

ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

Усиление грунтов основания фундаментов методом инъекционной силикатизации

УДК 624.138

Михайлов Антон Анатольевич

Аспирант кафедры «Инженерная геология, основания и фундаменты» ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет (г. Ростов-на-Дону); e-mail: mikhailov-2018@yandex.ru

Евлахова Елена Юрьевна

Магистр кафедры «Инженерная геология, основания и фундаменты» ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет (г. Ростов-на-Дону); e-mail: elena_evlahova@mail.ru

Иванова Анастасия Васильевна

Магистр кафедры «Инженерная геология, основания и фундаменты» ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет (г. Ростов-на-Дону); e-mail: nastya96_96@mail.ru

Матвеев Максим Сергеевич

Магистр кафедры «Инженерная геология, основания и фундаменты» ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет (г. Ростов-на-Дону); e-mail: mms1408@yandex.ru

Статья получена: 23.12.2018. Рассмотрена: 28.12.2018. Одобрена: 29.12.2018. Опубликована онлайн: 26.03.2019. ©РИОР

Аннотация. В настоящее время в Ростовской области, как и в России в целом, существуют проблемы строительства и эксплуатации зданий, построенных на просадочных грунтах. Существует множество методов противодействия возникновению просадочных явлений, одним из наиболее популярных является закрепление грунтов способом силикатизации. Данная методика позволяет значительно снизить просадки основания и предотвратить различные деформации здания. Инъекционная силикатизация широко используется как в Российской Федерации,

так и в зарубежной практике ввиду технической эффективности, высокой степени надежности и минимальных объемов земляных работ.

Ключевые слова: инъекционная силикатизация, основания, фундаменты, инженерно-геологические изыскания, просадочные свойства, геолого-литологический разрез, способы закрепления, эксплуатация здания, обследование технического состояния здания.

Проблемы строительства и эксплуатации зданий на просадочных грунтах основания яв-

STRENGTHENING THE SOIL FOUNDATIONS BY THE METHOD OF INJECTION OF SILICATION

Anton Mikhailov

Postgraduate Student, Department of "Engineering Geology, Bases and Foundations", Don State Technical University, Rostov-on-Don; e-mail: mikhailov-2018@yandex.ru

Elena Evlahova

Master's Degree Student, Department of "Engineering Geology, Bases and Foundations", Don State Technical University, Rostov-on-Don; e-mail: elena_evlahova@mail.ru

Anastasia Ivanova

Master's Degree Student, Department of "Engineering Geology, Bases and Foundations", Don State Technical University, Rostov-on-Don; e-mail: nastya96_96@mail.ru

Maxim Matveev

Master's Degree Student, Department of "Engineering Geology,

Bases and Foundations", Don State Technical University, Rostov-on-Don; e-mail: mms1408@yandex.ru

Manuscript received: 23.12.2018. **Revised:** 28.12.2018. **Accepted:** 29.12.2018. **Published online:** 26.03.2019. ©RIOR

Abstract. Currently, in the Rostov region, as in Russia as a whole, there are problems associated with the consolidation of weak soil bases. To date, the most effective method of fixing is injection silicate. This technique can significantly reduce the subsidence of the base and prevent various deformations of the building. Injection silicatization is widely used both in the Russian Federation and in foreign practice due to the technical efficiency, high degree of reliability and minimum amount of excavation.

Keywords: injection silicatization, bases, foundations, engineering-geological surveys, subsidence properties, geological-lithological section, methods of fixing, building operation, inspection of technical condition of the building.

ляются актуальными для южной части страны. На всей территории Ростовской области преобладают грунты, относящиеся к I и II типу по просадочности, которые при замачивании изменяют свою плотность под собственным весом без возможности бокового расширения. Просадочные свойства данных грунтов обусловлены их строением и структурой [1].

Просадочные свойства грунтов, проявляемые при замачивании, приводят к деформациям зданий и сооружений, а затем и к их разрушению. Поэтому первостепенной задачей является обеспечение геотехнической безопасности и совершенствование способов закрепления грунтов, которые помогут уменьшить материальный ущерб зданий и сооружений.

В практике строительства приходится часто сталкиваться с вопросами о способах и методах закрепления грунтов основания. Выбор метода закрепления выбирается после проведения обследования технического состояния здания, инженерно-геологических и гидрогеологических изысканий, требований экологии и технико-экономического сравнения вариантов укрепления грунта основания.

Рассмотрим один из самых распространённых способов закрепления грунтов основания на примере муниципального бюджетного общеобразовательного учреждения «Средняя школа № 11» г. Новочеркаска, Ростовской области.

При анализе использованы результаты обследования технического состояния здания, выполненные в 2017 г. учеными и специалистами ООО «НПП Алектич», ООО «Архитектурное наследие», НИИ «Строительные технологии», Академии строительства и архитектуры ДГТУ.

Здание школы состоит из нескольких частей, которые были построены в разные годы (3-этажная «старая часть» построена в 1968 г., 4-этажная «новая часть» — в 1988 г.), различающихся конструктивными решениями.

Конструктивная схема «старой части» представляет собой здание с продольными несущими стенами с жесткими дисками междуэтажных перекрытий. Габаритные размеры в плане составляют $53,7 \times 41,3$ м с поздними пристройками спортзала и актового зала.

Конструктивная схема «новой части» здания — с поперечными несущими стенами с жесткими дисками междуэтажных перекры-

тий и покрытия. Размеры в осях составляют $92,2 \times 13,6$ м с примыкающими крыльями спортзала и обеденным залом.

В процессе эксплуатации здания грунты основания фундаментов неоднократно подвергались замачиванию техногенными водами, что привело к деформациям здания.

Осмотр шурфов показал, что фундаменты различных частей здания отличаются как по геометрическим параметрам, так и по конструктивным решениям.

Обследование здания показало, что на поверхности вскрытых фундаментов отсутствует горизонтальная и вертикальная гидроизоляция. Грунт во вскрытых шурфах находится в увлажненном состоянии.

Наличие свежих вертикальных трещин в несущих стенах здания и результаты геодезических наблюдений за осадками здания, проведенных в 2017 г., свидетельствуют о продолжающемся процессе неравномерной просадки грунтов основания.

Результаты инженерно-геологических изысканий, проведенных НПП «Алектич» в 2017 г., показали, что на площадке вскрыты верхнечетвертичные отложения осадочного генезиса, относящиеся в соответствии с ГОСТ 25100-2011 к классу дисперсных грунтов с физическими, физико-химическими и структурными связями; к подклассу — связных грунтов; к типу осадочных и техногенных грунтов; к подтипу делювиальных грунтов; к виду — минеральных; к подвиду — преимущественно глинистым.

В период изысканий (апрель 2017 г.) появление подземных вод зафиксировано на глубинах 5,0–7,0 м.

В геолого-литологическом разрезе площадки по данным бурения скважин на площадке выделены следующие инженерно-геологические элементы (ИГЭ):

- ИГЭ 1 (*dQIII*) (в границах слоя 3) — суглинок желто-бурый тяжелый пылеватый, твердый, слабо- и среднепросадочный, незасоленный, ненабухающий, минеральный, толщиной от 0,7–1,8 м до 1,3–6,6 м;
- ИГЭ 2 (*dQIII*) (в границах слоя 4) — суглинок желто-бурый, тяжелый пылеватый, полутвердый, непросадочный, незасоленный, ненабухающий, минеральный, толщиной от 1,3–6,6 м до 5,5–20,0 м;

- ИГЭ 3 (*dQIII*) (в границах слоя 5) — глина красно-бурая, легкая пылеватая, полутвердая, непросадочная, незасоленная, ненабухающая, минеральная, толщиной от 1,3–6,6 м до 5,5–13,0–20,0 м.

Рассмотрим результаты расчета по определению значения относительной просадочности грунтов по ИГЭ-1. Результаты приводятся в табл. 1.

Таблица 1

Значения относительной просадочности грунтов по ИГЭ-1

№ скважины	Глубина скважин, м	Установившийся уровень подземной воды, м (абс. от. м.)	Глубина кровли и подошвы просадочных грунтов, м (абс. от. м.)	Просадка от собственного веса грунтов, см
23 (2017)	15,0	6,8(37,75)	1,6–6,6 (42,95–37,95)	2,1
27 (2017)	15,0	5,0(38,00)	1,8–3,8 (41,12–39,12)	0,0
28 (2017)	15,0	4,8(39,63)	0,7–4,5 (43,73–39,93)	1,8
31 (2017)	15,0	4,6(37,10)	1,5–4,3 (40,20–37,40)	0,0

На основании расчетов и СП 22.13330.2016, п. 6.1.6 в связи с тем, что просадка грунтов от собственного веса равна 0,0–2,1 см (менее 5 см), площадка отнесена к I типу грунтовых условий по просадочности.

Анализ инженерно-геологических условий площадки и расчеты показали необходимость проведения работ по закреплению грунтов в основании фундаментов здания МБОУ СОШ № 11. Непосредственно под подошвой фундаментов существующего здания залегают просадочные суглинки ИГЭ-1 с коэффициентом фильтрации 0,24 м/сут., степенью влажности 0,67 и $pH = 7,0 \div 7,3$.

При повышении уровня грунтовых вод и локальном замачивании грунтов в основании фундаментов возможно проявление существенных неравномерных осадок грунтов вследствие реализации их просадочных свойств.

В условиях существующих зданий при их ремонте и реконструкции в Ростовской области широко применяются инъекционные способы закрепления грунтов основания фундаментов [2].

Инъекционная технология закрепления грунтов отличается высокой степенью механизации процессов, минимальными объемами земляных работ, высокой степенью надежности [3].

Проанализировав все данные, было принято решение провести закрепление просадочных грунтов способом односторонней силикатизации по инъекционной технологии через извлекаемые инъекторы согласно п. 6.9.3 СП 22.13330.2016.

Для исключения отрицательного влияния влажности и щелочной среды на закрепление грунтов с коэффициентом водонасыщения близким 0,7, силикатизацию выполнять двухкомпонентной [4–5].

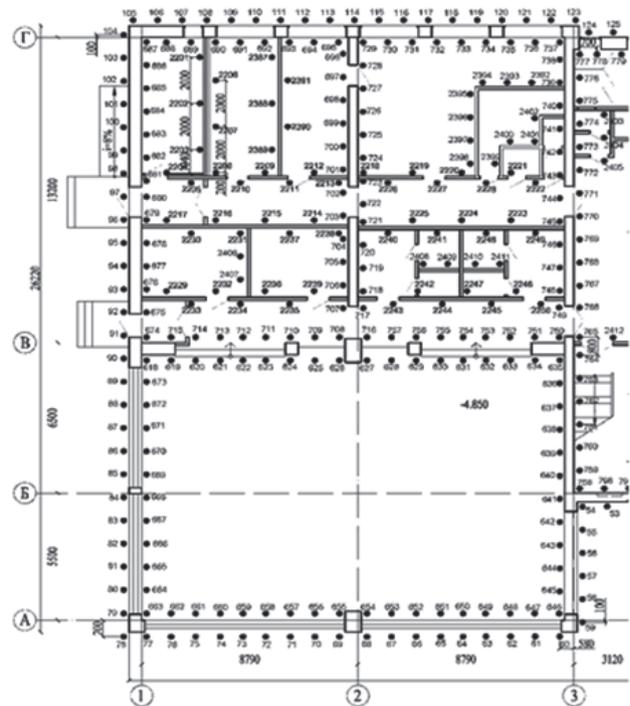


Рис. 1. Фрагмент плана здания

Для исключения вибрационного воздействия на поврежденные и ослабленные конструкции здания погружение инъекторов производить в предварительно пробуренные скважины. Расположения скважин представлены на фрагменте плана здания (см. рис. 1).

После закрепления грунта инъекционной силикатизацией он приобретает повышенную прочность, становится водостойким и не просадочным, что исключает деформации здания

от подъема грунтовых вод и потерь от водо-несущих коммуникаций [6–7].

В качестве рабочего раствора для закрепления просадочных суглинков ИГЭ-1 принято стекло натриевое жидкое ГОСТ 13078-81 с силикатным модулем 2,8–3,0 с плотностью закрепляющего рабочего раствора 1,15 г/см³ при расходе раствора 200 л на 1 куб. м грунта. В качестве второго компонента принят сульфат аммония по ГОСТ 9097-82 с расходом 1,8 кг на 1 м³ раствора.

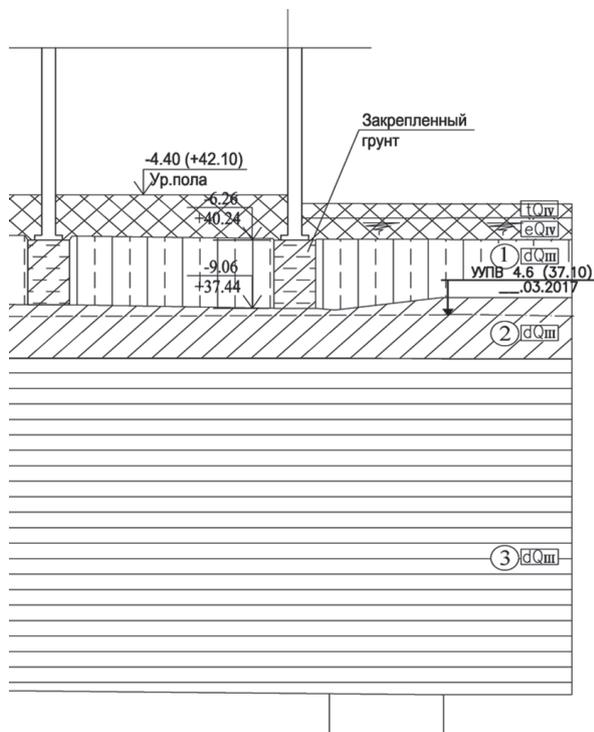


Рис. 2. Фрагмент геологического разреза с устройством закрепления

Из опыта закрепления просадочных грунтов Ростовской области приняты следующие нормативные значения физико-механических показателей свойств закрепленного силикатизацией основания (при расходе 200 л рабочего раствора жидкого натриевого стекла плотностью 1,15 г/см³):

- предел прочности на одноосное сжатие — не менее 0,25 МПа;
- модуль деформации — не менее 25 МПа;
- нормативный угол внутреннего трения — не менее 22,0°;
- нормативное удельное сцепление — не менее 32 кПа;
- закрепленный грунт должен быть непросадочным и иметь 100% водостойкость в пределах расчетных проектных «радиусов закрепления».

Принятая инъекционная технология закрепления грунтов силикатизацией является щадящей технологией с практически мгновенным закреплением грунта (см. рис. 2), поэтому силикатизация не провоцирует дополнительные деформации при производстве инъекционных работ. Она выполняется без отрывки и нарушения сплошности фундаментов. Одновременно с грунтом жидкое стекло усиливает бутовую кладку путем упрочнения известкового раствора бутобетона. При реакции жидкого стекла с известковой кладкой образуются нерастворимые цементирующие новообразования гидратов окиси кальция повышенной прочности [8–10]. При этом происходит восстановление разрушенной и ослабленной со временем известковой кладки.

Литература

1. Черкасов С.М. Расчет величины деформаций лессовых просадочных грунтов от собственного веса и сравнение с результатами опытных работ [Текст] / С.М. Черкасов // Научное обозрение. — 2014. — № 11. — Ч. 3. — С. 746–749.
2. Мартыненко И.А. Реконструкция зданий, сооружений и застройки [Текст] / И.А. Мартыненко, М.В. Прокопова, И.А. Капралова. — Ростов н/Д: Изд-во РГУПС, 2017. — 221 с.
3. Прокопов А.Ю. Анализ причин деформаций и способов закрепления оснований зданий — объектов культурного наследия Ростовской области [Текст] / А.Ю. Прокопов, А.А. Михайлов // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: Материалы 13-й Междунар. конф. — Тула: ТулГУ, 2017. — Т. 2. — С. 139–147.
4. Новоженен В.П. Влияние температуры грунта на степень его химического закрепления [Текст] / В.П. Новоженен, И.Н. Карлина // Инженерный вестник Дона. — 2013. — № 4. — URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2068/
5. Рекомендации по подготовке оснований и устройству фундаментов из силикатированного лессового грунта [Текст]. — Ростов н/Д: Ростовский ПромстройНИИпроект, 1976. — 49 с.
6. Прокопов А.Ю. Анализ методов закрепления грунтов объектов культурного наследия [Текст] / А.Ю. Прокопов, И.Ф. Солтани // Современные проблемы науки и пути их решения: сб. науч. статей. — Вып. 34. — Уфа: Омега Сайнс, 2017. — С. 337–341.
7. Крахмальний Т.А. Исследование влияния увеличения периметра ленточного фундамента на несущую способность основания [Текст] / Т.А. Крахмальний // Инже-

- нерный вестник Дона. — 2009. — № 2. — URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2009/128/
8. Панасюк Л.Н. Моделирование работы сооружений с учетом проявления неравномерных деформаций в основании [Текст] / Л.Н. Панасюк, Э.А. Таржиманов // Инженерный вестник Дона. — 2011. — № 4. — URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2011/591/
 9. 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. 02001. International Science Conference SPbWOSCE-2017 «SMART City», URL: doi.org/10.1051/mateconf/201710602001/
 10. Wang A., Ma L., Zhang D., Li K., Zhang Y., Yi X., Wang Z. Soil and water conservation in mining area based on ground surface subsidence control: Development of a high-water swelling material and its application in backfilling mining // Environmental Earth Sciences. 2016. V. 75. № 9. p. 779.

References

1. Cherkasov S.M. Raschet velichiny deformatsiy lessovykh prosadochnykh gruntov ot sobstvennogo vesa i sravnenie s rezul'tatami opytnykh rabot [Calculation of the magnitude of deformations of loess subsidence soils of its own weight and comparison with the results of experimental work]. *Nauchnoe obozrenie* [Scientific Review]. 2014, I. 11, pp. 746–749.
2. Martynenko I.A., Prokopova M.V., Kapralova I.A. *Rekonstruktsiya zdaniy, sooruzheniy i zastroyki* [Reconstruction of buildings, structures and buildings]. Rostov-on-Don: RGUPS Publ., 2017. 221 p.
3. Prokopov A.Yu., Mikhaylov A.A. Analiz prichin deformatsiy i sposobov zakrepleniya osnovaniy zdaniy — ob'ektov kul'turnogo naslediya Rostovskoy oblasti [Analysis of the causes of deformations and ways to consolidate the foundations of buildings — objects of the cultural heritage of the Rostov region]. *Sotsial'no-ekonomicheskie i ekologicheskie problemy gornoj promyshlennosti, stroitel'stva i energetiki* [Socio-economic and environmental problems of the mining industry, construction and energy]. Tula: TulGU Publ., 2017, V. 2, pp. 139–147.
4. Novozhenin V.P., Karlina I.N. Vliyanie temperatury grunta na stepen' ego khimicheskogo zakrepleniya [The influence of soil temperature on the degree of its chemical fixation]. *Inzhenernyy vestnik Dona* [Inzhenernyy Vestnik Dona]. 2013, I. 4. Available at: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2068/.
5. *Rekomendatsii po podgotovke osnovaniy i ustroystvu fundamentov iz silikatirovannogo lessovogo grunta* [Recommendations for the preparation of bases and the installation of foundations of silicified loess soil]. Rostov-on-Don: Rostovskiy Promstroy-niiproekt Publ., 1976. 49 p.
6. Prokopov A.Yu., Soltani I.F. Analiz metodov zakrepleniya gruntov ob'ektov kul'turnogo naslediya [Analysis of methods for securing soils of cultural heritage objects]. *Sovremennyye problemy nauki i puti ikh resheniya* [Modern problems of science and ways to solve them]. Ufa: Omega Sayns Publ., 2017, pp. 337–341.
7. Krakhmal'nyy T.A. Issledovanie vliyaniya uvelicheniya perimetra lentochnogo fundamenta na nesushchuyu sposobnost' osnovaniya [The study of the effect of increasing the perimeter of the strip foundation on the bearing capacity of the base]. *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering Herald of the Don]. 2009, I. 2. Available at: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2009/128/.
8. Panasyuk L.N., Tarzhimanov E.A. Modelirovaniye raboty sooruzheniy s uchedom proyavleniya neravnomernykh deformatsiy v osnovanii [Modeling the work of structures with regard to the manifestation of uneven deformations in the base]. *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering Bulletin of the Don]. 2011, I. 4. Available at: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2011/591/.
9. 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. 02001. International Science Conference SPbWOSCE-2017 «SMART City», Available at: doi.org/10.1051/mateconf/201710602001/.
10. Wang A., Ma L., Zhang D., Li K., Zhang Y., Yi X., Wang Z. Soil and water conservation in mining area based on ground surface subsidence control: Development of a high-water swelling material and its application in backfilling mining. // Environmental Earth Sciences. 2016. V. 75. № 9. p. 779.