiya khimicheskikh sposobov zakrepleniya gruntov v osnovanii zdaniy i sooruzhenij* [Chemical methods classification of soil stabilization in the base of buildings and structures]. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov* [Grounds, foundations and soil mechanics]. 1966, no. 6, pp. 24-25. (in Russian).
2. Babaskin Yu.G. *Ukrepnenie gruntov inektirovaniem pri remonte avtomobilnyx dorog* [Soil stabilization by injecting t with the roads repairing]. Minsk: Texnoprint, 2002, 177 p. (in Russian).
3. Bazhenov M.I. *Kompozitsii na osnove tonkodispersnykh vyazhushchikh dlya in'ektsionnogo zakrepleniya gruntov i podzemnykh chastej zdaniya: avtoref. dis. na soiskanie uchen. stepeni kand. tekhn. nauk: 05.23.05* [Compositions based on fine binders for injection grouting and ground parts of the building: Abstract of Cand. Sc. (Tech.) Dissertation]. Mosk. gos. stroit. un-t [Moscow State Construction University]. Moskva, 2012, 24 p. (in Russian).

4. Bogov S.G. and Zapevalov I.A. *Issledovanie svojstv in'ektsionnykh rastvorov na osnove tsementa dlya kachestvennogo zakrepleniya gruntov* [Properties study of injection solutions based on cement for high quality grouting]. *Rekonstruktsiya gorodov i geotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Urban reconstruction and geotechnical engineering]. 2000, no. 2, pp. 229–235. Available at: <http://georeconstruction.net/journals/02/8/8.pdf>. (in Russian).
5. Golovko S.I., Shekhorkina N.E. and Mikhaleva K.O. *Analiz sostavov in'ektsionnykh rastvorov dlya zakrepleniya gruntov metodom tsementatsii* [Analysis of injectables formulations for grouting by cementation method]. *Zbirnyk naukovykh prats. Seriya: Galuzeve mashynobuduvannia, budivnytstvo* [Scientific papers collection. Series: Branch mechanical engineering, construction]. Poltav. nats. tekhn. un-t im. Jurii Kondratiuka [Poltava National Technical University named after Yurii Kondratiuk]. Poltava, 2013, iss. 3, pp. 107–111. (in Russian).
6. Golovko S.I. and Shekhorkina N.E. *Issledovanie stabil'nosti in'ektsionnykh rastvorov na osnove tsementa* [Stability study of injection solutions based on cement]. *Nauka segodnya. Predlozheniya = Nauka dzisiaj. Oferty: sb. nauch. dokl., Shhécyn, 29-30 nojabrja 2014 g.* [Diamond trading tour, Bulletin. Science and Practice, Pivdenoukr. Nats. ped. un-t im. K.D. Ushynskoho [South-Ukrainian National Pedagogical University named after Ushynskiy K.D.]. Warszawa, 2014, part 1, pp. 16–21. (in Russian).
7. Golovko S.I. and Shekhorkina N.E. *Uovershenstvovanie metodiki opredeleniya radiusa in'ektirovaniya pri usilenii osnovaniya metodom vysokonapornoj tsementatsii* [Methods improving for injection radius determining at base strengthening by high-pressure cementation]. *Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroenie* [Constuction, Materials Science, Mechanical Engineering]. Prydnepr. gos. akad. str-va i arkhitektury [Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture]. Dnepropetrovsk, 2013, iss. 67, pp. 183–187. (in Russian).
8. Margolin V.M. *Metod opredeleniya osnovnykh tekhnologicheskikh parametrov in'ektsii vyazkikh rastvorov v peschanye grunty* [Determination method for the general technological injection parameters of viscous fluids in sandy soils]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and civil engineering]. 2013, no. 5, pp. 52–53. (in Russian).
9. Kambefor A. *In'ektsiya gruntov. Printsipy i metody* [Soils injection. Principles and methods]. Moskva: Energiya, 1971, 333 p. (in Russian).
10. Sokolovich V.E. *Khimicheskoe zakreplenie gruntov* [Chemical soils stabilization]. Moskva: Strojizdat, 1980, 119 p. (in Russian).
11. Kharchenko I.Ya., Dolev A.A. and Alekseev S.V. *Primenenie mikrotsementov pri stroitel'stve ob'ektov transportnoj infrastruktury* [Micro-cement use in the construction of transport infrastructure]. *Dorogi* [Rouds]. 2013, no. 11, pp. 62–64. (in Russian).
12. Yakovleva I.I. *Tsementno-kolloidnye rastvory v gidrotekhnicheskome stroitel'stve* [Cement-colloidal solutions in hydraulic engineering]. *Zakreplenie i ukreplenie gruntov v stroitel'stve: (tez. dokl. na IX vsesoyuz. nauch.-tekhn. soveshh.)* [Soils stabilization in the construction: (Abstracts at the IX All-Union scientific and engineering Conference)]. Moskva: Gosstroj SSSR, 1978, pp. 251–254. (in Russian).

Рецензент: д-р т. н., проф. Шпірько М. В.

Надійшла до редколегії: 21.07.2016 р.

Прийнята до друку: 28.07.2016 р.