

Комплексный подход при выборе проектных решений по усилению грунтовых оснований при реконструкции зданий в Ростовской области

А.Ю. Прокопов, А.А. Михайлов, М.С. Кирсанов, Т.Н. Жильникова

Донской государственной технической университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: Рассмотрены проблемы эксплуатации зданий на просадочных грунтах Ростовской области, выполнен краткий анализ методов, применяемых для закрепления грунтов. Приведены конкретные примеры применения цементации и силикатизации грунтовых оснований при разработке проектов реконструкции зданий. Предложен комплексный подход выбора рациональных параметров закрепления грунтов, основанный на анализе большого количества инженерно-геологических, архитектурно-строительных, культурно-исторических, организационных, экономических и других факторов.

Ключевые слова: просадочные грунты, закрепление грунтов, усиление фундаментов, цементация, силикатизация, инженерно-геологическая геология, реконструкция, объект культурного наследия.

Проблема строительства на лессовых грунтах, относящихся к категории структурно-неустойчивых, уже многие десятилетия привлекает к себе внимание исследователей и производителей. Лессовые грунты и вопросы строительства на них имеют продолжительную историю исследований [1].

Широкий размах строительства в СССР в годы первых пятилеток обусловил более интенсивные исследования лессовых грунтов в строительных целях. Первые нормативные документы по проектированию и строительству зданий и сооружений на лессовых грунтах, в составлении которых принимали участие Н.М. Герсеванов, Ю.М. Абелев, Р.А. Токарь и Д.Е. Польшин, вышли в начале 30-х годов XX в. В 1935 г. состоялась научно-техническая конференция, на которой обсуждались вопросы, связанные с особенностями строительства на лессовых просадочных грунтах.

В последующем, впервые в мировой практике в СССР был разработан «Проект технических условий на проектирование и возведение промышленных и гражданских сооружений на макропористых (лессовидных) грунтах».

Анализ научных исследований и нормативных документов свидетельствует о том, что просадочность лессов обуславливается формированием в них особой, так называемой, лёссовой структуры. Для решения проблемы ликвидации просадочности этих пород нужен более детальный подход в изучении отличительных черт и свойств лессов. Только разработка новых современных эффективных решений по устранению просадочности лессовых грунтов обеспечит безопасность строительства зданий и сооружений на этих породах на долгие десятилетия.

На современном этапе развития строительной индустрии существует более 10 основных методов улучшения свойств лессовых просадочных грунтов [2-5], но все эти методы можно поделить на три основные группы:

- 1) физико-химические методы (закрепление грунтов: силикатизация, цементация, смолизация, битумизация и др.), основная задача которых заключается в создании прочных связей между частицами;
- 2) конструктивные методы, предусматривающие создание необходимого напряженного состояния и условий деформирования оснований (армирование грунта, шпунтовое ограждение, устройство насыпей, устройство грунтовых подушек);
- 3) физико-механические методы (уплотнение грунтов), основная цель которых – уменьшение пористости.

Добиться надежной эксплуатации зданий и сооружений на лессовых просадочных грунтах возможно только с применением соответствующих методов и принципов строительства, которые основаны на предварительном технико-экономическом анализе [6].

В качестве первого примера выбрано «Здание логистического склада ЗАО «Корпорация Глория Джинс», расположенное по адресу: г. Шахты, ул. Прокатная, 1-д» (рис. 1).



Рис. 1. – Главный фасад здания логистического склада
ЗАО «Корпорация Глория Джинс»

Оценка инженерно-геологических условий площадки и результаты обследования показали обязательность проведения работ по закреплению грунтов в основании фундаментов здания.

Были рассмотрены два самых распространенных метода закрепления грунтов в Ростовской области: 1) цементация; 2) силикатизация.

На стадии технико-экономического анализа было выявлено, что в основании фундаментов и в обратной засыпке залегают увлажненные породы из терриконов с пустотностью 33,0%, что в совокупности с другими обстоятельствами, а именно сложное конструктивное решение подпорной стены, неудачное расположение здания на склоне, привело к вымыванию частиц породы, а также к смещению фундаментов и подпорных стен вследствие дополнительного горизонтального давления [7].

На основе анализа инженерно-геологических условий площадки установлена нецелесообразность использования силикатизации, поскольку при данных свойствах грунтов не произойдет химической реакции закрепляющих реагентов.

Оптимальным решением в данном случае является заполнение пустот

пород из терриконов методом цементации в режиме пропитки по инъекционной технологии. Цементацией будет достигнута остановка деформаций несущих конструкций здания путем увеличения массы пригрузки на горизонтальную часть уголковых подпорных стен, уменьшения коэффициента фильтрации грунтов, что заблокирует вымыв частиц грунта, и позволит приступить к штатному режиму эксплуатации здания [8].

Сама суть технологии закрепления грунтов методом цементации заключается в том, что в просверленные отверстия в подпорных стенах на гипсовом растворе устанавливаются инъекционные трубки, через которые под давлением до $4-6 \text{ кгс/см}^2$ подается рабочий раствор. Давление подачи должно обеспечивать проектный расход рабочего раствора без выхода его на дневную поверхность, разрушения или смещения строительных конструкций. Концы трубок должны выступать на несколько сантиметров из толщи кладки и иметь резьбу для навинчивания гаек, укрепленных на концах шланговрастворонагнетателя. Инъекционные трубки изготавливаются из обрезков газовых или водопроводных труб диаметром 15-20 мм, с резьбой на одном конце, нарезанной на длине 2-4 см [9].

Для качественного закрепления грунтов должен быть создан защитный барьер против выхода рабочего раствора за контур закрепляемого массива, для этого инъекции должны выполняться горизонтальными рядами сверху вниз.

Нагнетание цементного раствора следует производить в проектном объеме. В случае отказа (закачено не более 50%) инъекцию нереализованного проектного объема повторяют в ту же инъекционную трубку или в соседнюю. За отказ в поглощении следует принимать снижение расхода раствора до 2 л/мин при проектном давлении в 6 кгс/см^2 .

На примере объекта «Здание логистического склада ЗАО «Корпорация Глория Джинс», по адресу: г. Шахты ул. Прокатная 1-д», не потребовалось

сравнения сметной стоимости методов закрепления в виду возможности применения только одного способа по итогам анализа инженерно-геологических условий площадки.

В качестве второго примера приведем «Мемориальное здание. Дом Фельдман Г.Х, где родилась и жила Ф.Г. Раневская», расположенное по адресу: Ростовская обл., г. Таганрог, ул. Фрунзе, 10», которое, согласно Приказу Министерства культуры Ростовской области № 124 от 31.12.02 г., является объектом культурного наследия регионального значения.

В результате инженерно-геологических изысканий и обследования здания установлено, что под подошвой фундаментов располагаются просадочные суглинки ИГЭ-1 с коэффициентом фильтрации 0,65 м/сут., степенью влажности 0,61 и $pH=7,3$. При локальном замачивании грунтов возможно появление существенных неравномерных осадок вследствие реализации их просадочных свойств.



Рис.2. – Мемориальное здание. Дом Фельдман Г.Х., где родилась и жила Ф.Г. Раневская. Главный фасад

Для исключения развития такого негативного сценария необходимо решение по закреплению просадочной толщи в основании фундаментов.

В данном случае также было произведено сравнение двух альтернативных вариантов: цементация и силикатизации грунтов.

Проведенный сметный расчет показал, что полный спектр работ с материалами по силикатизации будет стоить 17 665 тыс. рублей, а работы по цементации обойдутся намного дешевле и составят 5 340 тыс. рублей.

Инженерно-геологические условия площадки позволяют выполнить любой из рассмотренных способов усиления грунтов, по технико-экономическим показателям более эффективна цементация, но по итогам проведенной оценки категории здания, с учетом его статуса – объект культурного наследия, на которых разрешается использовать только щадящие технологии с минимально возможным наносимым ущербом историческому облику, предпочтение было отдано силикатизации.

Силикатизация относится к щадящим технологиям в виду мгновенного закрепления грунта, что в свою очередь не провоцирует дополнительные деформации при выполнении производства работ. Закачка раствора происходит без отрывки и нарушения сплошности фундаментов. Также важно отметить, что параллельно с грунтом жидкое стекло оказывает положительный эффект и на бутовую кладку фундаментов, а именно упрочняет известковый раствор бутобетона. Жидкое стекло вступает в реакцию с компонентами известковой кладки, что приводит к образованию нерастворимых цементирующих новообразований гидратов окиси кальция повышенной прочности [10-11].

При производстве работ процесс закачки раствора происходит по непрерывной технологии, что позволяет закреплению идти равномерно, без негативного влияния на структурную прочность грунтов.

Одно из самых главных преимуществ силикатизации является небольшое давление закачки, а именно от 0,05 до 0,3 МПа, что позволяет избежать расклинивающего эффекта [8], возникающего при попадании в трещины и пустоты бутовой кладки растворов с большим давлением. Например, максимальное давление, создаваемое при цементации грунтов, обычно превышает 0,7 МПа.

Международная ассоциация реставраторов, которая дает свои официальные рекомендации по всем видам строительных работ на объектах культурного наследия, запрещает использование инъекционных технологий с высоким давлением для усиления грунтов оснований, бутовых и бутобетонных фундаментах для исключения разрушения слабых конструкций от расклинивающего эффекта [10].

Авторами предлагается **комплексный подход** к выбору технологии закрепления грунтового основания реконструируемых объектов, которые эксплуатируются в условиях просадочных грунтов Ростовской области, предусматривающий одновременный учет следующих факторов:

- основные физико-механические свойства грунтов, измененные в течение периода эксплуатации здания и влияющие на несущую способность и деформационные характеристики грунтов: плотность, пористость, модуль деформации при водонасыщении, относительная деформация просадочности, удельное сцепление, угол внутреннего трения и др.;

- минералогический состав грунтов, возможность реализации химических реакций при использовании того или иного метода химического закрепления;

- изменение состояния грунтового основания в процессе эксплуатации здания (местные разуплотнения, размывы, химическая и механическая суффозия и др.);

- химический состав и уровень грунтовых вод, прогноз их изменения;

- свойства техногенных грунтов обратной засыпки котлованов;
- рельеф местности, опасность активизации оползневых процессов;
- наличие подпорных стен и других удерживающих сооружений в зоне влияния, оценка нагрузок на них в процессе закрепления;
- конструктивные особенности подземной части здания;
- обеспечение доступа к основанию и фундаментам здания, наличие окружающей застройки, возможность размещения технологического оборудования с внутренней и внешней сторон фундаментов;
- техническое состояние строительных конструкций здания, включая его подземную часть (фундаменты, стены и полы подвалов) и отмостку;
- статус реконструируемого объекта. С особым вниманием и предосторожностью необходимо выбирать технологические и конструктивные параметры закрепления грунтов для объектов культурного наследия федерального или регионального значения;
- технико-экономические показатели.

Как следует из вышеприведенных примеров, в первом случае наиболее рационален метод цементации, как обеспечивающий наилучшие технико-экономические показатели, так и максимально соответствующий инженерно-геологическим условиям, техническому состоянию и конструктивным решениям здания. Во втором случае, наоборот, наиболее эффективный с экономической точки зрения вариант закрепления не может быть применен в силу технического состояния здания и ценности объекта культурного наследия, требующего применения более дорогостоящих щадящих технологий.

Литература

1. Прокопов А.Ю., Михайлов А.А. Анализ причин деформаций и способов закрепления оснований зданий – объектов культурного наследия Ростовской области // Материалы 13-й Международной конференции по
-

проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. Тула: ТулГУ, 2017. Том 2. С. 139 – 147.

2. 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.

3. 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.

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

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. Дежина И.Ю. Выбор метода преобразования лессовых грунтов Ростовской области с учетом различных факторов // Инженерный вестник Дона, 2013, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1945.

7. Prokopov A., Prokopova 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/matecconf/201710602001.

8. Прокопов А.Ю., Сычев И.В. Определение деформационных характеристик грунтового массива, преобразованного по технологии армирования грунта цементно-песчаным раствором // Инженерный вестник Дона, 2019, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2019/5809.

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

10. Черный А.Т. Исследование и разработка эффективных методов контроля качества силикатизации лессовых грунтов: дис. канд. техн. наук: 05.23.02. Ростов-на-Дону, 1981. 198 с.

11. Мангушев Р.А., Карлов В.Д., Сахаров И.И., Осокин А.И. Основания и фундаменты. М.: Изд-во АСВ; СПб.: СПбГАСУ, 2014. 278 с.

References

1. Prokopov A.Yu, Mihajlov A.A. 13 Mezhdunarodnaya konferenciya «Social'no-ehkonomicheskie i ehkologicheskie problemy gornoj promyshlennosti, stroitel'stva i ehnergetiki». Tula, 2017. Vol. 2. pp. 139 – 147.

2. Prihodchenko O.E., Tarzhimanov M.A., Tarzhimanov Je.A., Sychev I.V. Nauchnoe obozrenie. 2014. №9. Part. 3. pp. 746 – 750.

3. Girya L.V., Belash V.V., Horenkov S.V., Petrov K.S. Inzenernyj vestnik Dona, 2013, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2056.

4. Chernjavskij A.G. Armirovanное 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].

5. Akopyan V., Akopyan A. Procedia Engineering, Volume 150, 2016, pp. 2202- 2207.

6. Dezhina I.Yu. Inzenernyj vestnik Dona, 2013, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1945.

7. Prokopov A., Prokopova M., RubtsovaYa. MATEC Web of Conferences. Vol. 106. 2017. URL: doi.org/10.1051/matecconf/201710602001.

8. Prokopov A.Yu., Sychev I.V. Inzenernyj vestnik Dona, 2019. №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2019/5809.



9. Chernjavskij A.G. Reinforced base: RF patent 83258: IPC E02D5 / 66 /; declare 07.24.2008; publ. 27.05.2009.

10. Chernyj A.T. Issledovanie i razrabotka ehffektivnyh metodov kontrolya kachestva silikatizacii lessovyh gruntov [Research and development of effective quality control methods for the silicatization of loess soils]. Rostov-on-Don, 1981. 198 p.

11. Mangushev R.A., Karlov V.D., Saharov I.I., Osokin A.I. Osnovaniya i fundamenty. [Foundation engineering]. Izdatel'stvo Associacii stroitel'nyh vuzov (Moskva), 2014. 278 p.