

УДК 624.131.: 624.15

## ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПЛАСТИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК ДЛЯ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТОВ ВЫСОКОНАПОРНОЙ ЦЕМЕНТАЦИЕЙ

*д.т.н., проф., Головко С.И., асп. Шехоркина Н.Е.,*

*студ. Михалева К.О.*

*ГВУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и  
архитектуры»*

**Актуальность проблематики и постановка задачи.** В настоящее время во всех странах мира имеется стойкая тенденция к росту городов. В связи с неуклонным ростом населения, современные города развиваются, расширяются застраиваемые территории, увеличивается плотность застройки, растут объемы коммуникаций и транспортных путей. Благоприятные для застройки территории практически уже использованы, поэтому процесс современного городского строительства все чаще протекает в неблагоприятных инженерно-геологических условиях. Также актуальной проблемой всех крупных городов Украины является реконструкция и восстановление старых зданий. В большинстве случаев в состав строительных работ, связанных с реконструкцией, включаются работы по усилению оснований и фундаментов. Строительство и реконструкция фундаментов представляет собой сложный комплекс строительных работ, который часто осложняется наличием неблагоприятных геоморфологических, инженерно-геологических и гидрогеологических условий. В процессе эксплуатации зданий и сооружений свойства грунтовых оснований и гидрогеологического режима территории часто ухудшаются, что обуславливает необходимость их упрочнения.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Известно, что качество и свойства цементационных материалов имеют первостепенное значение для результатов цементации. На основании экспериментальных исследований установлено, что единственным резервом повышения прочности цементного камня является поддержание водоцементного отношения (В/Ц) в пределах 0,37 – 0,45 [9]. Снижение В/Ц ниже указанных пределов приводит к неполной гидратации клинкерных минералов, а превышение – к перенасыщению раствора избыточной водой, что в обоих случаях снижает прочностные показатели цементного камня. В практике ведения работ по закреплению слабых грунтов для обеспечения хорошей прокачиваемости цементационного раствора и качественного заполнения порового пространства грунта используется В/Ц от стандартного 0,5 до 1,0 и более, что естественно не укладывается в интервал получения наибольших прочностных показателей.

**Цель настоящих исследований** – анализ составов инъекционных растворов, используемых в практике фундаментостроения, для закрепления грунтов методом цементации, обоснование целесообразности использования

различных пластифицирующих добавок для повышения качества цементационных работ и повышения радиуса распространения раствора.

**Изложение основного материала исследования.** Цементацию применяют не только для улучшения прочностных, деформационных и противофильтрационных характеристик грунтового массива, но и для заполнения крупных пустот под подошвой фундаментов и искусственных подземных выработок. Путем инъекции цементосодержащих растворов производят закрепление песков средней крупности и крупных, галечниковых и гравийных отложений, а также трещиноватых скальных пород с коэффициентом фильтрации до 200 м/сут. В зависимости от вида и структуры закрепляемого грунта водоцементное В/Ц указанных растворов может изменяться от 0,4 до 20 [6]. Для случая армирования и упрочнения грунтов высоким давлением применение добавок в цементные растворы практически не исследовано.

Важными преимуществами цементных растворов являются отсутствие загрязнения окружающей среды, высокая подвижность и сравнительно короткое время схватывания. Однако цементно-водные суспензии, относящиеся к нестабильным растворам, обладают низкой седиментационной устойчивостью. Кроме того, прочность на сжатие цементно-грунтового камня, образующегося при инъекции закрепляющего раствора, является недостаточно высокой – до 1 – 2 МПа [5]. Одна из причин относительно низкой прочности закрепленного грунтового массива заключается в том, что затвердевшая цементная матрица при тех значениях В/Ц, которые обычно применяются в цементно-водных суспензиях, обладает значительной пористостью и подвержена усадочным деформациям и, следовательно, имеет склонность к трещинообразованию [3]. Начиная с определенных соотношений ( $B/C > 0,22 - 0,28$ ), цемента уже не хватает на полное химическое связывание воды – она остается в толще цементного камня и формирует его микропористость. При дальнейшем увеличении  $B/C > 0,65$  оставшиеся микропоры и капилляры уже настолько разветвлены, что становятся сообщающимися между собой. В результате цементный камень характеризуется низкой прочностью, высокой водопроницаемостью и плохой морозостойкостью. Также водные растворы цемента не дают 100% выхода цементного камня, что влечет за собой остаточную фильтрацию [6].

При укреплении грунтов методом цементации применяют различные добавки с целью создания оптимальных условий твердения цемента и улучшения технологических свойств цементогрунтовых смесей, повышения деформативных свойств цементогрунта и как следствие повышения прочности и долговечности изделий из этого материала, расширения количества видов грунтов, пригодных для укрепления, а также в целях экономии цемента.

Для повышения качества цементации грунта используют цементно-песчаные растворы, однако их применение эффективно лишь для пород с удельным водопоглощением не менее 3 л/мин [2]. При меньших значениях водопоглощения почти весь песок остается на границе закрепляемого массива, и поэтому вглубь массива по-прежнему проникает лишь цементно-водная суспензия с величиной  $B/C > 1$  [3].

Как следует из вышеизложенного, в способе цементации слабых грунтов, включающем введение в грунт цементирующего раствора, указанный раствор должен обладать при наименьшем из возможных значений величины  $B/C$  достаточно большой проникающей способностью, зависящей от дисперсности частиц твердой фазы раствора и его седиментационной устойчивости. Для реализации этих требований в состав цементно-водной суспензии вводят различные добавки.

Например, путем введения в раствор отходов местных производств, доломитовой пыли электрофильтров и батарейных циклонов, можно добиться экономии дорогостоящего цемента до 50%. Прочность полученного материала на 28 сутки твердения составляет 18,6 МПа, что отвечает предъявляемым требованиям. Такие растворы характеризуются небольшим расходом вяжущего, высокой седиментационной устойчивостью, подвижностью, большой проникающей способностью, устойчивостью к размыванию водой в период твердения [5].

Для повышения стабильности к цементным растворам добавляют глину. Такие растворы не расслаиваются, не разжижаются подземными водами, хорошо прокачиваются насосами, дают 100% выход цементного камня, обеспечивают хороший контакт с породой. Прочность цементного камня варьируется от 0,5 до 10 МПа в зависимости от соотношения компонентов раствора [1].

Для экономии цемента используются песок и каменная мука, что особенно эффективно, когда для закрепления грунта требуется большое количество цементирующего раствора [7].

Для повышения вязкости раствора и уменьшения водоотделения рекомендуется вводить в раствор до 25% молотого или мелкого (с крупностью зерен до 1 мм) кварцевого песка [7].

В качестве тонкодисперсного минерального компонента может быть использован карбонатный шлам химводоподготовки, который является отходом производства на ТЭЦ и ТЭС. Пределы содержания карбонатного шлама колеблются от 5 до 35% в составе твердой фазы цементационного раствора при минимальном  $B/C = 0,4$ .

Механическая прочность закрепленных грунтов, полученных путем введения модифицированных цементно-водных суспензий, остается недостаточно высокой (4 – 5 МПа). Одна из причин этого – недостаточная прочность цементационного раствора. Как показывают лабораторные исследования прочностных свойств дробленых изверженных пород, заинъектированных цементными растворами, предел прочности при

одноосном сжатии образцов породы убывает с ростом водоцементного отношения инъекционного раствора точно так же, как и предел прочности самого раствора после отверждения [4].

Известен способ цементации слабого грунта, включающий инъекцию в грунт закрепляющего раствора – водной суспензии цемента с высокодисперсным минеральным наполнителем. В качестве наполнителя используют микробиологически активированный пресноводный озерный ил при следующем соотношении компонентов: водная суспензия цемента – 88 – 92%, водная суспензия активированного озерного ила – 8 – 12%. Однако механическая прочность цементно-илистого камня, образовавшегося в грунте в результате инъекции закрепляющего раствора, остается недостаточно высокой. Кроме того, получение микробиологически активированного ила требует большого времени (24 – 30 час) и сложного технологического оборудования, что усложняет и удорожает закрепление грунта [8].

На основании выполненных теоретических исследований установлено, что В/Ц цементационного раствора должно изменяться от 0,37 до 0,45, при этом подвижность раствора составляет более 17 см (по конусу АЗНИИ). При таких параметрах обеспечивается хорошая прокачиваемость цементационного раствора и качественное заполнение порового пространства грунта. Однако на практике используются растворы с В/Ц от стандартного 0,5 до 1,0 и более, что не соответствует требованиям.

Исходя из вышеизложенного для того, чтобы обеспечить возможность снижения В/Ц<0,5 при соблюдении необходимых параметров подвижности смеси (не менее 17 – 18 см) наиболее целесообразно в состав цементного раствора вводить различные реагенты-пластификаторы. Так, добиться необходимой подвижности раствора при значениях В/Ц=0,4 – 0,45 для успешного прокачивания цементной смеси можно с помощью высокомолекулярного поливинилпирролидона при его концентрации в растворе 0,8 – 1,0% от веса вяжущего [9].

### **Выводы.**

Выполненными теоретическими исследованиями составов и свойств инъекционных растворов установлено, что введение различных тонкодисперсных минеральных компонентов не обеспечивает достаточной прочности цементного камня при требуемом значении В/Ц. Поэтому применение пластифицирующих добавок в составе цементационного раствора для закрепления грунтов является наиболее эффективным для достижения требуемых технологических свойств раствора, что требует проведения экспериментальных исследований для различных типов грунтов

## ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Банник Г.И. Техническая мелиорация грунтов/ Банник Г.И. – К.: Вища школа, 1976. – 304 с.
2. Гончарова Л.В. Основы искусственного улучшения грунтов. – М.: МГУ, 1973. – 375с.
3. Джантимиров Х.А., Юдович Б.Э. и др. Совершенствование геотехнических цементационных материалов на основе гидравлических вяжущих. / Научные труды Межд. Науч. Конф. По бетону и железобетону. – М.: Дипак, 2005. Т. 3, с. 497 – 504.
4. Заславский Ю.З. Инъекционное упрочнение горных пород / Ю.З. Заславский, Е.А. Лопухин, Е.Б. Дружко, И.В. Качан // – М.: Недра, 1984. – 176 с.
5. Камбефор А. Инъекция грунтов. Принципы и методы / А. Камбефор; [пер. с фр. Р.В.Казаковой, В.Б.Хейфица]. – М.: «Энергия», 1971. – 333 с.
6. Конюхов Д.С. Строительство городских подземных сооружений мелкого заложения. – М.:Архитектура-С, 2005. – 305 с.
7. Основания, фундаменты, и подземные сооружения: справочник проектировщика/ [М.И. Горбунов-Посадов, В.А. Ильичев, В.И. Крутов и др.]. – М.: Стройиздат, 1985- 480 с.
8. Пат. 2372445 Российской Федерации, МПК<sup>6</sup> Е 02 D 003/12, C 09 K 017/10. Способ цементации слабых грунтов [Текст] / Мальцев Н.В., Гольцов Ю. И., Мальцев В. Т., Недодаев А. В., Харабаев Н. Н.; заявители и патентообладатели Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Ростовский государственный строительный университет". – № 2007136530/03; заявл. 02.10.2007; опубл. 10.04.2009, Бюл. № 23 (II ч.). – 6 с.
9. Тойб Р.Р. Разработка тампонажных составов с низким содержанием дисперсионной среды для цементирования скважин в условиях низких температур: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. 25.00.15 «Технология бурения и освоения скважин»/ Р.Р. Тойб. – Санкт-Петербург, 2005. – 20 с.