

***Збицкая В. В., Псюк В. В., Будзило Е. Е.**

Донбасский государственный технический университет

**E-mail: ki1r1lch@mail.ru*

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ БУРОИНЪЕКЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ УКРЕПЛЕНИИ ГРУНТОВ

Работа посвящена анализу эффективности применения буроинъекционной технологии при укреплении грунтов. Натурные исследования проведены при устройстве искусственных оснований для плитного, свайного и ленточного фундаментов. Основания представлены насыпными, разуплотненными и обводненными грунтами. Доказана высокая технико-экономическая эффективность технологии буроинъекционного усиления грунтов оснований фундаментов различных конструкций в сложных инженерно-геологических условиях.

Ключевые слова: буроинъекционная технология, напорная инъекция, раствор, гидроразрыв, укрепление грунтов, технико-экономическая эффективность, сложные инженерно-геологические условия.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. Для повышения прочности грунтов основания зданий и сооружений широко применяют различные методы закрепления. Практика показывает, что сегодня одним из перспективных направлений укрепления грунтов оснований фундаментов является использование буроинъекционной технологии [1–3]. Данный способ базируется на устройстве буроинъекционных свай посредством напорной инъекции раствора в режиме гидроразрыва, имеет широкий диапазон использования по инженерно-геологическим условиям и позволяет достичь высокой степени укрепления грунта и увеличения технико-экономической эффективности работ.

Суть способа закрепления грунтов инъекцией растворов в режиме гидроразрыва заключается в устройстве в грунт перфорированной трубы, через которую поинтервально под давлением нагнетается инъекционный раствор. Напорная инъекция раствора способствует формированию разнонаправленных каналов гидроразрыва. В результате чего в грунте образуется система из инъекционной трубы и полостей разрыва. Эта система работает как единая [4, 5].

Для практической реализации предложенного способа укрепления основания

фундамента важным вопросом является инженерное обоснование его параметров.

Для расчета буроинъекционных свай разработана методика проектирования [6], включающая следующие этапы:

- геологические и инженерно-геологические исследования грунтов;
- определение технологических и геометрических параметров;
- определение несущей способности буроинъекционных свай, кН.

Данная методика предусматривает поэтапное определение следующих параметров: глубины и расстояния между скважинами; объема нагнетаемого раствора; максимально допустимого давления нагнетания; несущей способности буроинъекционной сваи.

В соответствии с предложенной методикой были обоснованы параметры грунтового основания фундаментов на трех объектах.

Целью работы является анализ эффективности применения буроинъекционной технологии при укреплении грунтов оснований.

Цель достигалась решением **задач:**

- выполнить анализ результатов опытно-промышленных работ по упрочнению грунтов буроинъекционными сваями;
- выполнить сравнительный анализ экономической эффективности буроинъ-

СТРОИТЕЛЬСТВО

екционной технологии при укреплении грунтов.

Объект исследования — буроинъекционная технология упрочнения грунтов основания.

Предмет исследований — параметры технологии и свойства грунтов оснований строительных объектов.

Методика исследований — анализ литературных и нормативных источников; натурные экспериментальные работы; аналитическое исследование эффективности применения буроинъекционной технологии при укреплении грунтов.

Изложение материала. Проведены опытно-промышленные работы по упрочнению грунтов буроинъекционными сваями на трех объектах, а именно:

– выполнены работы по укреплению грунтов основания при строительстве климатопавильона в г. Ялте с целью предупреждения развития деформационных процессов;

– укрепление разуплотненных грунтов основания свайных фундаментов здания Луганской городской больницы № 7;

– упрочнение грунтов при реконструкции основания фундамента аварийного дома по ул. Шевченко, 29 в г. Луганске.

При строительстве климатопавильона принятыми техническими решениями

предусматривалось укрепление насыпных грунтов в основании проектируемых фундаментов зданий методом инъекционного гидроразрыва.

Расчитанные параметры укрепления грунтов буроинъекционными сваями приведены в таблице 1.

Схема расположения скважин (рис. 1) выполнена так, чтобы область инъектирования находилась в основании проектируемых фундаментов в области насыпных грунтов и равномерно распределялась по всему закрепляемому массиву грунта.

Таблица 1

Параметры укрепления грунтов основания плитного фундамента методом инъекционного гидроразрыва

№	Название параметра	Значение
1	Необходимая степень уплотнения грунтов $\Delta h_{пр}$, м	0,07
2	Давление нагнетания раствора Р, МПа	0,8
3	Радиус инъекции R, м	2
4	Количество скважин, шт.	36
5	Глубина скважин, м	2,5–5,5
6	Объемы инъекционного раствора V, м ³	40,8
7	Несущая способность буроинъекционной сваи F _d , кН	960

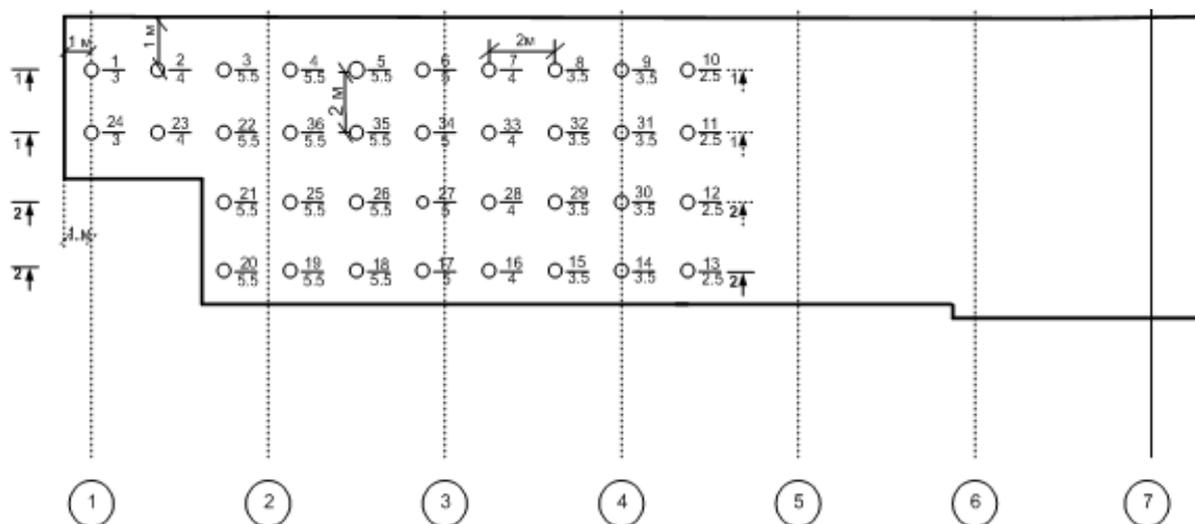


Рисунок 1 — Схема расположения буроинъекционных скважин в основании климатопавильона

Работы выполнялись последовательно по скважинам в соответствии с их нумерацией. В первую очередь бурились скважины по периметру закрепляемого массива для создания упорной стены из уплотненного грунта и предотвращения выхода тампонажного раствора за пределы фундамента при выполнении инъекционных работ внутри периметра. В качестве инъекционного использовался цементный раствор плотностью $1,8 \text{ т/м}^3$.

Бурение скважин выполнялось буровой установкой УРБ-2А2 на базе автомобиля ЗИЛ-131. Приготовление и нагнетание цементного раствора осуществлялось миксером и насосом НБ-4 в соответствии с технологической схемой, обеспечивающей непрерывный контроль нагнетания.

Согласно данным инженерно-геологических изысканий и технологической схеме нагнетания цементного раствора, была принята следующая конструкция скважин: диаметр бурения 132 мм, диаметр инъектора 89 мм, шаг перфорации 0,5 м.

В процессе производства работ было пробурено 36 скважин глубиной 3–5,5 м, в которые установлены инъекторы, и выполнено нагнетание цементного раствора в объеме 42 м^3 . Несущая способность этих свай по расчету равна 960 кН (табл. 1).

Испытания двух свай показали, что их несущая способность составляет 1000–1050 кН и грунты закреплены до расчетных параметров. На буроинъекционные сваи установлен железобетонный плитный фундамент и выполнено строительство здания климатопавильона.

Укрепление разуплотненных грунтов основания свайных фундаментов здания Луганской городской больницы № 7 выполнено с помощью сооружения буроинъекционных свай. Работы выполнялись поочередно по скважинам в соответствии с их нумерацией (рис. 2). Технические решения по усилению несущей способности существующих ростверков следующие:

- бурение 24 скважин вращательным способом без отбора керна диаметром 151 мм, глубиной 17 м каждая;
- установка в скважины инъекторов — металлических труб диаметром 108 мм — на всю глубину, трубы перфорированы по всей длине;
- нагнетание цементного раствора заходками «снизу вверх», область инъектирования определяется зоной перфорации инъектора: в интервале 1–16 м (16 уровней перфорации через 1 м).

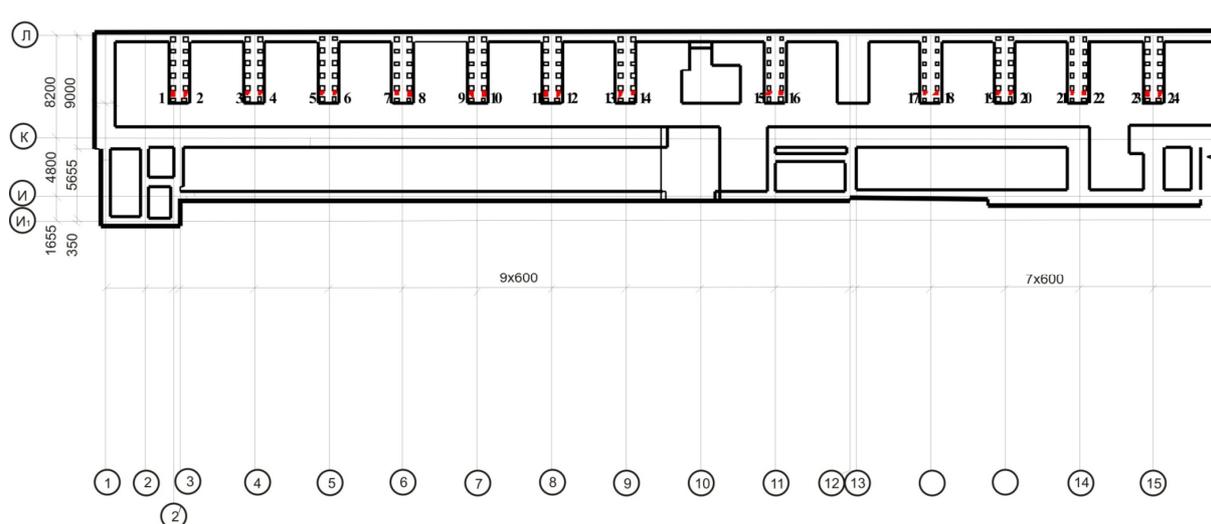


Рисунок 2 — Схема расположения буроинъекционных скважин в основании здания больницы

Пространство между обсадной трубой и стенками скважины заполнялось «обойменным» цементным раствором, что предотвращает перетекание цементирующего раствора в зоне перфорации и обеспечивает погоризонтное укрепление массива. После выполнения нагнетаний расчетного количества цементного раствора иньектор остается в скважине, таким образом, он продолжает работать в качестве дополнительной сваи в основании ростверка.

Несущая способность буроиньекционных свай по расчету равна 910 кН. В результате устройства свай средняя несущая способность каждой составила 700–820 кН. Это позволило успешно выполнить ремонт здания больницы и дополнительно надстроить два этажа.

Для выполнения иньекционных работ по упрочнению грунтов при реконструкции основания фундамента аварийного дома № 29 по ул. Шевченко г. Луганска было пробурено 25 наклонных скважин глубиной 6 м каждая (рис. 3).

В соответствии с инженерно-геологическими условиями и технологической схемой нагнетания цементного раствора, принималась следующая конструкция скважин: диаметр бурения 132 мм; диаметр обсадки 89 мм. Для бурения скважин использован буровой станок БСК 2М2-100.

Использовался следующий технологический инструмент: трубы бурильные — 42 мм с муфто-замковым соединением; шарошечные долота Ш-132-Т-ЦВ; обсадные металлические трубы (иньекторы) — 89 мм.

Для производства иньекционных работ по увеличению несущей способности разуплотненных грунтов применялся цементный иньекционный раствор.

Приготовление цементного раствора осуществлялось непосредственно в нагнетательной технологической линии. Произведено нагнетание 23 м³ цементного раствора.

В результате устройства буроиньекционных свай нагрузка от надземной части здания передалась на установленные сваи и упрочненные грунты; деформационный процесс в основании сооружения и в строительных конструкциях стабилизировался, что позволило выполнить ремонт дома без отселения жильцов. Контрольные испытания буроиньекционных свай и мониторинг деформаций здания показали высокое качество работ.

Оценка сравнительной экономической эффективности применения буроиньекционной технологии выполнена для упрочнения грунтов при реконструкции основания фундамента аварийного дома.

Данные для оценки экономической эффективности методом сравнения основных параметров буроиньекционных свай с базовой технологией приведены в таблице 2.

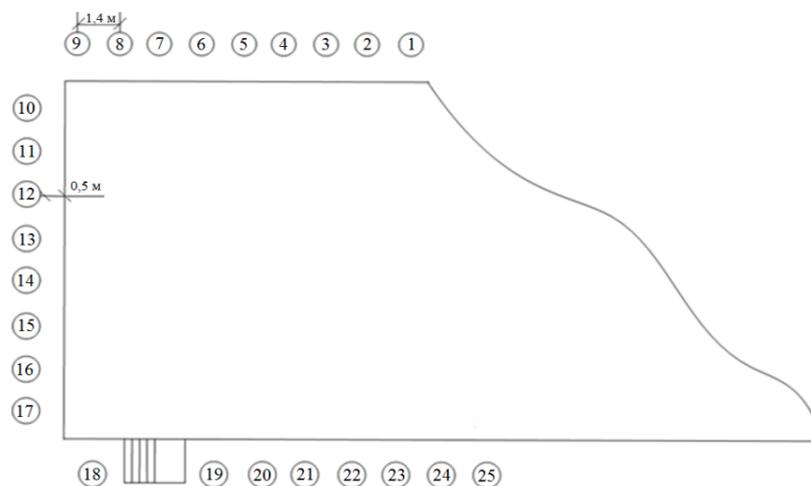


Рисунок 3 — Схема расположения буроиньекционных в основании аварийного дома

СТРОИТЕЛЬСТВО

Таблица 2

Данные для оценки экономической эффективности применения буроинъекционной технологии

Параметр	Упрочнение основания с помощью	
	буроинъекционных свай	базовой технологии
Расстояние между скважинами, м	1,4	0,9
Число скважин, шт.	25	39
Глубина бурения, м	6	6
Объем инъекционного раствора на одну заходку, м ³	0,3	0,5
Объем инъекционного раствора на одну скважину, м ³	0,9	1,5
Всего инъекционного раствора, м ³	22,5	58,5

Сравнение двух способов упрочнения основания показало, что применение буроинъекционной технологии позволяет достичь экономии на бурении скважин (на 84 п. м. меньше) и на необходимом количестве цементного раствора (на 36 м³ меньше). Следовательно, экономический эффект, руб.:

$$\mathcal{E} = 84 \text{ п.м.} \cdot Z_{\text{бур}} + 36 \text{ м}^3 (Z_{\text{ц.р.}} + Z_{\text{нагн.}}), \quad (1)$$

где $Z_{\text{бур}}$ — затраты на бурение 1 п. м. скважины при IV категории пород по буримости, руб./п. м.;

$Z_{\text{ц.р.}}$ — стоимость цементного раствора, руб./м³;

$Z_{\text{нагн.}}$ — затраты на приготовление и нагнетание цементного раствора, руб./м³.

$$\mathcal{E} = 84 \text{ п.м.} \cdot 300 \text{ руб./п.м.} + 36 \text{ м}^3 \times \\ \times (3500 + 25000) \text{ руб./м}^3 = 1051200 \text{ руб.}$$

Таким образом, оценка сравнительной экономической эффективности показала, что применение буроинъекционной технологии для упрочнения грунтов основания на данном объекте позволило достичь эко-

номии больше 1 млн руб., при этом на одном погонном метре — 7 тыс. руб.

Выводы и направление дальнейших исследований. Положительные результаты опытно-промышленных работ при упрочнении основания плитного фундамента строящегося климатопавильона, укреплении грунтов вокруг свайных фундаментов аварийной больницы, упрочнении грунтов под ленточным фундаментом аварийного дома позволили доказать высокую технико-экономическую эффективность технологии буроинъекционного усиления оснований фундаментов различных конструкций в сложных инженерно-геологических условиях.

Оценка сравнительной экономической эффективности показала, что применение буроинъекционной технологии для упрочнения грунтов при реконструкции основания фундамента аварийного дома позволило достичь экономии больше 1 млн руб., при этом на одном погонном метре — 7 тыс. руб.

Дальнейшие исследования будут направлены на повышение точности расчета несущей способности буроинъекционной сваи.

Список источников

1. Рекомендации по ликвидации аварий жилых зданий и объектов социального назначения / П. Н. Должиков [и др.]. Донецк : Норд-пресс, 2014. 52 с.
2. Збицкая В. В., Псюк В. В. Обоснование применения буроинъекционной технологии при упрочнении грунтов оснований эксплуатируемых строительных объектов // Сб. науч. тр. ДонГТИ. 2022. Вып. 28 (71). С. 113–118.
3. Должиков П. Н., Рябичев В. Д., Пронский Д. В. Исследование параметров и процесса тампонажа зон разуплотнений горного массива // Научный вестник НГУ. 2004. № 1. С. 35–37.

4. Комплексный метод тампонажа при строительстве шахт : учеб. пособ. / Э. Я. Купко [и др.]. Днепропетровск : Национальный горный университет, 2004. 415 с.

5. Должиков П. Н., Збицкая В. В. Аналитическое исследование несущей способности буринъекционной сваи // Сб. науч. трудов ДонГТУ. 2014. № 1 (42). С. 117–121.

6. Должиков П. Н., Збицкая В. В. Совершенствование методики проектирования параметров буринъекционных свай // Строительство и архитектура — 2015 : материалы конференции. Ростов н/Д : РГСУ, 2015. С. 366–368.

© Збицкая В. В., Псюк В. В., Будзило Е. Е.

Рекомендована к печати к.т.н., доц. каф. СА ДонГТУ Бондарчуком В. В., к.т.н., гл. инженером проекта НПЦ «Сваркон» Антошиной Т. В.

Статья поступила в редакцию 28.10.2024.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Збицкая Валентина Викторовна, канд. техн. наук, доцент каф. строительства и архитектуры Донбасский государственный технический университет, г. Алчевск, Россия, e-mail: ki1ri1ch@mail.ru

Псюк Виктор Васильевич, канд. техн. наук, доцент, зав. каф. строительства и архитектуры Донбасский государственный технический университет, г. Алчевск, Россия

Будзило Елена Евгеньевна, канд. техн. наук, доцент каф. строительства и архитектуры Донбасский государственный технический университет, г. Алчевск, Россия

***Zbitskaya V. V., Psyuk V. V., Budzilo E. E.** (Donbass State Technical University, Alchevsk, Russia, *e-mail: ki1ri1ch@mail.ru)

THE EFFICIENCY OF BORE-INJECTION TECHNOLOGY FOR SOIL STRENGTHENING

The work is devoted to analyzing the efficiency of using the bore-injection technology in soil strengthening. In-situ investigations were carried out during the construction of artificial bases for slab, pile and strip foundations. Bases are represented by bulk, loose and waterlogged soils. Bore-injection technology has been proven to be highly technical and economic efficient in strengthening soil base foundations of various structures in complex engineering and geological conditions.

Key words: complex engineering and geological conditions, bore-injection technology, forcing injection, mortar, hydrofracing, soil stabilization, technical and economic efficiency.

References

1. Dolzhikov P. N. [et al.] Recommendations for reducing accidents in residential buildings and social facilities [Rekomendacii po likvidacii avarij zhilyh zdaniy i ob"ektov social'nogo naznacheniya]. Donetsk : Nord-press, 2014. 52 p. (rus)

2. Zbitskaya V. V., Psyuk V. V. Justification of application of the bore-injection technology for strengthening the soil foundations of construction sites that have been exploited [Obosnovanie primeneniya buroin"ekcionnoj tekhnologii pri uprochnenii gruntov osnovanij ekspluatiruemyh stroitel'nyh ob"ektov]. Scientific works collection of DonSTU. 2022. Iss. 28 (71). Pp. 113–118. (rus)

3. Dolzhikov P. N., Ryabichev V. D., Pronskij D. V. Investigation of parameters and methods of tamping zones of unconsolidated rock [Issledovanie parametrov i processa tamponazha zon razuplotnenij gornogo massiva]. Naukovyi Visnyk Natsionalnogo Hirnychoho Universitetu. 2004. No. 1. Pp. 35–36.

4. Kipko E. Ya. [et al.] *Complex method of plugging in the construction of mines : study letter* [Kompleksnyj metod tamponazha pri stroitel'stve shaht : ucheb. posobie]. Dnepropetrovsk : National Mining University. 2004. 415 p. (rus)

5. Dolzhikov P. N., Zbickaya V. V. *Analytical study of the bearing capacity of a bore-injection pile* [Analiticheskoe issledovanie nesushchej sposobnosti buroin''ekcionnoj svaj]. Scientific works collection of DonSTU. 2014. No. 1 (42). Pp. 117–121. (rus)

6. Dolzhikov P. N., Zbickaya V. V. *Improvement of the design methodology for bore-injection pile parameters* [Sovershenstvovanie metodiki proektirovaniya parametrov buroin''ekcionnyh svaj]. Stroitel'stvo i arhitektura — 2015 : mat. konferencii. Rostov n/D : RSSU, 2015. Pp. 366–368. (rus)

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Zbitskaya Valentina Viktorovna, PhD in Engineering, Assistant Professor of the Department of Building and Architecture
Donbass State Technical University,
Alchevsk, Russia,
e-mail: ki1ri1ch@mail.ru

Psyuk Viktor Vasiliyevich, PhD in Engineering, Assistant Professor, Head of the Department of Building and Architecture
Donbass State Technical University,
Alchevsk, Russia

Budzilo Elena Evgeniïevna, PhD in Engineering, Assistant Professor, Assistant Professor of the Department of Building and Architecture
Donbass State Technical University,
Alchevsk, Russia