

ПРИМЕНЕНИЕ ВОДОРАСТВОРИМЫХ ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ ПОЛИМЕРОВ ДЛЯ УСТРОЙСТВА ФУНДАМЕНТОВ ИЗ БУРОНАБИВНЫХ СВАЙ, БАРЕТТ И «СТЕНЫ В ГРУНТЕ» В ПЕСЧАНЫХ ГРУНТАХ

APPLICATION OF WATER-SOLUBLE HIGH-MOLECULAR POLYMERS FOR CONSTRUCTION OF FOUNDATIONS FROM BORED PILES, BARETTES AND «WALLS IN SOIL» IN SANDS

О. А. ШУЛЯТЬЕВ, канд. техн. наук

С. О. ШУЛЯТЬЕВ, канд. техн. наук

О. А. МОЗГАЧЁВА

В. С. ЛЕСНИЦКИЙ

Приводятся сведения о полимерных буровых растворах, которые в будущем могут стать альтернативой широко используемому в практике строительства бентониту. На основании серии лабораторных исследований приводится оценка возможных границ изменений основных физических характеристик раствора. Проведено моделирование устойчивости стенки выработки в процессе бурения в лабораторных условиях с использованием лотков малых размеров, полученные результаты подтверждены испытаниями в полевых условиях. На основании серии лабораторных и полевых исследований, а также результатов исследований при

The article considers information about polymer drilling mud, which will be alternative for widely use bentonite. Fluctuation limits assessment of basic mud physical specifications made by laboratory research. Simulation experiment shows trench stability made with polymer. Field experiment confirms these results. According to laboratory and field experiments, as far as interaction between polymer and ground water, concrete and pump reasonable range of application are defined.

взаимодействии с бетонными растворами, насосами и грунтовыми водами определена рациональная область применения данных буровых растворов, а также пределы изменения основных контролируемых параметров.

Ключевые слова:

Бентонитовый раствор, буровой раствор, устройство свай, «стена в грунте»

Key words:

Cut-off wall, drilling mud, pile, polymer drilling mud

Введение

Устройство подземных выработок для таких конструкций как буронабивные сваи, «стена в грунте» траншейного типа и баретты по технологии «стены в грунте» достаточно часто выполняют под защитой бурового раствора. В качестве буровых растворов в отечественной практике в основном используются глинистые (бentonитовые) растворы.

К недостаткам применения бентонитового раствора относится необходимость постоянного перемешивания раствора, размещение на площадке строительства бентонитового завода, занимающего большую площадь (рис. 1), в котором происходят затворение раствора и его регенерация, а также сложности с утилизацией такого раствора.

Поэтому задача поиска альтернативного бурового раствора, способного удерживать стенки выработки продолжительное время при условии отсутствия несовершенств бентонитового раствора, а также изучение его свойств является актуальной. Для решения этой задачи необходимо проведение лабораторных исследований с целью для изучения физико-механических свойств раствора, лотковых и полевых исследований с выявлением возможности удерживать стенку выработки продолжительное время.



Рис. 1. Бентонитовые заводы, включающие смесители, насосы, центрифуги, объем для регенерации раствора (слева), хранилище бентонитового порошка, хранилище использованного шлама (справа) (с сайта фирмы DRILLTECH <http://drilltech.ru/>)

Краткий анализ отечественных и зарубежных исследований по применению полимерных растворов

В качестве альтернативного решения в области нефтедобычи успешно используется полимерный раствор, исследования по использованию которого были начаты в конце XIX в. Впервые полимерный раствор в качестве бурового был применен в США в середине 1950-х гг., и он состоял из порошка полимера (сополимер винилацетата и малеиновой кислоты) и кальцинированной соды [3].

В России применение растворов полимеров в строительстве никак не отражено в технической или методической литературе. В практике известны отдельные случаи применения таких растворов при устройстве ограждающей конструкции стены в грунте отдельными отечественными компаниями.

В зарубежной технической литературе в последние годы отмечается возросший интерес к применению полимерных растворов в строительстве. Так, в статье S.A. Jefferis [4] указывается, что полимерные жидкости имеют ряд неоспоримых достоинств в сравнении со своими бентонитовыми аналогами, в том числе повышение производительности труда, снижение воздействия на окружающую среду, компактность оборудования и простота приготовления, смешивания и контроля. В статьях [5-8] также приводится сравнительный анализ применяемых суспензий и указываются следующие преимущества полимерных растворов перед глинистыми: эксплуатационные, экологические, увеличение производительности труда.

В работе [4] описаны два случая применения полимерного раствора при устройстве буронабивных свай. В одном исследовалась возможность использования полимеров в несвязных и связных грунтах при условии продолжительной их выстойки. Для этой цели были устроены четыре сваи: одна под защитой бентонитового раствора, а три других – под полимерным раствором, одна из которых выдерживалась в течении 37 ч. В результате исследований была подтверждена возможность использования полимерных растворов для продолжительной выстойки без необходимости проведения дополнительных процедур. В другом исследовании анализировалась несущая способность свай в условиях несвязных грунтов при высоком уровне подземных вод. Для этого было выполнено три сваи, стенки скважин которых удерживались водой, бентонитовым раствором и полимерным раствором. В результате проведенных исследований была получена повышенная несущая способность свай, устроенной под защитой полимерного раствора, которая превышала несущую способность свай, устроенной под водой, на 50 и на 20% для свай, устроенной под защитой бентонита (рис. 2).

Таким образом, приведенные выше исследования несущей способности буронабивных свай с защитой полимерным раствором показывают возможность их устройства как в глинистых, так и в песчаных и крупнообломочных грунтах.

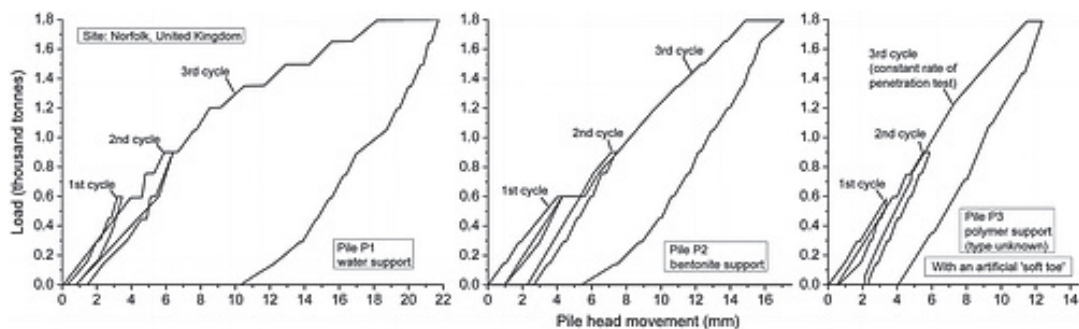


Рис. 2. Кривые нагрузки-осадки трех испытательных свай, устроенных с использованием воды, бентонитового и полимерного растворов [4]

Лабораторные исследования физических свойств полимерного раствора

Целью проведения лабораторных испытаний было исследование физико-химических свойств полимерного раствора.

В соответствии с результатами химического анализа, проведенного МГУ им. М. В. Ломоносова, установлено, что основным компонентом наиболее широко представленных на рынке полимерных растворов является полиакриламид (C_3H_5NO)_n различной степени гидролиза с примесями до 10-15%. Анионный полиакриламид представляет собой отрицательно заряженный полимер, поэтому он может притягивать к себе частицы грунта, глины или песка. Вещество хорошо вступает в реакцию со щелочью, с ионами металлов, способно формировать гель. Температура плавления составляет 113 °С. Этот вид полиакриламида применяют в системах водоочистки, при обработке продуктов жизнедеятельности животных, в процессе бурения скважин, добычи полезных ископаемых.

Лабораторные исследования физических свойств раствора показали, что средний уровень Ph варьируется в пределах 7-14, стабильность – в пределах 1-0,98 г/см³, а показатель фильтрации составляет 10-40 см³. Плотность готового полимерного раствора незначительно превышает плотность воды и составляет 1,001 г/см³, при этом попытки повышения плотности раствора путем увеличения концентрации приводят к резкому росту вязкости раствора (рис. 4). Так, при концентрациях больше 4 кг/м³ условная вязкость раствора по воронке Марша составляет более 200 с, что затрудняет применение раствора, ухудшается работа бурового оборудования, возникают сложности с прокачкой и т. п.

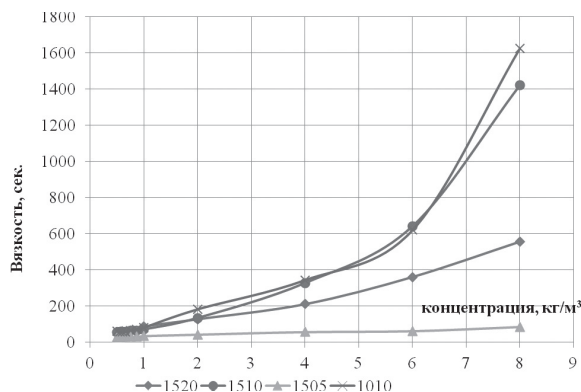


Рис. 4. График изменения вязкости полимерного раствора с повышением концентрации полиакриламидов с различной молярной массой и степенью гидролиза: в легенде первые две цифры [15, 10] – молярная масса в миллионах, вторые [20, 10, 05, 10] – степень гидролиза

Результаты исследований на маломасштабных моделях

Для моделирования возможности удерживать стенку в вертикальном положении под защитой полимерного раствора в песчаных грунтах средней крупности и крупных проведена серия экспериментальных исследований на лабораторном стенде (рис. 5), представляющем собой прозрачный лоток размерами 80×40 см, разделенный на части подвижной перегородкой (шторкой). В одну из частей укладывали грунт различной плотности, во вторую заливали буровой раствор, после чего подвижную шторку поднимали. В общей сложности было проведено четыре испытания.

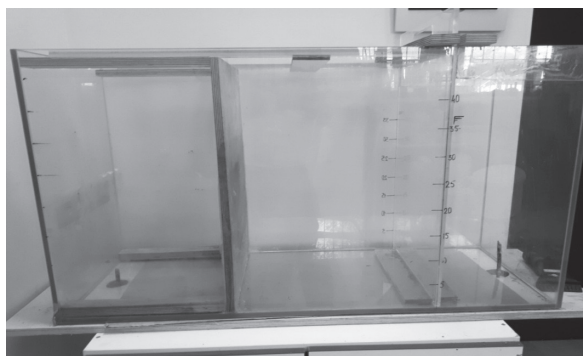


Рис. 5. Общий вид лотка

При проведении лотковых испытаний была обнаружена принципиальная разница между полимерными и бентонитовым растворами, заключающаяся в том, что бентонитовый раствор формирует на вертикальной поверхности грунта водонепроницаемый глинистый слой (корку), а полимерный раствор фильтруется в грунт и формирует зону замачивания (рис. 7).

По результатам выполненных исследований установлено, что устойчивость песка средней крупности обеспечена при вязкости водного раствора полиакриламида около 80 с. Устойчивость стенки из крупного песка обеспечена при вязкости около 120 с. При меньших значениях вязкости стенки грунта обрушаются.

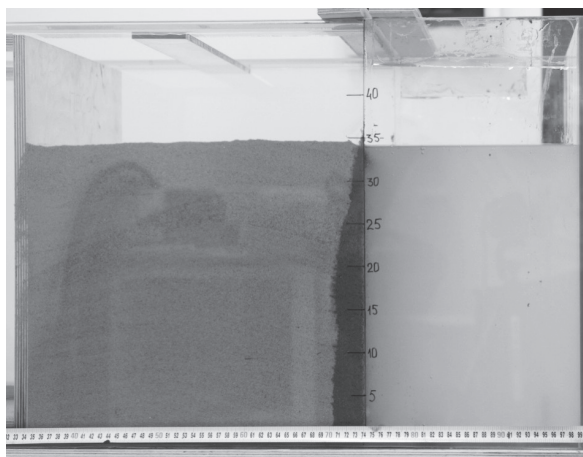


Рис. 6. Зона фильтрации полиакриламидного раствора

Результаты полевых исследований

Для подтверждения выводов, полученных по результатам лотковых испытаний, были проведены полевые испытания по использованию полимерного раствора при устройстве 6 скважин глубиной 6 м и диаметром 0,78 м в песчаных пылеватых грунтах средней крупности. Экспериментальные исследования проводились на площадке строительства современного судостроительного комплекса, расположенной по адресу: г. Санкт-Петербург, ул. Корабельная, на территории завода «Северная верфь» в июне 2018 г.

Скважины условно делятся на три группы с различной степенью выдержки в течении 1, 36 и 72 ч, после чего вели бетонирование методом ВПТ.

Во время бурения было выявлено, что полимерный раствор в процессе работы активно перемешивается с подземными водами, в результате чего условная вязкость раствора падает до 40%. После завершения бурения, во время выстойки скважины снижение вязкости не зафиксировано, что, по-видимому, связано с созданием противодействия в скважине выше уровня подземных вод. В целом по результатам полевых исследований установлено, что при условной вязкости полимерного раствора более 80 с стенки скважины являются устойчивыми, при меньших значениях наблюдаются их обрушение, т.е. результаты на опытной площадке подтвердили результаты лотковых исследований.

Наблюдения за параметрами раствора в процессе бурения и выстойки скважин в течении 72 ч показали его высокую стабильность. Кроме того, отмечена достаточно высокая скорость оседания частиц грунта на дно забоя, процентное содержание песка менее 1% стабилизируется в первые 3 ч после окончания бурения. По результатам бетонирования и последующего ультразвукового контроля установлено, что нарушения сплошности бетонного ствола свай отсутствуют.



Рис. 7. Общий вид опытной площадки

В ходе полевых экспериментов было выявлено, что при использовании центробежных насосов происходит коагуляция полимерного раствора с полной потерей рабочих свойств независимо от начальной вязкости раствора. Использование других

видов насосов не приводит к изменению параметров полимерных растворов. Таким образом, при проведении работ с применением полимерных растворов использование центробежных насосов не допускается.

Кроме этого, были проведены экспериментальные исследования по взаимодействию полимерных растворов с бетонной смесью. В результате испытаний установлено, что смешивание полимерного раствора с бетонной смесью приводит к резкому снижению подвижности последней. Так, при концентрации полимерного раствора 1% от массы цемента снижается подвижность бетонной смеси с 23 до 18 см (осадка конуса), при более высоких концентрациях наблюдается расслоение бетонной смеси. Указанный фактор следует учитывать при бетонировании свай, заполненных полимерным раствором, так как в противном случае будет увеличиваться объем шламового слоя бетона. Для сокращения образования шламового слоя бетона рекомендуется предусмотреть мероприятия, не допускающие перемешивание полимерного раствора с бетонной смесью.

Другим важным вопросом является возможность утилизации бурового раствора. Так, бентонитовый раствор практически невозможно высушить, бентонитовый гель требует для вывода из него влаги создания определенных химических условий и значительного слоя грунта/песка для перемешивания, т.е. значительных площадей. По этой причине утилизация использованного бентонитового раствора – весьма трудоемкая и дорогостоящая операция. В результате проведения экологических исследований полимерного раствора и его воздействия на окружающую среду в части его утилизации было получено, что утилизация полимерного раствора намного проще и возможна после его обработки окислителем до вязкости, не превышающей 30 с по конусу Марша, с содержанием полиакриламида не более 0,1 мг/л. Для соблюдения экологических правил утилизируемый раствор перед каждой утилизацией должен быть подвергнут химическому анализу.

Заключение

В статье дан анализ физико-механических свойств полимерного раствора, являющегося альтернативой бентонитовому.

Проведенные лабораторные и полевые методы исследований подтвердили возможность применения полимерных растворов при устройстве ограждающих конструкций котлована [13] и свайных фундаментов [14] в песчаных грунтах. Благодаря использованию полимерных растворов возможно удерживание стенок скважины до 72 ч без проведения дополнительных мероприятий. Применение полимерных растворов возможно также для выравнивания усилий в свайном поле. Для этого сваи центральной зоны устраивают под защитой полимерного раствора, а сваи периферийной зоны выполняют под защитой удерживающего бентонитового раствора [14, 15].

Описанные разработки являются начальными для дальнейших исследований, наиболее перспективным направлением развития которых является изучение изменения прочностных свойств контактного слоя бетон-грунт, оценка возможности использования скоростного бурового оборудования для устройства скважин или траншей с полимерными растворами, исследование устойчивости стенок при применении полимер-

ных растворов в крупнообломочных и глинистых грунтах, проведение исследований использования полимерных растворов при действии отрицательных температур и др.

Проведенные исследования подтвердили актуальность данной темы исследования, благодаря которым в дальнейшем, возможно, удастся значительно сократить трудоемкость и сроки производства работ по устройстве скважин и траншей.

Библиографический список

1. СП 45.13330.2017 Земляные сооружения, основания и фундаменты.
2. Овчинников В. П., Аксенова Н. А. Буровые промывочные жидкости: Учеб. пособие. Тюмень: Изд-во «Нефтегазовый университет». 2008.
3. Бузанов К. В. Применение растворов на углеводородной основе как решение проблем устойчивости аргиллитов и растворения солей при бурении скважин на Верхнечонском месторождении // XVIII Междунар. науч. симпозиум имени академика М. А. Усова, 2014. Секция 14. С. 303. Томск, 2014.
4. Jefferis S. A. Polymer Support Fluids: Use and Misuse of Innovative Fluids in Geotechnical Works/Proc. of the 18th Int. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Paris. 2013, Pp. 3219-3222.
5. Bustamante M., Gianceselli L., Boato R. and Conedera A. Performance of Polymer Slurries in large Diameter Bored Pile. Proc. of the 3rd Int. Geotechnical Seminar on Deep Foundations and Auger Piles (BAP III), Ghent, Belgium. A. A. Balkema. 1998. Pp. 119-127.
6. Caputo A. Instrumented Large Diameter Bored Piles/Proc. of the 5th Int. Symp. on Deep Foundations on Bored and Auger Piles (BAP V), Ghent, Belgium. CRC Press. 2009. Pp. 213-227.
7. KB Technologies Ltd. 2000. A SlurryPro CDP case history: Vasco da Gama Bridge, Lisbon, Portugal. Trade literature.
8. Lam Carlos, Jefferis Stephan A. Performance of Bored Piles Constructed Using Polymer Fluids: Lessons from European Experience/https://www.researchgate.net/publication/276088893_Performance_of_Bored_Piles_Constructed_Using_Polymer_Fluids_Lessons_from_European_Experience
9. BAUER Slurry LTP 703. Trade literature.
10. BAUER Slurry LTP 709. Trade literature.
11. Super Mud. Полимерный раствор для закрепления буровых скважин. PDACo. Trade literature.
12. Шулятьев О. А., Мозгачёва О. А., Поспехов В. С. Освоение подземного пространства городов: Научное издание. М.: Изд. АСВ, 2017.
13. Шулятьев О. А. Основания и фундаменты высотных зданий. М.: Изд. АСВ, 2016.
14. Патент РФ № 141161 на полезную модель. Свайно-плитный фундамент высотного здания. Авторы: Шулятьев О. А., Боков И. А. БИ № 15, 2014.
15. Патент РФ № 2549635 на изобретение. Способ сооружения свайно-плитного фундамента высотного здания. Шулятьев О. А., Боков И. А. БИ № 12, 2015 г.

Авторы:

Олег Александрович ШУЛЯТЬЕВ, канд. техн. наук, заместитель директора НИИОСП им. Н.М. Герсеева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Oleg SHULYATYEV, Ph. D. in Engineering, Deputy technical Director of NIIOSP named after N.M. Gersevanov JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: niiosp35@yandex.ru

Станислав Олегович ШУЛЯТЬЕВ, канд. техн. наук, старший научный сотрудник лаборатории освоения подземного пространства городов, НИИОСП им. Н.М. Герсеева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Stanislav SHULYATYEV, Ph. D. in Engineering, senior researcher of Laboratory of development of underground space of the cities, NIIOSP named after N.M. Gersevanov JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: shulyatevs@yandex.ru

Ольга Анатольевна МОЗГАЧЕВА, заместитель заведующего лабораторией освоения подземного пространства городов, НИИОСП им. Н.М. Герсеева, АО «НИЦ «Строительство», Москва

Olga MOZGACHEVA, Deputy head of Laboratory of development of underground space of the cities, NIIOSP named after N.M. Gersevanov JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: olga79108@yandex.ru

Виталий Сергеевич ЛЕСНИЦКИЙ, старший научный сотрудник лаборатории освоения подземного пространства городов, НИИОСП им. Н.М. Герсеева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Vitaliy LESNITSKIY, senior researcher of Laboratory of development of underground space of the cities, NIIOSP named after N.M. Gersevanov JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: 1702746@gmail.com