

Современные возможности струйной цементации грунтов

Б.В.Жадановский, А.В.Гранева, С.В.Абрамова

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва

Аннотация: Технология струйной цементации грунтов – это метод укрепления слабых или сильно обводнённых грунтов в строительстве, заключающийся в нагнетании в скважину цементного раствора под высоким давлением для разрушения структуры грунта и одновременного перемешивания его частиц с цементным раствором. В результате образуется единая грунтоцементная масса, которая обладает заранее заданными улучшенными прочностными и деформационными характеристиками. Технология струйной цементации грунтов имеет большой потенциал для развития и применения в различных отраслях строительства, например, для строительства зданий, дорог, мостов и других сооружений в различных инженерно-геологических условиях. Развитие технологии струйной цементации приведет не только к расширению области ее применения, но и сможет повысить конкурентоспособность на рынке строительных услуг.
Ключевые слова: буровая установка, трубчатые анкеры, грунтоцемент, грунтоцементные сваи, струйная цементация грунтов, JetGrouting.

Введение

Технология струйной цементации грунтов является методом укрепления слабых грунтовых оснований для возведения строительных объектов. Данная технология разработана в начале XX века и дальнейшее ее история развития включает в себя следующие этапы:

Первоначальные исследования. В 1920-1930-е годы, инженеры начали исследовать методы укрепления грунтов. Одним из первых этапов было применение бетона для заполнения пустот в грунте. Однако этот метод имел свои ограничения и приводил к неудовлетворительным результатам.

Усовершенствование технологии. В основе методов укрепления грунтов лежит теоретический принцип активного и направленного использования их свойств и процессов, протекающих при укреплении [1]. Одним из таких методов стал метод струйной цементации, развитие которого обусловлено внедрением новых технологий и материалов. К ним относятся

разработка специальных цементов, методов контроля качества цементирования, так же внесение в грунт цементного раствора с использованием струи.

Применение в различных отраслях. С течением времени технология струйной цементации стала иметь широкую область применения в строительной сфере. В первую очередь включает в себя возможность укрепления грунтовых оснований при строительстве подземных сооружений.

Современные возможности струйной цементации грунтов. В настоящее время технология продолжает развиваться, внедряя новые технологии и оборудование для повышения эффективности и безопасности процесса. Также внимание уделяется экологическим вопросам. К основной проблеме относится снижение выбросов паров цемента в окружающую среду.

Основные принципы и методы струйной цементации

Струйная цементация грунтов – это метод, обуславливающий укрепление и уплотнение грунта с помощью высоконапорной струи цементного раствора, за счет размыва цемента и грунта. В результате образуется единая грунтоцементная масса, которая обладает заранее заданными улучшенными прочностными и деформационными характеристиками.

Метод включает следующие этапы:

- Подготовка территории для проведения работ.
- Бурение скважин на проектную глубину.
- Подготовка оборудования для струйной цементации. На данном этапе в скважину опускается струйный монитор, который необходим для разрушения и перемешивания грунта.

- Подача цементного раствора, который заполняет пустоты и образует новый материал - грунтоцемент.
- Очистка территории и завершение работ.

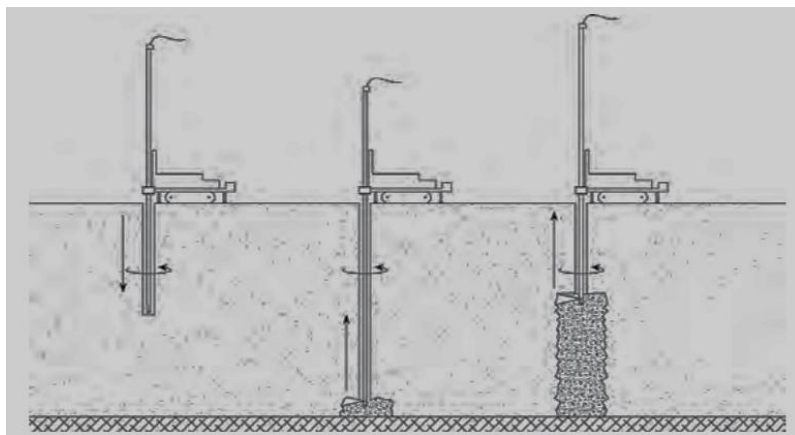


Рис. 1. – Схема производства струйной цементации

Технологическое оборудование и инструментарий

Выбор оборудования зависит от принятого вида струйной цементации [2].

Основной комплект технологического оборудования, необходимый для осуществления струйной цементации грунтов, состоит из буровой установки, цементирующего насоса, автоматизированной миксерной установки, силосов для хранения цемента.

Буровые установки предназначены для образования вертикальных и наклонных скважин, подбираются в зависимости от работы как на открытых строительных площадках, так и в стесненных условиях. Главным требованием является оснащённость автоматизированного подъема колонны с принятой скоростью. Также необходимо устанавливать удлинители, что бы применяемая буровая колонна была равна глубине бурения скважины.

Применение цементирующего насоса является главным этапом в данной технологии. Оно обеспечивает высокую производительность и давление, необходимые для разрушения и перемешивания грунта.

Миксерные установки обеспечивают равномерное перемешивание цемента с водой для получения грунтоцемента высокого качества. Для этого необходимо учитывать параметры дозирования, оснащенность электронными весами для получения компонентов в точных пропорциях, что влияет на конечные характеристики грунтоцемента. Производительность установки должна быть не менее 15-20 м³/час.

Применение струйной цементации в различных условиях

В зависимости от инженерно-геологических условий применяется однокомпонентная, двухкомпонентная или трехкомпонентная технология [3].

При применении однокомпонентной технологии (Jet1) под струей цементного раствора с напором 400-600 атм. происходит разрушение грунта с последующим его перемешиванием с раствором, в результате чего образуется грунтоцементная колонна диаметром 0,6-1 м. Данная технология является простой, т.к. задействован минимальный комплект оборудования.

Двухкомпонентная технология (Jet2) струйной цементации представляет собой разрыв, перемешивание и закрепление элементов под действием сжатого воздуха, для чего применяются двойные концентрические полые штанги - для цементного раствора и для сжатого воздуха. В результате образуется грунтоцементная колонна диаметром 1,0-2,0 м.

Трехкомпонентная технология (Jet3) отличается от предыдущих тем, что вначале размывается грунт, под действием воздушной струи образуются полости, которые заполняются цементным раствором, в результате получают колонны из чистого цементного раствора. На выходе образуется грунтоцементная колонна диаметром до 2,5 м.

Параметры грунтобетона в зависимости от свойств грунта в регионе строительства следующий: расход цементного раствора для укрепления 1 м³г

грунта составляет 400-450 л – в суглинках и супесях. В органическом грунте расход повышается до 500-600 л [4].

Таблица № 1

Диаметры грунтоцементных колонн в зависимости от технологии струйной цементации

Вид грунта		Jet1	Jet2	Jet3
Глинистый	м	0,6	1,2	1,0
Суглинистый	м	0,7-0,8	1,5	2,0
Супесчаный	м	0,7-0,8	1,5	1,5
Песчаный	м	1,0	2,0	2,5

Новые возможности струйной цементации грунтов

Наибольшую эффективность приобретает метод устройства грунтоцементных колонн большого диаметра, при котором снижаются объемы буровых работ, стоимость и сроки строительно-монтажных работ.

Существует три основных разновидности технологии Jet-Grouting [5]. В результате различия параметров для реализации данных методов, диаметр колонн будет отличаться.

В результате анализа таблицы 2, можно сделать вывод, что диаметр колонн зависит от количества используемого цемента. С повышением его расхода, увеличивается диаметр колонн [6].

Так же большое влияние на диаметр грунтоцементных колонн оказывает уровень подачи струи цементного раствора и грунт, который подвергается давлению [7].

В настоящее время в нашей стране возможно получить колонны диаметром 1,2-1,8 м при использовании технологии Jet2. В зарубежной же практике известны случаи достижения диаметра размеров 3,5-3,5 м.

Таблица № 2

Основные параметры технологии струйной цементации грунтов

Параметры технологии			Вариант		
			Jet1	Jet2	Jet3
Давление	Вода	МПа	ПРГ	ПРГ	30-50
	Цементный раствор	МПа	40-60	40-60	4-6
	Сжатых воздух	МПа	не исп.	8-12	0,8-1,2
Расход	Вода	л/мин	ПРГ	ПРГ	70-100
	Цементный раствор	л/мин	60-150	150-250	150-250
	Сжатых воздух	м ³ /час	не исп.	6-18	6-18
Количество сопел	Вода	шт.	ПРГ (1)	ПРГ (1)	1-2
	Цементный раствор	шт.	2-6	1-2	1
Диаметр сопел	Вода	мм	ПРГ (1.6-2.4)	ПРГ (1.6-2.4)	1.8-2.5
	Цементный раствор	мм	1.6-3.0	2.0-4.0	3.5-6.0
Скорость вращения монитора		об/мин	10-30	10-30	1-30
Время подъема монитора на 4 см		сек	4-15	10-20	15-25
Диаметр колонн	Песчаный грунт	м	0.6-1.0	1.0-2.0	1.5-2.5
	Глинистый грунт	м	0.5-1.0	1.0-1.5	1.0-2.0

Примечание: ПРГ-Предварительный размыв грунта. В скобках приведены параметры технологической операции.

Современные возможности позволяют внедрять IT-технологии в различные аспекты струйной цементации грунтов. Сократить время и затраты, повысить эффективность цементации позволяет использование компьютерного моделирования и симуляции, предсказывающие поведение грунта. Данные задачи может выполнить программно-вычислительный комплекс Plaxis 3D [8].

Для исследования проводится зависимость неограниченной прочности на сжатие от глубины залегания. В программе используется модель упрочняемого грунта. Сваи моделировались с помощью элемента, учитывающего форму сваи, сопротивление по боковой поверхности и под нижним концом сваи. Далее формируется последовательность расчета, которая включает в себя поэтапное нагружение сваи с определенным шагом.

Модель грунтового основания приведена на (рис.1) [8]. Расположение стержневых элементов представлена на (рис.2)[8].

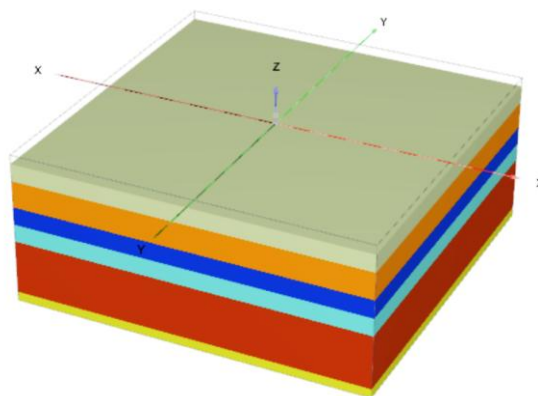


Рис.2. – Общий вид грунтовой модели

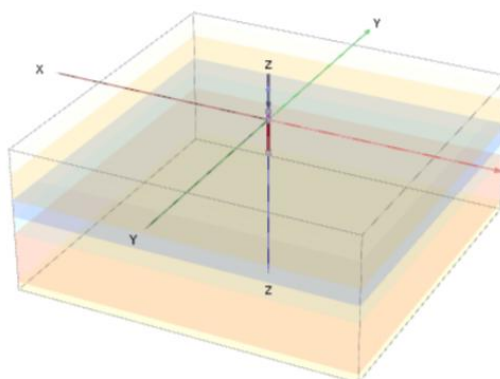


Рис.3. –Эксперимент №1 – одиночная свая

В качестве исходных данных выбирается место испытания, описываются классификация, свойства грунтов. В качестве исходных данных

выбирается место испытания, описываются классификация, свойства грунтов [9].

В результате получен график зависимости осадки грунтоцементного элемента от внешней нагрузки (рис.3) [8], на котором видно, что пластичная зона при численном исследовании отсутствует. Также, при незначительных нагрузках, превышаются полевые значения осадки, но после снятия нагрузки остаточные деформации практически идентичны.

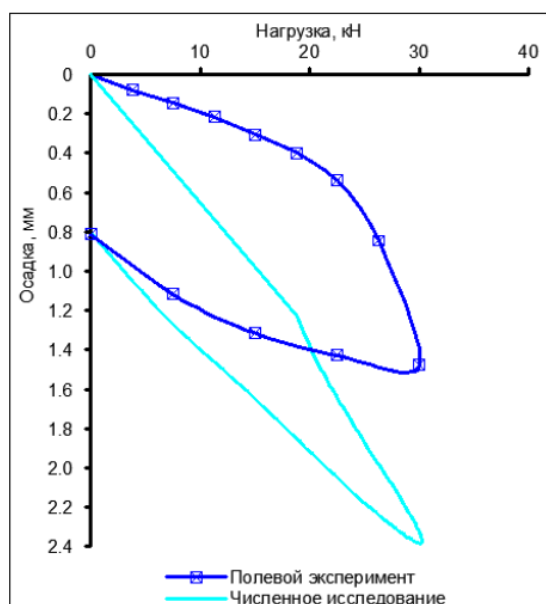


Рис. 4. – Сравнение численного и полевого исследования

Возможно дальнейшее регулирование модели до получения приемлемых результатов в связи с наличием расхождения между полевым экспериментом и моделированием по осадке.

Еще одним преимуществом применения IT-технологий является автоматизация процесса струйной цементации, позволяя сократить человеческий фактор и повысить точность и надежность выполнения работ, увеличить производительность.

Устройство самозабуриваемых трубчатых анкеров. Модификацией технологии «Атлант» является ее совмещение с технологией струйной цементации грунтов (jet-grouting) при давлении до 40 МПа.

Для реализации струйной цементации буровая головка состоит из форсунок, а в муфтовое соединение оснащают уплотняющими элементами из алюминия. Данная технология получила название AtlantJet [10], основными преимуществами её применения являются:

Увеличение диаметра свай до 400-700 мм.

Образование большого диаметра свай влияет на рост несущей способности анкера или на его длину.

Применение совмещенной технологии позволило повысить производительность.

Технология «AtlantJet» широко применяется в нашей стране. Например, устройство котлована здания Технопарка ПАО «Сбербанк», Сколково (рис.4-5).

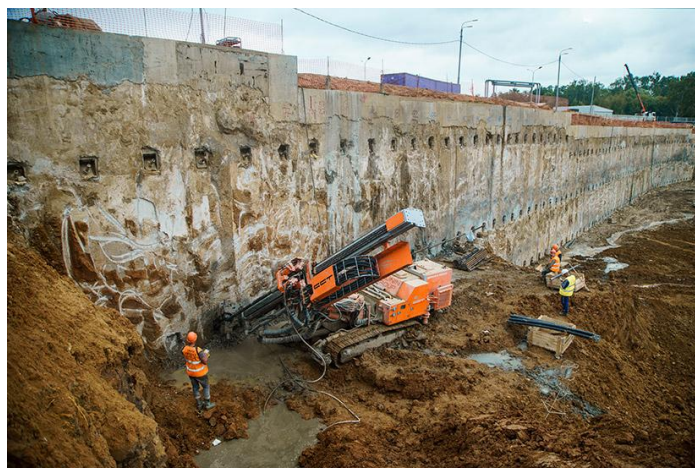


Рис. 5. – Устройство грунтовых анкеров

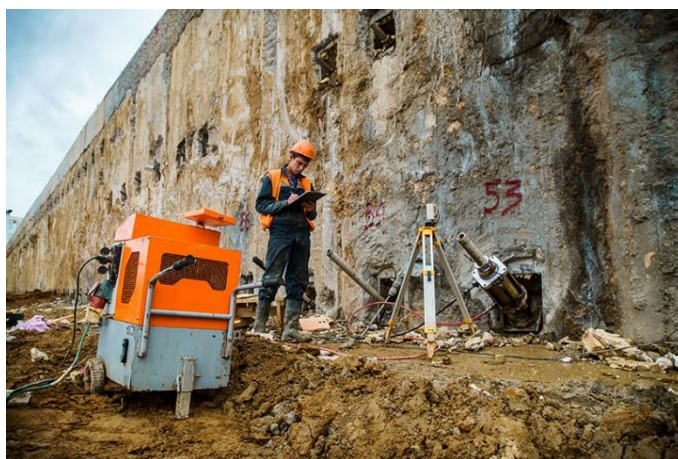


Рис.6. – Испытание анкеров

Заключение

Технология струйной цементации грунтов позволяет получить новый материал – грунтоцемент, деформационные, прочностные характеристики которого во много раз лучше, чем характеристики исходного слабого грунта.

В настоящее время технология применяется во многих странах для строительства зданий, дорог, мостов и других сооружений в различных инженерно-геологических условиях.

Направления для будущих исследований и разработок могут быть следующими:

Область применения. Технология может быть применена не только для укрепления оснований и фундаментов, но и в других целях. Например, для создания гидроизолирующих барьеров, установки опорных стенок.

Улучшение материалов. Вместо цементной смеси для связи с более высокими показателями прочности, долговечности и экологической устойчивости, могут быть использованы композитные материалы или полимеры.



Экологическая устойчивость. Применение экологически чистых материалов способствует уменьшению негативного влияния на окружающую среду.

Уменьшение зависимости человеческого фактора. Автоматизация системы контроля и управления могут увеличить точность и надежность процесса.

Совместное использование с другими технологиями способствует созданию комплексных решений для укрепления и устойчивости грунтов.

Развитие технологии струйной цементации приведет не только к расширению области ее применения, но и сможет повысить конкурентоспособность на рынке строительных услуг.

Литература

1. Кочерга В.Г., Зырянов В.В., Ланко А.В. Применение гидрофобизированных цементогрунтов в нижних слоях дорожной одежды // Инженерный вестник Дона. 2012. №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2012/853/.
2. Christian Kutzner, Grouting of Rock and Soil //Rotterdam: Brookfid, 1996.271p.
3. Малинин А.Г. Струйная цементация грунтов // М.: «Стройиздат», 2010. 226с.
4. Жадановский Б.В. Грунтоцементные сваи в промышленном и гражданском строительстве // Norwegian Journal of development of the International Science. 2017. №12. URL: calameo.com/read/005798408737248e72c65/.
5. Jet Grouting: Technology, Design and ControlP. Croce, A. Flora and G. Modoni (eds). 2014. 302p.

6. Малинин А.Г. Новые возможности струйной цементации. 2015. URL: jet-grouting.tilda.ws/.
7. Малинин А.Г. Влияние режимов струйной цементации на диаметр грунтоцементных колонн. 2013. URL: jet-grouting.tilda.ws/.
8. Зимин С.С., Мартынов М.В. Численное моделирование полевого эксперимента по усилению грунтов струйной цементацией // Инженерные исследования. 2022. № 2. URL: eng-res.ru/.
9. Al-Kinani A.M., Ahmed M.D. Field study of the effect of jet grouting parameters on strength based on tensile and unconfined compressive strength, 2020. URL: iopscience.iop.org/issue/1757-899X/945/1.
10. И.А. Салмин, П.В. Струнин, Ю.Г. Гульшина. Анкера Атлант Jet при креплении глубокого котлована, 2014. URL: jet-grouting.tilda.ws/.

References

1. Kocherga V.G., Zyryanov V.V., Lanko A.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2012. №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2012/853/.
2. Christian Kutzner, Grouting of Rock and Soil. Rotterdam: Brookfield, 1996. 271p.
3. Malinin A.G. Struynaya tsementatsiya gruntov [Jet cementation of soils]. М.: «Stroyizdat», 2010. 226 p.
4. Zhadanovskiy B.V. Gruntotsementnyye svai v promyshlennom i grazhdanskom stroitel'stve. [Soil-cement piles in industrial and civil construction]. Norwegian Journal of development of the International Science. 2017. №12. URL: calameo.com/read/005798408737248e72c65/.
5. Jet Grouting: Technology, Design and Control P. Croce, A. Flora and G. Modoni (eds). 2014. 302p.

6. Malinin A.G. Novyye vozmozhnosti struynoy tsementatsii [New possibilities for jet grouting]. 2015. URL: jet-grouting.tilda.ws/.
7. Malinin A.G. Vliyaniye rezhimov struynoy tsementatsii na diametr gruntotsementnykh kolonn[influence of jet cementation modes on the diameter of soil-cement columns]. 2013. URL: jet-grouting.tilda.ws/.
8. Zimin S.S., Martynov M.V. Chislennoye modelirovaniye polevogo eksperimenta po usileniyu gruntov struynoy tsementatsiyey [Numerical modeling of a field experiment on strengthening soils using jet grouting]. 2022. URL: jet-grouting.tilda.ws/. URL: eng-res.ru/.
9. Al-Kinani A.M., Ahmed M.D. Field study of the effect of jet grouting parameters on strength based on tensile and unconfined compressive strength. 2020. URL: iopscience.iop.org/issue/1757-899X/945/1.
10. I.A. Salmin, P.V. Strunin, YU.G. Gul'shina. Ankeri Atlant Jet pri kreplenii glubokogo kotlovana [Atlant Jet anchors when fastening a deep pit]. 2014. URL: jet-grouting.tilda.ws/.

Дата поступления: 27.11.2023

Дата публикации: 3.01.2024