

Контроль качества работ по закреплению грунтовых массивов методом цементации

В.Н. Жур, Д.И. Лахно

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону

Аннотация: Рассмотрены особенности контроля качества работ по закреплению массивов просадочных грунтов методом цементации. Анализируются результаты лабораторных и полевых испытаний грунтов в рамках повторного обследования оснований, закрепленных методом цементации при строительстве многоквартирного трехсекционного жилого здания. Установлены причины неравномерных деформаций вновь возведенного объекта по результатам лабораторного исследования закрепленного просадочного грунта.

Ключевые слова: цементация грунтов, просадочный грунт, искусственное закрепление грунтов, инъектирование, геокомпозит, армоэлемент, шурфование, испытание грунтов, строительный контроль

Закрепление слабых и структурно-неустойчивых грунтов методом цементации, разработанным в институте геоэкологии РАН и носящим название «геокомпозит», обладает рядом особенностей. Среди них высокая избирательность уплотняющего раствора, которая позволяет усиливать наиболее слабые зоны грунтового массива, создавая тем самым однородное основание с высокой несущей способностью. Особенностью данного метода в отличие от уплотнения является не разрушение структуры грунта с последующим повышением его плотности, а уменьшение сжимаемости и повышение водонепроницаемости, прочности и устойчивости за счет увеличения сцепления между частицами [1].

«Геокомпозит» рекомендуется применять в макропористых дисперсных грунтах, гравелистых песчаных, трещиноватых скальных и крупнообломочных грунтах. Суть метода заключается в том, что через инъекторы под давлением подается растворная смесь из песка и вяжущего вещества (цемент), выходя через отверстия перфорированных труб-инъекторов, раствор в короткие сроки затвердевает и цементирует грунт. Для обеспечения наилучшего сцепления частиц грунта с раствором, перед процедурой нагнетания скважину промывают струей воды под давлением.

Долговечность данного метода зависит от наличия грунтовых вод, их агрессивности и скорости их потока. Основные достоинства технологии:

- надёжность (ликвидация риска, обвала, оползня или проседания участка, повышение водозащиты);
- прочность (грунт, укрепленный цементом, способен выдержать значительные нагрузки);
- простота организации (не влияет на общие сроки строительства объекта);
- снижает себестоимость строительства за счёт отсутствия громоздкого оборудования [2].

Затвердевшее тело цементно-песчаного раствора в грунтовом массиве по форме напоминают «корни» дерева, «стволом» которого является инъектор с примыкающими к нему бетонными телами и отходящими от них более мелкими бетонными жилами и прожилками, которые образуют жесткий пространственный каркас, заполненный уплотненным пылевато-глинистым грунтом. Исходя из данного утверждения, следует, что грунтовый массив становится квазиизотропным и его физико-механические свойства однородны в пределах закрепленного массива [3, 4].

После выполнения предусмотренных проектом работ, в основании будет создан армированный несущий массив. Он будет представлять собой природно-техногенный композит с высокой степенью жесткости и хаотической структурой, в котором в качестве матрицы выступает уплотненный грунт, а в качестве жестких включений – затвердевший песчано-цементный раствор. Проектом предусматривается использование неизвлекаемых инъекторов, которые выполняют роль дополнительных элементов вертикального армирования [5].

На практике далеко не всегда удастся добиться равномерного распределения растворных жил в массиве закрепляемого грунта, поэтому

контроль качества закрепленного массива учитывает как качество растворных жил, так и качество околосильного грунта. Контроль качества и приемка работ по закреплению грунтов методом цементации производится в соответствии с требованиями СП 45.13330.2017 «Земляные сооружения, основания и фундаменты. При этом контролируются:

1. Геометрические параметры инъекций (плановая привязка, угол наклона, глубина).
2. Количество раствора, его состав (соотношение цемента, воды и песка).

После выполнения работ по закреплению грунтов основания фундаментов необходимо организовать постоянные инструментальные (геодезические) наблюдения за осадками фундаментов. При этом первый год наблюдения необходимо проводить не реже 1 раза в 3 месяца, а далее один раз в год в течение 5 лет эксплуатации здания [6].

Перед началом производства работ по основному объему закрепления основания должно быть выполнено опытное инъецирование в количестве не менее четырех инъекций, аналогичных проектным, непосредственно на строительной площадке. На опытном участке не ранее, чем через 7 суток после нагнетания цементно-песчаного раствора должен быть вскрыт контрольный шурф на глубину около 1,0 м ниже уровня подошвы фундамента. Из шурфа должны быть отобраны 3 контрольных образца.

Помимо качества тела армирующего элемента выполняется оценка физико-механических свойств закрепленного грунта. Для этого предусматривается отбор трех монолитов грунта из каждого вскрытого шурфа:

- 2 монолита следует отобрать из-под подошвы фундамента (вблизи от цементно-песчаных жил);
 - 1 монолит из противоположной незакрепленной зоны.
-

В рамках лабораторных испытаний для отобранных образцов определяются следующие характеристики: плотность при естественной влажности (ρ), плотность скелета (ρ_d), удельное сцепление (C), угол внутреннего трения (φ), модуль деформации при естественной влажности (E) и при водонасыщении (E_{sat}). Полученные результаты подвергаются статистической обработке с целью выявления нормативных и расчетных показателей, которые впоследствии сопоставляются со значениями, заданными в проекте. Как правило, помимо необходимости достижения вышеуказанных проектных характеристик, требуется устранение просадочных свойств при водонасыщении [7].

Надежность грунтового основания оценивается по двум группам предельных состояний:

- для оценки по I-й группе требуются удельное сцепление и угол внутреннего трения;
- для оценки по II-й группе требуются модуль деформации и характеристики просадочности.

Плотность при природной влажности и плотность сухого грунта применяется при расчетах сразу по двум группам предельных состояний.

В качестве примера дополнительного контроля качества закрепленного основания приведено обследование подземной части многоквартирного жилого дома. Здание трехсекционное, десятиэтажное. Конструктивная схема – каркасно-монолитная, со сплошной монолитной железобетонной фундаментной плитой. Высота фундаментной плиты – 1,0 м. Среднее расчётное давление под подошвой фундаментной плиты составляет 227 кПа.

Геолого-литологический разрез составляют средне и слабопросадочные суглинки с консистенцией от твердой до мягкопластичной.

В геолого-литологическом разрезе участка от поверхности до разведанной глубины 25,0 м, выделены следующие слои и ИГЭ:

- до глубин 1,6-2,6 м - ИГЭ-1 - суглинок тяжелый пылеватый твердый, при водонасыщении мягкопластичный, просадочный, незасоленный;

- до глубин 7,5-8,5 м - ИГЭ-2 - суглинок тяжелый пылеватый полутвердый, при водонасыщении мягкопластичный, просадочный, незасоленный;

- до глубин 15,1-16,0 м - ИГЭ-3 - суглинок тяжёлый пылеватый, тугопластичный, непросадочный, ненабухающий;

- до глубин 21,3-22,4 м - ИГЭ-4 - глина лёгкая пылеватая, полутвёрдая, непросадочная, ненабухающая;

- до глубины 25,0 м - ИГЭ-5 - суглинок лёгкий песчанистый, тугопластичный, непросадочный, ненабухающий.

Физико-механические свойства грунтов приведены в таблице №1.

Таблица №1

Физико-механические характеристики грунтов основания

№ ИГЭ	Плотность $\rho_{п}$, г/см ³	Угол внутреннего трения φ , град.	Удельное сцепление C , кПа	Модуль деформации E , МПа	Модуль деформации при водонасыщении E_{sat} , МПа
1	1,68	16	16	10,9	5,8
2	1,79	15	17	19,9	12,1
3	1,99	19	24	-	17,4
4	1,99	18	35	-	22,0
5	1,99	21	25	-	23,9

Подземные воды вскрыты на глубинах от 8,5 до 9,5 м., сезонные колебания уровня подземных вод составляют 1,0-1,5 м.

Насыпные грунты встречены с поверхности до глубины 0,3-1,2 м и представлены суглинком тяжелым светло-коричневым от твердой до

полутвердой консистенции с включением строительного мусора до 10% (битый кирпич, щебень).

Грунты ИГЭ-1 и ИГЭ-2 обладают просадочными свойствами до глубины 7,5-8,5 м. Просадка грунта под действием собственного веса при водонасыщении составляет 5,12-5,33 см. Тип грунтовых условий по просадочности - второй. Проектом предусмотрено решение в виде армирования просадочных грунтов основания элементами повышенной жесткости с использованием метода цементации грунтов на всю глубину просадочной толщи на 6,0 м ниже уровня подошвы фундаментов.

Технология работ включает в себя бурение скважин диаметром 76 мм, погружение перфорированных иньекторов, нагнетания в них цементно-песчаного раствора перед возведением надземной части здания. Проектом принят процент армирования массива закреплённого грунта, равный 10,6 %, что обеспечивает расчётное значение модуля деформации в водонасыщенном состоянии для закрепляемого грунта не менее 25 МПа. Суммарные расчетные деформации фундаментов с учетом закрепления не должны превышать 9,9 см, что меньше предельно допустимой осадки в 15 см для зданий с полным железобетонным каркасом, согласно требованиям приложения Г СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений».

В рамках данного объекта инициировано дополнительное обследование уже по прошествии 28-дневного периода с начала проведения работ по закреплению грунтов основания. Необходимость дополнительного обследования вызвана развивающимися деформациями основания под подошвой вновь возведенного здания, при достижении нормативной эксплуатационной нагрузки от вышележащих конструкций.

На рис. 1 показана схема расположения шурфов. По результатам геодезических наблюдений обнаружено, что деформация основания под центральной секцией № 2 превысила расчетное значение деформации

основания 9,9 см, установленное проектом, наблюдаются крены соседних секций №1 и №3 к центральной части многоэтажного дома.

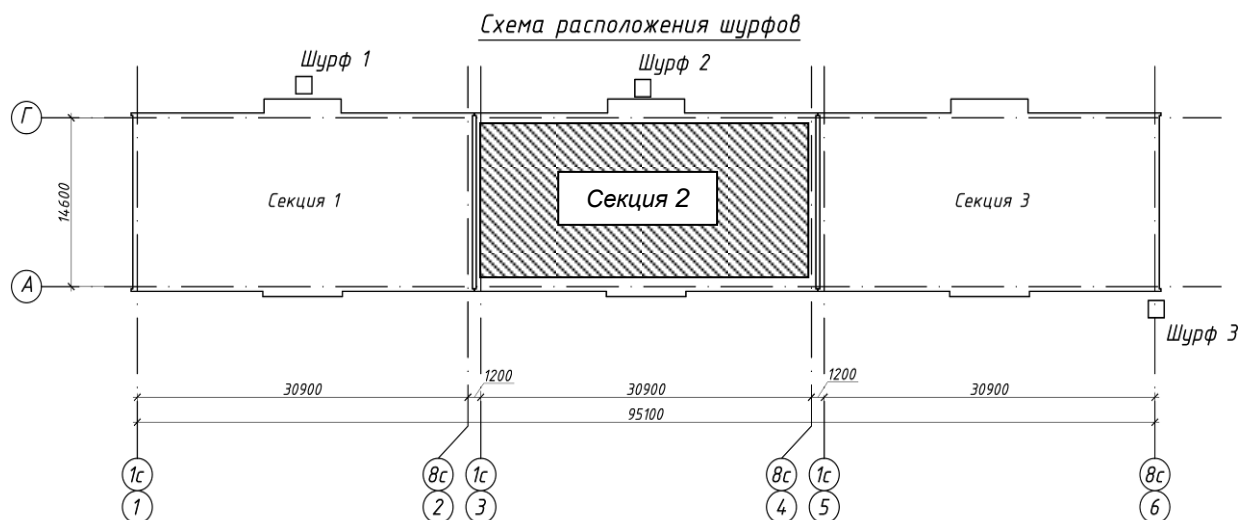
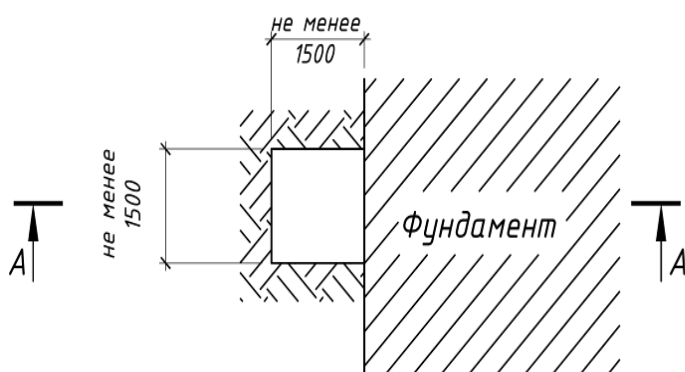


Рис. 1. – Схема расположения шурфов обследуемого многоквартирного жилого дома

На рис. 2 приведены габаритные размеры шурфов и глубина расположения относительно подошвы фундамента многоквартирного жилого дома.

Необходимые габариты шурфа в плане



A-A

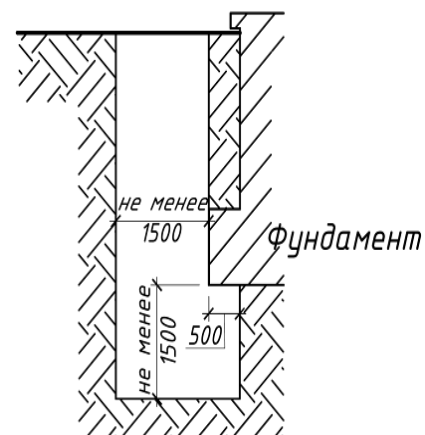


Рис. 2. – Габариты шурфа и глубина расположения

Выполнена проходка трех шурфов (рис. 3), в каждом из которых отобраны 2 монолита из уплотненного грунта между растворными жилами (обжатые образцы) и 1 монолит за пределами зоны закрепления (необжатые образцы).

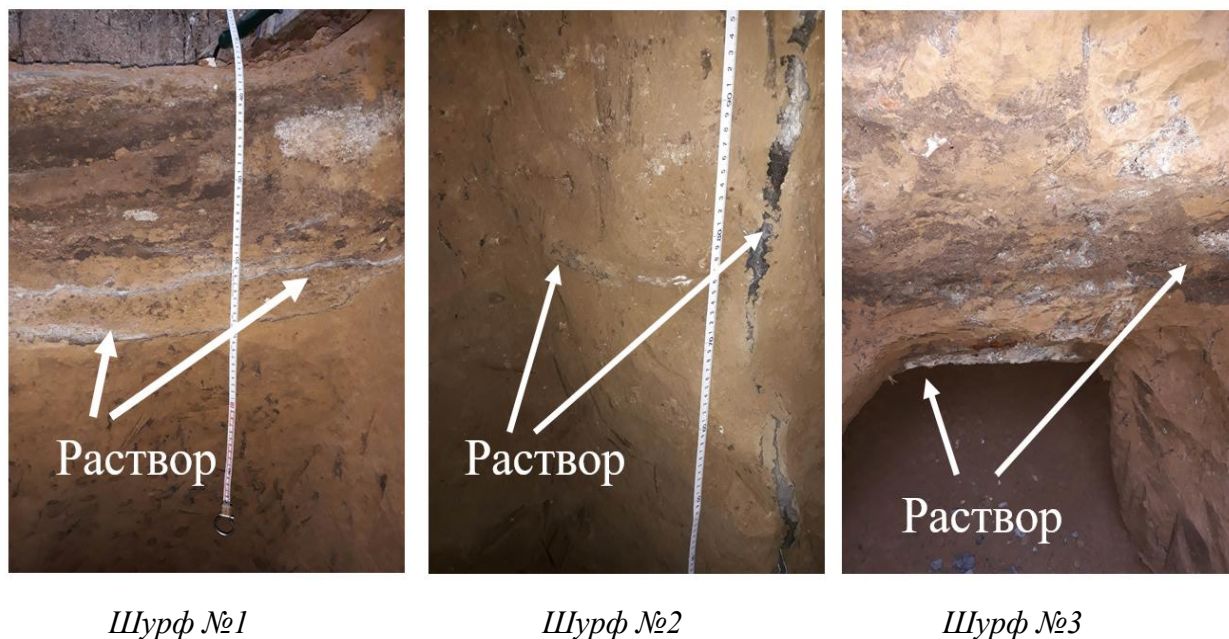


Рис. 3. – Фотографии из шурфов №№ 1-3

На фотографиях (рис. 3) стрелками показаны затвердевшие жилы, образовавшиеся при гидроразрыве пласта глинистого грунта вследствие нагнетания песчано-цементного раствора под давлением 6 атм. Визуальный осмотр закрепленного грунта показал наличие следов закачивания раствора.

В рамках лабораторных исследований проведен комплекс испытаний по определению основных физических, деформационных и прочностных характеристик грунтов. Просадочные свойства и модули деформации грунта определены методом компрессионного сжатия по схемам «одной кривой» и «двух кривых». Показатели удельного сцепления и угла внутреннего трения определены методом одноплоскостного неконсолидировано-недренированного среза с предварительным водонасыщением и при вертикальных давлениях 0,05 МПа, 0,10 МПа и 0,15 МПа [8].

Результаты лабораторных испытаний 6-и обжатых и 3-х необжатых образцов на соответствие проектных значений приведено в таблице №2.

Таблица №2

Результаты контроля качества закрепленного грунта

№ выработки	Плотность $\rho_{п}$, г/см ³	Плотность сухого грунта ρ_d , г/см ³	Угол внутреннего трения φ , град.	Удельное сцепление C , кПа	Модуль деформации E , МПа	Модуль деформации при водонасыщении E_{sat} , МПа	Просадочность
Шурф-1-обж-1	1,85	1,52	22	13	12,5	10,3	Устранена
Шурф-1-обж-2	1,85	1,53	24	20	11,7	9,4	Устранена
Шурф-1-необж	1,66	1,38	17	17	12,5	7,5	Не устранена
Шурф-2-обж-1	1,72	1,41	22	13	7,0	6,1	Не устранена
Шурф-2-обж-2	1,69	1,41	22	13	9,0	6,8	Не устранена
Шурф-2-необж	1,71	1,43	17	13	8,3	6,6	Не устранена
Шурф-3-обж-1	1,67	1,39	14	23	10,3	7,4	Не устранена
Шурф-3-обж-2	1,68	1,41	22	17	11,6	6,5	Не устранена
Шурф-3-необж	1,71	1,43	17	17	14,0	7,4	Не устранена

Показатели в таблице №2 свидетельствуют о том, что проектные значения модуля деформации в водонасыщенном состоянии E_{sat} и плотности сухого грунта ρ_d для обжатых образцов из шурфов №№ 2-3 не достигнуты и закрепление грунта выполнено не качественно. При этом следует отметить, что после закрепления грунта ИГЭ-1 плотность $\rho_{п}$ повысилась с 1,68 г/см³ до 1,74 г/см³, модуль деформации при водонасыщении E_{sat} повысился с 5,8 МПа до 7,8 МПа, удельное сцепление C повысилось с 16 кПа до 17 кПа, угол внутреннего трения φ повысился с 16° до 21°.

Результаты повторного обследования закрепленного просадочного основания показали, что далеко не всегда наличие растворных жил

обеспечивает достижение проектных значений для физико-механических свойств грунтов после усиления методом цементации [9].

После проведения обследования и установления всех причин кренов секций должны быть разработаны дорогостоящие мероприятия по ликвидации последствий неравномерных деформации из-за некачественно выполненных работ по усилению грунтов в основании многоквартирного жилого здания. Работы по закреплению просадочных грунтов требует более строгого лабораторного контроля качества как на начальном этапе работ при инъецировании на опытном участке, так и после завершения всего объема работ. Адекватное техническое сопровождение несоизмеримо дешевле по сравнению с дополнительными затратами, которые должны быть направлены на обеспечение нормальной эксплуатации при ликвидации последствий неравномерных просадочных деформаций [10].

Литература

1. Кузнецов М.В., Маринченко Е.В., Чмшкян А.В., Дружинин Я.Н. Конструктивные решения по усилению основания 24-х этажного жилого дома в г. Ростове-на-Дону // Инженерный вестник Дона, 2019, №5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2019/5928/.

2. Кузнецов М.В., Маринченко Е.В., Колесник Е.А. Обоснование параметров усиления грунтов основания жилого дома методом цементации через направленный гидроразрыв // Инженерный вестник Дона, 2019, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2019/5929/.

3. Приходченко О.Е., Таржиманов М.А., Таржиманов Э.А., Сычев И.В. Опыт применения метода цементации при закреплении мягко-пластичных грунтов в г. Ростове-на-Дону // Научное обозрение. 2014. №9. Ч.3. С. 746-750.

4. Prokopyov A., Prokopyova M., Rubtsova Ya. The experience of strengthening subsidence of the soil under the existing building in the city of Rostov-on-Don //

MATEC Web of Conferences. Vol. 106. 2017. URL: doi.org/10.1051/mateconf/201710602001.

5. Akopyan V., Akopyan A. Experimental and Theoretical Investigation of the Interaction of the Reinforced Concrete Screw Piles with the Surrounding Soil // Procedia Engineering, Volume 150, 2016, pp.2202-2207.

6. Жур В.Н. Динамика просадочных процессов при компрессионном сжатии глинистых лессовых грунтов // Актуальные проблемы науки и техники. 2020. Материалы национальной научно-практической конференции. Отв. редактор Н.А. Шевченко. 2020. С. 610-613.

7. Жур В.Н., Александров А.П., Куликов А.С. Анализ просадочных процессов при компрессионном сжатии глинистых грунтов Ростовской области и Республики Калмыкия // Инженерный вестник Дона, 2021. №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2021/6801/.

8. Чернявский А.Г. Армированное основание: патент 83258 РФ: МПК E02D5/66 / заявл. 24.07.2008; опубл. 27.05.2009.

9. Цытович Н.А. Механика грунтов. – М.: Высшая школа, 1983. – 288 с.

10. Гиря Л.В., Белаш В.В., Хоренков С.В., Петров К.С. Контроль качества производства работ по закреплению грунтов основания с использованием метода георадиолокационного подповерхностного зондирования // Инженерный вестник Дона, 2013, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/ archive/n4y2013/2056.

References

1. Kuzneczov M.V., Marinchenko E.V., Chmshkyan A.V., Druzhinin Ya.N. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019, №5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2019/5928/.

2. Kuzneczov M.V., Marinchenko E.V., Kolesnik E.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2019/5929/.



3. Prihodchenko O.E., Tarzhimanov M.A., Tarzhimanov Je.A., Sychev I.V. Nauchnoe obozrenie. 2014. №9. Part. 3. pp. 746- 750.
4. Prokopov A., Prokopova M., Rubtsova Ya. MATEC Web of Conferences. Vol. 106. 2017. URL: doi.org/10.1051/matecconf/201710602001.
5. Akopyan V., Akopyan A. Procedia Engineering, Volume 150, 2016, pp.2202-2207.
6. Zhur V.N. Aktual`ny`e problemy` nauki i texniki. 2020. Materialy` nacional`noj nauchno-prakticheskoy konferencii. [Actual problems of science and technology. 2020. Materials of the national scientific and practical conference]. Editor N. A. Shevchenko. 2020. pp. 610-613.
7. Zhur V.N., Aleksandrov A.P., Kulikov A.S. Inzhenernyj vestnik Dona, 2021. №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2021/6801/.
8. Chernjavskij A.G. Armirovannoe osnovanie: patent 83258 RF: MPK E02D5/66; zajavl. 24.07.2008; opubl. 27.05.2009. [Reinforced base: RF patent 83258: IPC E02D5 66 Chernyavsky A.G.; declare 07.24.2008; publ. 27.05.2009].
9. Tsytovich N.A. Mehanika gruntov [Soil mechanics]. Moskva: Vysshaja shkola, 1983. 288 p.
10. Giryа L.V., Belash V.V., Horenkov S.V., Petrov K.S. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2056.