

## ВЛИЯНИЕ РЕЦЕПТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА СВОЙСТВА ГРУНТОБЕТОННОГО ЭКРАНА

**Петровский А.Ф.**, к.т.н., профессор,  
**Борисов А.А.**, к.т.н., доцент,  
*Одесская государственная академия строительства и архитектуры*  
etinvest@gmail.com

**Аннотация.** Данная работа посвящена изучению технологических параметров влияющих на качество получаемого противofильтрационного экрана. В данном случае рассматривается технология создания грунтобетонного экрана методом инъекции с применением горизонтально–направленного бурения. Важным показателем при планировании инъекционных работ является как гранулометрический состав грунтов, так и сам состав инъекционного раствора. В силу предложенной инновационной технологии устройства противofильтрационных завес особое внимание уделяется эксплуатационным и физико-механическим свойствам получаемых в результате инъекции грунтобетонов. Проведено исследование такой характеристики как прочность на сжатие.

**Ключевые слова:** защита грунтов, прочность на сжатие, грунтобетоны, защитный экран.

## ВПЛИВ РЕЦЕПТУРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ВЛАСТИВОСТІ ГРУНТОБЕТОННОГО ЕКРАНУ

**Петровський А.Ф.**, к.т.н., професор,  
**Борисов О.О.**, к.т.н., доцент,  
*Одеська державна академія будівництва і архітектури*  
etinvest@gmail.com

**Анотація.** Дана робота присвячена вивченню технологічних параметрів, які впливають на якість одержуваного протифільтраційного екрану. В даному випадку розглядається технологія створення грунтобетонного екрану методом ін'єкції із застосуванням горизонтально-направленого буріння. Важливим показником при плануванні ін'єкційних робіт є як гранулометричний склад ґрунтів, так і сам склад ін'єкційного розчину. В силу запропонованої інноваційної технології влаштування протифільтраційних завес особлива увага приділяється експлуатаційним і фізико-механічними властивостям, які отримуються в результаті ін'єкції грунтобетонів. Проведено дослідження такої характеристики як міцність на стиск.

**Ключові слова:** захист ґрунтів, міцність на стиск, грунтобетоны, захисний екран.

## INFLUENCE OF THE FORMULA-TECHNOLOGICAL FACTORS ON DIRT-GROUTING SCREEN PROPERTIES

**Petrovskiy A.F.**, Ph.D, Professor,  
**Borisov A.A.**, Ph.D,  
*Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*  
etinvest@gmail.com

**Abstract.** This work is devoted to the study of process parameters influencing the quality of the impervious screen. In this case, the technology of creating a soil-concrete screen injection

method using Horizontal Directional Drilling. An important indicator in the planning of injection works is a particle size distribution of the soil and the very composition of injection. In view of the proposed innovative impervious curtain device technologies focusing on 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. As a result of the study was obtained and compiled graphical model showing the influence of formulation and technological factors on compressive strength.

Analysis of the model shows that at a relatively low injection pressure (1 MPa) and at low injection time (4 min.) May receive a sufficient soil-compression strength of (3 MPa) or higher that meets regulations. Also found that increasing the injection pressure, and injection into the soil (sand) time increases the compressive strength of soil-prepared based on a model of sand with MCR = 2.

**Keywords:** soil protection, compressive strength, concrete ground, shield.

**Введение.** Многие хранилища отходов в Украине и места их размещения, не соответствуют санитарно-гигиеническим требованиям [1-3]. Часто на них отсутствуют или повреждены конструкции, предотвращающие фильтрацию загрязненных стоков в грунты и грунтовые воды. Как правило, они не отвечают требованиям нормативных документов по обеспечению их безопасной эксплуатации. Задачи локализации источников загрязнения грунтов, предотвращения распространения техногенных стоков и подтопления территорий и заглубленных сооружений сегодня решаются с применением технологий устройства вертикальных противофильтрационных экранов, которые, для обеспечения эффективной работы, должны быть, как правило, заглублены в водоупорные слои грунтов. Требования к таким технологиям и экранам достаточно широко представлены в нормативных документах [4]. В то же время, при отсутствии водоупора или его расположении на практически недостижимой глубине, для предотвращения распространения загрязненных стоков требуется устройство искусственного водоупора (противофильтрационного экрана) в грунте под существующим источником загрязнения. В настоящее время конструктивно-технологические требования к технологии устройства противофильтрационных экранов под существующими сооружениями отсутствуют в нормативных документах и рекомендациях, а возможность применения таких технологий не обоснована системными исследованиями [5-8].

Данное исследование направлено на разработку технологии устройства противофильтрационных экранов, 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.

**Постановка общей 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 иницируемой средой. 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. Производство работ по таким технологиям отличается от той технологии, что разработано нами. Однако следует отметить, что физико-механические свойства полученных грунтоцементных или грунтосиликатных элементов имеют примерно одинаковые прочностные характеристики. В силу того, что нами предложена инновационная технология устройства противофильтрационных 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 должны привести к получению противофильтрационных экранов с заданными свойствами.

**Цель и задачи исследования.** Целью данного исследования является 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. Задачи, которые необходимо решить для достижения поставленной цели следующие: подбор и определение рецептурного состава, а также варьирование технологических режимов инъектирования.

**Объект и методы исследований.** Создание внутри песчаного массива прочного горизонтального экрана в условиях, когда меняются технологические параметры. Метод проведения технологических исследований: экспериментально-аналитический.

**Основные результаты исследования.** В целях снижения затрат приготовление высокодисперсных суспензий инъекционных растворов должно осуществляться совместно с 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.

Возможности повышения прочности грунтобетона, создание более плотной упаковки зерен, могут быть осуществлены 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-ти точечному четырехфакторному D-оптимальному плану [12].

Нормализация всех факторов состава бетона выполнена по стандартным формулам [12]:

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

где  $X_{0i} = 0.5 \cdot (X_{i,max} + X_{i,min})$ ,  $\Delta X_i = 0.5 \cdot (X_{i,max} - X_{i,min})$ .

В эксперименте варьировались такие независимые факторы как:

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

$X_2 = 10 \pm 10$  – количество наполнителя, %;

$X_3 = 3 \pm 2$  – 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 необходимыми для противодиффузионного экрана свойствами, а именно прочностью при сжатии.

В качестве наполнителя, был использован молотый кварцевый песок ( $X_2$ ), с удельной поверхностью  $S_{уд} = 300$  м<sup>2</sup>/кг. Эта дисперсность наполнителя была predetermined относительно недорогого помола.

Влияние содержания наполнителя на свойства цементного камня исследовались в работах многих авторов [13, 14]. Однако, согласно [15], простой перенос оптимальных значений степени наполнения цементных суспензий на бетоны является некорректным, т.к. часть вяжущего расходуется на обволакивание зерен наполнителя и сцепление с ними, то концентрация молотого кварцевого песка в вяжущем снова была принята в качестве рецептурного фактора. При этом необходимо учесть, что портландцемент является одним из самых дорогих вяжущих компонентов.

В качестве добавки пластификатора в бетонную 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 принят кварцевый песок с  $M_{кр} = 1,8$ .

Приготовление грунтобетонных смесей происходило в следующей последовательности.

При приготовлении грунтобетонных смесей предварительно полученная суспензия вяжущего, полученная совместным смешением, последовательно введенных воды с добавкой С-3, портландцемента и молотого кварцевого песка, в скоростном смесителе, нагнеталась в емкость, заполненную немолотым кварцевым песком, перемешанным в соотношении 70/30 с глинистым раствором.

В результате реализации эксперимента получена экспериментально-статистическая модель, которая описывает исследуемый показатель качества грунтобетонов.

*Влияние технологических факторов на эксплуатационные характеристики грунтобетонов.*

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 цементной суспензии в порах песка. После инъектирования цементной суспензии в ней начинают происходить существенные изменения, которые приводят к конечным свойствам 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 [16].

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  $f_{ck,cube}$  грунтобетонов при различных режимах инъектирования.

Графическое представление модели отображающей влияние рецептурно-технологических факторов показано на рис. 1. Анализ модели показывает, что при относительно низком давлении инъектирования (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  $f_{ck,cube} = 7,2$  МПа грунтобетон достигает при увеличении давления до 5 МПа и времени инъекции 4 мин.

Интересно отметить, что увеличение давления инъектирования с 1 до 5 МПа приводит к повышению прочности с 1,8 до 5,7 МПа (т.е. почти в 3,2 раза). В тоже время при увеличении давления с 1 до 3 МПа, при фиксированных значениях варьируемых факторов, повышение прочности наблюдается в 2 раза. Дальнейшее повышение давления приводит к повышению прочности уже до 2,5 раз. 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 цементной суспензии.

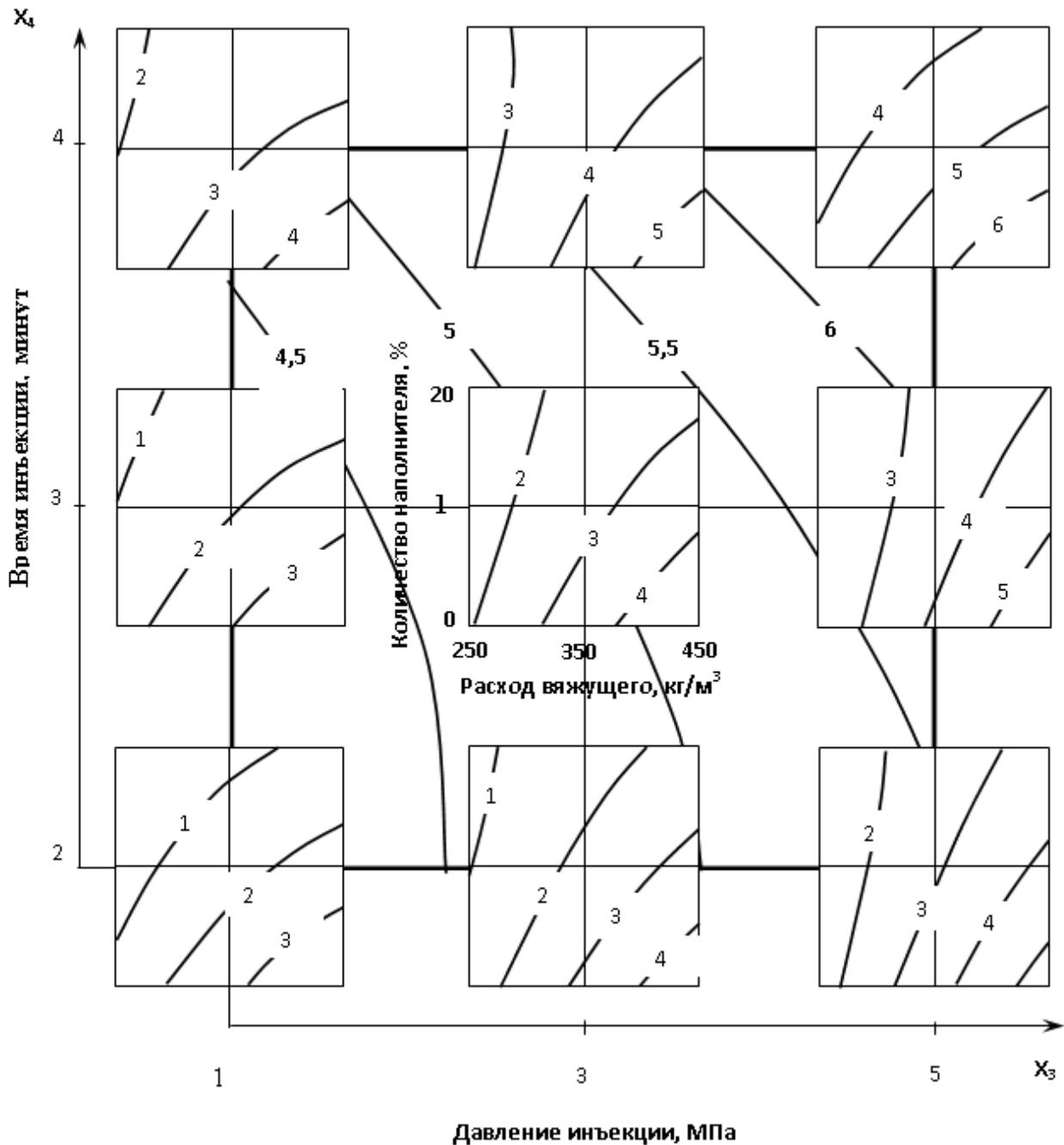


Рис. 1. Влияние рецептурно-технологических факторов на  $f_{ck.cube}$  (МПа) грунтобетона

**Выводы:**

1. Проведены исследования по оптимизации составов грунтобетонеров, которые возможно применять для инъекционной технологии.
2. В результате реализации эксперимента получен комплекс экспериментально-статистических моделей, которые описывают основные показатели качества грунтобетонеров.
3. Анализ модели показывает, что при относительно низком давлении инъектирования (1 МПа) и при небольшом времени инъектирования (4 мин.) возможно, получать грунтобетонеры с достаточной прочностью при сжатии от 3 МПа и выше, что соответствует требованиям нормативных документов.
4. Установлено, что увеличение давления инъектирования, а также времени инъекции в грунт (песок) приводит к увеличению прочности при сжатии грунтобетонеров,

приготовленных на основе модельного песка с  $M_{кр} = 2$ .

### Литература

1. 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.
2. Завальный А.П. Влияние накопителей промышленных отходов на окружающую среду / А.П. Завальный // Вісник Харківського національного університету імені В.М. Карамзіна. – Х., 2003. – № 604 "Геологія – Географія – Екологія". – С. 217-223.
3. Завальный А.П. Мероприятия по охране подземных вод при эксплуатации накопителей промышленных отходов / А.П. Завальный // Вісник Харківського національного університету імені В.М. Карамзіна. – Х., 2013. – № 1084. – С.217-223.
4. Пособие по проектированию полигонов по обезвреживанию и захоронению токсичных промышленных отходов (к СНиП 2.01.28–85). – М.:ЦИТП Госстроя СССР, 1990. – 48 с.
5. Бойко Г.А. Применение тонких противофильтрационных диафрагм в условиях Белоруссии. Строительство и архитектура Белоруссии / Г.А. Бойко, Г.Г. Азбель, Г.Н. Никольская. – 1980. – № 4. – С. 31.
6. Бунтман А.Д. Об использовании противофильтрационных завес для защиты котлованов от притока грунтовых вод / А.Д. Бунтман // Энергетическое строительство. – 1978. – № 2. – С. 86-87.
7. Пат. 2015248 С1 Российская Федерация, МПК5 Е 02 D 3/12. Способ создания противофильтрационной завесы в лессовом грунте / В.И. Осипов, С.Д. Филимонов, Б.Н. Мельников, Е.В. Кайль; заявл. 27.12.91; опубл. 30.06.94.
8. Пат. 2206663 С1 Российская Федерация, МПК7 Е 02 D 5/56, 5/20, 7/22. Способ возведения ограждающей противофильтрационной инженерно-защитной конструкции (варианты) / А.Н. Басиев, М.В. Зелов, А.Г. Икусов; заявл. 21.12.2001; опубл. 20.06.2003.
9. Алимов А.Г. Противофильтрационная защита каналов и водоемов / А.Г. Алимов // Гидротехническое строительство. – 2008. – № 4. – С. 36-42.
10. Выровой В.Н. Механизм формирования внутренних поверхностей композиционных материалов. // Применение цементных и асфальтовых бетонов в Сибири: Сб-ник научн. трудов. – Омск: Сиб. АДИ, 1983. –С. 3-10.
11. Ратинов В.Б. Добавки в бетон / В.Б. Ратинов, Г.И. Розерберг. – М.: Стройиздат, 1989. – 186 с.
12. Вознесенский В.А. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ / В.А. Вознесенский, Т.В. Ляшенко, Б.Л. Огарков. – К.: Вища школа, 1989. – 327 с.
13. Соломатов В.И. Наполненные цементы и перспективы их применения на предприятиях стройиндустрии Молдавской ССР / В.И. Соломатов, В.Н. Выровой, В.И. Литвак. – Кишинев: Молд.НИИТИ, 1986. – 67с.
14. Дзенис В.В. О виброобработке песчаного бетона с микронаполнителем / В.В. Дзенис // Исследования по бетону и железобетону, 1959, вып.4. – Рига. – С.59-70.
15. Соломатов В.И. Бетон как композиционный материал (обзор) / В.И. Соломатов, В.Н. Выровой, Н.А. Аббасханов. – Ташкент: УзНИИТИ, 1984. – 31с.
16. Адылходжаев А.И. Основы интенсивной раздельной технологии бетона / А.И. Адылходжаев, В.И. Соломатов. – Ташкент: Фан, 1983. – 213 с.

Стаття надійшла 3.09.2016